

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



UCSC

Conversión de moto-scooter con motor de combustión a propulsión 100% eléctrica

Bruno Elías Osses Labbé

Informe de Habilitación Profesional para optar al título de:
Ingeniero Civil Eléctrico

Profesor Patrocinante:

Dr. Guillermo Ramírez Arias

Profesores Guía:

Dr. Eduardo E. Espinosa Neira
Dr. Samuel A. Vergara Rojas

Concepción, Julio de 2024

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Profesor Patrocinante:
Dr. Guillermo Ramírez Arias

Conversión de moto-scooter con motor de combustión a propulsión 100% eléctrica

Bruno Elías Osses Labbé

Informe de Habilitación Profesional
para optar al Título de

Ingeniero Civil Eléctrico

Julio 2024

Resumen

Este documento presenta el proceso de conversión de la moto scooter modelo Honda Dio Sr de 1989, originalmente equipada con un motor de combustión interna de 50cc, a un sistema de propulsión eléctrica.

La iniciativa busca reutilizar materiales con vida útil restante, como el chasis de vehículos de combustión interna, reducir los gases nocivos y la contaminación acústica producidos por estos, y aumentar la adopción de vehículos eléctricos en la sociedad, investigando como superar las barreras del alto costo y la baja disponibilidad de estos en el mercado.

El trabajo comienza con un análisis de las normativas vigentes en diferentes países que permiten la transformación de vehículos de combustión interna a eléctricos, resaltando las características clave de este proceso. Se proporciona una descripción detallada de la moto scooter objeto de estudio, incluyendo sus componentes, especificaciones de funcionamiento, dimensiones, masa y autonomía, entre otros aspectos relevantes.

Se exploran las tecnologías clave empleadas en la conversión, como motores giratorios de imanes permanentes de alta eficiencia con conexiones trifásicas de potencia, así como los controladores que funcionan como inversores y rectificadores en distintas etapas, transformando la corriente continua en pulsos modulados de tres fases. Posteriormente, se procede a la fabricación de un sistema de almacenamiento eléctrico basado en baterías de iones de litio de segunda vida, provenientes de la micro movilidad, como scooters eléctricos, a través de un proceso de caracterización individual de cada celda, para luego ensamblar un nuevo paquete de baterías.

Se realiza una simulación en el software Matlab para visualizar la autonomía del vehículo con su nueva batería, limitada a los espacios disponibles para la conversión, evaluando su fiabilidad. Finalmente, se detalla la implementación de la moto scooter con sus nuevos componentes eléctricos, seguida de pruebas en entornos controlados para validar su funcionamiento.

Se concluye que es factible la transformación de una moto scooter a eléctrica, manteniendo o incluso mejorando su potencia con un motor eléctrico integrado en la rueda de 5 kW de potencia nominal y una batería de litio de 72V y 2.3 kWh de almacenamiento, aunque con una posible disminución en la autonomía aproximada de 50 km. Sin embargo, esta limitación puede ser mitigada con un sistema de baterías intercambiables, aprovechando celdas de segunda vida provenientes de scooters eléctricos de baja potencia en la categoría de micromovilidad.

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la oportunidad de estudiar y la motivación para realizar este trabajo.

Agradezco a mi profesor guía, Guillermo Ramírez, por proponer el tema de estudio, por su orientación y por la gestión de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto. También quiero expresar mi gratitud a mi compañero Cristian Monsalve por su ayuda en el uso de las herramientas que capturaron los datos para las pruebas. Agradezco a Enrique Nusdel del Laboratorio de Manufactura Avanzada y a Lucas Quiroz del Centro de Innovación por su asistencia en el diseño y la fabricación de distintos componentes necesarios para el desarrollo del proyecto. Asimismo, quiero mencionar a mis profesores guías, Eduardo Espinoza y Samuel Vergara, por su apoyo en la finalización de este documento y por ayudarme a mejorar su calidad.

Finalmente, agradezco a mi familia por darme la tranquilidad, el apoyo y los espacios necesarios para el desarrollo de mi carrera universitaria.

Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Introducción General.....	12
1.2. Trabajos Previos.....	13
1.2.1 Normativas.....	14
1.2.2 Sistema de propulsión y control eléctrico	16
1.2.3 Sistemas de almacenamiento energético y segunda vida	17
1.2.4 Discusión	23
1.3. Objetivos.....	25
1.3.1 Objetivo General.....	25
1.3.2 Objetivos Específicos.....	25
1.4. Alcances y limitaciones	25
1.5. Temario y Metodología.....	26
CAPÍTULO 2. NORMATIVA INTERNACIONAL Y NACIONAL PARA LA CONVERSIÓN DE MOTO SCOOTER A PROPULSIÓN ELÉCTRICA	28
2.1. Introducción	28
2.2. Normativas.....	29
2.2.1 Normativa Unión Europea.....	29
2.2.2 Francia	31
2.2.3 España	34
2.2.4 Alemania.....	36
2.2.5 Reino Unido.....	37
2.2.6 Australia	38
2.2.7 EE. UU.....	45
2.2.8 Latino América.....	46
2.2.9 Panamá.....	50
2.2.10 Chile	52
2.3. Discusión	58
CAPÍTULO 3. PROCESO DE CONVERSIÓN DE MOTO SCOOTER	61
3.1. Introducción	61
3.2. Parámetros de la moto scooter	62
3.2.1 Consumo de combustible.....	63
3.2.2 Potencia y Torque.....	63
3.3. Desmontaje e identificación de componentes reutilizables.....	67
3.4. Selección de Tecnológica y Componentes para la Conversión.....	74
3.4.1 Motor Eléctrico.....	74
3.4.2 Controlador del motor.	78
3.4.3 Circuito de Bajo Voltaje.....	85

3.4.4	<i>Elementos de protección eléctricos de alto voltaje DC</i>	87
3.5.	Diseño e implementación del kit de propulsión eléctrica.....	92
3.6.	Discusión	100
CAPÍTULO 4.	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RECARGABLE	
(REESS)	102	
4.1.	Introducción	102
4.2.	Definiciones importantes de los REESS	105
4.2.1	<i>Modelado Bateria</i>	107
4.3.	Baterías de segunda vida (SLB).....	109
4.3.1	<i>Definición segunda vida</i>	109
4.3.2	<i>Impacto social y medio ambiental de las SLB:</i>	111
4.3.3	<i>Usos de la SLB de interés</i>	112
4.3.4	<i>Modelo de Estado de Salud enfocado en SLB</i>	116
4.3.5	<i>Evaluación técnica básica de las baterías de segunda vida</i>	119
4.4.	Factores de deterioro de LiB	123
4.5.	Motocicletas con baterías extraíbles	130
4.6.	Celdas SLB para REESS.....	134
4.6.1	<i>Fuente de origen de las SLB</i>	134
4.6.2	<i>Testeo masivo Celdas SOH</i>	135
4.6.3	<i>Modulo TP4056</i>	136
4.6.4	<i>Contador de coulomb ZB2L3</i>	137
4.6.5	<i>Probador de baterías Fluke 521</i>	138
4.6.6	<i>Resultados de caracterización SLB</i>	139
4.6.7	<i>Almacenaje de celdas y prueba de OCV</i>	141
4.6.8	<i>Curva de carga y descarga celda 18650 con EB tester</i>	141
	Diseño del REESS para la conversión de Honda Dio Sr.....	143
4.7.	Sistema gestor batería (BMS) del REESS.....	145
4.8.	Cargador del REESS.....	149
4.9.	Conector del REESS	150
4.10.	Armado del pack	151
4.11.	Diseño y fabricación del envoltorio o carcasa del REESS	154
4.12.	Costos batería SLB	159
4.13.	Simulación Moto scooter EV en Simulink.....	161
4.13.1	<i>Subsistema de carrocería del vehículo</i>	162
4.13.2	<i>Subsistema circuito de motor y control</i>	163
4.13.3	<i>Subsistema entrada conductor</i>	164
4.13.4	<i>Bloque Batería</i>	165
4.13.5	<i>Resultados</i>	167
4.14.	Discusión	169
CAPÍTULO 5.	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE MOTO SCOOTER CONVERTIDA	170

5.1.	Recorrido de Pruebas	171
5.2.	Configuración del sistema de propulsión	171
5.3.	Pantalla principal	173
5.4.	Sistema de captura de datos	174
5.4.1	<i>Sefram DAS 60</i>	175
5.4.2	<i>Sonda de corriente AEMC MR416</i>	175
5.4.3	<i>IMU: Ublox EVK M8U</i>	176
5.5.	Análisis de datos	177
5.6.	Discusión	183
CAPÍTULO 6.	CONCLUSIÓN	185
6.1.	Sumario.....	185
6.2.	Conclusión	186
6.3.	Trabajos futuros	189

Lista de Tablas

Tabla 1: Estado Retrofit LATAM; Fuente [14]	48
Tabla 2: Resumen retrofit mundial; Fuente [E.P]	60
Tabla 3 Parámetros Honda Dio Sr	62
Tabla 4 Medidas rueda trasera Honda Dio sr	71
Tabla 5 Características de motor HUB Fuente [E.P]	78
Tabla 6 Conversor DC DC	86
Tabla 7 Impacto del DOD en la vida útil de SLB; Fuente [46]	127
Tabla 8 Resumen Battery Swapping; Fuente [E.P]	133
Tabla 9 parámetros scooter eléctrico para SLB	134
Tabla 11 Rango de SOC vs vida útil; Fuente [47]	147
Tabla 12 Parámetros BMS	147
Tabla 13 parámetros Cargador REESS	149
Tabla 14 Hoja de datos del REESS para Honda Dio	153
Tabla 15 Costos REESS; Fuente [E.P]	160
Tabla 16 parámetros ingresados bloque carrocería; Fuente [E.P]	162
Tabla 17 Parámetros Motor simulación; Fuente [E.P]	164
Tabla 18 Parámetros batería de simulación; Fuente [E.P]	166
Tabla 19 Resultados simulación EV; Fuente [E.P]	168
Tabla 20 Resultados de comparación entre pruebas simuladas y reales de moto scooter	184

Lista de Figuras

Figura 1: Etiquetado de advertencia; Fuente [11]	42
Figura 2: Países con actividad de retrofit; fuente [14]	47
Figura 3: Regulación de retrofit; Fuente [16]	53
Figura 4 Honda Dio Sr; Fuente [E.P]	62
Figura 5 Curvas de torque y potencia de motor 2T; Fuente [26]	64
Figura 6 Tablero instrumentos Honda Dio 1989; Fuente [E.P]	65
Figura 7 Grafico curva par y potencia Nissan Leaf en comparación motor C.I.; Fuente [27] .	65
Figura 8 Ubicación información chasis; Fuente [24]	67
Figura 9 Cuerpo propulsión C.I; Fuente [E.P]	68
Figura 10 Desmontaje rueda trasera; Fuente [E.P]	69
Figura 11 Conector basculante; Fuente [24]	69
Figura 12 Soporte motor y rueda trasera (Basculante); Fuente [24]	70
Figura 13 Medidas rueda trasera original; Fuente [E.P]	70
Figura 14 Tanque de combustible; Fuente [24] [E.P]	71
Figura 15 Parte delantera moto Scooter; Fuente [24]	72
Figura 16 Espacio libre posterior asiento conductor	73
Figura 17 Espacio debajo del asiento; Fuente [E.P]	73
Figura 18 Distintos tipos de motores eléctricos; Fuente [28]	74

Figura 19 Devanados de un motor síncrono de imanes permanentes; Fuente [28]	76
Figura 20 Motor in hub; Fuente [30]	77
Figura 21 Driver ND72680; Fuente [33]	81
Figura 22 Etiqueta de información driver; Fuente [E.P]	82
Figura 23 Alarma del driver; Fuente [35]	83
Figura 24 Acelerador, botoneras y manillas; Fuente [36]	84
Figura 25 Display Moto scooter; Fuente [37]	85
Figura 26 Bateria de accesorios; Fuente [24]	86
Figura 27 DC DC; Fuente [38]	86
Figura 28 Sistema de luces	87
Figura 29 Corta corriente; Fuente [41]	89
Figura 30 Interruptor de inercia; Fuente [42]	90
Figura 31 Fusible y soporte; Fuente [43]	91
Figura 32 Primera iteración soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]	92
Figura 33 Vista superior primera iteración soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]	93
Figura 34 Segunda iteración soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]	94
Figura 35 Tercera y final iteración del soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]	94
Figura 36 Sistema de frenado trasero; Fuente [E.P]	95
Figura 37 Instalación Motor rueda con soporte trasero; Fuente [E.P]	96
Figura 38 Instalación protector cable motor en soporte trasero; Fuente [E.P]	97
Figura 39 Instalación Controlador en moto scooter; Fuente [E.P]	97
Figura 40 Conexión final controlador; Fuente [E.P]	98
Figura 41 Instalación acelerador, manillas de freno; Fuente [E.P]	98
Figura 42 Diseño e instalación de soporte pantalla LCD; Fuente [E.P]	99
Figura 43 Conexión de alto voltaje; Fuente [E.P]	100
Figura 44 comparación tecnologías de LiB; Fuente [46]	105
Figura 45 Modelo batería Resistencia interna; Fuente [54]	108
Figura 46 Resumen ciclo de vida batería; Fuente [E.P]	110
Figura 47 Aplicaciones para SLB; Fuente [53]	114
Figura 48 Métodos de estimación de SOH; Fuente:[46]	117
Figura 49 Relación SOH con Resistencia interna; Fuente [46]	118
Figura 50 Impacto de la temperatura sobre la capacidad en LiB; Fuente [54]	123
Figura 51 Efectos del DOD sobre la capacidad de las Lib en el tiempo; Fuente [54]	124
Figura 52 Efectos tasas de corriente de carga sobre SOH; Fuente [54]	125
Figura 53 Efecto tasas de descarga en el SOH; Fuente [51]	126
Figura 54 Efectos rango del DOD sobre la vida útil de LiB; Fuente [54]	127
Figura 55 Aumento del crecimiento de la impedancia de las células de iones de litio en función de la tasa de descarga; Fuente [54]	128
Figura 56 Capacidad vs resistencia interna; Fuente [51]	129
Figura 57 Sistema Gogoro; Fuente [55]	131
Figura 58 Ejemplo Moto scooter Vostok E7; Fuente [57]	132
Figura 59 Moto Scooter Niu NQi series; Fuente [58]	133
Figura 60 Scooter eléctrico para realización de baterías; Fuente [59]	134
Figura 61 Baterías para reutilizar; Fuente [E.P]	135
Figura 62 Tablero de caracterización SOH y Rint celdas NMS; Fuente [E.P]	136
Figura 63 Placa TP4056; Fuente [60]	137
Figura 64 Contador de coulomb ZB2L3; Fuente [61]	138
Figura 65 Fluke analizador de baterías; Fuente [E.P]	139

Figura 66 Grafico final de resistencia interna SLB; Fuente [E.P]	140
Figura 67 Almacenamiento de celdas SLB; Fuente [E.P]	141
Figura 68 Grafica curva de carga y descarga; Fuente [E.P]	142
Figura 69 Estructura soporte celdas 18650; Fuente [64]	143
Figura 70 presentación soporte bateria en moto scooter; Fuente [E.P]	143
Figura 71 Preparación del compartimiento del REESS; Fuente [E.P]	144
Figura 72 Diseño y configuración final de la bateria; Fuente [E.P]	145
Figura 73 Diagrama conexión BMS; Fuente [65]	149
Figura 74 Curvas de carga, cargador bateria; Fuente [66]	150
Figura 75 Conector Anderson del REESS; Fuente [67]	151
Figura 76 proceso fabricación pack bateria; Fuente [E.P]	152
Figura 77 Proceso de aislamiento pack bateria; Fuente [E.P]	153
Figura 78 Presentación pack sin carcasa en moto scooter; Fuente [E.P]	155
Figura 79 Proceso de diseño de carcasa REESS; Fuente [45]	155
Figura 80 Impresión de la carcasa; Fuente [E.P]	156
Figura 81 Instalación del BMS; Fuente [E.P]	157
Figura 82 Instalación BMS y tapa de carcasa; Fuente [E.P]	158
Figura 83 Carcasa bateria final; Fuente [E.P]	159
Figura 84 Diagrama de bloques simulación EV; Fuente [E.P]	161
Figura 85 Señal de conductor simulación; Fuente [E.P]	164
Figura 86 Curva característica descarga bateria simulación; Fuente [E.P]	167
Figura 87 Resultados graficados simulación moto scooter; Fuente [E.P]	168
Figura 88 Prueba Moto Scooter convertida a eléctrica; Fuente [E.P]	170
Figura 89 circuito de pruebas; Fuente [E.P]	171
Figura 90 Aplicación del driver Fardrive; Fuente [E.P]	172
Figura 91 Visor SOC en pantalla DKD; Fuente [E.P]	173
Figura 92 Análisis de señal CAN; Fuente [E.P]	174
Figura 93 Entradas de Sefram DAS 60; Fuente [72]	175
Figura 94 Sonda de corriente AEMC MR416; Fuente [73]	175
Figura 95 Kit de evaluación de EVK-M8U; Fuente [74]	176
Figura 96 Moto Scooter con sistema de captación de datos instalado; Fuente [E.P]	176
Figura 97 Grafico de potencia y energía prueba real; Fuente [E.P]	178
Figura 98 Grafico de potencia y energía prueba real acotado; Fuente [E.P]	179
Figura 99 Distancia total recorrida en 12 minutos; Fuente [E.P]	180
Figura 100 Comportamiento Dinámico de Corriente y Velocidad durante la Conducción; Fuente [E.P]	180
Figura 101 relación voltaje, corriente y posición acelerador Moto scooter; Fuente [E.P]	181
Figura 102 tensión entre líneas controlador onda pura; Fuente [E.P]	182
Figura 103 comparación de motor de combustión vs propulsión eléctrica; Fuente [E.P]	183

Nomenclatura

Abreviaciones mayúsculas

AC	: Corriente Alterna
BEV	: Battery Electric Vehicle
BLDC	: Brushless Permanent Magnet DC Machines
BMS	: Battery Management System
CC-CV	: Constant Current-Constant Voltage
CC	: Corriente Constante
DC	: Corriente Continua
DOD	: Depth of Discharge
ELV	: Tensión Muy Baja (cualquier voltaje que nunca supere los 60 V CC o los 25 V CA)
E.O.L	: End of life (fin de vida útil de una batería, mayormente es el bajo el 80% del SOH en LiB)
E.P	: Elaboración propia.
EPA	: Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.
ESS	: Energy Storage System
EST	: Energy Storage Technologies
HAZV	: Tensión Peligrosa (cualquier voltaje que pueda ser superior a 60 V CC o 25 V CA)
HEV	: Hybrid Electric Vehicle
ICE	: Internal Combustion Engine
LIB	: Lithium-ion batteries (LiBs)
OEM	: Fabricante de Equipos Originales
PHEV	: Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PMSM	: Permanent Magnet Synchronous Machine
REESS	: Sistema de Almacenamiento de Energía Recargable
RUL	: Remaining Useful Life
SLB	: second life battery; Batería Segunda Vida
SOC	: State of Charge
SOH	: State of Health

Minúsculas

c.i.	: condiciones iniciales.
l.i.	: linealmente independiente.
l.d.	: linealmente dependiente.
c.c.	: corriente continua (en Inglés es d.c.).
c.a.	: corriente alterna (en Inglés es a.c.).

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción General

La electromovilidad se entiende como todo medio que utilice un motor eléctrico para impulsarse, incluyendo vehículos eléctricos a batería y vehículos eléctricos con celda de combustible de hidrógeno [75]. Este concepto abarca desde automóviles eléctricos hasta formas de micromovilidad, como bicicletas y scooters eléctricos, ofreciendo una alternativa eficiente y ecológica a los vehículos tradicionales. En este contexto, el retrofit se refiere a la conversión de la propulsión de combustión interna (C.I.) a una 100% eléctrica, con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes y promover un transporte más sostenible.

Poco más de un tercio del consumo energético final en Chile (37%) corresponde al sector transporte. El transporte es responsable del 26% del total de emisiones de GEI, además del impacto local por contaminación atmosférica que ese consumo produce en las ciudades. Actualmente, un 99% del consumo energético en el sector transporte proviene de fuentes fósiles importadas (referido tanto a combustibles importados como el petróleo importado para las refinerías para la producción nacional de combustibles) [75]. Por otra parte se indica que los vehículos eléctricos son una enorme oportunidad ya que presentan una mayor eficiencia en términos energéticos y al mismo tiempo permiten reducir la emisión de GEI al obtener su energía de una matriz energética con creciente participación de fuentes renovables. Además, los vehículos eléctricos contribuyen también a reducir las emisiones de contaminantes locales en zonas de alta exposición y a reducir los niveles de ruido [75].

La conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos se alinea directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU [1], específicamente con los ODS 11, 12 y 13. El ODS 11 promueve ciudades y comunidades sostenibles, fomentando sistemas de transporte más limpios y eficientes. El ODS 12 se centra en garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, donde la reutilización y reciclaje de vehículos existentes contribuye significativamente a este objetivo. Finalmente, el ODS 13 aborda la acción por el clima, destacando la importancia de reducir las emisiones de GEI mediante el uso de vehículos eléctricos.

En este contexto, el desafío crucial es generar sistemas de transporte eficientes, económicos, sostenibles y sustentables. Este proyecto se enfoca en la conversión de una moto scooter de combustión interna a operación 100% eléctrica para reducir la contaminación y promover la movilidad sostenible. La conversión realizada sigue los lineamientos de la normativa chilena (actualmente en discusión) e internacional, con un enfoque especial en parámetros de rendimiento y eficiencia. Las etapas incluyen la revisión de normativas, el diseño de un sistema de almacenamiento de energía eficiente, la incorporación de un sistema de iluminación adecuado, la sustitución del motor por uno eléctrico de alto rendimiento y el análisis de resultados a nivel teórico y preliminar.

Para ello, se realiza un estudio de las normativas a nivel mundial de manera general para entender la situación actual y cómo algunos países están abordando este tema. Este conocimiento permite implementar un sistema en una moto scooter que contiene todos los componentes necesarios para un vehículo eléctrico, pero con menores costos y requerimientos de espacio para trabajar.

1.2. Trabajos Previos

En esta revisión bibliográfica, se exploran las normativas, sistemas de propulsión y control eléctrico, así como los sistemas de almacenamiento energético y la reutilización de baterías de segunda vida, que son esenciales para la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos. El propósito de esta revisión es proporcionar un marco teórico y técnico que apoye la viabilidad y eficiencia de este proceso de conversión, en línea con los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones contaminantes.

Se aborda en primer lugar el marco regulatorio, destacando las normativas internacionales y nacionales que guían el proceso de homologación y transformación de vehículos a propulsión eléctrica. Estos reglamentos aseguran que las conversiones cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos para su operación en vías públicas.

Posteriormente, se revisan los sistemas de propulsión y control eléctrico, centrándose en las tecnologías de motores eléctricos, como los motores DC sin escobillas (BLDC) y los motores síncronos de imanes permanentes (PMSM). Se comparan sus características, ventajas y aplicaciones en el contexto de vehículos eléctricos.

Finalmente, se examinan los sistemas de almacenamiento energético, con un énfasis especial en las baterías de iones de litio de segunda vida. Se presentan estudios sobre la viabilidad técnica y económica de reutilizar estas baterías, sus aplicaciones potenciales y los desafíos asociados a su implementación.

1.2.1 Normativas

- Reglamento n.o 136 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU). Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de la categoría L en relación con los requisitos específicos del grupo moto propulsor eléctrico [2019/1120] [3]

El Reglamento N° 136 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) es un documento normativo esencial para la homologación de vehículos de categoría L, que incluye ciclomotores, motocicletas, triciclos de motor y cuadriciclos, con un enfoque particular en los requisitos del grupo moto propulsor eléctrico. Este reglamento, vigente desde el 20 de enero de 2016, proporciona un marco regulatorio integral que abarca diversos aspectos relacionados con la seguridad y conformidad de los vehículos eléctricos. Las disposiciones clave del reglamento incluyen procedimientos para la solicitud y obtención de la homologación, requisitos de seguridad eléctrica para vehículos y sistemas de acumulación de energía eléctrica recargable (REESS). Además, establece normativas para modificaciones, ampliación de la homologación de tipo, conformidad de la producción y sanciones por incumplimiento

- J. Peón, O. Ardito y Y. Tabó, “Retrofit Latam”, Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible, ALAMOS, dic. 2020 [14]

Este informe generado por ALAMOS, Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible, entrega una guía para el retrofit de vehículos con principal enfoque en las conversiones llevadas a cabo en Latinoamérica. Otra función de este comité fue dar cuenta del estado en que se encuentra en esta materia, dicha zona y hacer revisión de cuáles son las normativas vigentes, países que tienen legislaciones al respecto, servicios técnicos para revisar estos vehículos. También entrega referentes de empresas que realizan este proceso de retrofit a nivel mundial y en LATAM.

- Ministerio de la Presidencia Panamá, Decreto Ejecutivo No 51: Que reglamenta la Ley 295 de 25 de abril de 2022, que incentiva la movilidad eléctrica en el transporte terrestre," Gaceta Oficial Digital, miércoles 15 de febrero de 2023.[15]

El nuevo reglamento emitido por el Ministerio de la Presidencia en Panamá, a través del Decreto Ejecutivo No. 51 del 15 de 2023, tiene como objetivo impulsar la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos. La normativa, reglamentando la Ley 295 de abril de 2022, aborda el vacío existente en normas técnicas y procesos de evaluación en el país para este tipo de conversiones. El reglamento establece la creación de comités técnicos encargados de elaborar documentos y buenas prácticas de normalización para la conversión de vehículos. Se busca garantizar el cumplimiento de las características técnicas de los componentes "sensitivos" a nivel nacional. Para agilizar el proceso, se sugiere la adopción temporal de normativas de otros países, aprobadas por la Secretaría de Energía, hasta que el comité técnico desarrolle la norma nacional. La Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre (ATTT) desempeñará un papel clave al establecer el procedimiento para validar las conversiones y certificar los talleres autorizados. Estos talleres deben llevar un registro de las conversiones realizadas y mantener información sobre la cantidad anual de vehículos convertidos. La iniciativa busca reducir las emisiones de efecto invernadero, mejorar la calidad del aire, combatir el cambio climático, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y fomentar la investigación y desarrollo en eficiencia energética en el transporte a través de la innovación tecnológica. Además de la conversión de vehículos, el reglamento aborda aspectos como formación académica, reciclaje de baterías usadas y la regulación de estaciones de carga, consolidando una estrategia integral para promover la adopción de vehículos eléctricos en el país.

- Ministerio de Energía, “Estrategia nacional de Electromovilidad”, Gobierno de Chile, Santiago, Chile, en. 2022, [16].

El propósito de este documento es entregar los lineamientos para el desarrollo de la electromovilidad en Chile, basado en las metas internacionales, a su vez que establece objetivos concretos a mediano y largo plazo. El presente informe establece que en el 2035 solo se venderán autos eléctricos. También señala cinco ejes estratégicos de electromovilidad definidos como: regulación y estándares, transporte público como motor de desarrollo, fomento a la investigación y desarrollo de capital humano, impulso inicial al desarrollo de la electromovilidad y transferencia de conocimiento e información.

- Decreto N°62, de 25 abril 2022, aprueba reglamento que establece requisitos para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica y modifica decreto supremo N°156, de 1990 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transportes, Santiago, Chile, [17].

Este decreto fue generado para guiar el retrofit, concepto de origen inglés que se refiere a la adición de nueva tecnología o características a los sistemas más antiguos, de vehículos de combustión a eléctricos, donde se inicia con una introducción que considera la situación actual de los precios de los vehículos eléctricos, la contaminación medioambiental y ejemplos internacionales de estos temas. El documento se estructura con una serie de artículos que establece requisitos para la transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica, dando disposición a un reglamento para esta tarea de transformación en Chile. Este documento, aunque no es una ley, si es una guía para la conversión de vehículos a eléctricos en Chile, donde guía como será el proceso de certificación de un kit para un vehículo convertido a eléctrico, y las exigencias que tendrá trabajar para poder ser aprobado y que los puedan circular por las calles los vehículos transformados a eléctricos.

1.2.2 Sistema de propulsión y control eléctrico

- S. Sakunthala, R. Kiranmayi and P. N. Mandadi, "A study on industrial motor drives: Comparison and applications of PMSM and BLDC motor drives," 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), Chennai, India, 2017, pp. 537-540, doi: 10.1109/ICECDS.2017.8390224. [28]

Este artículo de revisión ofrece una breve descripción del rendimiento y comparaciones de los motores DC sin escobillas (BLDC) y los motores síncronos de imanes permanentes (PMSM). Ambas máquinas eléctricas, tienen muchas similitudes, pero la diferencia básica es que el BLDC tiene una fuerza contraelectromotriz (BEMF) trapezoidal, mientras que el PMSM tiene una BEMF sinusoidal. Esta información se emplea en este trabajo para entender las diferencias entre estas tecnologías y a que categorías pertenecen, dado que existen bastantes similitudes en el mercado, incluso confundiendo al momento de adquirir un motor de estos.

- Ghignone, Ramiro & Giampetruzzi, Julián & Domanico, Sharon & Juárez, Cristian & Calá, Federico. (2019). Control de motores DC sin escobillas para vehículos eléctricos usando un μ C doble núcleo. *Elektron*. 3. 84-90. 10.37537/rev.elektron.3.2.86.2019. [29]

Este trabajo describe el proceso de desarrollo y verificación de un sistema de potencia para motores de corriente continua sin escobillas para vehículos eléctricos, describe el desarrollo de una unidad completa de control y potencia para motores BLDC en una e-bike. El diseño partió de un estudio de las tendencias actuales y la definición de una arquitectura capaz de cumplir con las especificaciones surgidas de ese análisis. La importancia de este trabajo para este estudio es entender cómo funciona el control de estos motores y cuál es la diferencia en el BLDC y el PMSM en su construcción del estator y por qué el back EMF es distintos entre ellos, como también visualizar la tensión en los terminales del motor y por ultimo entender el control de ancho de pulso senoidal que ocupa el controlador usado en la moto scooter.

- Juanpere Tolrà, R. Técnicas de control para motores Brushless: Comparativa entre conmutación Trapezoidal, conmutación Sinusoidal y Control Vectorial. *Ingenia-cat* – Departamento de Control de Movimiento. C./Llacuna 162, Barcelona - España. [32]

Este documento presenta las técnicas de control más utilizadas actualmente para motores Brushless basadas en el uso de sensores. Los tipos de controladores de motor se clasifican según la conmutación utilizada: Trapezoidal, Sinusoidal y Control Vectorial.

1.2.3 Sistemas de almacenamiento energético y segunda vida

- Mohammed Hussein Saleh Mohammed Haram, Jia Woon Lee, Gobbi Ramasamy, Eng Eng Ngu, Siva Priya Thiagarajah, Yuen How Lee, Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 60, Issue 5, 2021, Pages 4517-4536, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.021>. [46]

Este estudio presenta diversas aplicaciones para baterías de vehículos eléctricos (EV) de segunda vida (SLB), así como las evaluaciones y pruebas necesarias antes de su reutilización. El documento resume varios proyectos existentes relacionados con SLB en diferentes países, tipos de baterías, aplicaciones y el alcance del estudio. Se encontró que el uso de SLB no solo aborda preocupaciones ambientales relacionadas con las baterías desechadas, sino que también ofrece una excelente oportunidad para generar ingresos si se evalúa y utiliza de manera óptima. Sin embargo, se identificaron desafíos, como la falta de una evaluación estandarizada. Este estudio es importante para este trabajo por varias razones: proporciona métodos para evaluar el Estado de Salud (SOH) de las celdas, lo cual es crucial para determinar la viabilidad de reutilizar baterías de segunda vida, y ofrece una visión del tamaño del mercado de baterías de litio en la electromovilidad, ayudando a entender la escala y las oportunidades de negocio en este sector. En resumen, este documento aporta conocimientos fundamentales sobre la reutilización de baterías de segunda vida, destacando tanto las oportunidades económicas como los desafíos técnicos y ambientales. Su enfoque en la evaluación estandarizada y la viabilidad económica es especialmente relevante para la implementación práctica de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de segunda vida.

- A. Pérez, V. Quintero, H. Rozas, D. Jimenez, F. Jaramillo, M. Orchard, "Lithium-Ion Battery Pack Arrays for Lifespan Enhancement," Department of Electrical Engineering, University of Chile, Santiago, Chile. Emails: aramis.perez@ing.uchile.cl, vquintero@ing.uchile.cl, heraldo.rozas@ing.uchile.cl, djimenezjimenez@ing.uchile.cl, francisco.jaramillo@ing.uchile.cl, morchard@ing.uchile.cl ISBN: 978-1-5386-3123-2/17/\$31.00 ©2017 IEEE [47]

Este trabajo aborda los desafíos de optimizar la vida útil y la eficiencia económica de los paquetes de baterías de iones de litio para diversas aplicaciones de almacenamiento de energía. A menudo enfrentan limitaciones para cumplir con requisitos específicos de potencia y energía, lo que ha llevado a la exploración de diseños modulares con diferentes calificaciones de capacidad. La técnica propuesta se centra en mejorar la vida útil del dispositivo de almacenamiento de energía mediante la gestión de la capacidad y el estado de carga (SOC) de cada módulo de batería. El paquete de batería modular se controla para satisfacer la demanda eléctrica, asegurando rangos óptimos de SOC. El estudio demuestra que este enfoque no solo prolonga la vida útil de la batería, sino que también logra ahorros económicos en comparación con un paquete de batería de un solo módulo.

- J. Castro, C. Flores, D. Gonzalez, V. Quintero, A. Perez, "From the Air to the Ground: An Experimental Approach to Assess LiPo Batteries for a Second Life," in 2022 Prognostics and Health Management Conference (PHM-2022 London), San José, Costa Rica, DOI: 10.1109/PHM2022-London52454.2022.00092. [48]

Este artículo aborda la preocupación sobre el tratamiento y disposición de las baterías de iones de litio al llegar al final de su vida útil (EoL). Aunque estas baterías pueden haber alcanzado su EoL para su aplicación original, el documento destaca la importancia de desarrollar pruebas simples para comprender cómo una batería degradada aún puede transferir su energía almacenada a aplicaciones menos exigentes. Se presenta un enfoque práctico al reutilizar baterías de drones para crear pequeños bancos de energía, proponiendo un procedimiento para evaluar la capacidad de celdas degradadas en transferir energía a otras aplicaciones con menor estrés. El estudio sugiere que ajustar parámetros como la tasa de corriente de descarga puede extender la utilidad de las baterías antes de desecharlas.

- A. Pérez et al., "Modelling the Degradation Process of Lithium-Ion Batteries When Operating at Erratic State-of-Charge Swing Ranges," in Proceedings of 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT'17), April 5-7, 2017, Barcelona, Spain. [49]

El artículo aborda la problemática de la degradación de la capacidad en baterías de iones de litio, señalando que los informes de los fabricantes se centran en ciclos de carga/descarga regulares, lo cual es inaplicable a escenarios de la vida real donde dichos ciclos son irregulares. El estudio presenta una metodología para modelar la degradación de estas baterías cuando se someten a ciclos erráticos. La propuesta utiliza conceptos como la oscilación del SOC, el rango de oscilación medio y la eficiencia coulombica, basándose en datos proporcionados por el fabricante bajo ciclos regulares.

- Michelini, E.; Höschele, P.; Ratz, F.; Stadlbauer, M.; Rom, W.; Ellersdorfer, C.; Moser, J. Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects. *Energies* 2023, 16, 2830. <https://doi.org/10.3390/en16062830> [50]

Este documento aborda el potencial del mercado para las baterías de segunda vida provenientes de vehículos eléctricos, destacando su aplicación en micromovilidad y en vehículos de mayor envergadura como las grúas horquillas (lift). Se presenta una tabla de puntuaciones para determinar la viabilidad de estas baterías en la industria. La investigación tiene dos objetivos principales: elaborar una lista de posibles aplicaciones para las baterías de segunda vida e identificar las más prometedoras mediante una evaluación técnica, económica y legal. Aunque no se consideraron aspectos técnicos como el número de ciclos o el rango de estado de carga (SOC) en esta fase, estos podrían ser relevantes en futuras investigaciones sobre la vida útil restante (RUL). Los criterios evaluados incluyen la tasa máxima de descarga, la tasa máxima de carga, los requerimientos de capacidad, el grado de movilidad (estacionario, semiestacionario, móvil), la temperatura de operación y almacenamiento, los patrones de administración de batería (BM) aplicables y las consideraciones legales. Se identificó un número significativo de posibles aplicaciones de segunda vida a través del estudio de la literatura científica y la recopilación de ideas innovadoras mediante entrevistas con expertos.

- Haram, Mohammed Hussein Saleh Mohammed & Sarker, Md & Ramasamy, Gobbi & Ngu, Eng. (2023). Second Life EV Batteries: Technical Evaluation, Design Framework, and Case Analysis. IEEE Access. 11. 138799-138812. 10.1109/ACCESS.2023.3340044. [51]

Este estudio es altamente relevante para esta tesis debido a su enfoque práctico en la reutilización de baterías de vehículos eléctricos (EV) de segunda vida. El documento proporciona un marco detallado para la reutilización de baterías, lo cual es directamente aplicable al objetivo de esta investigación. El proceso descrito, que incluye el desmontaje y prueba de un conjunto de baterías de un vehículo eléctrico Nissan para crear un sistema de iluminación solar de baja demanda (SBL), ofrece una guía valiosa para la implementación práctica de baterías de segunda vida en sistemas similares. La metodología utilizada para caracterizar las celdas de segunda vida es particularmente útil para esta tesis. Al determinar parámetros críticos como el Estado de Salud (SOH) y la resistencia interna, se puede asegurar la idoneidad de las baterías para su reutilización en aplicaciones específicas. Este enfoque es esencial para maximizar la eficiencia y vida útil del sistema propuesto en esta investigación. El estudio demuestra que las baterías de segunda vida con un SOH del 48.43% son adecuadas para aplicaciones de baja demanda, como sistemas de iluminación solar. Esta conclusión es relevante para esta tesis, ya que ayuda a identificar aplicaciones apropiadas para las baterías reutilizadas, asegurando que se implementen en contextos donde su rendimiento sea óptimo y sostenible. Además, la

evaluación técnica del sistema de iluminación solar con baterías y el análisis de costos asociados proporcionan una base sólida para evaluar la viabilidad económica del proyecto. La información sobre costos por kWh y los costos asociados permitirá realizar un análisis económico detallado del sistema propuesto en esta tesis, facilitando decisiones informadas y estratégicas.

El uso de un sistema de gestión de batería (BMS) Daly, común en el mercado chino, descrito en el estudio, también es relevante para esta investigación. Esto puede guiar la selección de un BMS adecuado, asegurando una gestión eficiente y segura de las baterías. La configuración del paquete en 5S 3P con una capacidad de 3.6 kWh puede servir como referencia para el diseño del sistema de esta tesis. Finalmente, el análisis de las relaciones entre la degradación y la resistencia interna de las baterías proporcionado en el estudio es valioso para optimizar el rendimiento del sistema a lo largo del tiempo. Comprender estas relaciones permitirá anticipar y mitigar problemas potenciales.

- Rimpas, D.; Kaminaris, S.D.; Piromalis, D.D.; Vokas, G.; Orfanos, V.A. Impact of Lithium Battery Recycling and Second-Life Application on Minimizing Environmental Waste. *Environ. Sci. Proc.* 2023, 26, 41. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026041> [52]

Este estudio analiza el impacto ambiental y económico de la reutilización y reciclaje de baterías de litio de vehículos eléctricos, destacando que estas baterías, con una vida útil inicial de 10 a 15 años, pueden extenderse hasta 30 años en aplicaciones de segunda vida si se remanufacturan adecuadamente. Al reutilizar estas baterías, se reduce la necesidad de extraer nuevos recursos, lo que mitiga el impacto ambiental asociado a la minería y producción de litio, níquel, cobalto y manganeso. La investigación subraya que la reutilización de baterías no solo disminuye los residuos ambientales, sino que también reduce el costo y los impactos ecológicos de la producción de nuevas baterías, proporcionando un marco práctico y sostenible que es directamente aplicable a los objetivos de esta tesis.

- Montes, Tomás, Maite Etxandi-Santolaya, Josh Eichman, Victor José Ferreira, Lluís Trilla, and Cristina Corchero. 2022. "Procedure for Assessing the Suitability of Battery Second Life Applications after EV First Life" *Batteries* 8, no. 9: 122. <https://doi.org/10.3390/batteries8090122> [53]

Este artículo explora diversas configuraciones para la reutilización de baterías de segunda vida, incluyendo el uso directo de paquetes, apilamiento de paquetes, uso directo de módulos,

reacondicionamiento con módulos y reacondicionamiento con celdas. Al comparar estas configuraciones con los requisitos técnicos para aplicaciones de segunda vida, el artículo permite a los lectores comprender rápidamente las ventajas y desventajas de cada opción y adquirir conocimientos prácticos sobre la mejor manera de implementar baterías de segunda vida para aplicaciones específicas.

El análisis detallado de estas configuraciones proporciona una guía clara para seleccionar la mejor estrategia de reutilización de baterías, teniendo en cuenta factores como el rendimiento, la eficiencia y la viabilidad técnica. Este enfoque es particularmente útil para aquellos interesados en maximizar el valor residual de las baterías de vehículos eléctricos (EV) y extender su vida útil a través de aplicaciones de segunda vida.

La metodología descrita en el artículo es relevante para este trabajo, ya que proporciona un marco para evaluar la idoneidad de diferentes configuraciones de baterías de segunda vida, lo que puede ser aplicable a la implementación de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de segunda vida. Además, la investigación destaca la importancia de adaptar las configuraciones de baterías a los requisitos específicos de cada aplicación, optimizando así su desempeño y contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia energética.

- Hossain, Eklas, et al. "A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers & Potential Solutions, Business Strategies, and Policies." *IEEE Access*, vol. 7, 2019, pp. 63327-63352. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2917859. [54]

Este documento es una revisión completa del estado del arte de las baterías de segunda vida hasta el 2019, abordando su estado actual, aplicaciones, impactos, barreras y posibles soluciones, estrategias de negocio y políticas. El aporte principal de este trabajo radica en los modelos de baterías, explorando el comportamiento de parámetros internos como el Estado de Salud (SOH), Estado de Carga (SOC), y Resistencia Interna, entre otros, a través de gráficos que ilustran su evolución en el tiempo para baterías de vehículos eléctricos.

Además, la investigación se enfoca en la creación de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de segunda vida (SLBESS) para respaldo energético, lo cual es comparable al uso propuesto en este trabajo. Aunque los componentes y la construcción son similares, incluyendo el uso

de sistemas de gestión de baterías (BMS), los métodos difieren al emplear convertidores para distintos fines. En el ámbito de los modelos de negocio, se discuten los posibles usos de las baterías de segunda vida, asignando un valor basado en su SOH, y considerando los costos asociados a su producción y venta. Este análisis proporciona una base sólida para entender y aplicar tecnologías de baterías de segunda vida en sistemas de almacenamiento energético, similar a los objetivos de este trabajo.

1.2.4 Discusión

Las normativas que regulan el retrofit muestran una clara diferencia entre la Unión Europea y América Latina. En la Unión Europea, existen reglamentos bien establecidos que respaldan la adopción de estas prácticas para la reutilización de vehículos, basados en trabajos de varios ciclos de vida, como se observa en el Reglamento N° 136 de la CEPE/ONU [3]. Este reglamento proporciona un marco integral que abarca la seguridad y conformidad de los vehículos eléctricos, incluyendo requisitos específicos para el grupo motopropulsor eléctrico y el sistema de acumulación de energía eléctrica recargable (REESS). En contraste, en América Latina, se han avanzado documentos en este ámbito, como el informe "Retrofit Latam" de ALAMOS [14], que ofrece una guía sobre el estado de las normativas en la región y destaca la necesidad de servicios técnicos para la revisión de vehículos convertidos.

Es destacable el caso de Chile, donde se han establecido decretos ejecutivos y se ha desarrollado una estrategia clara de electromovilidad como política pública del país. Sin embargo, el Decreto N°62 [17], que proporciona directrices específicas para la transformación de vehículos de combustión interna a eléctricos, aún no ha sido aprobado, lo que muestra un estancamiento en algunos procesos de aprobación necesarios para que se convierta en ley. Este decreto aborda desde los requisitos técnicos hasta los procedimientos de homologación y certificación, y su aprobación sería crucial para avanzar en la regulación del retrofit en Chile. Esto contrasta con el Decreto Ejecutivo No. 51 de Panamá [15], que aún se encuentra en fases iniciales de regulación, sugiriendo la adopción temporal de normativas de otros países hasta que se desarrollen normas nacionales completas.

En cuanto a la propulsión eléctrica, especialmente los motores rotatorios de imanes permanentes como el PMSM y el BLDC, existen estudios que describen las tecnologías disponibles en el mercado y su aplicación en vehículos de electro y micromovilidad. Por ejemplo, el artículo de Sakunthala et al. [28] proporciona una comparación entre los motores PMSM y BLDC, destacando

las diferencias en la fuerza contraelectromotriz (BEMF) y su impacto en el rendimiento. Además, el trabajo de Ghignone et al. [29] describe el desarrollo de un sistema de control para motores BLDC, relevante para comprender el funcionamiento interno del controlador utilizado en esta tesis.

Las baterías de litio son un tema relevante a nivel mundial, y es alentador observar la gran cantidad de literatura creada en los últimos 10 años sobre su gestión post vida útil en los vehículos eléctricos. Estudios como el de Haram et al. [46] y Hossain et al. [54] abordan diversos aspectos, como la reutilización, la degradación, los métodos de evaluación de su vida útil y los modelos de negocios asociados. Por ejemplo, Haram et al. [46] discuten la viabilidad técnica y económica de utilizar baterías de segunda vida en aplicaciones menos exigentes, mientras que Hossain et al. [54] proporcionan un análisis detallado del estado actual y las estrategias de negocio para las baterías de segunda vida.

Sin embargo, se ha encontrado una laguna en la información sobre baterías de segunda vida en la micromovilidad, que es el enfoque de este trabajo. La investigación de Montes et al. [53] sobre la reutilización de baterías de segunda vida en diferentes configuraciones y aplicaciones proporciona una guía útil, pero no aborda específicamente la micromovilidad. En consecuencia, si se confirma la hipótesis, este estudio podría proporcionar un valioso ejemplo en esta categoría, especialmente considerando el creciente número de vehículos de este tipo en circulación.

Hipótesis de Trabajo

Es posible factible realizar la conversión de una moto scooter de motor de combustión interna a operación 100% eléctrica, siguiendo de manera general los parámetros de las normativas chilenas e internacionales de retrofit y utilizando los espacios disponibles del vehículo para una adaptación segura y robusta.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Conversión de una moto scooter de motor de combustión interna a propulsión 100% eléctrica, guiándose de las normativas internacionales y nacionales sobre el retrofit y realizar una evaluación experimental con la propulsión eléctrica en un entorno de pruebas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1- Analizar las normativas y buenas prácticas internacionales relacionadas con la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos.
- 2- Analizar los espacios y elementos disponibles para integrar los nuevos componentes de la propulsión eléctrica
- 3- Diseñar la conversión integral del vehículo, reemplazando el motor de combustión interna por un sistema eléctrico de alto rendimiento.
- 4- Diseñar un sistema de almacenamiento de energía eléctrica con baterías de segunda vida.
- 5- Pruebas experimentales para evaluar el desempeño del equipo convertido.

1.4. Alcances y limitaciones

- 1- Trabajo incluye la conversión de una moto scooter Honda Dio Sr de 50CC de motor de combustión interna disponible en el centro de energía UCSC.
- 2- Realización de pruebas experimentales del vehículo convertido serán en el interior del Campus San Andres de a UCSC.
- 3- Las limitaciones presupuestarias y de tiempo podrían afectar la extensión de las pruebas y la capacidad de adquirir componentes de alta gama.
- 4- La conversión podría no cumplir con algunas normativas específicas, lo que podría requerir ajustes adicionales para cumplir completamente con la legislación chilena.
- 5- La moto scooter convertida podría tener un alcance limitado debido a restricciones de la capacidad de la batería y limitaciones de espacio para albergar baterías más grandes.

6- Las condiciones de uso y mantenimiento posteriores a la conversión podrían afectar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de la moto scooter eléctrica.

7- Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales podrían variar en comparación con situaciones del mundo real debido a las limitaciones de los entornos de prueba.

1.5. Temario y Metodología

El enfoque metodológico de este trabajo se inicia con un estudio exhaustivo de la normativa internacional sobre la conversión de vehículos a eléctricos, seguido por el análisis detallado de la motocicleta a convertir. Se examinan sus componentes disponibles y parámetros para seleccionar una propulsión eléctrica adecuada. Posteriormente, se procede al diseño y fabricación del sistema de energía, concluyendo con pruebas preliminares del vehículo.

Capítulo 2: Normativa Internacional y Nacional para la Conversión de Moto Scooter a Propulsión Eléctrica

Este capítulo se enfoca en estudiar las regulaciones y normativas asociadas a la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos en distintos países alrededor del mundo. Las conversiones vehiculares están en aumento, representando una alternativa económicamente viable y sostenible en la movilidad eléctrica. Este análisis proporcionará un marco legal para el proceso de conversión en América del Sur.

Capítulo 3: Proceso de Conversión de Moto Scooter

Aquí se analizan los parámetros de la motocicleta Honda Dio, objeto de la conversión, para identificar sus componentes y espacios útiles. Se procede al desarme para seleccionar las tecnologías de propulsión eléctrica más adecuadas, detallando cada una de ellas.

Capítulo 4: Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica Recargable (REES)

El diseño y fabricación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica recargable (REES) para la motocicleta convertida es el objetivo de este capítulo. Se emplearán celdas de segunda vida, conocidas como Second Life Battery (SLB). Se desarrolla una simulación en Matlab para ver cuál es la autonomía máxima con el espacio disponible debajo del asiento del conductor.

Capítulo 5: Evaluación Experimental de la Motoscooter Convertida

En este capítulo se pone a prueba la moto scooter Honda Dio transformada a eléctrica en un entorno controlado dentro de la UCSC. Durante las pruebas, se captura una serie de datos que luego se grafican y se analizan. Los resultados obtenidos se comparan con las simulaciones y datos previamente mencionados, proporcionando una descripción del funcionamiento interno del equipo de manera general.

Capítulo 6: Conclusión

En este capítulo se presenta un resumen del trabajo de conversión a propulsión eléctrica y de las discusiones de cada capítulo. Además, se describen los resultados finales, destacando el buen desempeño de la moto scooter y la obtención de datos en tiempo real del funcionamiento del vehículo. También se realizan comparaciones de los parámetros y se proponen trabajos futuros para continuar optimizando y mejorando el sistema.

Capítulo 2. Normativa Internacional y Nacional para la Conversión de Moto Scooter a propulsión eléctrica

2.1. Introducción

Este capítulo se centra en analizar las regulaciones y normativas relacionadas con la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos (EVs) en distintos países de todo el mundo. Las conversiones de vehículos son una práctica en crecimiento a medida que la industria de la movilidad se adentra en la era de la electrificación. La transformación de vehículos existentes en eléctricos puede ofrecer una alternativa económicamente viable y sostenible a la compra de vehículos eléctricos nuevos, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y fomenta la movilidad eléctrica.

Sin embargo, el proceso de conversión está sujeto a regulaciones gubernamentales que varían según el país. En este capítulo, examinamos las regulaciones federales y estatales en varios países, destacando ejemplos en América del Norte, Europa y Australia. Además, analizamos los procesos de homologación y cómo se supervisan las conversiones, lo que proporciona una visión general de las dificultades y desafíos que enfrentan tanto los entusiastas como las empresas dedicadas a la conversión de vehículos.

Dado que la conversión de vehículos a eléctricos se encuentra en diferentes etapas de desarrollo en todo el mundo, también exploramos el estado del retrofit en América Latina, prestando especial atención al caso de Chile, que ha implementado normativas específicas para la transformación de vehículos de combustión a propulsión eléctrica.

2.2. Normativas

2.2.1 Normativa Unión Europea

La Unión Europea ha desarrollado estándares y regulaciones para la transformación de vehículos de combustión interna a eléctricos. Sin embargo, no existe un único estándar general que abarque todas las posibles conversiones. En su lugar, las regulaciones y directrices se encuentran distribuidas en varios reglamentos y normativas que cubren diferentes aspectos del proceso de conversión y la homologación de vehículos convertidos.

Los estándares globales para vehículos de motor y vehículos eléctricos son responsabilidad del Foro Mundial para la Armonización de Vehículos, conocido por las siglas “WP 29” bajo la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE). El objetivo de esta comisión es establecer regulaciones armonizadas a nivel mundial para los vehículos de motor, con el fin de eliminar las barreras al comercio internacional, trabajar la seguridad vial y proteger el medio ambiente. Las acciones de la comisión se basan en el Acuerdo de 1958, en virtud del cual la Unión Europea y otros países acuerdan aplicar un conjunto común de especificaciones técnicas a los vehículos de motor fabricados o vendidos dentro de sus países, permitiendo la entrada a vehículos fabricados en otros países que cumplan con esas especificaciones.

Aproximadamente son 130 reglamentos donde se especifican los requisitos técnicos que abordan temas como la resistencia de choques, compatibilidad ambiental, normativa de la instrumentación, el sistema de iluminación, etc. Para que los vehículos cumplan las reglamentaciones, los fabricantes deben enviar estos equipos a un servicio técnico autorizado o planta de revisión técnica para la evaluación y posterior aprobación.

Uno de los reglamentos más importantes generados por la WP 29 son el Reglamento No. 100 (R100) y el reglamento No. 136 (R136), están ambos relacionados con la homologación y regulación de vehículos eléctricos, Aunque se aplica principalmente a vehículos eléctricos nuevos, también establece requisitos de seguridad eléctrica que son relevantes para vehículos convertidos, donde este último es de mayor interés para este documento. A continuación, se detalla la relación y las diferencias entre ambos:

UN-ECE R100 [2]: Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos con respecto a los requisitos específicos para el tren de fuerza eléctrico, con un enfoque que se centra en los requisitos de seguridad para vehículos eléctricos de carretera en general, independientemente de la categoría específica del vehículo, trata aspectos como la seguridad eléctrica, la protección contra descargas eléctricas, el aislamiento del sistema eléctrico, y los requisitos de los sistemas de acumulación de energía eléctrica (baterías).

UN R136 [3]: Reglamento estándar que consiste en la regulación internacional de motocicletas eléctricas "sobre disposiciones uniformes relativas a la aprobación de vehículos de categoría L con respecto a requisitos específicos para el tren de potencia eléctrico". Esta norma de regulación consta de la Seguridad Eléctrica y la Seguridad del Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica Recargable (REESS).

Los vehículos de categoría L se refieren a vehículos integrados con menos de cuatro ruedas funcionales, se describen de la siguiente manera:

L1: Vehículos de dos ruedas con una cilindrada que no exceda los 50 cc y una velocidad de diseño máxima no mayor a 40Km/h.

L2: Vehículos de tres ruedas con una capacidad de cilindrada que no exceda los 50 cc y una velocidad de diseño máxima no mayor a 40 Km/h.

L3: Vehículos de dos ruedas con una capacidad de cilindrada mayor a los 50 cc o una velocidad de diseño superior a 40 Km/h.

L4: Vehículos de tres ruedas colocadas en posición asimétrica en relación con el eje longitudinal medio, con una capacidad de cilindrada mayor a los 50 cc o una velocidad de diseño superior a 40 Km/h.

L5: Vehículos de tres ruedas colocadas en posición asimétrica en relación con el eje longitudinal medio, con una carga máxima que no exceda los 1.000 Kg. y una capacidad de cilindrada mayor a los 50 cc. o una velocidad de diseño superior a los 40Km/h.

Se define estas categorías dado que, será de importancia para este trabajo, como también los países de la EU, basan sus normativas en los documentos emitidos por la W29.

Las pruebas de seguridad se basan en los anexos de la norma europea R136, aquí algunos ejemplos relevantes:

1. Anexo 3 sistema de pruebas de aislamiento
2. Anexo 4A Método de medición de la resistencia de aislamiento para pruebas basadas en vehículos.
3. Anexo 4B Método de medición de la resistencia de aislamiento para pruebas basadas en componentes de un REESS
4. Anexo 6 - Parte 2 Características esenciales de REESS
5. Anexo 8 - Apéndice Procedimiento para realizar un ciclo estándar.
6. Anexo 8C Prueba de caída mecánica para REESS extraíble
7. Anexo 8G Protección contra sobrecarga
8. Anexo 8H Protección contra sobre descarga
9. Anexo 8I Protección contra sobrecalentamiento

2.2.2 Francia

El gobierno francés ha publicado normas dentro de una orden [4] que permiten convertir coches, furgonetas y motocicletas con motor de gasolina o diésel en vehículos eléctricos, este documento del Journal Officiel de la République Française, fechado el 3 de abril de 2020, presenta un arrêté (decreto) del Ministerio de la Transición Ecológica y Solidaria de Francia. Este decreto establece las condiciones para la transformación de vehículos con motorización térmica a motorización eléctrica mediante batería o pila de combustible. Esta orden se divide en 12 artículos, enfocados en definir los pasos a seguir de los servicios técnicos profesionales que realizaran las transformaciones, por esto el alcance incluye a fabricantes, instaladores y usuarios de dispositivos de conversión de vehículos. El objetivo es definir las condiciones técnicas y administrativas para homologar estas transformaciones y garantizar su eficacia y seguridad en los vehículos. Se destaca que, después de 24 meses de la entrada en vigor del decreto, se llevará a cabo una evaluación para considerar posibles modificaciones. Todos los vehículos térmicos (gasolina o diésel) matriculados en Francia desde hace más de 5 años pueden convertirse en vehículos eléctricos (de batería o de hidrógeno). Esto se aplica a turismos, vehículos comerciales, camiones, autobuses, pero también a dos o tres ruedas con más de 3 años.

Para permitir que los vehículos en servicio originalmente diseñados para funcionar con un

motor térmico funcionen con un motor eléctrico de batería o de pila de combustible, los fabricantes ofrecen dispositivos de conversión de vehículos (retrofit eléctrico). Para garantizar una eficiencia mínima y una instalación segura en los vehículos, esta orden establece las disposiciones técnicas y administrativas para aprobar estas transformaciones en los vehículos. Está prevista una evaluación de la aplicación de los requisitos a los 24 meses de la entrada en vigor del texto para valorar la conveniencia de introducir modificaciones. Dentro del proceso de transformación sólo instaladores profesionales establecidos en Francia y autorizado por un fabricante de dispositivos (o kits) de conversión podrá instalar el kit homologado en el vehículo, no es necesario que se certifique el automóvil convertido, porque son los kits de conversión los que están certificados para un determinado tipo de vehículo. Una vez colocado el kit, el instalador aplica una placa de transformación al vehículo convertido, junto a la del fabricante. Incluirá el nombre del fabricante del kit, el número VIN del vehículo, el número de homologación del prototipo y el motivo.

En temas de costos y Ayudas financieras El precio de la conversión eléctrica varía según el modelo del vehículo y su autonomía. Los costos iniciales oscilan generalmente entre 8,000 y 20,000 euros. A pesar de estos costos, se espera que los propietarios recuperen parte de la inversión a lo largo del tiempo debido a la reducción de los costos operativos y de mantenimiento de un vehículo eléctrico en comparación con un vehículo de combustión. Además, el gobierno francés ofrece primas de conversión para alentar la adopción de vehículos eléctricos convertidos. Estas primas varían según la situación financiera del propietario y el tipo de vehículo, por ejemplo la prima de modernización eléctrica (prima de conversión), Para un coche, el importe es de 2.500€ o 5.000€ según su renta fiscal de referencia.

Para ser beneficiario se debe ser mayor de edad, tener su lugar de residencia en Francia, haber hecho que un profesional autorizado haya convertido el motor de combustión interna de su vehículo en un motor de batería eléctrica o de pila de combustible, haber comprado su vehículo durante al menos 1 año, no se venda dentro del año siguiente a su compra o antes de haber recorrido al menos 6.000 km. Por lo tanto, se deberá conservar el vehículo convertido durante al menos un año antes de la reventa

La autonomía de los vehículos convertidos se estima en alrededor de 100 kilómetros con una batería de 15 kWh. Esta cifra se ajusta para satisfacer las necesidades de aquellos que utilizan sus vehículos principalmente para desplazamientos diarios al trabajo, considerando la distancia media en Francia de aproximadamente 26 kilómetros.

En tema de Reciclaje y Economía Circular, Las partes del motor de los vehículos transformados se reciclan para garantizar que no emiten más dióxido de carbono. Las piezas auxiliares, como radiadores y alternadores, se venden como repuestos. Esta estrategia está alineada con un enfoque de economía circular, lo que significa que se busca aprovechar al máximo los recursos existentes y reducir los residuos. En temas de sostenibilidad el anexo 3 indica lo siguiente “El dispositivo de conversión deberá diseñarse, fabricarse e instalarse de forma que se respeten los requisitos de esta orden durante toda su vida en condiciones normales de uso. En particular, el dispositivo de conversión debe ser duradero. Con esto queremos decir que debe estar diseñado, fabricado y destinado a ser instalado de forma que ofrezca una resistencia razonable a la corrosión, oxidación, vibraciones, esfuerzos mecánicos y otros ataques a los que esté expuesto en las condiciones normales de uso.” Por lo que se busca que no exista la obsolescencia programada.

Dentro del anexo 3 “requisitos técnicos relativos a la transformación de vehículos“, está enfocado a los talleres profesionales que implementara el kit a los vehículos, donde algunos puntos importantes a mostrar son:

4.1. La actualización de los sistemas eléctricos debe cumplir con las normas obligatorias para la homologación de vehículos (reglamentos CE y/UE y UNECE).

4.2. Los dispositivos deberán garantizar el cumplimiento inicial de los requisitos técnicos pertinentes de los vehículos en los que se instalen.

4.3 La potencia del grupo motopropulsor eléctrico deberá estar dentro del rango cerrado del 65% - 100% (40% - 100% para vehículos de las categorías L1e a L5e) de la potencia máxima del motor de origen endotérmico.

4.4. Las dimensiones del vehículo básico (largo, ancho, alto, distancia entre ejes, voladizo, vías, etc.) no deben modificarse durante la conversión.

4.5. La masa máxima técnicamente admisible del vehículo, la masa máxima en carga admisible del conjunto, así como las cargas máximas admisibles sobre cada uno de los ejes no deberán verse modificadas por la transformación.

4.6. El peso en vacío del vehículo en orden de marcha del vehículo después de la transformación no puede exceder más o menos el 20% del peso en vacío en orden de marcha del vehículo base.

4.7. La distribución del peso en vacío en orden de marcha entre los ejes después de la transformación no puede exceder la distribución entre los ejes del vehículo base en más o menos un 10%. [4]

En temas de pruebas de seguridad y impactos este anexo posee una serie de ensayos de acuerdo a normativas de la UNECE, que se deberán cumplir luego de 3 años desde que entra en vigor el decreto o la transformación e 100 unidades de vehículos por fabricante.

El Estado francés ha implementado una plataforma [5] dedicada a educar y responder dudas sobre la modernización de vehículos hacia la tecnología eléctrica. Esta plataforma tiene como objetivo proporcionar respuestas concisas y claras a diversas preguntas sobre la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos, conocido como retrofit. A través de esta herramienta, se busca motivar y facilitar la transición a esta tecnología, ofreciendo a los ciudadanos información detallada sobre el proceso y sus beneficios. Desde el 4 de abril de 2020, en Francia se autoriza la electrificación de vehículos térmicos con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes. El retrofit implica la sustitución del motor de combustión y el depósito de combustible por un motor eléctrico y una batería. Esta práctica no solo contribuye a la reducción de emisiones, sino que también prolonga la vida útil de los vehículos existentes, promoviendo una movilidad más sostenible. La plataforma del Estado francés está diseñada para proporcionar respuestas resumidas y efectivas a las preguntas comunes sobre la modernización de vehículos. Dado que las situaciones pueden variar significativamente de un modernizador a otro, se recomienda a los interesados ponerse en contacto con una empresa especializada en retrofit. Estas empresas pueden ofrecer información precisa y adaptada a las necesidades específicas de cada solicitante y tipo de vehículo, asegurando así una transición efectiva y adecuada a la movilidad eléctrica.

2.2.3 España

En España, la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos enfrenta una serie de desafíos que dificultan su adopción, a diferencia de países como Francia y el Reino Unido, donde estas iniciativas prosperan.

Actualmente, la homologación de coches eléctricos transformados en talleres de retrofit en España está regulada en parte por el Real Decreto 866/2010 [6] el cual regula los procedimientos de homologación de vehículos en España, estableciendo los requisitos técnicos y administrativos necesarios para la homologación de vehículos nuevos y la adaptación de vehículos ya en circulación. Esta normativa se aplica a todas las reformas realizadas en vehículos matriculados en España, incluyendo modificaciones en la estructura, el sistema de transmisión, los sistemas de frenado, la suspensión y, en particular, la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos. Para realizar estas reformas, los propietarios deben presentar una solicitud de homologación ante una entidad de inspección técnica de vehículos (ITV), acompañada de un proyecto técnico detallado elaborado por un ingeniero cualificado. La ITV llevará a cabo una inspección detallada del vehículo reformado, que puede incluir ensayos de funcionamiento y seguridad, para verificar el cumplimiento de los requisitos legales. Si el vehículo cumple con todos los estándares, se emitirá un certificado de conformidad que permitirá su homologación y posterior registro y matriculación. En el contexto de la conversión de una moto scooter a eléctrica, este decreto proporciona el marco legal necesario para asegurar que la transformación se realice de acuerdo con los estándares de seguridad y emisiones, garantizando así que el vehículo reformado cumpla con las normativas vigentes.

El re-acondicionamiento debe ser realizado por profesionales certificados. En España hay tres empresas especializadas en convertir coches a eléctricos: *Elektrum Cars*, *Little Cars* y *e-Coche*. La AECONVE (Asociación Española para la Conversión de Vehículos Eléctricos) y empresas Elektrum Cars lideran los procesos de retrofit en el país. Sin embargo, los usuarios se ven obligados a enfrentar costos considerables asociados a la homologación de cada unidad individualmente, por lo mismo estas empresas están trabajando para homologar kits específicos para un modelo de vehículo en particular, donde ya tienen a la venta algunos de estos.

El Gobierno español ha aprobado un Real Decreto que asigna 400 millones de euros en subvenciones para la descarbonización del transporte profesional por carretera. Estas subvenciones buscan transformar las flotas de transporte de pasajeros y mercancías hacia tecnologías más sostenibles. El programa estará vigente hasta el 30 de abril de 2024 y comenzará con la transferencia inmediata de 174 millones de euros a las Comunidades Autónomas, con la posibilidad de aumentar los fondos según la demanda. [7]. Las ayudas se destinarán a empresas y autónomos del sector del transporte y se otorgarán como subvenciones fijas por vehículo, dependiendo de la empresa, la clase y la motorización del vehículo. También se subvencionarán puntos de recarga eléctrica para vehículos pesados.

El objetivo principal de estas subvenciones es impulsar la sostenibilidad y la digitalización de las flotas de vehículos pesados, mejorar la calidad del aire y promover tecnologías de propulsión limpias. Las subvenciones se destinan, así, a la inversión en la transformación de las flotas de transporte por carretera de viajeros y mercancías de empresas privadas prestadoras de servicios de transporte, excluidas las de titularidad municipal, así como de empresas que realicen transporte privado complementario, y a la instalación de puntos de recarga para esos vehículos pesados. Esto incluye la transformación de vehículos existentes mediante el "retrofit" para convertirlos en vehículos de emisiones cero, ya sean eléctricos o de hidrógeno, siempre que cumplan con los estándares de emisiones contaminantes para vehículos pesados, no incluyendo a los autos de uso personal. También se fomenta la adquisición de vehículos de energías alternativas y la instalación de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.

2.2.4 Alemania

En Alemania se ha logrado un avance significativo en la transformación de vehículos tradicionales a eléctricos, con empresas especializadas en Retrofit, para este caso no se pudo encontrar un documento de guía de retrofit en internet, pero se tiene un gran ejemplo de empresa, gracias a un novedoso flujo de trabajo y al diseño de su batería, una empresa alemana llamada EREVOLT [8] cree que puede reducir el tiempo de espera de los clientes a tan solo ocho horas. Esta empresa puede convertir hasta 42 modelos diferentes de los principales fabricantes de automóviles, incluidos el Volkswagen Golf y el Polo, el Audi A3 y el Seat León, con un kit de talla única.

La empresa afirma que, por lo general, se tarda una media de un día en completar el proceso, el cual incluye desmontar el viejo bloque motor del coche y sustituirlo por su tecnología patentada de baterías y bastidor del motor, así como la digitalización completa del vehículo. Con un coste de entre 12.000 y 15.000 euros para completar el trabajo, el precio puede ser accesible para muchos consumidores que actualmente no pueden permitirse comprar un nuevo vehículo eléctrico. Aunque la velocidad es clave para que el proceso de conversión sea escalable, la configuración actual está pensada para adaptarse a una serie de modelos de marcas de coches concretas.

El equipo de la empresa está preparado para enfrentar el reto de un cliente que quiera adaptar un vehículo totalmente distinto, volviendo a la pizarra de diseño. No existe una solución única que sirva para vehículos concretos o un grupo de vehículos. Si se trata de un vehículo nuevo, es necesario replantearse qué debe cambiarse. Por lo tanto, el coche debe ser sostenible, no solo en teoría, sino en

la práctica, permitiendo su utilización en una economía circular y su actualización futura con una nueva batería.

Prolongar el ciclo de vida de los vehículos de manera sostenible y con una perspectiva de economía circular proporciona a una PYME como e-Revolt una capacidad de adaptación que la mayoría de los grandes fabricantes no posee. La duración actual de la batería proporciona a los coches convertidos por e-Revolt una autonomía estimada de 250 a 300 km con una sola carga, aunque se están desarrollando mejoras para aumentar este rendimiento.

2.2.5 Reino Unido

En el Reino Unido, la conversión de vehículos de combustión interna (CI) a eléctricos (EV) es legal, bajo la condición de que se cumplan estrictos requisitos de seguridad y se complete un registro de vehículo con el gobierno [9], incluso se puede asegurar el vehículo, pero existe la posibilidad de que aumente la cobertura de este.

Desde la página del gobierno se indica sobre Actualmente, los vehículos existentes que se **convierten a propulsión eléctrica se consideran bajo las mismas reglas que los vehículos reconstruidos** [10] Si el vehículo conserva su chasis o carrocería monocasco (o bastidor para motocicletas) inalterados y quedan suficientes componentes principales originales, no se requiere ninguna otra acción. Cuando haya evidencia de modificación estructural en el chasis o la carrocería monocasco (o bastidor para motocicletas) o el vehículo ya no conserva suficientes componentes principales originales, será necesario volver a registrar el vehículo con un DVLA VIN, Aprobación de vehículo individual (IVA) o inspección de Aprobación de vehículo único de motocicleta (MSVA) y un número de registro Q.

El período de tiempo necesario para la conversión de un vehículo puede variar considerablemente, oscilando entre días y meses, dependiendo en gran medida de la marca y modelo del automóvil en cuestión y de la experiencia de la empresa de conversión. Conforme a la Ley de Servicios de Registro e Impuestos Especiales sobre Vehículos de 1994 en el Reino Unido, los vehículos convertidos de motor de combustión interna a eléctrico deben ser registrados como vehículos eléctricos, reemplazando su documento de registro V5C por documentos específicos de vehículos eléctricos. La conversión puede realizarse de forma independiente o mediante la contratación de una empresa especializada. En el último caso, los concesionarios de automóviles suelen completar el proceso de registro, el proceso de conversión de vehículos mayores de cinco años requiere una inspección completa del Impuesto Especial y Registro de Vehículos, lo cual involucra la

solicitud y pago de tarifas aplicables, así como una inspección por un mecánico especializado, el proceso implica la presentación de documentación, incluyendo certificados de seguro y documentos personales, junto con evidencia fotográfica de la conversión.

La conversión de vehículos de C.I a E.V implica el reemplazo integral de componentes, incluyendo el motor, la caja de cambios, el tanque de combustible y el sistema de escape, por motores eléctricos, baterías y controladores eléctricos. Los kits de conversión prefabricados para diversos modelos de automóviles, así como la posibilidad de adquirir sistemas de vehículos eléctricos desguazados, son opciones disponibles para la conversión. La seguridad es una consideración crítica durante la conversión para asegurar que el automóvil conserve su integridad estructural y el rendimiento en caso de un choque.

Actualmente, la ley del Reino Unido vincula los impuestos vehiculares a las emisiones de CO₂ originalmente registradas en el V5C, incluso después de la conversión, grupos de la industria y campañas como “FairCharge” abogan por un cambio en la legislación para eliminar esta restricción y promover la conversión de vehículos a EV, lo que tendría impactos económicos y medioambientales significativos.

2.2.6 Australia

El caso de Australia es de gran interés, dado su transparencia a los ciudadanos a través de un portal [11] donde se explica los requisitos para convertir vehículos de combustión interna a eléctricos que están diseñados para garantizar la seguridad y el cumplimiento de las normativas de emisiones y transporte. Esta información está destinada a ayudar a las personas que deseen construir un turismo o un vehículo comercial ligero con propulsión eléctrica, aplicándose tanto a vehículos fabricados originalmente para propulsión eléctrica como a aquellos convertidos desde gasolina o diésel.

Antes de comenzar la construcción, es necesario solicitar la modificación de un vehículo ligero o la construcción de un vehículo individualmente construido al Departamento de Normas de Vehículos del Departamento de Infraestructura y Transporte (DIT). Las solicitudes, una vez aprobadas, recibirán una declaración de requisitos especificando las modificaciones y condiciones aplicables. El vehículo deberá pasar una inspección de aptitud y una inspección de identificación antes de su registro.

Para ser conducido al lugar de inspección, el vehículo debe estar cubierto por una placa comercial o un permiso de vehículo no registrado. Tanto los vehículos convertidos como los recién construidos deben ser certificados por un ingeniero con experiencia adecuada y reconocido por el DIT para

asegurar el cumplimiento de todas las Reglas de Diseño Australianas (ADR) aplicables. Este ingeniero guiará el proceso, inspeccionará el trabajo completado y redactará un informe de evaluación de ingeniería.

La ley exige que un vehículo modificado cumpla con las ADR según las cuales fue construido originalmente, o con versiones posteriores permitidas en las Reglas de Tráfico por Carretera (Estándares para Vehículos Ligeros) de 2018. Las ADR relevantes están contenidas en la segunda y tercera edición de las Reglas Australianas de Diseño, cubriendo vehículos fabricados desde el 1 de enero de 1969.

Los sistemas que pueden verse afectados por la conversión a propulsión eléctrica incluyen anclajes de asientos, cinturones de seguridad y anclajes de retención infantil, protección de los ocupantes, desempañado de parabrisas, ruido del vehículo, emisiones y sistemas de frenos. Modificaciones estructurales, eliminación del motor original y aumento de la masa del vehículo pueden afectar la seguridad y el rendimiento, requiriendo atención para mantener el cumplimiento con las ADR aplicables.

Lo siguiente es un resumen de [11]

Consideraciones de peso: El aumento de peso debido a las baterías puede sobrecargar algunos componentes mecánicos. Es importante considerar la resistencia mecánica y la fatiga de los componentes, especialmente neumáticos y ejes. Se debe permitir al menos 68 kg por pasajero, más 13,6 kg de equipaje por cada pasajero, para una franquicia mínima total de 81,6 kg por pasajero.

Frenos y dirección: Si el vehículo original tenía frenos de aire, frenos asistidos por vacío o dirección asistida, se debe instalar una fuente de energía alternativa capaz de proporcionar la suficiente capacidad de funcionamiento.

Requisitos eléctricos técnicos y de seguridad: Existen definiciones eléctricas importantes (ELV y HAZV), tipos de baterías (A y B) y restricciones en los componentes eléctricos.

Etiquetado y documentación: Los vehículos eléctricos deben estar etiquetados adecuadamente para indicar los peligros y las características eléctricas, y se deben proporcionar detalles técnicos en la documentación para el usuario.

Documentación técnica: Se debe proporcionar documentación técnica para el vehículo. Esto puede incluir manuales de usuario, diagramas eléctricos, planos y detalles técnicos de la conversión. Esta documentación debe estar disponible para el propietario y cualquier taller de reparación.

Sistemas de energía: La fuente de energía principal debe ser una batería o un conjunto de baterías que sean seguras, confiables y apropiadas para el propósito. Pueden utilizarse otros sistemas de

almacenamiento de energía en combinación con las baterías, como sistemas de almacenamiento de energía térmica, acumuladores cinéticos o sistemas hidráulicos, siempre que se cumplan los requisitos de seguridad y rendimiento adecuados. Se debe proporcionar un sistema de gestión de baterías que proteja contra:

- Cortocircuitos y sobrecargas en las celdas de la batería.
- Sobre calentamiento de las baterías.
- Descarga excesiva de las baterías.
- Monitorización de la tensión de las celdas individuales y de la batería.
- Indicación de la tensión de la batería y el estado de carga.

Protección eléctrica y cortacircuitos: Deben instalarse dispositivos de protección eléctrica adecuados, como fusibles o disyuntores, en todas las líneas eléctricas de alta tensión. Los dispositivos de protección deben ser adecuados para la aplicación y estar dimensionados para la corriente máxima de la línea. Los dispositivos de protección también deben estar ubicados de manera que sean fácilmente accesibles y visibles para el personal de mantenimiento y los servicios de emergencia.

Tipo de Batería: Existe una diferencia significativa en los requisitos de seguridad para distintos tipos de baterías. A los efectos de este documento, las baterías se dividen en dos tipos principales:

- Clase A: Las baterías no contienen líquido derramable y no descargan gases a la atmósfera durante el funcionamiento normal.
- Clase B: Las baterías contienen líquido derramable o gas de descarga durante el funcionamiento normal. Como clasificación amplia, las baterías inundadas de plomo-ácido son Clase B, mientras que las baterías de níquel metal hidruro (NiMH) y de litio son Clase A.

Restricción de batería: Las baterías que alimentan el vehículo deben fijarse en una posición que no se suelte fácilmente en un choque y, por lo tanto, cree un peligro para el conductor, los pasajeros u otros usuarios de la vía. El sistema de retención de batería debe soportar al menos las siguientes aceleraciones de choque:

Impacto frontal: 20 G, es decir, 20 veces el peso de la batería

Impacto lateral - 15 g

Impacto trasero - 10 g

Impacto vertical (vuelco) - 10 g.

Los dispositivos de sujeción de la batería deben diseñarse de manera que durante las operaciones de montaje y mantenimiento, ni los dispositivos de sujeción ni las herramientas necesarias

puedan proporcionar fácilmente una ruta de cortocircuito para los terminales de la batería u otros cables y conexiones expuestos.

Contención de baterías: Todas las baterías Clase B deben estar completamente selladas del habitáculo para evitar la transmisión de gases o llamas. El compartimento sellado debe estar fabricado con materiales resistentes a la corrosión o, si esto no es práctico, revestido con materiales resistentes a la corrosión. Totalmente selladas, es decir, las baterías de Clase A no necesitan cumplir con esta sección.

Cualquier sistema de batería que esté sellado y con ventilación externa o que contenga un dispositivo de reabastecimiento de agua que conecte varias baterías debe diseñarse de manera que no pueda ocurrir la propagación de llamas entre las cajas de las baterías.

Todas las baterías deben estar cerradas para brindar resistencia al agua y excluir objetos extraños, hasta una clasificación de al menos IP2X.

Como precaución adicional, también se debe considerar un interruptor de detección de vuelco, especialmente para vehículos impulsados por baterías Clase B que contienen líquido derramable.

Ventilación de los compartimentos de las baterías: solo baterías de clase B

El diseño de las baterías, o de sus compartimentos, debe permitir la ventilación directa a la atmósfera de todos los gases emitidos por el funcionamiento normal de las baterías. Esto es de suma importancia para las baterías de plomo-ácido porque el hidrógeno puede desprenderse en cantidades suficientes como para provocar una explosión durante la recarga. Las entradas y salidas de ventilación deben estar bien separadas para evitar que los gases de escape vuelvan a entrar en el compartimento. La ventilación no debe salir por debajo del vehículo porque puede ocurrir acumulación de gases potencialmente explosivos.

Dependiendo del tipo de batería y del tamaño de las rejillas de ventilación, es posible que se requiera un sistema de ventilación forzada.

Etiquetado de compartimentos de batería: Algunas baterías contienen sustancias químicas, en particular ácidos, que pueden suponer un peligro en caso de accidente, cada compartimento de la batería debe estar etiquetado con los símbolos de peligro apropiados para la química de la batería en uso.

Marcado de componentes de voltaje peligrosos: Los vehículos eléctricos suelen emplear voltajes más altos que los vehículos normales de combustión interna y se debe tener en cuenta la seguridad del

usuario final del vehículo, el personal de servicio y los servicios de emergencia en caso de accidente, todo el cableado del vehículo conectado a un paquete de baterías HAZV, ya sea positivo o negativo, o que contenga HAZV en relación con el chasis del vehículo, debe ser de color naranja o revestido de naranja incluso cuando se instale dentro del conducto naranja. Se puede usar un trozo corto de color rojo o negro o de otro color termorretráctil en los extremos de los cables para indicar la polaridad u otros propósitos según sea necesario. Para todo cableado nuevo, solo se debe utilizar cableado, revestimiento o conducto de color naranja para circuitos HAZV. No es necesario modificar los mazos de cables originales instalados por el fabricante del vehículo que contienen cableado naranja para quitar el cableado naranja. Los colores de cableado rojo y negro deben reservarse para circuitos ELV.

Protección contra descargas eléctricas: Se debe evitar el contacto directo con las partes HAZV del vehículo mediante aislamiento o mediante el uso de una cubierta asegurada de manera confiable que solo se pueda quitar con el uso de una herramienta, en los compartimentos de pasajeros y de carga del vehículo, las cubiertas deben proteger los componentes HAZV expuestos con un grado de protección de al menos IP4X.

Las cubiertas en otras áreas del vehículo (incluso debajo del capó) deben proteger cualquier componente HAZV expuesto con un índice de protección de al menos IP2X.

Símbolo amarillo con las palabras "Peligro de descarga eléctrica en el interior"



Figura 1: Etiquetado de advertencia; Fuente [11]

Las cubiertas que protegen las piezas HAZV deben tener cualquiera de las dos etiquetas de advertencia que se muestran en la Figura 1 pegadas en un lugar visible. La etiqueta debe tener al menos 40 mm de altura a menos que no haya suficiente espacio para una etiqueta de este tamaño. Cuando el espacio sea limitado, se debe utilizar la etiqueta de advertencia más grande posible que tenga el mismo mensaje y caracteres. Estas etiquetas de advertencia están disponibles y cumplen con la norma AS 1319-1994 Señales de seguridad para el entorno laboral. Todo el cableado HAZV debe

ubicarse fuera del compartimiento de pasajeros o del espacio de carga para minimizar la posibilidad de contacto por parte del operador o los pasajeros. En lugares donde la colocación de cableado eléctrico en el habitáculo o espacio de carga sea inevitable, el cableado debe estar contenido dentro de una carcasa protectora, como un conducto naranja flexible o rígido, o mediante una funda naranja adicional con doble aislamiento.

Aislamiento de voltaje peligroso: Cualquier sistema de batería de tracción HAZV debe estar aislado del chasis del vehículo y también de cualquier cableado y componente ELV auxiliar. El aislamiento debe diseñarse de manera que haya una corriente de fuga de menos de 20 mA entre cualquier parte del sistema HAZV y el chasis o los componentes ELV del vehículo, medida cuando el vehículo está en reposo.

Este requisito significa que tanto el paquete de baterías HAZV positivo como el paquete de baterías HAZV negativo deben flotar con respecto al chasis durante el funcionamiento normal y ambos deben tratarse como componentes HAZV. Se debe utilizar un circuito o dispositivo de detección de fallas a tierra para identificar que el positivo o el negativo del paquete de baterías ha entrado en contacto con el chasis o la parte ELV del vehículo, y señalar esto como una falla al conductor o al técnico de servicio. El aislamiento debe verificarse manualmente antes de comenzar cualquier trabajo o reparación en los circuitos HAZV y cualquier manual o información preparada para ayudar al propietario debe hacer referencia a esta precaución.

Desconexión de voltaje peligroso: El procedimiento de encendido debe aplicarse mediante un interruptor de llave o equivalente. No debe ser posible retirar esta llave en ninguna posición que energice el tren motriz o haga posible la conducción activa, la desconexión del paquete de tracción del resto del circuito de tracción debe realizarse mediante un contactor accionado por el interruptor de encendido. El interruptor de encendido debe estar ubicado al alcance del conductor. El interruptor de encendido debe aislar todas las conexiones eléctricas a la fuente de energía. Debe poder funcionar mediante acción mecánica directa y no debe depender de ningún dispositivo eléctrico o electromecánico.

Se deberá utilizar un interruptor de inercia para desconectar el paquete de tracción del resto del circuito de tracción en caso de colisión. El interruptor de inercia debe ajustarse al mismo límite que los sistemas de seguridad existentes en el vehículo. Si el vehículo no cuenta con sistemas de

seguridad existentes, se debe utilizar 10G. Se podrán instalar interruptores adicionales para interrumpir el suministro y ayudar al usuario o reparador del vehículo. Por ejemplo, se puede instalar un interruptor de palanca para permitir al conductor apagar el suministro de la batería sin tener que apagar la llave de encendido, ya que apagar el encendido también desactivará dispositivos como los servofrenos y también potencialmente bloqueará la dirección.

Dispositivo de protección de voltaje peligroso: Se debe instalar un dispositivo de protección contra sobre corriente del paquete de baterías, por ejemplo, un fusible o un relé/disyuntor de sobrecarga, en el circuito de suministro de tracción. Debe ubicarse con la longitud mínima práctica de cable entre los terminales de la batería y el dispositivo para minimizar la posibilidad de que ocurra una falla en la sección desprotegida del cable, debe montarse lo más cerca posible del paquete de baterías.

El dispositivo de protección contra sobre corriente debe estar clasificado por su fabricante para uso con corriente continua y al máximo voltaje de batería posible. El dispositivo de protección contra sobre corriente debe tener una clasificación de interrupción o capacidad de corte que exceda la corriente de falla máxima posible que puede fluir (generalmente la corriente de cortocircuito de la batería, pero posiblemente la corriente de falla máxima del circuito de tracción). Si el dispositivo de protección contra sobre corriente es un fusible, debe ser un fusible del tipo de alta capacidad de ruptura (HRC).

VFU auxiliar: Se debe utilizar un ELV auxiliar independiente, nominalmente de 12 V, para garantizar el suministro de energía a los equipos de seguridad como luces, servofrenos y limpiaparabrisas en caso de que se apague el sistema de batería principal del vehículo. Normalmente esta fuente de alimentación es una batería de 12V. El suministro auxiliar debe ser capaz de operar las luces de emergencia, luces intermitentes de cuatro vías, en un ciclo de trabajo normal, durante un período mínimo de 20 minutos continuos, si el suministro auxiliar se carga a través de un convertidor CC/CC desde el paquete de baterías de tracción principal, entonces debe suministrarse con preferencia al circuito de tracción, es decir, el motor debe dejar de funcionar antes que los faros. El suministro de equipos auxiliares deberá diseñarse de manera que sea posible el funcionamiento satisfactorio de todos los equipos, especialmente de frenos y faros, durante todo el ciclo de descarga de las baterías de tracción. Si el vehículo original estaba equipado con luces indicadoras de nivel de líquido de frenos o de freno de mano (o de estacionamiento accionadas con el pie) en el tablero, entonces estas deben

conservarse en el vehículo modificado.

Sistemas de alta tensión: Todas las partes del sistema eléctrico de alta tensión deben estar marcadas claramente para indicar que están bajo tensión y deben cumplir con los requisitos de seguridad aplicables.

Refrigeración y gestión térmica: Las baterías y otros componentes eléctricos pueden generar calor durante el funcionamiento normal. Debe proporcionarse un sistema de refrigeración adecuado para mantener los componentes dentro de los límites de temperatura seguros.

Sistema de escape: El sistema de escape original del vehículo se debe eliminar y sellar adecuadamente. No se debe utilizar para ninguna otra aplicación. Si el vehículo original estaba equipado con un convertidor catalítico, este debe ser eliminado y sellado de acuerdo con las pautas del fabricante del convertidor.

Frenos y dirección asistida Si el vehículo original tenía frenos de aire, frenos asistidos por vacío o dirección asistida, se debe instalar una fuente de energía alternativa.

2.2.7 EE. UU

En Estados Unidos un vehículo convencional se puede convertir en un vehículo totalmente eléctrico y otras configuraciones como Híbrido, con una gran libertad de acción pero normado, esta información esta disponible en la plataforma del departamento de energía, con un apartado de conversión de vehículos en general [12], donde el Laboratorio Nacional de Energía Renovable produjo “Lo que las flotas necesitan saber sobre las conversiones, modernizaciones y repotenciones de vehículos de combustible alternativo”. El informe analiza consideraciones importantes, "consejos profesionales" y mejores prácticas para convertir vehículos para que funcionen con combustibles alternativos como gas natural y propano, y transformaciones a 100% propulsión eléctrica, como también conceptos básicos de conversión y el reglamento de este, dando guía a las personas y profesionales como es el proceso de conversión, desde esta plataforma se va a otra específica para la transformación buscada, en este caso esta la de “conversiones de vehículos eléctricos” [13]. En esta plataforma indica que, aunque es poco común, un vehículo convencional se puede convertir en un vehículo totalmente eléctrico, un vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) o un vehículo eléctrico híbrido (HEV). Un HEV se puede convertir en un PHEV o EV. Estas conversiones ofrecen

opciones más allá de las que ofrecen los fabricantes de equipos originales (OEM). Los instaladores certificados pueden convertir de forma económica vehículos pesados para que funcionen únicamente con electricidad o para mejorar la eficiencia de los diseños de vehículos convencionales.

Para el caso de los EV ni la EPA ni la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) exigen que las conversiones de vehículos eléctricos estén certificadas, siempre y cuando la conversión no agregue un dispositivo que produzca emisiones de combustión de combustible.

Los HEV se pueden convertir en PHEV agregando capacidad adicional de batería y equipo de carga a bordo. Algunos vehículos convertidos pueden alcanzar hasta 100 millas por galón de gasolina equivalente (MPGe) hasta que se agota la batería auxiliar, momento en el que el vehículo actúa como un HEV. En algunos casos, las conversiones pueden afectar la garantía de fábrica del vehículo. Las conversiones de PHEV requieren certificación de la EPA o CARB, de igual manera ocurre para los HEV.

2.2.8 Latino América

La Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible (ALAMOS) ha presentado un documento que ofrece una visión preliminar sobre la situación de las actividades de conversión en Latinoamérica. Este estudio se basa en la experiencia y visión de cada asociación nacional integrante de ALAMOS, y analiza las posibles ventajas e inconvenientes desde la perspectiva y peculiaridades de cada país. La industria de conversión a vehículos eléctricos está en una fase muy inicial y mayormente no industrial, con conversiones realizadas como proyectos piloto o por encargo de usuarios. Esta falta de normalización genera dudas sobre las garantías, seguridad y viabilidad técnica y económica, especialmente frente a la disminución del precio de los vehículos eléctricos nuevos. No obstante, la conversión podría impulsar la creación de una industria auxiliar, transferir conocimiento, capacitar profesionales y desarrollar nuevos modelos de negocio, además de promover la economía circular al evitar residuos y el desecho prematuro de vehículos.



Figura 2: Países con actividad de retrofit; fuente [14]

En la figura 2 se puede notar un gran avance de actividad de retrofit en los países unidos a la Cordillera de los Andes, pero grandes territorios como Brasil y Venezuela no tienen avances al respecto.

Tabla 1: Estado Retrofit LATAM; Fuente [14]

	PERU	GUATEMALA	ARGENTINA	COSTA RICA	REP. DOMINICANA	CHILE	COLOMBIA
¿En su país todos los vehículos de combustión pueden ser convertidos a eléctricos?	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
¿Existe normativa que regule la normalización técnica del proceso de conversión?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
¿Existe normativa que regule la normalización técnica de los componentes?	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
¿Existe normativa que regule la normalización técnica de la verificación técnica del correcto funcionamiento final?	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO
¿Existen incentivos para las tecnologías de conversión a vehículos 100% eléctricos?	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO
¿Existen incentivos para las tecnologías de conversión a vehículos a híbridos?	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
¿Existe en su país regulación referida a la importación de kits y/o componentes de conversión para vehículos de combustión a eléctricos?	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO
¿En su país existen penalidades o incentivos aplicables a los seguros de vehículos convertidos?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

En la Tabla 1, es importante resaltar que el documento [14], fechado en diciembre de 2020, no se encuentra actualizado. De los países participantes: Perú, Guatemala, Argentina, Costa Rica, República Dominicana, Chile y Colombia, ninguno cuenta con una normativa que regule la normalización técnica del proceso de conversión. Sin embargo, existen antecedentes bien definidos y vigentes para la evaluación de la conformidad técnica final, como en el caso de Argentina (VTV) y Costa Rica (IVE). Cabe destacar que dichas verificaciones técnicas no son específicas para vehículos convertidos.

En tanto, el informe sostiene que existen antecedentes que podrían aplicarse, como es el caso de Costa Rica, donde menciona que en el artículo 12 de la Ley de Incentivos al Transporte Eléctrico los equipos para ensamblaje y producción de vehículos eléctricos quedarán exonerados del pago total del impuesto de ventas, siempre y cuando el valor agregado nacional sea por lo menos de un veinte por ciento (20%).

También, en el artículo 11 de la misma Ley se exoneran del impuesto sobre las ventas y del impuesto selectivo de consumo los repuestos relacionados con el funcionamiento del motor eléctrico y las baterías de los vehículos eléctricos.

En el caso de Republica Dominicana, posee una ley que incentiva la movilidad eléctrica y los componentes para ello entran al país solo pagando un 50 % de los impuestos. Por otro lado, se aprecia que países como Perú, Guatemala, Costa Rica y Argentina ya permiten la realización de conversiones "retrofit" bajo ciertas condiciones. Los requisitos legales y técnicos para abordar una conversión a nivel continental no cuentan con un marco regulatorio específico que trate el "retrofit". Sin embargo, existen circunstancias legales que permiten llevar a cabo dicho proceso.

En el caso de Argentina, existe la Circular D.T.R. y R. N° 9/19 de la DNRPA, que establece la aprobación de una serie de requisitos técnicos necesarios para inscribir un vehículo modificado en el registro. Entre estos requisitos, se incluye la conformidad de un listado de componentes críticos y la presentación de un informe técnico firmado por un Ingeniero matriculado. En Perú, los requisitos incluyen someter el vehículo a una revisión técnica, contar con un seguro SOAT (Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito) y estar al día con los impuestos del Servicio de Administración Tributaria (SAT). En el caso de vehículos de transporte público, se requiere un permiso de circulación vigente. En Guatemala, nuevamente, no existen requisitos legales o técnicos específicos para las conversiones a vehículos eléctricos, aunque se debe realizar un trámite de registro de la conversión.

En Costa Rica, no se cuenta con una regulación específica, pero las conversiones podrían considerarse dentro del artículo 13 de la Ley de Tránsito, que establece que, en caso de cambios legalmente autorizados en las características del vehículo, el propietario debe presentarlo ante la entidad de Inspección Vehicular (IVE) en un plazo de treinta días hábiles a partir de la modificación, para verificar las alteraciones y emitir la documentación correspondiente. En Colombia, no existen requisitos legales o técnicos reglamentados para permitir la circulación de vehículos convertidos en la vía pública. Sin embargo, se deben cumplir los procedimientos estándar para el cambio de motor y la revisión técnico-mecánica, sin importar el tipo de motorización del vehículo. La falta de regulación específica ha creado una "área gris" en la normativa, con algunos organismos de tránsito permitiendo el cambio y otros no.

En cuanto a talleres autorizados, en República Dominicana no existe regulación al respecto, mientras que en Argentina y Colombia existen talleres activos dedicados al "retrofit", pero no se mantiene un registro centralizado de tales establecimientos, y las actividades de capacitación en este ámbito suelen ser llevadas a cabo por el sector privado.

En relación con las revisiones técnicas, según el país, se han identificado antecedentes de revisiones técnicas basadas en normas del IEC aplicadas a vehículos convertidos, como es el caso de Argentina. En Costa Rica, se aplica una normativa general que es válida para cualquier tecnología. Según el artículo 24 de la Ley de Tránsito, la Inspección Técnica Vehicular (IVE) comprende la verificación de aspectos mecánicos, eléctricos, electrónicos, emisiones contaminantes y la seguridad activa y pasiva del vehículo, de acuerdo con lo establecido en la ley y su manual de procedimientos. Solo se autoriza la circulación de vehículos que cumplan con las condiciones mencionadas, además de los requisitos adicionales establecidos por la ley y su reglamento.

Si bien Uruguay no se menciona en este documento, es un país con gran desarrollo en electromovilidad, pero no tiene aún una ley de retrofit.

2.2.9 Panamá

En el informe [14] no se menciona Panamá, dado que el 2020 no existía legislación sobre retrofit, pero en la actualidad 2023 se publicó la estrategia nacional que impulsa electromovilidad en este país, entre esto el retrofit promete desarrollarse en Panamá para aumentar la flota de autos eléctricos, según un reciente reglamento emitido por el Ministerio de la Presidencia.

La normativa [15] para el “proceso de conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos” está incluida en el Decreto Ejecutivo No. 51 del 15 de 2023, que reglamenta la Ley 295 del 25 de abril de 2022. En Panamá, actualmente no existen normas técnicas específicas ni procesos de evaluación calificados sobre este tema. Para subsanar esta carencia, se deben constituir comités técnicos que elaboren los documentos pertinentes y establezcan “buenas prácticas de normalización para la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos”. El objetivo es garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los componentes críticos que se utilizarán a nivel nacional. Para agilizar la implementación de este servicio en los talleres, se podría adoptar temporalmente una reglamentación vigente en otros países para la conversión de

vehículos a gasolina o diésel en eléctricos. La Secretaría de Energía debe solicitar esta normativa especial a la Dirección General de Normas y Tecnología Industrial del Ministerio de Comercio. Dicha entidad podrá adoptar esta normativa mediante resolución, siguiendo las buenas prácticas de normalización, hasta que el comité técnico desarrolle la norma nacional correspondiente. La Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre (ATTT) tiene la responsabilidad de establecer el procedimiento para validar la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos. Además, la ATTT certificará los talleres autorizados para realizar estas conversiones, llevará un registro de las mismas y mantendrá información anual sobre la cantidad de vehículos convertidos.

Promover el retrofit, conforme al Decreto 51, es una de las medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la calidad del aire, contribuir a la lucha contra el cambio climático, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y fomentar la investigación y desarrollo en eficiencia energética en el sector transporte mediante la innovación tecnológica.

El reglamento también incluye lineamientos sobre formación académica, reciclaje de baterías usadas y el registro y operación de estaciones de carga. En el marco de la movilidad eléctrica en Panamá, se destaca una legislación detallada en los aspectos cruciales de baterías y conversión de vehículos:

- **Baterías:** El Artículo 12 establece el proceso para la declaración de obsolescencia de las baterías al término de su vida útil. El Ministerio de Ambiente liderará este procedimiento, considerando políticas públicas ambientales. Entre las consideraciones se encuentran las posibilidades de reciclado, reutilización para nuevos vehículos, utilización para almacenar energía renovable, reciclaje de materiales, investigación en reciclaje de baterías de litio a gran escala, destino final de las baterías y un enfoque de economía circular.
- **Conversión de Vehículos:** En el Artículo 8, se detalla el proceso de conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos. La coordinación, elaboración y adaptación de normas técnicas y procedimientos están a cargo del Ministerio de Comercio e Industria, a solicitud de la Secretaría Nacional de Energía. Se destaca la posibilidad de utilizar normas internacionales temporalmente, cumpliendo con buenas prácticas de normalización, en ausencia de normas nacionales.

La Certificación de Talleres Autorizados para llevar a cabo estas conversiones es un aspecto central, y la Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre, según el Artículo 9, establecerá el procedimiento para validar estas conversiones. Esto incluirá la certificación de talleres y el mantenimiento de un registro de conversiones, proporcionando transparencia y trazabilidad. Este marco normativo en Panamá no solo aborda la adquisición de vehículos eléctricos, sino que también se enfoca en la gestión ambiental de las baterías y la regulación precisa del proceso de conversión de vehículos, promoviendo así la movilidad eléctrica de manera integral y sostenible.

2.2.10 Chile

Chile ha avanzado significativamente en la regulación de la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos, lo que se conoce como "retrofit". En febrero de 2022, se publicó la Estrategia Nacional de Electromovilidad en Chile [16], que establece un marco para el desarrollo sostenible de la electromovilidad en el país.

Esta estrategia tiene como objetivo establecer ejes estratégicos, medidas y metas específicas para impulsar el desarrollo sostenible y acelerado de la electromovilidad en el país. Los principales enfoques de esta estrategia incluyen la promoción de la sostenibilidad ambiental, la formación de recursos humanos capacitados en esta área, y la divulgación de los resultados que se obtendrán durante los próximos años.

Regulación de la transformación vehicular

Actualmente los vehículos eléctricos representan un alto costo de inversión y la transformación presenta grandes oportunidades de transición hacia la carbononeutralidad.

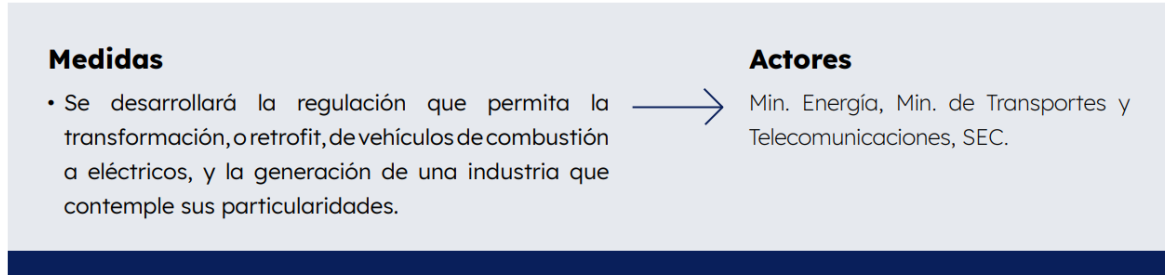


Figura 3: Regulación de retrofit; Fuente [16]

La Figura 2 ilustra la creación de una regulación para permitir el proceso de retrofit, en respuesta al alto costo de los vehículos eléctricos nuevos y la necesidad urgente de avanzar hacia la neutralidad de carbono a nivel nacional y mundial.

Por otra parte, en el eje 1 de la estrategia, metas relevantes en una carta Gantt para el periodo 2022-2023, bajo el marco de la Ley N°20.920 sobre responsabilidad extendida del productor. Entre estas metas, se incluye el desarrollo de un decreto específico para la recolección, valorización y otras obligaciones relacionadas con las baterías utilizadas en medios de transporte eléctricos, siguiendo los principios de gradualidad y jerarquía en el manejo de residuos: prevención, reutilización, valorización y eliminación. Esto impulsará la creación de incentivos para la reutilización de baterías, permitiendo su uso en otros contextos y fomentando un mercado formal. Además, se estudiarán y promoverán soluciones tecnológicas para la segunda vida de las baterías, optimizando su reutilización en sistemas de almacenamiento eléctrico tanto aislados como conectados a la red. Asimismo, se revisará y ajustará la regulación necesaria para habilitar estas prácticas. Finalmente, se desarrollará una normativa específica para permitir la transformación o retrofit de vehículos de combustión interna a eléctricos, fomentando la creación de una industria adaptada a estas particularidades.

En el año 2022, se envió a contraloría el Decreto N°62, que es **borrador de norma chilena de transformación de vehículos a eléctricos** que establece los requisitos para la transformación de vehículos eléctricos propulsados por motores de combustión interna a propulsión eléctrica. Este decreto modifica el Decreto Supremo N°156 de 1990 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. El documento destaca la necesidad de utilizar vehículos eléctricos y su

expansión a nivel mundial para reducir las emisiones contaminantes y los gases de efecto invernadero de los motores de combustión. Se menciona la adopción tardía de la electromovilidad en Chile en comparación con otras regiones y el alto precio actual de los vehículos eléctricos en comparación con los vehículos de combustión interna.

De aprobarse el reglamento presentado, será posible convertir vehículos que no posean elementos o dispositivos de seguridad de control electrónico, siempre que exista un **kit eléctrico de transformación específico para la marca y modelo del vehículo**. Los principales Aspectos del Decreto, en su Artículo primero, establece los requisitos para la transformación de vehículos con motores de combustión interna a vehículos eléctricos este aborda el objeto y el ámbito de aplicación del reglamento, especificando los tipos de vehículos a los que se aplica. Los Artículos 4 y 5 se refieren al principio de incorporación de tecnología y al desarrollo tecnológico sostenible. Se destaca la importancia de alinear la modernización tecnológica con objetivos medioambientales y el desarrollo sostenible. También se menciona la necesidad de reutilizar componentes y considerar paquetes de baterías de segunda vida para reducir el impacto ambiental. El Artículo 8 establece los requisitos de los vehículos que pueden ser transformados y los vehículos que no se ajustan a estos criterios. Los cuales son Buses o minibuses y vehículos motorizados para transporte de personas o carga con una masa bruto inferior a 38650 kg. También se detalla que los vehículos motorizados con un peso bruto vehicular igual o superior a 3,860 kilogramos pueden ser transformados si cumplen con ciertas condiciones y tienen un kit eléctrico de transformación. En el documento a relación biunívoca entre modelo y Kit de transformación en adelante se le llamará “Par Modelo – Kit”

En temas de certificación del Par Modelo-Kit el Artículo 9 establece que los vehículos transformados pueden circular siempre que el kit haya sido certificado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y sea verificado durante las revisiones técnicas. **El artículo 10** del documento con el que cuenta Contraloría se especifica la forma en que se certificará el kit de transformación para lo cual el **Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV)** solicitará diferentes requisitos a los interesados sean personas naturales o jurídicas. A su vez se requerirán requisitos del vehículo representativo y un informe técnico descriptivo junto con planos del circuito de alta tensión del vehículo. Se deberá presentar autorización por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) de los componentes del kit eléctrico y las especificaciones del motor eléctrico indicando marca, fabricante, tipo y potencia.

Autorización por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de los componentes del kit de eléctrico de transformación que a continuación se indican:

- a) Módulos de baterías, paquetes de baterías y sistemas de baterías, deberán estar conformadas de Celdas secundarias de Li.
- b) Sistema de Acoplamiento de Carga.
- c) Cargador a bordo.
- d) Dispositivo de monitoreo de aislamiento

Las normas técnicas específicas para los componentes eléctricos del kit de transformación indicados en este artículo y su procedimiento de autorización serán establecidas mediante Resolución fundada dictada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles en un plazo máximo de 6 meses, contados desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial.

El kit debe llevar varios elementos, pero algunos de importancia son que muestre la placa de identificación del motor eléctrico de propulsión, considerando a lo menos las informaciones de marca, modelo, tipo, potencia máxima, número de serie e indicación de su emplazamiento en el motor en lugar visible, Diagramas del Procedimiento de Desactivación; Diagramas Sistema de Alto Voltaje del Vehículo; Procedimiento de remolque o transporte del vehículo.

Por cada kit aprobado en la certificación el 3CV emitirá un Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica que señalará los modelos que quedan amparados y se dará comunicación a las Plantas de Revisión Técnica.

Art 11 Procedimiento de verificación, alguno de importancia es:

- Disponer de una cubierta exterior de color naranja para los cables de los circuitos eléctricos de alta tensión que no estén situados en el interior de envoltentes, según establece **UN-ECE R100**

- Protección contra el contacto directo: Verificación de la protección a las personas contra el acceso a las partes activas mediante un elemento probador llamado calibres de acceso que no deben tocar dichas partes, según procedimiento establecido en Anexo 3 de UN-ECE R100
- Sistema de Acumulación de Energía Recargable: La resistencia de aislamiento del Sistema de Acumulación de Energía Eléctrica Recargable (REESS) deberá tener un valor mínimo de 100 ohm/ volts (Ω/V) medido según lo dispuesto en el Anexo 4b "Método de medición de la resistencia de aislamiento para ensayos en componentes de un REESS", de UN-ECE R100
- En caso de que el usuario pueda cargar desde el exterior el REESS, se verificará que sea imposible que el vehículo se desplace por su propio sistema de propulsión mientras el conector de la fuente de energía eléctrica exterior esté conectado físicamente a la toma del vehículo.
- Verificar que el vehículo disponga de un dispositivo que permita al conductor identificar el estado del REESS.
- El REESS deberá estar inserto en una envolvente que garantice un estándar mínimo de protección contra los efectos de la inmersión temporal IPX67.
- Monitoreo de Aislación continua: Se verificará que el panel del vehículo representativo muestre el resultado de la medición del dispositivo de monitoreo de aislamiento. Paralelamente deberá existir una alarma que indique la pérdida de la aislación en el sistema eléctrico del vehículo. Cuando la resistencia de cualquier conductor sin conexión a tierra es inferior a 100 ohm/ volts (Ω/V), según el voltaje nominal del sistema, el dispositivo no permitirá que se energice el circuito de carga. La medición indicada de aislamiento no podrá ser realizada por el BMS.
- La masa en orden de marcha del vehículo después de la transformación no se debe alterar en más de un 20% de la masa en orden de marcha del vehículo base.
- La distribución de la masa en orden de marcha entre los ejes después de la transformación no se debe alterar en más de un 10% de la distribución de masa en orden de marcha entre los ejes respecto del vehículo base.

Del Artículo 13: Por cada Par Modelo-Kit aprobado en la certificación referida en el artículo 9°, el 3CV emitirá un "Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica". Este certificado especificará los modelos amparados por la certificación y las principales características de los componentes del kit eléctrico utilizado en la transformación.

El Artículo 15 del Título VI establece que las transformaciones de vehículos deben realizarse en talleres autorizados por la Subsecretaría de Transportes, con publicación de la autorización en el Diario Oficial. Los requisitos incluyen contar con un responsable técnico con título profesional en ingeniería eléctrica y al menos un instalador electricista autorizado y un instalador mecánico con formación técnica en mecánica automotriz. Además, se exige que el personal técnico posea conocimientos en sistemas eléctricos vehiculares, prevención de riesgos, regulaciones aplicables, uso de herramientas y la instalación de componentes. Las instalaciones deben tener ventilación e iluminación adecuadas, zonas de trabajo pavimentadas y techadas, protección contra agua y demarcación de seguridad. Los talleres deben disponer de herramientas específicas, equipos de protección personal y aparatos de medición eléctrica.

- a) Herramientas y equipamientos necesarios para realizar el desmontaje y montaje de los vehículos a transformar tanto desde el punto de vista mecánico como eléctrico.
- b) Elementos de protección personal.
- c) Voltímetro de corriente alterna, y de corriente continua con una resistencia interna de al menos 10 Mega Ohms ($M\Omega$).
- d) Amperímetro de corriente alterna y corriente continua. e) Medidor de resistencia de aislamiento, de 5 kilovolts (kV), y 10 Mega Ohms $M\Omega$.
- f) Calibres de Ensayo, conforme lo definido en el Anexo 3 de UN-ECE R100 o equivalente GB 18384 – 2020.
- g) Osciloscopio.
- h) Analizador de baterías.
- i) Cámara de termografía.
- j) Un cargador de vehículo eléctrico modo 3 y/o modo 4, según aplique, que cumpla con la normativa vigente.
- k) Un instrumento analizador de las propiedades de la red eléctrica, que permita medir distorsión armónica de corriente (THDi), distorsión de voltaje, Flicker u otras variables que afecten a la calidad de suministro eléctrico.
- l) Disponer los certificados vigentes de calibración de los instrumentos utilizados en los ensayos y las mediciones, indicando la marca y el modelo de los instrumentos, los cuales deberán ser emitidos por algún organismo acreditado que determine el fabricante

Asimismo, deben mantener una nómina de los vehículos transformados, con información detallada y actualizada durante al menos cinco años, y remitir informes mensuales a la 3CV. El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establecerá condiciones adicionales por resolución según sea necesario.

Hasta la fecha, en 2024, la Contraloría ha determinado que el Ministerio de Transportes no tiene la facultad para habilitar o supervisar talleres de retrofit, tal como se plantea en el reglamento presentado. Como resultado, el Ministerio de Transportes debe presentar un proyecto de ley para obtener esa facultad.

Retrofit en Chile

La Plataforma de Electromovilidad del Ministerio de Energía nace a partir del quinto eje de la Estrategia Nacional de Electromovilidad [16], que señala la necesidad de transferir conocimiento y acortar brechas de información para preparar al país en la masificación del uso de vehículos eléctricos. Dentro de esta estrategia se encuentra el apartado de modelos de negocios, destacando las empresas de conversión de vehículos eléctricos [18]. Se identifican dos empresas que realizan trabajos de retrofit: Movener [19] y Reborn Electric [20]. Movener ha implementado un kit de transformación para vehículos antiguos, mientras que Reborn Electric se especializa en el retrofit de buses. Ambas empresas continúan activas, pero debido a la falta de regulación del retrofit a nivel masivo, han diversificado sus modelos de negocio. Movener, ahora conocida como E Power, ha tenido éxito en la hibridación de camiones, colaborando con capitales mineros como SQM. Reborn Electric, además de realizar retrofits de buses para entornos privados como las minas, también construye buses nuevos para su homologación y venta.

Otras empresas no mencionadas incluyen EV South [21], que transforma vehículos de colección a eléctricos con gran calidad, y Smart Green Solution [22], que ofrece kits de retrofit con baterías de litio en Chile. Aunque el modelo de negocio puede estar algo estancado a la espera de avances legislativos, es probable que surjan nuevas empresas con soluciones más innovadoras en este camino.

2.3. Discusión

El Reino Unido es uno de los países más liberales en cuanto al retrofit, permitiendo la modificación de cualquier vehículo, aunque sigue siendo exigente en sus regulaciones. Por otro lado,

Francia y Alemania han avanzado significativamente en este campo, principalmente a través de empresas con kits certificados, con Alemania destacando en el desarrollo de estos kits en comparación con España, que también permite la conversión, pero enfrenta grandes dificultades para homologar los kits, resultando en pocas empresas dedicadas a esta actividad.

En Estados Unidos, la normativa para la conversión de vehículos está bien establecida, ofreciendo alternativas tanto a empresas como a particulares para implementar sistemas híbridos enchufables (PHEV) o vehículos eléctricos híbridos (HEV) en diversas categorías. Este enfoque fomenta nuevos modelos de negocio y brinda alternativas a los ciudadanos, con un fuerte énfasis en la reducción de emisiones de los motores de combustión interna. Ni la EPA ni la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) exigen que las conversiones de vehículos eléctricos estén certificadas, siempre que la conversión no añada dispositivos que produzcan emisiones de combustión. Además, existen empresas como EV West y EV Source que proporcionan componentes y todo lo necesario para el retrofit, con un amplio catálogo, casos de éxito y garantías.

Estos países han avanzado considerablemente en la conversión de vehículos eléctricos, en parte debido a su experiencia y capacidad en la manufactura de vehículos de combustión interna y eléctricos. Esta relación entre su desarrollo industrial y el progreso en el retrofit es evidente.

Chile está en proceso de formulación de regulaciones y estrategias relacionadas con la electromovilidad. Aunque ha avanzado significativamente y ha establecido la base legal y regulatoria para la conversión de vehículos a eléctricos, aún existe un desfase entre la intención política y la implementación efectiva de estas regulaciones. Por ejemplo, a pesar de que no se acepta normativamente, hay empresas que realizan conversiones exitosas como EV south, Movener y otras que están en pleno desarrollo de sus plantas. El país cuenta con un robusto ecosistema de trabajo en electromovilidad, incluyendo incentivos para la compra de vehículos eléctricos nuevos para el transporte público, así como iniciativas para la reutilización y reciclaje de baterías a través de la ley rep para el fin de la vida útil de estos.

La normativa propuesta en el Decreto 62, basada en la UN 100, proporciona una estructura clara de trabajo, pero carece de información específica sobre las normas técnicas para los componentes eléctricos del kit de transformación, que serán indicadas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles seis meses después, lo que puede generar incertidumbre. Aunque el borrador del decreto abarca la mayoría de los aspectos del sistema de retrofit en Chile, desde definiciones y certificaciones de kits hasta plantas de revisión técnica, no es tan específico en temas técnicos como la normativa australiana, que define directamente los sistemas de seguridad eléctricos.

Chile tiene un gran potencial para liderar la transición hacia vehículos eléctricos en América Latina, lo que podría impulsar la industria de la electromovilidad y contribuir a la reducción de emisiones y al logro de objetivos medioambientales ambiciosos. Sin embargo, es crucial reconocer que se necesitarán esfuerzos adicionales para superar los desafíos en la implementación efectiva de las regulaciones y para garantizar que los propietarios de vehículos tengan acceso a conversiones seguras y eficientes.

La tabla dos es un resumen de las diferencias en la regulación y apoyo gubernamental para el retrofit en diversos países, destacando aquellos que están más avanzados en este proceso y las áreas donde se requiere mayor desarrollo.

Tabla 2: Resumen retrofit mundial; Fuente [E.P]

	Francia	España	Alemania	UK	Australia	USA	Argentina	Panamá	Chile
¿Existe normativa de retrofit?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
¿Retrofit puede transitar en calles publicas?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
¿Quién puede hacer retrofit?	Empresa	Empresa	Empresa	Empresa y personas	Empresas y personas	Empresas y personas	Empresas y personas	Empresa	Empresa y personas
¿plantas de revisión técnica capacitadas para evaluar retrofit?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
¿apoyos gubernamentales para el retrofit?	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
¿Puedes tener seguro de un auto convertido?	desconocido	desconocido	desconocido	SI	desconocido	desconocido	desconocido	NO	NO

Capítulo 3. Proceso de Conversión de Moto Scooter

3.1. Introducción

En este capítulo se presenta el modelo de moto scooter seleccionado para este proyecto. Se optó por la moto scooter Dio de Honda disponible en el centro de energía UCSC. La serie de moto Scooter Dio de Honda empezó su producción en 1988 con un motor de un solo cilindro de 2 tiempos refrigerado por aire de 49cc, que presentaba un diseño deportivo y un sistema de inyección de combustible con carburador. En 2003, se introdujo una versión con motor de 4 tiempos refrigerado por aire y, en el mercado chino, se equipó con un sistema de frenos combinados en la rueda delantera y trasera. El modelo del año 2008 incorporó la inyección de combustible.

Un rasgo distintivo del Dio es la ubicación de su tanque de combustible en el piso, lo que reduce el centro de gravedad y evita derrames de combustible debajo del asiento, lo que a su vez permite un espacio de almacenamiento adicional debajo del mismo. Sin embargo, esta característica implica un mayor costo y complejidad debido a la necesidad de una bomba de combustible en comparación con un sistema de gravedad bajo el asiento. Los frenos de tambor tanto en la rueda delantera como en la trasera, aunque estándar en su época, ofrecen un rendimiento de frenado promedio. Dado que el Dio es un scooter liviano, los frenos cumplen su función adecuadamente sin sorprender.

A diferencia de su predecesor, el Dio (SK50) no compartía el mismo motor de 2 tiempos que se encontraba en el "Aero 50" (y en el Elite S/R y Elite LX/SR posteriores). En cambio, el Dio incorporó un motor de próxima generación denominado 'AF18E'. Este motor es ampliamente popular en Asia y, como resultado, cuenta con un extenso mercado de repuestos. Esto hace que sea relativamente sencillo y económico mejorar el rendimiento de su SK50 Dio. Se pueden encontrar kits de alto rendimiento (de hasta 88 cc) que pueden aumentar la cilindrada del motor a aproximadamente 125 cc cuando se combinan con un cigüeñal de mayor carrera. Un aspecto para considerar es que el motor AF18E es de diseño "vertical", lo que implica que el cilindro se encuentra en la parte superior del motor y, por ende, disminuye el espacio de almacenamiento bajo el asiento [23].



Figura 4 Honda Dio Sr; Fuente [E.P]

(a) Vista lateral 1 (b) Vista lateral 2

3.2. Parámetros de la moto scooter

Los parámetros de la Moto scooter que será sometida al proceso de retrofit se presenta a continuación, en la tabla 3

Tabla 3 Parámetros Honda Dio Sr

PARÁMETROS	VALORES.
MOTOR	Refrigerado aire, 2 tiempos 49.4cc
POTENCIA	5.6 hp @6500RPM
AÑO	1989
RELACIÓN	7.1:1
COMPRESIÓN	
MASA MOTORA	16.1 kg
ENCENDIDO	CDI
ARRANQUE	Eléctrico y patada.
TRANSMISIÓN.	CVT
LONGITUD	1650 mm
ANCHO	645mm
ALTURA	990 mm

DISTANCIA ENTRE EJES	1145m
ALTURA ASIENTO.	715mm
CAPACIDAD COMBUSTIBLE	5 litros
NEUMÁTICOS.	3x10"
SUSPENSIÓN DELANTERA	Horquilla telescópica, 2.1" recorrido
SUSPENSIÓN TRASERA	Unidad oscilante, amortiguador simple, 2.4" recorrido
FRENOS	Tambor
MASA TOTAL	71.5 kg

3.2.1 Consumo de combustible

Según [25] ciclomotores y Scooter de 50cc tienen un consumo medio que suele oscilar entre los 2 y los 3,5 litros cada 100 km recorridos, por lo que de la tabla 3 se obtiene que el tamaño del estanque de combustible es de 5 litros, por lo que el rango de autonomía de la Honda Dio varía entre 142 a 250 Km de recorrido.

3.2.2 Potencia y Torque

La eficiencia de un motor se refiere a la relación entre la energía obtenida en forma de movimiento y la energía consumida. Generalmente, se mide en porcentaje. Según [26], una de las mayores desventajas de un motor de dos tiempos es su menor economía de combustible en comparación con un motor de cuatro tiempos, además del alto nivel de ruido del escape. Esto se debe a que alrededor del 25 al 30% de la energía de la explosión durante la carrera de potencia del pistón se utiliza para expulsar los gases de escape. Por esta razón, los motores de dos tiempos suelen diseñarse con tubos de escape más grandes que los de cuatro tiempos.

La moto scooter Honda Dio, según la tabla 3, genera una potencia de 5.6 hp a 6500 RPM, lo que equivale a aproximadamente 4.2 kW. La figura 5 muestra un gráfico de las curvas de potencia y torque de un motor de dos tiempos, que es similar a la curva de potencia de la moto scooter. Este gráfico ilustra cómo la potencia y el torque del motor varían con la velocidad del

motor (RPM).

En el gráfico, se puede observar que el torque (curva azul) alcanza su valor máximo a una velocidad más baja en comparación con la potencia (curva roja). La potencia sigue aumentando hasta un punto más alto en RPM antes de disminuir, lo que es característico de muchos motores de combustión interna. La curva del eje Y en el gráfico representa la magnitud de la potencia y el torque. Aunque el eje Y no está marcado con unidades específicas, generalmente se mide en Newton-metros (Nm) para el torque y en kilovatios (kW) para la potencia.

Al convertir la Honda Dio a un sistema eléctrico, se busca un motor que proporcione una curva de torque plana y una potencia adecuada para igualar o superar las características de rendimiento del motor original de combustión. La elección de un motor eléctrico con estas características asegurará que el rendimiento del vehículo convertido sea comparable o incluso superior al del motor de combustión interna original.

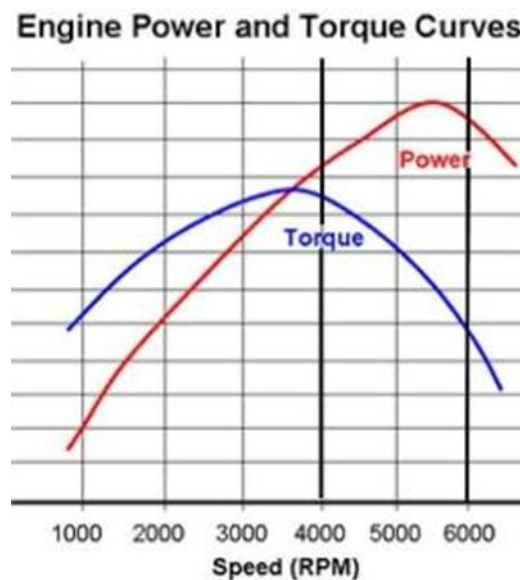


Figura 5 Curvas de torque y potencia de motor 2T; Fuente [26]

La Figura 6 muestra el panel de instrumentos de la motocicleta, donde se indica una velocidad máxima de 60 km/h. Aunque podría sugerirse que en ese momento se utiliza la potencia máxima del motor, esto no necesariamente es el caso. El motor de la motocicleta se enfría por aire, lo que significa que la velocidad máxima no siempre corresponde a la máxima potencia del motor. Además, los fabricantes deben considerar situaciones en las que puede haber viento en contra o se podría circular en pendientes, por lo que mantener una velocidad constante de 60 km/h no implicaría necesariamente

que el motor esté operando a su máxima potencia, ya que esto podría causar un sobrecalentamiento del motor.



Figura 6 Tablero instrumentos Honda Dio 1989; Fuente [E.P]

La Figura 7 presenta las curvas de torque y potencia en relación con la velocidad en RPM, comparando dos vehículos de la marca Nissan: el modelo Leaf, que es eléctrico, y otro modelo con un motor de combustión de 1500 cc. La curva roja corresponde al motor del Nissan Leaf, vehículo eléctrico, mientras que la azul representa al motor del Nissan 1.6, vehículo a combustión.



Figura 7 Grafico curva par y potencia Nissan Leaf en comparación motor C.I.; Fuente [27]

a) Curvas de Torque del Motor b) Curvas de Potencia del Motor

La primera diferencia que se observa es que el motor de combustión es incapaz de funcionar a revoluciones menores a 700 RPM (límite de ralentí), ya que su giro se vuelve inestable y se detiene. En contraste, el motor eléctrico puede funcionar de manera continua desde 0 RPM hasta más de 10,000 RPM (dependiendo del modelo). Otra gran diferencia evidente en la figura es la magnitud del par motor. El motor eléctrico produce un par instantáneo desde las cero RPM, creando una sensación de gran potencia desde el inicio de la marcha, mientras que un motor de combustión alcanza su máximo par alrededor de las 2500 RPM. Además, el hecho de que el motor eléctrico alcance su par máximo

desde 0 RPM permite que el vehículo no necesite un embrague para iniciar su marcha, eliminando también la necesidad de una caja de cambios. Si esta última existiera, solo ayudaría a que el arranque del vehículo fuera más suave.

A altas velocidades, la situación se invierte: el motor eléctrico comienza a tener menos par en comparación con el motor de combustión. En cuanto al gráfico de potencia, el motor eléctrico comienza con una magnitud superior desde el principio y la mantiene hasta igualarse en valor con su contraparte de combustión. Esto permite comparar ambos tipos de motores y encontrar el punto de igualdad en el cruce de las curvas.

En el caso de estudio, el motor de combustión del Honda Dio genera 4.2 kW, por lo que buscar un motor eléctrico cercano a este valor es ideal para la conversión.

3.3. Desmontaje e identificación de componentes reutilizables

En esta fase crítica del proyecto de conversión de la moto scooter a un vehículo eléctrico, se llevará a cabo un proceso de desarme que abarca una amplia gama de componentes. El objetivo principal de esta etapa es someter a una revisión de los elementos existentes con el propósito de determinar cuáles de ellos pueden ser reutilizados en el nuevo diseño de propulsión eléctrica. Este proceso de desmontaje permitirá, en primer lugar, inspeccionar cada componente para evaluar su estado y funcionalidad. Aquellos elementos que se encuentren en buenas condiciones podrán ser incorporados en la transformación del vehículo a eléctrico, lo que a su vez representará un ahorro en costos y recursos. Además de la revisión de los componentes, se llevará a cabo un proceso de limpieza para garantizar que las partes a reutilizar estén en condiciones de uso. La eliminación de acumulaciones de suciedad y grasa, así como la restauración de superficies, serán tareas esenciales en esta etapa. Una de las partes críticas de este desarme es el análisis de los espacios disponibles en la moto scooter. Con la remoción de ciertos componentes relacionados con el motor de combustión interna, se liberarán áreas valiosas que podrán destinarse a los nuevos componentes eléctricos. Este trabajo se lleva a cabo con ayuda del manual de taller de la Honda Dio [24].

Identificación de VIN y Número de Carrocería

En la figura 8 se tiene el VIN del vehículo, el lugar de fabricación es Japón y el año es 1998.



Figura 8 Ubicación información chasis; Fuente [24]

(a) Bosquejo (b) Placa real Honda Dio [E.P]

Para conocer los componentes del motor a combustión, se deben desmontar algunas partes de la moto scooter. En la figura 9 se puede observar el cuerpo motor de la moto scooter (b), donde se tiene el tubo de escape de gases de la combustión al costado izquierdo y el sistema de admisión en la parte superior, al centro se tiene el sistema de la cámara de combustión, donde en la parte

superior se tiene la bujía, en el lado derecho está la transmisión y el soporte de la rueda trasera en aluminio, de estos componentes solo se buscará reutilizar el soporte de la rueda trasera, lo demás será reciclado.



(a)



(b)

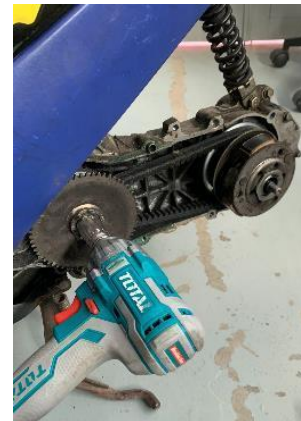
Figura 9 Cuerpo propulsión C.I; Fuente [E.P]

(a) Cuerpo propulsión instalado en la moto Scooter (b) Cuerpo desinstalado de la moto Scooter

En la figura 10, (a) se tiene la rueda trasera desmontada del brazo de soporte, donde se puede ver el sistema de balatas que es parte del frenado trasero, en (b) se tiene el interior del soporte de la rueda trasera, se puede apreciar la correa de la transmisión CVT, que funciona automáticamente para cambiar las marchas, esto fue desarmado, dado que no se ocupará con taladro de impacto para poder facilitar los trabajos.



(a)



(b)

Figura 10 Desmontaje rueda trasera; Fuente [E.P]

(a) Rueda trasera (b) desarme caja CVT

En la figura 11, se puede apreciar una pieza que cumple la función de conectar el chasis con el cuerpo del motor, la cual se denominará "conector basculante". Además, se observa un desplazamiento del centro del conector en relación con el chasis y la rueda trasera. Estas medidas revisten gran importancia, ya que son fundamentales para la identificación y el mantenimiento del eje simétrico de las ruedas de la moto scooter, es relevante destacar que esta pieza está fabricada en metal, lo que la convierte en un componente valioso para el proceso de transformación a un vehículo eléctrico. En caso de que el nuevo motor eléctrico no se alinee de manera simétrica con el eje original, esta pieza metálica se vuelve especialmente útil, ya que sus dimensiones podrían ser modificadas para lograr el punto de equilibrio necesario en la moto scooter.

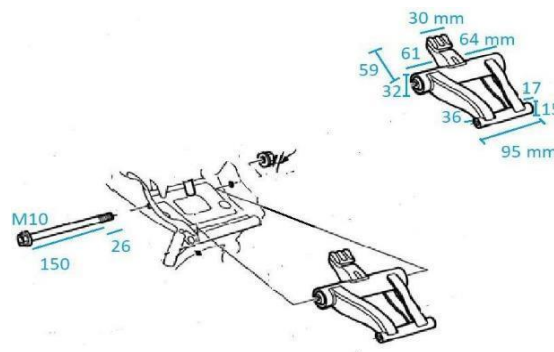


Figura 11 Conector basculante; Fuente [24]

En la Figura 12 se muestra el soporte del motor de combustión y la rueda trasera, conocido como basculante. Este elemento puede ser un posible candidato para soportar un motor en rueda, también llamado in-hub. En teoría, solo será necesario encontrar un motor con las mismas dimensiones que el neumático original para que la moto scooter mantenga sus dimensiones sin necesidad de modificar el chasis. La opción de colocar un motor con un sistema de transmisión como la caja CVT se descarta debido a la gran cantidad de modificaciones necesarias en el cigüeñal, que ya no se utilizará, y que está unido a la transmisión, además del poco espacio disponible en esta área. Es importante destacar que, en el sistema anterior, se utilizaban frenos de tambor, mientras que el nuevo sistema debería implementar frenos de disco, que proporcionan

un mejor rendimiento en términos de capacidad de frenado. Esta elección contribuye a una mayor potencia global del conjunto, aunque conlleva una mayor complejidad en el proceso de adaptación. En cuanto a la eficiencia en la utilización de materiales, esta alternativa se considera la óptima.

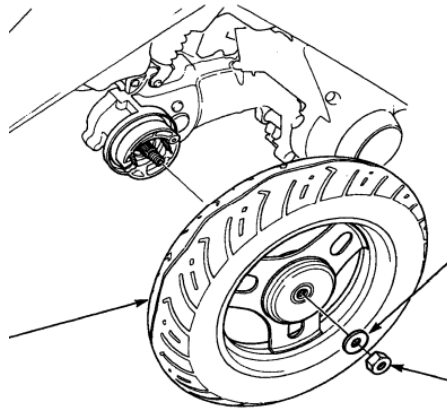


Figura 12 Soporte motor y rueda trasera (Basculante); Fuente [24]

La figura 13 y la tabla 4 proporcionan información esencial sobre el tamaño del neumático y la llanta de la moto scooter, datos cruciales para la integración exitosa de una solución de motorización eléctrica. Estos parámetros son fundamentales para garantizar que el diseño mantiene las dimensiones originales de la moto scooter y se ajuste perfectamente a su estructura. El conocimiento preciso del tamaño del neumático y la llanta permitirá trabajar en una solución de motor eléctrico que se adapte a estas especificaciones sin comprometer las dimensiones originales del vehículo. Esto es crucial para mantener la estabilidad, el manejo y el rendimiento de la moto scooter, además de garantizar que el vehículo siga cumpliendo con las normativas y requisitos de seguridad.

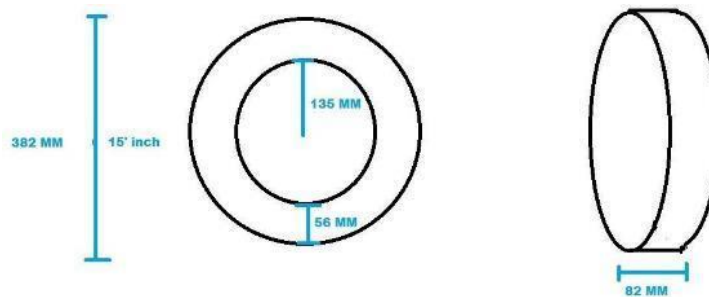


Figura 13 Medidas rueda trasera original; Fuente [E.P]

Tabla 4 Medidas rueda trasera Honda Dio sr

Componente	Radio[mm]	Diámetro[mm]	Diámetro[pulgadas]	Ancho[mm]	Ancho[pulgadas]
Llanta	135	273	10.6	x	x
Neumático	191	382	15	82	3.22

De acuerdo con la figura 14 que muestran el espacio ocupado por el tanque de gasolina, es evidente que este ofrece un área bastante adecuada para almacenar algunos de los componentes necesarios para la conversión del vehículo. Sin embargo, este espacio no es lo suficientemente amplio para acomodar la batería, y, además, plantea inquietudes en términos de seguridad, ya que existe el riesgo de que pueda sufrir daños por impacto en esta ubicación, dado su cercanía al suelo. A pesar de que ubicar la batería en esta zona podría tener ventajas en términos de mejorar el centro de gravedad al mantener este componente en una posición baja, la opción más adecuada es destinar este espacio para albergar el controlador del motor. Esto se debe a que las dimensiones y la forma del controlador se adaptan de manera óptima a este lugar, lo que lo convierte en la elección preferible.

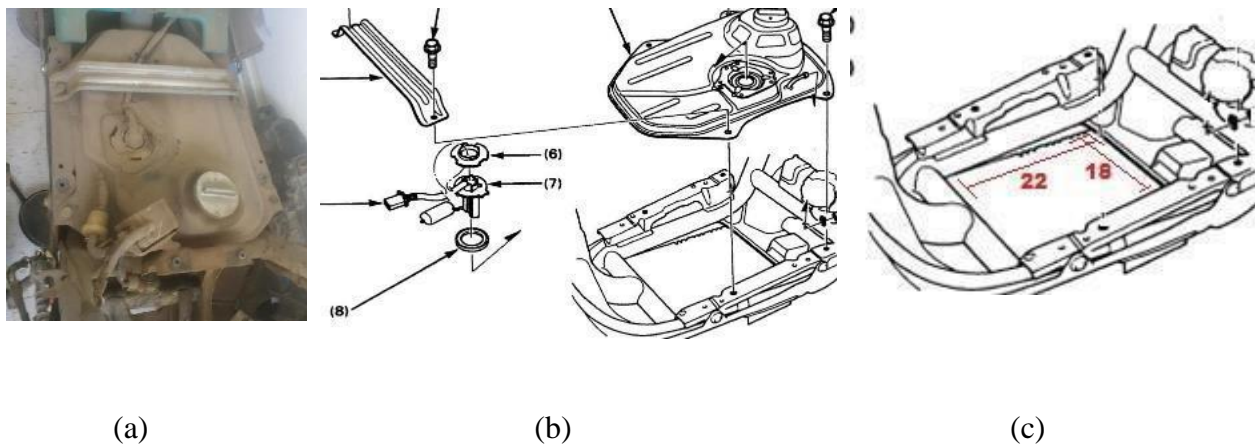


Figura 14 Tanque de combustible; Fuente [24] [E.P]

(a) Estaque en moto Scooter (b) Procedimiento de desmontaje estanque (c) medidas espacio disponible estanque

En la figura 15 se tiene la parte delantera de la moto scooter, donde va gran parte del cableado de luces y control de la moto, ahora este espacio se perfila como una opción idónea para alojar el convertidor de energía DC/DC o CC/CC encargado de convertir la corriente de la batería principal de 72V a 12V para alimentar los instrumentos de luces y auxiliares. Esta decisión se fundamenta en la normativa australiana previamente discutida, la cual establece la necesidad de

contar con un sistema eléctrico de baja tensión auxiliar, nominalmente de 12V. Dicho sistema tiene el propósito de asegurar el suministro de energía a dispositivos de seguridad críticos, como las luces, servofrenos y limpiaparabrisas, en caso de que se produzca un fallo en el sistema eléctrico principal del vehículo, en este caso solo sera las luces, dado que los frenos son un sistema mecánico o hidráulico aparte.

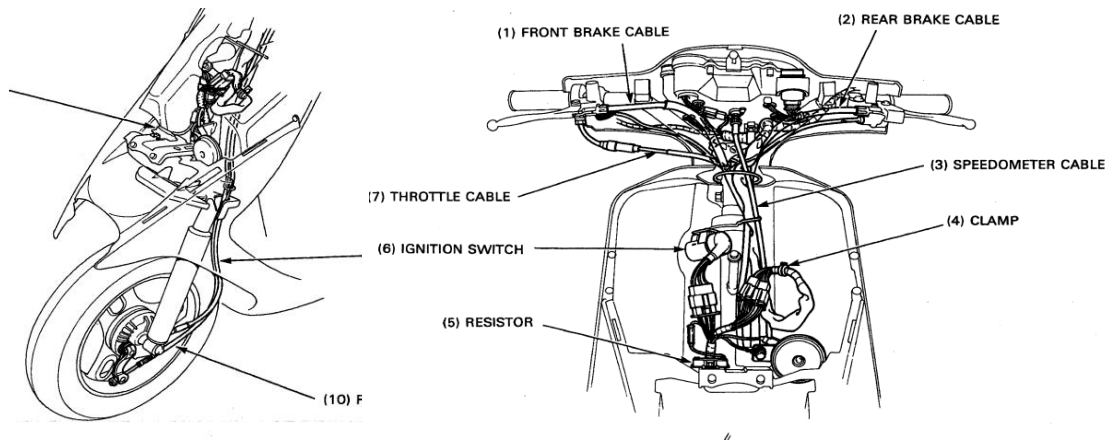
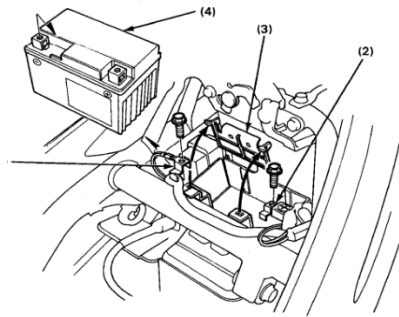


Figura 15 Parte delantera moto Scooter; Fuente [24]

En la figura 16, se presenta un espacio que originalmente albergaba el tanque de aceite y una batería de 12V, en este lugar se puede alojar la misma batería de 12V, pero también el conector de la futura batería de propulsión por ejemplo. En este contexto, el suministro auxiliar debe ser capaz de mantener el funcionamiento de los equipos de seguridad mencionados, como luces de emergencia y luces intermitentes de cuatro vías, en un ciclo de trabajo normal, durante un período mínimo de 20 minutos continuos. Además, es importante destacar que, en el caso de que este suministro auxiliar se cargue mediante un convertidor DC/DC desde el paquete de baterías principal, se le debe dar prioridad en comparación con el circuito de tracción. Esto significa que, en caso de un agotamiento de energía, el motor se detendría antes que las luces del vehículo.



(a)



(b)

Figura 16 Espacio libre posterior asiento conductor

(a) Bosquejo parte posterior; Fuente [24] (b) Espacio disponible parte posterior; Fuente [E.P]

La figura 17 muestra un espacio ubicado debajo del asiento del conductor originalmente destinado al almacenamiento de un casco. Este espacio se presenta como una ubicación idónea para instalar la batería, gracias a su amplitud, facilidad de acceso y la presencia de cuatro puntos de anclaje que permiten una fijación segura al chasis del vehículo. Al colocar las baterías en un vehículo, es esencial asegurarse de que estén firmemente sujetas y no se desprendan con facilidad en caso de colisión, lo que podría representar un riesgo para el conductor, los pasajeros y otros usuarios de la vía. Por otra parte podemos ver que existe una protuberancia que se describe en [23] dado que el motor tiene el cilindro en posición vertical, esto quita volumen disponible para la batería por lo cual sería útil ver como poder disminuir esto o eliminarlo, ya que ahora no está el cilindro.



Figura 17 Espacio debajo del asiento; Fuente [E.P]

3.4. Selección de Tecnológica y Componentes para la Conversión

3.4.1 Motor Eléctrico

Los motores eléctricos son componentes fundamentales en la conversión de vehículos convencionales a vehículos eléctricos. Existen diversas tecnologías de motores eléctricos disponibles en el mercado, cada una con sus propias características y ventajas, para este trabajo y por la mayor variedad para adquirir en el mercado cierto tipo de tecnología se trabaja con solo dos de la familia de motores de corriente alterna que se puede ver en la figura 18 (a) separando las otras alternativas. En la figura (b) se tiene la diferencia explicada de una manera muy superficial entre el MI y los motores síncronos, el estator genera un campo magnético rotativo cuando se alimenta con corriente alterna. Este campo magnético del estator gira a una velocidad determinada por la frecuencia de la corriente alterna aplicada. Sin embargo, debido a la inducción electromagnética, el rotor del motor no puede igualar instantáneamente esta velocidad, en lugar de eso, gira a una velocidad ligeramente más lenta que la del campo magnético del estator. Esta diferencia en velocidad se denomina deslizamiento. La gran diferencia con los motores síncronos, específico con los de imanes permanentes que es que el rotor gira sincronizadamente con la frecuencia de la fuente de alimentación del estator.

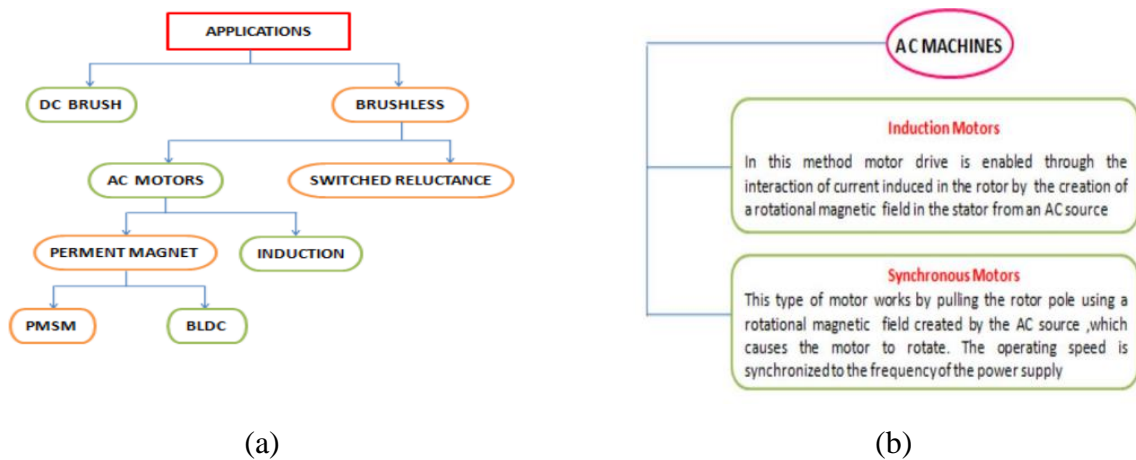


Figura 18 Distintos tipos de motores eléctricos; Fuente [28]

(a) Clasificación motores eléctricos (b) diferencia entre MI y motores síncronos.

Al utilizar imanes de muy alta energía, como los imanes de tierras raras, se puede diseñar un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM) y BLDC con alta densidad de potencia, mayor confiabilidad y alta eficiencia. Estas ventajas son deseables para su aplicación en muchos sectores. Las principales ventajas de las máquinas de imanes permanentes son:

- **Alta eficiencia:** Las máquinas de imanes permanentes tienen una eficiencia muy alta debido al uso de imanes permanentes para la excitación, los cuales no consumen energía. Además, la ausencia de conmutadores mecánicos y escobillas resulta en menores pérdidas por fricción mecánica.
- **Alta densidad de potencia:** El uso de imanes con alta densidad de potencia permite alcanzar densidades de flujo muy elevadas en las máquinas de imanes permanentes. Como resultado de estas altas densidades de flujo, se puede inducir un alto torque en comparación con otros motores eléctricos de la misma capacidad.
- **Facilidad de control:** Los motores de imanes permanentes se pueden controlar con la misma suavidad que los motores de corriente continua (DC) porque las variables de control están fácilmente disponibles y son constantes a lo largo de la operación del motor [28]

Un motor DC sin escobillas (BLDC) está compuesto por un rotor de imanes permanentes y un estator de bobinado trifásico. Usualmente, los motores BLDC de mediana y alta potencia también integran sensores de posición de efecto Hall, que proveen la realimentación necesaria para mejorar el control del motor

La principal diferencia entre un motor BLDC y un motor síncrono de imán permanente (PMSM, por sus siglas en inglés, Permanent Magnet Synchronous Motor) es la disposición de los devanados. En los motores BLDC, los devanados se concentran en cada polo del estator, mientras que en los motores PMSM, los devanados están distribuidos de forma homogénea alrededor del estator, como se ilustra en la Figura 19 donde el motor PMSM está a la derecha y BLDC a la izquierda [28].

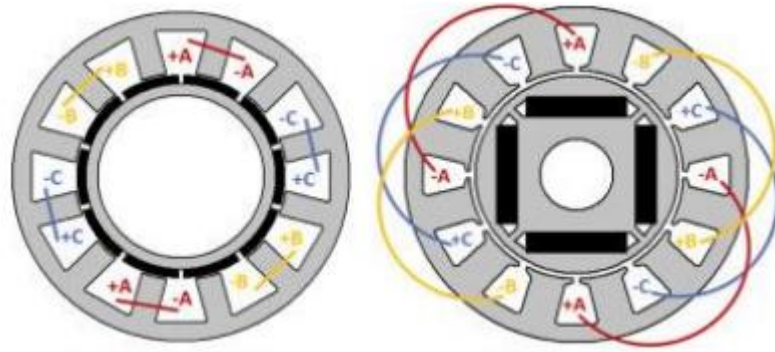


Figura 19 Devanados de un motor síncrono de imanes permanentes; Fuente [28]

La fuerza electromotriz (EMF) es la tensión suministrada por una fuente externa, que impulsa las cargas eléctricas a través de un circuito, mientras que la fuerza contraelectromotriz (BACK EMF) es la tensión inducida dentro de los motores eléctricos debido al movimiento del rotor en un campo magnético. La BEMF se opone a la EMF aplicada, ayudando a regular la corriente y la velocidad del motor. En motores BLDC, la BACK EMF es trapezoidal, y en motores PMSM, es sinusoidal, lo que influye en sus métodos de control y eficiencia operativa

El **motor seleccionado** se puede encontrar en [30] el cual se muestra en la figura 20, esto se debe porque tiene el mismo sistema de anclaje de un solo lado como la rueda trasera original que se puede ver en la figura 12 y tiene el mismo tamaño de neumático original de 10x2.15 pulgadas de las medidas de la figura 13 y tabla 4.

Este es tecnología de motor hub, en la cual todo el sistema motor se encuentra alojado dentro de la rueda, el estator, que es el componente fijo del motor, está mecánicamente anclado a la bobina de tres fases y a los sensores Hall, responsables del control de velocidad el cual está en el eje de la rueda. En contraste, el rotor se ubica en la llanta de aluminio y contiene una serie de imanes permanentes de neodimio dispuestos uno junto al otro para generar un campo magnético permanente. Cabe destacar que este modelo específico cuenta con un solo punto de anclaje al eje, lo cual resulta sumamente práctico, especialmente considerando que la moto scooter emplea una rueda trasera con el mismo sistema. Esta tecnología de motor hub es ampliamente utilizada en vehículos eléctricos y se caracteriza por su eficiencia y sencillez. Al eliminar la necesidad de una transmisión mecánica y otros componentes asociados a los motores de combustión interna, se reduce la complejidad del vehículo y se ahorra espacio. Sin embargo, también plantea desafíos, como el peso no suspendido que afecta la calidad de la conducción y la necesidad de implementar

sistemas efectivos de refrigeración para evitar el sobrecalentamiento. Además, en caso de avería, el reemplazo del motor hub puede ser costoso y complicado debido a su ubicación en la rueda.

En cuanto a la tensión de funcionamiento, se optó por 72Vdc, ya que un mayor voltaje reduce la corriente necesaria y, en consecuencia, el tamaño de los cables requeridos, lo que resulta beneficioso tanto por razones técnicas como por las opciones disponibles en el mercado.

Es importante destacar que esta tecnología se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde scooters eléctricas y bicicletas eléctricas hasta algunos automóviles eléctricos. A medida que evoluciona la tecnología de motores hub, los fabricantes de vehículos eléctricos continúan explorando sus posibles aplicaciones en diferentes campos de movilidad.

Este motor hub es parte integral del enfoque innovador de este proyecto, ya que se busca adaptar y combinar tecnologías de vanguardia para lograr un resultado óptimo en la conversión de la moto scooter a una versión eléctrica altamente eficiente.



Figura 20 Motor in hub; Fuente [30]

En la tabla 5 se presentan los parámetros del motor, que coinciden con la potencia calculada en la figura 5. Esta potencia calculada nos indica que la potencia máxima recomendada para la moto scooter es de 4.2 kW. Por lo tanto, dado que el motor en cuestión tiene una potencia nominal de 4 kW, debería ser capaz de proporcionar una potencia adecuada al usuario de este vehículo. Además, al observar la velocidad máxima, notamos que supera la de la moto scooter original, que es de 80 km/h, mientras que la velocidad máxima indicada en el tablero de la Honda Dio es de 60 km/h, según se

muestra en la figura 6, por lo que se podría entrar a limitar en lo posible. Las medidas del motor estan en el Anexo A y el disco de freno se encuentra en el enlace [31].

Tabla 5 Características de motor HUB Fuente [E.P]

parámetros	Valores.
Modelo	Qs motor hub 10´
Diseño	BLDC
Rango voltaje	72 [V]
Potencia	4000 [W]
Par torque máx	184 [N.m]
Velocidad máxima	80 km/h
Corriente bateria	90 - 100 Amperes
Estator	Núcleo de aluminio
Altura imán	55 mm, 16 pares de polos
Masa	20 kg
Eficiencia	84- 92[%]
Grado protección contra el agua y polvo	IP54
Sistema de frenado	Disco freno, PCD3*80mm-M8, CB 58mm
sensor térmico	KTY83-122

3.4.2 Controlador del motor.

Los controladores de motor desempeñan un papel fundamental en los vehículos eléctricos, ya que actúan como intermediarios clave entre la fuente de energía y la aplicación de esa energía. La interacción del usuario se refleja comúnmente en una diferencia de voltaje controlada por un potenciómetro, que actúa como acelerador. Para generar par motor el controlador debe excitar continuamente los bobinados adecuados de forma que generen un campo magnético perpendicular a la dirección del rotor

En la actualidad, los métodos modernos para regular la velocidad del motor utilizan una técnica denominada "modulación de ancho de pulso". Esta técnica implica una conmutación rápida de la fuente de alimentación al motor, lo que disminuye efectivamente el voltaje o la corriente que el motor percibe. En versiones anteriores de esta técnica, se utilizan rectificadores controlados por silicio, pero

su frecuencia de conmutación se situaba alrededor de los 400 Hz, una frecuencia audible que generaba ruido durante el funcionamiento. Los controladores modernos utilizan transistores de efecto de campo de semiconductores de óxido de metal o MOSFET, que permiten frecuencias de conmutación mucho más altas, de aproximadamente 15000-18000 Hz. Esto posibilita un control suave y eficiente del motor, lo que, junto con mejoras en seguridad y estabilidad del sistema, convierte a los controladores de motores modernos en una opción segura y efectiva para aplicaciones de vehículos eléctricos.

Para convertir la corriente continua de la batería en corriente alterna trifásica que alimenta el motor BLDC, se requiere un componente fundamental: el semiconductor de estado sólido. Este dispositivo se basa en transistores tipo Mosfet o IGBT y se controla mediante la modulación por ancho de pulso PWM. El controlador se divide en dos partes: la de potencia, que maneja corrientes de mayor magnitud a través de los interruptores, y la parte de control, que dirige los pulsos a los interruptores para regular la corriente y tensión suministradas al motor, o en caso de regeneración, a la batería.

Este controlador electrónico de velocidad consta de tres elementos principales. En primer lugar, un microcontrolador realiza el procesamiento de datos y determina la señal que se enviará a los siguientes componentes: los “drivers”. La función de estos controladores es aplicar la tensión requerida a las puertas de los transistores presentes en la tercera parte: el inversor trifásico. Este último tiene la tarea de suministrar energía a un motor trifásico siguiendo una secuencia específica de polaridad de bobinas que permitirá el giro deseado del motor.

Sin embargo, para asegurarse de que la velocidad del motor esté sincronizada con la secuencia del puente trifásico, es necesario controlar constantemente la posición del motor. Para lograr esto, se mide la FEM (fuerza electromotriz) o el campo electromagnético generado por el motor en funcionamiento. Al igual que en una dinamo, los imanes del motor crean una fuerza sobre las bobinas que puede medirse en términos de tensión. Esta medición de la tensión en los terminales del motor permite el procesamiento necesario para determinar la posición del motor y ajustar su giro de manera precisa

Existen tres métodos para estimar la velocidad o posición en un motor sin sensores.

El primer método, es la conmutación de 6 pasos de control. Este método mide el cruce por cero de la onda de voltaje contra inducido o Back EMF. Sus ventajas incluyen su robustez para utilizarse en una amplia variedad de motores con configuraciones delta y estrella, y no requiere un conocimiento detallado de las características de fabricación del motor, lo que lo hace tolerante a pequeñas discrepancias. Control basado en Conmutación trapezoidal Uno de los métodos más simples de control de motores brushless es el llamado conmutación trapezoidal o 6-steps mode. En este esquema se controla la corriente que circula por los terminales del motor, excitando un par simultáneamente y manteniendo el tercer terminal desconectado. Sucesivamente se va alternando el par de terminales a excitar hasta completar las seis combinaciones posibles [32]. Este sistema de control se suele usar en scooter electricos y vehículos de menor potencia.

El segundo método es el control de campo vectorial FOC, que monitorea cada una de las variables magnéticas que afectan la relación del campo magnético en el eje del motor y la inducción en los devanados, dependiendo de la onda de corriente o voltaje aplicada. Este método es más complejo debido a la cantidad de variables que deben ser monitoreadas en todo momento y a la necesidad de una sincronización precisa entre los parámetros que controlan el movimiento del eje del motor. Cualquier discrepancia, como la causada por la temperatura o el desgaste del motor, puede provocar desequilibrios y errores en el ajuste del lazo. El control vectorial es el más complejo y el que requiere mayor potencia de cálculo de las tres técnicas. A su vez también es la que mejor control proporciona. El problema principal que presenta la conmutación sinusoidal es que intenta controlar directamente las corrientes que circulan por el motor, las cuales son intrínsecamente variantes en el tiempo. Al aumentar la velocidad del motor, y por tanto la frecuencia de las corrientes, empiezan a aparecer problemas. El control vectorial o Field Oriented Control (FOC) soluciona el problema controlando el vector de corrientes directamente en un espacio de referencia ortogonal y rotacional, llamado espacio D-Q (DirectQuadrature). Dicho espacio de referencia está normalmente alineado con en el rotor de forma que permite que el control del flujo y del par del motor se realice de forma independiente. La componente directa permite controlar el flujo y la componente en cuadratura el par [32], empresas como Golden Motors tiene una gama de productos de controladores con este control llamada EZKontrol, para motores BLDC y PMSM.

El último es control basado en la conmutación sinusoidal es vista como un control más avanzado y exacto que el trapezoidal, ya que intenta controlar la posición del rotor continuamente.

Esta continuidad se consigue aplicando simultáneamente tres corrientes sinusoidales desfasadas 120° a los tres bobinados del motor. La fase de estas corrientes se escoge de forma que el vector de corrientes resultante siempre esté en cuadratura con la orientación del rotor y tenga un valor constante. Como consecuencia de este procedimiento se obtiene un par más preciso y sin el rizado típico de la conmutación trapezoidal. No obstante, para poder generar dicha modulación sinusoidal es necesaria una medida precisa de la posición del rotor. Debido a que los sensores de efecto hall solo proporcionan una posición aproximada es necesario el uso de otro dispositivo que aporte mayor precisión angular como puede ser un encoder [32]

Por lo que es posible alimentar un motor BLDC con una onda sinusoidal. Este enfoque se conoce como control sinusoidal y es una técnica avanzada que permite un control más suave y eficiente del motor BLDC en comparación con el control trapezoidal más común. En el control sinusoidal, como se mencionó anteriormente, el voltaje aplicado a las fases del motor BLDC se modula en forma de una onda sinusoidal, lo que resulta en un flujo de corriente más suave y una menor generación de armónicos. Esto puede conducir a una operación más silenciosa, menos vibraciones y un mejor rendimiento en general, especialmente a bajas velocidades y cargas variables.

De la tabla 5 se obtiene que el motor es de tecnología BLDC 4000W nominal y 72V, el fabricante recomienda el driver ND72680 el cual es de onda sinusoidal con grado de impermeabilización IP67, adecuados para motores de 4-6 kW, este se presenta en la figura 21.



Figura 21 Driver ND72680; Fuente [33]

El ND 72680 es un driver que se describe de onda sinusoidal diseñado para motores BLDC y compatible con la marca QS fabricante del motor implementado. Este controlador se destaca por su eficiencia y su capacidad para gestionar corrientes de hasta 250 Amperes.

Además, su tamaño compacto y diseño resistente al agua, con un grado de impermeabilización IP67, lo hacen adecuado para su ubicación en la zona indicada. Se determinó que el espacio disponible en la zona originalmente destinada al estanque de combustible fósil es de 22x18 [cm], lo cual resulta adecuado para alojar el controlador del motor eléctrico. Sin embargo, es crucial asegurar una adecuada disipación del calor generado por la conmutación de los transistores, ya que este factor es fundamental para garantizar un funcionamiento óptimo y duradero del equipo a lo largo del tiempo. Por otra parte, en el anexo A.2 se encuentran las medidas que coinciden con el espacio disponible descrito en la figura 14 (c).

El drive está equipado con sensores Hall, lo cual es notable, ya que según [32] la conmutación sinusoidal no se puede lograr con sensores Hall, sino con un encoder, que proporciona una mayor resolución. Sin embargo, en [29] se desarrolla un control con modulación de ancho de pulso senoidal, que es similar o equivalente. Esto genera una situación interesante, especialmente considerando la figura 22, donde se indica que el controlador es para motores PMSM y no para BLDC. Sin embargo, la descripción del enlace de compra [33] especifica que es para motores BLDC. Finalmente, el controlador tiene un voltaje máximo de 88V, lo cual es adecuado para un motor nominal de 72V, y un peso de 1.88 kg.

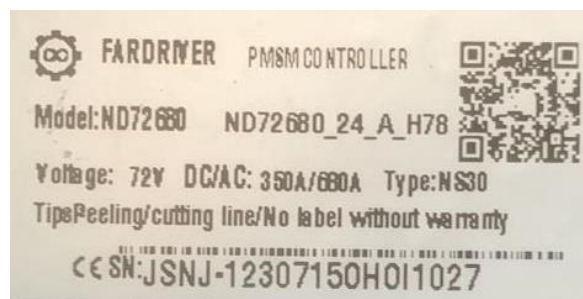


Figura 22 Etiqueta de información driver; Fuente [E.P]

Características Principales

- Componentes de Alta Calidad: El ND72680 utiliza componentes de alta calidad, incluyendo transistores MOSFET de alto rendimiento, para garantizar un rendimiento confiable y duradero.
- Este controlador utiliza un esquema de sustrato de aluminio que mejora la disipación de calor y la eficiencia en la administración de energía
- A pesar de su potencia, este controlador se destaca por su diseño compacto, lo que facilita su integración en una variedad de sistemas y aplicaciones.
- Ofrece una alta eficiencia y mantiene una temperatura de funcionamiento baja, lo que prolonga la vida útil del sistema y reduce el riesgo de sobrecalentamiento.
- El controlador cuenta con una función de autoaprendizaje que mejora la adaptabilidad a diferentes configuraciones y aplicaciones de motores BLDC.
- La aplicación de control es compatible tanto con dispositivos Android como Apple, brindando una experiencia de usuario versátil.

Los cables de control vienen rotulados y los conectores son de la familia DJ70xx-2.8, en el anexo A-3 esta el diagrama de conexión de los pines del conector de control para los accesorios, acelerador, pantalla, alarma, entre otros y el diagrama de conexión esa en el anexo A-4, el manual se encuentra en [34]

En la figura 23 se tiene el sistema de alarma, que directa conexión con el controlador, esta permite activar o desactivar la moto Scooter como tambien posee sensor de movimiento para alertar sonoramente con el buzzer integrado si alguien intenta mover el vehículo sin autorización. El diagrama de conexión se encuentra en el anexo A-5



Figura 23 Alarma del driver; Fuente [35]

En la figura 24 se tiene el acelerador Z6 recomendado por el fabricante del driver, las cuales traen las funciones necesarias para una moto scooter, tales como intermitentes, botón de estacionamiento,

bocina, luces altas y de navegación, botón boost la función de este es aumentar en 30 [A] la corriente nominal del motor para poder hacer una maniobra de adelantamiento. Función con un sensor hall de 5V para detectar la posición del acelerador con una tensión de salida entre 0.8 a 4.2 V hacia el controlador, su máxima fuerza torsional que se puede ejercer es de 9 N.m, la tensión, su masa es de 0.31 kg y sus conectores son DJ70xx-2.8. La definición de conectores está en el anexo A-6.



Figura 24 Acelerador, botoneras y manillas; Fuente [36]

En el Artículo 11 del decreto n°62 [17] se establece que el vehículo transformado debe "Verificar que el vehículo disponga de un dispositivo que permita al conductor identificar el estado del REESS". Por otra parte, la norma UN 136 especifica que "El vehículo deberá tener una función/dispositivo que indique al conductor/piloto si la potencia se reduce automáticamente por debajo de un cierto nivel (por ejemplo, debido a la activación del controlador de salida para proteger el REESS o el sistema de propulsión) o debido a un SOC bajo" [3]. Por estas razones, se implementa un display para verificar el SOC del sistema de almacenamiento energético. El fabricante recomienda el uso del display LCD DKD, el cual tiene comunicación CAN con el controlador y medición directa del estado de carga de la batería. Además, este display puede indicar el estado de las luces de navegación e intermitentes, la posición de las marchas del vehículo, entre otras funciones. El enlace de compra está en [37], y en la figura 25 se muestra una imagen de este equipo. En el anexo A-7 se encuentra el diagrama de conexión, así como las instrucciones de uso y configuración. Este display es universal y permite modificar parámetros como el tamaño de la rueda o la magnitud de corriente del controlador a utilizar.



Figura 25 Display Moto scooter; Fuente [37]

3.4.3 Circuito de Bajo Voltaje

Según la normativa de conversiones a eléctricas australiana se debe utilizar un sistema de energía independiente del REESS con una tensión nominalmente de 12 V, para garantizar el suministro de energía a los equipos de seguridad como luces, servofrenos y limpiaparabrisas en caso de que se apague el sistema de batería principal del vehículo. Este equipo es llamado VFU auxiliar por sus siglas en inglés Normalmente esta fuente de alimentación es una batería de 12V. El suministro auxiliar debe ser capaz de operar las luces de emergencia, luces intermitentes de cuatro vías, en un ciclo de trabajo normal, durante un período mínimo de 20 minutos continuos. Si el suministro auxiliar se carga a través de un convertidor CC/CC desde el paquete de baterías de tracción principal, entonces debe suministrarse con preferencia al circuito de tracción, es decir, el motor debe dejar de funcionar antes que los faros. El suministro de equipos auxiliares deberá diseñarse de manera que sea posible el funcionamiento satisfactorio de todos los equipos, especialmente de frenos y faros, durante todo el ciclo de descarga de las baterías de tracción.

Para la moto scooter el espacio ideal es donde ya estaba la batería de los equipos auxiliares anteriormente, en la parte posterior del vehículo, de esta manera se utiliza los mismos soportes, creando una red entre el REESS, el DC DC y la batería de 12V, en la figura 26 se tiene un diagrama de cómo va instalada la batería de 12v dentro de su habitáculo.

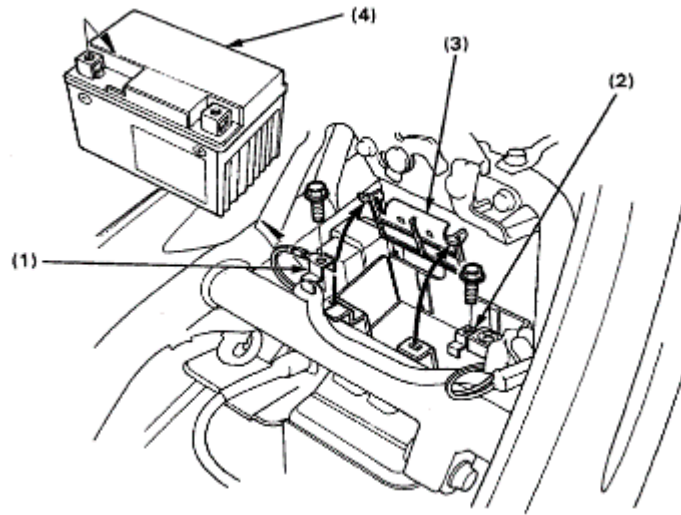


Figura 26 Batería de accesorios; Fuente [24]

Para el caso del convertidor DC DC este se muestra en la figura 27 y se instaló en la parte frontal de la moto scooter, dada la cercanía con el sistema de luces, por lo que se tendrá que cablear hasta la parte posterior para conectar la batería de los accesorios, el enlace de compra del DC DC está en [38] y la tabla 6 entrega los parámetros de este componente, el sistema de conexión es el DJ70xx-2.8 de cuatro pines



Figura 27 DC DC; Fuente [38]

Tabla 6 Conversor DC DC

Características	Valor
Voltaje de Entrada	36V-72V
Voltaje de Salida	12V/10A
Potencia de Salida	120W
Protecciones	Sobre corriente, Sobretensión, Cortocircuitos, Seguro incorporado

Para el sistema de luces se reutilizará toda la óptica de la moto scooter original como también la bocina, pero se cambiará las ampolletas a luces led, el diagrama original de eléctrico de la honda Dio se encuentra en el anexo A-8, este servirá de guía, pero, a fin de cuentas, el ramal de accesorios será recreado desde cero, dado que se cambio las manillas y todo el sistema.

En la figura 28 se tiene los nuevos sistemas ópticos de luz, ambos de led y 12V, el caso del foco delantero con el enlace de compra en [39] es referida en (a) es blanco cálido de 30W con una corriente de 2800 mA y 2700 LM. Para los intermitentes se muestra en (b) se ocupará un led amarillo naranja de 1.5W de 12V, enlace de compra en [40]

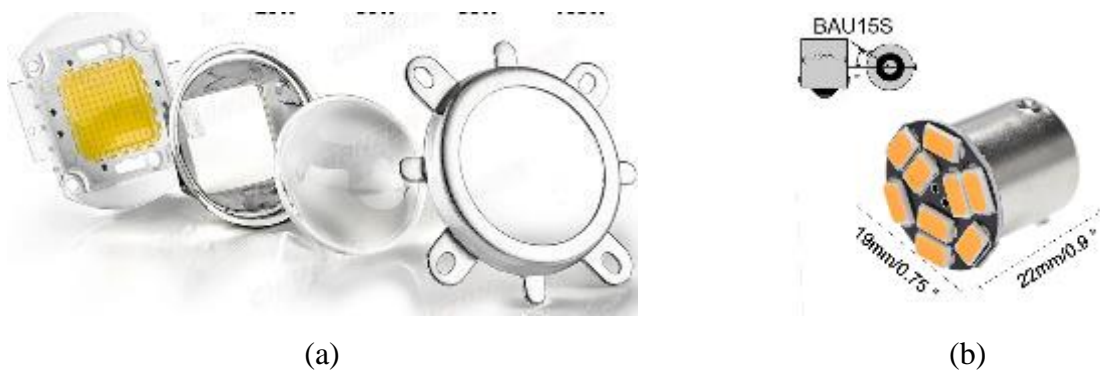


Figura 28 Sistema de luces

(a) Foco delantero; Fuente [39] (b) Intermitentes; Fuente [40]

3.4.4 Elementos de protección eléctricos de alto voltaje DC

La implementación de un sistema de seguridad eléctrica robusto es esencial para garantizar la operación segura de una moto scooter convertida a propulsión eléctrica, especialmente cuando se trabaja con voltajes peligrosos, como en el caso de un sistema nominal de 72V.

El procedimiento de encendido se lleva a cabo mediante dos interruptores de llaves, el cual desempeña un papel crucial en garantizar que la activación del tren motriz solo ocurra cuando sea necesario. La ubicación accesible del interruptor de encendido y su capacidad para aislar todas las

conexiones eléctricas son aspectos fundamentales para la seguridad del conductor. Además, se enfatiza la necesidad de desconectar el paquete de tracción del resto del circuito de tracción a través de un contactor accionado por el interruptor de encendido.

En situaciones de colisión, la instalación de un interruptor de inercia proporciona una capa adicional de seguridad, desconectando rápidamente el paquete de tracción para prevenir riesgos adicionales. La protección contra sobre corriente del paquete de baterías se logra mediante dispositivos como fusibles o relés/disyuntores de sobrecarga. Es vital que estos dispositivos estén ubicados estratégicamente para minimizar la exposición del cableado y garantizar la rápida interrupción de corriente en caso de fallo.

La disposición de un fusible dentro del gabinete de la batería se ajusta a las normativas Clase A (litio) según la normativa australiana [11], contribuyendo a reducir la longitud expuesta del cable y, por ende, minimizar el riesgo asociado. Se destaca la importancia de que estos dispositivos estén diseñados para corriente continua y que cumplan con las especificaciones de voltaje máximo del sistema.

Según la norma UN R136 [3], se indica lo siguiente en la sección 5.3.1 sobre requisitos adicionales de seguridad funcional:

5.3.1.1. El conductor deberá realizar al menos dos acciones claras y deliberadas al arrancar para seleccionar el modo de conducción posible activo.

5.3.1.2. Para desactivar el modo de conducción posible activo será necesaria una única acción.

Sumando estos requisitos con la normativa australiana, se ha implementado un interruptor de corta corriente, como se muestra a continuación. Además, se reutiliza la llave original de la Honda Dio para asegurar que se realicen dos pasos para iniciar la conducción del vehículo. La llave original solo inicia el ON/OFF del controlador, funcionando como una señal de control y no de potencia, en comparación con el interruptor de corta corriente que corta directamente toda la energía hacia la moto. Cualquiera de estos dos interruptores desactiva todo el sistema de propulsión.

A. *Corta corriente*

En la normativa [11] se menciona la "**Desconexión de servicio**" significa el **dispositivo para desactivar el circuito eléctrico al realizar comprobaciones y servicios del REESS, pila de combustible, etc.** Un cortacorriente representa un dispositivo de seguridad esencial que cumple la función de desconectar la alimentación eléctrica entre el controlador y el Sistema de Gestión de Batería (BMS) en una moto scooter eléctrica. Fabricado con materiales de plástico y metal, este interruptor de batería asegura durabilidad y resistencia, con una capacidad máxima de corriente de 300 A, lo que le permite manejar la potencia eléctrica requerida para el funcionamiento óptimo del sistema de la moto scooter. Una característica destacada de este cortacorriente radica en la capacidad de retirar la llave cuando no hay conexión de alimentación, ofreciendo así un nivel adicional de seguridad para prevenir encendidos no deseados del sistema. La cubierta impermeable añadida protege el agujero de la llave, asegurando su durabilidad y fiabilidad en diversas condiciones ambientales. La instalación estratégica del cortacorriente entre el controlador y el BMS de la batería resulta fundamental para garantizar la seguridad y el control del sistema eléctrico de la moto scooter. Esta medida de seguridad desempeña un papel crucial al prevenir encendidos no deseados, contribuyendo así a la seguridad integral del vehículo y su entorno.



Figura 29 Corta corriente; Fuente [41]

B. *Interruptor de inercia*

El interruptor de inercia, también conocido como interruptor de corte de combustible, representa un componente vital de seguridad diseñado para desconectar la alimentación de combustible o energía eléctrica en situaciones de impacto o colisión. Su función esencial radica en

interrumpir de manera inmediata el suministro de combustible o energía para mitigar riesgos adicionales en casos de emergencia, como accidentes automovilísticos.

Este interruptor se activa mediante la fuerza de inercia generada durante un impacto, desplazándose a una posición que corta el suministro de combustible o energía. Aunque el fabricante no proporciona valores específicos sobre la fuerza G que puede soportar antes de desconectar, se utiliza en modelos europeos como Peugeot 206, Peugeot 306, Citroen Xsara y Picasso 03.

En el caso específico de la moto scooter, este interruptor desactiva el sistema del controlador en situaciones de impacto significativo, dado que los cables como se puede ver en la figura 30 son de un diámetro que no puede aguantar grandes corrientes, por otra parte estará ubicado en un lugar accesible pero no directo, este dispositivo opera de manera automática para emergencias. Además, cuenta con un botón rojo que, al presionarse, restaura el funcionamiento completo del sistema. Su código es OEM 1477226080 y su material de composición principal es el ABS



Figura 30 Interruptor de inercia; Fuente [42]

C. Fusible batería

De acuerdo con la normativa australiana [11], se requiere la aplicación de un fusible u otro dispositivo para un paquete de baterías Clase A, el cual puede ubicarse dentro del gabinete de la batería con el propósito de minimizar la longitud expuesta del cable. En la Figura 31 se presenta el kit de fusibles, el cual incorpora su propio portador y un fusible de cobre diseñado para soportar 120 amperios. Esta capacidad se ha dimensionado considerando una corriente máxima esperada de 100 amperios, con un

margen adicional para posibles picos que puedan surgir, las medidas portan fusible se encuentran en el anexo A.9



Figura 31 Fusible y soporte; Fuente [43]

3.5. Diseño e implementación del kit de propulsión eléctrica

En primer lugar, se describe el proceso de acoplamiento entre el motor hub y el chasis de la moto scooter. Inicialmente, se escanea el soporte de la rueda trasera para crear un modelo digital con el motor, como se muestra en la figura 32. Este proceso se realiza a través del Laboratorio de Manufactura Avanzada de la UCSC, donde se digitalizan los elementos y se genera el acople correspondiente. Esta representación digital nos proporciona información sobre las dimensiones del motor eléctrico en relación con el soporte de aluminio, lo que nos permite evaluar su compatibilidad inmediata o determinar si se requieren modificaciones

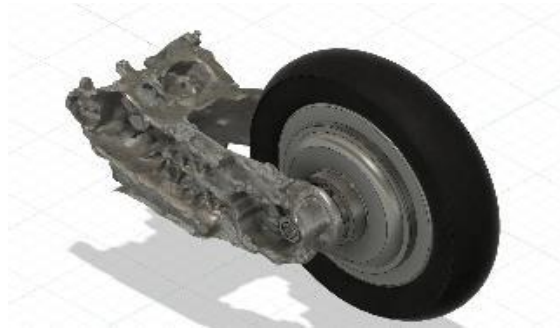


Figura 32 Primera iteración soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]

En la figura 33 se muestra una vista superior del sistema de propulsión motriz. En la figura (a) se coloca el motor con el soporte directamente, donde se observa que el neumático choca con el soporte. Esto impide tanto la instalación como el movimiento, ya que, aunque el motor tiene el mismo tamaño que la rueda original, su eje está desplazado debido a la instalación del disco de freno, a diferencia de la rueda original que no tenía este espacio, como se puede ver en la figura 12. Por otro lado, en la figura (b) se muestra el motor en la posición correcta para mantener el centro de equilibrio, pero parte de la estructura del soporte del basculante interfiere con el motor en el sector de anclaje al eje, lo que confirma que la instalación directa no es factible.



Figura 33 Vista superior primera iteración soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]

(a) Motor con soporte sin modificaciones (b) motor con soporte ajustado al eje de la moto Scooter

En la figura 34, se presenta la segunda iteración propuesta para el sistema motriz eléctrico. Esta modificación implica la instalación de una placa metálica con un espesor de 8 a 10 mm, que reposicionará el motor-rueda al punto de equilibrio de la moto scooter. Sin embargo, esta modificación requiere sujetar la placa a los pernos que conectan el soporte de aluminio con la placa metálica, así como cortar o eliminar una parte del soporte trasero, justo en el anclaje del eje trasero, como se puede ver en la figura 33 (b), que interfiere con el posicionamiento del motor. Es esencial llevar a cabo un análisis de las fuerzas que actúan sobre la rueda para determinar si es necesario agregar refuerzos a la placa o si se puede reducir el material para disminuir su masa.

Además, esta placa metálica brinda la oportunidad ideal para instalar la pinza de freno trasero. Para este propósito, se perforarán dos orificios en la placa, diseñados para adaptarse a las dimensiones del disco del motor. Esta ubicación resulta estratégica y eficiente para la instalación del freno trasero en el sistema.

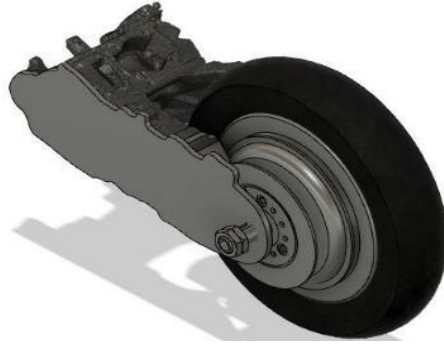


Figura 34 Segunda iteración soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]

En la figura 35 se muestra la tercera iteración del soporte del motor, donde se opta por construir un nuevo soporte en acero de 8 mm y una viga tipo H del mismo espesor. Esta decisión se tomó debido a que, en la segunda iteración, las modificaciones eran significativas y la estructura de aluminio no estaba preparada para anclar una placa de soporte a los pernos que previamente sujetaban la tapa de la caja CVT, la cual no era un componente diseñado para soportar grandes fuerzas exteriores.

La estructura final fue calculada por el Laboratorio de Manufactura Avanzada de la UCSC [44] para el análisis de fuerzas. El plano correspondiente se encuentra en el anexo A.10. Esta estructura mantiene el mismo sistema de soporte para la unión con el chasis, incluyendo los bujes de goma, que se reutilizarán.

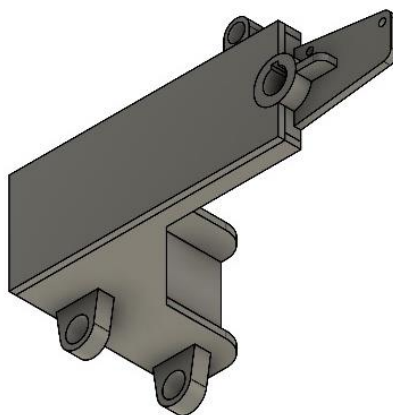


Figura 35 Tercera y final iteración del soporte de propulsión eléctrica; Fuente [44]

En la Figura 36 se presenta el sistema de freno trasero que se emplea en la moto scooter, es componente hidráulico de dos pistones, una bomba y el flexible. Se requiere diseñar un sistema que

use la manilla original de la moto scooter la cual es un freno de piola (mecánico), y hacer un sistema hidráulico-mecánico para la función de frenado.



Figura 36 Sistema de frenado trasero; Fuente [E.P]

En la figura 37 (a) se muestra el motor eléctrico con el neumático original de la moto scooter y el nuevo soporte, todo ensamblado, donde las medidas calzaron perfectamente. En la figura 37 (b) se presenta el sistema motriz original de la Honda Dio, donde se puede observar que el bloque del cilindro se eleva hasta la bujía, espacio que ya no será utilizado, esto es de importancia para la integración de la batería más adelante. Además, se puede notar la ausencia del freno de disco en comparación con el nuevo sistema, mejorando así la capacidad de frenado del vehículo.

Estas imágenes ilustran claramente las diferencias en simplicidad y eficiencia que se pueden lograr con una propulsión eléctrica frente la combustión interna hablando de un sistema mecánico. En ambas figuras, en la parte inferior, se ven las orejas donde se une el soporte con el chasis, utilizando un buje metálico engomado, el cual se reutiliza, extrayéndolo de la figura 37 (b) para integrarlo en la figura 37 (a). Este proceso se realiza con una prensa hidráulica en un taller especializado en el cambio de estos componentes. De igual manera, el neumático fue cambiado por un taller especializado.

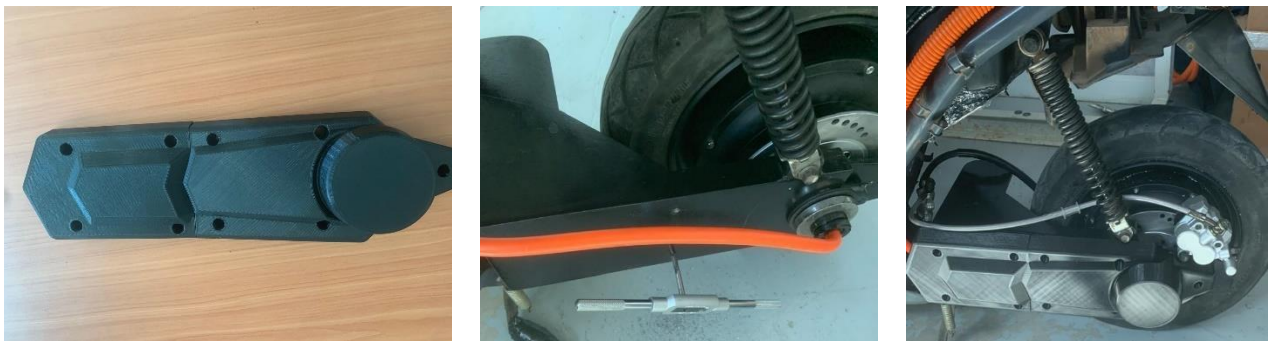


Figura 37 Instalación Motor rueda con soporte trasero; Fuente [E.P]

(a) Nuevo sistema de propulsión eléctrica. (b) Antiguo sistema de propulsión de combustión interna.

En la figura 38 se muestra la terminación final del sistema de propulsión eléctrico, diseñado en [44] y fabricado mediante impresión 3D. En la figura 38 (a) se puede ver el componente finalizado, cuya utilidad es estética, pero principalmente protege el cable de potencia del motor. Por otra parte, en la figura 38 (b), con la ayuda de una herramienta para hacer hilos metálicos llamada macho y porta macho para pernos M6, se realiza el trabajo de sujeción de la cubierta mencionada en la figura (a), realizando 9 perforaciones exitosas sobre el soporte metálico del motor.

Finalmente, en la figura 38 (c), se muestra la tapa instalada en el soporte con sus respectivos pernos Parker M6. El sistema de propulsión está instalado en el chasis de la moto scooter, con el amortiguador conectado y el sistema de frenado montado, todo de manera exitosa.



(a) (b) (c)

Figura 38 Instalación protector cable motor en soporte trasero; Fuente [E.P]

(a) Tapa de soporte motor. (b) fabricación de hilos para sujeción de (a). (c) Tapa instalado en soporte

En la figura 39 se muestra el proceso de instalación del controlador del sistema de potencia en el chasis de la moto scooter. En la figura 39 (a) se puede ver el estanque de combustible recortado por la mitad, ya que antes estaba sellado, como se observa en la figura 14 durante la etapa de desmontaje. El estanque, que presentaba corrosión, fue limpiado y pintado, lo cual se puede apreciar en la figura 39 (c), donde se instala el controlador, la alarma y el interruptor de inercia con los pernos mostrados en la figura 39 (b).

Por último, en la figura 39 (d) se muestran las conexiones de potencia. Los terminales azul, verde y amarillo corresponden a las tres fases del motor, mientras que los terminales inferiores son para la batería o REESS. De estos terminales se desprenden dos cables de menor tamaño para accesorios como el convertidor DC-DC o el display para ver el estado de carga (SOC).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 39 Instalación Controlador en moto scooter; Fuente [E.P]

(a) Estante de gasolina recortado (b) pernos para sujeción controlador. (c) controlador instalado (d) conexiones de potencia controlador

En la figura 40 se muestra la instalación final del control de la moto scooter. En la figura 40 (a) se presenta una estructura metálica zincada que protege el controlador y los cables, y que además sirve como soporte para la tapa plástica que actúa como pisadera del conductor, la cual se observa en la figura 40 (b) ya instalada. También se puede ver que la tapa donde estaba la recarga de combustible ahora proporciona acceso al interruptor de inercia, en caso de que la moto se desactive debido a una colisión fuerte. En este mismo lugar, se encuentra el cable para cargar el REESS.



(a)



(b)

Figura 40 Conexión final controlador; Fuente [E.P]

(a) Conexión final (b) tapa de acceso a botón de inercia y salida de cargador batería.

El display y la manilla de freno, presentados en las figuras 24 y 25, se instalan en la figura 41. Dado que las nuevas manillas son distintas a las originales de la moto scooter, es necesario adaptarlas. Con la ayuda del Centro de Innovación de la UCSC, se procede a calcular cómo realizar esta adaptación para reutilizar y conservar los plásticos originales. En las figuras 41 (a) y (b), se trazan los espacios a eliminar, y en la figura 41 (c), se procede a cortar y limar para obtener una buena terminación. Este trabajo se realiza en el Cowork de la UCSC, en el taller 2, para reservas de estudiantes el link se encuentra en [45]. Para finalizar, la Honda Dio Sr tiene frenos mecánicos de balatas en las dos ruedas, estas funcionan con un sistema mecánico de piolas, a través de unas manillas este sistema se mantiene, pero se conecta un switch de freno on/off conectado al controlador, dado que este solo necesita dos líneas que podemos ver en el etiquetado del controlador para low brake.



(a)



(b)



(c)

Figura 41 Instalación acelerador, manillas de freno; Fuente [E.P]

(a) espacio a eliminar manilla izquierda (b) espacio a eliminar manilla derecha (c) Trabajos en manillas originales

Para la instalación del display, se continúa trabajando en el Cowork de innovación de la UCSC [45], donde se prototipa cómo hacer calzar la pantalla LCD en el espacio donde antes estaba el tablero de instrumentos de la Honda Dio. El proceso se registra en la figura 2. En la figura 2 (a), se muestran los primeros avances en digitalización. Posteriormente, se procede a prototipar en cartón y luego en material MDF. Una vez que estos elementos calzan correctamente, en la figura 2 (c) se corta y pliega el acrílico. Este material se utiliza porque estaba disponible y podía ser cortado por la máquina CNC láser del laboratorio, dado que el aluminio no se puede trabajar con las máquinas disponibles en este caso.



(a)

(b)

(c)

Figura 42 Diseño e instalación de soporte pantalla LCD; Fuente [E.P]

(a) Diseño de soporte display (b) prototipado en cartón (c) modelo final en acrílico

En la figura 43 se tiene el conexionado de alta tensión de la moto scooter transformada donde se puede notar que todos los cables están cubiertos de color naranja, esto se debe a la normativa UNECE R100 [2] que señala “Disponer de una cubierta exterior de color naranja para los cables de los circuitos eléctricos de alta tensión que no estén situados en el interior de envolventes”.



Figura 43 Conexionado de alto voltaje; Fuente [E.P]

3.6. Discusión

La conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos ofrece la ventaja de aprovechar varios espacios disponibles para almacenar componentes eléctricos. En el caso de la moto scooter, no hubo problemas significativos para encontrar espacios adecuados para la integración del retrofit eléctrico. Sin embargo, es esencial seleccionar componentes adecuados, ya que no siempre encajan perfectamente desde el principio, como ocurrió con el soporte de la rueda trasera y el motor hub.

Afortunadamente, existe una amplia variedad de componentes en el mercado internacional. Por ejemplo, se encontró un motor eléctrico que se ajustaba perfectamente al neumático de la Honda Dio, un modelo producido en 1989 que funciona con soporte de eje en un solo lado. La tecnología necesaria para electrificar el vehículo está disponible en todos los componentes, desde el motor y el controlador hasta las luces, que ahora consumen menos energía que las ampolletas tradicionales, mejorando así la eficiencia.

La implementación de estos componentes a menudo requiere un trabajo profesional y de alta complejidad. La fabricación de soportes, como el del motor o la pantalla, es un desafío que probablemente un electricista no podría abordar de manera óptima sin la colaboración adecuada. Esta etapa fue posible gracias al apoyo de la universidad, sus profesionales y sus laboratorios, que proporcionaron el conocimiento y las herramientas necesarias para superar estos desafíos.

A continuación, se presenta el diagrama 1, el cual es una forma de ver la integración de los componentes en la moto Scooter, en verde se tiene todo lo que es el control e interacción humana con

el vehículo, en amarillo se tiene todo los componentes de alto voltaje, la mayor parte es en tensión continua a excepción de la red eléctrica para alimentar el cargador, el cual se hablara en el siguiente capitulo, tambien entre la bateria y el motor todos los componentes en horizontal tiene flechas bidireccionales para el flujo de energía desde uno al otro, en el caso de acelerar descargando la bateria y frenando, generando una corriente hacia ella por el frenado regenerativo. Por último, en naranja se encuentra el circuito de bajo voltaje (12 v) para las luces y la bocina, este se alimenta desde el conversor DC DC.

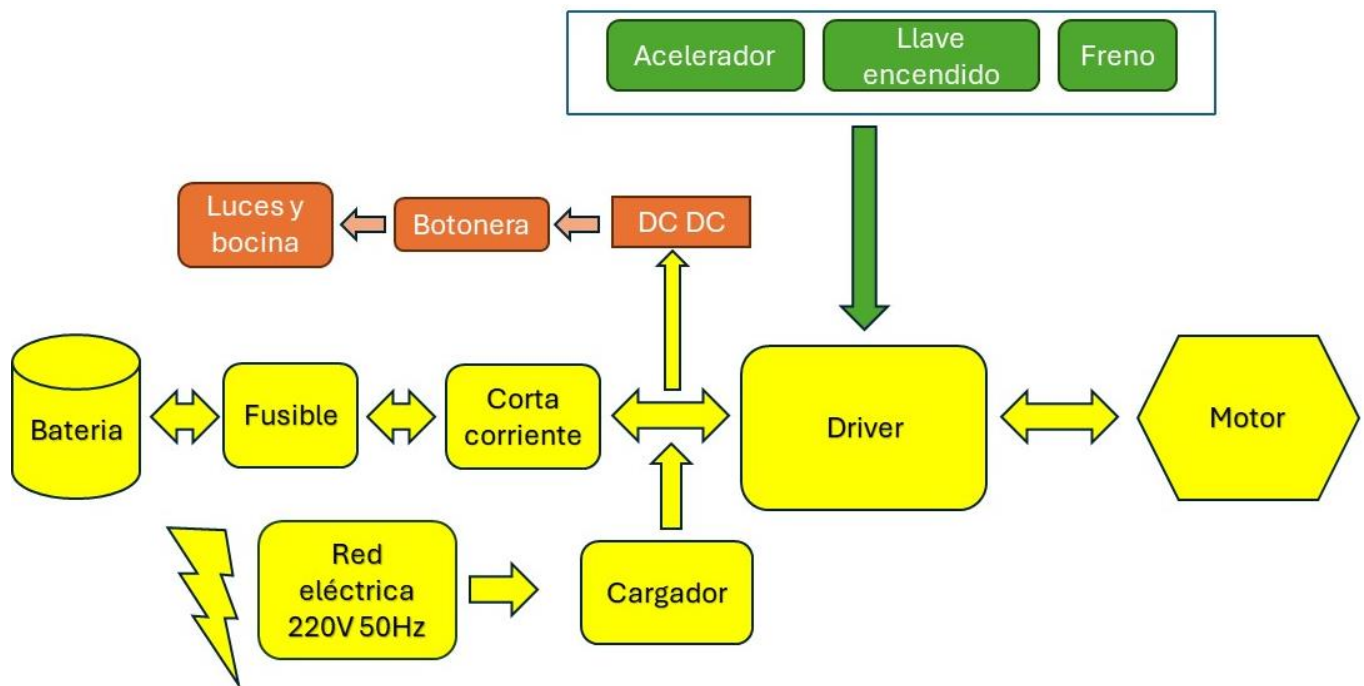


Diagrama 1 Esquema eléctrico general de la moto scooter

Capítulo 4. Sistema de almacenamiento de energía eléctrica recargable (REESS)

4.1. Introducción

Las baterías son componentes críticos en la conversión de vehículos convencionales a vehículos eléctricos, ya que proporcionan la energía necesaria para la propulsión y el funcionamiento de los sistemas auxiliares. En el caso de un vehículo eléctrico, el objetivo es conseguir el mayor almacenamiento de energía potencial en un espacio limitado, con un peso y costo limitado, mientras se asegura que esta energía puede ser extraída y reemplazada rápida y eficientemente.

En este capítulo se desarrolla el diseño y fabricación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica recargable (REESS) para la moto scooter convertida a eléctrica, con celdas de segunda vida, ahora llamadas Second Life Battery (SLB).

Para diseñar el sistema de almacenamiento energético de una motocicleta convertida a eléctrica, es crucial determinar qué celdas se pueden utilizar y su estado de vida útil. Además, se debe analizar la oferta disponible en el mercado de baterías para moto Scooter y su autonomía. Es fundamental evaluar cuánta energía se puede almacenar en la Honda Dio y comparar la energía necesaria para lograr la misma autonomía que la moto scooter original con la autonomía real que se puede alcanzar con el almacenamiento energético disponible.

Una vez recopilada esta información, se debe construir el pack de celdas. Posteriormente, se debe diseñar la carcasa que protegerá y sostendrá estas celdas, asegurándose de calcular los costos asociados en cada etapa del proceso.

Las baterías tienen características químicas diferentes. Estas características a su vez proporcionan las fortalezas y debilidades específicas de las diferentes sustancias químicas. La selección de batería es la corriente de carga y descarga, que no sea tóxica (si es posible), alta eficiencia de descarga y los ciclos útiles o tiempo de uso.

Hay baterías primarias y secundarias. Las baterías primarias están diseñadas para un solo uso terminado, las baterías secundarias son baterías recargables, en el caso de la normativa australiana se subclasifica en clase A o clase B para baterías secundarias.

Existen diferentes tecnologías de baterías utilizadas en vehículos eléctricos, cada una con sus propias características y ventajas. Algunas de las tecnologías de baterías comúnmente utilizadas en vehículos eléctricos incluyen:

1.- Baterías de iones de litio (Li-ion): Las baterías de iones de litio son ampliamente utilizadas en vehículos eléctricos debido a su alta densidad de energía, larga vida útil y peso ligero. Estas baterías ofrecen una combinación de alta capacidad de almacenamiento de energía y capacidad de carga rápida, lo que las hace ideales para aplicaciones de vehículos eléctricos

2.- Baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄): Las baterías de fosfato de hierro y litio son conocidas por su alta estabilidad térmica, larga vida útil y seguridad mejorada en comparación con otras tecnologías de baterías de iones de litio. Estas baterías son adecuadas para aplicaciones de vehículos eléctricos que requieren una mayor seguridad y durabilidad

3.- Baterías de plomo-ácido: Aunque menos comunes en vehículos eléctricos modernos, las baterías de plomo-ácido siguen siendo utilizadas en algunas aplicaciones debido a su bajo costo y facilidad de reciclaje. Sin embargo, presentan limitaciones en términos de densidad de energía y vida útil en comparación con las baterías de iones de litio

4.- Baterías de níquel-metal hidruro (Ni-MH): Las baterías de níquel-metal hidruro han sido utilizadas en vehículos eléctricos en el pasado, pero su uso ha disminuido con la popular batería de iones de litio.

Por consiguiente, podemos decir que las tecnologías más avanzadas y disponibles del mercado actualmente están basadas en iones de litio. La Figura 44 muestra una comparación de los distintos tipos de baterías de iones de litio (LiBs) en términos de costo, densidad de energía, potencia específica, seguridad, rendimiento y vida útil. El uso de LiBs para almacenamiento de energía en dispositivos portátiles es popular debido a su alta densidad de potencia, larga vida útil y baja autodescarga. Se han

comparado varios tipos de LiBs, como Li-ion-Cobalto (LCO), Li-ion-Manganeso (LMO) y Li-ion-Fosfato (LFP). Los resultados indican que las LiBs tienen ventajas significativas en todas estas áreas. Además, existen diversas químicas de LiBs, cada una con sus propias características específicas.

En la Figura 44, por ejemplo, se observa que las LiB NMC y LCO tienen la mejor densidad energética, esencial para vehículos eléctricos donde la masa y el espacio disponible son cruciales. Otro aspecto destacado es la cantidad de ciclos de vida, donde las LFP, LTO y NCA muestran los mejores resultados. En términos de seguridad, las LTO y LFP sobresalen, ya que, a diferencia de las celdas NMC, no reaccionan con una explosión y fuego cuando son perforadas por un objeto, solo emiten gases que pueden ser contaminantes, pero no inician fuego. Estas características son importantes a considerar al diseñar un paquete de baterías para la industria automotriz, donde un accidente grave podría perforar las celdas. Por ello, las carcasas protectoras son de suma importancia para garantizar la seguridad en caso de colisiones severas.

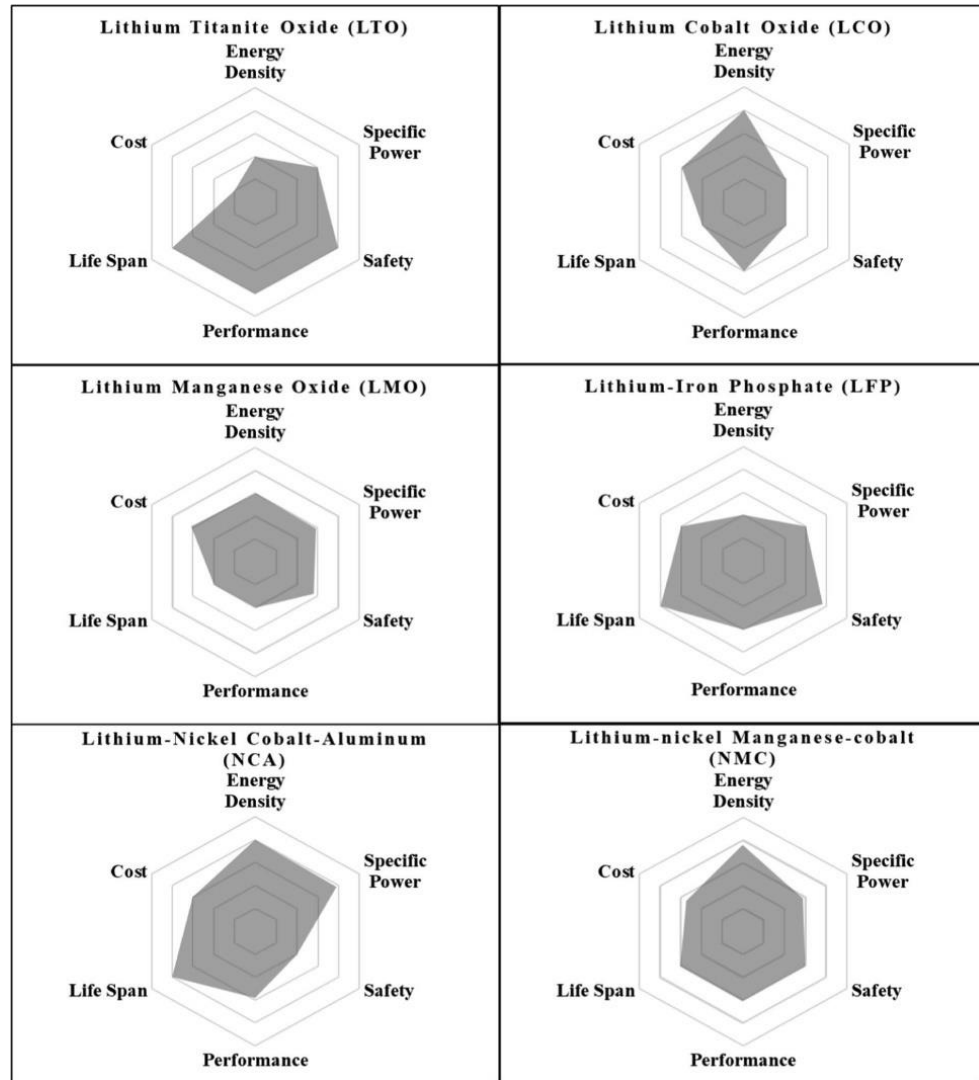


Figura 44 comparación tecnologías de LiB; Fuente [46]

4.2. Definiciones importantes de los REESS

Algunos términos importantes para la explicación de este capítulo son:

- LiB (Lithium-ion battery): batería de iones de litio es una batería. Funciona mediante el movimiento de iones de litio entre un ánodo de grafito y un cátodo compuesto de óxidos metálicos (como cobalto, níquel o manganeso) durante los ciclos de carga y descarga, lo que permite un almacenamiento eficiente de energía.
- Capacidad: Se refiere a la medida de la energía que una celda puede almacenar y suministrar, expresada típicamente en vatios-hora (Wh) o amperios-hora (Ah) [48].

- SOC: El estado de carga es la cantidad de energía presente en la batería, respecto al total. Se expresa en porcentaje. Un SOC = 70% indica que la batería tiene una carga disponible de un 70% de su total.

$$SOC(\%) = \frac{\text{Carga remanente(Ah)}}{\text{Capacidad nominal de la batería (Ah)}} * 100 \quad (1)$$

- DOD (depth of discharge): La profundidad de descarga se refiere a la cantidad de energía que se ha extraído de la batería, expresada en porcentaje. Si se indica que la batería tiene un DOD = 40%, la batería tiene un 40% menos de su energía disponible. Para cualquier batería, SOC + DOD = 100%.
- SOH: Se puede definir como el valor (en porcentaje) de la capacidad de la batería para almacenar y entregar energía referenciada a su capacidad nominal. Puede ser considerablemente influenciado por factores externos tales como: funcionamiento temperatura, ciclos de carga/descarga, envejecimiento, profundidad de descarga y sobrecarga de la batería [47]
- Tasas de carga y descarga: Estos términos indican la fracción de la corriente necesaria idealmente para cargar o descargar la celda en un tiempo específico, tomando como referencia la corriente nominal (C). Por ejemplo, una tasa de descarga de C/2 significa que la celda suministra corriente a la mitad de su valor nominal. Así, una batería de 10 Ah descargada en C/2 suministra 5 Ah en ese período. En términos de escala de tiempo, utilizando este mismo ejemplo, la batería se descargará completamente en 1 hora si se consumen 10 A durante todo el periodo de carga.[48]
- Protocolos de carga: Existen varias técnicas para cargar una batería, siendo una de las más comunes el protocolo de carga de corriente y voltaje constantes (CCCV). En este caso, se aplica una corriente constante hasta que la batería alcanza un límite específico de voltaje (por ejemplo, 4,2 V para LiPo). Luego, el voltaje se mantiene constante en este valor máximo mientras la corriente disminuye hasta cierta magnitud.[48]

- End-of-Life (EoL): En este caso se puede decir que la batería alcanzó su fin de vida útil definido por el fabricante. Es importante destacar que en la práctica se considera que una vez que el SOH alcanza un punto entre el 70 % y el 80 % del SOH, la batería se degrada “totalmente”.
- Ciclo: Aunque aún no hay una definición clara de ciclo de batería, la más aceptada es el número de veces que una batería puede cargarse completamente y descargarse hasta alcanzar su fin de vida útil (EoL).[48]
- Vida Útil (Lifespan): La vida útil de una batería es el período durante el cual la batería puede operar de manera eficaz y confiable antes de que su rendimiento se degrade significativamente. Se mide comúnmente en términos de ciclos de carga y descarga (un ciclo completo es una carga y una descarga) o en años de uso.

Importante definir la diferencia entre el SOH que proporciona una instantánea de la condición actual de una batería, mientras que la vida útil describe la duración total del servicio útil de la batería.

- SEI (Solid Electrolyte Interphase): La capa de interfase sólida es una capa delgada que se forma en la superficie del electrodo de litio en baterías de iones de litio durante las primeras cargas y descargas. Esta capa es crucial para el rendimiento y la seguridad de la batería, ya que actúa como una barrera que controla la transferencia de iones de litio y evita reacciones químicas no deseadas entre el electrolito y el electrodo.

4.2.1 Modelado Bateria

Para explicar algunos conceptos importantes en la fabricación de un SLB, es necesario dar una breve descripción de la modelización general de baterías, se presentan varios circuitos equivalentes en la literatura, el más simple de ellos es el modelo Rint, como se muestra en la Fig.45, U_{oc} es el voltaje de circuito abierto, U_L el voltaje terminal, R_o es la resistencia de la batería, e I_L es la corriente de carga, que fluye hacia los terminales durante la descarga. El voltaje terminal se expresa como:

$$U_L = U_{oc} - I_L R_o \quad (2)$$

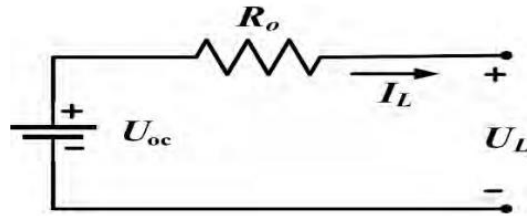


Figura 45 Modelo batería Resistencia interna; Fuente [54]

Existen otros modelos más complejos que simulan de mejor manera el comportamiento de una batería de entre esos está el circuito RC, de resistencia y capacitancia, donde se representa la capacidad de almacenamiento de energía química de las baterías con un condensador, las resistencias se agregan en serie y en paralelo con dos fuentes para una representación detallada de un sistema de batería.

Además de los modelos mencionados anteriormente, las resistencias del circuito equivalente de la batería pueden usarse para tener en cuenta las capacitancias, la resistencia de transferencia de carga y la resistencia del electrolito. Para cualquier modelo de batería, la combinación de todas estas resistencias representa la resistencia interna de esa batería. Si se formula en términos de voltaje de circuito abierto (OCV), voltaje terminal de la batería y corriente de descarga, la resistencia interna (R_{int}) puede expresarse como:

$$R_{int} = \frac{\text{voltaje circuito abierto} - \text{voltaje terminal batería}}{\text{Corriente descarga}} \quad (3)$$

La forma principal de modelar una batería es crear un circuito equivalente con parámetros que representen el voltaje interno, las resistencias internas y las capacitancias de la celda. Las ecuaciones que rigen un modelo de batería deben reflejar sus relaciones con la temperatura, el estado de salud (SOH), el estado de carga (SOC) y el flujo de corriente, al tiempo que replican el comportamiento no lineal de la batería. [54]

La relación de una batería con estos factores depende de la química de la celda, y, por lo tanto, debe determinarse mediante experimentación en ese tipo de celda. Una batería envejecida muestra signos de degradación mediante una pérdida gradual de la capacidad de reserva y un aumento en la resistencia interna, lo que reduce aún más el voltaje terminal. El modelado de una batería de segunda

vida requiere determinar cómo cambian en valor los parámetros de la batería y cuáles son los factores que afectan estos cambios. [54]

4.3. Baterías de segunda vida (SLB)

4.3.1 Definición segunda vida

En la figura 46 se presenta el ciclo de vida resumido de una batería, una batería de segunda vida (Second Life Battery) es la reutilización una batería de almacenamiento energético luego de su primer uso, esto se logra a través de una serie de procesos para ver cuál es la condición del sistema para ser utilizado en otra aplicación, entre esos está el estado de salud (SOH) de las baterías que puede verse afectado por diferentes variables como: temperatura de operación y almacenamiento, profundidad de descarga, rangos de operación del estado de carga (SOC), rango de oscilación (rango entre el valor máximo y mínimo). del SOC en un ciclo) y corriente de descarga, solo por mencionar algunos. Todas estas variables tienen un impacto en la impedancia interna de la batería, dando como resultado un sistema dinámico, no lineal y variable en el tiempo, donde la impedancia interna juega un papel importante en la duración de los ciclos y en la vida útil del paquete de baterías. La impedancia de las baterías es una de las principales razones argumentadas para considerarlas degradadas. Calcular esta impedancia no es una tarea fácil, por lo que es más sencillo definir que una batería está “degradada” cuando su capacidad alcanza valores entre el 70 y el 80% de su capacidad nominal.[47]

Se sabe que las baterías están diseñadas para funcionar durante una **determinada cantidad de ciclos**, aunque este número es aproximado y **puede manipularse si se controla el SOC** en determinadas condiciones [47]

En resumen, una vez que el estado de salud (SOH) de las baterías de vehículos eléctricos se degrada a aproximadamente el 70-80% de su capacidad nominal inicial, se recomienda reemplazarlas con baterías nuevas. La necesidad de reemplazar las baterías surge del hecho de que la capacidad restante no proporciona la autonomía suficiente que los conductores deseaban [51]



Figura 46 Resumen ciclo de vida batería; Fuente [E.P]

En los vehículos eléctricos, la batería debe funcionar sólo durante 10 a 15 años como máximo y, por lo general, conserva entre el 70 y el 80 % de su capacidad, ya que exagarar este límite dañará la celda internamente mientras que el rango es muy reducido. Debido a las corrientes de alta frecuencia y los depósitos de litio en el cátodo, Se sospecha que el separador y el electrolito sufren un cortocircuito o una avería total. Por otro lado, la vida útil de la batería se puede duplicar, llegando a los 30 años, si se consideran especialmente las aplicaciones de segunda vida. Por supuesto, no todas las células son aptas para su uso en una segunda vida, ya que los parámetros de envejecimiento deben estudiarse exhaustivamente. Los módulos deben ser remanufacturados (repotenciación), ya que ciertas celdas pueden estar defectuosas o necesitar servicio antes de volver a utilizarse para un segundo uso como fuentes auxiliares.

[52]

La consideración de diferentes configuraciones de batería al decidir la aplicación de segunda vida adecuada es una parte importante del proceso de evaluación de la batería. Muchos paquetes de baterías no están diseñados para una posible reutilización; sin embargo, cada vez más fabricantes están

comenzando a integrar conceptos de diseño ecológico para sus paquetes de baterías que ayudarán en los procesos de reutilización y renovación, reduciendo así los costos y la complejidad [53]

4.3.2 Impacto social y medio ambiental de las SLB:

Una de las principales motivaciones de SLB es el impacto medioambiental. Una forma es evitar la necesidad de producir baterías de primera duración que los usuarios de ESS necesitan para sus aplicaciones. Por ejemplo, para obtener una tonelada de iones de litio es necesario extraer 250 toneladas de mineral de espodumeno o 750 toneladas de salmuera rica en minerales. Esta extracción y procesamiento de materias primas a gran escala son perjudiciales para el medio ambiente. Además, el consumo de agua que implican las actividades mineras es sustancial. Se estima que para producir una tonelada de iones de litio se necesitan 1.900 toneladas de agua [51]

Dado que las baterías de litio son esenciales para la mayoría de los dispositivos electrónicos y dispositivos, con más de 273 GWh producidos solo en 2021, la necesidad de extraer litio y otros minerales está creciendo considerablemente, lo que pone a prueba la capacidad del planeta para proporcionarlos, lo que puede generar riesgos de suministro. Los materiales de tierras raras como el litio, el níquel, el cobalto y el manganeso representan el 76% del coste de producción. Si bien el litio todavía está disponible en cantidades suficientes, el costoso cobalto se puede encontrar en países con economías bajas, como Kongo, donde los niños mineros se ven obligados a extraerlo. Además, la fabricación de aluminio y la minería de níquel consumen mucha energía, lo que aumenta el costo total mientras se generan residuos, contaminando los suministros de agua y la tierra y generando aún más graves impactos ambientales. Se talan árboles, la fauna local se extingue y se requieren grandes cantidades de agua y energía, lo que aumenta aún más la huella ambiental negativa de la minería. Por último, los sectores del turismo y la agricultura están amenazados debido a la enorme alteración ecológica.

La producción de litio ha sido superada más de cinco veces en los últimos 10 años, principalmente en Chile, China, Estados Unidos y Australia. Se puede encontrar en muchas aplicaciones como cerámica, polímeros, metalurgia y principalmente baterías. Sin embargo, el área líder en usabilidad del litio, más del 50%, son los vehículos eléctricos. Por ejemplo, mientras que un dispositivo electrónico necesita de 2 a 10 g de litio, la batería de un vehículo eléctrico requiere hasta 15 kg de este mineral. Esta demanda está afectando directamente al precio del metal, que ya se ha multiplicado significativamente por cuatro entre 2010 y 2021 [52].

Desde un punto de vista medioambiental, el principal beneficio de SLB es la eliminación de la fabricación de baterías de primera duración, que plantea muchos problemas medioambientales. Por ejemplo, la minería de iones de litio consume el 65% del agua de la región en el Salar de Atacama, Chile. En tercer lugar, el consumo de electricidad durante la fabricación de LiB. Fabricar 1kWh de LiB requiere entre 50 y 65 kWh de electricidad, lo que, si fuera una central eléctrica alimentada con carbón, equivaldría a 55 kg de emisiones de CO₂. [46]

Para reducir el coste de los vehículos eléctricos, algunos fabricantes están reutilizando las baterías degradadas devueltas por los propietarios. La reutilización de baterías (SLB) presenta oportunidades financieras significativas: los propietarios pueden recuperar el valor de sus baterías desechadas; pueden surgir nuevas empresas dedicadas a evaluar, reorganizar y reempaquetar estas baterías para aplicaciones SLB; y los usuarios de SLB, tanto individuos como industrias, se benefician al acceder a soluciones energéticas más económicas. [46]

4.3.3 Usos de la SLB de interés

Las baterías de segunda vida (SLB) muestran un mayor estado de degradación que las baterías nuevas, por lo que se deben seleccionar aplicaciones con requisitos más bajos que los de la primera vida. Las aplicaciones potenciales de segunda vida son aquellas donde la capacidad y la densidad no son críticas y no se esperan cargas y descargas rápidas y continuas. Además, las baterías retiradas de un vehículo al final de su vida útil pueden utilizarse en una aplicación de segunda vida a diferentes niveles (es decir, paquete, módulo y nivel de celda). Sin embargo, minimizar las operaciones a realizar en la batería también reduce los costos, por lo que generalmente es más rentable utilizar la batería directamente a nivel de paquete o módulo, en lugar de a nivel de celda.[50]

Algunos requisitos que se deben tener en cuenta para diseñar y reutilizar un paquete de celdas de baterías de segunda vida son:

- Masa extra: Para obtener la misma capacidad con células de segunda vida (80% SoH) que, con células de primera vida, se necesita un 25% más de células y por tanto se instalará un 25% más de peso neto de células. En aplicaciones estacionarias esto no influye en el rendimiento. Sin embargo, en aplicaciones móviles, el peso afecta a la potencia y la autonomía del vehículo. Pese a ello, en pequeñas aplicaciones de movilidad la reducción del rendimiento no parece ser significativa. Por ejemplo, la diferencia de rendimiento entre **un scooter con baterías de**

primera vida (2 kg [45]) y uno con baterías de segunda vida (2,5 kg) equivale a la diferencia entre el rendimiento de un scooter conducido por una persona de 75 kg y otro conducido por una persona de 75,5 kg, cifra insignificante para el cliente final.[53]

- Gestión térmica: Existen diferentes formas de gestionar la temperatura de las baterías. Hay técnicas pasivas y técnicas activas. Las técnicas activas más comunes para mantener las temperaturas en el rango óptimo son el aire forzado y la refrigeración líquida. Dependiendo de la temperatura ambiente y de las condiciones de trabajo se deberá elegir un sistema térmico adecuado y se reducirá la degradación de las baterías. La decisión de incluir la gestión térmica en la posible aplicación de segunda vida debe considerar la economía de las alternativas (por ejemplo, la capacidad de reutilizar un sistema térmico de paquete o módulo, el costo de comprar un nuevo sistema y la reducción del rendimiento al no incluir un sistema térmico).
- Posibles configuraciones: Dependiendo del diseño del paquete de baterías del EV, se podría adaptar a aplicaciones de segunda vida mediante diferentes configuraciones. Las principales configuraciones identificadas en este documento son: apilamiento de paquetes de baterías, reacondicionamiento de módulos usados y reacondicionamiento de celdas usadas. En la Figura 47, las aplicaciones de segunda vida se combinan con diferentes configuraciones posibles en función de la capacidad. Para aplicaciones estacionarias, son posibles las tres configuraciones. Para aplicaciones de baja capacidad, debido al factor de forma y los requisitos de capacidad, la única configuración práctica es utilizar celdas reacondicionadas.

Por otra parte, para profundizar más en la figura 47, se indica que es posible la utilización de SLB en micromovilidad eléctrica (Small mobility) con capacidades menores a 5 kWh, usando los módulos y/o celdas de EV, en la sección de posibles configuraciones, menciona [53] usar el (10% DOD), es decir de otra manera cargar el pack hasta el 90% del SOC, lo cual es importante para este trabajo dado que se está trabajando con una moto Scooter que entra dentro de la categoría de Small mobility.

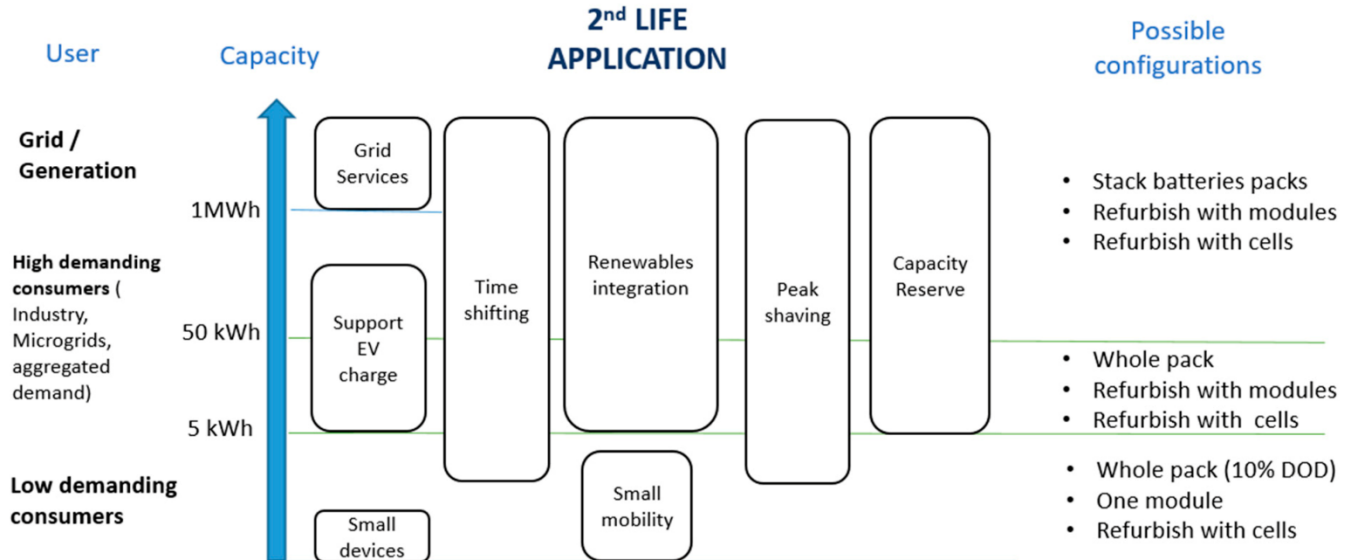


Figura 47 Aplicaciones para SLB; Fuente [53]

En el documento [53] entrega las ventajas y desventajas de distintos módulos de vehículos eléctricos pero para este estudio nos enfocamos en la construcción por celdas que es como se hará la batería, Módulos reacondicionados fabricados a partir de células usadas.

Ventajas:

- Se pueden seleccionar las mejores células del pack y las posibilidades de introducir células dañadas se reducen considerablemente.
- Flexibilidad en el diseño del tamaño y forma del sistema remanufacturado.

Desventajas:

- Mayor costo para desmontar el paquete al nivel de la celda.
- Es difícil desmontar la batería del vehículo eléctrico sin dañar las celdas.
- El desmontaje a nivel de celda significa que habrá un mayor desperdicio de componentes que no se podrán reutilizar durante el proceso de remanufactura.
- Alto costo para el suministro de nuevas carcasas, barras colectoras, sensores, BMS y proceso de reensamblaje.

La restauración de celdas usadas es similar a la restauración de módulos, pero el paquete de baterías se desmonta al nivel de la celda. Luego, las celdas se empaquetan en nuevos módulos y

sistemas de baterías. Esto es particularmente valioso cuando las dimensiones del paquete o módulo no son adecuadas para la aplicación. Según la capacidad de energía y las dimensiones requeridas, algunos pequeños dispositivos móviles y electrónicos solo pueden usar celdas cilíndricas, lo que significa que, si el paquete de baterías está fabricado con celdas prismáticas o de bolsa, entonces el propietario puede eliminar inmediatamente estas aplicaciones de segunda vida como posibles opciones.

El resultado de la etapa de evaluación técnica de la batería es identificar aplicaciones de uso final y configuraciones de paquete adecuadas, según el diseño y el estado del paquete de batería que se está evaluando.[53]

Por otra parte el documento [50] habla de “Micro-mobility” definiendo como las categorías: E-bikes ; E-scooters; Electric wheelchairs; Dando información con fuentes donde se basa su estudio para ver la posible uso de SLB en estos aspectos

La primera categoría principal de posibles aplicaciones de segunda vida es "aplicaciones móviles", es decir, aplicaciones donde se espera que la batería se mueva durante el uso. Una posible aplicación es reutilizar las baterías en un vehículo eléctrico de corto alcance. De hecho, aunque el final de la vida útil se define comúnmente cuando la batería alcanza una retención de capacidad del 70-80%, el alcance proporcionado por la batería es suficiente para la mayoría de los viajes diarios. Por ejemplo, una batería con una retención de capacidad del 60% puede satisfacer las necesidades de viaje diario de más del 75% de los conductores. Además, esta es una solución rentable ya que el reprocesamiento de la batería es apenas necesario, o incluso no necesario en absoluto.

De manera similar, las SLB pueden instalarse en camiones híbridos que operan en áreas urbanas para proporcionar energía a bajas velocidades antes de que el motor de combustión interna (ICE) arranque y recargue la batería. Como el proyecto de la empresa movener e-power [19].

Otra posibilidad es utilizar las baterías para la propulsión de vehículos de micro-movilidad (por ejemplo, bicicletas eléctricas, patinetes eléctricos, sillas de ruedas eléctricas), vehículos ligeros (por ejemplo, carritos de golf, vehículos de tres ruedas) y vehículos industriales (por ejemplo, montacargas, carretillas elevadoras, tractores) o para la gestión interna de energía de algunos vehículos (por ejemplo, camiones de comida). [50] en este caso es de suma importancia para este trabajo, dado que estamos trabajando con vehículos livianos como la moto Scooter con intención de ser usada en la ciudad y se deja la demas información como un presente para desarrollar nuevas ideas para generar Smart citys

4.3.4 Modelo de Estado de Salud enfocado en SLB

El SOH, así como el SOC, es un indicador muy importante en los Sistemas de Gestión de Baterías (BMS), ya que permite saber cuánta degradación ha sufrido una batería permitiendo determinar si la batería puede seguir alimentándose y entregando energía para la aplicación. El SOH se puede definir como el valor (en porcentaje) de la capacidad de la batería para almacenar y entregar energía referenciada a su capacidad nominal [47]. Puede verse considerablemente influenciado por factores externos como: temperatura de funcionamiento, ciclos de carga/descarga, envejecimiento, profundidad de descarga y sobrecarga de la batería.

Obtener indicadores del estado de la batería después del primer EOL es actualmente la técnica más común para aconsejar decisiones de segunda vida. Las pruebas típicas realizadas son de capacidad y resistencia interna. Estas pruebas pueden durar 2 días (en baterías de vehículos eléctricos) y pueden realizarse a nivel de paquete, de módulo o de celda. Existen estándares que se pueden seguir durante el proceso de prueba, por ejemplo, UL 1974 [53]

La importancia de saber el estado de salud de las SLB es que el paquete de baterías se puede desmontar hasta el nivel de las celdas, por lo que es posible renovar un nuevo paquete/módulo utilizando las celdas usadas. El inconveniente es que para poder utilizar las células con un nuevo BMS se deben **caracterizar** y desperdiciar un mínimo de células en algunas pruebas previas.

La evaluación y pruebas de las baterías de segunda vida (SLB) implican varias etapas, desde la preparación hasta el desmantelamiento de las baterías. Se necesitan precauciones debido a los riesgos asociados con las baterías de iones de litio y el alto voltaje. La evaluación busca determinar el Estado de Salud (SOH) de la batería, lo que implica identificar la degradación de capacidad y potencia. Se discuten diferentes métodos para encontrar el SOH, clasificados en técnicas experimentales (mediciones directas y modelos basados en mediciones) y métodos adaptativos. Las técnicas experimentales requieren menos esfuerzo computacional, pero pueden tener menor precisión, mientras que los métodos adaptativos son más precisos, pero requieren más esfuerzo computacional. En la figura 48 se tiene los métodos de estimación de SOH principales.

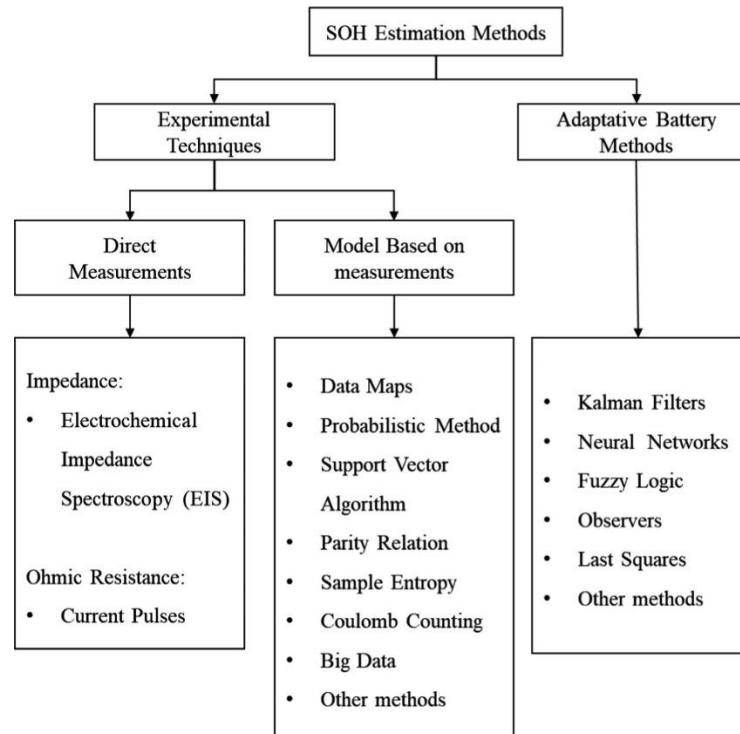


Figura 48 Métodos de estimación de SOH; Fuente:[46]

Las ventajas de las técnicas experimentales radican en el esfuerzo computacional mínimo y la posibilidad de implementación dentro del Sistema de Gestión de Baterías (BMS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, podrían asociarse con algunas desventajas, como una precisión menor en comparación con los métodos adaptativos, donde la alta precisión es uno de los principales criterios. Sin embargo, los métodos adaptativos requieren un esfuerzo computacional alto y tienen dificultades para integrar el BMS en el sistema.

La Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS, por sus siglas en inglés) y las mediciones directas de Pulso de Corriente son ejemplos de técnicas experimentales. Por otro lado, ejemplos de métodos adaptativos son los Filtros de Kalman y las Redes Neuronales

En una medición directa, el SOH con respecto a la capacidad se define como la relación entre la capacidad medida durante la evaluación, Q_m , y la capacidad nominal de la batería cuando era nueva, Q_n

$$SOH\% = \frac{Q_m}{Q_n} * 100 \quad (4)$$

El 20% de caída en la capacidad indica que la batería debe ser reemplazada y puede considerarse para una aplicación de segunda vida. Por otro lado, un incremento del 200% en la resistencia interna o impedancia es un indicador alternativo para el reemplazo de la batería con respecto a la disminución de la potencia

El documento [46], el cual describe un estudio que se realizó sobre 24 módulos de baterías de Chery S18 EV LFP, el cual fue conducido durante 3 años, más de 50000KM recorridos, fabricado el 2010 y las celdas testeadas el 2017 con más de 1000 ciclos de carga y descarga, cada módulo es de 40 Ah con una capacidad total del sistema de 12.8 kWh, las baterías se dividen en dos paquetes con 12 celdas cada uno, donde fueron sometidos a caracterización. Señala que los hallazgos revelaron una relación inversa entre la capacidad de las baterías y su resistencia interna: aquellas con mayor capacidad mostraron una resistencia interna más baja. Sin embargo, este patrón no fue consistente en todos los módulos, ya que algunos no siguieron la tendencia observada. Además, se encontró que diferentes baterías experimentaron procesos de envejecimiento distintos durante su primera vida, lo que indica una variabilidad en el desempeño de las baterías. Estos resultados se ilustran en la Figura 49 (a) y Figura 49 (b), que muestran el Estado de Salud (SOH) medido y la resistencia interna de corriente continua (DC) de los módulos de la batería, respectivamente.

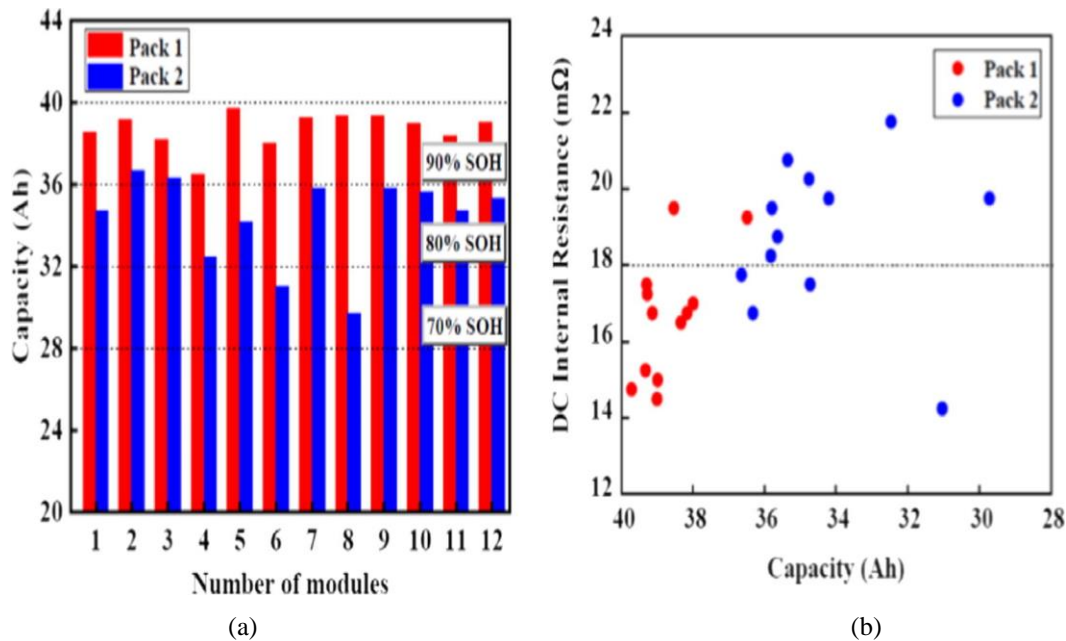


Figura 49 Relación SOH con Resistencia interna; Fuente [46]

(a) Capacidad de módulos (SOH) (b) Resistencia interna vs capacidad

En este trabajo, se propone un sistema híbrido que combina un modelo basado en el conteo de culombios y la medición de la resistencia interna. Si bien la resistencia interna tiene una relación conocida con el estado de salud (SoH) de la batería, esta relación no siempre es consistente en todos los casos. Por otro lado, el "coulomb counting" o conteo de culombios se utiliza no solo para estimar el estado de carga (SoC) de una batería, sino también para evaluar su estado de salud (SoH). Este método compara la energía que las celdas pueden entregar actualmente con su capacidad original. Para implementar este enfoque, es fundamental contar con la hoja de datos del fabricante de las celdas o del paquete de baterías que se va a utilizar.

4.3.5 Evaluación técnica básica de las baterías de segunda vida

Se revisó cómo determinar el estado de salud (SoH) de una batería de iones de litio (LiB). En la mayoría de los casos, es necesario desarmar el paquete de baterías para acceder a los módulos y celdas individuales, ya que uno de estos componentes podría haber fallado. En otros casos, el problema podría estar en el sistema de gestión de la batería (BMS), y en tal situación, solo se requeriría reemplazar este componente.

En este trabajo, a diferencia de la literatura estudiada que se centra en vehículos eléctricos con grandes baterías, se trabajará con baterías de micromovilidad. Sin embargo, los pasos a seguir son muy similares a los de una batería grande. De acuerdo con [51], los pasos para desarmar un paquete de un sistema de almacenamiento de energía para vehículos eléctricos (REESS) son los siguientes:

- A. Extracción y desmontaje de la batería: El entorno de desmantelamiento de baterías de iones de litio debe ser adecuado, no debe provocar la intrusión de sudor durante el trabajo, ni provocar condensación debido a altas temperaturas o humedad. Además, debe impedir la entrada de polvo metálico, grasa y otras sustancias extrañas. Deben existir contramedidas si se produce tal riesgo. El piso debe estar seco y el espacio de trabajo debe ser al menos del tamaño de un vehículo completo o más. Mientras se realiza el desmantelamiento, se deben mostrar señales de trabajo en progreso para evitar la entrada de personas ajenas. Por último, se debe contar con equipo estándar de extinción de incendios para prevenir cualquier incendio en caso de que pudiera ocurrir. Dado que los vehículos eléctricos contienen baterías de alto voltaje, existe el riesgo de sufrir descargas eléctricas, fugas eléctricas u otros incidentes si estos componentes no se manipulan adecuadamente. Se deben utilizar equipos de protección aislados para evitar

descargas eléctricas. Los guantes aislados deben tener al menos un rendimiento de aislamiento para 1000 V/300 A. Durante el desmontaje, se debe utilizar equipo aislado para garantizar que los terminales no se toquen entre sí a través del equipo utilizado (p. ej., destornillador). Debido al peligro de descarga eléctrica e incendio, se debe manipular con cuidado. Si, por ejemplo, una barra colectora hace contacto con el terminal incorrecto, el circuito se energiza y puede ocurrir un cortocircuito. Una vez que se han retirado las baterías del paquete, se deben etiquetar adecuadamente con números que se identificarán durante la prueba o posteriormente durante la operación. Antes del desmantelamiento, sería excelente extraer los datos del BMS, ya que almacena los datos históricos de las baterías y podría resultar útil para diagnosticar el SOH de las baterías. Una vez hecho esto, se procederá a realizar pruebas técnicas. Sin embargo, antes de proceder a cualquier prueba técnica, es importante inspeccionar visualmente las baterías en busca de daños o anomalías [51]

- B.** Pruebas de tensión de circuito abierto OCV: El objetivo de las pruebas OCV es medir el estado de carga (SOC) de la batería. Primero, antes de desmontar el paquete de baterías, se mide el OCV en todo el paquete. Luego una vez desmantelado el módulo o celdas se mide el OCV de cada Módulo/Celda. La medida total combinada de OCV de las celdas debe coincidir con la medida OCV medida del módulo y la medida total combinada de OCV de los módulos debe coincidir con la medida OCV medida de todo el paquete de baterías. Se debe anotar cualquier discrepancia y identificar las celdas defectuosas para realizar más pruebas.

- C.** Pruebas de Aislamiento de alta tensión: Es un paso importante en la evaluación de la seguridad y el rendimiento. Su objetivo es garantizar que los terminales dentro del sistema de batería estén adecuadamente aislados de otras partes externas accesibles que podrían conducir electricidad. Esta prueba ayuda a prevenir cortocircuitos eléctricos, que pueden provocar incendios o descargas eléctricas. Esta prueba se realiza entre los terminales positivo y negativo y cualquier componente metálico que se pueda tocar.
Para el trabajo realizado en [51], la prueba de aislamiento se realizó utilizando el probador Megger y se encontró que todas las mediciones estaban por encima de 200 M ohmios (cantidad máxima por dispositivo), lo que indica que las baterías están bien aisladas.

- D.** Prueba de capacidad: Se probará la capacidad de la batería para determinar la capacidad restante que se puede utilizar para la aplicación de segunda vida. La batería se carga según las pautas del fabricante a temperatura ambiente hasta que esté completamente cargada a una velocidad de 0,2 C. Después de la carga se deja reposar en condiciones ambientales y carga completa durante 1 a 2 horas. Después de esto, la batería se descarga a una velocidad de 0,2 C hasta que se agote por completo. Se registrará la capacidad al final de esta descarga. La capacidad de la batería descargada se calcula utilizando los datos de tiempo y corriente registrados. Esto suele ser calculado automáticamente por algunos dispositivos de medición como PowerLab, Arbin Battery Tester, Chroma Battery Tester y muchos otros. Estos datos luego se comparan con la batería original o recibida del fabricante. Las baterías que pasan la prueba se agrupan según su capacidad disponible. En cuanto a la tensión máxima de carga y la tensión mínima de descarga, varían según el tipo de batería. En muchos casos, para las baterías de iones de litio, el voltaje mínimo es de 2,5 V y el voltaje máximo es de 4,2 V. Una vez completada la prueba, se calcula el SOH relacionado con la capacidad restante.
- E.** Prueba de ciclo de descarga/ carga: Las baterías se prueban descargándolas y cargándolas al menos una vez a temperatura ambiente y se monitorean de cerca la temperatura, el voltaje y la corriente de sus celdas y módulos. Esto es importante para controlar cualquier irregularidad durante la carga y descarga. Se recomienda además descargar las baterías en la condición máxima esperada cuando se coloquen en la aplicación de segunda vida. Por ejemplo, si se espera que las baterías se descarguen a 20 A en la aplicación de segunda vida, que es superior a 0,2 C para el módulo Nissan Leaf, entonces las baterías deben descargarse de esa manera. Sin embargo, si la corriente máxima de descarga es inferior a 0,2 C, que ya se ha probado en la prueba de capacidad, este paso ya no es necesario, como era el caso de la farola alimentada por energía solar. Si alguna batería experimenta una anomalía, especialmente en la temperatura, debe examinarse más a fondo y, eventualmente, desecharse si se considera así.
- F.** La prueba de resistencia interna (IR) se debe realizar en todo el paquete de baterías si se va a utilizar en su conjunto o en módulos o celdas individuales. Según la literatura disponible, hay muchas formas de realizar la prueba de resistencia interna, **como los métodos de corriente alterna (CA)**, los métodos EIS y de pérdida térmica, el método de pasos de corriente: corriente apagada, el método de pasos de corriente: corriente de conmutación y otros

G. Prueba de autodescarga: La prueba de autodescarga se realizará en las celdas y módulos destinados a la aplicación de segunda vida. Si se va a utilizar todo el paquete como un todo, entonces la batería también debe someterse a la prueba. Las baterías se cargan completamente hasta su voltaje máximo y luego se almacenan a temperatura ambiente de $20\text{ C}^\circ \pm 5\text{ C}^\circ$ durante un mínimo de un día. El voltaje de circuito abierto (OCV) de estas baterías cargadas se registra a intervalos de 5 a 10 minutos, 1 a 2 horas y 24 horas después de la carga, y después de un almacenamiento más prolongado o en intervalos más frecuentes si lo menciona el fabricante. Las baterías que muestren una tasa de autodescarga que exceda las pautas del fabricante (si corresponde) deben desecharse. Las baterías restantes que pasen esta evaluación pasarán a la siguiente etapa de procesamiento. Las pruebas de autodescarga son importantes ya que la tasa de autodescarga es un indicador del estado y la calidad generales de la batería. Una tasa de autodescarga inusualmente alta podría sugerir defectos o daños en la batería. Además, es útil comprender la autodescarga de las baterías cuando se trata de baterías en determinadas aplicaciones que se espera que duren largos períodos sin cargarse/descargarse. Esto ayuda a predecir cuánto durará la batería en su entorno operativo

4.4. Factores de deterioro de LiB

Para el buen uso de baterías de primera y segunda vida y el diseño de algunos componentes como el BMS, es importante tener conocimiento del comportamiento de las LiB según algunos factores, el primero según la literatura de [46] es el envejecimiento calendárico que se define como la pérdida concomitante de capacidad debido al envejecimiento incremental de la celda causado por el deterioro químico de la batería

El envejecimiento por calendario está influenciado principalmente por la temperatura de almacenamiento, esto se puede ver en la figura 50, donde las altas temperaturas significan un aumento de las reacciones secundarias y mayores pérdidas de litio ciclable dentro de la celda en el tiempo.

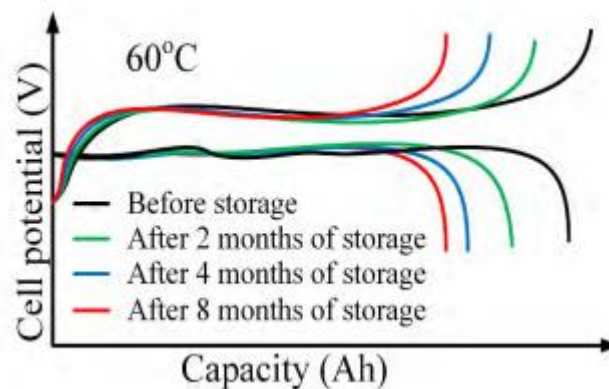


Figura 50 Impacto de la temperatura sobre la capacidad en LiB; Fuente [54]

Por otra parte [54] señala que el efecto de SOC/DOD sobre el envejecimiento calendario que muestra que un SOC alto durante el almacenamiento da como resultado una mayor pérdida de capacidad y aumento de la impedancia de la LiB, en la figura 51 (a) el impacto de este efecto al almacenar baterías al 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de profundidad de descarga (DOD) en un entorno controlado por temperatura de 45°C, donde se prueba su capacidad cada mes, se ve una clara disminución del SOH por el alto SOC del 100% o DOD del 0%, por lo que es bueno almacenar las LiB con un bajo SOC, pero tampoco puede ser 0%, dado que en el tiempo de guardado puede bajar bajo el umbral mínimo de tensión y el BMS no permitirá la carga del REESS, en el caso de la figura 51 (a) no es de importancia dado que es un experimento de laboratorio.

El envejecimiento por ciclo se ve significativamente afectado por la temperatura de operación, con los mayores incrementos en la pérdida de capacidad medidos a bajas temperaturas. Los estudios en [54] mostraron que, después de 600 ciclos, la pérdida de capacidad fue del 14.3% para las celdas a 45°C y del 25.8% para las celdas a -10°C. Estos resultados se ilustran en la figura 51(b), donde se observa que los mejores rendimientos se obtienen a 45°C y 25°C, temperaturas cercanas a la temperatura ambiente.

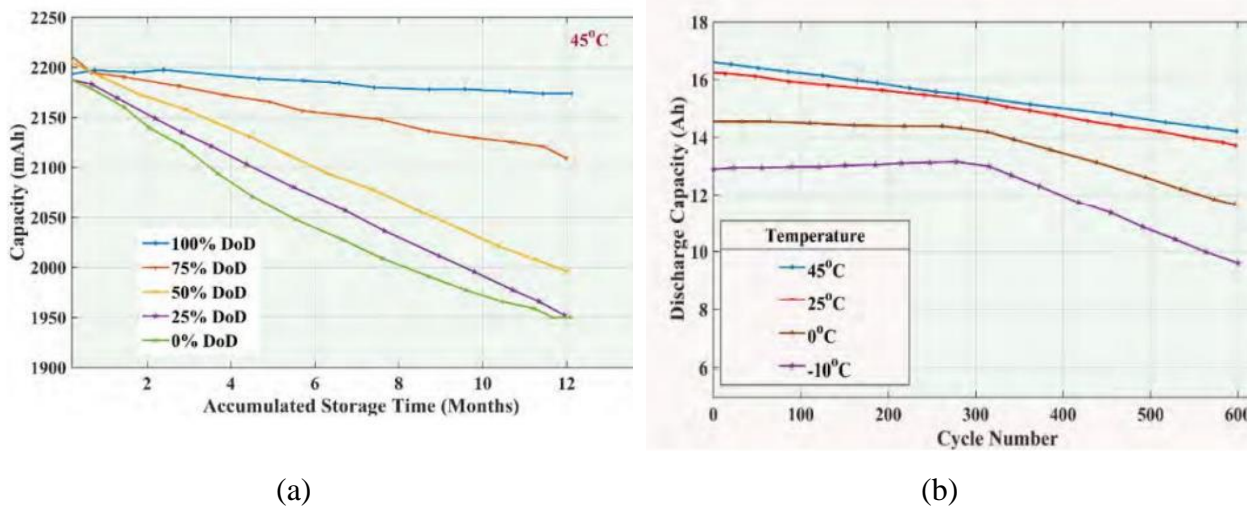


Figura 51 Efectos del DOD sobre la capacidad de las Lib en el tiempo; Fuente [54]

(a) Efectos DOD en el SOH (b) Efectos de temperatura en los ciclos de vida

Un ciclo de carga saludable se define como aquel en el que la carga inicial se produce a una corriente constante hasta que se alcanza un voltaje de corte, seguido de una carga a voltaje constante hasta que la corriente de carga se reduce a aproximadamente 20 mA, si el voltaje aumenta por encima del nivel de corte de voltaje constante nominal, la celda experimentará una pérdida de capacidad significativa y un ciclo de vida reducido [54]

En la figura 52 se presentan experimentos realizados para evaluar el efecto de la corriente de carga y descarga en la pérdida de capacidad de las baterías de iones de litio. En (a), las pruebas de carga se realizaron a 1C (tasa de carga nominal), 1.2C y 1.4C. En (b), las pruebas de descarga se llevaron a cabo a 1C, 1.1C, 1.3C, 1.5C y 2.0C. Se determinó que, aunque las tasas de corriente elevadas tanto en carga como en descarga resultaron en una mayor pérdida de capacidad, los efectos fueron mucho más pronunciados durante la carga. En resumen, una carga de corriente constante

elevada tiene un impacto significativo en la pérdida de capacidad y en el ciclo de vida de la batería, especialmente durante los períodos de carga.

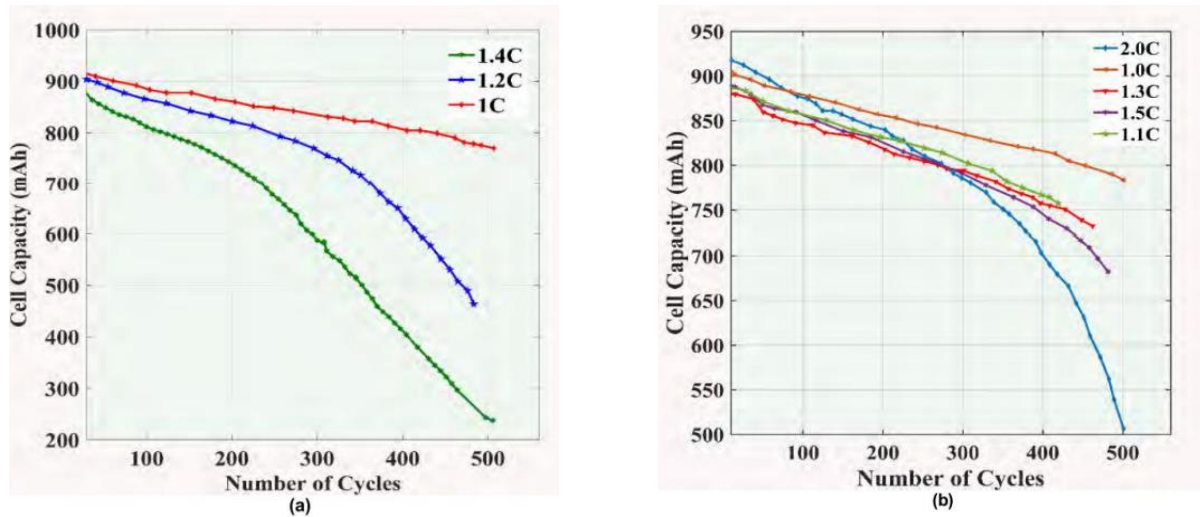


Figura 52 Efectos tasas de corriente de carga sobre SOH; Fuente [54]

(a) Ciclos de carga, (b) Ciclos de descarga

En la literatura citada en [51], se indica que, para las pruebas de capacidad en baterías de un Nissan Leaf, se debe utilizar una tasa de descarga estándar (C-rate) para determinar el SOH. En una muestra de SLB, se realizó una prueba para observar la capacidad medida con diferentes tasas de descarga y su efecto en la medición de la capacidad. La Figura 53 muestra las diversas tasas de descarga realizadas y sus respectivos resultados en la misma muestra de batería. Los resultados confirman que, a mayor tasa de descarga, disminuye el SOH, corroborando lo observado en la Figura 52(b). Esto subraya la importancia de estandarizar la evaluación y, en particular, la tasa de descarga utilizada para la medición de la capacidad [51].

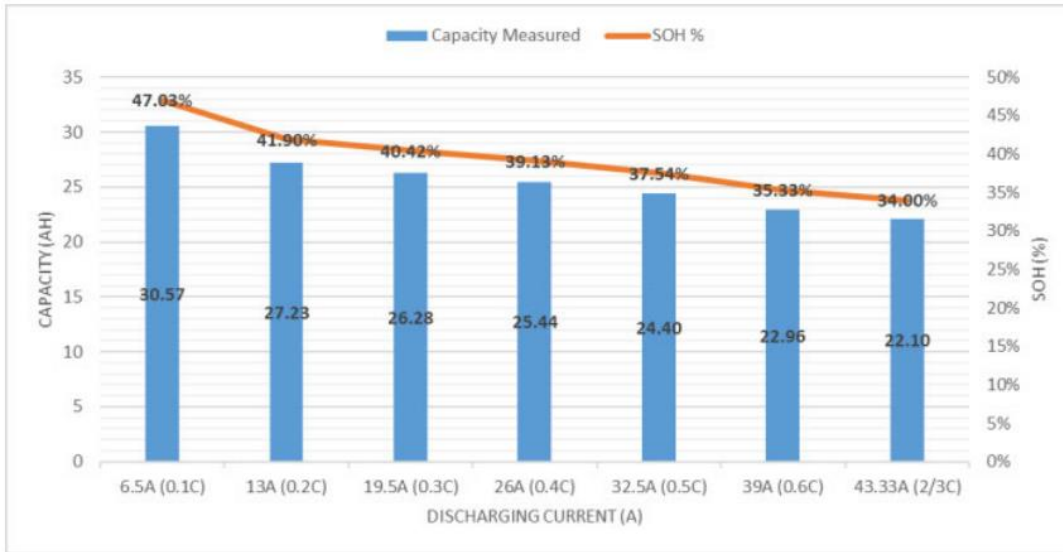


Figura 53 Efecto tasas de descarga en el SOH; Fuente [51]

En el estudio presentado en [54], se examinan los efectos del Depth of Discharge (DOD) en la pérdida de capacidad a lo largo del ciclo de vida. Manteniendo la temperatura de las células a 35°C y ciclándolas a una velocidad de 1C para normalizar los efectos de temperatura y velocidad, los resultados, representados en la figura 54, revelan que las células que ciclaron en un rango de State of Charge (SOC) más amplio mostraron niveles más altos de pérdida de capacidad. Se observa que los altos niveles de SOC durante el almacenamiento (más del 60% de SOC) impactaron negativamente las características de pérdida de energía durante las pruebas de calendario. Además, se concluye que una mayor duración del ciclo puede reducir la vida útil y aumentar la pérdida de capacidad [54].

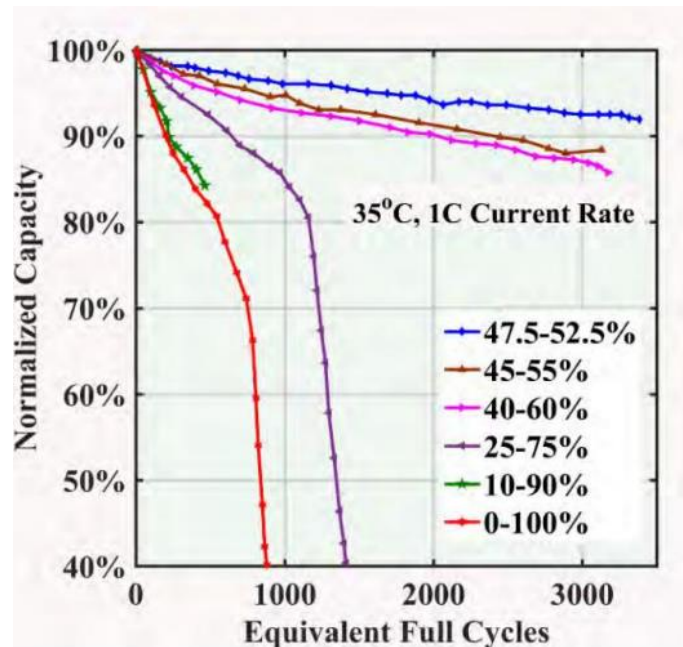


Figura 54 Efectos rango del DOD sobre la vida útil de LiB; Fuente [54]

En el estudio presentado en [46], SLB se definió como una batería que tiene aproximadamente un 80% de capacidad residual. Se experimentaron tres DOD diferentes con diferentes rangos de puntos de descarga y carga para determinar la vida útil. Por último, se consideraron dos escenarios, siendo el primer escenario consideró el 70% de la capacidad residual como EOL para el SLB, mientras que el segundo escenario utiliza el 60% como EOL del SLB. Se descubrió que, si se consideraba un EOL del 60% en lugar del 70%, se podría prolongar la vida útil del SLB aproximadamente dos veces. Se podría obtener un resultado similar reduciendo el DOD del 80% al 50%. Otros hallazgos realizados también concluyeron que una DOD más baja prolongará la vida útil de una batería. El impacto del DOD en la vida útil de los SLB ha sido tableta en la Tabla 7.

Tabla 7 Impacto del DOD en la vida útil de SLB; Fuente [46]

DOD	Range	Lifespan at 70% EOL	Lifespan at 60% EOL
80%	95–15%	4 years	8 years
65%	85–20%	5.1 years	11 years
50%	65–15%	8 years	16 years

También se ha demostrado en [54] que las altas tasas de descarga de corriente aumentan el crecimiento de la impedancia en estudios de envejecimiento del ciclo, se estudió el impacto de los ciclos 1C, 2C y 3C, comparado con el nominal. Después de 300 ciclos, la celda expuesta a condiciones de descarga de 3C mostró mediciones de resistencia de CC un 27,7% más altas que las encontradas en la celda operada según las especificaciones del fabricante. Los resultados de este estudio se pueden ver en la figura 55. Se plantea la hipótesis de que el crecimiento de la impedancia se debe a la gasificación en el ánodo que promueve el agrietamiento de la capa SEI, lo que resulta en la expansión de SEI, esto puede significar que las baterías crezcan en volumen.

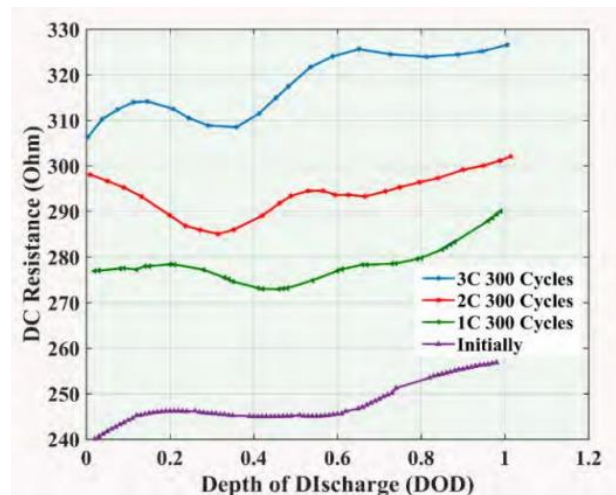


Figura 55 Aumento del crecimiento de la impedancia de las células de iones de litio en función de la tasa de descarga; Fuente [54]

Por último, en [51] se realizó la caracterización de una batería de un nissan leaf de cada módulo de su paquete de batería, donde se observa que la relación entre la degradación del SOH con respecto a la capacidad restante y la resistencia interna. Volviendo a la literatura sobre baterías, la degradación se produce de dos formas. El primero es el desvanecimiento de la capacidad y el segundo es el desvanecimiento de la potencia causado por el aumento de la resistencia interna con el tiempo. Por lo tanto, con el tiempo, la capacidad de las baterías disminuirá y la resistencia interna aumentará. Sin embargo, estos dos no son necesariamente proporcionales como se encontró en este experimento y se muestra en la Figura 57. Por ejemplo, un módulo tenía la capacidad restante más alta, pero tenía una de las medidas más altas de resistencia interna. [51]

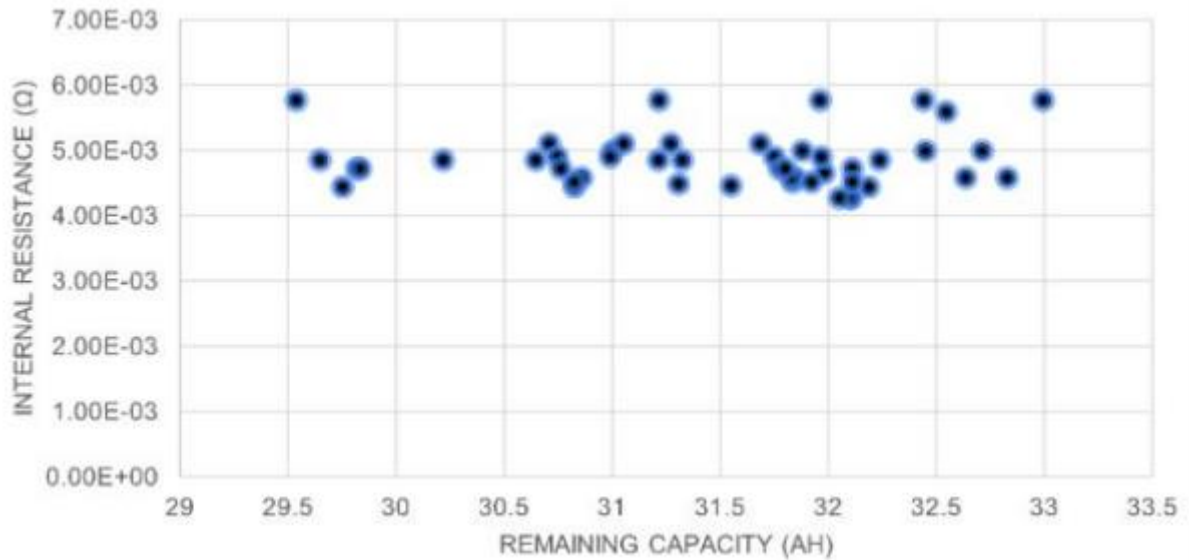


Figura 56 Capacidad vs resistencia interna; Fuente [51]

Los resultados muestran que no existe una relación proporcional entre la degradación de la capacidad y la resistencia interna inicial, por lo que no es un método de evaluación fiable para determinar el estado de vida de una LiB. La tasa de degradación depende de otros factores que podrían ser químicos y no necesariamente están relacionados proporcionalmente con la capacidad restante o la resistencia interna.

4.5. Motocicletas con baterías extraíbles

En el desarrollo de la conversión de la Honda Dio a eléctrica, se busca crear un sistema de almacenamiento energético intercambiable. En el mercado actual, existen motocicletas y scooters con baterías de litio extraíbles. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de batería que se pueda extraer y reemplazar por una completamente cargada. Para ello, se lleva a cabo un estudio general de ejemplos de empresas que utilizan modelos de vehículos con baterías intercambiables, también conocidas como "battery swapping".

Una empresa que está liderando a nivel mundial el intercambio de baterías es Gogoro, de origen taiwanés, que se ha destacado en el mercado de las motocicletas eléctricas gracias a su innovador sistema de baterías intercambiables. Este sistema, conocido como "Gogoro Energy Network", permite a los usuarios cambiar rápidamente las baterías agotadas por unas completamente cargadas en estaciones de intercambio ubicadas en diferentes puntos de la ciudad. Además, las motocicletas Gogoro están equipadas con tecnología inteligente que monitorea el rendimiento de la batería y optimiza la eficiencia del vehículo. En Chile, esta marca se comercializa sus productos y servicios a través de Copec Voltex [55], que está implementando el sistema de carga en la región metropolitana a través de un modelo de negocio de suscripción por kWh o KM utilizado y comercializando actualmente solo el modelo de moto Scooter Gogoro S2 mostrada en la figura 57 (a). La empresa menciona que existen 10 marcas adicionales que podrían implementarse en el futuro. Cada batería ofrece aproximadamente 80 km de autonomía con una potencia máxima del motor de 6.4 kW.

Según la revista online Autobild [56], las baterías intercambiables mostrada en la figura 57 (b) de Gogoro son una parte fundamental de su propuesta de movilidad sostenible. Estas baterías de ion de litio están diseñadas para ser ligeras, duraderas y fáciles de reemplazar. Cada batería tiene una capacidad de aproximadamente 1.3 kWh, una tensión de 48V, y puede ser intercambiada en cuestión de segundos en las estaciones de intercambio de Gogoro. La empresa ha presentado una revolucionaria batería de cerámica e intercambiable, que representa un importante avance en el campo de las motocicletas eléctricas. Esta nueva batería es un prototipo que muestra datos prometedores, con una capacidad estimada de 2.5 kWh, lo que representa un aumento del 140% en comparación con la capacidad anterior de 1.3 kWh. La tecnología de cerámica e intercambiabilidad ofrece ventajas

significativas, como mayor durabilidad, más ciclos de carga, mayor densidad energética y mayor velocidad de carga.

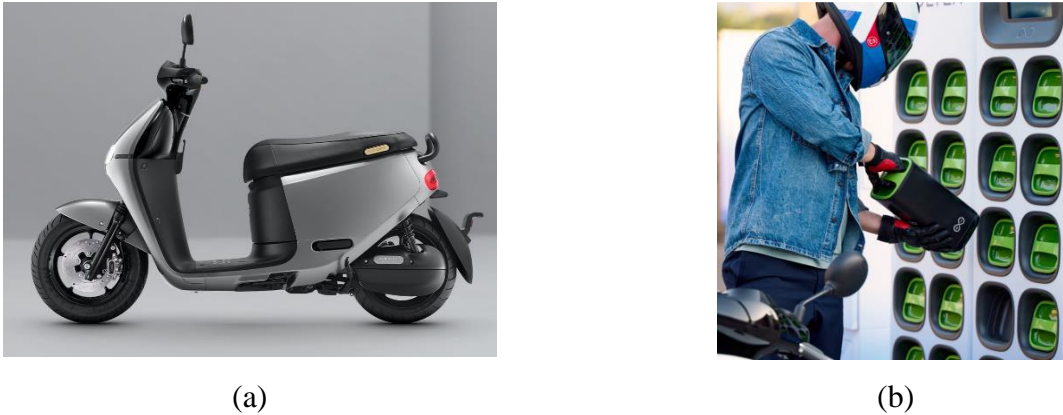


Figura 57 Sistema Gogoro; Fuente [55]

(a) Moto scooter Gogoro S2 (b) Batería y plataforma de intercambio rápido de estas

Otro ejemplo de una moto scooter eléctrica en la figura 57 (a) y (b) con batería extraíble es la Vostok E7, la cual es conocida por su diseño ligero y versátil, con un peso de tan solo 10 kg. Su batería portátil de 30Ah y 1.8 kW utiliza tecnología de LG y BAK en baterías de litio para proporcionar una excelente autonomía sin sacrificar la libertad de movimiento. Este pack de batería está diseñado para perdurar, con la capacidad de recorrer más de 60,000 km sin experimentar una disminución significativa en su rendimiento. En caso de ser necesario, reemplazar la batería es una tarea sencilla. Una de las características destacadas de la Vostok E7 es su capacidad de carga rápida. En tan solo 4 horas, la batería puede cargarse al 100%. La velocidad de carga es tan eficiente que en menos de 3.5 horas, ya tendrás el 90% de la batería cargada. Esto brinda la libertad de seguir con tu día sin esperas prolongadas. Un ejemplo destacado de baterías lo proporciona la empresa Vostok. Sus baterías se caracterizan por contar con una resistente carcasa metálica, que asegura la integridad de la batería. Además, se incorpora una manija que facilita su extracción y transporte. Estas baterías de Vostok tienen un peso de tan solo 10 kg, lo que las hace manejables y adecuadas para su aplicación en vehículos eléctricos, como la moto scooter, sus medidas son $24,4 \times 8,7 \times 33,6$ cm y tiene un costo aproximado de 1340 euros.



(a)



(b)

Figura 58 Ejemplo Moto scooter Vostok E7; Fuente [57]

(a) Moto Scooter Vostok E7 (b) Batería extraíble

El último ejemplo es NIU, una marca reconocida a nivel mundial por la calidad de sus motos scooter. Estos vehículos, de fabricación china, han ganado una gran reputación en el mercado. Uno de los aspectos destacados de los modelos NIU es la inclusión de baterías extraíbles, lo que facilita la carga y el mantenimiento de la energía de manera conveniente. Para encontrar más información sobre los modelos NIU y sus baterías el enlace [58] envía al sitio web oficial, donde en la figura 59 (a) se tiene el modelo NQi series, con un motor de 2.4 kW de potencia máxima y un contralor BOSCH con control FOC. [58]

NIU utiliza celdas de batería de iones de litio de Panasonic en la serie NQi que se visualiza en la fig.59 (b) y (c), logrando incluir 29 Ah de almacenamiento en una batería que pesa solo 10 kg (22 lb). En el núcleo de la serie NQi se encuentra un sistema de gestión de batería (BMS) inspirado en los automóviles, que regula el consumo de energía y garantiza la seguridad. La serie aprovecha la probada tecnología de baterías de iones de litio 18650, adaptándola a las necesidades del transporte urbano de dos ruedas, destacándose por ser liviana, eficiente y confiable. Se conectan en paralelo 170 celdas de batería para crear un paquete robusto de 29 Ah. La tecnología PTC compartimenta cada celda para asegurar que si una celda falla, no comprometa el rendimiento de toda la batería. Además, se adopta la tecnología PACK utilizada por fabricantes de automóviles de primer nivel para crear una "armadura" alrededor de cada celda, protegiendo la integridad de la solución de batería. La recarga del vehículo es conveniente y eficiente. Una noche de carga completa proporciona hasta cuatro días de conducción, o aproximadamente 50-70 km.

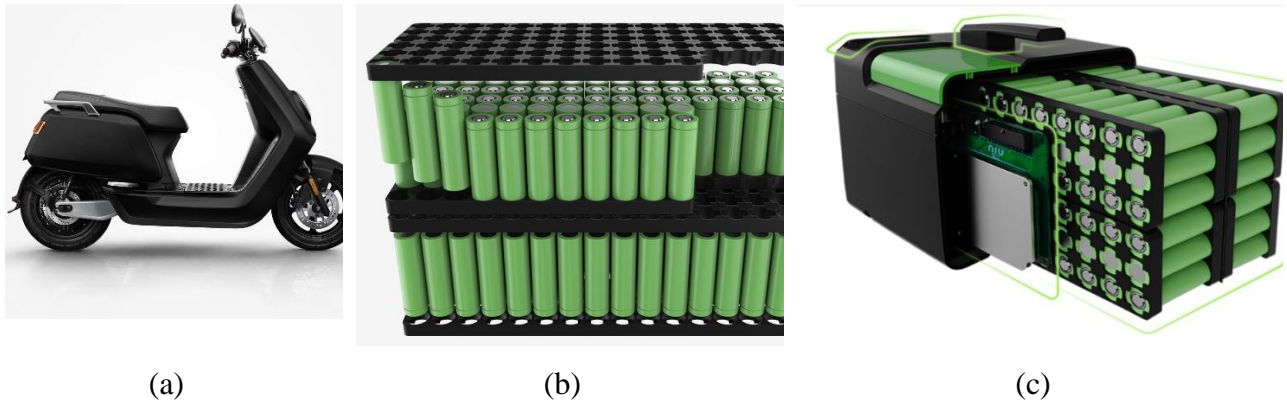


Figura 59 Moto Scooter Niu NQi series; Fuente [58]

(a) MotoScooter NIU (b)Celdas 18650 y soporte batería (c)Pack armado con BMS

En la tabla 8 se tiene el resumen de las tres marcas revisadas, donde el rango de masa del pack de baterías va de 6.8 a 10 kg, la energía de almacenamiento va de 1.3 a 2.5 kWh, y la tensión nominal de 48 a 60V para un rango de autonomía de 60 a 100 KM, estos datos son relevantes para el diseño del REESS de la Honda DIO.

Tabla 8 Resumen Battery Swapping; Fuente [E.P]

	Gogoro tipo 1	Gogoro tipo 2	Vostok	Niu
Voltaje	48V	48V	60V	60V
Capacidad Corriente	27 Ah aprox.	52 Ah aprox.	30Ah	29 Ah
Capacidad Energía	1.3 kWh	2.5kWh	1.8 kWh	1.7 kWh
Formato celda	LFP	LFP	NMC 18650	NMC 18650
Masa pack	6.8 KG	8.3 KG	10 kg	10 kg
Precio estimativo			1340 euros	1200 USD
Autonomía aprox.	80 KM	100 KM	60 KM	70KM

4.6. Celdas SLB para REESS

4.6.1 Fuente de origen de las SLB

Los contenidos estudiados de SLB están enfocados en baterías para autos eléctricos, que suelen tener grandes capacidades y voltajes. Sin embargo, en este caso, nos centramos en baterías de micromovilidad, específicamente de scooters eléctricos con "battery swapping", como se muestra en la figura 60. Un gran lote de estas baterías fue descartado después del período de garantía y se destinaron para este trabajo. Estas baterías son similares a las de un vehículo eléctrico (EV), pero de menor tamaño.



Figura 60 Scooter eléctrico para realización de baterías; Fuente [59]

En la tabla 9 se presentan las especificaciones del scooter, destacándose que la batería tiene una capacidad de 5 Ah y un voltaje nominal de 36V.

Tabla 9 parámetros scooter eléctrico para SLB

Modelo	X scooter
Voltaje nominal	36 V
Motor	BLDC hub 350W
Rueda	8.5 pulgadas
Batería	36V 5ah
Tiempo de carga	2-3 horas
Velocidad máxima	32 km/h
Masa neta	13.5 kg

En la figura 61 se tiene en (a) el desmantelamiento de los scooter eléctricos, estos no se permitieron poder revenderlos con reparaciones por políticas de la empresa que fueron comprados estos desechos electrónicos, pero si llevar algunos componentes como los motores y baterías, para este trabajo solo se enfoca en las baterías donde en (c) se presenta el battery swapping y en (b) esta la etiqueta de la batería donde se indica instrucciones como que no puede usar el pack bajo los -10°C y sobre los 40°C y cargar cada 90 días en el caso de no uso, el pack tiene una capacidad de 180 Wh. Estas baterías serán desarmadas para su posterior caracterización celda por celda, dado que no se sabe la razón de falla de estos scooters, además de la necesidad de construir un nuevo pack que sea compatible con la Honda Dio, en (d) se tiene la celda de estas baterías donde se indica que tiene una capacidad de almacenamiento de 9 Wh cada una con una tensión nominal de 3.6V.

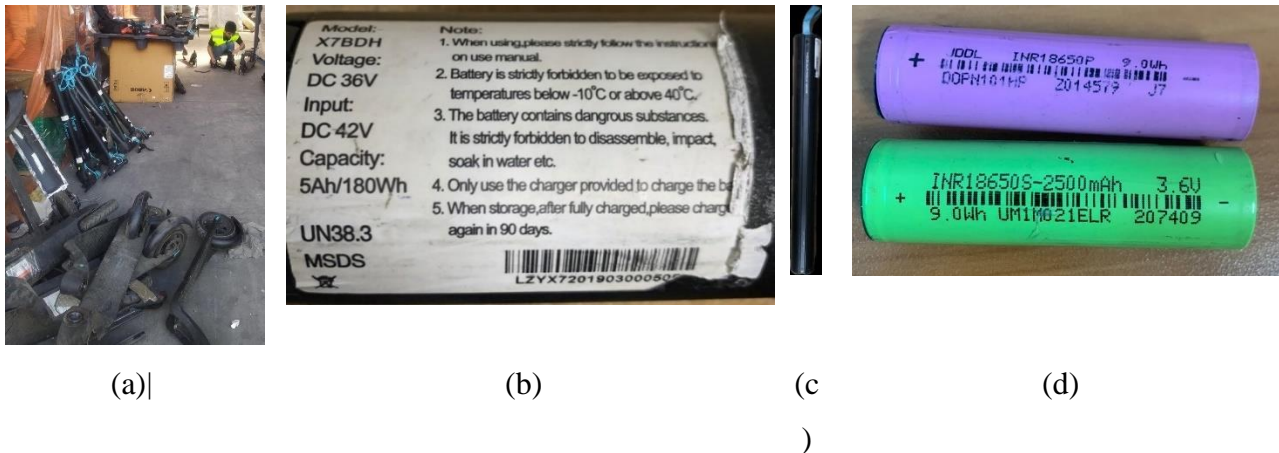


Figura 61 Baterías para reutilizar; Fuente [E.P]

(a) Desmantelamiento de scooter (b) etiqueta batería 36V (c) batería 36V (d) Celda 18650

4.6.2 Testeo masivo Celdas SOH

Antes de poder testear las celdas, se tiene que desarmar el pack hasta llegar a la celda, este paso no se pudo documentar, pero el trabajo es similar al explicado en el documento [51] donde se comenta que es necesario desarmar el paquete de baterías para acceder a los módulos y celdas individuales, ya que uno de estos componentes podría haber fallado. En otros casos, el problema podría estar en el sistema de gestión de la batería (BMS), y en tal situación, solo se requeriría reemplazar este componente. El paquete de baterías de este scooter viene unido con placas de níquel, unidos con soldadora a punto y su estructura es plástica, y su recubrimiento es un cilindro de aluminio que se puede visualizar en la figura 61 (c).

Para realizar un pack de baterías de litio de segunda vida, se realiza una serie de pruebas a todas las celdas individualmente para hacer la mejor configuración serie paralelo en el pack, para esto se dispone algunos elementos que dan esta información y en su conjunto generan una serie de pruebas necesarias para un buen emparejamiento. Esto se realiza a través de un tablero presente en la figura 62, donde en la parte superior se tiene un contador de coulomb, a la derecha las fuentes de energía y ventiladores para el enfriamiento de las resistencias de descarga de los contadores, en la parte inferior se tiene el sistema de carga de las celdas, de esta manera se realiza un ciclo de carga, descarga y carga para ver SOH y la R interna de cada celda. A continuación, se explica la función de estos componentes.

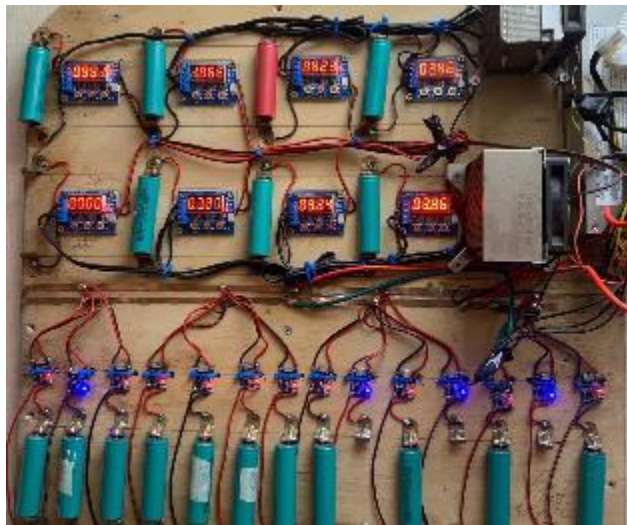


Figura 62 Tablero de caracterización SOH y Rint celdas NMS; Fuente [E.P]

4.6.3 Módulo TP4056

La placa TP4056 es un módulo de carga diseñado específicamente para cargar baterías individuales de litio, como las células 18650, utilizando una fuente de alimentación de 5V, con una corriente de carga de 1 A. Esta placa está equipada con una entrada de alimentación mini USB que permite su conexión a cualquier adaptador de pared mini USB o su alimentación directa mediante cables soldados, el cual es este caso. Para garantizar la seguridad durante el proceso de carga y prolongar la vida útil de la batería, este módulo incorpora protección contra sobrecargas. Además, la placa TP4056 dispone de dos LEDs de estado: uno azul, que indica que la alimentación es correcta, y otro rojo/azul, que indica el estado de carga de la batería, en la figura 63 (a) se tiene la placa PCB que aloja el circuito integrado TP4056 (b) y la hoja de información se encuentra en [60]

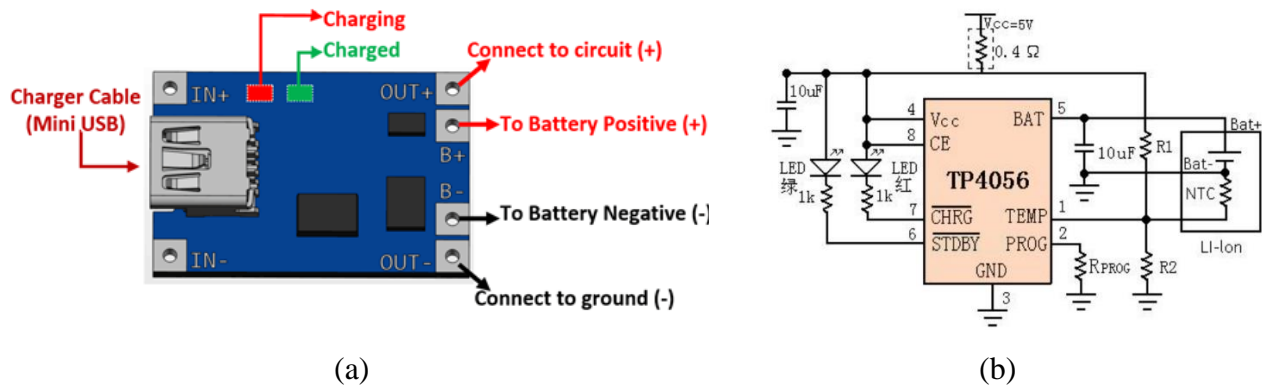


Figura 63 Placa TP4056; Fuente [60]

(a) PCB TP4056 (b) Diagrama circuito integrado TP4056

Dentro del ciclo de caracterización de las celdas, primero se cargan al 100% del SOC para luego ser sometidas a descarga en el contador de coulomb y luego se vuelven a cargar para medir la R interna en el mismo SOC que las otras celdas.

4.6.4 Contador de coulomb ZB2L3

El analizador de celdas de litio ZB2L3 es una herramienta especializada que realiza pruebas de capacidad a baterías. Equipado con una pantalla digital LED que muestra los resultados de capacidad. Este dispositivo puede medir el voltaje de la batería en un rango de 0-15V con una corriente de descarga de hasta 3 A y opera con una tensión de 5V. El equipo funciona con una resistencia interna que drena la energía de la celda a convirtiéndola en transferencia de calor hacia el exterior, por lo que se requiere uso de disipadores cuando se está en continuo uso y su hoja de datos se encuentra en [61]

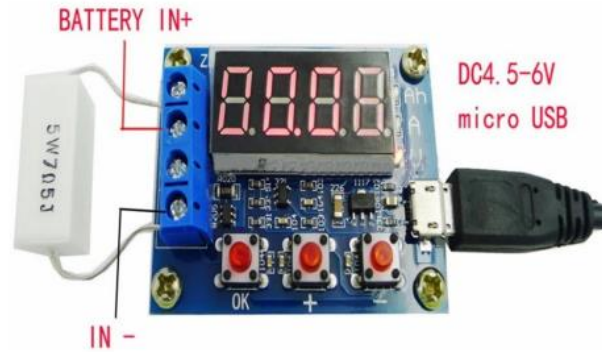


Figura 64 Contador de coulomb ZB2L3; Fuente [61]

Las celdas recuperadas de las baterías del scooter tienen una capacidad nominal de 2500 mAh, por lo que el resultado del análisis del ZB2L3 se puede calcular el SOH con la fórmula (4) para cada una de ellas.

4.6.5 Probador de baterías Fluke 521

El analizador de baterías de la serie 500 de Fluke es el instrumento ideal para el mantenimiento, la resolución de problemas y la evaluación del estado de baterías estacionarias y bancos de baterías utilizados en aplicaciones críticas de respaldo. Este producto puede medir simultáneamente la tensión y la resistencia interna de una batería, permitiendo así comprender su estado general.

Los analizadores de baterías de Fluke permiten definir de manera rápida y sencilla los umbrales superior e inferior de las mediciones o los rangos de tolerancia. Durante el proceso de comprobación, los valores medidos se comparan automáticamente con los umbrales predefinidos, proporcionando una indicación de aprobado, suspenso o advertencia después de cada medida. El manual de usuario se encuentra en [63].

En el caso de este trabajo se ocupará su función de medidor de resistencia interna de la batería a través de las conexiones Kelvin (conexión de cuatro puntas). El aumento de la resistencia interna a partir de una referencia básica conocida indica que la batería se está deteriorando. La prueba se realiza en menos de 3 segundos.

La información que entrega el fabricante es que la medida está basada en un método de inyección CA. La señal fuente inyectada es < 100 mA, 1 kHz [62].

Por otra parte, la literatura de [46] explica que medir la resistencia interna de cargas complejas como las baterías será complicado debido a la naturaleza de las características capacitivas e inductivas. Al usar métodos de corriente alterna, el comportamiento de la batería depende en gran medida de la frecuencia de las mediciones de corriente alterna. Por lo general, estas mediciones se realizan a una frecuencia constante de 1 kHz. Se concluye que esta técnica de medición solo es adecuada para comparar la resistencia interna del mismo tipo de batería. Para este caso se miden las mismas celdas.



Figura 65 Fluke analizador de baterías; Fuente [E.P]

4.6.6 Resultados de caracterización SLB

En la figura 66 se tiene el grafico de barras con los resultados de medición de resistencia interna de las celdas SLB usadas para el proyecto. Analizando los datos proporcionados, se observa que la resistencia interna de las celdas varía entre 27 mΩ y 35 mΩ, con una mayor concentración de celdas en el rango de 29 mΩ a 32 mΩ, alcanzando un pico en 30 mΩ, donde se encuentran 55 celdas. Esta distribución sugiere una forma de campana, similar a una distribución normal, con el valor más común de resistencia interna siendo 30 mΩ. La mayoría de las celdas tienen una resistencia interna entre 29 mΩ y 32 mΩ, indicando que estos valores son típicos para este conjunto de celdas. La distribución muestra una ligera asimetría, con un descenso más pronunciado en la cantidad de celdas a partir de 33 mΩ. Todos los datos están bajo el mismo rango SOH (2500 mAh), por lo que la variación

en la cantidad de celdas por resistencia interna es independiente del SOH, también indica que las celdas se encuentran en muy similares condiciones unas de otras en tema de capacidad.

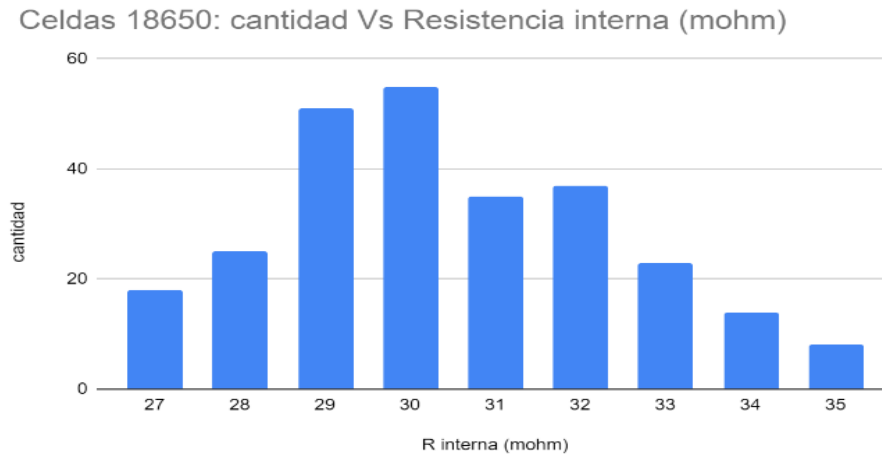


Figura 66 Grafico final de resistencia interna SLB; Fuente [E.P]

El total de celdas es 266, de las cuales se seleccionarán 260 para su uso, dejando 6 celdas fuera debido a su mayor resistencia interna. Estas celdas no se utilizarán porque el espacio disponible máximo puede albergar 260 celdas, y las que tienen mayor resistencia interna probablemente tienen más SEI formado, lo que incrementa su valor óhmico y puede causar problemas en su funcionamiento.

En la tabla 11 se tiene los parámetros de fábrica de las celdas 18650 de los scooter eléctricos, donde se puede calcular el SOH de estas a través de la ecuación (4) donde se reemplaza estos valores en la ecuación (5), donde Q_n corresponde a la capacidad nominal de 2500 mAh y Q_m la capacidad actual 2500 mAh, dando como resultado un SOH de 100 %.

$$SOH\% = \frac{2500}{2500} * 100 = 100\% \quad (5)$$

Tabla 11 parámetros de fabrica celdas 18650 scooter eléctrico

Parámetros	Valores
tensión Nominal	3.6 v
Resistencia interna	25 mΩ
Capacidad nominal	2500 mAh
máxima corriente continua	7.8 Amperes
Masa Celda	47 gramos
Medidas	18x65 mm

4.6.7 Almacenaje de celdas y prueba de OCV

Luego de pasar por las etapas de caracterización son guardadas en cajas como se ven la figura 67 por un tiempo para ver si existe en alguna la presencia de auto descarga con un SOC del 100%, para luego antes de armar el pack final hacer pruebas de OCV.



Figura 67 Almacenamiento de celdas SLB; Fuente [E.P]

4.6.8 Curva de carga y descarga celda 18650 con EB tester

En la Figura 68 se presentan las curvas de carga y descarga de las celdas 18650 utilizadas en Moto Scooter. Para obtener estas curvas características, se utilizó un instrumento llamado EB Tester, el cual grafica las curvas de (a) carga y (b) descarga. Ambas pruebas se realizaron con una corriente constante de 1 amperio.

Es notable que la escala de las gráficas no se logra distinguir el eje x y Y, esto es por la escala de la imagen que entrega la aplicación, pero la tensión inicial en la carga (figura 68 a)) es de 3V y finaliza en 4.25V, por otra parte, la línea azul representa la tensión y la línea roja representa la corriente, la cual corresponde a una tasa de descarga de 0.4C. Se puede observar un comportamiento esperado en las curvas para una batería NMC. Aunque la escala del gráfico no es la más adecuada debido al formato en que se guarda la imagen, las curvas se visualizan adecuadamente, cumpliendo así el objetivo de mostrar el comportamiento de las celdas.

Es importante destacar que el contador de coulomb no permite visualizar estas curvas, sino solo el resultado final. Por lo tanto, si existiera alguna anomalía en las celdas, como una caída abrupta de tensión, no se podría detectar con dicho contador.

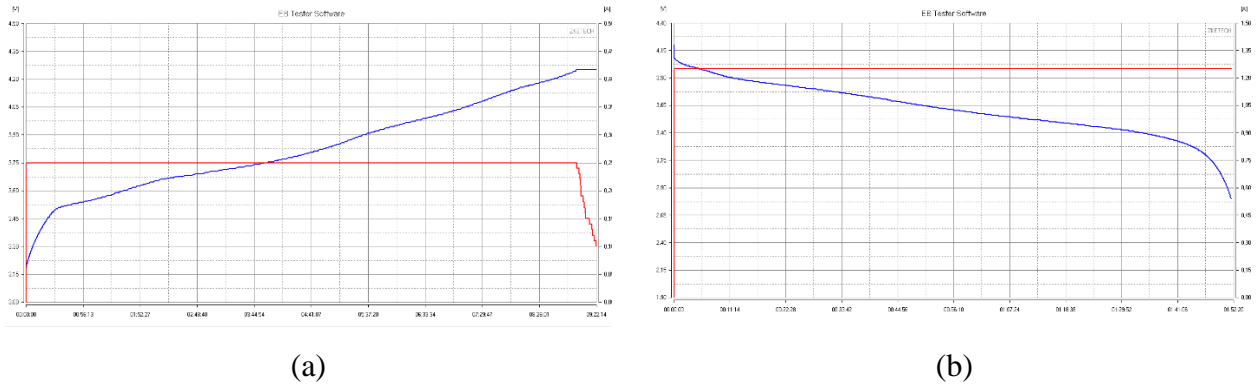


Figura 68 Grafica curva de carga y descarga; Fuente [E.P]

a) Curva de carga 1850 (b) curva de descarga 18650

Diseño del REESS para la conversión de Honda Dio Sr

Para el diseño del pack de la batería para la Honda Dio, de antecedente se tiene las 266 celdas 18650, estas necesitan una estructura para fijar una posición y una forma, los soportes se puede ver en la figura 69, estas se van conectado con un sistema de encaje plástico para lograr un pack de baterías.

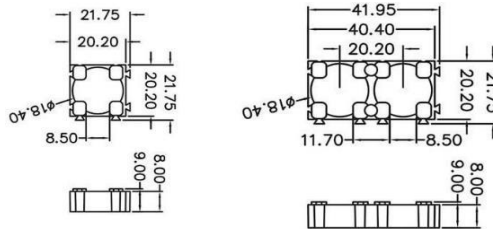


Figura 69 Estructura soporte celdas 18650; Fuente [64]

En la figura 70 se presenta una posible forma de integrar el pack de baterías dentro de la moto scooter. Esta configuración consiste en dos bandejas de celdas. Es importante que no haya nada que obstruya el cierre del asiento ni que presione la batería. Se busca colocar la mayor cantidad de celdas posibles en el espacio disponible, con un total de 265 espacios para celdas. Sin embargo, solo se usarán 260 celdas, ya que este número debe ser divisible por el número de series para que el resultado sea un número entero, dado que una celda no puede ser fraccionada.



Figura 70 presentación soporte batería en moto scooter; Fuente [E.P]

En la figura 71 comienza la preparación del espacio donde se alberga el REESS de la moto scooter, en (a) se observa que existe una protuberancia plástica, antes usada para no topara el cilindro y bujía del motor de combustión, el cual ya no esta y que ahora no permite una forma pareja de la batería, por lo que en (b) se elimina esta parte dejando un orificio en el plástico, pero en (c) se tapa y

refuerza este espacio con una placa de aluminio de 2 mm, 10 pernos M5 y silicona para que no ingrese agua ni polvo y reforzando la zona donde ira el REESS, dado que la masa del pack tiene un valor considerable y debe estar protegido en caso de accidente y bien estructurado.

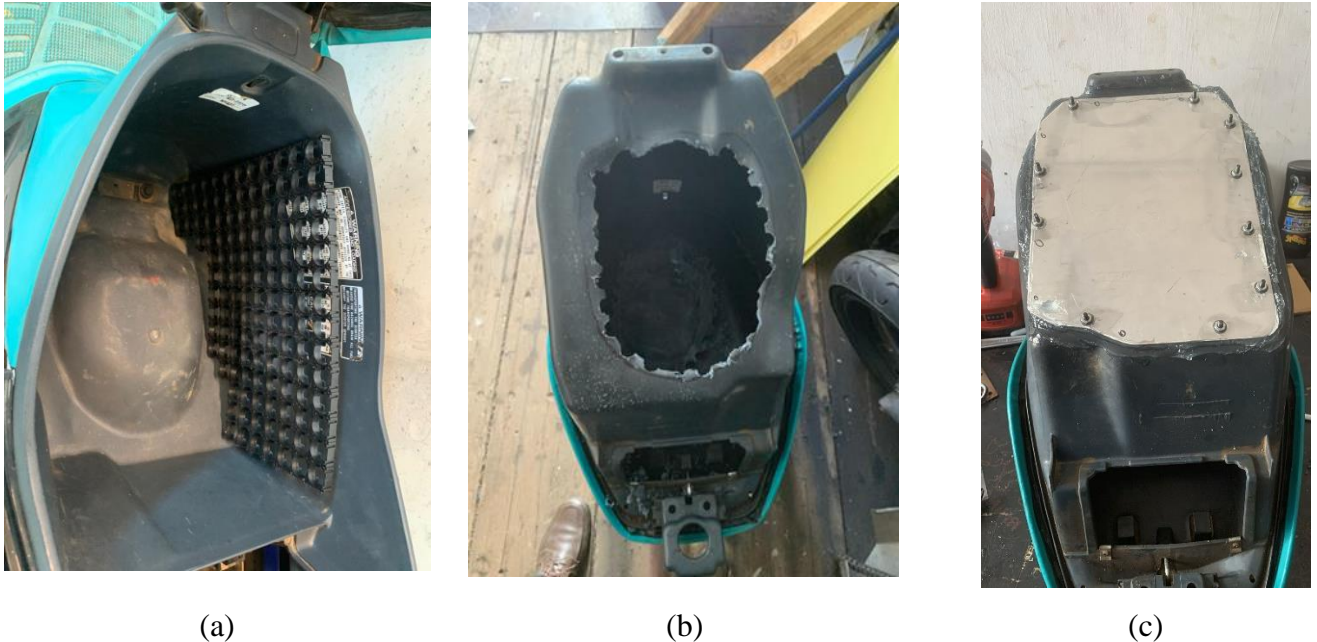


Figura 71 Preparación del compartimiento del REESS; Fuente [E.P]

- (a) Presentación estructura 18650 con protuberancia (b) eliminación de protuberancia (c) placa aluminio refuerzo para estructura del REESS

En la figura 72 se tiene la configuración final del pack de baterías de la moto scooter convertida a eléctrica, donde figuran líneas amarillas y verdes, cada una de estas representa una polaridad positiva o negativa de las celdas 18650, este pack se divide en dos partes de forma equitativa como se puede ver en la figura 69, para realizar los cálculos de cómo será la configuración serie paralelo, se debe tener en cuenta que el voltaje el motor seleccionado es de 72V y que el voltaje nominal de las celdas es de 3.6V para obtener el número de series, esto se ve obtiene de la ecuación (6) y de la ecuación (7) se tiene la cantidad de celdas en paralelo, donde da un resultado de 13.25 celdas, pero estos deben ser números enteros, dado que no existe un decimal de celda, por lo que se busca el valor más cercano, en este caso 13 celdas por paralelo. La configuración final es 20 series, 13 paralelos, de forma abreviada es 20S 13P.

$$N^{\circ} \text{ celdas serie} = \frac{\text{Tension Nominal}}{\text{Tension Celda}} = \frac{72 \text{ V}}{3.6\text{V}} = 20 \text{ Series} \quad (6)$$

$$N^{\circ} \text{ celdas paralelo} = \frac{\text{soportes disponibles}}{N^{\circ} \text{ series}} = \frac{265}{20} = 13.25 \quad (7)$$

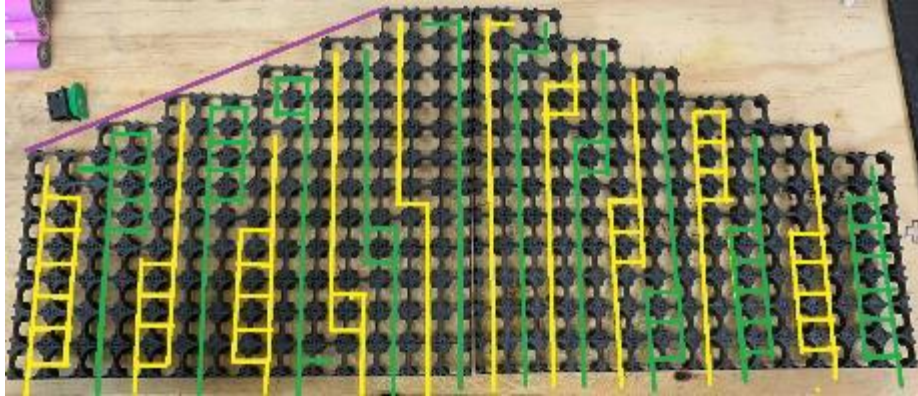


Figura 72 Diseño y configuración final de la batería; Fuente [E.P]

4.7. Sistema gestor batería (BMS) del REESS

El Sistema de Gestión de Batería (BMS) es un elemento de seguridad de alta importancia y implicancia en el REESS, este gestiona parámetros la batería para garantizar su funcionamiento continuo y si detecta una falla este bloqueara el paso de corriente de la batería hacia el controlador.

Las principales características de un BMS suelen incluir la estimación del SOC se refiere a la estimación del SOC como la característica más importante indicada por el BMS), estimación del SOH, balanceo de celdas, gestión del proceso de carga, control de carga, supervisión, seguimiento y protección de las células. La unidad de control de un BMS suele ser un Field Programmable Gate Array (FPGA) o un microprocesador [47]

De la tabla 5, se tiene que el máximo valor de corriente de la batería está en el rango de 90 a 100 amperes máximos, por lo que el BMS debe poder entregar esta corriente de manera continua sin problemas.

Para esta conversión el BMS es de origen chino (CN) y certificado con la normativa CE (Comunidad Europea). Se destaca por la función de equilibrado de celdas de batería, su diseño con placas de aluminio y su capacidad de protección y gestión avanzada. Incluye características como:

- Protección de temperatura, que monitorea la temperatura de la batería.
- Protección criogénica para situaciones de temperaturas extremadamente bajas.
- Protección contra cortocircuitos, detectando y previniendo cortocircuitos en la batería.
- Disipación de calor de doble cara de aluminio, asegurando una eficiente refrigeración.
- Medición de alta precisión para un seguimiento preciso del estado de la batería.
- Protección de la batería contra sobrecargas y descargas excesivas.
- Gestión de carga eficiente para optimizar el proceso de carga de la batería.
- Control programable para ajustar parámetros según las necesidades.
- Equilibrio automático de carga entre las celdas de la batería.
- Diseño de bajo consumo energético.

En la tabla 13 se presentan los parámetros finales del BMS diseñado para la Honda Dio, con un cálculo del SOC máximo del 97.6%. La literatura [47] proporciona datos importantes sobre cómo la selección adecuada de los módulos y la limitación del SOC pueden extender la vida útil de las baterías. Una operación incorrecta o una definición inadecuada de las oscilaciones del SOC pueden incrementar los costos o reducir la vida útil de las baterías. Por lo tanto, es fundamental seleccionar adecuadamente la oscilación del SOC para mejorar la durabilidad de las baterías. Esta oscilación, o SR (Swing Range), se puede observar en la tabla 12 de [47], donde se muestra que la mayor cantidad de ciclos se consigue a menores SOC%. Aunque el ejemplo de [47] no se refiere a baterías NMC, sino a LFP, la diferencia principal radica en la cantidad de vida útil o lifespan, como se muestra en la figura 44 en la introducción de este capítulo, que verifica este comportamiento en diferentes químicas de baterías de iones de litio (LiB).

Tabla 10 Rango de SOC vs vida útil; Fuente [47]

Capacity (Ah): 1000		
Price (USD): 1285.90		
<i>SR</i>	<i>Lifespan</i>	<i>Used Capacity (Ah)</i>
100-30	5327	700
90-20	6383	700
80-10	7249	700
70-0	9012	700

En la tabla 13 se muestra que el voltaje máximo que puede recibir una celda es de 4.1 V, lo que equivale al 97.6% del estado de carga (SOC) máximo. Este valor es más alto que el recomendado en [47] para extender la vida útil de la batería. Sin embargo, es importante tener en cuenta el uso previsto del sistema de almacenamiento de energía recargable (REESS) en cuestión, que está destinado a la electromovilidad. En este contexto, los espacios y la masa están limitados, y se busca optimizar la relación entre volumen y densidad energética para maximizar la autonomía del vehículo. La ecuación (8) muestra el cálculo realizado para llegar a este resultado.

$$\text{maximo SOC}\% = \frac{\text{tension maxima personalizada}}{\text{tension maxima celda NMC}} = \frac{4.1V}{4.20V} = 97.6\% \quad (8)$$

Tabla 11 Parámetros BMS

Parámetros	Valor	Unidad
Modelo	TDT-9038-20S 100A	
Corriente de descarga continua	100	A
Resistencia interna del circuito principal	< 20	mΩ
tensión máxima el pack	82	V
Tensión máxima de protección estándar por celda	4.1 (+/-) 0.25	V

Tensión min de protección celda	3	V
Corriente de carga	50	A
Corriente de balance	30	mA
Corriente de trabajo	100	uA
Temperatura de protección	-20-55°	°C
Protección de corto circuito	corto circuito de carga externa	
Tiempo de detección de cortocircuito	200	uS
Fecha de producción	24/11/2023	

Es fundamental destacar que el BMS de bajas corrientes utiliza interruptores MOSFET para permitir o bloquear el paso de la corriente (otros equipos para EV utilizan contactores). Este proceso se lleva a cabo mediante cables de comunicación conectados a cada serie de celdas que se dirigen al microprocesador, el cual está continuamente monitoreando las celdas. En la figura 73 se muestra el diagrama de conexión, donde los puntos rojos indican la conexión de potencia del circuito, los cuadrados blancos representan los MOSFET, y el sector a la derecha corresponde al control del equipo. En este mismo sector, se conectan los 21 cables que van a cada celda en serie (20S). La hoja de datos del BMS se puede encontrar en [65].

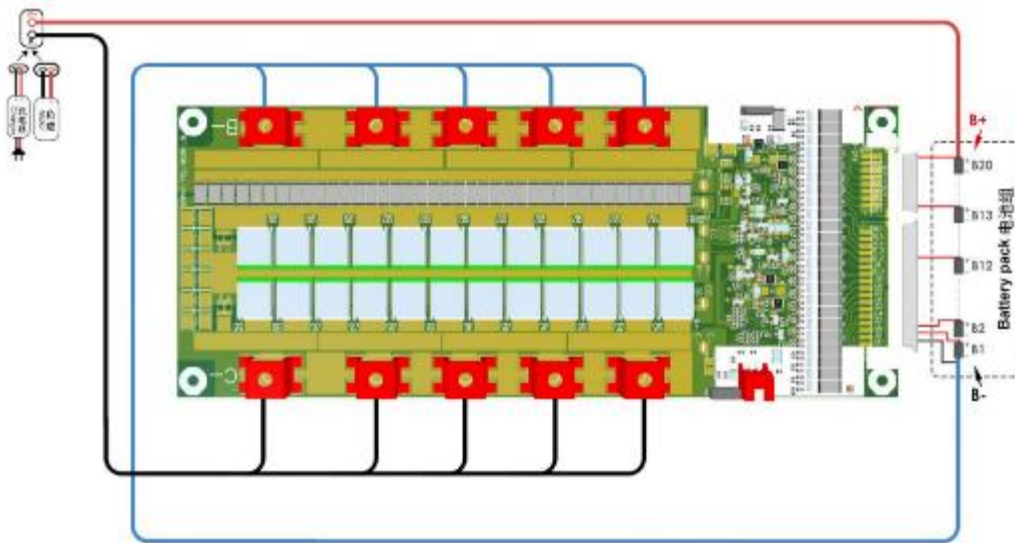


Figura 73 Diagrama conexión BMS; Fuente [65]

4.8. Cargador del REESS

El cargador usado para cargar el REESS se presenta en la tabla 14, este tiene función de protección como: sobrevoltaje, sobre temperatura, sobre corriente, cortocircuito y polaridad. El enlace del vendedor está en [66]

Tabla 12 parámetros Cargador REESS

Parámetros	Valores
Voltaje de entrada	110-240 Vac 50-60 Hz
método de carga	CC/CV
Masa	0.5 kg
Corriente DC	2.5 A
Voltaje de carga DC máximo	84 V
Carcasa	Plástico ignifugo PC UL94V

En la figura 74 (a) y (b) tiene tres fases de carga y no tiene la fase voltaje flotante como los cargadores de baterías de ácido plomo

- Corriente constante (T0 a T1): en esta etapa se asegura una carga eficiente y disminuir el tiempo de carga.

- Voltaje de carga constante (T1 a T2): usando voltaje constante, se activa el electrolito de la batería para promover la actividad de los iones con la premisa que la batería no está totalmente cargada
- Carga lenta (T2): Para profundizar la carga de la batería, aplica una pequeña corriente a 84V sin sobrecargar el pack, pero con el SOC al 100% para aumentar la autonomía. En el caso de la batería el BMS cortara la tensión a los 82V, por lo que esta función no se realiza.

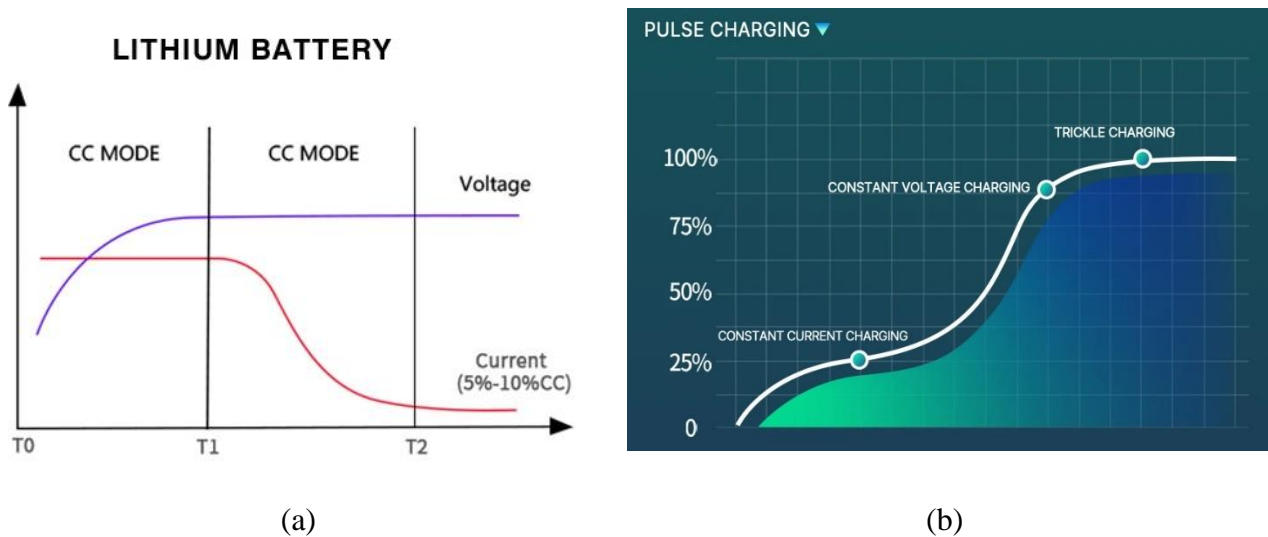


Figura 74 Curvas de carga, cargador batería; Fuente [66]

(a) Modos de carga voltaje corriente del cargador (b) instantes del SOC% donde ocurren las fases de carga

4.9. Conector del REESS

En cuanto al conector utilizado para el REESS, es crucial que pueda soportar al menos 100 amperios constantes, dado que en la potencia pico del motor eléctrico puede consumir hasta 100 amperes. Por esta razón, se ha optado por el conector Anderson, mostrado en la figura 75, que es una elección popular para aplicaciones que demandan una conexión eléctrica segura y fiable con corrientes elevadas. Estos conectores se destacan por su robustez y capacidad para manejar corrientes en diversos rangos, dependiendo del modelo, lo que los convierte en la elección ideal para aplicaciones industriales, automotrices y de energía renovable.

Existen varios tipos de conectores Anderson, cada uno con especificaciones y características únicas. Para la aplicación específica de la moto scooter, se utiliza el conector Anderson 120A (Cable 16mm) - Modelo SMH SB 120A, que es un conector de alta calidad diseñado para cables de 6 AWG a 1 AWG y con una corriente máxima de 120 amperios. Este conector resulta ideal para aplicaciones que requieren una conexión eléctrica resistente y de alto rendimiento.

Los conectores Anderson son reconocidos por su diseño hermafrodita, lo que significa que no hay diferenciación entre el conector macho y hembra, permitiendo una conexión rápida y segura entre ellos. Además, estos conectores están fabricados en policarbonato con terminales de cobre plateado, asegurando una conexión confiable y duradera. Con un peso de 0.2 kg y una clasificación máxima de 600 Vdc, cumplen con los requisitos de seguridad necesarios. Puedes encontrar más información y adquirirlos en [67].



Figura 75 Conector Anderson del REESS; Fuente [67]

4.10. Armado del pack

En la figura 76 se presenta el proceso de fabricación del pack. En (a), se ensamblan las celdas siguiendo el patrón de la figura 72, utilizando un aislante en el polo positivo verde para aumentar la seguridad y reducir la probabilidad de un cortocircuito. En (b), se instala una lámina de níquel entre cada celda de los grupos en paralelo y en serie. Esta lámina tiene un grosor de 0.1 mm y un ancho de 8 mm, y se suelda con soldadura por puntos, ya que soldar las baterías 18650 con caudín puede dañarlas considerablemente al exponerlas a altas temperaturas durante varios segundos. En (c), se muestran los dos módulos con sus conexiones de níquel, aunque todavía falta realizar la conexión en serie entre ellos.

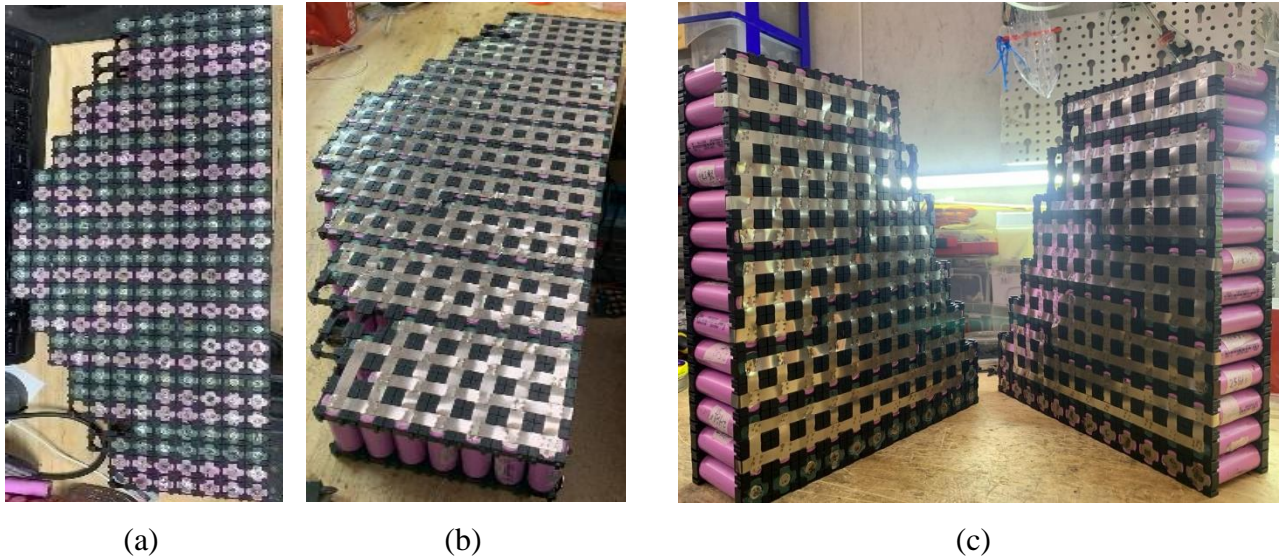


Figura 76 proceso fabricación pack batería; Fuente [E.P]

(a) Ensamble celdas en los soportes (b) Níquel soldado a las celdas (c) Módulos pre listos del pack

Luego del proceso de soldadura, se deben conectar ambos módulos de 36V para alcanzar la tensión requerida de 72V. En la figura 77 se muestra este proceso. En (a), se colocan juntas de aislante adhesivo de papel barley para baterías, que es resistente a la corrosión de ácidos y álcalis, al desgarro y al desgaste. Este aislante se asegura con una película de polipropileno reforzada con fibra de vidrio continua.

En (b), se observan los módulos ya unidos y, debajo de la cinta de polipropileno, se pueden ver los conductores de níquel. Se añaden 7 conexiones para asegurar que no existan altas temperaturas debido a la resistencia del material a 100 amperios. Aunque no se adjunta una hoja de datos de este material y su resistencia al paso de corriente, la experiencia empírica indica que cada tira puede soportar 20 amperios sin calentarse.



(a)



(b)

Figura 77 Proceso de aislamiento pack batería; Fuente [E.P]

En la tabla 15 se tiene la hoja de datos final de la batería que utiliza la conversión de la moto Scooter honda dio, la máxima potencia se calcula como el voltaje nominal por la máxima corriente y la capacidad en energía es de 2.34 kWh

Tabla 13 Hoja de datos del REESS para Honda Dio

Configuración batería	20S 13P
tensión máxima (V)	82
tensión Nominal (V)	72
tensión mínima (V)	60
C.C. máxima (A)	100
Capacidad por celda (Ah)	2,5
SOH%	100
Ciclos hasta el EoL	500
Capacidad total (Wh)	2340
Capacidad total (Ah)	32,5
Potencia máxima sistema (W)	7200
Potencia batería 0,2C (W)	468
Potencia batería 1C (W)	2340
Potencia batería 2C (W)	4680
Potencia batería 3C (W)	7020
Masa total celdas	12.5 kg

4.11. Diseño y fabricación del envolvente o carcasa del REESS

Para el diseño de la carcasa que protegerá la batería, principalmente se toma en cuenta el Artículo 11 del Decreto N°62[17], donde algunos puntos importantes que debe tener son:

- **Protección contra inmersión temporal:** El REESS deberá estar inserto en una envolvente que garantice un estándar mínimo de protección contra los efectos de la inmersión temporal, cumpliendo con el estándar IPX67.
- **Protección contra vertidos de electrolito:**
 - Los vehículos deberán estar diseñados de tal manera que ningún vertido de electrolito del REESS y sus componentes alcance al conductor, al piloto, a los ocupantes ni a ninguna persona que esté alrededor del vehículo en condiciones normales de uso o de funcionamiento.
 - Al dar la vuelta al REESS no deberá derramarse ningún electrolito.
- **Prevención de desprendimientos accidentales o no intencionados:**
 - El REESS y sus componentes se instalarán en el vehículo de manera que se excluya la posibilidad de desprendimiento inadvertido o no intencionado.
 - El REESS instalado en el vehículo no saldrá despedido cuando se incline el vehículo.
 - Los componentes del REESS no saldrán despedidos cuando se le dé la vuelta.

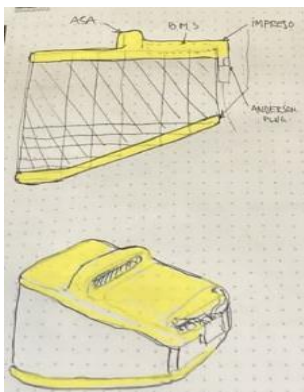
Estas consideraciones son cruciales para garantizar la seguridad y la funcionalidad del sistema de almacenamiento de energía recargable (REESS) en el vehículo. Luego de considerar los puntos del artículo 11, se procede a probar cómo encaja el pack final en el espacio destinado para este y cuánta

holgura se tiene para trabajar, incluyendo el conector Anderson. Esto se puede observar en la figura 78.

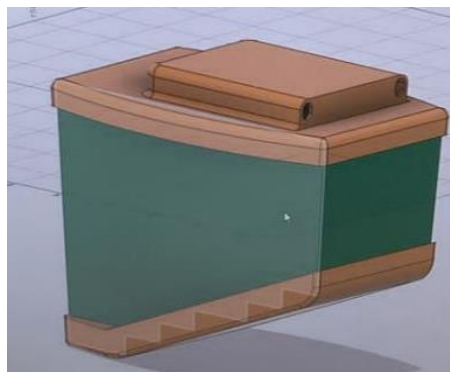


Figura 78 Presentación pack sin carcasa en moto scooter; Fuente [E.P]

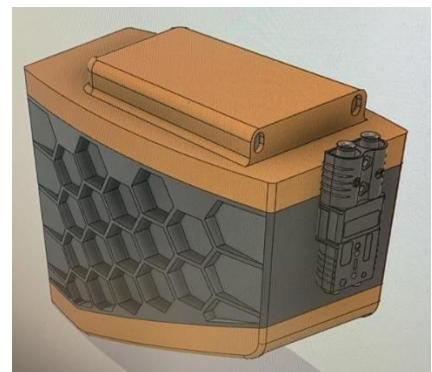
El proceso de diseño comienza con un boceto, como se muestra en la figura 79(a). Luego, este boceto es digitalizado y convertido en un prototipo, visible en la figura 79(b). Finalmente, en la figura 79(c), se le añade una forma hexagonal en los lados para aumentar la resistencia del componente, dado que el pack tiene una masa de 12.5 kg. Esta carcasa está diseñada para ser impresa en 3D con PLA y tener resistencia a la entrada agua, por lo que no se incorporan sistemas de ventilación.



(a)



(b)



(c)

Figura 79 Proceso de diseño de carcasa REESS; Fuente [45]

(a) Boceto carcasa (b) prototipo digital carcasa (c) diseño final

En la figura 80(a) se muestra el proceso de impresión de la carcasa que cubrirá el REESS, utilizando una máquina de marca Fuse Form en las instalaciones de [45]. En la figura 80(b), se mide la masa total de la carcasa, obteniendo un valor de 1217 gramos de material PLA. Esto debe sumarse a los 12.5 kg del pack, resultando en una masa aproximada de 13.7 kg.

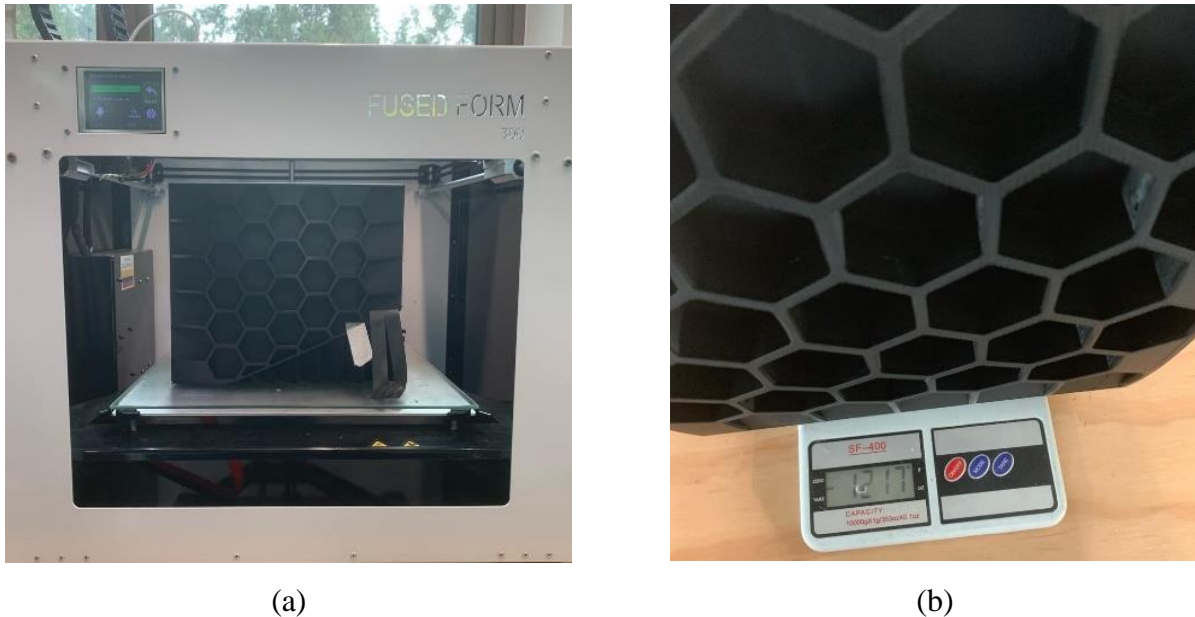


Figura 80 Impresión de la carcasa; Fuente [E.P]

(a) Impresión de carcasa PLA (b) Masa de la carcasa

En la figura 81 se muestra el proceso de armado final del pack, donde se une el BMS (Sistema de Gestión de Baterías) con las celdas. En la parte (a), se observan 4 fusibles térmicos conectados a los terminales de níquel. Estos fusibles son dispositivos que, al alcanzar una temperatura de 70°C o al pasar más de 10 amperios a través de ellos, interrumpen el flujo de corriente. La hoja de datos de este elemento y sus especificaciones se encuentran en [68]. El uso estratégico de estos fusibles radica en su conexión directa a las celdas 18650. Si alguna de estas celdas supera los 70°C , el fusible cortará la corriente y enviará una señal al BMS. En consecuencia, el BMS debe impedir el flujo de corriente de carga al equipo, dado que se ha detectado una celda defectuosa, mencionar que el bms ya tiene su propia sonda PTC para medir temperatura y proteger, esto es una seguridad más.

En la parte (b), se aplica aislante sobre las celdas para iniciar el proceso de soldadura de los cables de información del BMS. Los terminales de estos cables se fijan en la ubicación del BMS.

Finalmente, en la parte (c), se han soldado los cables de información del BMS y el cable del polo positivo. Este último no pasa a través del BMS, sino que se conecta directamente al terminal de la batería, luego se cubre con una cinta kapton la cual puede aguantar hasta 250°C y está fabricada con poliimida, la hoja de datos se encuentra en la página del vendedor [69]

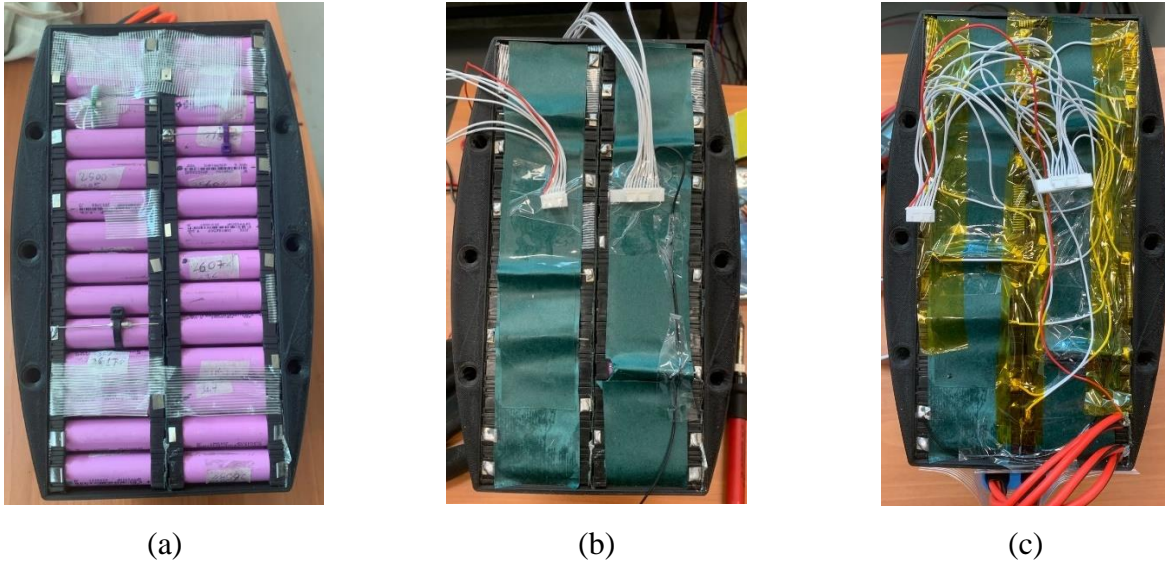


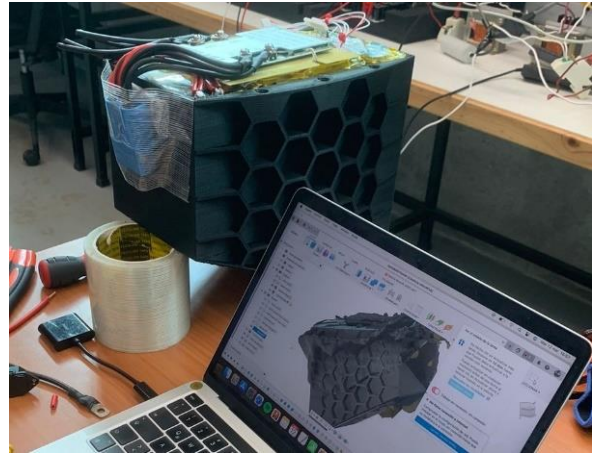
Figura 81 Instalación del BMS; Fuente [E.P]

(a) instalación fusiles térmicos (b) instalación aislante para cables BMS (c) cables BMS

Continuando con la instalación del BMS, en la figura 82(a) se muestra la tensión de salida del BMS ya conectado, con un valor de 82.5V. Es importante destacar que entre el BMS y las celdas se aplica un aislante de fibra de vidrio amarillo con epoxi para aislar estos dos componentes. En la figura 82(b) se presenta la digitalización de la tapa superior de la carcasa, la cual se prefiere volver a diseñar con los componentes finales instalados.



(a)



(b)

Figura 82 Instalación BMS y tapa de carcasa; Fuente [E.P]

(a) Comprobar tensión salida BMS (b) diseño de tapa superior carcasa

En la figura 83(a), se muestra la carcasa con su tapa superior colocada y asegurada con 6 pernos M6. En (b), se observa la batería instalada en la motocicleta, encajando perfectamente en el espacio previsto. Sin embargo, aún queda pendiente la sujeción del conector Anderson a la carcasa para que el sistema sea "plug and play" (enchufar y usar), como se conoce en inglés. Para lograr esto, es necesario enrutarse los cables de alimentación por debajo de la motocicleta.

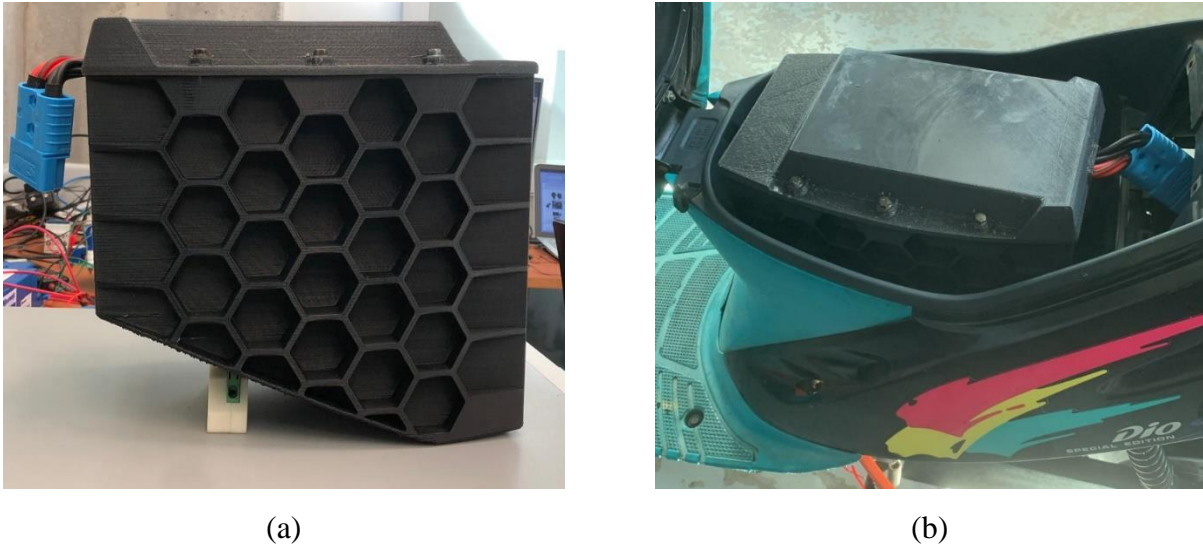


Figura 83 Carcasa batería final; Fuente [E.P]

(a) Carcasa batería final (b) batería en Moto scooter

4.12. Costos batería SLB

Según [51] la cual desarrolla una tabla de costos de las SLB que separa en cuatro categorías de SOH hablaremos de las 2 primeras:

- Alto SOH (80%-100%) el autor comentar que a estas baterías les queda gran parte de su capacidad original, por lo tanto, son las valiosas, son adecuadas para aplicaciones de energía y reutilización para vehículos eléctricos livianos, en especial como bicicletas o scooter eléctricos. Sus precios por kWh son de \$ 80 a \$140 por kWh
- Medio SOH (60% -79%), estas son baterías que aún le queda una capacidad sustancial, pero podrían no ser adecuadas para aplicaciones de alta demanda, se pueden utilizar en aplicaciones de almacenamiento de energía estacionarias, como el almacenamiento de energía solar o estabilización de redes. Sus precios son de \$55 a \$100 por kWh.

En conclusión, la estrategia de fijación de precios para las SLB debe asegurar que estas sigan siendo más asequibles que las baterías nuevas, considerando el estado de salud (SOH) y la vida útil residual. Por ejemplo, si un sistema de almacenamiento de energía (ESS) requiere una capacidad de

50 kWh y se encuentra una SLB disponible con un SOH del 80%, la capacidad equivalente necesaria de SLB sería de 62.5 kWh (50 kWh divididos por 0.8). Por lo tanto, el costo de 62.5 kWh de SLB (con un SOH del 80%) debería ser menor que el costo de 50 kWh de baterías nuevas, teniendo en cuenta que se espera que las SLB tengan una tasa de degradación más rápida.

En el caso del proyecto de conversión de la Honda Dio, las celdas tienen un SOH del 100%, pero esto no garantiza que estén en su plena vida útil, ya que la resistencia interna puede aumentar debido al tiempo de almacenamiento y al uso previo como scooters eléctricos. Sin embargo, esta disminución en los ciclos de vida no siempre es evidente en una prueba de capacidad debido a su mínima pérdida. Por otro lado, se considera el valor máximo de kWh basado en el estado óptimo de estas celdas, cercano al 100% de su vida útil. Los demás precios son genéricos y similares a los que se encuentran en la web.

Tabla 14 Costos REESS; Fuente [E.P]

Sub ítem	Componente	Descripción	precio unidad	cantidad	precio total (iva incluido)
Batería	Celda litio	Celda 2600 mah litio NMC	\$1.200	260,00	\$312.000
Batería	holder	Holder plástico	\$100	520,00	\$52.000
Batería	Nickel	0,12 mm x 8 mm	\$15.000	1,00	\$15.000
Batería	BMS	72V 100A	\$80.000	1,00	\$80.000
Batería	termo contraíble		\$15.000	1,00	\$15.000
Batería	Cable	8 AWG	\$5.000	1,00	\$5.000
Batería	Carcasa	PLA		1,00	\$0
Batería	conector	Anderson 120A	\$20.000	2,00	\$40.000
Batería	aislante	alta densidad 10mm	\$10.000	1,00	\$10.000
Batería	Ensamblaje		\$10.000	12,00	\$120.000
Batería	fabricación caja	corte y soldadura	\$15.000	7,00	\$105.000
Seguridad	Corta corriente	300 amperes máximo	\$10.000	1,00	\$10.000
Total					\$764.000

4.13. Simulación Moto scooter EV en Simulink

En las herramientas de ayuda de Matlab se encuentra una simulación en la plataforma simulink en el enlace [70], el modelo de simulación del EV general se puede observar en anexo B.1, y en la figura 84, se tiene un diagrama de bloques para explicar de manera general el sistema, donde los bloques de batería, conductor, ruedas, chasis, motor y su control y batería se interconectan para dar una respuesta similar a lo que ocurre en la realidad con este vehículo, por esto cada bloque da opción de cambiar parámetros físicos y químicos.

Se ocupa este software para analizar cuál es la autonomía que tendrá la moto scooter con la batería que se fabricó con la limitación de espacio disponible y por otra parte responder a cuál es la capacidad necesaria de la batería de litio para que la moto scooter tenga la misma autonomía de distancia en kilómetros que en su versión de combustión interna equipada con un estanque de 5 L.

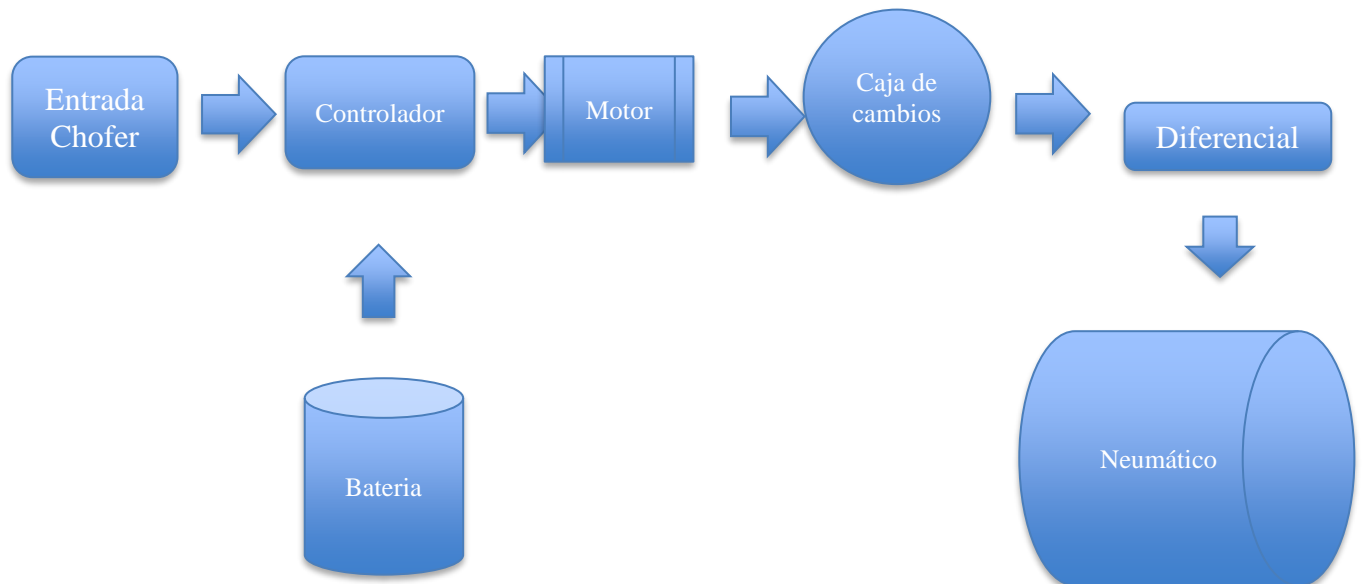


Figura 84 Diagrama de bloques simulación EV; Fuente [E.P]

4.13.1 Subsistema de carrocería del vehículo

En el anexo B.2 se tiene la representación de carrocería de un vehículo de dos ejes en movimiento, donde se debe ingresar datos como la masa total del EV más el chofer, resistencia aerodinámica, inclinación de la carretera, distribución del peso entre los ejes debido a la aceleración, gravedad y radio de la rueda.

Algunas entradas y salidas del bloque son:

- W(wind): velocidad del viento.
- V: velocidad real del vehículo (m/s), este valor se multiplica a la salida por una ganancia de 3.6 para transformar a km/h
- H: Conexión con las ruedas.
- Beta: inclinación carretera.
- Nf: Fuerza normal de las ruedas delanteras.
- Nr: Fuerza normal de las ruedas traseras.

En la tabla 17 se tiene los parámetros de la carrocería del vehículo, los valores se obtienen de la tabla 4 y se toma como el centro de masa la parte inferior del asiento del móvil, dado que en este lugar irá la batería, que es el elemento con mayor masa. Se debe mencionar que la masa total incluye un chofer de 80 kg, pero también existe un error en el cálculo, dado que los 71 kg de la moto scooter es sin tomar en cuenta el *retrofit*, pero los valores deben ser cercanos. La rueda va conectada directo al motor, dado que este es un sistema hub (motor dentro de la rueda), por lo que no ocupa diferencial, ni adiciona masa al C.G (centro de gravedad).

Tabla 15 parámetros ingresados bloque carrocería; Fuente [E.P]

Parámetros	Valores
------------	---------

Masa total	151 kg
Numero de ruedas por eje	1
Distancia horizontal del C.G al eje frontal	0.67 metros
Distancia horizontal del C.G al eje trasero	0.45 metros
Altura sobre el suelo del C. G	0.50 metros
Aceleración gravitacional	9.81 m/s ²
Área frontal	0.4x1.4 m (0.56 m ²)
Coefficiente de arrastre	0.2
Densidad del aire	1.18 kg/m ³

4.13.2 Subsistema circuito de motor y control

El bloque generador de señal PWM recibe señal del Controlador de seguimiento de velocidad, el cual con la retroalimentación genera estos impulsos de control para que los switches del H-Bridge permitan el paso de corriente, los valores trabajos en la simulación son los valores por defecto del ejemplo de Matlab, frecuencia de conmutación, por ejemplo. Estos alimentan al motor DC, esta energía proviene de la batería y es medida a través del amperímetro que está arriba de estos (también puede fluir energía hacia la batería en modo frenado).

De la tabla 5 de datos del motor opción tres, indica que la máxima velocidad que puede tomar este equipo es de 80 km/h, lo que convertido en rpm es 5040. La máxima velocidad de la motocicleta es de 60 km/h y la potencia que requiere en ese momento se representa en la figura 6 que indica que, a velocidad nominal con carga nominal, la potencia es de 4000 W, el campo magnético es de imanes permanentes y el valor de la inductancia de armadura no se tenía, pero se realizaron variaciones de este valor el cual no mostró cambios en los gráficos.

La simulación estaba creada con un motor DC, por esta razón se utiliza este sistema y no un motor BLDC, pero de igual manera son valores muy similares, quitando las ventajas de que este último

no posee escobillas en su colector. En la tabla 18 se tiene los parámetros finales del motor utilizado en la simulación y en el anexo B.3 el circuito en Simulink de esta sección.

Tabla 16 Parámetros Motor simulación; Fuente [E.P]

Parámetros	Valores
Inductancia de armadura	120 [micro H]
Velocidad sin carga	7000 RPM
Velocidad nominal	5040 RPM
Carga nominal (potencia mecánica)	4 kW
Voltaje nominal DC de la fuente	72

4.13.3 Subsistema entrada conductor

La función de usar el bloque es con el fin de modelar la respuesta dinámica de un conductor o, para generar los comandos necesarios para rastrear un ciclo de conducción longitudinal de un EV, las funciones principales son controlar el seguimiento de velocidad y Generar comandos de aceleración y frenado, basándose en la velocidad de referencia y retroalimentación que entrega el chasis. Esto se hace a través de Signal 2, que es una señal que representa la trayectoria del EV con un valor unitario. En la figura 85 se tiene la trayectoria usada para la simulación, la cual es una aceleración hasta llegar a la máxima velocidad y luego ver cuánto es la autonomía a esta constante.

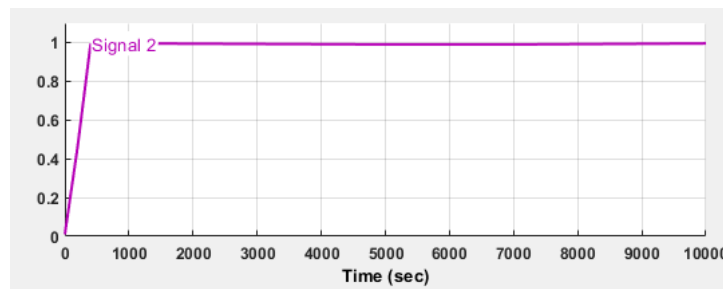


Figura 85 Señal de conductor simulación; Fuente [E.P]

Esta señal posee una ganancia de 16.66 en su salida dado que como la señal es unitaria, se debe multiplicar para dar la referencia de velocidad al bloque “longitudinal driver” que puede tomar

la moto scooter, en este caso es 60 km/h, esto se puede ver en el anexo B.4, bloque conductor. Otros comandos son:

- AccelCmd y DecelCmd: comandos de aceleración y frenados (esta señal llega al control PWM del motor).
- VelFdbk: retroalimentación desde el bloque de carrocería, este valor reconoce m/s, por lo que se le agrega una ganancia de $1/3.6$, dado que la señal recibida viene en km/h, de esta manera se corrige este valor.
- Grade: se puede agregar una inclinación constante al circuito a través de este valor, el cual es una constante en grados.

4.13.4 Bloque Batería

Este bloque representa los modelos de baterías más comunes y proporciona la corriente, el voltaje y el estado de carga (SOC), asumiendo un sistema de refrigeración y una temperatura de operación de 25 °C en el software. En el anexo B.5 se presenta el modelo en Simulink. Este modelo incluye una fuente de corriente que suministra la energía requerida por el motor al modelo de la batería, pasando previamente por un amperímetro. Las salidas del modelo de la batería son corriente, voltaje y SOC. Además, el modelo determina automáticamente los parámetros de gestión necesarios para la batería de litio, basándose en el voltaje y la capacidad nominales en Ah.

Para determinar cuál es la capacidad necesaria para recorrer la autonomía de la Moto scooter con motor a combustión se realiza de manera empírica, modificando los valores de autonomía en el anexo B.6 se representa una sección de la simulación, la cual entrega la distancia total recorrida. Para obtener este valor, se realiza una integración de la velocidad a lo largo del tiempo, y luego se divide por 3600, que representa una hora en segundos, con el fin de obtener la distancia total del recorrido. Esta distancia corresponde a la mínima que la moto scooter convertida a eléctrica puede entregar, en el otro display se visualiza la velocidad instantánea, la cual, en este caso, corresponde al final de las simulaciones y alcanza los 59.68 km/h. Por lo que para recorrer los 142 km el valor similar en capacidad de corriente es de 80Ah. En la tabla 19 se tiene los parámetros que se ingresan a la simulación final.

Tabla 17 Parámetros batería de simulación; Fuente [E.P]

Parámetros	Valores
Tipo batería	Lithium-Ion
Voltaje nominal	72V
Capacidad nominal	80 (Ah) y 32.5 (Ah)
SOC % inicial	100%

En la figura 86 se tiene las curvas características de descarga de las baterías a simular para la Moto scooter, donde en (a) se tiene una batería de 80 Ah para hacer la equivalencia con la autonomía de un estanque de gasolina de 5 litros con una corriente de descarga de 34 A, dando una duración de aproximadamente 2 horas con una tasa de descarga de 0.43 C en ambos casos y en (b) una batería de 32.5 Ah, el cual la capacidad probable que puede entrar dentro del habitáculo debajo del asiento del conductor, la tensión máxima de la celda es de 84 V y la tensión de corte es de 60V, aunque la simulación lo deja en 54V, de todas maneras esta energía no es relevante dado que está en la área donde decae el voltaje de manera abrupta. Por otra parte en el gráfico de abajo está las curvas de descarga con distintas corrientes en tasa de descarga, las cuales son valores estratégicos, 20 A es una corriente para bajas velocidades, 33 A y 50 A son corrientes que puede ser constante en el uso de la moto Scooter y 100 A es la máxima corriente que puede consumir el motor eléctrico, donde lo notable es que en (b) solo podría estar máximo 20 minutos funcionando y este sería una tasa de descarga 3C, la cual es una alta exigencia para una SLB y podría causar su fallo o su EoL de manera abrupta.

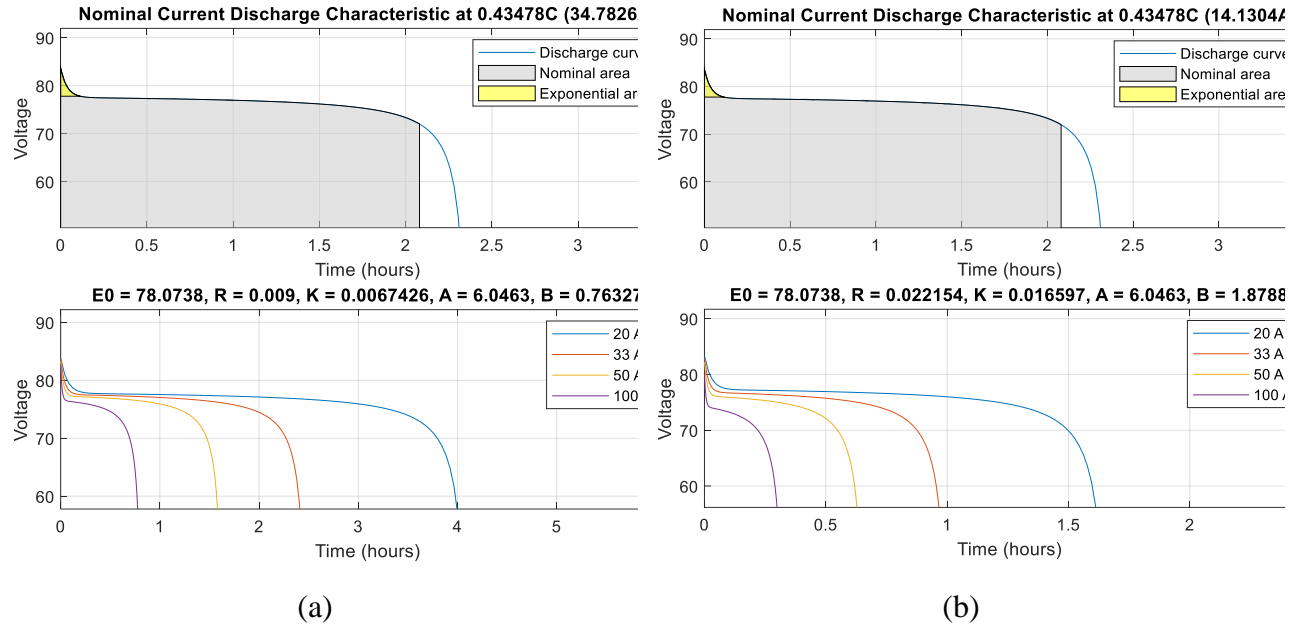


Figura 86 Curva característica descarga batería simulación; Fuente [E.P]

(a) batería 80 Ah (b) batería 32.5 Ah

4.13.5 Resultados

Los resultados resumidos de la simulación se tiene en la tabla 20, donde se presentan los casos de baterías, una de 80 Ah y la otra de 32.5 Ah, en el primer caso se tiene una capacidad que busca representar la autonomía original de la honda dio con combustible fósil, el cual se realiza una aproximación en el capítulo 3 en consumo de combustible dando una totalidad de 142 km con 5 litros de gasolina, donde con energía eléctrica se logra un similar de 141.3 km a 60 km/h, pero esta cantidad de energía no se puede almacenar el espacio disponible en la Honda dio como se vio anteriormente, por lo que solo se puede disponer de un pack 32.5 Ah a 72V, con una energía acumulada de 2.34 kWh, donde da una autonomía de 56 km para recorrer a máxima velocidad constante, por casi una hora de recorrido, que es muy similar al rango de las motocicletas estudiadas, la diferencia principal se puede tener que las pruebas de autonomías realizadas por los fabricantes es a menores velocidades

Tabla 18 Resultados simulación EV; Fuente [E.P]

	Bateria 1 (80 Ah)	Bateria 2 (32.5 Ah)
Velocidad constante	60 km/h	60 km/h
Distancia recorrida	141.3 km	55.98 km
Tiempo recorrido	8760 segundos	3590 segundos
Corriente constante	33.05 A	33.05 A

En la figura 87 se tiene los resultados gráficos, donde la leyenda de tono naranja es la batería de 32.5 Ah, la cual tiene una menor duración en el tiempo que la otra batería, concordando con los resultados de la tabla 20, también se entrega la potencia constante consumida a 60 km/h es de aproximadamente 2.6 kW con un peak de 3.5 kW, esto es un punto para analizar con las pruebas reales para ver cuál es la similitud de esta simulación con las condiciones reales. Por otra parte, el SOC% decae al 0 % en ambos casos, por lo que se consume toda la batería en esta simulación buscando la máxima autonomía posible.

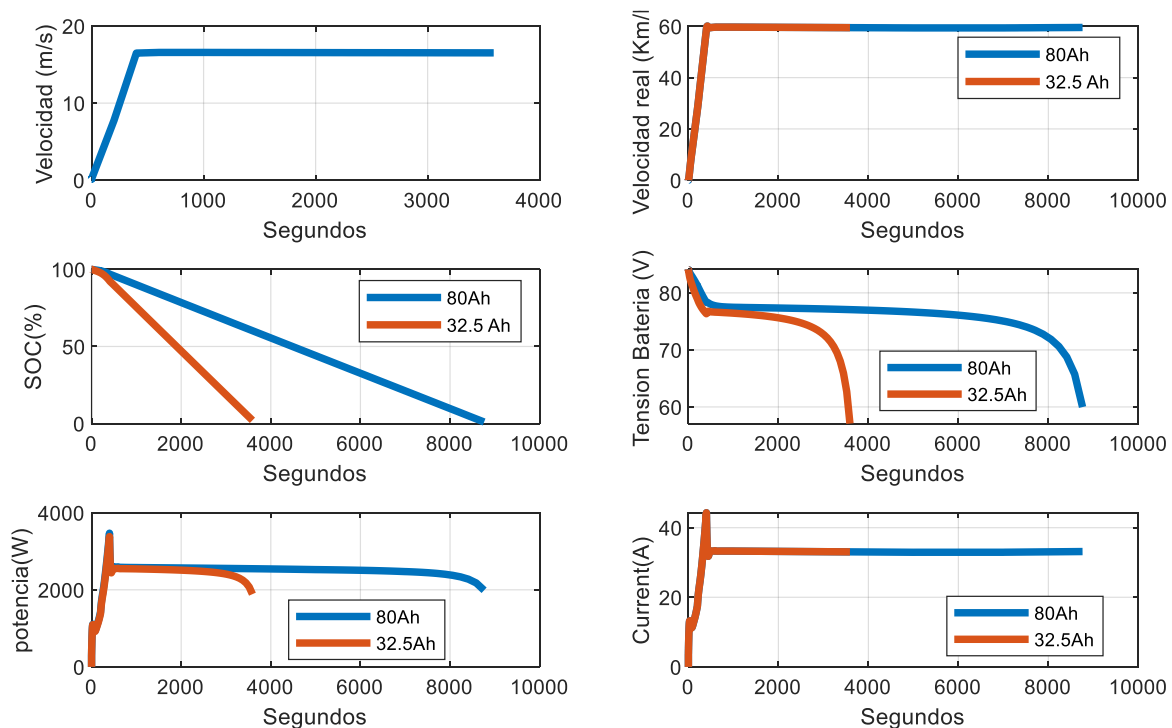


Figura 87 Resultados graficados simulación moto scooter; Fuente [E.P]

4.14. Discusión

En el mercado existen productos de fábrica que ofrecen soluciones de propulsión eléctrica confiables, pero al convertir una moto Scooter, los resultados en términos de capacidad son muy similares.

Se pueden generar baterías a partir de micro movilidad y electromovilidad, lo cual es un factor positivo para considerar para un modelo de negocio sostenible. Sin embargo, fabricar una batería no es tan económico como en una escala industrial, y no incluye todos los costos asociados con mantener las condiciones de trabajo necesarias para realizar esta tarea, lo que puede resultar en costos elevados.

En el mercado en línea, existe una gran variedad de productos para fabricar baterías a medida. En el futuro, es probable que esta tendencia aumente y que más personas construyan baterías de segunda vida. A medida que más productos con baterías de litio fallen por otros motivos, dejando celdas en buen estado o nuevas, sería una pérdida de materiales y energía reutilizar estos recursos en lugar de reciclarlos.

Analizar mejor las celdas es crucial para evaluar su verdadero estado de salud. Aunque se han utilizado herramientas de simulación en este trabajo, es necesario desarrollarlas y simplificarlas más para que representen fielmente la realidad. Este aspecto se pondrá a prueba en este estudio.

Por último, la impresión 3D puede ser muy útil para la fabricación de prototipos de alta calidad, como en el caso de la carcasa del REESS. Sin embargo, las leyes deben actualizarse para reflejar esta información, ya que existen plásticos específicos que pueden soportar altas temperaturas y el fuego, a diferencia del PLA, que tiene un bajo punto de fusión y puede comenzar a deformarse a 150°C. Por lo tanto, para producciones a mayor escala, el uso de PLA no sería viable.

Capítulo 5. Evaluación experimental de Moto Scooter Convertida

Este capítulo representa la etapa final del proceso de conversión, en la que se prueba la Moto Scooter Honda Dio en condiciones reales pero controladas. En la figura 88, se puede observar al piloto de pruebas junto con todos los elementos necesarios para medir los parámetros del vehículo en tiempo real, los cuales serán explicados en detalle más adelante.



Figura 88 Prueba Moto Scooter convertida a eléctrica; Fuente [E.P]

5.1. Recorrido de Pruebas

La evaluación experimental de la moto Scooter convertida a propulsión eléctrica se lleva a cabo en un entorno privado, específicamente en las instalaciones de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Cada vuelta realizada tiene una distancia total aproximada de 1.86 km. Para determinar esta medida, se emplea la vista satelital proporcionada en la figura 89(a), utilizando la herramienta de Google Maps, enlace en [71]. La figura 89(b) muestra la vista del GPS utilizado durante las pruebas, la cual coincide con la vista satelital presentada en la figura (a).

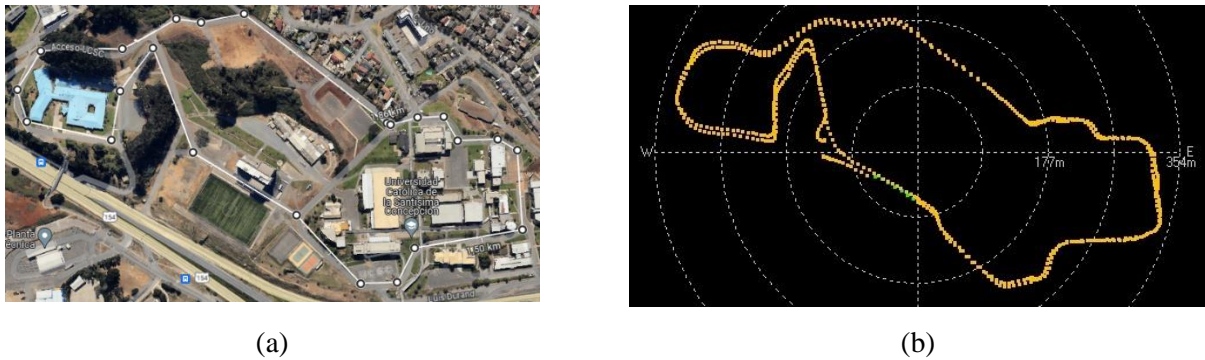


Figura 89 circuito de pruebas; Fuente [E.P]

(a) vista satelital (b) vista GPS

5.2. Configuración del sistema de propulsión

El driver encargado de gestionar el movimiento del motor eléctrico dispone de una serie de parámetros ajustables para adaptarse a las necesidades del usuario. Con la conexión del REESS (Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica Recargable) al controlador, se puede energizar este equipo para configurar la aplicación Fardrive ND. A través de Bluetooth, se accede a esta plataforma utilizando exclusivamente un teléfono con sistema operativo Android.

En la figura 90 se presentan las distintas pestañas de esta aplicación. En la sección (a), al conectar la aplicación al driver, este identifica automáticamente algunos parámetros, como el modelo ND72680, con una potencia nominal de 5 kW a 72V. Esta discrepancia llama la atención, ya que la tabla 5 indica que la potencia nominal es de 4 kW, basada en información del vendedor [30]. Luego se presentan los parámetros base, donde se puede modificar la dirección del motor, seleccionar el voltaje nominal y controlar el comportamiento de la aceleración del motor cuando el nivel de carga

del SOC de la batería está bajo. Además, se puede elegir el tipo de frenado regenerativo deseado. Para estas pruebas, se utiliza el modo EABS medio, habiendo tres estados adicionales: desactivado, bajo y alto.

En la figura (b) se muestra la configuración de las tres velocidades permitidas por el driver, las cuales se ajustan físicamente mediante tres botones en el manillar del piloto. Es posible regular la potencia suministrada al motor y la velocidad máxima permitida. La figura (c) presenta funciones que pueden activarse o desactivarse según las preferencias del usuario, como la velocidad de cruceo y la función de estacionamiento. Por último, en la figura (d) se muestra un display en tiempo real que presenta gráficos como la potencia, la marcha en la que se encuentra el equipo (en este caso, en D correspondiente a la velocidad 2), el voltaje de la batería y el medidor de SOC (%), que en el momento de la captura de pantalla mostraba 77.7V. También se muestra el voltaje del acelerador, entre otros datos relevantes.

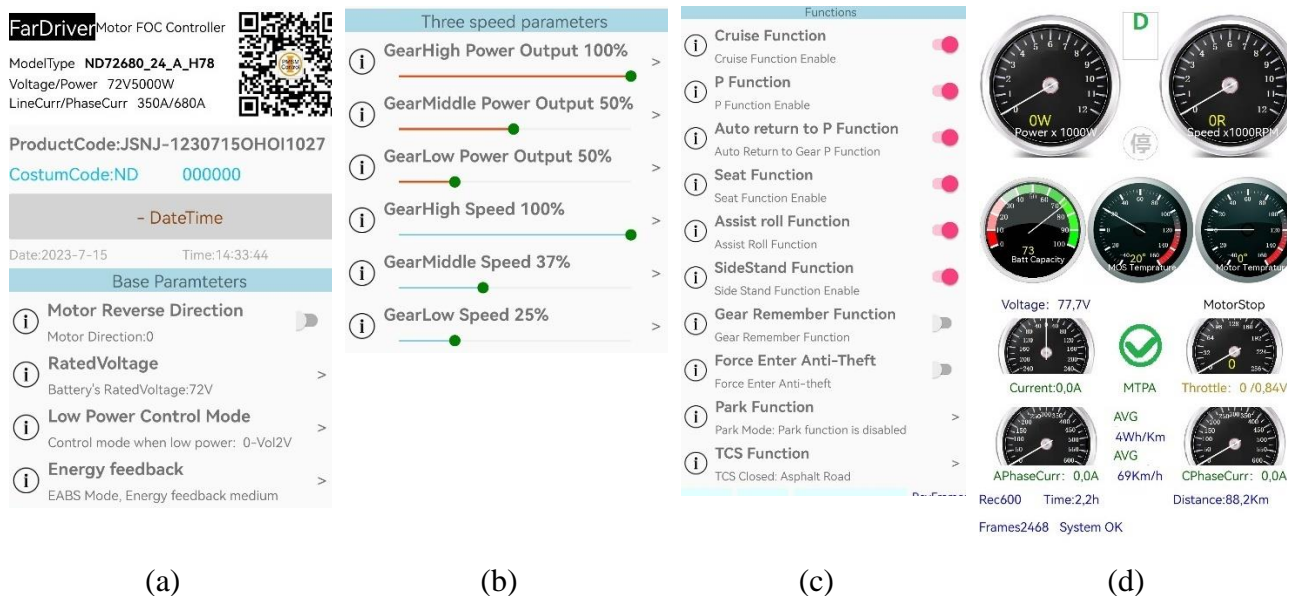


Figura 90 Aplicación del driver Fardrive; Fuente [E.P]

(a) parámetros base app (b) parámetros de las tres velocidades (c)funciones (d) display app tiempo real

5.3. Pantalla principal

En la figura 91 se tiene la pantalla DKD de instrumentos de la moto scooter, esta reemplaza al tablero anterior, en el cuadrado rojo se tiene la medida del SOC% que al momento de la foto estaba en 77.7V, lo cual tiene lógica, dado que el nominal es de 72V y el máximo 82%, pero no se puede decir que 72V es el 50%, dado que existe un calculo mas complejo para esto, que lo hace la pantalla directamente, por otra parte la pantalla igual indica las flechas direccionales y si las luces estan encendidas o no. Se observa los manillares, a la derecha se puede ver los números 1 2 3 que son las velocidades descritas anteriormente.



Figura 91 Visor SOC en pantalla DKD; Fuente [E.P]

Por último, en la figura 92 se presenta un análisis de la Señal CAN utilizando un osciloscopio. Dado que no se puede visualizar la marcha, la corriente y la velocidad, se realizó un estudio del comportamiento de la señal. En (a) se muestra una señal CAN funcional proveniente de otro controlador que se comunica correctamente con la pantalla. Sin embargo, en (b) se presenta la señal entregada por el controlador de la Honda Dio, la cual es una señal cuadrada. En (c) se muestra esta señal al momento de acelerar, donde comienza a exhibir una especie de señal sinusoidal multinivel. Esto podría ser resultado de una mala conexión, ruido debido a un error de fabricación o una configuración incorrecta. Dado que los cables vienen etiquetados de fábrica, este aspecto requiere un análisis más detallado para encontrar una solución adecuada a la situación, existen alternativas como comprar el cable para conexión controlador PC para descartar problemas de configuración, dado que este equipo solo vino con una conexión Bluetooth.

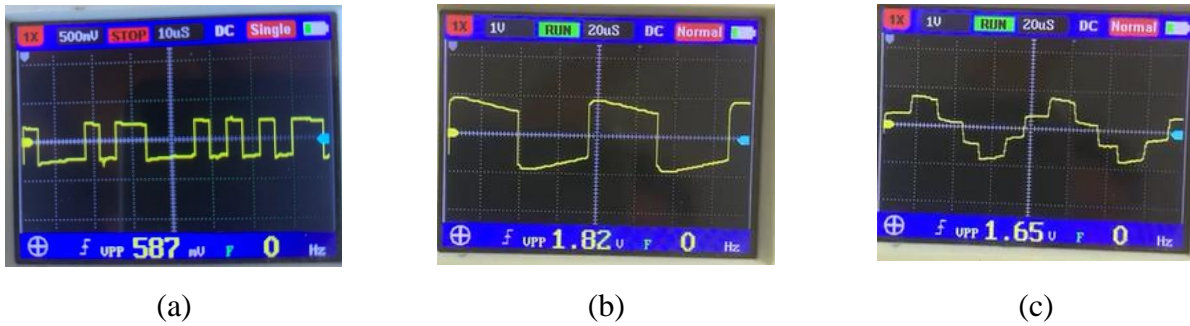


Figura 92 Análisis de señal CAN; Fuente [E.P]

(a) Señal CAN correcta (b) Onda cuadrada (c) onda sinusoidal multinivel

5.4. Sistema de captura de datos

El sistema de captura de datos, o Sistema de Adquisición de Datos (SAD), está compuesto por dispositivos diseñados específicamente para la medición y registro de variables mediante sensores colocados estratégicamente en las líneas de alimentación hacia el motor de imanes permanentes de la moto scooter eléctrica. Además, se integra un dispositivo de Unidad de Medición Inercial (IMU) para obtener datos georreferenciales del movimiento del vehículo. Esta configuración permite la recopilación de información durante la operación en diferentes recorridos realizados por la moto eléctrica.

Se utilizará el equipo de medición y registro de variables eléctricas Sefram DAS 60 junto con el receptor GPS Ublox EVK-M8U para registrar variables como la velocidad y la altitud. Los datos registrados serán procesados mediante el software Matlab y Simulink para desarrollar graficas de corrientes y tensiones de la moto scooter.

5.4.1 Sefram DAS 60

El Sefram DAS 60 es un dispositivo portátil de captura de datos de alta velocidad. Este instrumento cuenta con 6 canales aislados, 16 entradas lógicas y 2 entradas de temperatura.

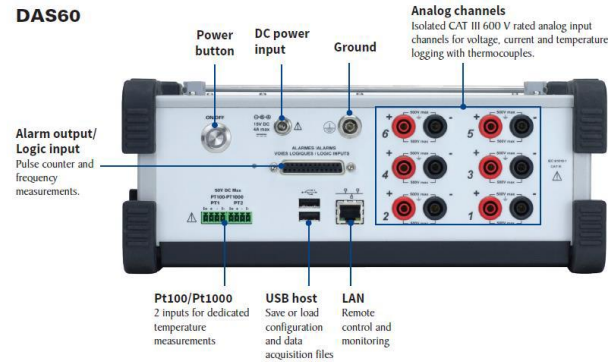


Figura 93 Entradas de Sefram DAS 60; Fuente [72]

5.4.2 Sonda de corriente AEMC MR416

Para la medición de corriente entre la batería y la propulsión eléctrica se utiliza la sonda la sonda de corriente que funciona en conjunto al Sefram DAS 60. En este caso se utilizó la sonda de corriente AEMC modelo MR416. Esta permite medir corrientes DC de hasta 600 A, la cual fue puesta en cable de alimentación negativo de la batería.



Figura 94 Sonda de corriente AEMC MR416; Fuente [73]

5.4.3 IMU: Ublox EVK M8U

Un IMU (Unidad de Medición Inercial) está compuesto por giroscopios, dispositivos que pueden medir la orientación, y acelerómetros, dispositivos que pueden medir las aceleraciones en las tres dimensiones. Esta combinación permite que el IMU proporcione variables físicas como la posición, la velocidad, la inclinación, entre otras. Estos dispositivos son comúnmente utilizados en aviones, vehículos no tripulados, vehículos que requieren seguimiento, entre otros contextos.

Este dispositivo incluye un kit, dentro de este se encuentra una unidad de evaluación, cable USB y una antena GPS/GLONASS/BeiDou con cable de 3m. El cable USB funciona como fuente de alimentación y transferencia de datos. La corriente de suministro máxima recomendada para antenas activas es de 30mA. El software de evaluación que se utiliza para este dispositivo, y posterior almacenamiento de variables es el U-CENTER versión 21.02, esta herramienta permite configurar, evaluar, visualizar y analizar datos de receptores GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite).



Figura 95 Kit de evaluación de EVK-M8U; Fuente [74]

En la figura 96 están los sistemas de captación de datos instalados y asegurados con bridas plásticas para que no muevan del lugar al momento de realizar la prueba.



(a)



(b)

Figura 96 Moto Scooter con sistema de captación de datos instalado; Fuente [E.P]

5.5. Análisis de datos

Luego de realizar prueba monitoreando los parámetros de tensión y corriente de la batería de litio en sus terminales y las salidas trifásicas del controlador hacia el motor, se obtiene los siguientes resultados, estos se llevan a cabo en el circuito mencionado y se tiene dos grabaciones, dado que se tuvo que reiniciar la captura de datos.

La primera prueba de la moto scooter se ilustra en el gráfico anterior, que consta de dos subgráficos. En el subgráfico superior, se muestra la variación de la potencia (en kW) con respecto al tiempo (en minutos). A lo largo de la prueba, se observa que la potencia oscila significativamente, alcanzando picos de hasta 8 kW y mínimos cercanos a -1 kW. Estas fluctuaciones reflejan las diversas demandas de potencia durante diferentes condiciones de conducción, como aceleraciones, frenados y cambios de velocidad. Los mínimos de -2 kW indican el máximo nivel de frenado regenerativo configurado en modo medio. Un frenado regenerativo alto podría resultar en una desaceleración violenta, por lo que se utiliza una configuración media para equilibrar la recuperación de energía y la comodidad del frenado.

El subgráfico inferior presenta la energía acumulada (en Wh) consumida por la moto scooter a lo largo del tiempo. Se puede apreciar una tendencia ascendente, indicando el consumo de energía durante la prueba. A partir del inicio, la energía acumulada aumenta de manera constante, alcanzando aproximadamente 250 Wh al final de la prueba de 20 minutos. La tendencia no es perfectamente lineal debido a la influencia del frenado regenerativo, que recupera energía y la almacena nuevamente en la batería durante ciertos momentos de la prueba. Este patrón refleja el consumo de energía durante el funcionamiento del vehículo y es crucial para evaluar la eficiencia y autonomía del sistema de propulsión eléctrica.

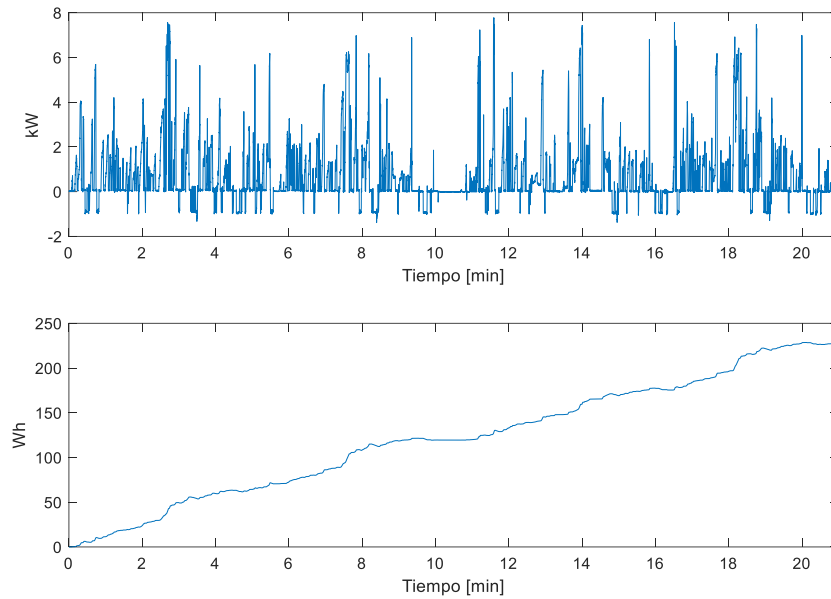


Figura 97 Grafico de potencia y energía prueba real; Fuente [E.P]

En la Figura 98 se presenta una parte acotada del gráfico mostrado en la Figura 97. Esta figura permite observar con mayor detalle cómo el frenado regenerativo afecta la tendencia de la pendiente positiva en el gráfico de energía DC consumida, incluso cambiándola a negativa por unos instantes. También se observa que el frenado regenerativo actúa como una función escalón, activándose instantáneamente a su valor nominal de aproximadamente -1 kW. Estos dos subgráficos son relevantes para entender el impacto del frenado regenerativo en la batería y en el consumo de energía. En el subgráfico superior, se muestra la potencia (kW) en función del tiempo (min).

Se pueden identificar varios picos de potencia, tanto positivos como negativos. Los picos negativos indican los momentos en que el frenado regenerativo está activo, recuperando energía y devolviéndola a la batería. El subgráfico inferior muestra la energía acumulada (Wh) en función del tiempo (min). La tendencia general es ascendente, lo que indica el consumo de energía a lo largo del tiempo. Sin embargo, en los momentos en que el frenado regenerativo está activo, se puede ver una disminución en la pendiente positiva de la curva, e incluso una pendiente negativa momentánea. Esto demuestra que durante estos períodos, la energía no solo deja de consumirse, sino que se recupera y almacena en la batería, lo que contribuye a mejorar la eficiencia energética del sistema.

La observación detallada de estos subgráficos es crucial para comprender cómo el frenado regenerativo influye en el rendimiento global del sistema eléctrico de la Moto Scooter Honda Dio. La

activación instantánea del frenado regenerativo a su valor nominal de aproximadamente -1 kW puede indicar que el sistema aprovecha la energía cinética durante las frenadas.

En el minuto 0.7 se tiene el mayor pico de aceleración, que se puede ver en el grafico superior, pero en el inferior se ve como la energía consumida aumenta su pendiente.

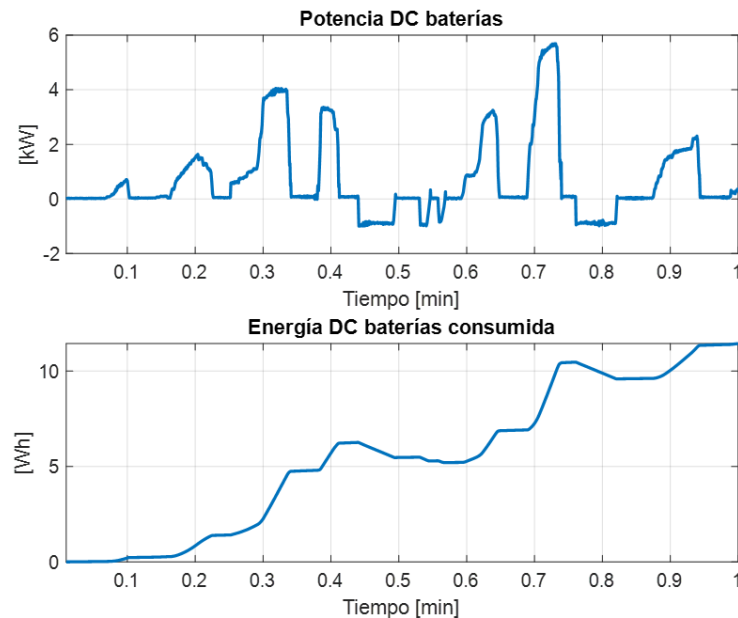


Figura 98 Grafico de potencia y energía prueba real acotado; Fuente [E.P]

En la figura 99, se muestra la distancia recorrida en función del tiempo durante una prueba de 12 minutos. La distancia total recorrida es de aproximadamente 3800 metros, lo que resulta en una velocidad promedio de 19.00 km/h. Con una capacidad de batería de 2.34 kWh y un consumo promedio de 750 Wh por hora, la autonomía total se calcula en aproximadamente 59.28 km, este grafico se genera con la información entregada por el GPS.

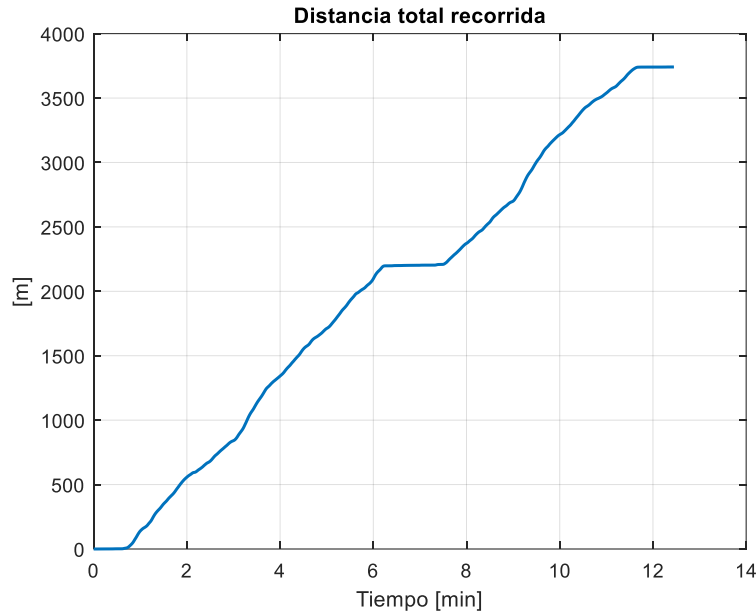


Figura 99 Distancia total recorrida en 12 minutos; Fuente [E.P]

En esta imagen se observa la relación entre la entrega de corriente y el aumento de velocidad, así como el frenado regenerativo que alcanza casi 10 amperios. El gráfico abarca un período de 1 minuto, y se evidencia claramente que, a mayor corriente entregada al motor, mayor es la velocidad alcanzada, y viceversa. Además, aunque es posible calcular la eficiencia del sistema, esta dependería de factores como la inclinación del terreno, el viento en contra o a favor, y el roce del camino, entre otros, esto será posible con la sincronización entre la georreferencia del GPS con la captura de datos.

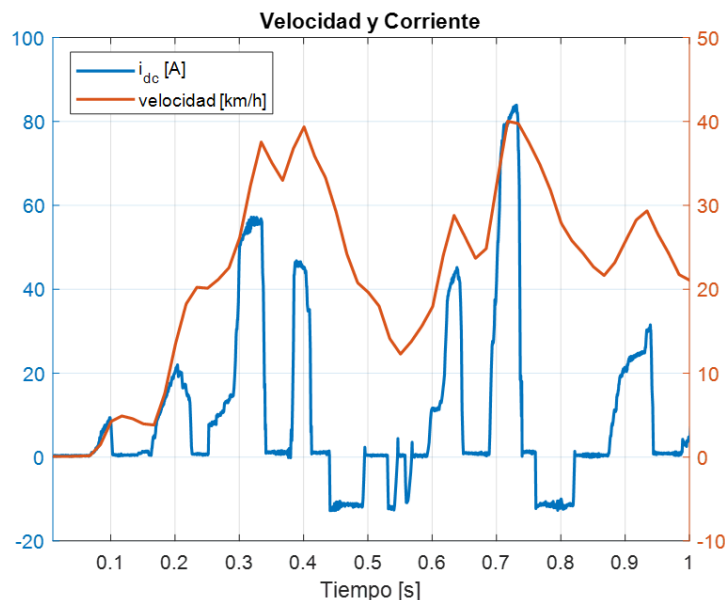


Figura 100 Comportamiento Dinámico de Corriente y Velocidad durante la Conducción; Fuente [E.P]

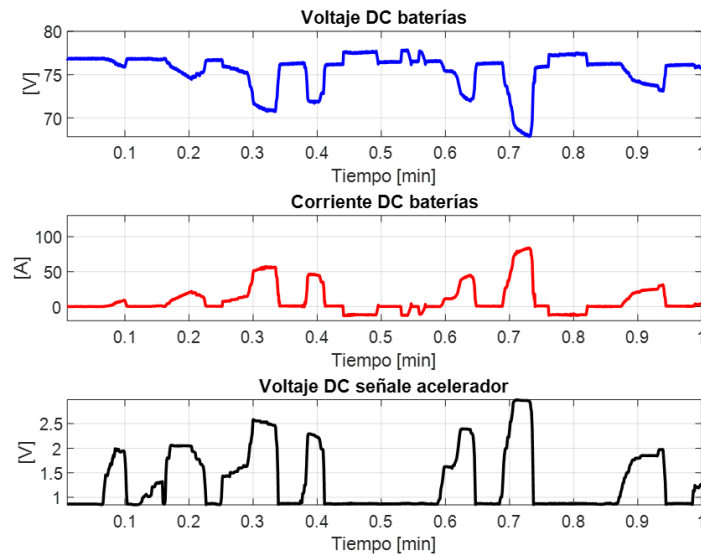


Figura 101 relación voltaje, corriente y posición acelerador Moto scooter; Fuente [E.P]

En la Figura 102 se muestra la tensión entre líneas del controlador y el motor. No se especifica si la conexión es delta o estrella, ya que el fabricante no lo aclara. Sin embargo, es importante mencionar que el fabricante describe la señal de salida como una onda pura. Lo que observamos aquí es una señal modulada por ancho de pulso (PWM), que utiliza estos pulsos para eliminar armónicos y proporcionar una señal más limpia al motor.

Para futuros trabajos, este gráfico podría ser analizado más a fondo utilizando la transformada de Fourier para identificar la armónica principal. Además, se podría investigar qué ocurre si se aplica un filtro pasa bajo, que podría ayudar a suavizar aún más la señal y mejorar su calidad. Aunque el fabricante chino describe este tipo de señal sinusoidal modulada como una onda pura, es evidente que la señal pasa por cero voltios, lo cual confirma que es una señal de corriente alterna (AC).

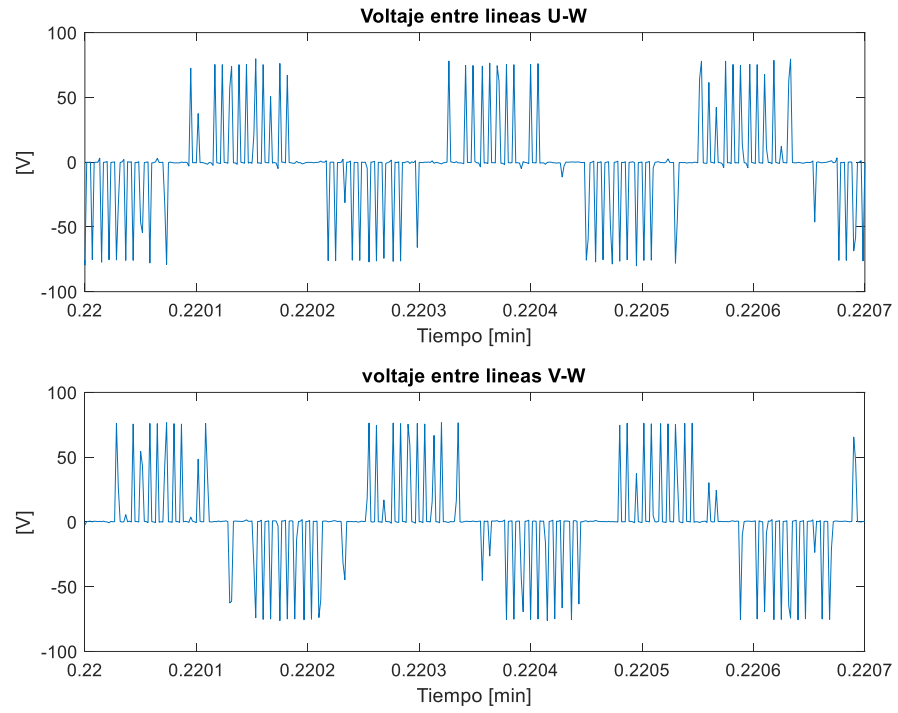


Figura 102 tensión entre líneas controlador onda pura; Fuente [E.P]

5.6. Discusión

El cambio de propulsión de un motor de combustión interna a 100% eléctrico se pudo llevar a cabo y para pruebas experimentales fue exitosa, dado que permitió el uso continuo de esta en las pruebas, por esto en la figura 103 se muestra en una serie de imágenes la transformación real de una motocicleta a eléctrica, donde en (a) se muestra la cantidad de componentes que se requiere para hacer funcionar un motor de combustión interna y en (b) el motor armado, el cual es un componente complejo diseñado de manera sinérgica para que todo calce, por último en (c) se tiene la comparación de la moto scooter con su nueva propulsión con el motor de combustión, donde el primero se diferencia por su simplicidad de gran manera.

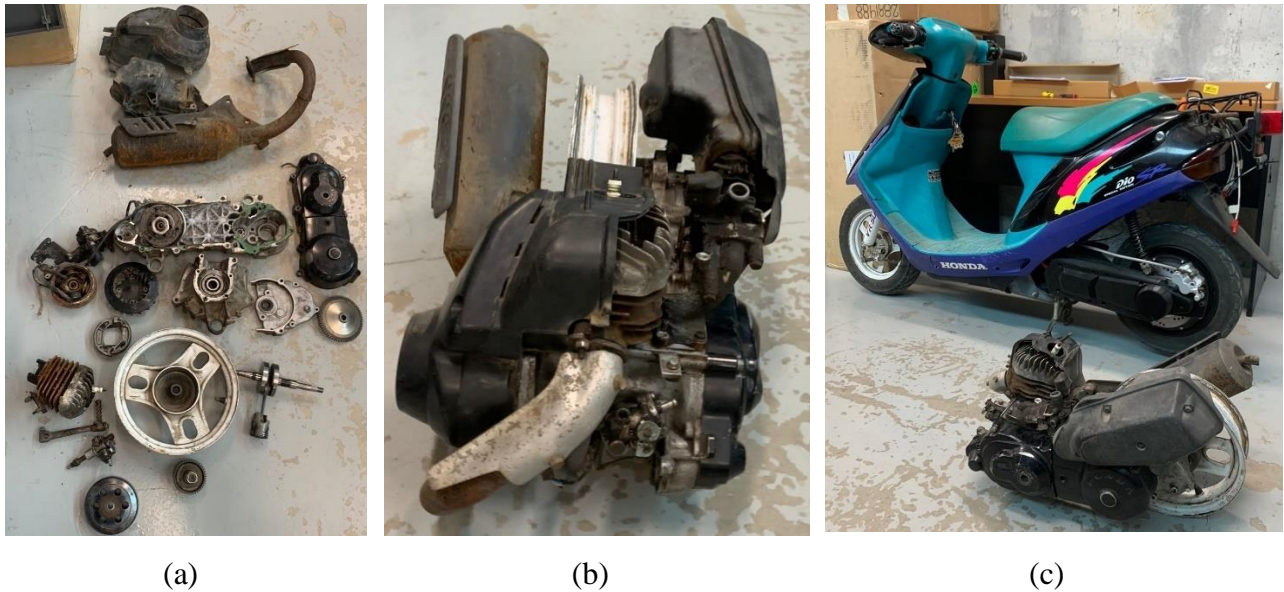


Figura 103 comparación de motor de combustión vs propulsión eléctrica; Fuente [E.P]

(a) despiece motor de combustión interna honda Dio 50CC (b) Motor C.I ensamblado (c) Honda dio 100% eléctrica

El comportamiento del vehículo, aunque se realizó en un recinto privado, se puede asimilar a un circuito urbano, donde se observa diferencias con la simulación presentada en Simulink. En la simulación, se utilizó un consumo constante de corriente, haciendo que la batería disminuyera de manera constante. En cambio, en la prueba real, los consumos de potencia fluctuaban debido a la aceleración, desaceleración y el frenado regenerativo, lo que resulta en un patrón de descarga de la batería menos predecible pero más representativo del uso en condiciones reales. La simulación muestra que, bajo condiciones de velocidad constante de 60 km/h y una corriente constante de 33.05 A, las baterías tienen una autonomía significativamente mayor que

la observada en las pruebas reales, dado que en las pruebas reales se muestra una velocidad menor promedio pero la misma autonomía. Sin embargo, esta diferencia es esperada, ya que las condiciones reales incluyen variaciones en la velocidad, aceleraciones y desaceleraciones, y frenado regenerativo, los cuales no están presentes en la simulación idealizada.

En la tabla 20 se tiene la comparativa de las condiciones originales de la moto scooter con dos simulaciones, una con capacidad para hacer la misma cantidad de KM que el estanque de gasolina y la otra con la batería que se construyó para este trabajo, limitada por el espacio disponible. Tener en consideración que la masa real de la moto scooter convertida es solo una aproximación, dado que no se midió en una balanza la masa total, pero se puede suponer que es menor, dado que la batería solo tiene una masa de 13.5 kg y el motor, además de estar sobre el mismo eje, a diferencia del motor de C.I. que estaba entre los ejes. Pero según las pruebas la moto scooter con 32.4 Ah a 72V nominales puede dar una autonomía cercana a los 60 KM.

Tabla 19 Resultados de comparación entre pruebas simuladas y reales de moto scooter

Parámetros	Similar a condiciones C.I.	Simulación	Experimentales
Energía Batería (Ah)	80	32.5	32.4
Autonomía	141.3	55.98	59.28
Masa (sin chofer 70kg)	71.5 kg	81.5 kg	No medida

Capítulo 6. Conclusión

6.1. Sumario

Se realizó un estudio de las normativas a nivel mundial del retrofit y regulaciones para vehículos eléctricos (EV), incluyendo la situación actual de Chile y algunos países de Latinoamérica. Esta investigación se llevó a cabo a través de páginas web de medios de comunicación y fuentes oficiales de los gobiernos que disponen de la información en línea. En el caso de Chile, se identificó la ausencia de un manual de retrofit para realizar conversiones.

Se investigaron los parámetros de la Moto Scooter Honda Dio, tales como masa, potencia y autonomía. Se desarmó el vehículo para identificar los espacios disponibles para la implementación de los componentes de la propulsión eléctrica. Se analizaron las tecnologías y opciones disponibles en el mercado internacional, con el objetivo de adquirir componentes que se asemejaran lo más posible a los originales y que fueran adecuados para el proceso de conversión.

Con los elementos de la propulsión integrados y los espacios definidos para la batería, se procedió al desarrollo de una batería de litio de segunda vida. Se llevó a cabo una investigación exhaustiva en la literatura disponible en la web para identificar el mejor método de fabricación con los elementos disponibles y entender la viabilidad de este enfoque. Se analizaron las celdas disponibles y se fabricó el pack de baterías que alimentaría el sistema de propulsión.

Posteriormente, se realizó una simulación en Matlab para determinar el tamaño del batería necesario para alcanzar la misma autonomía que con el motor de combustión interna y un estanque de 5 litros. Esta simulación se comparó con la capacidad energética de la batería actualmente disponible, que está limitada por el espacio.

Finalmente, se instalaron equipos de telemetría y captura de datos de las variables eléctricas para analizar el comportamiento de la moto scooter convertida a eléctrica. Se diseñó un circuito de pruebas en un entorno controlado dentro de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Se llevaron a cabo pruebas empíricas utilizando la moto scooter en este entorno, ya que, debido a la falta de una ley de conversión en el país, estos vehículos no pueden transitar por la vía pública, limitando así el experimento a entornos privados.

6.2. Conclusión

Para la conversión de una moto scooter de motor de combustión interna a propulsión 100% eléctrica, guiándose de las normativas internacionales y nacionales sobre el retrofit y realizar una evaluación experimental con la propulsión eléctrica en un entorno de pruebas. Se siguieron una serie de objetivos específicos con resultados que se describen a continuación.

Para el objetivo de analizar las normativas y buenas prácticas internacionales relacionadas con la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos, se realiza para buscar información relevante que aplicar en la conversión de la moto scooter, como sistemas de seguridad para los componentes eléctricos y si también investigar si es posible regularizar en Chile la conversión, esto fue negativo, pero la investigación dio la información que en otros países si es posible, como la EU y Estados Unidos, como también que se está trabajando para normalizar esto y tener un reglamento para certificar kit que puedan ser integrados en los EV convertidos, algunos países de la EU como Francia y España mayormente solo permiten la transformación realizada por empresas expertas y certificadas, dado el alto costo de certificar un kit.

En el proyecto de ley en Chile es limitado el cambio que se permite, en este sentido, se refiere a que solo se pueden transformar vehículos sin sistemas de seguridad electrónicos, lo cual implica que disminuye la seguridad de los mismos, limita la cantidad de modelos que pueden optar a transformaciones, como también no se puede volver a su condición anterior u otra, por lo que se permite solo un cambio.

Para el objetivo de analizar los espacios y elementos disponibles para integrar los nuevos componentes de la propulsión eléctrica la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos ofrece la ventaja de aprovechar varios espacios disponibles para almacenar componentes eléctricos. En el caso de la moto scooter, no hubo problemas significativos para encontrar espacios adecuados para la integración del retrofit eléctrico. Sin embargo, es esencial seleccionar componentes, ya que no siempre encajan perfectamente desde el principio, como ocurrió con el soporte de la rueda trasera y el motor hub.

Afortunadamente, existe una amplia variedad de componentes en el mercado internacional. Por ejemplo, se encontró un motor eléctrico que se ajustaba perfectamente al neumático de la Honda Dio, un modelo producido en 1989 que funciona con soporte de eje en un solo lado. La tecnología

necesaria para electrificar el vehículo está disponible en todos los componentes, desde el motor y el controlador hasta las luces, que ahora consumen menos energía que las ampolletas tradicionales, mejorando así la eficiencia.

Para el objetivo de diseñar la conversión integral del vehículo, reemplazando el motor de combustión interna por un sistema eléctrico de alto rendimiento, las tecnologías de motores eléctricos en la web se tiene acceso a motores con eficiencias de hasta un 92%, una masa de 20 kg que incluye ser toda la rueda y el mismo eje de ella, alcanzando velocidades de 80 Km/h, con imanes permanentes, por lo que es un buen sistema que soluciona los problemas de transmisión de los vehículos de C.I. Pero por otra parte los vendedores no siempre entregan todos los parámetros o no son claros, como en una tabla pueden decir que es de configuración BLDC y en otro PMSM, pero esta diferencia que no tienen clara los vendedores se soluciona con un driver que viene resuelto con un control sinusoidal que puede hacer funcionar ambos motores, de manera optima para realizar pruebas o incluso el uso diario, dentro de esto, existen aplicaciones para los celulares que permiten modificar un serie de parámetros el motor, pero tambien estan en desarrollo, enviando actualizaciones para que funcionen ciertas partes de la app, incluso no teniendo resueltos todos los problemas que pueden generarse como no guardar ciertos parámetros, independiente de esto es una gran aplicación con una serie de elementos a modificar como la potencia del frenado regenerativo configurable por velocidades, llegando a un alto nivel de personalización.

Por otra parte, la implementación de estos componentes a menudo requiere un trabajo profesional y de alta complejidad. La fabricación de soportes, como el del motor o la pantalla, es un desafío que probablemente un electricista no podría abordar de manera óptima sin la colaboración adecuada. Esta etapa fue posible gracias al apoyo de la universidad, sus profesionales y sus laboratorios, que proporcionaron el conocimiento y las herramientas necesarias para superar estos desafíos.

Para el objetivo de diseñar un sistema de almacenamiento de energía eléctrica con baterías de segunda vida, existe literatura que se expuso en el capítulo 4 sobre las baterías de litio y sus distintas químicas, como en la figura 44, donde indica que las baterías NMC (las usadas en este proyecto) tiene una de las mayores densidades energéticas en comparación con las otras, pero también tiene sus contras como menor seguridad, lo que no se explicó en este trabajo como el alto potencial de fuego al fallar esta celda por alguna ruptura de su carcasa o sobre tensión, en comparación como celdas LFP que tiene más seguridad pero menor densidad energética, la cual es esencial en un vehículo de micromovilidad que tiene sus espacios limitados.

El trabajo busca realizar una conversión para tener movilidad eléctrica menor impacto, por lo mismo se busca usar SLB dado que como explica la literatura [51], [52][53] usar la segunda vida puede extender al doble la vida útil de una batería, como también ayudar a usar de una manera mas eficiente los recursos naturales como el agua usada para extraer las salmueras ricas en minerales en sectores como Chile, que el litio se encuentra en Salares, Por ejemplo, la minería de iones de litio consume el 65% del agua de la región en el Salar de 79 Atacama, Chile [46]. Si bien literatura como [53] indica que los grandes usos de las SLB son servicios de respaldo energéticos como se muestra en la figura 47, existe un gran espacio para micro movilidad, la cual es posible la utilización de SLB en micromovilidad eléctrica (Small mobility) con capacidades menores a 5 kWh, usando los módulos y/o celdas de EV, en este caso, se usaron las mismas celdas de scooter eléctricos, sin usar celdas de EV, pero la tasa de descarga puede ser similares.

También los proceso de como analizar una batería luego de su primera vida útil, existiendo distintos tipos de métodos, algunos más experimentales, en este caso se opto por el contado de culombs y la medición de resistencia interna, dado que [46] indica que no se puede asegurar que la celda está en buen estado solo con su resistencia interna o su capacidad, mostrándolo en la figura 49, la limitante de este método es el tiempo de prueba por cada celda, aproximadamente 2 a 3 horas dependiendo la capacidad de la celda, la corriente de carga y descarga, dado que en este caso son 260 celdas por pack, aunque se tenga 10 sistemas de carga y descarga en paralelo, igual es un gran cantidad de tiempo

En temas del diseño y el deterioro de la batería, la literatura [54] en la figura 52 indica como aumenta la degradación de la celda una tasa de carga mayor a 1C de una manera considerable, la descarga si es un poco menor este efecto, pero es bueno tenerlo a consideración , dado que en caso del pack diseñado para la moto scooter tiene una capacidad de 32.4 Ah, por lo que 1 C corresponde a 32.4 A, pero la máxima corriente de manera continua que puede pedir el motor a la batería es de 100 A, lo cual es cercano a los 3C de tasa de descarga, esto es destructivo para la batería y es un tema a tener en consideración. Si se ve la figura 100, se tiene picos de corriente hasta de 80 amperes en las pruebas, algunos son de 30 a 40 amperes, pero es un tiempo de “montaña rusa” la grafica de corriente que se le pide al pack, esto en el caso de que el vehículo sea para el uso diario o para un negocio de arriendo, puede destruir la batería en poco tiempo, generando problemas de garantía y no aportando a ser un producto sustentable, por lo que es importante conectar con tecnologías como super capacitores y convertidores DC DC que manejen estas energías, dado que estos últimos no necesariamente tiene

una relación de resistencia interna favorable a las baterías de litio y puede exigir cantidades fuertes de energía a las celdas en caso de necesita cargarse rápidamente no solucionando el problema

En el mercado las motos scooter eléctricas tienen acceso a cambiar sus baterías para una recarga rápida como se vio en el capítulo 4 con el sistema "gogoro", donde el pack diseñado para este proyecto es de similares características que los del mercado que se menciona en la tabla 8, a diferencia que se trabajó con una tensión mayor para así disminuir el uso de grandes cables de cobre, disminuyendo el costo y la masa. Pero en temas de diseño la impresión 3D puede ser muy útil para la fabricación de prototipos de alta calidad, como en el caso de la carcasa del REESS. Sin embargo, las leyes deben actualizarse para reflejar esta información, ya que existen plásticos específicos que pueden soportar altas temperaturas y el fuego, a diferencia del PLA, que tiene un bajo punto de fusión y puede comenzar a deformarse a 150°C. Por lo tanto, para producciones a mayor escala, el uso de PLA no sería viable.

Por último, existió una buena relación entre la simulación y las pruebas empíricas con solo 5 km de diferencia en la autonomía, pero esta es una prueba inexacta, dado que la simulación fue en condiciones similares a una autopista, donde se esta consumiendo la energía nominal en todo momento y la prueba empírica fue de 14 a 20 minutos, la autonomía total solo fue una proyección del comportamiento que se dio en esa prueba.

6.3. Trabajos futuros

En el futuro, es necesario realizar varias investigaciones y desarrollos adicionales para optimizar y validar el proyecto de conversión de la moto scooter a propulsión eléctrica. Entre los trabajos futuros se incluyen los siguientes:

1. **Obtener la masa total de la moto scooter convertida.**
2. **Implementar sistemas de supercapacitores para disminuir los impactos de carga al REESS**
3. **Conectar la Pantalla de Instrumentos con el Controlador a través de Comunicación CAN Efectiva**
4. **Realizar Pruebas de Autonomía Totales de la Batería**
5. **Realizar un Estudio de Cómo Certificar un Kit de Electromovilidad para un Vehículo:**

6. **Optimización del Sistema de Gestión de Baterías (BMS)**
7. **Desarrollo de Herramientas de Simulación Más Precisas**
8. **Investigación sobre el Uso de Materiales Sostenibles para Componentes**
9. **Evaluación del Impacto Económico y Ambiental del Retrofit**
10. **Exploración de Nuevas Tecnologías de Almacenamiento de Energía**
11. **Desarrollo de Protocolos de Seguridad y Normativas para la Conversión**

Bibliografía

- [1] ODS, objetivos de desarrollo sostenible. [En línea]. Disponible en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> [accedido 20 de mayo 2024]
- [2] Reglamento No. 100, Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos con respecto a los requisitos específicos para el tren de fuerza eléctrico. Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE). Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2015/087/L00001-00064.pdf> [accedido 20 de mayo 2024]
- [3] Reglamento n.o 136 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU). Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de la categoría L en relación con los requisitos específicos del grupo motopropulsor eléctrico [2019/1120] disponible en: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html> [accedido 20 de mayo 2024]
- [4] Legifrance - Journal Officiel de la République Française, "Orden relativa a las condiciones para la transformación de vehículos de propulsión térmica en motores eléctricos de batería o pila de combustible," NI: TRER2007140A, 13 de marzo de 2020. Disponible: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041780558>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [5] Ministerio de la Presidencia, "Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos," Ministerio de la Presidencia, BOE-A-2010-11154, publicado en BOE núm. 170, 14-jul-2010. [En línea]. Disponible: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2010/07/02/866/con>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [6] Ministerio de Transportes de España, "Programa de transformación de flotas: Actividad 3, retrofit," [En línea]. Disponible: <https://www.transportes.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/transporte/ayudas-empresas-transporte/activiad-3>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [7] "Retrofit en Alemania" ; E-revolt, [En línea]. Disponible: <https://www.e-r3volt.com/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [8] "UK; Registro de Vehículo; Kit-Vehículos convertidos," [En línea]. Disponible: <https://www.gov.uk/vehicle-registration/kitconverted-vehicles>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [9] "UK; Registering historic, classic, rebuilt vehicles and vehicles converted to electric: call for evidence," [En línea]. Disponible: <https://www.gov.uk/government/calls-for-evidence/registering-historic-classic-rebuilt-vehicles-and-vehicles-converted-to-electric-call-for-evidence>. [Accedido: 20-mayo-2024].

- [10] "Australia; Requisitos de conversión a propulsión eléctrica," Departamento de Infraestructura y Transporte. [En línea]. Disponible: <https://www.sa.gov.au/topics/driving-and-transport/vehicles/vehicle-standards-and-modifications/construction-of-an-electric-vehicle>. Página actualizada por última vez el 16 de mayo de 2023. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [11] Alternative Fuels Data Center, "Vehicule Conversions," [En línea]. Disponible: <https://afdc.energy.gov/vehicles/conversions.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [12] Alternative Fuels Data Center, "Electric Vehicule Conversions," [En línea]. Disponible: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_conversions.html. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [13] Alternative Fuels Data Center, "Electric Vehicule Conversions," [En línea]. Disponible: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_conversions.html. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [14] J. Peón, O. Ardito y Y. Tabó, "Retrofit Latam," Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible, ALAMOS, dic. 2020. [En línea]. Disponible: <https://portalmovilidad.com/wp-content/uploads/2021/09/Informe-retrofit-ALAMOS.pdf>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [15] Ministerio de la Presidencia Panamá, "Decreto Ejecutivo No 51: Que reglamenta la Ley 295 de 25 de abril de 2022, que incentiva la movilidad eléctrica en el transporte terrestre," Gaceta Oficial Digital, miércoles 15 de febrero de 2023. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [16] Ministerio de Energía, "Estrategia Nacional de Electromovilidad," Gobierno de Chile, Santiago, Chile, en. 2022. [En línea]. Disponible: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [17] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Subsecretaria de Transportes, "Decreto N°62, de 25 abril 2022, aprueba reglamento que establece requisitos para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica y modifica decreto supremo N°156, de 1990 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones," Santiago, Chile. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [18] Plataforma de electromovilidad, "Implementación, Modelo de negocios," [En línea]. Disponible: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/modelos-de-negocios/empresas-de-conversiones-de-vehiculos-electricos>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [19] Movener, "Evolución en movimiento," [En línea]. Disponible: www.movener.com. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [20] Reborn Electric Motor, [En línea]. Disponible: <https://rebornelectric.cl/es/home-page-2/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [21] "EV South," [En línea]. Disponible: <https://www.evsouth.com/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [22] "Smart Green Solutions," [En línea]. Disponible: <https://smartgreensolutions.wixsite.com/website>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [23] "Honda Dio Sr 50," [En línea]. Disponible: <https://www.motorscooterguide.net/honda-dio-sr-sk50/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [24] "Manual taller Honda dio Sr 50CC," [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/10358691/Honda_SK50_Dio_Service_Manual. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [25] AMV blog, "10 ventajas de las motocicletas de 50 cc," [En línea]. Disponible: <https://noticias.amv.es/consejos-amv/10-ventajas-motos-50cc/> [Accedido: 20-mayo-2024].

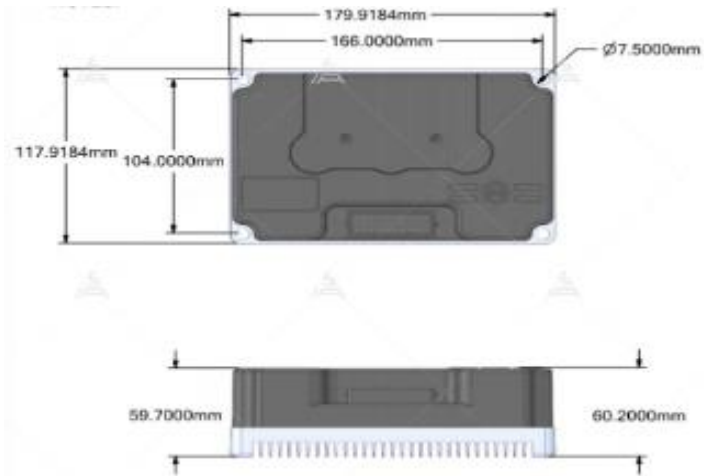
- [26] Brush Destructor, "Types of Brush Cutter Engines," [En línea]. Disponible: <https://brushdestructor.com/brushdestructor-home-page/4-0-knowledge-page/4-3-brush-cutter-knowledge/4-3-2-types-of-brush-cutter-engines/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [27] Revista digital Recarga Coches Eléctricos, "Comparación de un Coche Eléctrico con un Coche de Gasolina," [En línea]. Disponible: <https://www.recargacocheselectricos.com/comparacion-coche-electrico-con-coche-gasolina/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [28] S. Sakunthala, R. Kiranmayi y P. N. Mandadi, "A study on industrial motor drives: Comparison and applications of PMSM and BLDC motor drives," 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), Chennai, India, 2017, pp. 537-540, doi: 10.1109/ICECDS.2017.8390224.
- [29] R. Ghignone, J. Giampetruzzi, S. Domanico, C. Juárez y F. Calá, "Control de motores DC sin escobillas para vehículos eléctricos usando un μ C doble núcleo," *Elektron.*, vol. 3, pp. 84-90, 2019, doi: 10.37537/rev.elektron.3.2.86.2019.
- [30] "Motor un solo eje 4000w," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005004013805294.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [31] "Disco motor 3," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005002989755986.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [32] R. Juanpere Tolrà, "Técnicas de control para motores Brushless: Comparativa entre conmutación Trapezoidal, conmutación Sinusoidal y Control Vectorial," *Ingenia-cat – Departamento de Control de Movimiento*, C./Llacuna 162, Barcelona - España. [En línea]. Disponible: https://www.motronic.es/upfiles/taller_img/files/mantenimiento-y-reparacion-de-servomotores-es_2595.pdf. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [33] "Controlador Fardriver ND72680," Siaecosys, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005004761173128.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [34] "Link de manual," Fardriver, [En línea]. Disponible: <https://www.far-driver.com/wp-content/uploads/Fardriver-controller-Manual.pdf>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [35] "Alarma," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005003683685719.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [36] "Manillas y acelerador," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/4000979089270.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [37] "Display," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005002125397743.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [38] "DC DC," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005005615340747.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [39] "Foco delantero," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/32810649365.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [40] "Intermitentes," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/32864038407.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].

- [41] "Corta corriente," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005005978596479.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [42] "Interruptor de inercia," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005003422487200.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [43] "Fusible Bateria," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005005339019526.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [44] "Laboratorio de manufactura avanzada"; Universidad Católica de la Santísima Concepcion (UCSC), [En línea]. Disponible: <https://ott.ucsc.cl/laboratorio-de-manufactura-avanzada/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [45] "Cowork y sala de taller 2"; Universidad Católica de la Santísima Concepcion (UCSC), [En línea]. Disponible: <https://dinn.ucsc.cl/index.php>
- [46] M. H. S. M. Haram, J. W. Lee, G. Ramasamy, E. E. Ngu, S. P. Thiagarajah, Y. H. Lee, "Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 5, pp. 4517-4536, 2021, doi: 10.1016/j.aej.2021.03.021. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [47] A. Pérez, V. Quintero, H. Rozas, D. Jimenez, F. Jaramillo, M. Orchard, "Lithium-Ion Battery Pack Arrays for Lifespan Enhancement," Department of Electrical Engineering, University of Chile, Santiago, Chile. ISBN: 978-1-5386-3123-2/17/\$31.00 ©2017 IEEE. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [48] J. Castro, C. Flores, D. Gonzalez, V. Quintero, A. Perez, "From the Air to the Ground: An Experimental Approach to Assess LiPo Batteries for a Second Life," in *2022 Prognostics and Health Management Conference (PHM-2022 London)*, San José, Costa Rica, doi: 10.1109/PHM2022-London52454.2022.00092. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [49] A. Pérez et al., "Modelling the Degradation Process of Lithium-Ion Batteries When Operating at Erratic State-of-Charge Swing Ranges," in *Proceedings of 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT'17)*, April 5-7, 2017, Barcelona, Spain. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [50] E. Michelini, P. Höschle, F. Ratz, M. Stadlbauer, W. Rom, C. Ellersdorfer, J. Moser, "Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects," *Energies*, vol. 16, no. 2830, 2023, doi: 10.3390/en16062830. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [51] M. H. S. M. Haram, Md. Sarker, G. Ramasamy, E. E. Ngu, "Second Life EV Batteries: Technical Evaluation, Design Framework, and Case Analysis," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 138799-138812, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3340044. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [52] D. Rimpas, S. D. Kaminaris, D. D. Piromalis, G. Vokas, V. A. Orfanos, "Impact of Lithium Battery Recycling and Second-Life Application on Minimizing Environmental Waste," *Environ. Sci. Proc.*, vol. 26, 41, 2023, doi: 10.3390/environsciproc2023026041. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [53] T. Montes, M. Etxandi-Santolaya, J. Eichman, V. J. Ferreira, L. Trilla, C. Corchero, "Procedure for Assessing the Suitability of Battery Second Life Applications after EV First Life," *Batteries*, vol. 8, no. 9, 122, 2022, doi: 10.3390/batteries8090122. [Accedido: 20-mayo-2024].

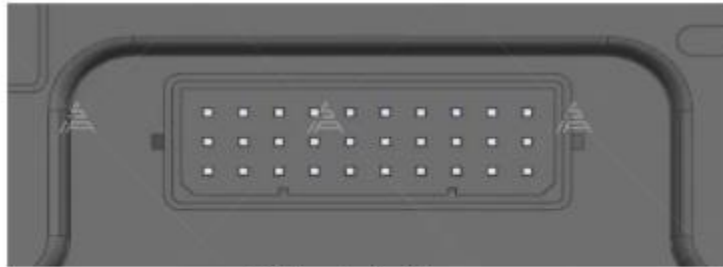
- [54] E. Hossain et al., "A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers & Potential Solutions, Business Strategies, and Policies," IEEE Access, vol. 7, pp. 63327-63352, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2917859. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [55] "Intercambio de baterías motos eléctricas," Copec Voltex, [En línea]. Disponible: <https://copecvoltex.cl/pages/intercambio-de-baterias-motos-electricas>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [56] "Gogoro primera batería intercambiable estado sólido," Autobild [En línea]. Disponible: <https://www.autobild.es/noticias/gogoro-primera-bateria-intercambiable-estado-solido-1028189>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [57] "Vostok Electric," [En línea]. Disponible: <https://www.vostokelectric.es>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [58] "Niu N-series," [En línea]. Disponible: <https://www.niu.com/en/n-series/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [59] "Scooter eléctrico 350w"; made in china [En línea]. Disponible: https://es.made-in-china.com/co_rsdicycle/product_Electric-Mobility-Scooter-for-Adults-Electric-Engine-for-Electric-Scooter_uosoushsy.html. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [60] "TP4056 Datasheet," [En línea]. Disponible: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132405/ASIC/TP4056.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [61] "Hoja de datos analizador celda," [En línea]. Disponible: <https://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/ZB2L3-200240.pdf>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [62] "Analizador de baterías, Datos técnicos", Fluke. [En línea]. Disponible: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/6002814e-es-500-series-battery-analyzer-ds-w_1.pdf?xSw18NEAbBv1S1mPupr34EqGJr.798yJ. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [63] "Manual de usuario Fluke," [En línea]. Disponible: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/bt521_umspa0100.pdf. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [64] "Soporte 18650," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/1005002948836825.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [65] "Datasheet BMS," [En línea]. Disponible: <https://us-icbuim-file.oss-us-east-1.aliyuncs.com/file/93174da74a926204afb388b8a44956fe.pdf>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [66] "Cargador," Aliexpress, [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/32838587083.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [67] "Conector Anderson 120 A," [En línea]. Disponible: <https://www.yemin.cl/producto/conector-baterias-anderson-smh-sb120-120a-azul/>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [68] "Hoja de datos de fusible térmico," [En línea]. Disponible: <https://docs.rs-online.com/806c/0900766b814ebb46.pdf>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [69] "Cinta Kapton," [En línea]. Disponible: <https://www.aerchs.com/heat-resistant-kapton-polyimide-tape-used-for-high-temperature-application.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [70] "Simulación Matlab," [En línea]. Disponible: https://matlabhelper.com/blog/simulink/electric-vehicle-simulation-in-simulink/#google_vignette. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [71] "Google Maps," Google. [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/maps>. [Accedido: 20-mayo-2024].

- [72] "DAS 60," Sefram, [En línea]. Disponible: <https://www.sefram.com/en/products/recorders-dataloggers/DAS60-6-channel-handheld-data-acquisition-solution.html>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [73] "Pinza amperímetro, AEMC," [En línea]. Disponible: https://www.aemc.com/userfiles/files/resources/usermanuals/Current-Probes/MR-PROBES/MR415-416_ES.pdf. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [74] "Kit GPS," u-blox, [En línea]. Disponible: <https://www.u-blox.com/en/product/evk-m8>. [Accedido: 20-mayo-2024].
- [75] Ministerio de Energía de Chile, "Actualización 2022 Política Energética Nacional," 2022. [En línea]. Disponible: https://energia.gob.cl/sites/default/files/4_Transporte.pdf. [Accedido: 13-jul-2024].

A.2 Medidas controlador



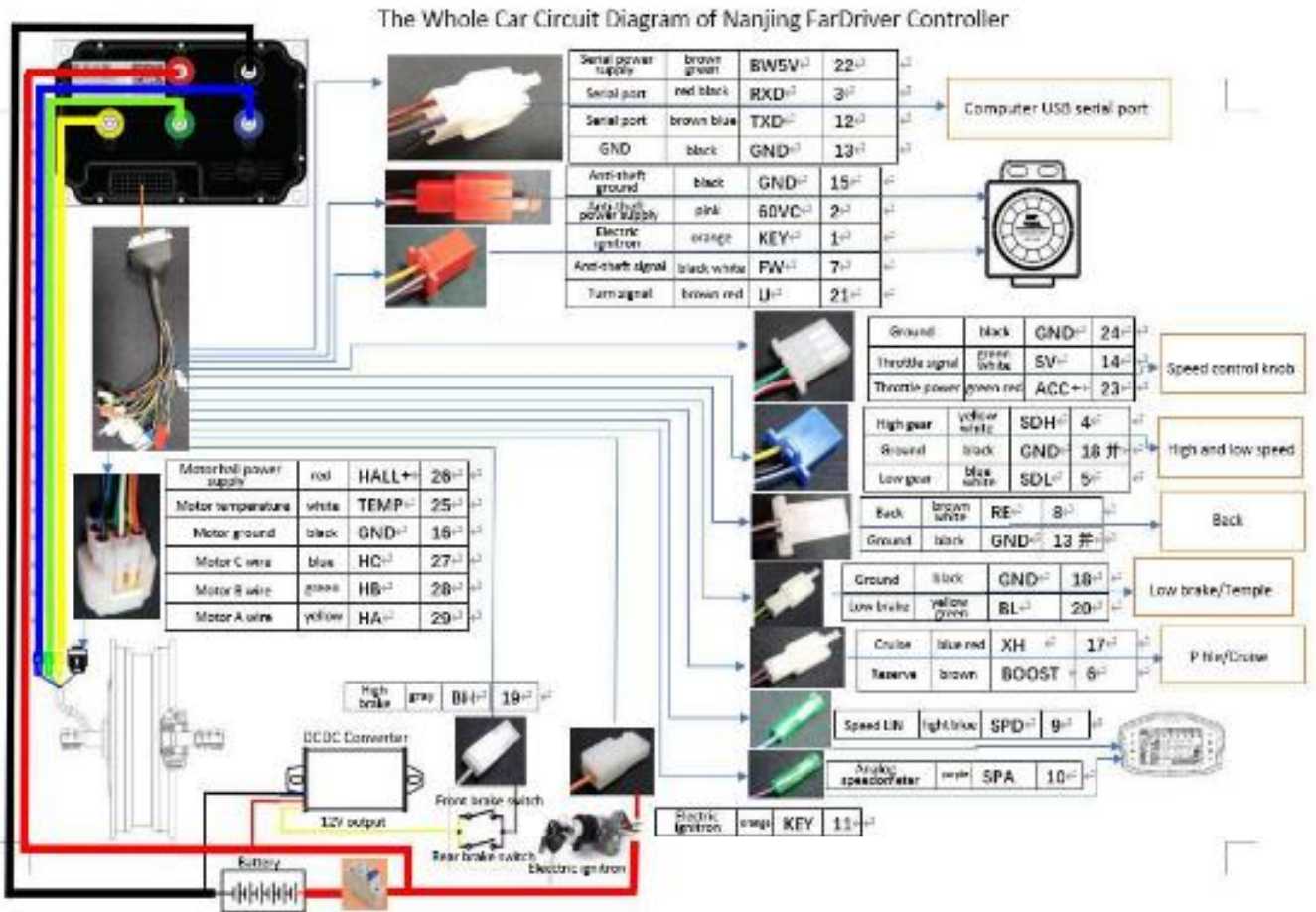
A.3 definición pines controlador



Wiring Definition

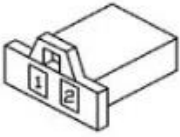
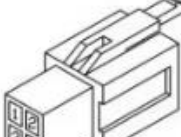

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
BL	HALLC	485B/TXD	TEMP	-	GND	SV	ACC+	BW5V	60YC
yellow green	blue	brown blue	white		black	green white	red white	brown green	pink
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BH	HALLB	485A/RXD	FD	CANH	GND	P	ALARM	W	KEY
gray	green	red black	black white	red yellow	black	blue red	brown	brown red	orange
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HALLA	FW2	FW	HALL+	CANL	地	地	RE	SPA	KEY
yellow	blue white	yellow white	red	brown yellow	black	black	brown white	purple	orange

A.4 conexión controlador con motor y accesorios

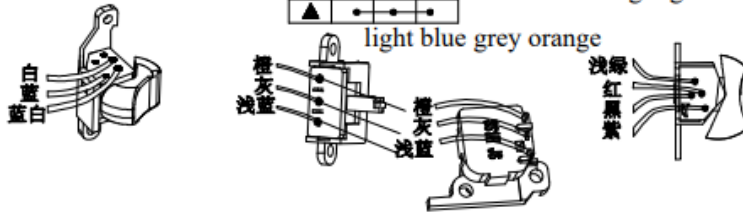
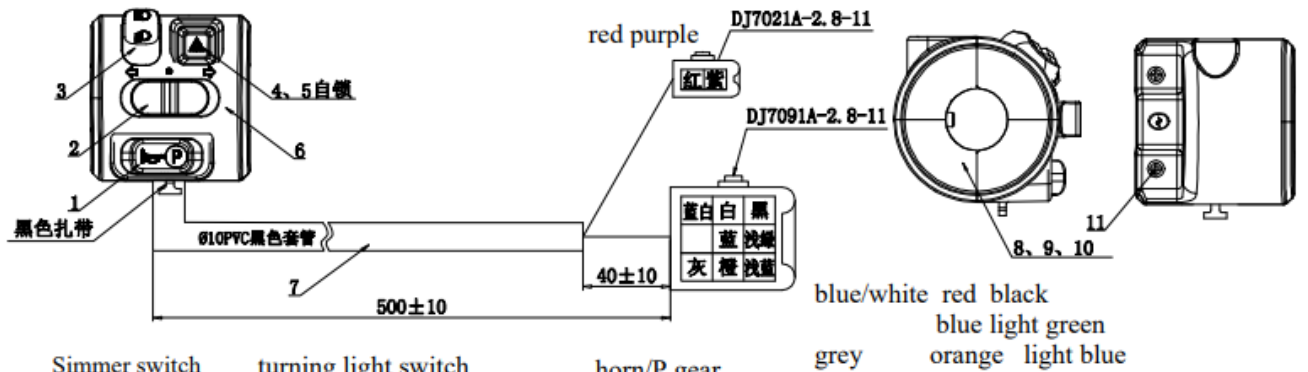
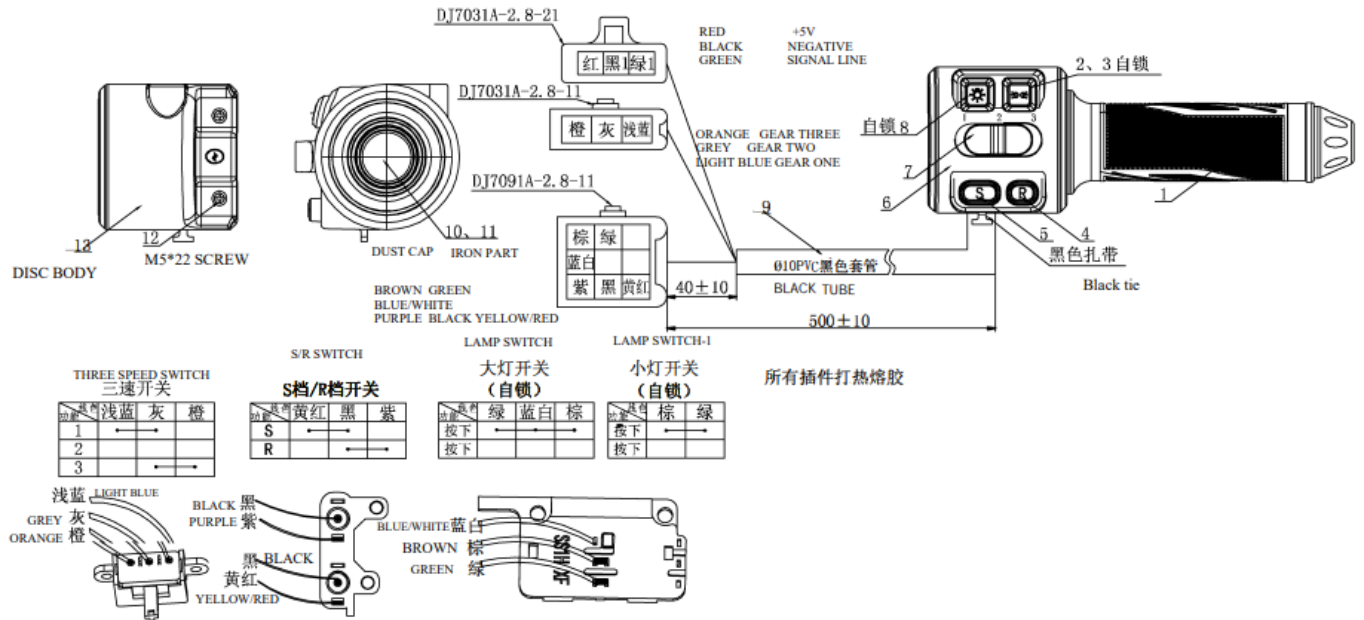


A.5 definición cableado alarma controladora

Definición de Cableado:

Interface diagram		1. Red Power positive 2. Black Power negative		1. Blue Level signal 2. Orange Electric ignitron 3. Green Push the alarm 4. Null
		1. Red Positive 2. Black Negative 3. Blue NFC		

A.6 definición cableado manillas



A.7 Información display

061(DKD) function setting explanation

1. Speedometer can Identify the controller One-line or CAN-BUS communication automatically.

One-line and CAN-BUS is not able to do Interactive recognition when it's in working condition, it's only able to do automatic identification in starting up.

2. Function setting

Left button for adjusting data, right button for shifting, long press right button for exiting.

Pressing left button to start up the speedometer, enter into password setting interface, showing CC--, pressing left button to input password, right button for shifting.

Password 153 to set circumference, pole pairs, offset, units:mm.

Default circumference is 1413. After circumference setting, long press right button to enter into pole pairs and offset setting.

Default setting is PL-28-08, pole pairs is 28.(For mid drive motor, pole pair setting should be:pole pair*reduction ratio.), 08 means offset.

Password 256, select 2 speed gear or normal 3 speed gear, -2 is 2 speed, -0 is normal 3 speed gear.

Password 372, reset ODO, limit 3 times.

Password 856, select 60V/72V/96V/48V range, synchronize with battery bar.

If matched lithium battery has compatible CAN-BUS protocol with speedometer, then it will read the SOC automatically. If they don't have, then speedometer will read the battery voltage.

When use lead-acid battery to replace lithium battery, the speedometer needs to re-power.

Password 879, fixed voltage calibration, 60V/72V/96V/48V, correspond to settings.

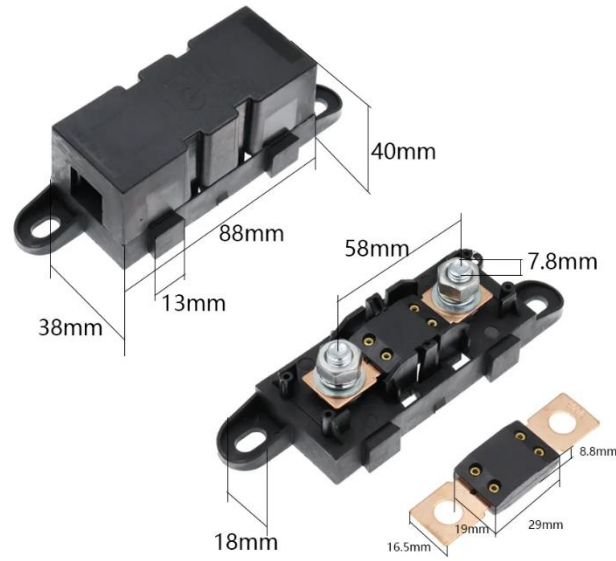
Password 824, self input voltage calibration.

Password 974, KPH and MPH switchover

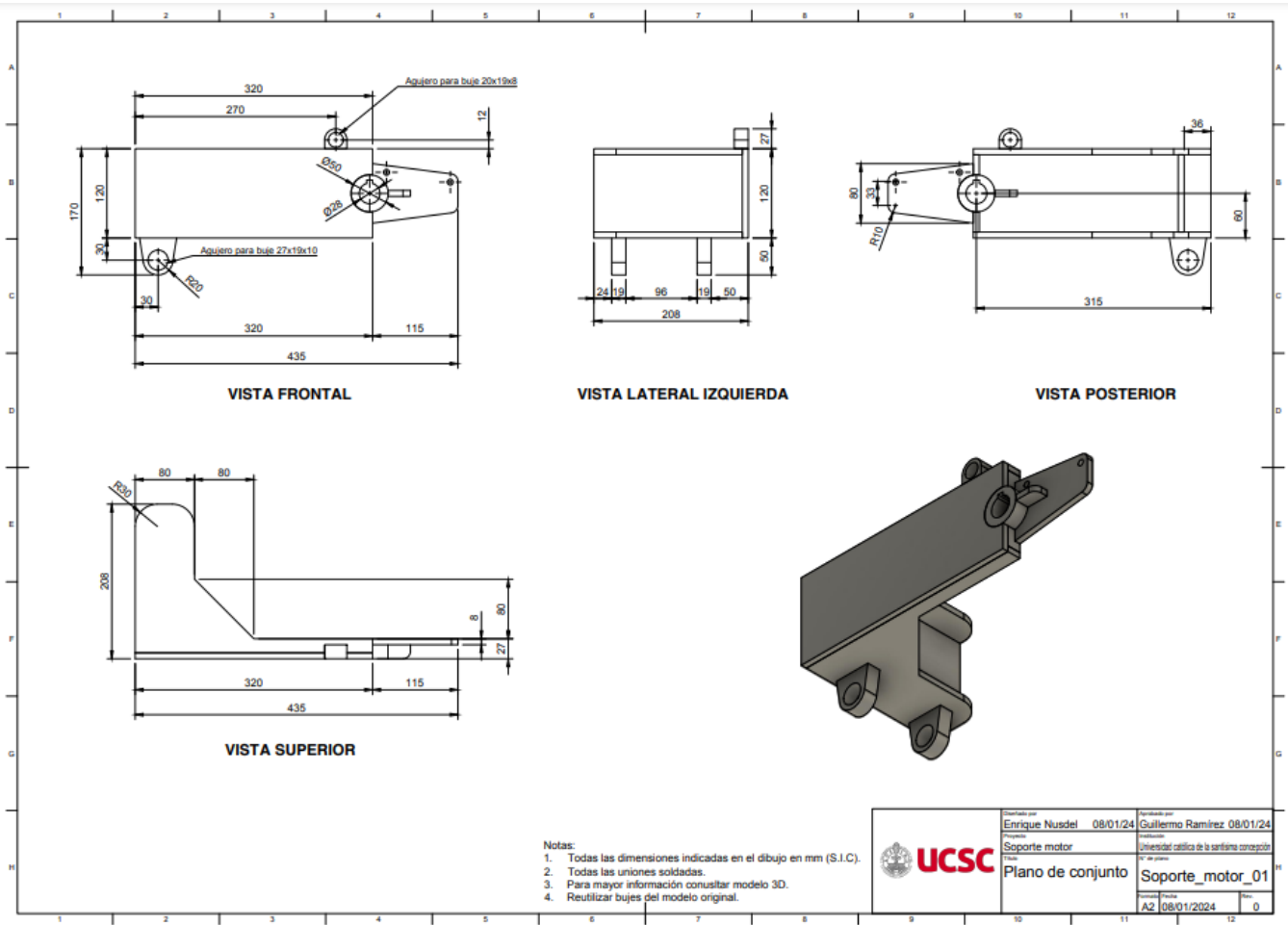
Password 928, to shut the D/N/R indicator light.

Password 919, to change the value of full voltage and undervoltage. Front is full voltage, back is undervoltage

A.9 Medidas porta fusible

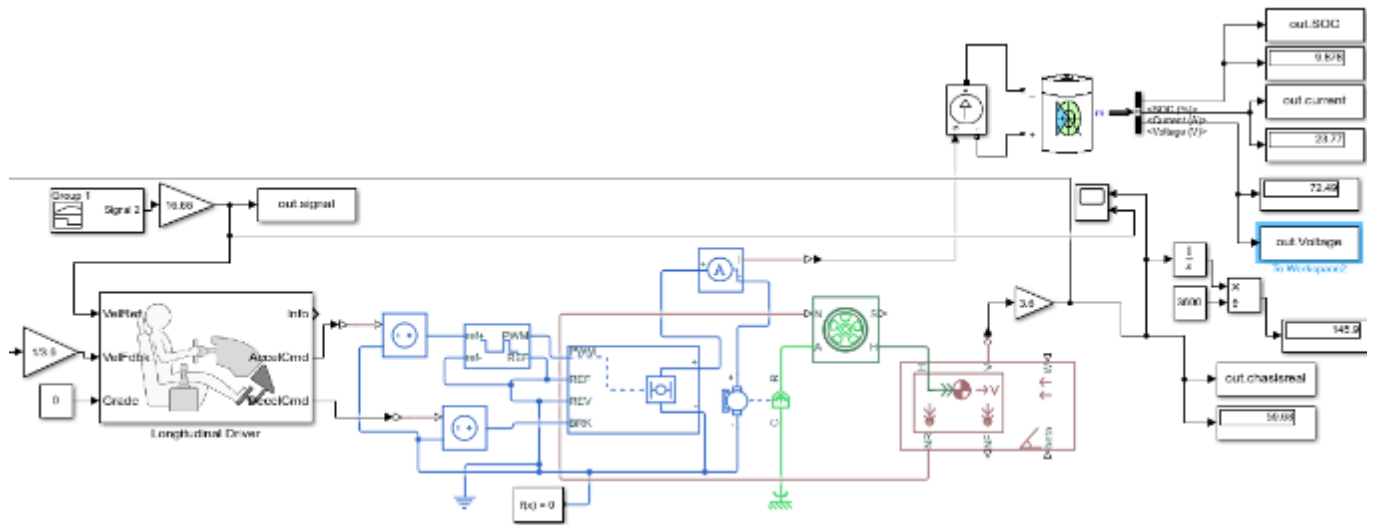


A.10 Planos soporte motor eléctrico

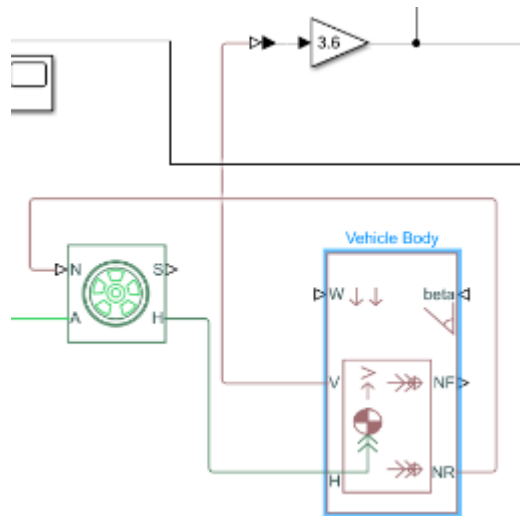


Anexo B. REESS

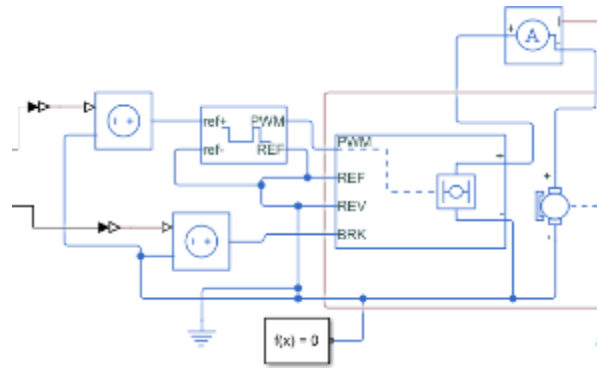
Anexo B.1 Simulación EV Simulink



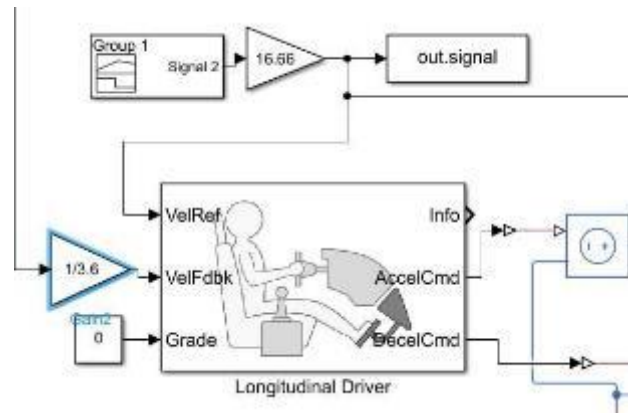
Anexo B.2 subsistema de carrocería el EV



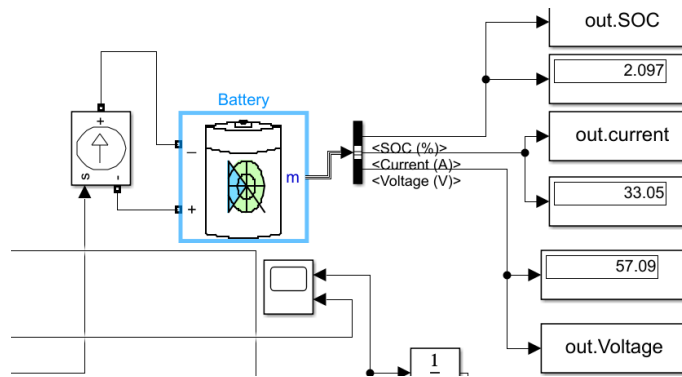
Anexo B.3 Subsistema de circuito motor y controlador del EV



Anexo B.4 Subsistema de conductor



Anexo B.5 Subsistema de bateria



Anexo B.6 Contador de distancia recorrida

