



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**RESTAURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN VEHÍCULO
RECONVERTIDO A ELÉCTRICO BAJO CRITERIOS NORMATIVOS
INTERNACIONALES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

FRANCISCO ULLOA OSORIO

PROFESOR GUÍA:
RODRIGO PALMA BEHNKE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PATRICIO MENDOZA ARAYA
ÁLVARO SILVA MADRID

SANTIAGO DE CHILE
2022

RESTAURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN VEHÍCULO RECONVERTIDO A ELÉCTRICO BAJO CRITERIOS NORMATIVOS INTERNACIONALES

Los vehículos eléctricos representan un medio de transporte amigable con el medio ambiente que permite abordar los problemas asociados al calentamiento global y la crisis climática actual, sin embargo, no solucionan el problema de reutilización de los vehículos convencionales con motor a combustión interna. Frente a esto, surge el retrofit o la reconversión de vehículos como una alternativa que soluciona ambas problemáticas. En línea con este concepto, el vehículo LilEV perteneciente al Centro de Energía fue reconvertido en el año 2011 y si bien se orientó su reconversión hacia un prototipo, el avance natural de estos procesos hace necesaria la evaluación de esta reconversión para poder perseguir mayores estándares de seguridad y confiabilidad.

El objetivo del trabajo de título es abocar a la recuperación y puesta en marcha de un vehículo eléctrico reconvertido, pero proponiendo y aplicando protocolos que sean coherentes con la normativa internacional en la materia y así puedan tener un posible uso futuro a nivel nacional.

Se propone la realización de un estudio normativo que revisa la normativa existente en las diferentes materias de reconversión de vehículos, que además se ve complementado en todo momento con la realización de una experiencia práctica directamente ligada al proyecto LilEV y el estudio de su reconversión.

Dentro del estudio normativo se logró definir una propuesta reglamentaria que recopila elementos de distintas regulaciones a nivel internacional y que en su conjunto dan paso a la construcción de un protocolo de validación de reconversiones que posteriormente es aplicado al vehículo LilEV para determinar su posible homologación bajo la propuesta normativa realizada y la propuesta normativa actual en la materia dentro del país.

Por su parte, el área de trabajo con el vehículo LilEV se enfoca principalmente en determinar la estructura de las distintas modificaciones que ha tenido el vehículo y la reconstrucción funcional de su sistema eléctrico con la información técnica respectiva. Se logró implementar también un montaje experimental que permite la realización de distintas pruebas a las baterías del vehículo para determinar su estado de salud.

Una vez realizada la aplicación del protocolo de validación al vehículo LilEV se determinó que no es posible su homologación en las condiciones actuales, por lo que se determinan las áreas de trabajo necesarias para poder cumplir con este objetivo en un horizonte temporal cercano.

*A mi familia, especialmente aquellos que ya no están aquí físicamente conmigo.
Un abrazo al cielo.*

Mateo, Floripe, Elba, Hernán.

Agradecimientos

Me gustaría partir agradeciendo a mi familia, que fue un apoyo fundamental sobre todo en los últimos años de mi carrera. Mis padres, Edgardo y Marcela por haberme enseñado tantos valores que han ido forjando los caminos que he recorrido y he de recorrer. A mis hermanos, Camilo y Consuelo, por ser un baluarte inquebrantable que siempre me ha servido de ejemplo a seguir y una fuente de motivación constante.

A mis abuelas, Azulema, Alfonsina, Floripe, de quienes atesoro algunos de los sentimientos más valiosos de mi infancia. A mis abuelos, Hernán y Elba, quienes ya no están conmigo físicamente pero siempre me cobijaron con amor y rieron conmigo. Keka grande, Keka chica, José y Mario, que siempre han sido un ejemplo de esfuerzo y trabajo duro.

No puedo olvidar a mi grupo de amigos del proyecto Eolian, con quienes forjamos lazos de amistad inigualables y con quienes aprendí mucho de la vida y de nuestra disciplina durante toda mi vida universitaria. Bryan, Danilo, Jorge, Francys, Mariana, Javier, Rocío, Max, Alejandra, José, Camila, María Fernanda y tantos más con quienes vivimos experiencias inolvidables.

Agradecer al profesor Rodrigo Palma y Vladimir Ovalle, por la siempre afable y grata disposición de enseñar, así como el apoyo continuo durante mi carrera universitaria. Porque vieron en mí alguien con las ganas de crecer y me apoyaron en el camino.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcances	3
2. Contexto de electromovilidad, vehículos eléctricos y reconversiones	4
2.1. Electromovilidad en Chile	4
2.1.1. Estrategia nacional de electromovilidad	4
2.1.2. Parque automotriz nacional	5
2.1.3. Infraestructura de carga	6
2.2. Vehículos eléctricos y reconversión de vehículos	7
2.2.1. Vehículos eléctricos	7
2.2.2. Experiencias internacionales reconversión de vehículos	9
2.2.3. Dinámica del vehículo eléctrico reconvertido	12
2.2.4. Experiencias nacionales en reconversión de vehículos.	16
2.3. Normativa en reconversión de vehículos	21
2.3.1. Normativa existente a nivel internacional	21
2.3.2. Normativa existente a nivel nacional	25
2.3.3. Regulaciones eléctricas en la normativa existente	30
2.4. Proyecto LilEV	37
2.4.1. Características principales del proyecto	37
3. Propuesta metodológica	40
3.1. Propuesta general	40
3.2. Estudio normativo	42
3.3. Experiencia del proyecto LilEV	44
3.4. Caso de aplicación.	44
3.5. Retroalimentación y propuesta final.	44
4. Implementación de la metodología y caso de aplicación	45
4.1. Estudio normativo	45
4.1.1. Identificación de actores claves	45
4.1.2. Revisión de contenidos	46
4.1.3. Procedimiento general de reconversión	50
4.1.4. Selección de secciones normativas	51
4.1.5. Propuesta de contenidos	52

4.1.6.	Requisitos técnicos presentes en la normativa	53
4.1.7.	Propuesta de protocolo	60
4.2.	Experiencia del proyecto LilEV	61
4.2.1.	Vehículo LilEV	61
4.2.1.1.	Equipos y componentes	61
4.2.1.2.	Consideraciones importantes	62
4.2.2.	Revisión del sistema eléctrico	63
4.2.3.	Diagnóstico de estado	66
4.3.	Caso de aplicación	67
4.4.	Retroalimentación y propuesta final	70
4.5.	Mejoras al vehículo LilEV	70
5.	Análisis de los resultados obtenidos	73
5.1.	Estudio normativo	73
5.2.	Experiencia del proyecto LilEV	76
6.	Conclusiones	77
	Bibliografía	79
	Anexos	81
A.	Anexo - Comparativa de elementos normativos	81
B.	Anexo Técnico - Proyecto LilEV	91
B.1.	Reconocimiento de equipos y componentes	91
B.1.1.	Baterías Winston - LYP60AHA	91
B.1.2.	BMS BCU-MICRO 03 - LFP Battery Balancing Module	93
B.1.3.	Protecciones Eléctricas	96
B.1.3.1.	Contactador Schneider - LC1DT40JD	96
B.1.3.2.	Relé Enchufable ABB CR-U012DC3	97
B.1.3.3.	Relé Schneider RXM4AB1JD - Socket RXZE2S114M	97
B.1.3.4.	Termomagnético Legrand C125	98
B.1.4.	Circuito de precarga	98
B.1.5.	Cargador Manzanita Micro PFC-20M	99
B.1.6.	Cargador de baterías DLS-240-45 de Iota Engineering	100
B.1.7.	Motor Siemens 1PV5133-4WS20	101
B.1.8.	Convertor trifásico de potencia - POW-R-PAK PP300T060 Powerex	103
B.2.	Lada Niva	104
C.	Anexo Técnico - Recuperación Baterías LYP60AHA	105
C.1.	Documentos técnicos asociados y antecedentes previos	105
C.2.	Metodología de diagnóstico de estado y restauración	110
C.3.	Elementos de carga	111
C.3.1.	Icharger 1010B+	111
C.3.2.	Manzanita Micro PFC-20M	111
C.4.	Prueba de descarga	112
D.	Anexo Técnico - IGBTs POW-R-PAK PP300T060	118

D.1. Metodología de prueba de un IGBT	118
E. Anexo - Reglamento propuesto	120
F. Anexo - Protocolo de validación propuesto	133

Índice de Tablas

B.1.	Dimensiones físicas de las baterías LYP60AHA de Winston Batteries	92
B.2.	Características eléctricas de las baterías LYP60AHA de Winston Batteries . .	92
B.3.	Características eléctricas del BMS MCU EV2 y los módulos LFP.	95
C.1.	Composición química de la celda LYP60AHA	107

Índice de Ilustraciones

2.1.	Ventas acumuladas a Julio del año 2021 para vehículos cero y de baja emisión según ANAC.	5
2.2.	Ventas históricas de vehículos livianos y medianos con motor a combustión interna por mes desde Enero 2019 a Julio 2021 según ANAC.	5
2.3.	Egger-Lohner C.2 Phaeton, vehículo eléctrico diseñado por Ferdinand Porsche en 1898 cuya velocidad máxima era 25 km/h.	7
2.4.	Evolución en el precio de las baterías por kWh durante la última década según BloombergNEF Global EV Outlook 2021.	8
2.5.	Diagrama general de conexión de un vehículo eléctrico según lo propuesto por [9].	9
2.6.	Diagrama de cálculo de baterías propuesto por [12].	10
2.7.	Esquema general del sistema eléctrico propuesto por Asimakopoulos en [19]. .	12
2.8.	Curva de Fuerza vs Velocidad para el diseño del vehículo Áuriga	14
2.9.	Curva de Torque vs Velocidad para el diseño del vehículo Áuriga	15
2.10.	Curva de Torque vs Velocidad para el diseño del vehículo Áuriga	15
2.11.	Piñón de ataque y corona de un sistema diferencial.	16
2.12.	Estructura general de los documentos normativos de España y Japón	21
2.13.	Desglose del capítulo 3 de la normativa Japonesa.	22
2.14.	Estructura general de los documentos normativos de Francia y Australia . . .	23
2.15.	Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.	23
2.16.	Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.	24
2.17.	Desglose del capítulo 4 de la normativa Australiana.	24
2.18.	Estructura general del documento normativo propuesto por la CEPAL.	25
2.19.	Entidades participantes de la reconversión en el marco regulatorio propuesto por la CEPAL.	25
2.20.	Estructura de la normativa en consulta pública y del Decreto 145 del Ministerio de Transportes.	27
2.21.	Capítulos 1 y 2 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.	27
2.22.	Capítulos 3 y 4 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.	28
2.23.	Capítulos 5 y 6 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones	28
2.24.	Capítulos 7, 8 y 9 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones	29
2.25.	Capítulo 3 de la normativa Japonesa.	30
2.26.	Capítulo 3.1 y 3.2 de la normativa Japonesa relativo a los dispositivos eléctricos y baterías del vehículo.	30
2.27.	Desglose del capítulo 3.3 “Motores y trenes motrices” de la normativa Japonesa.	31

2.28.	Capítulo 3 de la normativa Japonesa.	31
2.29.	Capítulo 3 de la normativa Japonesa.	32
2.30.	Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.	33
2.31.	Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.	33
2.32.	Circuito estándar para las diferentes etapas de voltaje propuesto por el NCOP - Bulletin 14.	34
2.33.	Diagrama funcional del vehículo LilEV al año 2015	38
2.34.	Componentes básicos del LilEV	39
3.1.	Propuesta metodológica del trabajo de título.	41
3.2.	Propuesta de la sección de estudios normativos.	42
4.1.	Ejes propuestos para el análisis de contenidos	46
4.2.	Categorización de los distintos contenidos en los ejes propuestos.	47
4.3.	Categorización de los distintos contenidos en los ejes propuestos.	48
4.4.	Categorización de los distintos contenidos en los ejes propuestos.	48
4.5.	El diagrama de flujo de procedimientos para poder contar con un vehículo re- convertido que cumpla la normativa.	50
4.6.	Propuesta de contenidos para el documento con los ejes temáticos asociados a cada capítulo.	52
4.7.	Relaciones entre los distintos componentes del vehículo LilEV.	63
4.8.	Chequeo de viabilidad práctica para el proyecto LilEV. El flujo destacado es el que se debería seguir para el vehículo LilEV.	72
B.1.	Celda LYP60AHA	91
B.2.	Banco de baterías del vehículo LilEV	91
B.3.	Battery Management System EV POWER BCU-MICRO 03.	93
B.4.	Funciones del BMS EV POWER BCU-MICRO 03	93
B.5.	Esquema de conexiones para el puerto de programación del BMS BCU-MICRO 08.	94
B.6.	Sensor CM60 de la empresa EV Power.	94
B.7.	Dimensiones del sensor CM60 de la empresa EV Power.	94
B.8.	Curva de operación del sensor de módulos de batería CBM-LFP08 de la empresa EV Power.	95
B.9.	Modelo de regeneración de energía a través de SA propuesto.	96
B.10.	Modelo con siete grados de libertad propuesto.	96
B.11.	Relé enchufable ABB CR-U012DC3.	97
B.12.	Relé enchufable ABB CR-U012DC3.	97
B.13.	Relé Schneider RXM4AB1JD.	97
B.14.	Relé Schneider RXM4AB1JD	97
B.15.	Termomagnético Legrand C125	98
B.16.	Termomagnético Legrand C125	98
B.17.	Esquema de la resistencia de precarga del vehículo LilEV.	99
B.18.	Resistencia de precarga utilizado en el vehículo.	99
B.19.	Cargador Manzanita Micro PFC-20M	99
B.20.	Convertor DC/DC DLS-240-45	100
B.21.	Convertor DCDC del vehículo instalado directamente al Bus DC	101
B.22.	Bus DC y su conexión al convertor DCDC	101
B.23.	Motor de inducción Siemens 1PV5133-4WS20 W11	101
B.24.	Curva característica del motor Siemens 1PV5133-4WS20	102

B.25.	Conversor PPP300T060 - Powerex	103
B.26.	Principales parámetros de desempeño del vehículo	104
C.1.	Manual del operador - Winston Battery	105
C.2.	Voltaje [V] medido en los bornes de las baterías al 06 de septiembre.	106
C.3.	Voltaje [V] medido en los bornes de las baterías al 08 de septiembre.	106
C.4.	Voltaje [V] medido en los bornes de las baterías al 06 y 08 de septiembre.	107
C.5.	Límites de operación del cargador 1010B+	111
C.6.	Curvas de descarga de las baterías para distintos C según fabricante	112
C.7.	Carga variable BK Precision 8500	112
C.8.	Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 1.	113
C.9.	Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 2.	113
C.10.	Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 3.	114
C.11.	Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 4.	114
C.12.	Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 1.	115
C.13.	Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 2.	115
C.14.	Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 3.	116
C.15.	Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 4.	116
D.1.	Esquemático eléctrico de un IGBT.	118

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Actualmente la industria automotriz ha girado fuertemente hacia la manufactura de vehículos eléctricos aumentando drásticamente la oferta de este tipo de tecnologías en los últimos años y poniendo metas cada vez más altas para los años venideros. Es claro entonces, que los vehículos eléctricos surgen como una alternativa más amigable y confiable en relación al medio ambiente para reemplazar a aquellos vehículos que poseen un motor de combustión interna y que a través de la quema de combustibles fósiles contribuyen a deteriorar rápidamente los ecosistemas debido a las altas niveles de emisiones de CO_2 en un contexto de creciente preocupación por el calentamiento global.

A pesar de esto, existe una creciente preocupación por el destino de aquellos vehículos que con el tiempo quedarán en desuso y cuyo ciclo de vida se ve aparentemente terminado por la irrupción de este nuevo segmento de vehículos eléctricos y las cada vez más estrictas normativas para evitar contaminación. La reconversión de vehículos surge como una alternativa eficiente y ecológica para prolongar la vida útil de los vehículos y darles un nuevo ciclo de funcionamiento pero esta vez de una manera mucho más amigable con el medio ambiente y libre de emisiones de CO_2 .

Surge, entonces, un impulso para poder definir y elevar los estándares de reconversión de los vehículos eléctricos con el objetivo de construir vehículos seguros y confiables que puedan aportar a solucionar la problemática ecológica actual. En este contexto, aparece el proyecto LilEV que plantea la reconversión de un vehículo Lada Niva a un sistema motriz eléctrico y cuyo objetivo principal era prestar apoyo dentro de un contexto industrial, requiriendo así altos niveles de confiabilidad y seguridad al operar. Este proyecto se realiza inicialmente en el año 2011 donde la conversión es realizada como parte de un Trabajo de Título asociado al Centro de Energía de la Universidad de Chile para posteriormente en el año 2014 ser modificado por un grupo de ingenieros pertenecientes al mismo Centro de Energía.

Dado el contexto de los últimos años que incluyen un estallido social y una pandemia, el vehículo LilEV ha estado fuera de funcionamiento por al menos 22 meses lo que constituye un desafío único en términos del trabajo que se debe realizar para lograr nuevamente su operación y puesta en marcha. Es por esto último, que el trabajo relacionado al diseño, modificación e implementación del sistema eléctrico del vehículo debe ser abordado con una

metodología especialmente diseñada y que será desarrollada a lo largo de este trabajo.

En el Centro de Energía de la Universidad de Chile ya han existido diversas experiencias asociadas a la reconversión de vehículos, como por ejemplo, la conversión de una “Kombi eléctrica” para la Cervecería Kunstmann, la reconversión del vehículo Lufke que corresponde a un modelo Dodge 1500 del año 1976 perteneciente al director del Centro, Rodrigo Palma, el camión solar “Solectria” y también recoge experiencias asociadas a las diferentes versiones del proyecto “Eolian” que construye autos solares en diferentes categorías de competición desde el año 2007. Este último proyecto además, nace fuertemente ligado a la participación de un grupo de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil Eléctrica de la Universidad de Chile en el concurso “Fórmula-i” donde se desarrolló el vehículo “Cuetazo” que competía en la carrera.

Durante los últimos años en el país se ha vivido un conflicto asociado a la validez de las reconversiones eléctricas debido a la falta de normativa que regule este proceso. Originalmente las conversiones se realizaban aprovechando un vacío legal que existía en el Decreto Supremo 211 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones que limita el cambio de motor en vehículos posteriores al año 1992 a cumplir con características y normas específicas, pero no así en vehículos más antiguos, lo que creaba el espacio para elegir algún motor eléctrico y realizar la conversión. Esta normativa calificaba este proceso como un “Cambio de motor” del vehículo original, pero dadas las características de la modificación se decidió por parte del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones emitir una circular que negaba el pase en las Plantas de Revisión Técnica ya que lo consideraban una transformación de mucha mayor embergadura.

Para poder sobrellevar los problemas anteriores, existe actualmente una propuesta normativa que estuvo en consulta pública durante el mes de Diciembre del año 2021 , pero que no ha sido publicada de manera oficial ni se ha convertido en materia de ley. Sobre esta base, es que se proponen cambios y/o elementos que pueden aportar a mejorar el trabajo ya realizado y que puedan tener un impacto positivo en la reconversión de vehículos eléctricos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo general del trabajo de título es la recuperación y puesta en marcha de un vehículo eléctrico reconvertido, proponiendo y aplicando protocolos coherentes con la normativa internacional en la materia que puedan tener un posible uso futuro a nivel nacional.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo se listan a continuación:

- Diseñar y construir un proceso de diagnóstico de estado para los diferentes componentes del vehículo eléctrico LilEV.
- Proponer un protocolo de validación de reconversión de vehículos eléctricos basado en la normativa internacional existente y de posible uso futuro a nivel nacional.
- Validar el protocolo propuesto a través de la experiencia de recuperación del vehículo eléctrico LilEV y/o otras experiencias asociadas a electromovilidad del alumnos como el proyecto Eolian.
- Recopilar, organizar y sistematizar en un documento de formato único toda la información técnica relevante asociada al vehículo LilEV y el protocolo propuesto.

1.3. Alcances

Dentro de este trabajo se considera la recopilación y selección de criterios normativos internacionales en términos de seguridad y funcionamiento para vehículos reconvertidos cuyo principal objetivo es la elaboración de un protocolo de validación de reconversiones. El alcance de este trabajo no permite una discusión en profundidad sobre los elementos técnicos del área mecánica ni tampoco de los requisitos administrativos para los procesos de reconversión, pero sí una revisión, selección y propuesta de criterios de relevancia en función de los documentos revisados. También dentro de este trabajo se incorpora la restauración y puesta en marcha del vehículo eléctrico LilEV perteneciente la Laboratorio de Microrredes de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Capítulo 2

Contexto de electromovilidad, vehículos eléctricos y reconversiones

2.1. Electromovilidad en Chile

2.1.1. Estrategia nacional de electromovilidad

Actualmente Chile a través del Ministerio de Energía en conjunto con el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones y el Ministerio del Medio Ambiente han elaborado una Estrategia Nacional de la Electromovilidad [1], estrategia que permitirá fomentar de manera segura y sustentable la adopción de estas nuevas tecnologías asociadas a vehículos de mayor eficiencia y menor impacto ambiental al disminuir las emisiones de efecto invernadero.

Esta estrategia permitirá masificar la llegada de vehículos de mayor eficiencia energética y con menores emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Así, se desea cumplir con compromisos adquiridos en políticas de cambio climático, metas de ahorro de energía y al mismo tiempo lograr que el sector transporte del país sea más competitivo.

Estadísticas del Balance Nacional de Energía para el año 2019 muestran que un 98.76 % de la energía utilizada en el sector de transporte proviene directamente del petróleo o sus derivados. Aproximadamente el 1 % de la energía utilizada en el mismo sector proviene del uso de electricidad y el porcentaje restante proviene del uso de Gas Natural. Todo esto, sumado al hecho de que el sector transporte utiliza 36.57 % de la energía total de los diferentes sectores.

Considerando lo anterior y bajo la Estrategia Nacional de la Electromovilidad, se establece como meta país que para el año 2050 un 40 % del parque automotriz privado y un 100 % de la flota pública del país sean conformados por vehículos eléctricos teniendo como principal objetivo una reducción de once millones de toneladas de CO₂ anuales, evitando así, gastos energéticos y también ayudando al medio ambiente con la incorporación de una nueva flota de transporte. Sin embargo, y pese a la urgencia de la reducción de emisiones de GEI, esta misma estrategia menciona que países como Alemania, Holanda y Francia establecen fechas de término de comercialización de vehículos a combustión mucho más tempranas (2025, 2030 y 2040 respectivamente) y que se espera que la reducción de emisiones GEI sea de al menos un 80 % al año 2050.

2.1.2. Parque automotriz nacional

Respecto a la conformación actual del parque automotriz nacional, estadísticas del INE al 2020, señalan que el parque automotriz estaba compuesto por aproximadamente 5,5 millones de vehículos dentro de los cuales el 0,052 % (2,866) corresponde a vehículos del tipo eléctrico (sin hacer distinción dentro de la estadística entre vehículos del tipo híbrido o totalmente eléctricos). Por datos del informe de ventas de la ANAC podemos deducir que este número ascendía al total de vehículos eléctricos e híbridos enchufables existentes en el país en esa fecha [2], mientras que para el 2021 esta cifra subió considerablemente.

Según datos del último Informe de ventas Vehículos Cero y Bajas Emisiones de la ANAC (Asociación Nacional Automotriz de Chile)[2], entre los meses de enero y julio del año 2021 se han comercializado 1,452 vehículos eléctricos de los diferentes tipos como muestra la figura 2.1. De estos últimos, solo un 17 % (244) son vehículos livianos y medianos totalmente eléctricos y no vehículos híbridos que utilicen gasolina, mostrando así que existe una lenta pero creciente adopción de esta tecnología de transporte. En datos de la misma ANAC pero de su informe para vehículos livianos y medianos de combustión interna este valor de ventas al mes de Julio para el año 2021 asciende a 38,226 vehículos como se aprecia en la figura 2.2, lo que da cuenta de amplia brecha existente en términos de ventas para vehículos de tipo eléctrico[3].

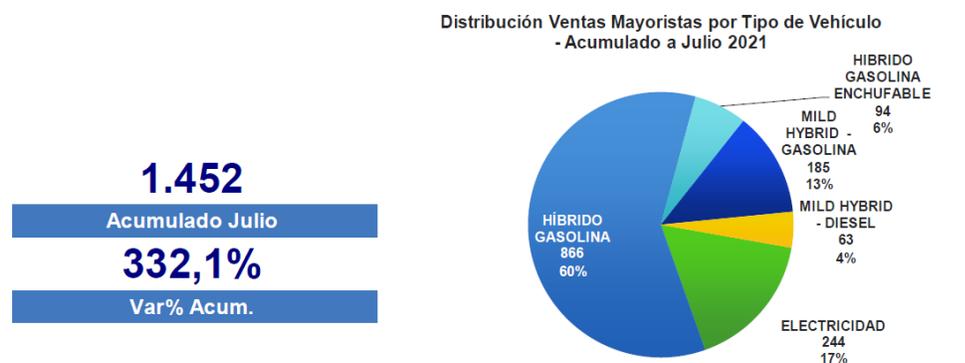


Figura 2.1: Ventas acumuladas a Julio del año 2021 para vehículos cero y de baja emisión según ANAC.

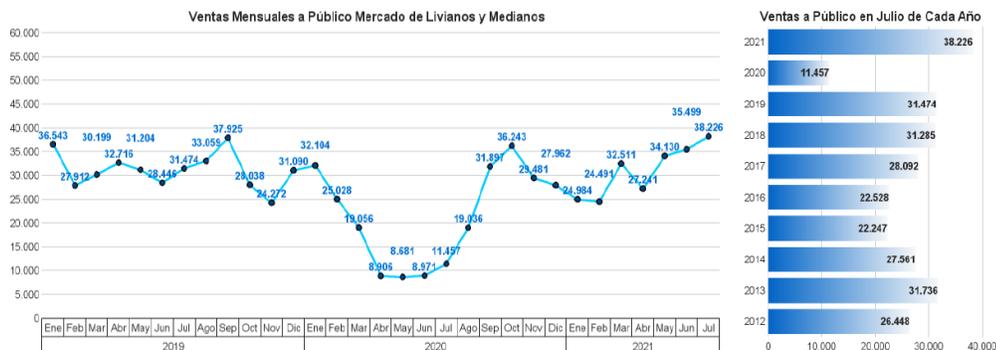


Figura 2.2: Ventas históricas de vehículos livianos y medianos con motor a combustión interna por mes desde Enero 2019 a Julio 2021 según ANAC.

2.1.3. Infraestructura de carga

Si hablamos de infraestructura de carga, al año 2019 bajo registros de la Asociación gremial de Vehículos Eléctricos de Chile (AVEC) existían 97 *electrolíneas* distribuidas a lo largo y ancho del país [4], siendo la Región Metropolitana la que poseía la mayor cantidad de ellas con 47 unidades de carga. Bajo datos de la Plataforma de Electromovilidad del Ministerio de Energía al 29 de noviembre del 2021 existen 520 *electrolíneas* distintas distribuidas en el país [5], mientras que por datos de la SEC [6] existe esta misma cantidad de estaciones de carga funcionando bajo alguno de los cinco protocolos estándar (T2SC, T2, CCS T2, CHAdeMO o T1) en el mercado, lo que da cuenta del naciente impulso en los últimos años por crear un mejor y completo ecosistema para los vehículos eléctricos.

2.2. Vehículos eléctricos y reconversión de vehículos

2.2.1. Vehículos eléctricos

La creciente preocupación por la polución durante los últimos años ha dirigido parcialmente esfuerzos a la descarbonización del sector del transporte. Esto ha hecho que los vehículos eléctricos e híbridos aparezcan como una alternativa sustentable y ecológica a los vehículos de combustión interna en el mercado automotriz. A finales del 2020 existían aproximadamente 10 millones de vehículos eléctricos en las carreteras del mundo, mientras que para el año 2030 bajo los diferentes incentivos propuestos por los gobiernos y el decreciente costo de las baterías se espera alcanzar el número de 145 millones de vehículos eléctricos (aproximadamente un 7% de la flota total mundial de vehículos).[7].

Contrario a la creencia popular, los vehículos eléctricos no representan una invención propia del siglo XXI ni uno de los “últimos avances tecnológicos” de la época, a pesar de incorporar tecnología actual. Los primeros móviles eléctricos tienen origen en pleno siglo XIX pero con bastantes limitaciones de funcionamiento principalmente por la baja eficiencia de los motores y la baja calidad de las baterías o almacenadores de energía, mientras que vehículos de mejor rendimiento fueron construidos en periodos cercanos a los 1900 por constructores como Ferdinand Porsche antes de que gradualmente desaparecieran del mercado por el bajo costo de los vehículos con motor de combustión interna que de todas maneras ofrecían un mayor rango de distancia y menores costos de adquisición [8].

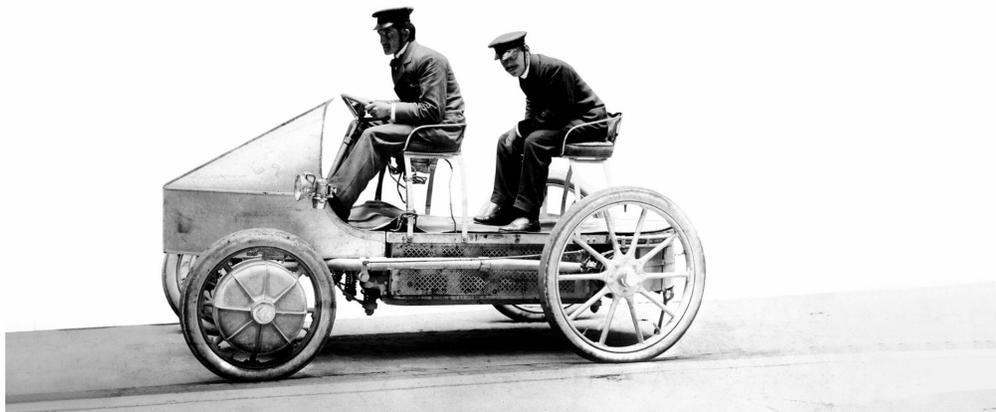


Figura 2.3: Egger-Lohner C.2 Phaeton, vehículo eléctrico diseñado por Ferdinand Porsche en 1898 cuya velocidad máxima era 25 km/h.

Si bien los vehículos eléctricos ofrecen beneficios medioambientales, no están exentos de problemas competitivos frente a los vehículos con motor de combustión interna (MCI). Las tecnologías de los últimos años no permitía un rango extenso de funcionamiento, poseen mayores costos de inversión inicial y los tiempos de carga de las baterías suelen ser mucho mayores que el tiempo de carga de gasolina en un vehículo convencional [9]. Además, la in-

fraestructura de carga sigue siendo un problema para aquellos propietarios de zonas urbanas que no poseen un estacionamiento propio.

Al 2021, las barreras principales para el desarrollo de los vehículos eléctricos ha disminuido de manera sustancial. El precio de las baterías ha disminuido casi en un 90 % durante la última década, se investigan baterías de estado sólido y se espera que los precios de los vehículos eléctricos iguallen a los de vehículos de combustión interna para el año 2025. En paralelo, la aumenta de oferta en modelos de vehículos y sus diferentes características han logrado incluso que el rango de autonomía de algunos vehículos sobrepase los 400 [km] en sus últimas versiones como por ejemplo el Tesla Model 3 Long Range cuyo rango es de hasta 568 [km] en una sola carga o el Mercedes-Benz EQS 450+ cuyo rango de autonomía es de 679 [km] según la EPA (Environmental Protection Agency).



Figura 2.4: Evolución en el precio de las baterías por kWh durante la última década según BloombergNEF Global EV Outlook 2021.

Gran parte de los avances en el desarrollo de la electromovilidad están centrados actualmente en el mejoramiento de las baterías, electrónica de potencia y el uso de diferentes recursos computacionales que permitan analizar y mejorar el desempeño de los vehículos con información recopilada constantemente durante su funcionamiento. Se han implementado distintos esfuerzos por construir y adecuar un “clon digital” del vehículo, cuya finalidad es la utilización de la información obtenida por sensores del vehículo para poder así, simular escenarios y predecir resultados de interés para fabricantes u operadores [10],[11].

La estructura básica de un vehículo eléctrico es similar a la que se muestra en la figura 2.5. Cada componente o sistema mostrado en la figura puede estar compuesto por uno o más subsistemas que determinan diferentes características de seguridad o de topología del vehículo eléctrico. Por ejemplo, el sistema de baterías está compuesto por un BMS (Battery Management System), componentes de precarga, un sistema de contactores, un switch de inercia u otros componentes adicionales que permiten tener distintas medidas de seguridad en el vehículo. Bajo la misma idea, la transmisión del vehículo puede existir o no debido al desarrollo de motores in-wheel que mejoran parcialmente la eficiencia de los vehículos al no existir pérdidas en los engranajes de una transmisión:

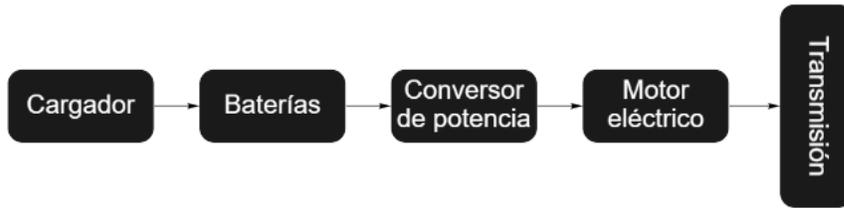


Figura 2.5: Diagrama general de conexión de un vehículo eléctrico según lo propuesto por [9].

Dada la cantidad de topologías posibles para un vehículo eléctrico (dadas por la mixtura de componentes escogidos) no es posible definir a todos los vehículos eléctricos dentro de un esquema único de funcionamiento y numerosos documentos normativos categorizan a los EV en distintos tipos dependiendo de sus componentes fundamentales.

2.2.2. Experiencias internacionales reconversión de vehículos

En la reconversión de vehículos, esto último genera un problema: Dado que no existen procesos estandarizados y existen múltiples alternativas y mixturas de componentes para poder reconvertir un tren motriz de combustión a eléctrico, existen numerosos puntos de fallas que pueden ser altamente peligrosos para el usuario del vehículo si la reconversión no se lleva a cabo correctamente.

El término “Retrofit” o “Retrofitting” tiene raíces en el verbo proveniente del inglés cuyo significado describe la adición de una parte o equipamiento en una máquina, que no venía incluida originalmente al momento de su construcción. Entendemos entonces, el concepto de retrofit o reconversión de vehículos a eléctricos como la adición de partes que no estaban al momento de su construcción original, en particular, la adición de un sistema de almacenamiento de energía de forma eléctrica o electroquímica y un tren motriz que funciona con energía eléctrica.

Desde los años 90 ya se proponía en [12] la conversión de vehículos a eléctricos eliminando parte de los componentes del sistema de combustión interna. El objetivo principal era la construcción de un vehículo eléctrico de bajo costo y componentes que aseguraran además una respuesta inmediata a la problemática de polución en el aire.

Se removerían elementos esenciales del tren motriz a combustión pero se mantendría parte del sistema mecánico asociado a la transmisión de movimiento para luego acoplarle un sistema motriz eléctrico. En un esquema rudimentario se plantean cálculos esenciales pero no óptimos para determinar el tamaño necesario de un banco de baterías y se plantea una metodología poco precisa pero con un camino lógico claro para lograr la conversión.

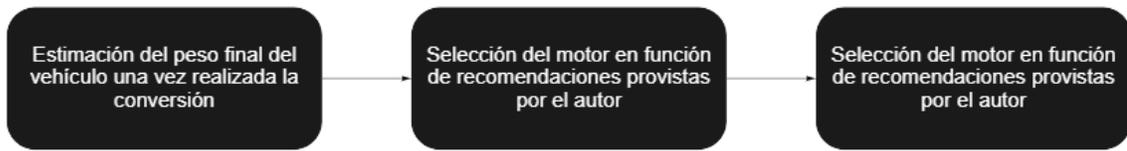


Figura 2.6: Diagrama de cálculo de baterías propuesto por [12].

En términos de implementación se mencionan elementos básicos respecto al montaje del nuevo motor eléctrico y el acople necesario para reutilizar el antiguo sistema de transmisión considerando si corresponde a un vehículo con transmisión mecánica o automática. La utilización de bombas de vacío que permitan utilizar un sistema de dirección hidráulica también es mencionada dentro del documento y finalmente se hace alusión al tipo y la forma de las modificaciones del sistema eléctrico original del vehículo, sin entrar en algún tipo de detalle sobre los cambios.

Para poder lograr un sistema eléctrico funcional en el vehículo sólo se menciona una etapa de conversión de voltaje que funcionará como step-down desde el voltaje de baterías al voltaje requerido por la electrónica original del vehículo.

El año 2009 en el Indonesian Insitute of Sciences se reconvirtió una camioneta de marca y modelo Toyota Kijang fabricada en el año 1994. Esta camioneta fue convertida con un motor trifásico de inducción con una potencia máxima de 52 HP, un banco de baterías de 96 [V] con baterías de 235 [Ah] y con una rango promedio de autonomía cercano a los 75 [km]. Si bien se mencionan las características de este vehículo en [13], lo más relevante es que propone una discusión de objetivos previa a la reconversión eléctrica de un vehículo. Se habla de una conversión eléctrica que puede ser basada en principalmente en tres opciones: distancia, potencia o costos.

Dependiendo del contexto en el que se utilice el vehículo diariamente, se podría elegir una opción por sobre la otra: Por ejemplo, si el vehículo tiene un uso destinado principalmente a movilidad urbana dentro de una ciudad entonces no se verá sometido a grandes fuerzas aerodinámicas provenientes de la circulación a una velocidad considerable de más de 60 km/h. Bajo este criterio, se puede estimar de manera sencilla la energía necesaria desde las baterías para lograr cierta autonomía en el vehículo evitando un motor que además requiera una alta potencia de funcionamiento. Si por ejemplo el objetivo del usuario es convertir el vehículo de manera que el tren motriz tenga la misma potencia y alcance las mismas velocidades que previo a la conversión, el motor eléctrico jugará un rol fundamental en la conversión y se deberá priorizar sus características técnicas por sobre un banco de baterías que permita una autonomía mayor. La última opción es priorizar el criterio de costo, que dependerá de factores geográficos, del vehículo a utilizar, accesibilidad a componentes, etc.

Durante el 2019 en la Conferencia de Electrificación del Transporte en India (ITEC-India) se presenta un estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la universidad de Kathmandu donde se habla sobre la conversión de un vehículo Suzuki Maruti modelo 800 [14]. A diferencia de otras experiencias, esta conversión fue realizada considerando los ciclos de manejo habitual del vehículo y estimando así el rango de autonomía en función de

la información obtenida previamente. Al igual que en [15] se utilizan ecuaciones de fuerza para estimar parámetros de la conversión como la potencia del nuevo motor bajo distintos regímenes de operación y posteriormente el tamaño del paquete de baterías del vehículo, pero esta vez sin considerar despreciables algunos términos asociados a la dinámica del vehículo.

Existen entonces aún más variables a tomar en consideración para hablar de la reconversión de vehículos y que se relacionan directamente con el objetivo de la misma. Así como existen Reborn Electric y Movener que apuntan a reconvertir distintos tipos de vehículos, existirá entonces una mixtura entre los tipos de componentes que podrán ser usados, pero también dependiendo de los objetivos de la reconversión cada componente podrá ser dimensionado de distinta manera, como sucede principalmente con las baterías.

Las baterías de litio representan el estado del arte en términos de almacenamiento para vehículos eléctricos o electromovilidad en general, principalmente debido a sus características de densidad energética y de potencia respecto a otras tecnologías, sumado al hecho de que los costos han disminuido notoriamente durante la última década [11],[16]. Sin embargo, y pese a que las baterías de litio representan una de las tecnologías con mayor cantidad de avances en los últimos periodo, su densidad energética no logra dar abasto a la creciente demanda. Es por esto que se han investigado diferentes procesos o compuestos dentro de la misma tecnología que permiten también obtener una mayor densidad energética y mayor densidad de potencia en el almacenador [17].

En el caso de las reconversiones realizadas en territorio nacional, muchas veces las baterías de litio no son utilizadas y se ocupan baterías de plomo-ácido debido a su menor costo y la simplicidad que otorga el uso y manejo de las mismas. A pesar de esto último, el vehículo LilEV posee un banco de baterías que está compuesto casi completamente por baterías de litio, con excepción de la batería auxiliar del vehículo que corresponde a la batería de un vehículo tradicional.

Los capacitores o ultra capacitores también representan un tipo de almacenador de energía utilizable en los vehículos eléctricos. Comparativamente, poseen una muy baja densidad de energía respecto a las baterías de litio u otras tecnologías similares, pero en cambio poseen una alta densidad de potencia. Si bien no son ampliamente utilizados en el mercado, la incorporación de ultra capacitores a bancos de baterías permite en algunos casos topologías mixtas que tienen un mejor desempeño en almacenamiento de energía y potencia disponible como en los vehículos en que se utiliza una suspensión activa.

Si hablamos de motores eléctricos, estos no han sufrido grandes variaciones a lo largo de los años debido a que su tecnología es conocida y utilizada hace bastante tiempo. Dentro del mercado de vehículos eléctricos los fabricantes han elegido distintas topologías que involucran motores de inducción, motores BLDC o motores de reluctancia síncrona con imanes permanentes entre otras opciones, cada una con diferentes estructuras y diseños. La predominancia de estos tipos de motores está fuertemente ligada a la durabilidad que ofrecen en el tiempo como por ejemplo el caso de los motores de inducción, o la alta eficiencia que son capaces de obtener cuando hablamos de motores síncronos con imanes permanentes [18], lo que los hace candidatos preferibles al momento de escoger algún motor eléctrico para reemplazar un motor de combustión.

En [19] se reconvierte un vehículo de manera híbrida de la marca Chevrolet y modelo Blazer, SUV con un motor de 2.8 litros que era capaz de producir una potencia de 82 kW. A este se acopla un motor trifásico de inducción junto con un pack de baterías de menor tamaño y la electrónica de potencia asociada. Si bien no corresponde a una conversión completa, si se utilizan elementos que determinan un conjunto básico de componentes para cualquier vehículo eléctrico: Motor eléctrico, conversor de potencia, baterías.

La reconversión parece funcionar especialmente bien en bajas velocidades donde reemplaza o ayuda en gran parte las ineficiencias del motor de combustión, pero no existe una metodología clara para dimensionar los componentes del sistema. Se incorpora un motor de 14 kW cuya potencia máxima es cercana a los 18 kW y se incorpora un conversor de potencia de 20 kW junto con un banco de baterías de plomo ácido de 192 [V] compuesto por 12 baterías conectadas en serie.

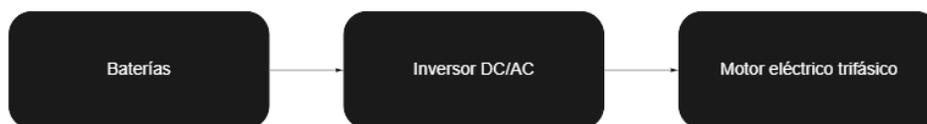


Figura 2.7: Esquema general del sistema eléctrico propuesto por Asimakopoulou en [19].

2.2.3. Dinámica del vehículo eléctrico reconvertido

Dentro de la categoría de motores con imanes permanentes, se siguen creando topologías que mejoran la densidad de torque y/o eficiencia del motor lo que permite nuevas aplicaciones en electromovilidad. Tal es el caso de los motores de imanes permanentes de la línea AZ-PM, desarrollada por Rolls Royce. Estos motores están siendo utilizados en propulsión marina por la Norwegian University of Science and Technology (NTNU) dentro de la nave Gunnerus. La alta eficiencia de estos motores es una cualidad peculiar y altamente buscada dentro del mercado. Eficiencias de hasta un 97% o 98% son alcanzadas por estas tecnologías [20].

Por su parte, [15] muestra la reconversión de un vehículo de tamaño pequeño a eléctrico en la India bajo los mismos motivos expresados previamente por otros autores: Evitar contaminación y minimización de costos. La conversión se realiza en el año 2020 y propone el reemplazo completo del sistema de tracción del vehículo lo que conlleva a una disminución del peso bruto del vehículo y por consiguiente mejora el rango de autonomía luego de la reconversión.

Se utiliza un motor BLDC de 1 kW para poder proveer la potencia necesaria del nuevo tren motriz. La metodología utilizada propone el cálculo previo de un set de ecuaciones de Newton asociadas al movimiento del auto que permite determinar la potencia necesaria del motor, para luego dimensionar las baterías necesarias. Se considera la fuerza de roce con el piso (F_f), la fuerza existente por la inclinación del camino (F_g), fuerza aerodinámica (F_a) y también la fuerza de resistencia al rodado (F_r). También existe una componente de aceleración (F_{acc}) utilizada dentro de las ecuaciones:

$$F_{traccion} = F_r + F_f + F_g + F_a + F_{acc}$$

Esta metodología plantea un escenario particular y bastante acotado lo que implica suposiciones dentro de las ecuaciones imposibles de replicar en otros escenarios de uso del vehículo. Se considera que el vehículo opera en régimen permanente en todo momento, por lo tanto se descartan las variables asociadas a la aceleración. También se considera despreciable la componente aerodinámica de la fuerza y el vehículo se considera operando en un plano en todo momento. Como última y única consideración entonces, está la fuerza de resistencia al rodado y a través de ella se obtienen los valores para dimensionar componentes. Finalmente, esta conversión sólo considera estos cálculos para un régimen de uso urbano y a bajas velocidades dadas las suposiciones en los cálculos.

Para poder obtener cálculos más precisos del desempeño futuro del auto reconvertido, es necesario obtener información que permita ajustar las ecuaciones dinámicas del vehículo a un funcionamiento más cercano a la realidad. La utilización del coeficiente de rodadura o de un valor realista de los coeficientes de deformación de neumáticos pueden incorporar variables relevantes al momento de calcular el sistema motriz del vehículo. Así mismo, considerar las ecuaciones asociadas a la resistencia aerodinámica del vehículo puede tener un gran impacto sobre el dimensionamiento del tren motriz, especialmente a altas velocidades debido a que la velocidad se encuentra en potencia de tres en la ecuación de fuerza aerodinámica.

El cálculo de estos valores permitirá un mejor dimensionamiento del tren motriz y dependiendo del tipo de auto quizás pueda influir en la tecnología a utilizar en la reconversión. De igual manera, permitirá estimar de mejor forma la autonomía del vehículo, dando la opción al cliente de escoger frente a distintas opciones de componentes que puedan ajustarse a sus requerimientos. De acuerdo al trabajo de [21] las ecuaciones que rigen la dinámica del vehículo corresponden a las siguientes:

$$F_{traccion} - F_{aire} - F_{rodadura} - F_{inclinación} - F_{rotacional} = Ma$$

Donde $F_{traccion}$ corresponde a la fuerza que inyecta la máquina de tracción, F_{aire} corresponde a la fuerza de resistencia aerodinámica, $F_{rodadura}$ corresponde a la fuerza de resistencia por la rodadura, $F_{inclinación}$ corresponde la fuerza producto de la gravedad en un plano inclinado y $F_{rotacional}$ corresponde a la fuerza necesaria para acelerar el sistema motor-rueda. Esta última es calculada por el mismo autor según:

$$F_{rotacional} = I_{ejeMotor} \left(\frac{G_{total}}{R_{rueda}} \right)^2 \cdot a$$

Donde $I_{ejeMotor}$ corresponde a la inercia del motor, G_{total} corresponde a la relación total del radio de la rueda y el radio de la polea eje-motor y a corresponde a la aceleración lineal del vehículo. R_{rueda} corresponde al radio de la rueda considerando la llanta y el neumático. En función de estas ecuaciones es posible calcular la fuerza de tracción necesaria para el movimiento del vehículo y por ende el torque y potencia necesaria en el motor eléctrico. Si bien en el vehículo LilEV no existen poleas, sí existen diferentes relaciones de transmisión en la caja de cambio que podrían ser consideradas. A diferencia del caso de estudio de la reconversión realizada en India, no se considera en este set de ecuaciones la fuerza de roce con el piso pero se incorpora esta componente de fuerza rotacional.

Si bien la utilización de estas componentes es importante, el uso o no uso de ellas tendrá como resultado mayor o menor diferencia entre los valores de diseño del vehículo frente a los valores de operación reales. La fuerza de tracción se convierte en un elemento de suma importancia dentro de estas ecuaciones ya que permitirá el dimensionamiento correcto del motor a utilizar en el vehículo:

$$F_{traccion} = F_{aire} + F_{rodadura} + F_{inclinación} + F_{rotaciona} + Ma$$

En el análisis de régimen permanente del vehículo, la componente Ma es despreciada ya que se asume una velocidad constante y por ende $a = 0$. El proyecto Eolian que diseña y construye autos solares también realiza este estudio para cada uno de sus vehículos. Dado que para este tipo de vehículos los tiempos de aceleración no son un requisito importante ya que se busca maximizar la eficiencia, el análisis de régimen permanente se realiza considerando que $a = 0$. La curva de fuerza versus velocidad para la última versión “Áuriga” operando en un plano (lo que implica que no hay fuerza por inclinación) se encuentra a continuación:

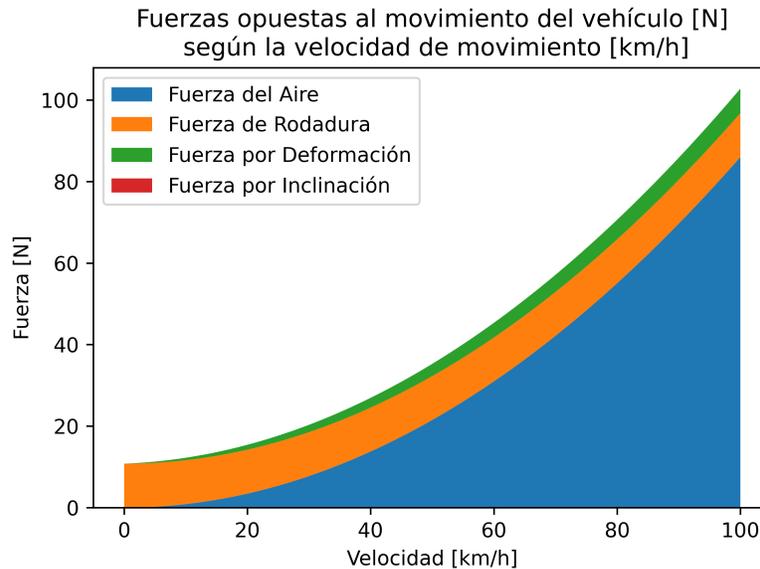


Figura 2.8: Curva de Fuerza vs Velocidad para el diseño del vehículo Áuriga

Así mismo, se puede calcular el torque o par motor que requieren los motores del vehículo ya que serán los encargados de proporcionar el movimiento y por ende generarán $F_{traccion}$. El torque necesario se puede calcular utilizando la fuerza requerida y el radio de la rueda del vehículo. Para el mismo caso anterior, se obtiene el siguiente gráfico:

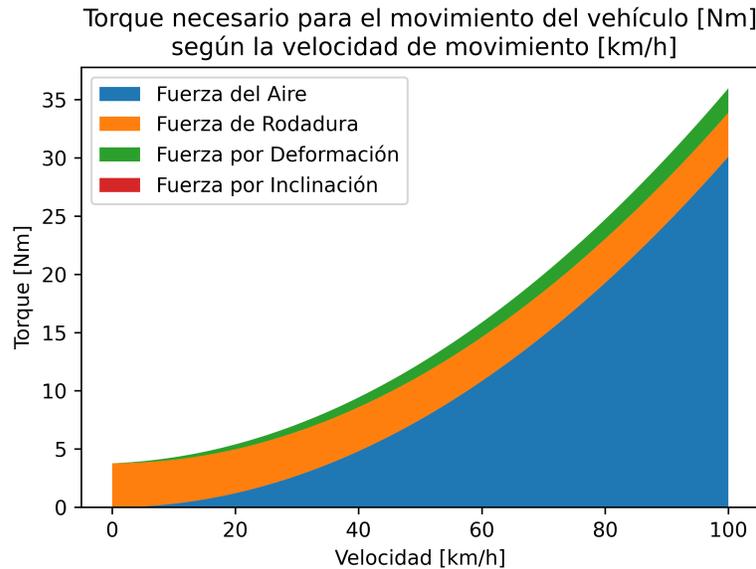


Figura 2.9: Curva de Torque vs Velocidad para el diseño del vehículo Áuriga

La fuerza por inclinación si bien se despreció en este caso, juega un rol no menor en países como Chile ya que la diferencia de altitud puede generar grandes consumos que merman rápidamente la autonomía del vehículo. Para el caso del vehículo Áuriga, considerando una inclinación de un 1% en el camino el torque requerido cambia drásticamente y se debe principalmente a la fuerza por inclinación:

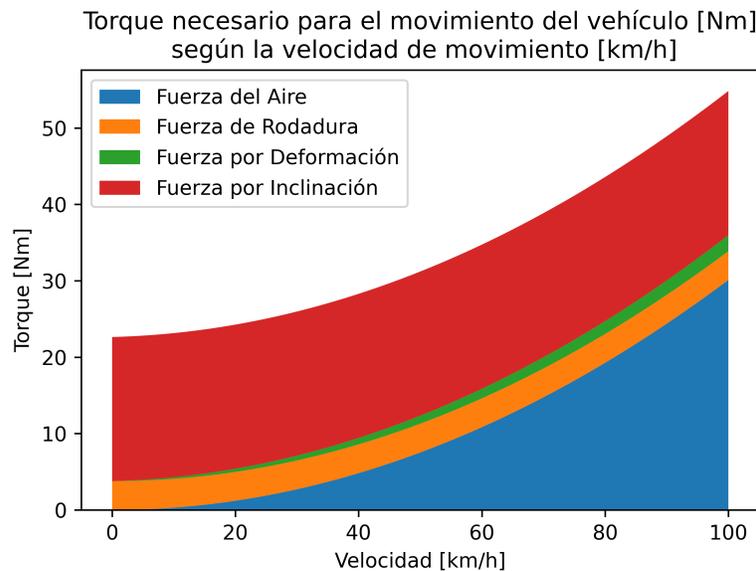


Figura 2.10: Curva de Torque vs Velocidad para el diseño del vehículo Áuriga

Para un vehículo de mucho mayor masa como es por ejemplo el LilEV, estas fuerzas podrían tomar incluso mayor relevancia por lo que es importante caracterizar el vehículo de manera correcta. Cabe destacar que este análisis no incluye el uso de una caja de cambios, tampoco el cambio de relación existente entre el piñón de ataque de la transmisión y la corona del diferencial de las ruedas traseras ni el uso de homocinéticas, ya que los motores del

vehículo Áuriga son motores in-wheel y no de inducción por lo que esto podría ser considerado para un análisis futuro.

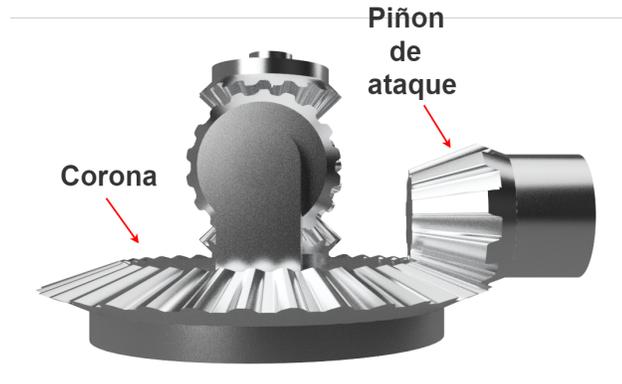


Figura 2.11: Piñón de ataque y corona de un sistema diferencial.

Si bien este análisis resulta complejo y requiere múltiples fuentes de información respecto a los componentes, la utilización de los parámetros originales como una cota superior respecto a potencia, torque y RPMs puede simplificar gran parte del proceso de elección del motor. La caracterización del vehículo permitirá definir de mejor manera parámetros como la autonomía, potencia, velocidad máxima y pendiente máxima que el vehículo pueda alcanzar.

2.2.4. Experiencias nacionales en reconversión de vehículos.

La reconversión de vehículos es un tema que levemente ha ido tomando relevancia en el contexto nacional y actualmente ya existen empresas que se dedican a realizar este tipo de procesos. Tal es el caso de Reborn Electric y Movener, empresas que trabajan en las ciudades de Rancagua y Santiago respectivamente. Reborn Electric es una empresa de ingeniería chilena que surge el año 2016 y posteriormente se asocia a Link Service, empresa de transporte que opera buses mineros hace más de cuarenta años en la región de O'higgins hacia y desde la mina de cobre subterránea más grande del mundo: El Teniente.

Reborn Electric se ha centrado en la reconversión de buses de hasta 24 pasajeros que operan en un ambiente minero. En un contexto de economía circular, la reconversión de los buses permite adquirir un vehículo de estas características por aproximadamente la mitad del valor de mercado que tendría uno nuevo importado desde el extranjero, de acuerdo a Ricardo Repenning, CEO de Reborn Electric. Dentro de sus primeras experiencias en la reconversión de vehículos, la empresa reconvirtió un bus de pasajeros para la empresa METBUS junto a Enel X lo que da cuenta de que la reconversión de vehículos en el sector de transporte público también es posible. Posteriormente la empresa migró a la reconversión de buses en un escenario minero.

En el caso de Movener, se trata de una empresa que realiza reconversiones a vehículos desde el año 2015 y cuyo objetivo principal es la reconversión de vehículos particulares. Actualmente Movener se desempeña como un franquiciado que capacita a técnicos y talleres mecánicos para poder reconvertir vehículos, que si bien no estarán autorizados para circular

por las calles del país, aún pueden hacerlo en el recintos privados. Aunque la reconversión de vehículos aún no se regulariza, Movener apuesta por capacitar gente que en un futuro cercano pueda aportar a este proceso y generar un ecosistema que permita el desarrollo de este tipo de procesos y tecnologías.

En el ámbito académico, el Centro de Energía (CE) de la Universidad de Chile ha realizado diversos proyectos asociados a la reconversión de vehículos desde el año 2005. En aquella instancia se realiza la conversión de un vehículo marca Dodge, modelo 1500 del año 1976 perteneciente al director del Centro de Energía, Rodrigo Palma. Este vehículo fue transformado por Victor Castañeda, estudiante de la FCFM quien realiza su trabajo de título en este proyecto. El vehículo es capaz de alcanzar velocidades de hasta 70 km/h luego de la conversión y posee una autonomía de aproximadamente 40 kilómetros. Actualmente el vehículo está fuera de circulación debido a la circular emitida por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones que prohíbe la aprobación de los trámites en las Plantas de Revisión Técnica para vehículos que han modificado su tren motriz e implementado uno eléctrico.

Dentro del mismo Centro de Energía se recogen diversas experiencias asociadas al proyecto Eolian, proyecto que construye autos solares desde el año 2007 en diversas categorías de competición. Así mismo, este proyecto surge desde un grupo de estudiantes que participaban en la competición de la “Fórmula i” desarrollando vehículos eléctricos estilo go-kart. El proyecto Eolian actualmente se encuentra construyendo su sexta versión, “Áuriga”, que consiste en un modelo para cuatro personas, a diferencia de la primeras versiones de los vehículos Eolian, que consistían en vehículos para una persona y apuntaban a una mayor eficiencia energética.

Así mismo, existen equipos de diversas universidades que construyen vehículos de similares características como el equipo “ESUS”, de la Universidad de Santiago de Chile o el equipo “Ergón” de la Universidad Técnica Federico Santa María. Todos estos proyectos recogen experiencia invaluable en términos de la construcción de vehículos ya que son proyectos únicos en un país donde la última ensambladora de vehículos, que pertenecía a la compañía Fiat y se ubicaba en Rancagua, Región de O’higgins, cesó operaciones en el año 1983. Además, al ser vehículos eléctricos y/o solares, constituyen un núcleo pequeño de generación de conocimiento que ayuda a estudiantes y académicos a trabajar con diversas tecnologías asociadas a la electromovilidad y que se encuentran en el estado del arte constantemente.

Bajo el mismo alero del Centro de Energía y recogiendo experiencias de proyectos previos como Eolian y el proyecto “Lüfke”, en el año 2011 se desarrolla el proyecto LilEV. Este proyecto contempla la reconversión de un vehículo marca Lada y modelo Niva del año 1993. El objetivo original era reconvertir el vehículo para su posterior utilización en faenas mineras. Se realizó una reconversión mecánica y también se crearon diversos elementos electrónicos que permitirían el control de los diversos sub-sistemas eléctricos del vehículo, sin embargo, operar en faenas mineras requiere un alto nivel de confiabilidad y seguridad que el vehículo no cumplió por diversos problemas asociados al control del sistema eléctrico. La reconversión fue realizada en su completitud, pero existieron problemas en el conjunto controlador-motor que no permitieron que el vehículo se desempeñara de la manera correcta. Actualmente el vehículo se encuentra en desuso, luego de un largo periodo donde no se utilizó ni se le hizo mantención alguna.

Durante la última década además, en conjunto con el CE se han desarrollado otras reconversiones para empresas como la “Kombi eléctrica” de la cervecería Kunnstmann y otros prototipos de vehículos eléctricos como Vesuscon, vehículo que se espera opere dentro de la microred de Huatacondo desarrollada con la misma casa de estudios. Actualmente todas estas reconversiones de vehículos no están habilitadas para la libre circulación dentro de las calles nacionales, debido a que no existe normativa que regule este proceso. Si bien, durante varios años se otorgaban los permisos requeridos para que estos vehículos pudieran circular, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones emitió una circular en que se solicita a todas las Plantas de Revisión Técnica a no aprobar este tipo de vehículos.

Previo a la circular, los vehículos eran capaces de obtener la aprobación de una Planta de Revisión Técnica debido a que se consideraba que la implementación de un sistema motriz eléctrico calificaba como un “cambio de motor”. Este proceso estaba definido y regulado en el Decreto 211 del Ministerio de Transportes, pero sólo afectaba a vehículos posteriores al año 1992. Si el vehículo era del año 1993 o posterior, el cambio de motor debía cumplir con características específicas: Debería ajustarse a normas ecológicas y de seguridad existentes y debe considerar las características originales del motor de fábrica del vehículo, obligando a que el nuevo motor fuese de la misma línea de producción del modelo del auto. Esto limita considerablemente las opciones de motor para un vehículo, pero como no se mencionaba nada sobre vehículos del año 1992 o más antiguos, se aprovechaba el vacío legal para poder calificar el cambio del tren motriz a combustión por uno eléctrico como un “cambio de motor”.

El Ministerio de Transportes no considera que el cambio del tren motriz a combustión a un tren motriz eléctrico fuera sólo un cambio de motor, sino que un proceso de mucha mayor embergadura donde se requieren estándares de seguridad particulares, debido a la naturaleza de los componentes que constituyen el nuevo sistema eléctrico. La emisión de la circular previamente mencionada fue durante el 14 de Octubre del año 2019. Durante Diciembre del 2021 existió una consulta pública donde se liberó un borrador de la nueva normativa que regulará los procesos de reconversiones y que es abordado en posteriores secciones de este trabajo.

La elección del motor debe ser hecha considerando los parámetros técnicos requeridos por el estudio dinámico previo, pero también deben considerarse las modificaciones que se tendrán que hacer al vehículo para poder armar el tren motriz. En [22] se realizó la reconversión de un modelo Dodge, donde se ocupó un motor de inducción para reemplazar el tren motriz original. Tal y como explica Castañeda, existen numerosas consideraciones al momento de reemplazar el motor y/o de reconvertir el vehículo, las más importantes son:

- Caja de cambios
- Frenos
- Tipo de tracción

En primera instancia, se debe tener cuidado con la caja de cambios original del vehículo, ya que si esta es automática requerirá una bomba para mantener la presión del fluido interno de la caja a diferencia del caso de una caja de cambio manual. Dependiendo del tipo de frenos del vehículo, se deberá considerar la utilización de una bomba de vacío. Si los frenos son servo-asistidos, el vehículo requerirá esta bomba, pero si los frenos son del tipo hidráulicos

la reconversión se puede llevar a cabo sin agregar este elemento. El tipo de tracción es un elemento importante a considerar ya que si el vehículo tiene tracción trasera el motor deberá ser colocado en línea con el vehículo, pero si el vehículo tiene tracción delantera el motor deberá ser colocado en forma transversal ya que la caja de cambios también se ubica con la misma orientación.

Si bien el proyecto LilEV ya cuenta con un motor de inducción y por tanto la elección del motor no es un objetivo de este proyecto, sí se pueden calcular las ecuaciones dinámicas para poder contrastar los parámetros de los componentes requeridos por el vehículo luego de la reconversión con los parámetros de los componentes actuales.

Como bien explica Castañeda en [22], durante la reconversión el motor debe ser extraído y se debe tener el cuidado de poder conservar el embrague para poder reutilizarlo. El diseño y construcción del flanche es un proceso que debe ser llevado a cabo con cuidado ya que por la complejidad que presenta y la alta importancia que tiene en el futuro desempeño del tren motriz. Así mismo, se debe diseñar una pieza de unión entre el motor y el volante motor del embrague que permitirá reutilizar la caja de cambios completamente. Para esto existen principalmente dos tipos de uniones: Con una pieza chavetera, o con una pieza central y pieza de unión.

La sujeción del motor también juega un rol crucial al momento de la reconversión, ya que debe ser realizada de tal manera que se eviten movimientos axiales o fuerzas angulares provocadas por el giro del motor del vehículo. Como regla general, estas sujeciones (independiente del tipo que sean) se fijan a los mismos orificios en los que se fijaba el motor original del vehículo ya que estaban especialmente diseñadas para ese objetivo. Existen dos tipos de sujeciones: Sistema de abrazadera y barra de torsión, como así también está el sistema de soporte directo.

El sistema de abrazadera y barra de torsión se basa principalmente en sujetar el motor con una abrazadera, pero como esto no contrarresta la fuerza angular del motor, se añade una barra de torsión que fija y contrarresta estas fuerzas para evitar movimientos no deseados.

Para el caso del soporte directo, el soporte es especialmente diseñado para el motor y cumple ambos objetivos a la misma vez: lo fija en la posición correcta y además permite contrarrestar las fuerzas de reacción a la rotación del motor.

Castañeda finalmente recomienda distintas ubicaciones para los componentes más fundamentales de la reconversión: El interruptor general del vehículo debe ser de fácil acceso para el piloto, los fusibles del circuito principal de potencia deben estar cerca de las baterías y el convertidor DC-DC que permitirá disminuir el voltaje para la electrónica del vehículo deberá ubicarse en la parte trasera por la disponibilidad de espacio. Así mismo las bombas de vacío y de presión que puedan utilizarse deberán estar lo más cerca posible de los componentes junto a los que funcionarán (dirección o transmisión por ejemplo). El potenciómetro del acelerador debe estar conectado a la piola del acelerador a través de un brazo de tenga el recorrido suficiente para poder obtener un rango eléctrico que permita configurar de mejor manera la respuesta del acelerador.

La fijación del conjunto de baterías también juega un rol importante en la seguridad del vehículo. Es importante que las baterías sean fijadas de alguna manera a la carrocería del vehículo para evitar así volcamiento de baterías y/o que exista derramamiento de algún electro-lito según corresponda al tipo de batería utilizado.

En la experiencia de reconversión del vehículo LilEV [23] no se abordan elementos de las modificaciones mecánicas que sufrió el vehículo pero si se logra ver con un nivel de detalle distinto el diseño y las modificaciones al sistema eléctrico del vehículo, incluyendo el sistema de tracción. Una de las principales diferencias entre estos trabajos es el estado del arte al momento de realizarse. En el trabajo de [22] se utilizan baterías de plomo ácido mientras que en el trabajo de [23] se utiliza tecnología de litio. Este último punto también se ve reflejado en el hecho de que para la reconversión del vehículo Lufke se utiliza un motor de corriente continua con un controlador Chopper, mientras que para el vehículo LilEV se utiliza un motor de inducción con un controlador por orientación de flujo.

Bajo la misma línea, Castañeda en su trabajo expone los modelos de fuerzas resistivas que utiliza para poder calcular junto con los datos del motor las velocidades esperadas para el vehículo, además de por ejemplo mostrar elementos que componen la simulación del controlador del motor. Incorpora dentro de estos elementos también la caja de cambios y el diferencial, además de obtener datos de interés como la pendiente máxima de operación y el rendimiento esperado del vehículo. Por otra parte, el trabajo de Vargas se centra en el desarrollo del sistema eléctrico del vehículo reconvertido, con un énfasis particular en el control del variador de frecuencia que alimenta el motor.

Considerando que las baterías son un elemento que puede ser potencialmente letal para el usuario debido a su alta capacidad energética y al alto voltaje en el que generalmente se encuentra el banco de baterías, se requiere elementos que señalicen las zonas peligrosas del vehículo además de un criterio particular de seguridad. Bajo distintas regulaciones como por ejemplo la UNECE R100 se establece claramente qué elementos deberán ir señalizando características de Alto voltaje, interruptores de emergencia, color de los cables del bus de alto voltaje, etc. A modo de ejemplo, actualmente para los buses de la red Transantiago de marca BYD se cuenta con instructivos de seguridad que incorporan algunas de las siguientes características y que podrían ser replicadas al momento de integrarlas a los vehículos reconvertidos para cumplir con la normativa exigida:

- Ubicación del extintor de incendios
- Advertencia para evitar lavar con agua elementos eléctricos.
- Advertencias de alto voltaje.
- Advertencia para evitar el corte de ciertas secciones del vehículo debido a cables a través de esa sección.
- Diagrama con ruteo de los cables de alta potencia y ubicación de las baterías.
- Conector de servicio fácilmente desconectable ante emergencias.
- Interruptores de suministro de corriente para Alto Voltaje.
- Condiciones de remolque en caso de emergencia.

2.3. Normativa en reconversión de vehículos

2.3.1. Normativa existente a nivel internacional

Considerando los elementos anteriores que determinan precedentes tangibles de la reconversión de vehículos con motor a combustión interna en vehículos de tren motriz eléctrico y que las metodologías de reconversión no tienen un carácter único y definido, podemos hablar entonces de los marcos regulatorios para este tipo de procesos que intentan resguardar elementos de seguridad al mismo tiempo que son propuestas de políticas públicas que fomentarán o desincentivarán la adopción de estas tecnologías.

En Japón el día 30 de abril de 2020 se publica también un documento titulado “Guidelines for Converted Electric Vehicles” desde el comité de tecnología de la Asociación para la Promoción de Vehículos Eléctricos. En este documento se estipulan lineamientos voluntarios que deberán seguir los negocios que se involucren en la venta de vehículos reconvertidos, a fin de resguardar la seguridad y confiabilidad del vehículo. Los lineamientos tienen un carácter técnico con estándares mínimos y recomendaciones sobre el proceso de reconversión. Si bien no corresponden a una norma oficial, representan un documento de carácter similar a otras normativas vigentes por lo que es oportuno considerarlo.

Por su parte, España posee el Real Decreto 2028/1986 del 6 de Junio, que dicta las normas para la aplicación de directivas relativas a la homologación de vehículos automóviles, remolques y semiremolques. A través de diferentes artículos se definen los requisitos para las reformas y sus posteriores homologaciones, los responsables de las mismas y también se definen dentro del mismo documento las sanciones correspondientes para quienes no cumplan lo establecido previamente.



Figura 2.12: Estructura general de los documentos normativos de España y Japón

Si bien existen coincidencias entre ambas normativas, una de las principales diferencias es que la normativa Japonesa propone con bastante definición el capítulo tres, siendo el único que tiene sub-secciones que se enfocan en cada uno de los dispositivos que se utilizan en la reconversión, tal y como muestra la figura 2.25:

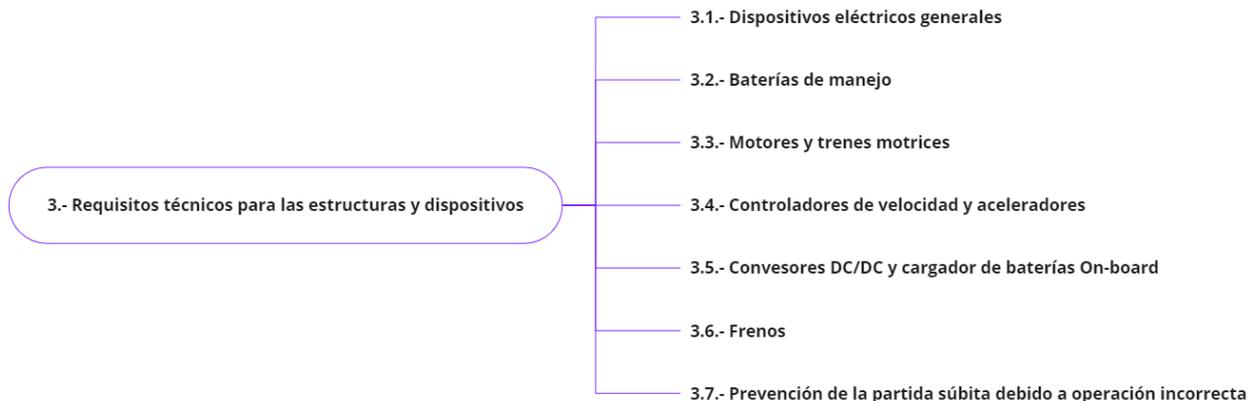


Figura 2.13: Desglose del capítulo 3 de la normativa Japonesa.

En función de estas diferencias, se debe recordar que algunas de estas normativas no se dirigen específicamente a la reconversión de vehículos, sino que su principal objetivo es regular modificaciones de vehículos de manera general, como por ejemplo en el caso de la normativa Española y por ende la especificidad en los dispositivos de reconversión es casi nula. En el caso de Francia por ejemplo, también se incorpora dentro de la normativa la opción de optar por un sistema eléctrico basado en hidrógeno, pero pese a esto no profundiza en los requisitos técnicos que esto tendría. Otro ejemplo de esto está en la propuesta normativa Chilena, que se discutirá más adelante, donde sólo se permite el uso de tecnologías basadas en el Litio.

La república Francesa al día 13 de marzo del 2020 emite un decreto orientado a la regulación de las condiciones necesarias para la conversión de vehículos con motor de combustión en vehículos con motores eléctricos y sistemas de almacenamiento energético en baterías o celdas de combustible de hidrógeno. Con esto, la República de Francia da un paso adelante frente a otros países donde todavía se está discutiendo cómo abordar la regulación de estos procesos. En el documento emitido se describe un marco normativo con definiciones y requisitos principalmente en los tres primeros capítulos como muestra la figura 2.31. En el capítulo cuatro quedan descritos los procesos de acreditación para los distintos componentes que serán utilizados en la transformación, mientras que en los capítulos siguientes se definen las interacciones que tendrán los distintos participantes de la reconversión. También se incluyen dentro de los últimos capítulos de este decreto los debidos procesos de acreditación que los fabricantes de los componentes y sub-sistemas del futuro sistema eléctrico del vehículo deben cumplir para con las autoridades en pos de mantener la vigencia de sus licencias.

Australia es otro de los países que también posee normativa asociada a la reconversión de vehículos. Esta se encuentra expresada en el documento “National Guidelines for the Installation of Electric Drives in Motor Vehicles”. Este documento está inserto dentro del “Vehicle safety bulletin 14”, que contiene diferentes capítulos asociados a modificaciones que podría sufrir un vehículo liviano y cubre tanto aspectos técnicos como administrativos. Los primeros dos capítulos de esta normativa se enfocan en temas administrativos y regulatorios, mien-

tras que los capítulos tres y cuatro son bastante definidos en materias técnicas.



Figura 2.14: Estructura general de los documentos normativos de Francia y Australia

El capítulo tres de la normativa Australiana es uno de los que presenta mayor especificidad en materias técnicas, contando con 15 subsecciones que presentan distintos requisitos técnicos en distintas materias:

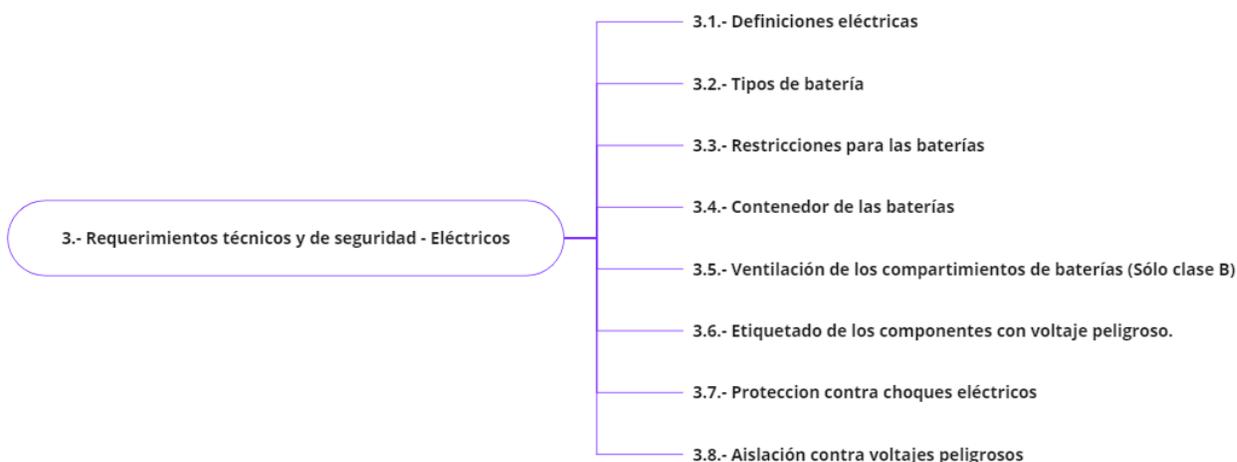


Figura 2.15: Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.

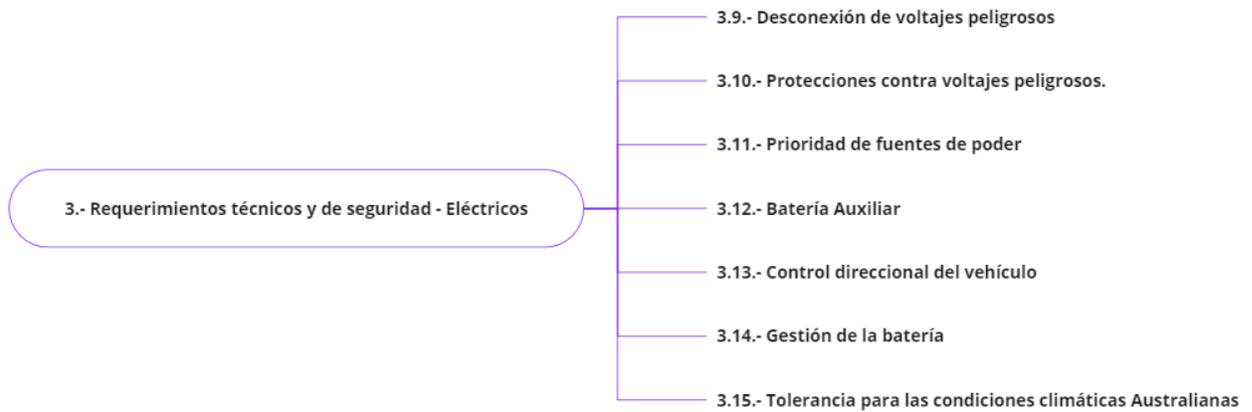


Figura 2.16: Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.

Se abordan principalmente (y de manera extensa) medidas de seguridad relacionadas con el pack de baterías del vehículo y también medidas de seguridad generales para elementos que funcionan con alto voltaje y que pueden ser potencialmente peligrosos para el usuario. El capítulo “Requerimientos técnicos y de seguridad - Mecánicos” también posee un desglose similar, pero de mucha menor embergadura:

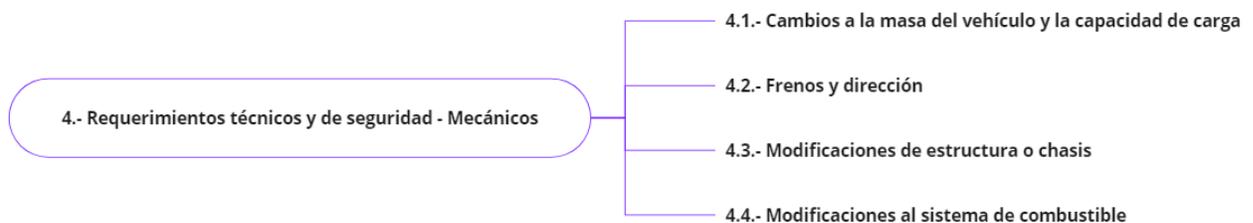


Figura 2.17: Desglose del capítulo 4 de la normativa Australiana.

Este capítulo aborda los cambios en la masa total del vehículo y la carga admisible por el mismo, además de la distribución de masa del vehículo, las modificaciones que deberán sufrir los frenos (que pueden ser de distintos tipos) para poder mantener estándares de seguridad confiables y también hace referencia tanto a los cambios en la estructura del vehículo como a las modificaciones que podría sufrir el sistema de combustible. Estos últimos dos temas son especialmente abordados en las secciones “LH Body and Chassis” y “LM Fuel systems” del mismo Vehicle Safety Bulletin 14.

Entendiendo que el desarrollo de la electromovilidad y la reconversión de vehículos se ha dado de manera desigual en los distintos continentes del mundo, la CEPAL lleva a cabo una “Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles” [24] a inicios del año 2021. Ésta propuesta se basa en la normativa existente en China, Francia, España y Chile, aunque si bien este último no posee normativa específica de reconversiones, si posee normativa asociada a la modificación de vehículos como en el caso de España. Además, considera otros elementos respecto de la homologación de vehículos en la Unión Europea como el Reglamento N°100 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU). La propuesta normativa de la CEPAL posee la siguiente estructura general:

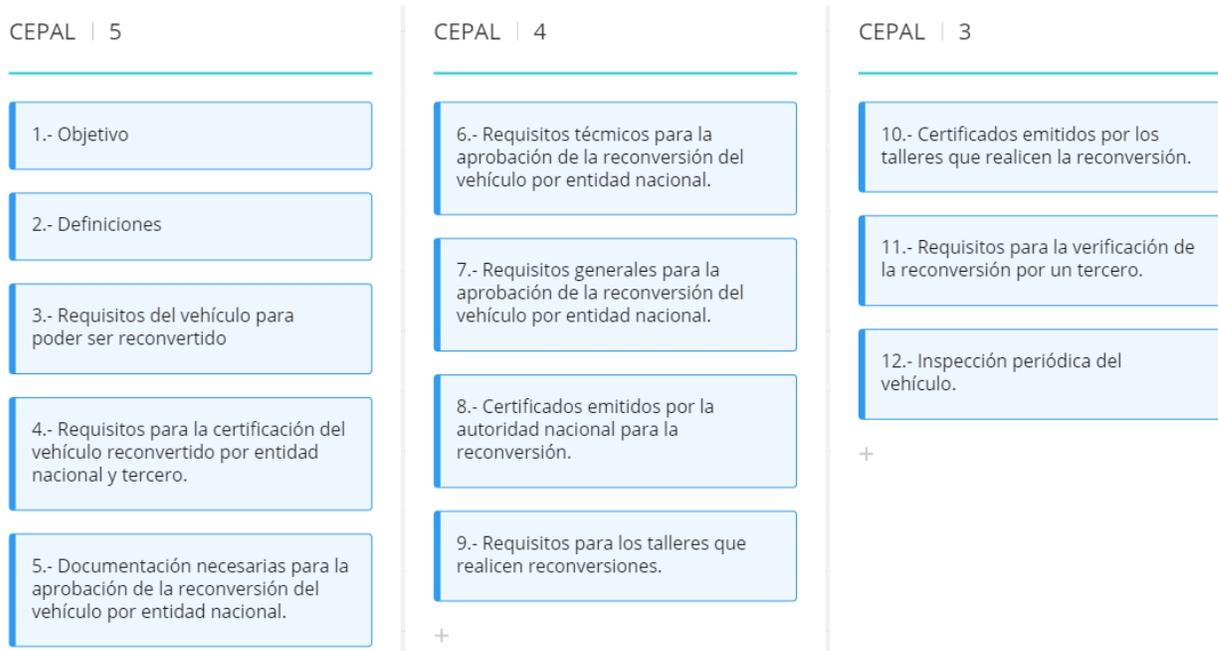


Figura 2.18: Estructura general del documento normativo propuesto por la CEPAL.

Como el mismo documento establece, los principales elementos del marco regulatorio se enfocan en cuatro actores claves como muestra la figura 2.19:

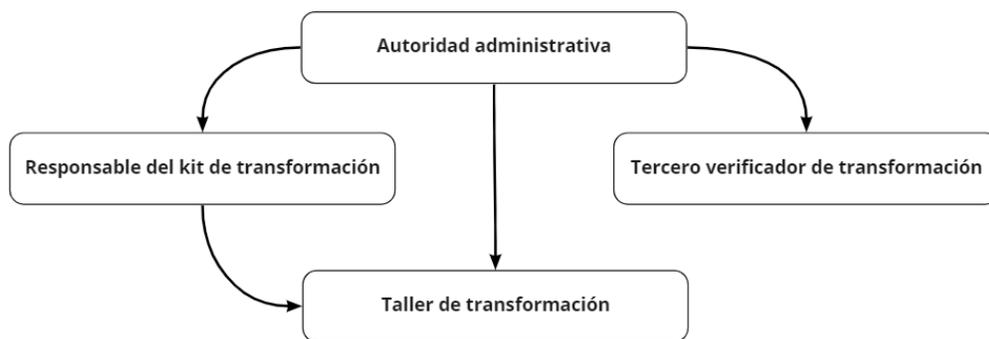


Figura 2.19: Entidades participantes de la reconversión en el marco regulatorio propuesto por la CEPAL.

2.3.2. Normativa existente a nivel nacional

Dentro de la normativa nacional, se encuentra el Decreto 145 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones que define los requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos eléctricos dentro de Chile.

Publicar este decreto significa implícitamente aceptar que los vehículos eléctricos están llegando al mercado Chileno y que además existe un riesgo inherente a circular en vehículo de estas características que difiere de los riesgos usuales de un vehículo de combustión interna. Es por esto, que se debe tomar acción para prevenir accidentes y por lo tanto deben existir medidas de seguridad específicas para este ámbito, además de equipos capacitados

para actuar rápidamente ante una emergencia que involucre este tipo de vehículos dentro del territorio nacional.

El documento hace una clara distinción entre los diferentes tipos de vehículos que incorporan motores eléctricos y por ende poseen distintas características constructivas:

- Vehículo Eléctrico
- Vehículo Híbrido
- Vehículo Híbrido Recargable
- Vehículo Eléctrico de Rango Extendido

Si bien en Chile los estándares de seguridad para un vehículo eléctrico se encuentran definidos bajo el decreto mencionado anteriormente, como se explicó en secciones anteriores la reconversión de vehículos aún no se encuentra normada y además está detenida hasta que exista una regulación del proceso que cumpla con estándares de seguridad y estándares normativos mínimos establecidos por la autoridad nacional.

El Gobierno de Chile a través de la Subsecretaría de Transportes lanza a consulta pública el documento “Reglamento que establece requisitos para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica” el día 15 de Diciembre del año 2021. Este documento tiene notorias similitudes a lo largo de su contenido con el propuesto por la CEPAL en [24]. Sin embargo, el documento propuesto posee mayor especificidad en términos de los requisitos para la conversión y también plantea otros requisitos como el uso único de tecnologías de litio en los almacenadores de energía. Define con mayor exactitud para el contexto nacional a los actores participantes de la normativa mostrada en la figura 2.19 y respecto de elementos técnicos de seguridad, se utilizan elementos pertenecientes al UN/ECE R100, la normativa China GB 18384-2020, la normativa Francesa del decreto del 13 de Marzo de 2020 y también estándares normativos de seguridad IEC.

El “Reglamento para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica” tiene como objetivo establecer los requisitos para la transformación de vehículos que quieran cambiar un tren motriz de combustión a un tren motriz eléctrico. Este reglamento aplicará para todos aquellos vehículos motorizados destinados a transporte de personas o carga con un peso vehicular bruto inferior a 3.860 kg. Además también podrán ser transformados buses o minibuses de transporte público o privado que cumplan con ciertas características dadas por los Decretos Supremos N°212 de 1992, N°80 de 2004 y vehículos regulados por el Decreto Supremo N°211 de 1995, todos del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Analizando la estructura de los documentos mencionados previamente, podemos ver similitudes y diferencias a la hora de poder establecer las líneas de las distintas normativas. Algunas normativas como la normativa en consulta pública en Chile consideran kits de reconversión específicos y que deben ser aprobados por las autoridades correspondientes, quitando libertad al usuario para poder escoger un conjunto de componentes que se adecúe a sus necesidades, como se explicaba en [13].

- 1.- Disposiciones Generales
- 2.- Principios básicos
- 3.- Requisitos técnicos
- 4.- Requisitos para la certificación del par Modelo - Kit
- 5.- De los certificados de aptitud para la transformación a propulsión eléctrica y los certificados individuales de transformación a propulsión eléctrica.

- 6.- Requisitos para los talleres de transformación
 - 7.- Plantas de revisión técnica
 - 8.- Registro nacional de vehículos motorizados
 - 9.- Control e incumplimiento
- +

- 1.- Definiciones
- 2.- Elementos y sistemas que deben cumplir con la normativa establecida
- 3.- Elementos técnicos de seguridad adicionales
- 4.- Requisitos administrativos para circular
- 4.- Proceso de homologación para fabricantes.

Figura 2.20: Estructura de la normativa en consulta pública y del Decreto 145 del Ministerio de Transportes.

Los primeros capítulos del Reglamento para transformaciones se desglosan de la siguiente manera:

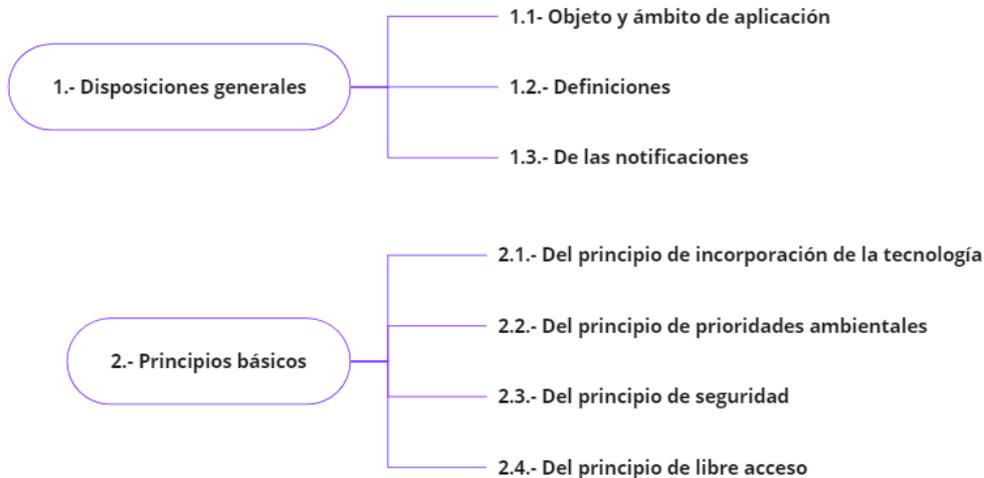


Figura 2.21: Capítulos 1 y 2 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

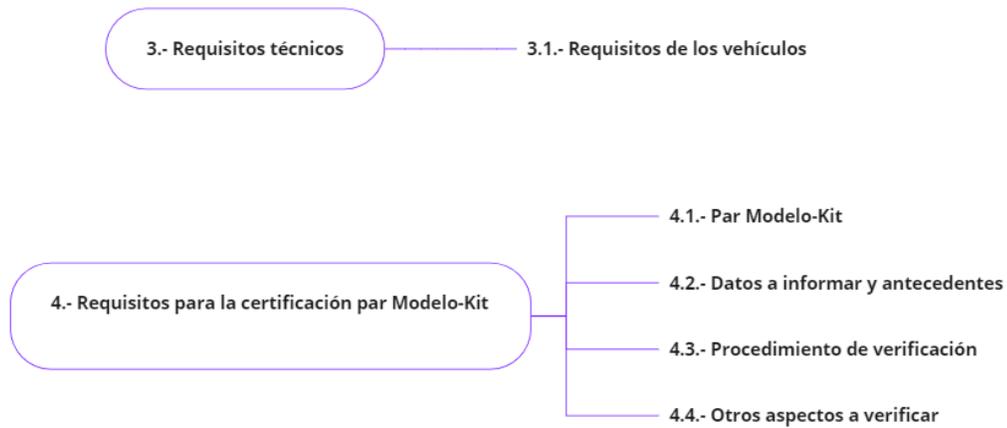


Figura 2.22: Capítulos 3 y 4 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

En el capítulo 2, “Principios básicos”, se establecen diferentes lineamientos generales que regirán a lo largo de la normativa. Además, existe un mayor detalle en el capítulo de “Requisitos para la certificación par Modelo-Kit”. En este último se establece el procedimiento y los requisitos (técnicos y administrativos) para que los kits de reconversión que se utilizarán en los vehículos sean aprobados por las entidades correspondientes. Los capítulos siguientes quedan descritos de la siguiente manera:

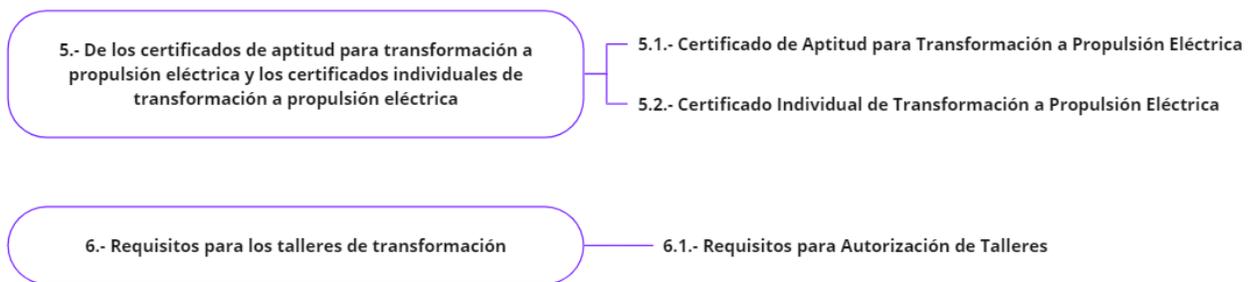


Figura 2.23: Capítulos 5 y 6 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

En estos capítulos se explicita la participación del “3CV” o Centro de Control y Certificación Vehicular, entidad que emitirá una certificación para cada kit de reconversión en la que señalará los modelos que están amparados por el mismo certificado y que por ende pueden utilizar ese componente en el proceso. Este certificado será reconocido por la autoridad como “Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica”. Así, el 3CV informará a las Plantas de Revisión Técnica sobre estos pares para su posterior aprobación.

Una vez obtenido este “Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica”, se habilita al usuario a realizar la transformación y se debe entregar un “Certificado Individual de Transformación” donde se individualice el vehículo reconvertido y los componentes del kit eléctrico utilizado en la transformación.

Por su parte, en el capítulo seis los requisitos para la autorización de talleres se dividen en tres grandes secciones:

- Personal técnico: Responsable técnico, instalador electricista, instalador mecánico.
- Infraestructura: Ventilación e iluminación así como demarcación y características de las distintas zonas de trabajo.
- Equipamiento: Herramientas eléctricas necesarias y certificados de calibración correspondientes.
- Nómina: Registro con los vehículos transformados e individualización de componentes antes y después de la reconversión.

El capítulo 7 se limita a mencionar el rol que jugará la Planta de Revisión Técnica que certifique la reconversión. El capítulo 8 por su parte menciona que se deberá incorporar al Registro Nacional de Vehículos Motorizados la modificación del vehículo. Finalmente, el capítulo 9 establece las eventuales responsabilidades en caso de fallas, omisiones o negligencias en el proceso de transformación. También define las condiciones para la suspensión de certificaciones así como la revocación de permisos para los talleres de reconversión en caso de ser necesario.



Figura 2.24: Capítulos 7, 8 y 9 del Reglamento para Transformación de vehículos propuesto por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

2.3.3. Regulaciones eléctricas en la normativa existente

La presencia del reglamento UN-ECE R100 y la norma GB 18384-2020 son elementos comunes a la mayoría de los documentos previamente estudiados. Como se mencionó anteriormente, en la normativa técnica de Japón se subdividen los requisitos asociados al área eléctrica del vehículo en:



Figura 2.25: Capítulo 3 de la normativa Japonesa.

Los primeros dos artículos del capítulo tres poseen requisitos y descripciones respecto a los dispositivos eléctricos que sean incorporados al vehículo y también requisitos respecto al pack de baterías que será utilizado en el vehículo:

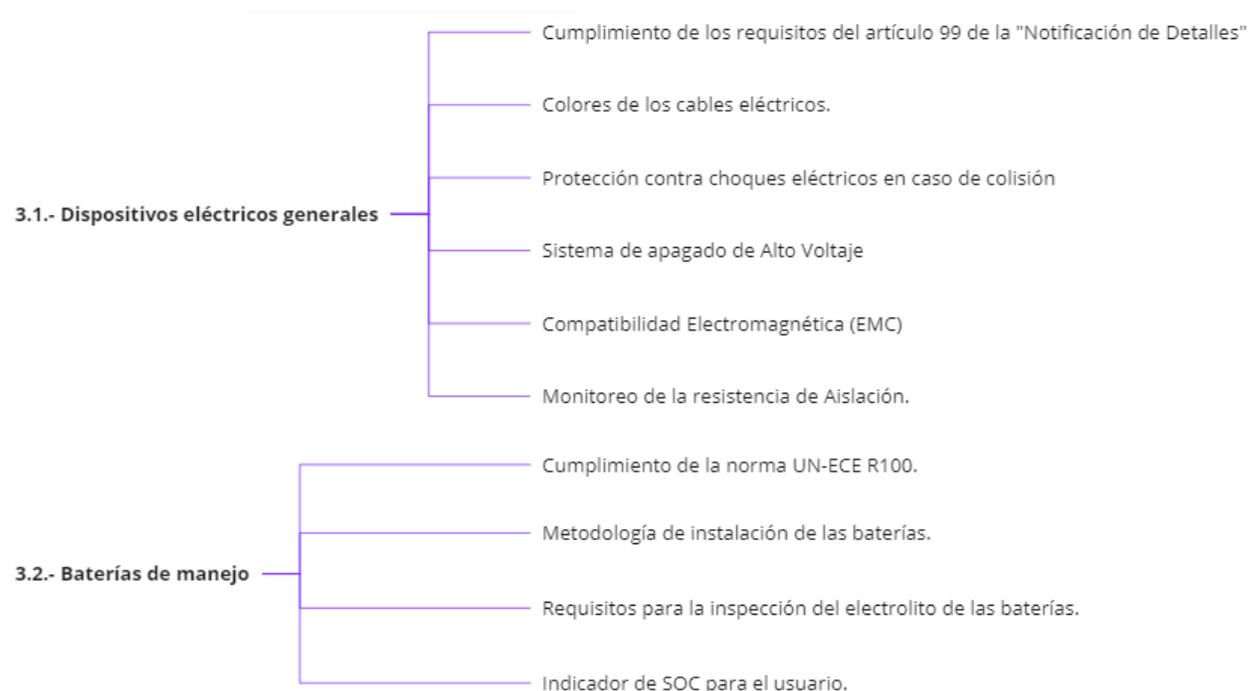


Figura 2.26: Capítulo 3.1 y 3.2 de la normativa Japonesa relativo a los dispositivos eléctricos y baterías del vehículo.

Dentro de la normativa Japonesa se espera que las baterías cumplan también con elementos de seguridad establecidos en el reglamento UN-ECE R100. En particular deberán ser

probados bajo elementos normativos del anexo número 8 del UN-ECE R100, que establece distintas pruebas para los REESS. Se explicitan también pruebas específicas para la sujeción mecánica del conjunto de baterías.

Dentro de la sección Motor y tren motriz se pueden encontrar todos los requisitos para el tren motriz nuevo. Se deben respetar características técnicas originales del sistema motriz, además de asegurar cierto nivel de impermeabilidad en los componentes junto con una correcta sujeción mecánica entre el nuevo motor y la transmisión original del vehículo.

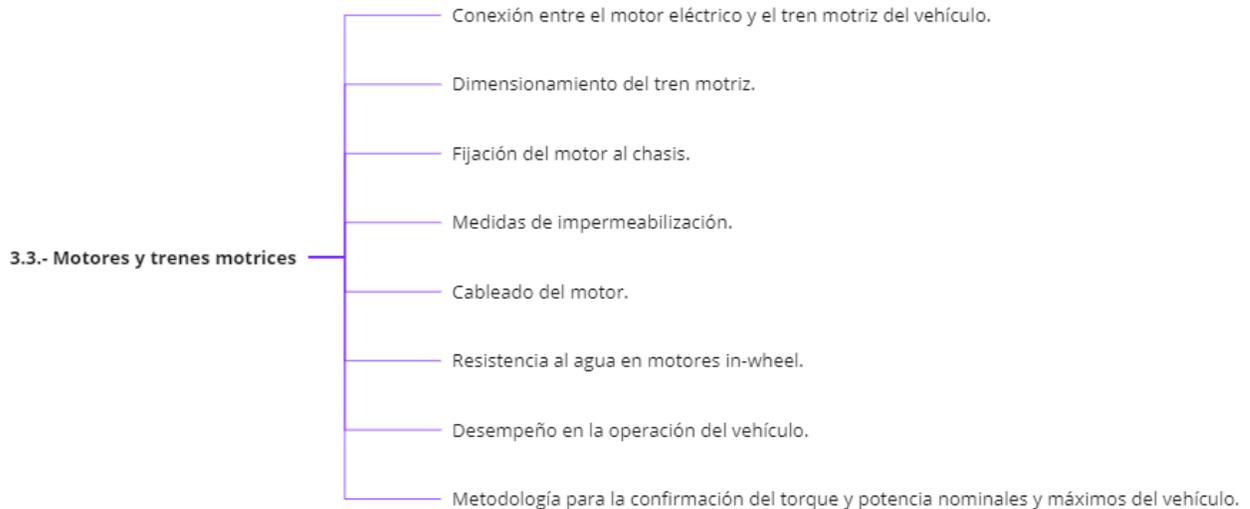


Figura 2.27: Desglose del capítulo 3.3 “Motores y trenes motrices” de la normativa Japonesa.

Las secciones 3.4 y 3.5 relativas a controladores de velocidad, aceleradores, convertidores y cargadores de baterías proponen elementos de seguridad en estas materias. Los controladores de velocidad deberán contar con elementos mínimos de seguridad en caso de fallas por alta temperatura o en caso de que la señal del acelerador se vea comprometida por algún tipo de anomalía. Los aceleradores deberán contar con un sistema mecánico que permita que una vez accionado el sensor, este vuelva a su posición original sin ningún tipo de mal funcionamiento o interferencia. Además se estipula el uso de un contactor entre el controlador y el motor.



Figura 2.28: Capítulo 3 de la normativa Japonesa.

Respecto de los convertidores DC/DC las reglas se definen principalmente para evitar la

desenergización no deseada de la electrónica del vehículo o todos aquellos elementos que funcionen con una etapa de voltaje de menor valor que el banco de baterías o los motores. Los cargadores on-board deberán contar con elementos mínimos de seguridad que eviten sobretensiones y que permitan el correcto funcionamiento del pack de baterías del vehículo en todo momento.

La sección 3.6 establece los requisitos para vehículos con frenos servo-asistidos que consideren el uso de una bomba de presión auxiliar para sopesar el cambio del motor. Así mismo, se estipula que el freno regenerativo debe funcionar como sistema alternativo al sistema mecánico de frenos y nunca reemplazarlo completamente. El sistema de regeneración también deberá accionar la luz de freno tal y como lo hace regularmente el sistema mecánico.

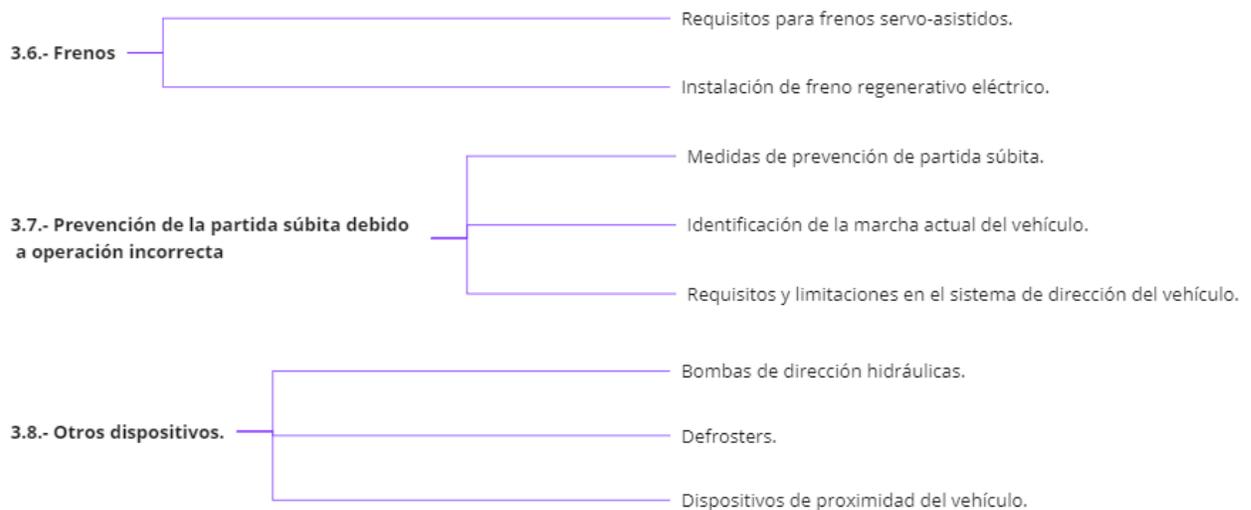


Figura 2.29: Capítulo 3 de la normativa Japonesa.

La partida súbita debe evitarse como medida de seguridad y al igual que en los vehículos más nuevos, se debe iniciar la operación del vehículo con la marcha en neutro y con el pedal de freno, o algún mecanismo similar que evite que el vehículo inicie su movimiento al momento en que se enciende. La marcha del vehículo debe ser fácilmente identificable por el conductor al mismo tiempo que la reversa del vehículo debe ser ajustada correctamente según las modificaciones que se hayan llevado a cabo al momento de transformar el vehículo.

La normativa Australiana posee los requisitos técnicos del área eléctrica en el capítulo 3:

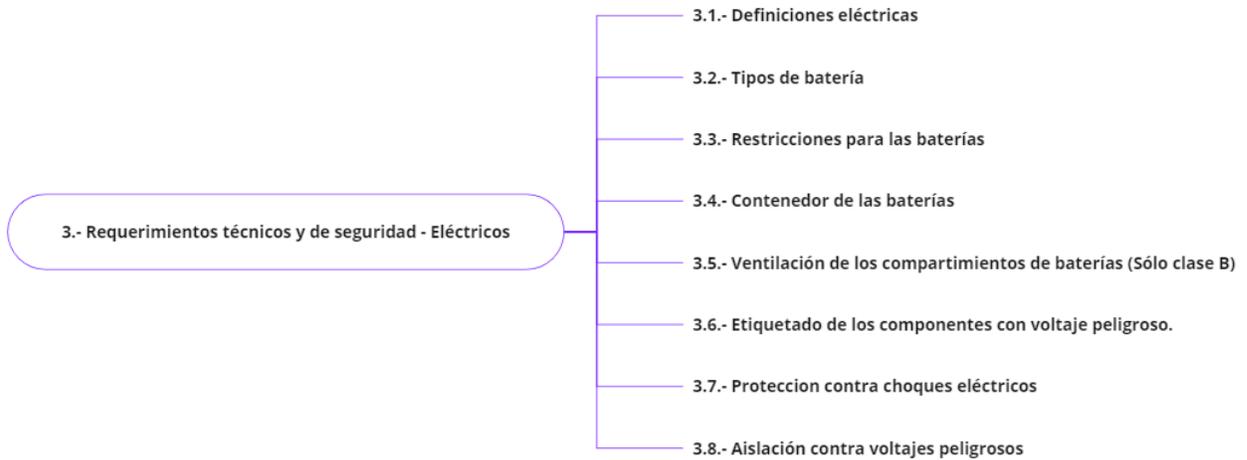


Figura 2.30: Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.

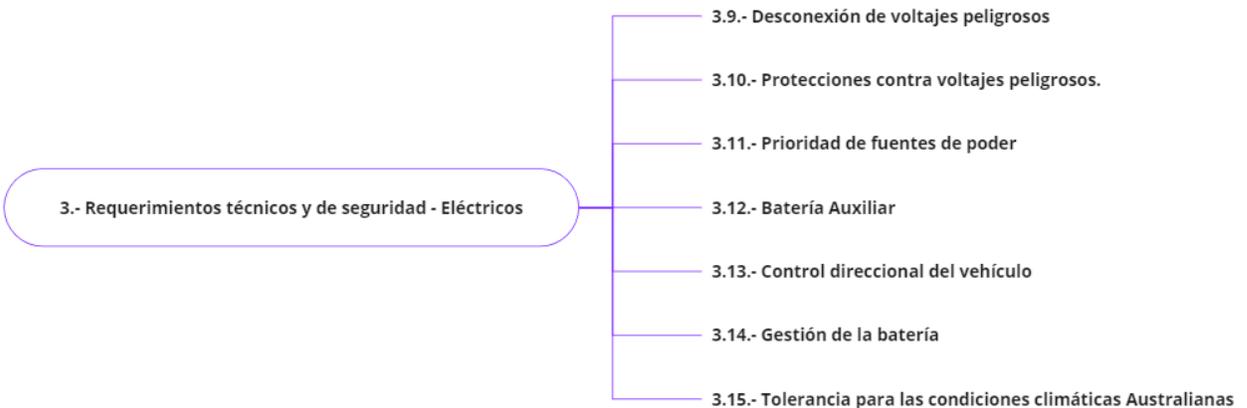


Figura 2.31: Desglose del capítulo 3 de la normativa Australiana.

En los primeros capítulos existe una definición clara de elementos de alto y bajo voltaje además de clasificar las distintas baterías en dos categorías distintas: Aquellas que contienen un líquido derramable y aquellas que no. Se estipulan además diferentes medidas de seguridad respecto a la contención de las baterías en el vehículo, incluyendo ventilación, etiquetado de los compartimientos y el marcado de elementos de alto voltaje. Se establece también la forma de aislar los elementos de alto voltaje además de su desconexión, para esto el NCOP - Bulletin 14 establece un circuito estándar que puede ser utilizado como muestra la siguiente figura:

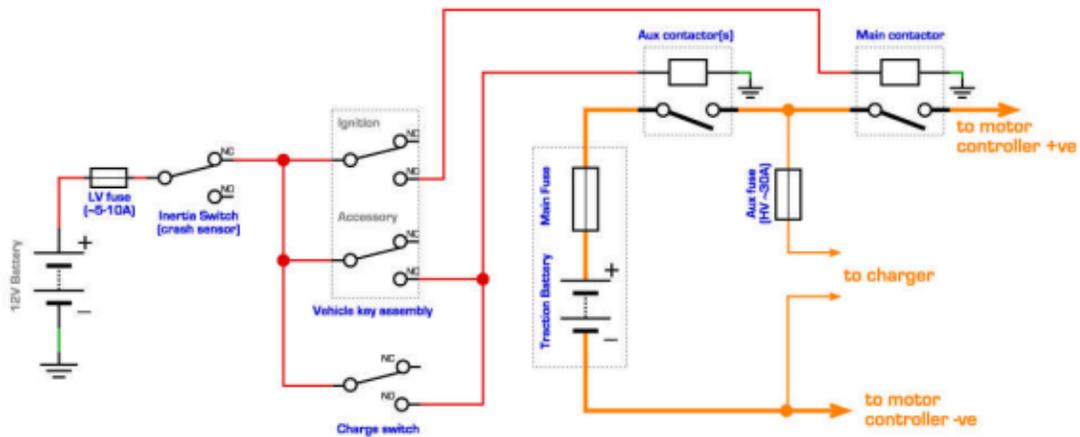


Figura 2.32: Circuito estándar para las diferentes etapas de voltaje propuesto por el NCOP - Bulletin 14.

Cada vehículo deberá contar con elementos de seguridad mínimos establecidos en la sección 3.11 que corresponde a protecciones contra voltajes peligrosos. Aquí también existen requisitos específicos sobre la ubicación del fusible en función del tipo de baterías que se utilicen.

Respecto a la sección 3.11 la energización de múltiples componentes deberá estar implementada de tal manera de que la utilización de luces, frenos o limpia parabrisas sea independiente de la descarga normal de las baterías del vehículo. Para esto, se utiliza exige una batería auxiliar de 12[V] que permita garantizar el correcto funcionamiento de estos componentes. En la sección 3.13 se establece que por ejemplo la dirección del vehículo debe ser accionada de tal manera que no permita el cambio de marchas a reversa a una velocidad de más de 5 km/h.

Finalmente en la sección 3.14 y 3.15 se establece primero que el pack de baterías debe tener algún método de balanceo y monitoreo que constantemente verifiquen el funcionamiento de las baterías dentro del rango apropiado de valores además de que los dispositivos eléctricos deben funcionar en un rango de $-10^{\circ}C$ y $50^{\circ}C$.

La CEPAL propone dentro de su documento de Retrofit, en el artículo 6, los siguientes elementos o requisitos en el área eléctrica:

- Protección contra choques eléctricos.
 - Protección contra el contacto directo.
 - Protección contra el contacto indirecto.
 - Resistencia de aislamiento.
- Sistema de acumulación de energía eléctrica REESS que cumpla con la norma UN-ECE R100 o la norma GB 18384-2020.
- Elementos de señalización asociados a la seguridad funcional del vehículo.

Estos puntos se enfocan principalmente en la seguridad asociada a las baterías y en contraste con el caso Japonés no presentan detalles para otros componentes eléctricos del vehículo.

El “Reglamento para Transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica” establece dentro de su Artículo n°11 y de manera muy similar al documento propuesto por la CEPAL:

- Protección contra descargas eléctricas y sistema a bordo para la supervisión de la resistencia de aislamiento.
 - Protección contra contacto directo
 - Protección contra contacto indirecto
 - Resistencia de aislamiento
- Sistema de Acumulación de Energía Recargable (REESS) acorde a las normas UN-ECE R100 o GB 18384-2020.
- Existencia de un Sistema de Acoplamiento de Carga con requisitos específicos.
- Existencia de un dispositivo de corte o apertura por sobrecorriente.
- Existencia de un dispositivo de monitoreo y señalización de aislación permanente.

En estos dos últimos documentos se asume que las modificaciones mecánicas que tendrá el vehículo estarán debidamente realizadas por el taller de reconversión ya que eventualmente tendrán que enfrentarse a la certificación de las Plantas de Revisión Técnicas o el ente equivalente según sea el país de reconversión. Por lo mismo, gran parte de estas normativas se enfocan en la parte administrativa del proceso de transformación y agregan requisitos sobre las baterías del vehículo en términos de seguridad sin profundizar en requisitos del índole mecánico. Existen elementos mecánicos que se consideran dentro de las normativas, pero que responden a cambios a nivel general del vehículo como la máxima carga admisible por eje y también la distribución del peso luego de la transformación.

La normativa Francesa para la reconversión de vehículos eléctricos está inserta dentro del Decreto 13 emitido en marzo del 2020 “Orden del 13 de marzo relativo a las condiciones para la conversión de vehículos eléctricos con motor de combustión en motores eléctricos a batería o pila de combustible”.

El público objetivo de esta legislación es todo aquel fabricante, instalador y usuario que pretenda convertir o utilizar un vehículo modificado que originalmente tuviera un motor de combustión interna y ahora sea eléctrico. En esta normativa se encuentran las disposiciones técnicas y administrativas para aprobar una conversión de vehículos en el sentido previamente expuesto.

Se define también en esta normativa el término de “Dispositivo de conversión eléctrica”. Esto define cualquier dispositivo que permite transformar un vehículo con MCI en vehículo eléctrico ya sea por baterías o celda de combustible (hidrógeno) y que incluye al menos:

- Un sistema de propulsión compuesto por una máquina eléctrica y el convertidor de potencia asociado.
- Un paquete de baterías.
- Una interfaz con la red eléctrica para carga de las baterías.
- De ser necesario, un conversor de energía química en energía eléctrica o viceversa.
- Un depósito de hidrógeno y todos sus componentes asociados que funcionen con hidrógeno pertenecientes a un sistema de hidrógeno regulado bajo la normativa respectiva, según corresponda el caso.
- Cualquier otro subsistema necesario para el correcto funcionamiento del vehículo.

Define también esta normativa los requisitos administrativos para la correcta conversión de un vehículo con MCI a un vehículo eléctrico. Se considera la incorporación de un “dispositivo de conversión eléctrica” bajo la definición previa y se define como responsable de autorizar la conversión al Centro Nacional de Homologación de Vehículos. Además, se encuentran en este apartado las responsabilidades y limitaciones a las que se verán enfrentados los instaladores y el fabricante de vehículos, así como la interacción que deberán tener entre ellos en términos administrativos.

Respecto de los requisitos técnicos que establece la normativa, estos van orientados a resguardar la seguridad y correcto funcionamiento del sistema eléctrico y motriz que tendrá el vehículo. De manera general, se estipulan diferentes incisos que resguardan la integridad original del vehículo como por ejemplo que la distribución de masas no varíe sustancialmente, el sistema de advertencia del vehículo no se accione indebidamente o que los nuevos componentes no pueden ser sometidos a una manipulación no autorizada.

Las disposiciones más importantes de este reglamento pueden ser resumidas en:

1. La actualización de los sistemas eléctricos debe cumplir con las normas obligatorias para la homologación de vehículos.
2. Los dispositivos deben garantizar el cumplimiento inicial de los requisitos técnicos pertinentes de los vehículos en que se instalen.
3. La potencia del tren motriz debe estar dentro del rango cerrado del 65 %-100 % del motor de origen. Para las categorías L1e a L5e se estipula que puede ser 40 % a 100 %.

Las pruebas necesarias para verificar la calidad e integridad del sistema eléctrico del vehículo reconvertido se encuentran definidas bajo estándares UNECE y CEPE. Dado que estos estándares establecen que sus requisitos deben cumplirse luego de 3 años de instalación en el vehículo y que la normativa es relativamente nueva, se solicita un cálculo de resistencia de los anclajes de baterías en distintos escenarios para poder sustentar técnicamente la conversión de manera inicial.

2.4. Proyecto LilEV

2.4.1. Características principales del proyecto

El proyecto LilEV se encuentra activo desde el año 2012 cuando se realiza la conversión inicial del vehículo. Esto se realiza por parte de Juan Alejandro Vargas en su memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [23]. En este documento están las etapas de diseño, modelación e implementación de la conversión del vehículo además del desarrollo de un controlador de motor de inducción por parte Vargas.

Dentro de los elementos más esenciales de esta conversión es la implementación de un banco de baterías de ion-litio, tecnología que en la época no era ampliamente utilizada en electromovilidad y cuyo banco alcanza una capacidad de 17,82 kWh con un voltaje de 297[V], lo que permitía una autonomía cercana a los 70 kilómetros en un tiempo de carga de aproximadamente 4 horas con el cargador de baterías implementado. Además el vehículo fue convertido con un motor Siemens de 42 HP nominal y una potencia máxima de 90 HP lo que permite que sea utilizado dentro de un rango considerable de escenarios.

Un punto importante que se debe destacar y analizar dentro del trabajo realizado por Juan Vargas es también el acoplamiento del motor de inducción dentro del tren motriz original del vehículo. En esta instancia se realizó la extracción del motor a combustión del vehículo y se reemplazó por el motor eléctrico previamente descrito, pero no se dejó registro acerca de las características técnicas de esta modificación. Sin embargo, dada la experiencia previa de [22] se puede esperar que la adaptación del acople del motor de inducción se haya realizado bajo un esquema similar a [22].

Sí se logra caracterizar durante las pruebas de laboratorio el motor de inducción utilizado en el vehículo a través de la prueba de circuito abierto y de rotor bloqueado. Los valores obtenidos durante este proceso fueron:

$$r_1 = 2.1[\Omega] \quad (2.1)$$

$$r_2 = 1.949[\Omega] \quad (2.2)$$

$$X_1 = X_1 = 3.79[\Omega] \quad (2.3)$$

Se definen en este trabajo también algunos de los componentes a utilizar dentro de la conversión como:

- Battery Management System.
- Cargador de baterías On-Board.
- Panel de alimentación general.
- Conversor DC-DC para electrónica.
- Variador de frecuencia.
- IGBT's utilizados en el módulo de potencia.
- Controlador de tracción diseñado por Vargas.

Uno de los procesos más importantes en este trabajo fue el diseño e implementación de un controlador de tracción para el motor de inducción del vehículo. Esto se hizo separando la etapa de potencia del controlador de la etapa de control. Así, con la utilización de los IGBTs POW-R-PAK PP300T060 se logró diseñar la etapa de control que permitía sincronizar los disparos de las compuertas y posteriormente alimentar el motor en la secuencia y magnitud establecida para obtener el movimiento del rotor. Se logra implementar un control escalar (V/f) correctamente pero los resultados esperados para el movimiento del vehículo fueron deficientes dada la respuesta poco dinámica del motor y por lo mismo se desarrolla parcialmente (pero no se logra implementar) un control por orientación de flujo.

En el año 2016 José Cáceres realiza el diseño, construcción e implementación de un controlador de tracción que funcionará bajo un esquema de control por orientación de flujo y un nuevo controlador general para el vehículo encargado coordinar distintos elementos claves para la operación normal del LilEV [25]. Si bien un grupo de ingenieros del Centro de Energía realizó esta modificación previa al trabajo de Cáceres en 2016, el nivel de ruido electromagnético que existía al operar el control por orientación de flujo generaba fallas continuamente e interrumpía la comunicación con otros dispositivos.

Previo al trabajo de Cáceres en 2016, el esquema eléctrico del vehículo era similar al que se muestra en la figura 2.33:

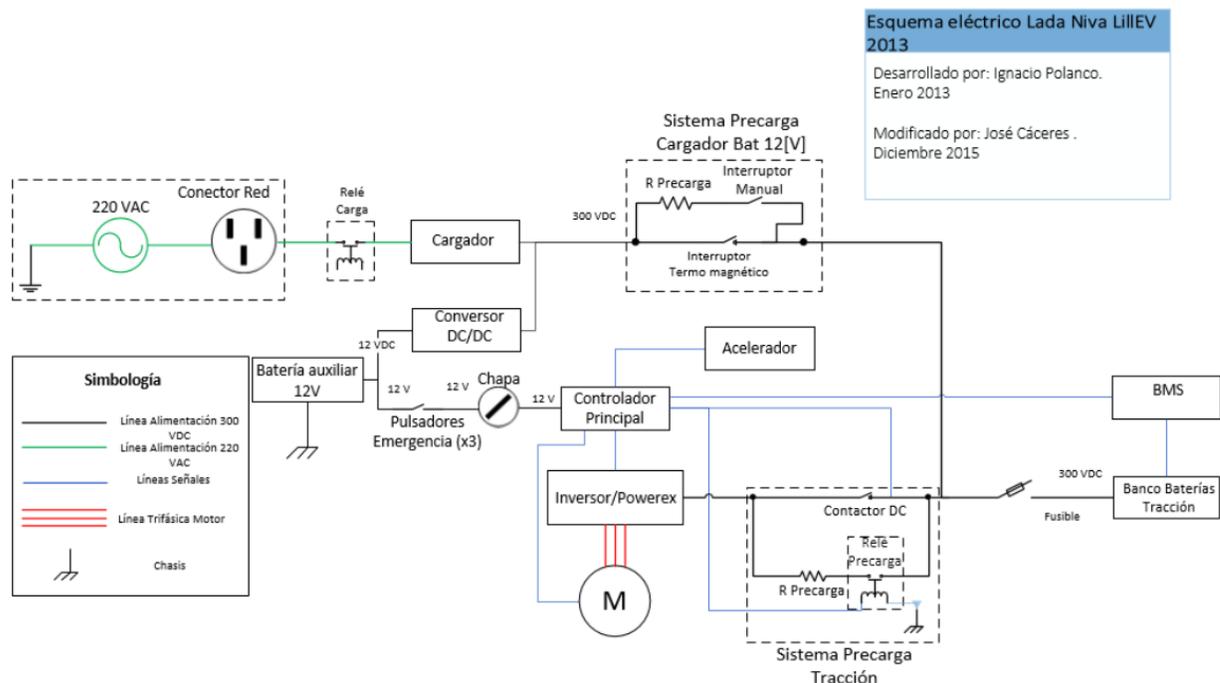


Figura 2.33: Diagrama funcional del vehículo LilEV al año 2015

Las principales modificaciones vienen directamente ligadas al controlador principal y a la separación de este en dos controladores diferentes: Un controlador de tracción y un controlador general del vehículo.

Para implementar el controlador de tracción se utiliza un control PI dado que se modela la planta del motor de inducción y se diseña de tal manera que cumple con el criterio del lugar

geométrico de la raíz además de incorporar una estrategia SVM que mejora el desempeño del motor. El controlador general del vehículo maneja otras variables asociadas al funcionamiento del auto:

- Monitoreo de baterías.
- Operación de contactores para encendido.
- Interfaz con el usuario.
- Control de fallas.
- Monitoreo del sistema de tracción y control.
- Coordinación de distintos subsistemas dentro del vehículo.

Finalmente los controladores son sintonizados (especialmente el controlador de tracción) y son validados con pruebas de laboratorios y prueba de campo, donde el vehículo LilEV es probado fuera del recinto universitario logrando moverse dentro de la ciudad sin mayores problemas.

Los elementos contituyentes del sistema eléctrico que se pueden encontrar dentro del vehículo figuran en la imagen 2.34.

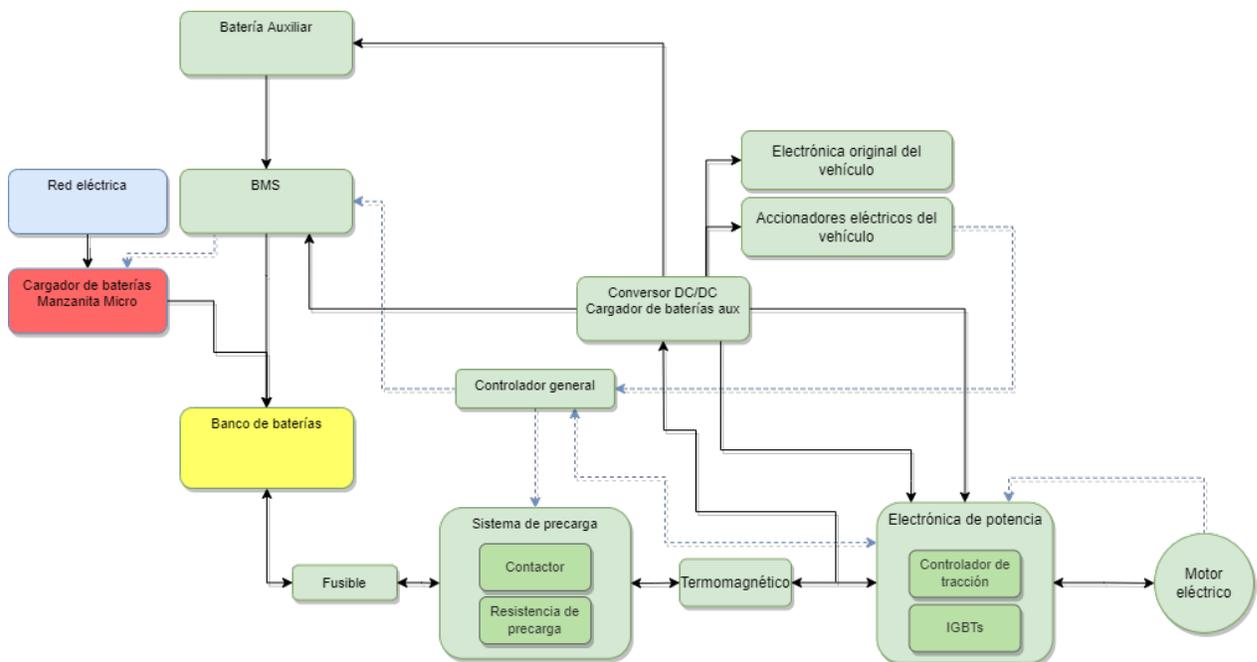


Figura 2.34: Componentes básicos del LilEV

Si bien los trabajos previos fueron realizados con éxito, el proyecto dista en gran medida de ser apto para tránsito en la vía pública de manera segura y confiable. Es por esto que se propone la modificación de algunos elementos particulares que permitan cumplir eventuales estándares nacionales de seguridad y así brindar la oportunidad de contar con un vehículo eléctrico apto para circulación en territorio nacional.

Capítulo 3

Propuesta metodológica

3.1. Propuesta general

El trabajo de título se estructura bajo dos áreas de trabajo paralelas que se retroalimentan constantemente para producir un resultado coherente, en función de los objetivos propuestos.

En primera instancia, existe un área de trabajo que está relacionada con la experiencia técnica y práctica del vehículo LilEV, que incorpora elementos como los procesos de reconocimiento de componentes y diagnósticos de estado de los mismos como así también incorpora la experiencia de recuperación del vehículo.

La segunda área de trabajo está directamente relacionada con la propuesta del protocolo de validación de reconversiones y el estudio normativo que conlleva la realización del mismo.

Estas dos ramas de trabajo se retroalimentan constantemente y finalmente se unen en el caso de aplicación donde se evalúa la reconversión del vehículo LilEV para determinar si es o no una conversión que podría ser homologada bajo los criterios normativos establecidos y el protocolo propuesto. Además, se espera poder determinar las modificaciones y aristas de trabajo que permitirán que el vehículo sea apto para la circulación en el territorio nacional en caso de que no cumpla con lo requerido.

Finalmente se propondrán diferentes acciones de mejora que puedan afectar el desempeño del vehículo, contribuyan a medidas de seguridad importantes o que permitan descartar elementos que compliquen el proceso de reconversión en demasía y no faciliten la adopción de este tipo de tecnologías.

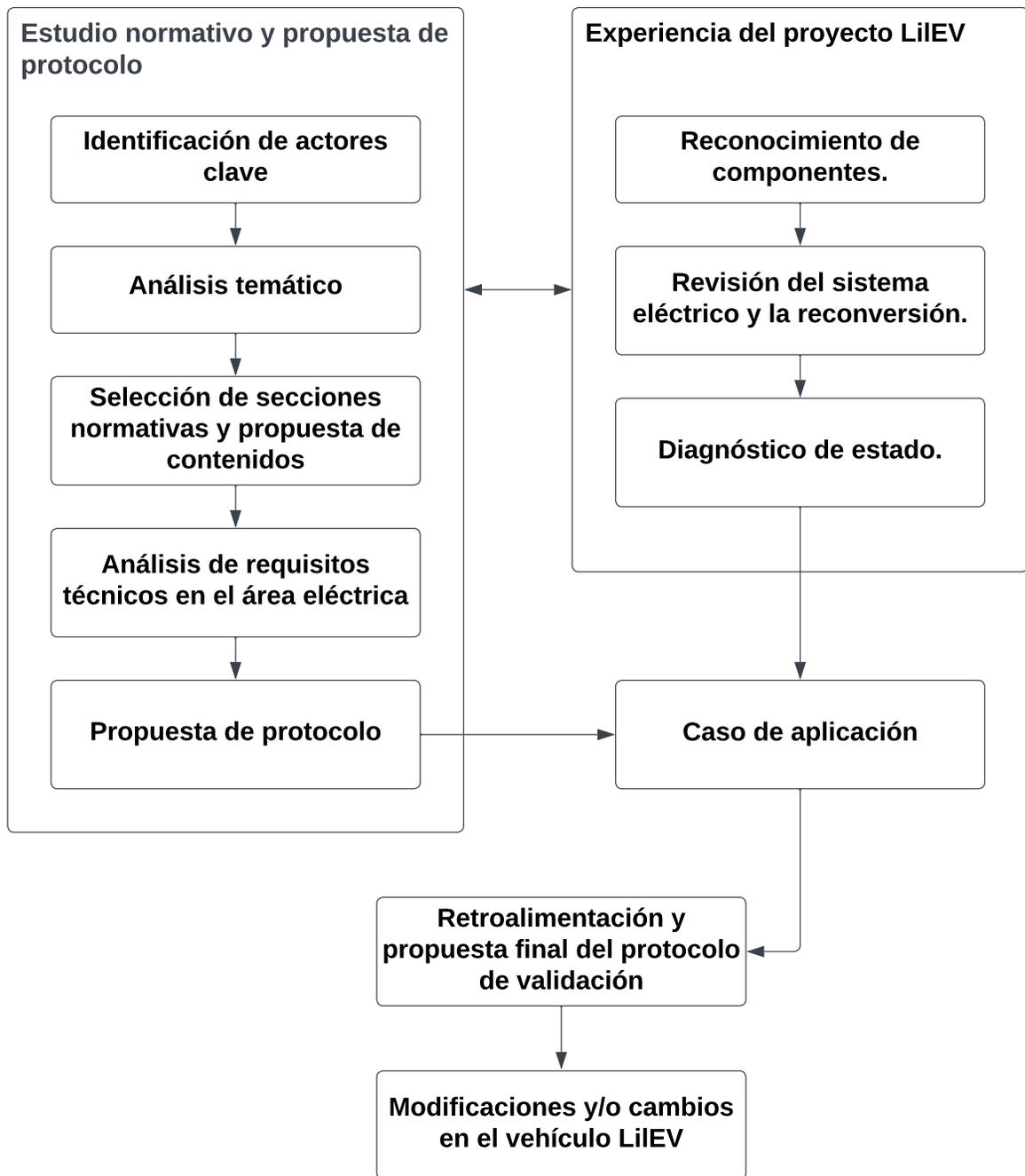


Figura 3.1: Propuesta metodológica del trabajo de título.

Estas distintas etapas se detallarán en las siguiente secciones del capítulo.

3.2. Estudio normativo

En primera instancia se requiere establecer claramente el contexto de o estado actual de este tipo de procesos en el país de aplicación. No será lo mismo aplicar o construir un marco normativo en un país como Chile que en un país del continente Africano o Asiático. Diferentes propuestas normativas deberán responder a diferentes realidades. Por esto mismo, se desea proponer una guía general que permita construir y aplicar estos protocolos en diferentes países del mundo.

La determinación de los actores claves dentro del país de aplicación jugará un rol fundamental para la construcción de un protocolo de validación de reconversiones. Esto permitirá entender y establecer las diferentes responsabilidades al momento de reconvertir vehículos al mismo tiempo que facilitará la comunicación entre los diferentes actores para lograr un proceso más expedito.

De los documentos normativos revisados y el reglamento UNE-CE R100 se propone la realización de un análisis temático que permita establecer similitudes y diferencias en la estructura general de los documentos. Posterior a esto, se realizará una propuesta de contenidos que permita recopilar elementos de los documentos e incorporar posibles áreas de trabajo en un nuevo protocolo de reconversiones.

Se realizará un análisis en detalle de los contenidos normativos asociados al área eléctrica y que también permitan identificar elementos utilizados en las distintas normativas para posteriormente poder establecer una selección de criterios y elaborar una propuesta de contenidos propia del área. Un caso de aplicación como lo es el vehículo LilEV permitirá retroalimentar el trabajo previamente realizado para incorporar elementos nuevos que propongan algún tipo de aporte.

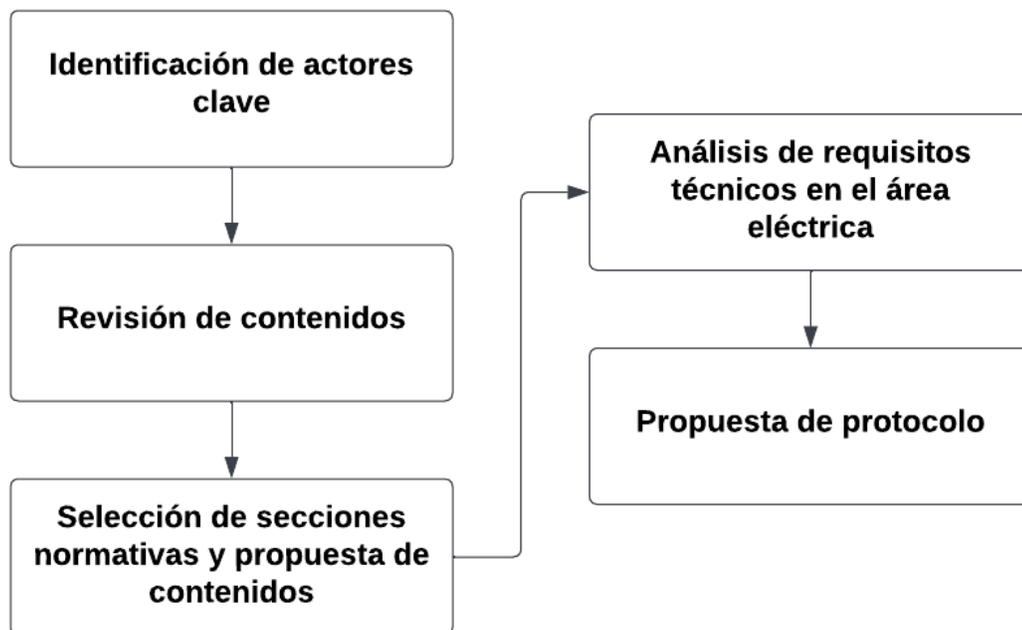


Figura 3.2: Propuesta de la sección de estudios normativos.

1. Identificación de actores clave.

La identificación de actores clave se deberá realizar en función de cada realidad o país donde se pretenda aplicar un protocolo normativo de estas características. Se deberán incorporar registros nacionales de vehículos, de modificaciones a estos mismos, plantas de revisión técnicas o similares, además de ministerios de transportes o equivalentes de ser necesario.

2. Análisis temático.

La revisión de contenidos de los documentos normativos permitirá distinguir elementos comunes y también diferencias que puedan ser consideradas en una futura propuesta de reconversión. Existe una variedad de elementos incluidas a lo largo de las distintas normativas que responde a los diferentes objetivos de las mismas. Las normativas propuestas por Francia y España no consideran requisitos técnicos eléctricos en detalle a diferencia de países como Japón, Australia o el Reglamento para transformación de vehículos en consulta pública en Chile. Sin embargo, muchas de estas normativas presentan elementos administrativos distintos y que podrían ser de interés.

3. Selección de secciones normativas y propuesta de contenidos.

Los elementos o secciones que se seleccionarán deberán responder a un criterio de selección establecido posterior a la revisión de contenidos. Se deberán considerar elementos importantes que sean transversales a las distintas normativas pero también elementos particulares que puedan beneficiar el proceso de reconversión en el contexto nacional o de aplicación. Posteriormente a la selección de secciones normativas se realizará una propuesta de contenidos que permitirá discutir con mayor detalle el análisis de los requisitos técnicos en el área.

4. Análisis de requisitos técnicos en el área eléctrica.

Los requisitos técnicos en el área eléctrica deberán ser revisados, analizados y seleccionados para poder asegurar que el proceso de reconversión sea llevado a cabo de manera segura, confiable y que no complique el proceso de reconversión en demasía para poder así promover este tipo de tecnologías.

5. Propuesta de protocolo.

La propuesta de protocolo deberá responder a los elementos previamente revisados en la literatura, pero también deberá incorporar parte de los lineamientos generales que propone el Reglamento para Transformación de Vehículos Propulsados por Motor de Combustión Interna. Estos principios deberán ser respetados ya que responden a elementos medioambientales claves y también guiarán el trabajo a establecer parámetros de seguridad y funcionamientos acordes a la misma realidad nacional.

3.3. Experiencia del proyecto LilEV

La experiencia práctica del proyecto LilEV se concentra principalmente en tres elementos claves:

1. Reconocimiento de componentes.

El reconocimiento de componentes es llevado a cabo a través de inspecciones visuales, recopilación de documentos técnicos existentes asociados al proyecto y la revisión de literatura en trabajos de título que involucraron cambios principalmente al sistema eléctrico del vehículo.

2. Análisis funcional del sistema eléctrico y la reconversión.

Se realiza un análisis funcional del sistema eléctrico donde se determina una estructura básica de los distintos componentes del vehículo y la relación que comparten. En algunos casos la relación es principalmente para la transmisión de energía como lo es el caso del conjunto baterías, controlador y motor eléctrico, pero también puede ser para la transmisión de datos que permitan el control de estos elementos como es el caso de los sensores del motor con el controlador del mismo y también el controlador general del vehículo.

3. Diagnóstico de estado de los componentes y del vehículo.

Para los componentes que se requiera, se realizará un diagnóstico de estado que permita determinar si es factible utilizarlos nuevamente o si se requiere nuevos elementos para poder realizar la restauración funcional del sistema eléctrico del vehículo.

3.4. Caso de aplicación.

El caso de aplicación de la propuesta de protocolo se realizará en el vehículo Lada Niva del CE. El vehículo LilEV ya cuenta con algunas modificaciones que deberán ser revisadas y regularizadas para poder asegurar que el vehículo cumpla con la nueva propuesta además de proveer una experiencia práctica que vislumbrará áreas de mejoras para el trabajo realizado.

3.5. Retroalimentación y propuesta final.

La retroalimentación del trabajo se deberá llevar a cabo posterior a la realización del caso de aplicación. De este trabajo se deberán recoger distintas experiencias que permitan complementar la propuesta de protocolo realizado previamente en las secciones anteriores.

Capítulo 4

Implementación de la metodología y caso de aplicación

4.1. Estudio normativo

El trabajo se aplicará sobre el contexto nacional utilizando como base el Reglamento para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica. Este reglamento ya considera a los distintos actores nacionales que participarán de este proceso como el 3CV o las Plantas de revisión técnica además de incorporar elementos de la Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad de la CEPAL y otras normativas.

4.1.1. Identificación de actores claves

Los diferentes actores claves del contexto nacional se encuentran estipulados en el reglamento para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica.

En el título VI respecto a los talleres de transformación y el personal técnico requerido se menciona a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

En el título VII se menciona el control técnico de los vehículos a través de las Plantas de Revisión Técnica, además de una certificación con un sistema en conjunto al 3CV.

En el título VIII aparece el Registro Nacional de Vehículos Motorizados, registro en que deberán anotarse las modificaciones y alteraciones del vehículo.

En el título IX sobre Control e incumplimiento se hace referencia a la Subsecretaría de Transportes en relación a la revocación de talleres.

En otros títulos del documento se mencionan reglamentos del Ministerio de Hacienda relativos a la adquisición de vehículos en zona franca y su elegibilidad para el proceso de reconversión, además de mencionar al Ministerio de Justicia y al Ministerio Público respecto a la mal utilización y/o falsificación de documentos.

4.1.2. Revisión de contenidos

Al revisar la normativa Española, la normativa Francesa y el documento en consulta pública Chileno, podemos ver existen diferencias sustantivas respecto al contenido pero que de manera general se pueden clasificar dentro de las mismas categorías. Por ejemplo, toda tarea que venga luego del proceso técnico de la reconversión del vehículo, en general, se enmarca dentro de la categoría de “Autorización de la reconversión, documentos, trámites y certificados” como es el caso de la autorización de los conjuntos funcionales de la normativa Española, el punto 5 relativo a certificaciones de la consulta pública Chilena o los puntos 4 a 7 de la normativa Francesa.

Respecto a la reconversión del vehículo primero se definen en todas las normativas los objetivos, el ámbito de aplicación y definiciones respecto a la terminología que se usará en los documentos. Esto incluye definiciones de tanto elementos técnicos del área eléctrica como de los distintos documentos que se utilizarán. Los requisitos técnicos por su parte pueden variar en profundidad y ámbito de acción. Existen requisitos asociados al área eléctrica, al área mecánica y también a elementos administrativos de la reconversión como permisos o documentación a presentar frente a las autoridades competentes. Esto también aplica para la normativa Japonesa o Australiana que poseen una estructura general similar pero con distinto nivel de profundidad o énfasis en algunos puntos sobre todo en el área técnica.

Bajo este tipo de diferencias, pero también considerando los lineamientos generales de las distintas normativas, es posible crear categorías generales donde se consideren todos los elementos descritos por las mismas. Todos los documentos se centran de manera general en cuatro grandes aspectos, con diferencias principalmente en la profundidad y especificidad de los contenidos:



Figura 4.1: Ejes propuestos para el análisis de contenidos

Las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 muestran los diferentes contenidos propuestos por las normativas revisadas y la asociación con los ejes previamente presentados. En la normativa Española existe una clara distinción entre objetivos, ámbito de aplicación y definiciones, mientras que en el reglamento Chileno varios de estos se ven mezclados en el título primero de disposiciones generales.



Figura 4.2: Categorización de los distintos contenidos en los ejes propuestos.

Así mismo, existe similitud entre los elementos asociados a las responsabilidades, garantías y sanciones entre las distintas normativas. La normativa Española propone los capítulos ocho, nueve y diez que van directamente relacionados con las inspecciones técnicas de los vehículos, los requisitos para los servicios técnicos de reformas y el régimen sancionador que se aplicará.

Las inspecciones técnicas de los vehículos se pueden asociar directamente a el capítulo siete del reglamento Chileno donde se habla claramente sobre el rol de las Plantas de Revisión Técnica. Por su parte, la normativa Francesa hace mención al Centro Nacional de Homologación de Vehículos en el capítulo tres, pero en el artículo nueve relativo a la conformidad de la producción menciona a la UTAC como responsable de auditar al fabricante e instaladores.

Los requisitos para los servicios técnicos de reformas funcionan de manera análoga al capítulo seis del reglamento Chileno donde aparecen los requisitos para los talleres de transformación, al capítulo nueve del documento propuesto por la CEPAL en la figura 4.4 y también al capítulo número 5 de la normativa Japonesa llamado “Responsabilidades de las compañías de reconversión de vehículos” en la figura 4.3. Es importante destacar de que si bien las normativas no hacen siempre una mención explícita a la entidad que aprueba la circulación de vehículos en la vía pública, cada reconversión debería al menos atravesar los procesos ya establecidos en cada país para obtener el equivalente al permiso de circulación.

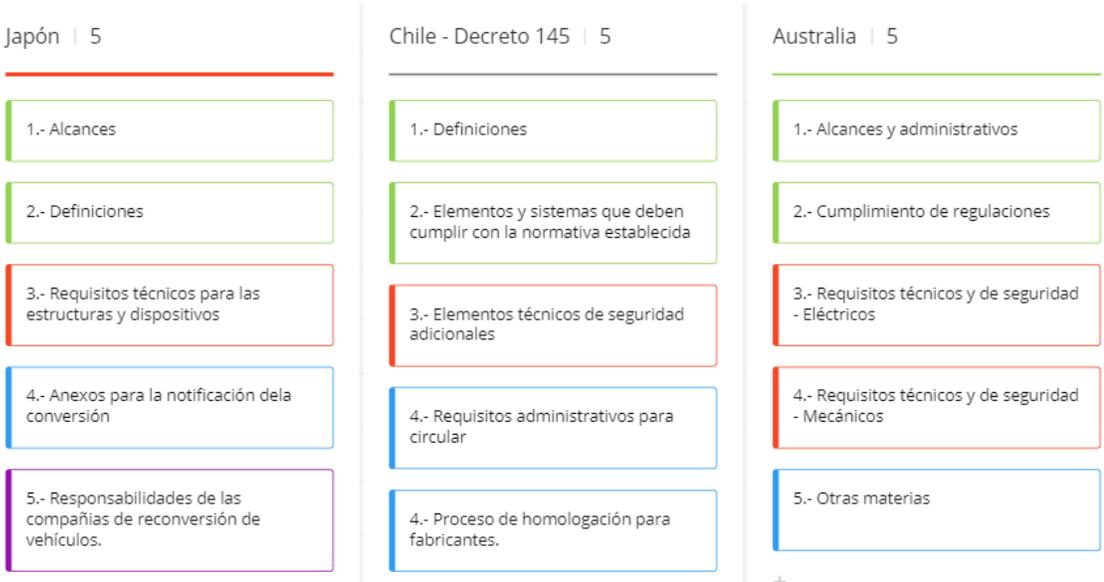


Figura 4.3: Categorización de los distintos contenidos en los ejes propuestos.

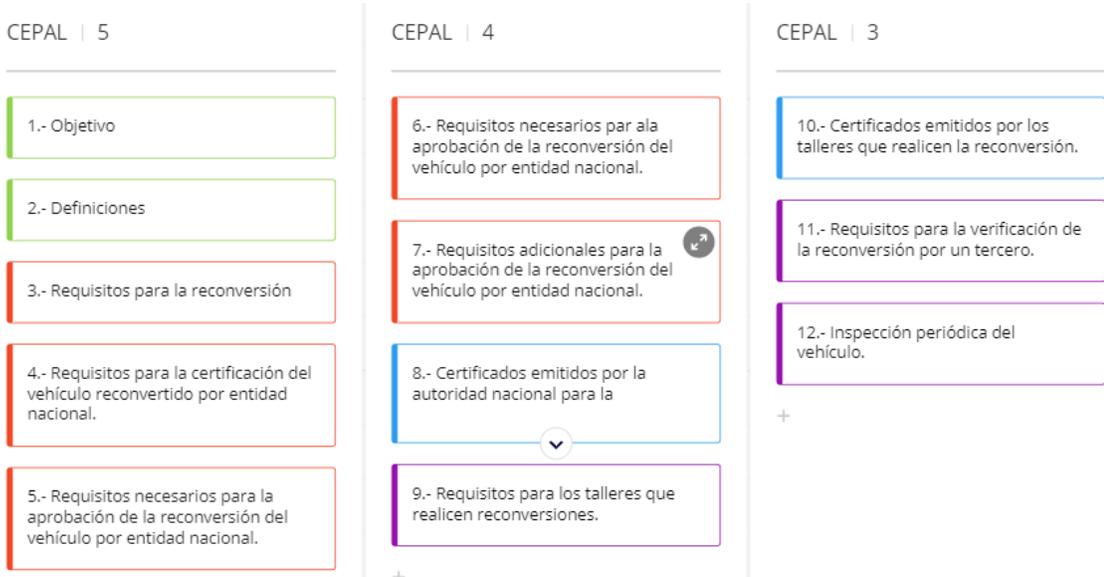


Figura 4.4: Categorización de los distintos contenidos en los ejes propuestos.

En el ámbito técnico asociado al funcionamiento eléctrico del vehículo, se puede apreciar una clara diferencia en términos de especificidad entre las normativas. Para la normativa Francesa así como la propuesta de la CEPAL y el reglamento en consulta pública Chileno gran parte de los requisitos técnicos descansan en la responsabilidad que tendrá el fabricante o responsable del kit de reconversión al momento de certificar los componentes con las entidades correspondientes. Por su parte, la normativa Japonesa y la normativa Australiana definen claramente los requisitos técnicos que deberá cumplir el vehículo en diferentes ámbitos: respecto al tren motriz y su potencia, baterías y restricciones asociadas, además de elementos adicionales (como relés de inercia) que permiten que el vehículo cumpla mayores estándares de seguridad. En la normativa Australiana incluso se proponen esquemas de conexión que cumplen con la incorporación de estos elementos de seguridad facilitando así su utilización.

Así mismo, en el área mecánica se presentan restricciones mínimas en algunas normativas asociadas directamente con la distribución de peso, ubicación de las baterías, carga máxima admisible por eje y potencia o torque máximos que debería tener el nuevo motor del vehículo. Como se estipula en documentos previos, la reconversión puede estar enfocada en más de un objetivo: autonomía, potencia, costos, etc. Por esto, se debe definir claramente los límites dentro de los cuales se puede modificar el vehículo sin comprometer la seguridad y confiabilidad del mismo y por tanto se deberán considerar estos elementos mencionados en las distintas normativas para incorporarlos en caso de aquellos que no se encuentren presente en el Reglamento de transformación de vehículos.

4.1.3. Procedimiento general de reconversión

La reconversión bajo la propuesta normativa original debería llevarse a cabo de la siguiente manera:

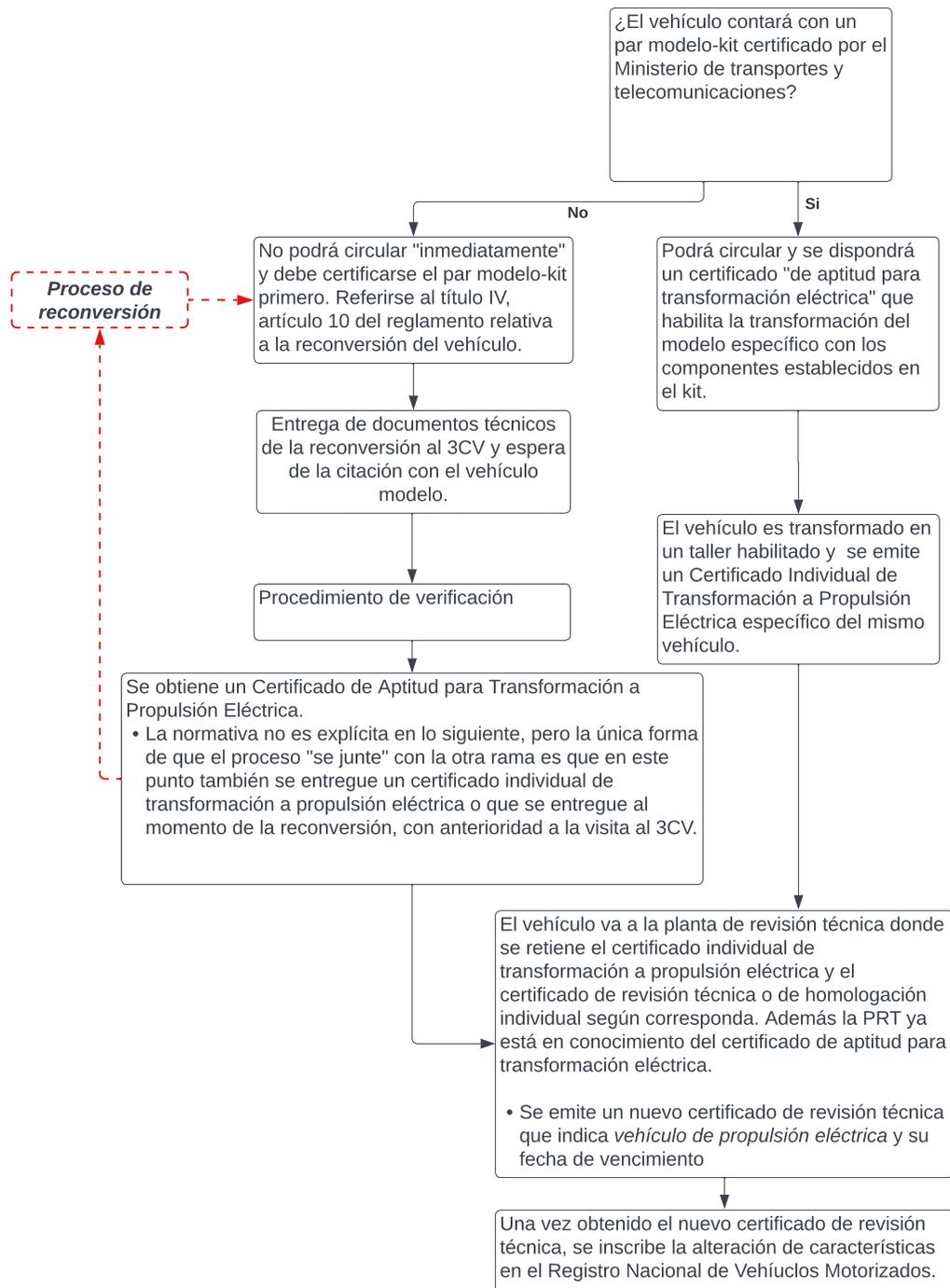


Figura 4.5: El diagrama de flujo de procedimientos para poder contar con un vehículo reconvertido que cumpla la normativa.

4.1.4. Selección de secciones normativas

Como se mencionó anteriormente, se trabajará sobre el Reglamento para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica. Esto implica que se removerán secciones (de ser necesario) de esta propuesta y también se agregarán otras presentes en algunas normativas distintas según sea definido.

En base a la revisión de literatura y a la categorización descrita en 4.1 es que se plantea la modificación de los capítulos de orientados principalmente a objetivos, ámbito de aplicación y definiciones considerando los contenidos presentes en la normativa Española, Francesa, Japonesa, Australiana y el documento propuesto por la CEPAL. Si bien dentro de las mismas normativas no aparecen explícitamente todos estos elementos como capítulos o ejes definidos, sí son elementos claves mencionados en todos los documentos.

La categoría que reúne requisitos técnicos y administrativos está compuesta de diferentes maneras según sea la normativa analizada. La CEPAL propone esto último como diferentes categorías pero no profundiza de gran manera en los requisitos técnicos asociadas a la reconversión ya que gran parte de los requisitos técnicos estarán salvaguardados por las entidades certificadoras de los componentes. Sin embargo, sí lo hace en los requisitos administrativos. Otras normativas como la normativa Japonesa o Australiana hacen un mayor énfasis en los requisitos técnicos sin dejar de lado algunos elementos administrativos. La normativa Francesa y Española no tienen mayor detalle sobre los requisitos técnicos pero sí de los requisitos administrativos de la reconversión.

En función de la revisión de contenidos en otros documentos normativos se puede dar cuenta de que los requisitos técnicos estipulados en el Reglamento para transformación se basan fuertemente en los propuestos por la CEPAL donde gran parte de la responsabilidad en términos de seguridad recae sobre los fabricantes de componentes y/o la certificación de los mismos frente a la SEC o el 3CV en el caso Chileno. Existen otras medidas de seguridad asociadas al funcionamiento integral del sistema eléctrico y mecánico de un vehículo como por ejemplo el uso de un switch de inercia que se menciona en la normativa Japonesa y Australiana, que no han sido consideradas y por tanto se propone la adición de un nuevo capítulo o la modificación del ya existente con una mayor profundidad y nivel de detalle. El alcance de este trabajo no permite una discusión en profundidad sobre los elementos técnicos del área mecánica ni tampoco de los requisitos administrativos pero sí una revisión, selección y propuesta de criterios de relevancia en función de los documentos revisados.

Los capítulos del 6 al 11 del Reglamento para transformación plantean la metodología a través de la cuál se debe certificar una reconversión para poder ser válidamente realizada. Dado que estos capítulos ya se encuentran describiendo el contexto nacional, la re-utilización de los mismos se considera válida y estarán sólo sujetos a modificaciones dependientes de la estructura previa en los títulos de requisitos técnicos.

4.1.5. Propuesta de contenidos

Así, el documento propuesto debería tener la siguiente estructura:

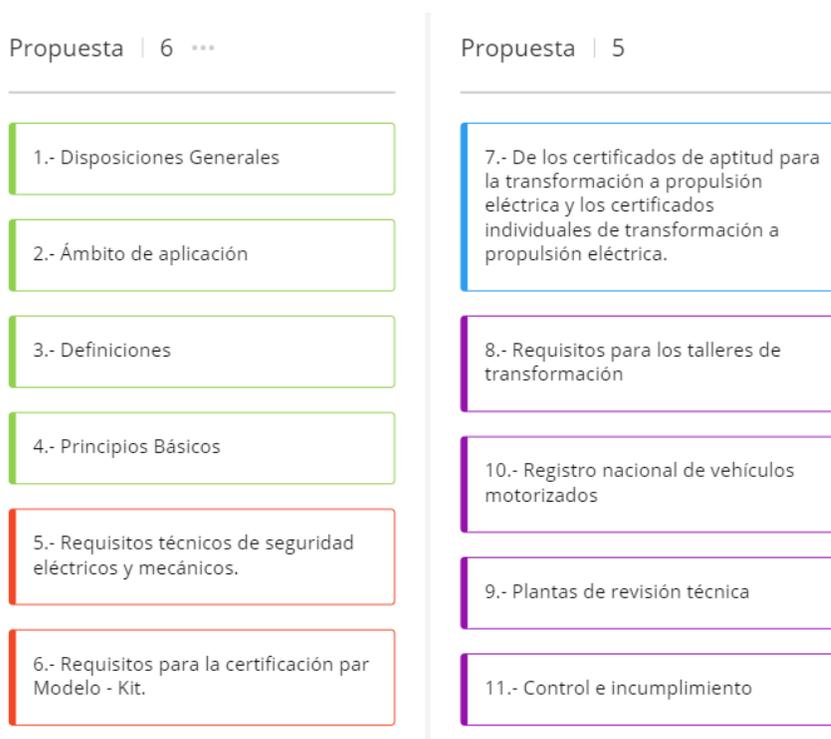


Figura 4.6: Propuesta de contenidos para el documento con los ejes temáticos asociados a cada capítulo.

Si bien las secciones 2 y 3 se encuentran insertas dentro de la propuesta original en el capítulo de “Disposiciones generales”, se considera necesario definir las de manera propia y separarlas de otros artículos, particularmente para poder enmarcar de mejor manera el ámbito de aplicación de la normativa e incorporar nuevas definiciones que puedan complementar las ya existentes.

Se propone la adición de un capítulo de requisitos técnicos de seguridad eléctricos y mecánicos que recopilará antecedentes del reglamento original, pero que profundizará en materias técnicas incorporando elementos desde otros documentos normativos.

Los requisitos administrativos de la reconversión se considerarán insertos dentro del capítulo 7, originalmente destinado a la certificación de la transformación, dedicando así un capítulo único a temas administrativos del proceso.

Los capítulos 8 al 11 se mantendrán en la propuesta de contenidos, dado que no se considera necesario un cambio en los contenidos salvaguardando los casos en que la modificación de requisitos técnicos incorpore algún tipo de proceso o revisión periódica que pueda ser incorporado dentro de estos capítulos.

4.1.6. Requisitos técnicos presentes en la normativa

Los requisitos técnicos del Reglamento de transformación son vistos con detalle en esta sección. El título de requisitos técnicos original del documento especifica el ámbito de acción de la normativa propuesta. Se menciona que vehículos podrán ser transformados según sus características técnicas originales y también los tipos de vehículos aptos para la reconversión en función de la normativa actual del país.

El título IV de requisitos para la certificación del par modelo - kit ahonda en algunos requisitos técnicos para los diferentes paquetes de conversión que deberán ser certificados. Estos incluyen dentro de los documentos para la certificación lo siguiente:

- Informe técnico que incluya:
 - Descripción general de la transformación
 - Descripción técnica de los sistemas modificados incluyendo al menos sistema de frenos, dirección y tren motriz, además de elementos estructurales y aportando memorias de cálculos detallando especificaciones y pruebas realizadas.
 - Descripción técnica de los componentes eléctricos o de otra naturaleza que se han adicionado al vehículo en el proceso de transformación con una descripción de su funcionalidad.
 - Planos de los circuitos eléctricos de alta y baja tensión del vehículo transformado.
 - Memoria explicativa del REESS y la configuración de los sistemas de control que aseguren el rango de operación de los módulos, paquetes o sistemas de baterías dentro de la región de operación de las celdas de litio.
 - Si existe cargador a bordo, entonces se debe incluir un informe técnico que describa una sesión de carga desde el 20 % hasta el 80 % del estado de carga de las baterías donde la distorsión armónica de corriente generada al cargar el REESS medida en el punto de conexión eléctrica cumpla con estándares de la Norma Técnica de Calidad y Servicio para sistemas de distribución. El analizador de red utilizado debe cumplir la norma IEC 61000-4-30.
- Plano(s) de alta tensión que incluya el motor, baterías de tracción, protecciones eléctricas, equipamiento de control y otros asociados al funcionamiento del vehículo.
- El sistema de REESS debe estar conformado por celdas secundarias de litio.
- Especificaciones del motor eléctrico con marca, modelo, fabricante, tipo y potencia máxima.
- Informativo de seguridad: Debe incluir al menos la descripción del vehículo, sistemas de desactivación, procedimiento de desactivación primario y alternativo, diagramas del procedimiento de desactivación, diagramas de alto voltaje y procedimiento de remolque o transporte del vehículo.

Respecto al procedimiento de verificación, se estipula el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Protección contra descargas eléctricas, y sistema a bordo para la supervisión de la resistencia de aislamiento.

- Requisitos para el color específico de las cubiertas de conductores.
 - Protección contra contacto directo. Las partes activas deben cumplir el grado de protección IPXXD según norma IEC 60529.
 - Así mismo, se cumplirá el grado de protección IPXXB de acuerdo a la norma IEC 60529.
 - Que en los conectores la tensión de las partes activas sea menor o igual a 60 [Vdc] o inferior o igual a 30 [Vac RMS] en un tiempo máximo de un segundo a partir de la apertura de la separación del conector.
- Protección contra contacto indirecto
 - Las partes conductoras expuestas, como las barreras y las envolventes conductoras están conectadas galvánicamente al chasis a través de distintos métodos.
 - Que la resistencia eléctrica entre todas las partes conductoras expuestas y el chasis sea inferior a 0,1 [Ω] cuando haya un flujo de al menos 0,2 [A]. Si la conexión galvánica es mediante soldadura se da por cumplido este requisito.
- La resistencia de aislamiento debe cumplir con valores mínimos según tres escenarios distintos establecidos en la normativa.
- El sistema de acumulación de energía recargable (REESS) deberá cumplir:
 - Tener un valor de resistencia de aislamiento mínimo de 100 [Ω/V] según el anexo 4b del reglamento UN-ECE R100 o su equivalente en la normativa China.
 - Cuando el vehículo esté en condición de iniciar su marcha por la aplicación de presión al pedal del acelerador o soltar el pedal de frenos, el sistema deberá emitir una alerta momentánea.
 - Al salir del vehículo, una señal avisará al conductor en caso de que el vehículo siga estando en modo de conducción activo.
 - En caso de que el usuario pueda cargar de manera externa el REESS, el vehículo debe quedar imposibilitado de moverse por su propio sistema de propulsión.
 - El vehículo debe contar con 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 de grado IPX67.
- La resistencia de aislación la toma de carga externa conectada a tierra (que se conectará al chasis eléctrico) y el circuito eléctrico debe ser de al menos 1 [$M\Omega$] cuando el acoplador de carga esté desconectado.
- Debe existir un sistema de apertura por sobrecorriente.
- Debe existir un sistema de monitero de aislación permanente que debe emitir una señal de pérdida de aislación. Este debe cumplir que cuando la resistencia de cualquier conductor sin conexión a tierra sea inferior a 100 [Ω/V], según el voltaje nominal del sistema, el dispositivo no permitirá que se energice el circuito de carga. Esta medición no puede se realizada por el BMS.

Los requisitos que se estipulan en el área mecánica son:

- Las dimensiones originales del vehículo no deberán cambiar por la transformación.
- El peso admisible y las cargas máximas admisibles por eje no deben ser modificadas en la transformación.
- La masa en orden de marcha del vehículo no puede variar más de un 20 % respecto de su valor original.
- La distribución de masa en orden de marcha entre los ejes no puede variar más de un 10 % respecto del valor original.
- Se verificará que sigan operando correctamente los sistemas de frenos, dirección, iluminación, desempañado, calefacción y cualquier otro sistema operativo en el vehículo base, mediante pruebas o estudios de las memorias técnicas presentadas por el solicitante.

Análisis de los requisitos técnicos presentes en la normativa

Sobre el REESS a utilizar, algunos de los puntos más importantes mencionados son:

- El título IV, artículo 10, punto 5, inciso a, establece que sólo podrán ser utilizados módulos de baterías, paquetes de baterías y sistemas de baterías conformados por celdas secundarias de litio.
- El título IV, artículo 11, inciso b establece que el REESS debe cumplir con el anexo 4B del UN-ECE R100 relativo a la medición de la resistencia de aislamiento.
- El REESS debe estar en una envolvente que garantice un estándar mínimo de protección IPX67.
- Debe existir una memoria explicativa de la conformación del REESS y la configuración de los sistemas de control que aseguren el rango de operación de los módulos, paquetes o sistemas de baterías dentro de sus valores estipulados por fabricante.

Estos elementos sólo se ciernen a baterías o paquetes de baterías compuestos por celdas secundarias de litio. Las baterías de litio están sujetas a una complejidad técnica distinta a la de baterías de plomo gel o plomo ácido ya que por el tipo de tecnología existen fenómenos, por ejemplo, de desbalanceo entre los voltajes de los módulos a medida que el banco de baterías es ciclado. Estos fenómenos no están considerados dentro de la normativa R100 y son fenómenos que eventualmente podrían llevar a una falla en el funcionamiento del vehículo además de ser mucho menos recurrentes en otro tipo de tecnologías. Para evitar estos fenómenos, se debe considerar que el BMS tenga la capacidad de realizar balanceo entre módulos y que este sea monitoreado como un estado del vehículo. Muchos BMS comerciales introducen este elemento dentro de sus características de operación y por tanto, si es que este estado está activado debería ser indicado al conductor para que pueda tomar las acciones pertinentes de mantención.

Por su parte, la utilización única de tecnologías de litio es un elemento que puede estar sujeto a discusión ya que restringe la utilización de otras tecnologías como plomo ácido o plomo gel. Esta restricción puede frenar la adopción de reconversiones debido a que la utilización

de paquetes de litio generalmente es más compleja que en paquetes de plomo ácido o plomo gel. La utilización de baterías de plomo ácido genera hidrógeno al momento de su carga por lo que puede ser altamente peligroso en lugares cerrados o frente a poca ventilación. Muchas de las estaciones de carga existentes en el país se encuentran junto a bencineras, por lo que la utilización de tecnología plomo ácido puede no ser factible para las reconversiones sin un apropiado sistema de ventilación (cuyo control se encuentra incorporado en estándares de carga Tipo II). Sin embargo, tampoco se hace mención a un tipo específico de baterías de litio, lo que permite la utilización de distintas tecnologías de litio. Los riesgos por alguna falla en el paquete de baterías varían según el tipo de tecnología utilizada, la utilización de baterías de ion-litio presenta un mayor riesgo de incendio que al utilizar tecnologías de LiFe por ejemplo. A diferencia de la normativa propuesta en el Reglamento de transformación, un ejemplo de regulación normativa de estas baterías es la normativa Australiana que categoriza en clase A y clase B los distintos tipos de almacenadores.

Actualmente se están utilizando distintos protocolos de carga a lo largo de las diferentes electrolinerías (CHAdEMO, Tipo 1 y Tipo 2) del país y por tanto la implementación de cargadores a bordo bajo estos estándares no debería suponer un problema para los distintos tipos de tecnologías de almacenadores. Estos cargadores generalmente funcionan en conjunto con el BMS para monitorear parámetros de las baterías al momento de la carga del vehículo y si el BMS utilizado es seleccionado acorde al tipo de baterías, no debería existir problema.

La normativa Australiana considera como almacenadores de tipo A a aquellos que no contienen líquido derramable y no descargan gases a la atmósfera durante su operación, y en aquellos almacenadores tipo B a aquellos que contienen líquido derramable y/o descargan gas durante su operación normal. Se establecen restricciones asociadas al compartimiento de las baterías dependiendo del tipo y la ventilación asociada (sólo para clase B) y también se establecen dentro de esta misma normativa las aceleraciones que deben resistir los contenedores frente a distintos tipos de choques. Para la implementación de baterías de plomo ácido se hace requisito que el pack de baterías no vaya dentro del habitáculo del vehículo y debe contener algún sistema de ventilación que puede ser o no forzada dependiendo de las características de las baterías. De manera similar, la normativa Japonesa en el artículo 99.3 de la notificación de detalles establece estos requisitos para los distintos tipos de baterías.

En el Reglamento de transformación menciona también que el paquete de baterías de tracción debe cumplir con un estándar de protección IPX67, pero no se estipula en ningún momento la ubicación de las baterías dentro o fuera del habitáculo del vehículo. Si bien también se mencionan elementos asociados a la accesibilidad del usuario a partes vivas del sistema eléctrico, tampoco se consideran restricciones mecánicas asociadas a las sujeciones del paquete de baterías que en ciertas reconversiones podría ubicarse dentro del vehículo. Así, se hace necesario incorporar una sección específica como lo hace la normativa Japonesa en el Capítulo 3, sección II, punto 2, inciso 2, el apartado 2.3 de la norma Australiana o el punto 5 de la normativa Francesa, que regule la sujeción del paquete de baterías de tracción.

Respecto a los puntos:

- El vehículo debe cumplir con la parte dos del reglamento UN-ECE R100. Esta define los requisitos en términos de seguridad para un REESS. Se establecen aquí las formas de probar la protección contra corto circuitos externos, sobrecarga, sobre-descarga y sobre

temperatura del paquete de baterías.

- Se menciona la utilización de un sistema de monitoreo de aislamiento.

Si bien se estipula que el vehículo debe cumplir con la parte dos del reglamento UN-ECE R100 que está dedicado a los requisitos de seguridad para REESS, no se establecen protecciones por sobrecorriente. El Reglamento de transformación sí lo menciona y también se menciona en otros documentos como la normativa Australiana y la normativa Japonesa. El sistema de monitoreo de aislamiento es transversal a todas las normativas y por tanto se propone mantener su uso. Si bien la pérdida de aislación puede ser un elemento de peligro y por tanto es importante su monitoreo, en situaciones de emergencia no sólo el conductor debería estar notificado de pérdida de aislación sino que también equipos de emergencia, por lo mismo debería existir alguna indicación visual que alerte a equipos de emergencia sobre el estado del monitor de aislamiento. En vehículos de fórmula E se utiliza un indicador visual que notifica la pérdida de aislamiento en la batería para evitar que el piloto toque el suelo y el carro al mismo tiempo.

En ninguna normativa se menciona la utilización de botones de emergencia que permitan desenergizar el circuito de alta potencia a través de la desconexión eléctrica del paquete de baterías de tracción. Por otra parte, sí se menciona en la normativa Japonesa y Australiana el uso de relés de inercia que permitan la desenergización del circuito de alto voltaje frente a una colisión a diferencia de otros documentos normativos, por lo que su incorporación parece razonable.

Respecto a los cambios asociados a las dimensiones del vehículo, peso admisible, distribución del peso y masa en orden de marcha no se considera pertinente realizar cambios más allá de la incorporación de un inciso que obligue a que la potencia y torque máximos del motor se encuentren en un rango cerrado del 65-100 % del valor original en el motor a combustión como se estipula en la normativa Francesa. Cabe destacar que en la normativa Japonesa se utiliza otra regla para el dimensionamiento del motor, pero al no estar debidamente explicada hace más sentido utilizar un motor cuya potencia y torque no sobrepasen los valores de fábrica para los cuales está dimensionado el sistema de transmisión. Así mismo, si se utiliza un motor de inducción o alguna tecnología en cuyas RPM del motor sobrepasen los valores para los que está originalmente diseñada la caja de cambios, se debería incluir una memoria de cálculo que explicita que la modificación no genera peligro.

Para las reconversiones que responden al sistema par modelo-kit, el instructivo de seguridad debiera ser obligatorio. Al ser una reconversión estandarizada se puede complementar el sistema de seguridad con la información asociada al instructivo tanto para el usuario como entidades que recurran a situaciones de emergencia como lo son bomberos y también ambulancias.

En particular para el procedimiento de verificación, se puede constatar que no existe ningún requisito técnico específico relacionado con los demás componentes del vehículo más allá del REESS. Es posible añadir información asociada a componentes específicos como el controlador del motor, aceleradores, BMS, bombas auxiliares que permitan la re-utilización de sistemas de frenos, entre otros componentes y por tanto se propone que gran parte de los nuevos contenidos a agregar en esta sección de requisitos técnicos se vean relacionados a este

tipo de componentes.

Es mencionado dentro del Reglamento para Transformación que sólo podrán ser reconvertidos vehículos sin elementos o dispositivos de seguridad de control electrónico y se hace mención específica a:

1. Sistema antibloqueo de frenos (ABS).
2. Sistema electrónico de Estabilidad.
3. Control de tracción.
4. Airbag y/o sistema de asistencia a la conducción: Frenado de emergencia, detector de punto ciego, asistente de mantenimiento de carril, y/o asistente de velocidad inteligente.

Las medidas previamente descritas presentan un incentivo negativo para la adopción de reconversiones eléctricas. La presencia de elementos como el ABS, control de estabilidad y/o Airbag son propios de vehículos cuya fabricación fue al menos hace 20 años. Si bien en Chile su regulación y obligatoriedad es relativamente cercana en el tiempo (año 2014), existen vehículos que incorporaban estas tecnologías hace bastante tiempo.

La normativa vigente de cada uno de estos elementos es:

- Airbag.
 - El Decreto Supremo DS 249/2014 MTT regula la obligatoriedad de contar con bolsas de aires (airbags en vehículos livianos que son sumados al parque automotriz nacional desde el año 2015 para ciertos tipos de vehículos.
- Frenos ABS. Los frenos ABS evitan controladamente el bloqueo de las ruedas al frenar para poder así mantener la maniobrabilidad y estabilidad del vehículo al andar. El sistema detecta rápidamente cuando las ruedas están por bloquearse o se bloquean y regula la presión en los frenos para liberarlos parcialmente. Permite una frenada progresiva y de mejor desempeño en superficies resbaladizas.
 - D.S. 26/2000 MTT lo define sistema como obligatorio para los vehículos livianos de pasajeros.
 - D.S. 137/2017 MTT establece cómo será implementada dicha medida. En primera instancia sólo regirá para vehículos denominados como “modelos nuevos”, que corresponde a aquellos vehículos homologados a partir del 3 de Octubre del 2020. Aquellos vehículos que se encuentren homologados con anterioridad a esta fecha, estarán sujetos a esta exigencia a partir de la misma fecha pero del año 2021. Así mismo, el 3 de Octubre del 2021 la medida regirá obligatoriamente para todos los vehículos de pasajeros nuevos.
 - D.S. 158/2013 MTT estipula que los buses de pasajeros con servicios interurbanos deberán tener este sistema. Aplica para todos los buses inscritos en el Registro de Vehículos Motorizados desde el mes de Diciembre del de año 2014.

- Programa electrónico de estabilidad (ESP). Es un sistema que mejora la estabilidad del vehículo mediante la capacidad de control de frenado en cada una de las ruedas de los ejes para poder corregir la trayectoria.
 - D.S. 26/2000 MTT establece este sistema como obligatorio para los vehículos livianos de pasajeros.
 - D.S. 137/2017 MTT establece cómo será implementada dicha medida. Similar al sistema ABS, sólo regirá para los “modelos nuevos” desde el 3 de Octubre del año 2021. Aquellos vehículos que se encuentren homologados con anterioridad a esta fecha, estarán sujetos a esta exigencia a partir de la misma fecha pero del año 2022. Así mismo, el 3 de Octubre del 2022 la medida regirá obligatoriamente para todos los vehículos de pasajeros nuevos.
 - D.S. 158/2013 MTT estipula que aquellos buses de servicio interurbano de pasajeros y con un motor de potencia superior a 350 hp, que hayan sido inscritos en el Registro de Vehículos Motorizados desde diciembre de 2014, deberán contar con este sistema de manera obligatoria.

Respecto a los frenos ABS, no existe mención a la modificación de este sistema en particular en alguna de las normativas revisadas. Si se reconvierte un vehículo con frenos ABS, la lógica indica que al ser un elemento de seguridad importante del vehículo este debe funcionar directamente desde la batería auxiliar y no desde el paquete de baterías de tracción ya que ante una emergencia y/o desconexión del mismo paquete, los frenos deberían seguir actuando normalmente. Además, se debe asegurar que el freno ABS sólo complementa el sistema de frenado hidráulico convencional y que además este último sistema fue modificado de manera correcta incorporando (de ser necesario) la bomba de vacío respectiva que permita su operación normal sin depender del paquete de baterías de tracción.

El sistema de Airbags también debería ser adaptable a un vehículo reconvertido. Los componentes principales del sistema de Airbag son el módulo de control, los sensores de colisión y el sistema generador de gas que infla la bolsa de aire. Ninguno de estos sistemas debería verse afectado más allá de la alimentación del módulo de control que al igual que en el caso de los frenos ABS al ser un elemento de seguridad importante del vehículo, deberían estar alimentados directamente desde la batería auxiliar del vehículo.

De la misma manera que para los sistemas anteriores, el control del estabilidad debería poder adaptarse al sistema reconvertido sin la necesidad de depender del paquete de baterías de tracción.

Si bien estos elementos podrían ser adaptables, se requiere que las modificaciones sean justificadas técnicamente de manera correcta y que no presenten un riesgo para el conductor: es decir, que la batería auxiliar esté dimensionada acorde al consumo que presenten estos elementos y que los elementos cumplan con las condiciones de funcionamiento establecidas en la norma técnica. Los diferentes sistemas ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) están siendo incorporados cada vez más, pero lentamente, como un elemento de seguridad obligatorio dentro de la regulación de vehículos. Sin embargo, aún existen ADAS en desarrollo y por tanto no todos pueden ser fácilmente adaptables. Aquellos que llevan más tiempo presentes en elementos regulatorios deberían poder ser adaptables a reconversiones de vehículos eléctricos.

4.1.7. Propuesta de protocolo

La propuesta de protocolo recoge e incorpora distintos elementos mencionados previamente que son comunes a las normativas. Estos elementos brindan una mayor flexibilidad en términos del ámbito de aplicación de la normativa de reconversiones, no limitándose a tecnologías específicas y tratando de mantener estándares de seguridad acorde a las normativas del ámbito internacional estudiadas.

El proceso actual permite que una persona natural o una empresa pueda certificar un kit de reconversión (Título IV, artículo 9). Para esto se explicita que ciertos componentes deben estar certificados por la SEC, lo cuál establece estándares de seguridad para los mismos (Título IV, artículo 10, inciso 5). Sin embargo, no se hace mención específica a requisitos del conjunto funcional de elementos o del vehículo reconvertido más allá de la medición de la resistencia de aislación, modificaciones mecánicas acotadas y algunas medidas para el sistema de acoplamiento de carga. Si bien se menciona que posterior a la reconversión y con la autorización de los componentes por parte de la SEC, el vehículo representativo deberá ser llevado al recinto del 3CV para que se lleve a cabo la verificación descrita en el Título IV, artículo 11 del reglamento. Esta verificación carece de requisitos técnicos importantes que deberán ser estudiados, analizados y eliminados o incorporados según corresponda el caso.

Para esto se realiza un análisis comparativo entre las ventajas y desventajas que puede poseer este tipo de medidas. Se evalúan las medidas por ámbito de acción y finalmente se decide si son incorporadas o eliminadas (en caso de estar dentro del reglamento). De manera resumida, se trata de sintetizar los elementos expuestos previamente en la discusión de los distintos elementos técnicos.

El reglamento modificado se encuentra en el anexo “Anexo - Reglamento propuesto”. En base a este reglamento se propone el protocolo dentro del anexo “Anexo - Propuesta de protocolo”.

4.2. Experiencia del proyecto LilEV

4.2.1. Vehículo LilEV

El área de trabajo relacionada con el vehículo LilEV empieza con el reconocimiento de los componentes utilizados en la reconversión del vehículo. Estos componentes fueron analizados a través de la documentación técnica respectiva entregada por los fabricantes y también bajo inspecciones visuales a los datos de placa o etiquetas con datos de funcionamientos que venían impresas en los distintos componentes. En el anexo técnico **Proyecto LilEV** se encuentra una descripción mucho más detallada de las características de cada uno de estos componentes, así como de algunos de los datos técnicos de los mismos. Todo esto, sin perjuicio de que la documentación técnica oficial se encuentra en una carpeta digital además de estar en un archivo que reúne toda la documentación técnica disponible del vehículo.

4.2.1.1. Equipos y componentes

En primera instancia, no se tiene certeza sobre los cambios totales que se le hicieron al vehículo para su reconversión. No existe un registro, diagrama eléctrico o algún tipo de esquemático que muestre la forma, características y/o modificaciones de la reconversión del vehículo. A modo de resumen, y luego de una inspección visual, búsqueda de datos técnicos asociados a los componentes o la utilización de otros métodos para detallar las modificaciones realizadas al vehículo, se sabe que se cuenta con los siguientes elementos:

1. El motor a combustión fue reemplazado por un motor eléctrico de inducción Siemens de 33[kW] de potencia nominal.
2. Existe un controlador de tracción y un controlador general del vehículo desarrollados en la misma universidad.
3. El controlador de tracción funciona en conjunto con los IGBTs del componente POWER-PAK PP300T060 Powerex.
4. Las baterías corresponden al modelo LYPAHA060 de Winston Batteries.
5. Existe un convertor DC-DC DLS-240-50 que es utilizado para la carga de la batería auxiliar, tanto como para la electrónica del vehículo de la empresa Iota Engineering.
6. El BMS corresponde al modelo BCU-MICRO 03 con sus correspondientes sensores para cada celda.
7. El cargador a bordo del vehículo corresponde al modelo Manzanita Micro PFC-20M.
8. El circuito de precarga cuenta con sus protecciones y relés respectivos.
9. Existe una bomba de vacío que permite que los frenos/dirección funcionen normalmente.
10. Existe un sistema de refrigeración del motor eléctrico que fue incorporado al vehículo y que está alimentado por el convertor DC-DC.
11. Existe un botón de emergencia disponible en la cabina del vehículo, al alcance del piloto o copiloto, además de dos en la parte exterior del vehículo.

4.2.1.2. Consideraciones importantes

Dentro de los elementos presentes y mencionados previamente, se debe tener en consideración los siguientes puntos:

1. Tren motriz

- Existe un controlador de tracción que cuya etapa de control fue desarrollada por un estudiante en su trabajo de título, mientras que la etapa de potencia está asociada al componente POW-R-PAK PP300T060.
- Se desconoce el peso del motor original, pero se sabe que el motor eléctrico pesa 77 [kg].
- El sistema de enfriamiento del motor fue modificado y es eléctricamente alimentado por el convertor DC/DC del vehículo.
- Se conocen los parámetros circuitales del motor por el trabajo realizado en [23].

2. Baterías

- Las baterías del vehículo están deterioradas y se debe realizar un proceso sistemático de diagnóstico con cada una de las pilas disponibles para determinar su estado.
- Las baterías están dentro de una envolvente que no cumple ningún estándar de protección al agua o polvo.
- El circuito de precarga está con todos sus componentes necesarios para funcionar, pero no se ha probado su accionamiento dependiente del controlador general del vehículo.
- El BMS está operativo, sin embargo, no posee ningún tipo de medida en las diferentes celdas del vehículo que puedan ser utilizadas para informar al conductor sobre el estado de las baterías o similar.

3. Convertor DC-DC

- El convertor DC-DC no menciona en ninguna parte de su documentación técnica que puede ser alimentado desde un bus DC, sin embargo la conexión existente es al bus DC.
- El sistema de refrigeración del motor está directamente conectado al convertor.

4. Frenos

- Los frenos cuentan con una bomba de vacío anexada al sistema original.

5. Dirección

- La dirección no cuenta con modificaciones en su composición.

6. Del control del vehículo

- El controlador general del vehículo fue diseñado en el mismo trabajo que el control de tracción del vehículo.

- Ninguno de estos componentes posee algún tipo de certificación ni fueron diseñados bajo estándares normativos que permitan su certificación (al menos en un horizonte temporal cercano).
- El panel de instrumentación del vehículo fue modificado y se eliminaron elementos.
- La tracción 4x4 fue eliminada del vehículo en el proceso de modificación mecánica, por lo que sólo posee tracción en las ruedas traseras.

7. Cargador de baterías

- El cargador de baterías a bordo está fuera de servicio y no se ha podido determinar el origen de su falla.

4.2.2. Revisión del sistema eléctrico

Las relaciones entre los distintos componentes se puede reconstruir en función del reconocimiento de equipos y las inspecciones visuales al vehículo. Sin embargo, parte del análisis funcional del sistema eléctrico se ve coartado debido a la necesidad primordial de reconstruir el sistema eléctrico, ya que no existe documentación asociada al historial de modificaciones que se realizaron. Actualmente el vehículo debería tener un diagrama que relacione a los distintos componentes similar al siguiente:

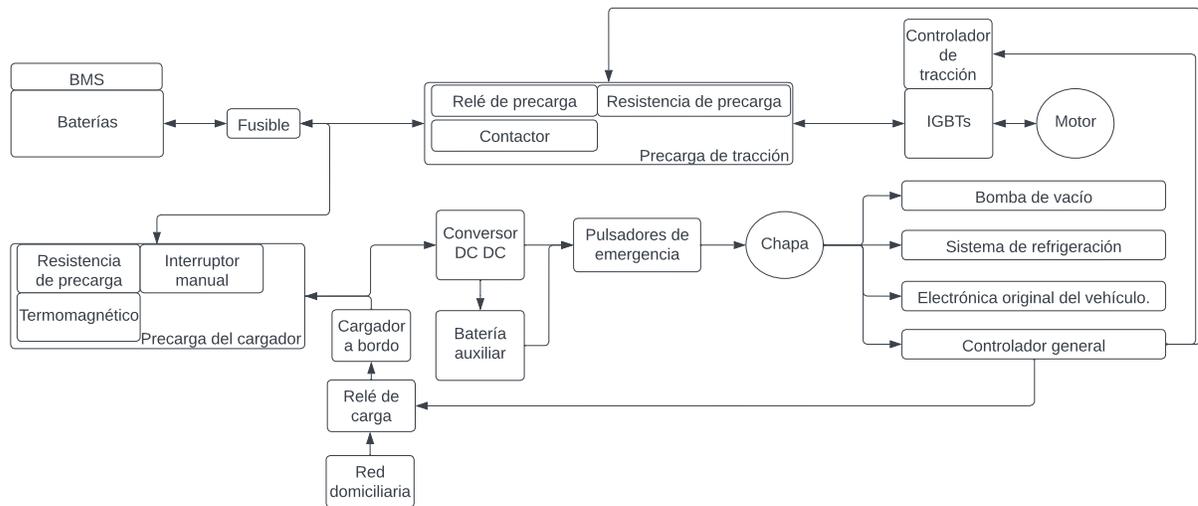


Figura 4.7: Relaciones entre los distintos componentes del vehículo LilEV.

Las flechas indican un flujo de potencia que se corresponde con un voltaje mayor o igual a 12[V]. En conjunto con la documentación técnica asociada a los distintos componentes, se logra determinar que el vehículo funciona con dos niveles de voltaje DC, que corresponden a el voltaje de las baterías de tracción y la batería auxiliar. Además el vehículo podría contar con un voltaje de 220 [VAC] si contara con el cargador a bordo, pero dado que se encuentra en mal estado es omitido. No se sabe a ciencia cierta el consumo de los elementos del bus DC de 12[V], pero se estima que es menos de 750[W] dada la potencia del convertor DC/DC utilizado en el vehículo que alimenta toda la electrónica además de alimentar la refrigeración del motor y también la bomba de vacío utilizada para los frenos del vehículo. La electrónica

original del vehículo se intervenida y enlazada en gran parte al controlador general y el controlador de tracción.

Las 90 celdas de baterías determinan el voltaje y la corriente máxima del banco al estar en un arreglo en serie. Estas suman un total nominal de 297[V] y permiten una corriente máxima de hasta 180[A] (3C) dictada por el valor máximo de corriente de descarga estipulado por el fabricante. Las baterías permiten entonces una alta potencia que va en línea con el dimensionamiento del motor. La capacidad del banco de baterías se estima en 17.82 kWh, pero se pueden extraer hasta 53.46[kW] teóricamente (sin contar pérdidas, u otros fenómenos que disminuyen la potencia real utilizable en el motor). El motor Siemens por su parte es un motor de 33[kW] nominal con un peak de potencia de 67[kW] aproximadamente.

Se debe tener en consideración que el BMS posee funciones básicas y permite el balanceo de las celdas como la activación de un relé que permite la carga a través del cargador a bordo además de poder entregar el voltaje medido del pack, pero no entrega información de relevancia en la operación como podría ser la temperatura de las celdas (las baterías de tracción no poseen termistores) o el voltaje individual de cada celda del paquete.

La etapa de control del motor de inducción es altamente personalizada, pero no cumple con estándares ya que todo se realiza en el marco de un trabajo de memoria dentro de la Universidad de Chile. Lo mismo ocurre para el controlador general del vehículo. Dentro del vehículo se encuentra sólo uno de los circuitos de precarga que está asociado al circuito de tracción (bus de 297[VDC]. Este circuito cuenta con un arreglo de dos resistencias en paralelo de 10[Ω] en serie con un arreglo de iguales características. Esto permite una resistencia equivalente de 10[Ω]. Con este valor se puede calcular el tiempo de precarga τ a través de la ecuación $\tau = RC$ ya que de los datos de fabricante se sabe también que la capacitancia de los condensadores del pack de IGBT's es de 18000[μF]. Así:

$$\tau = RC = 10 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 0.18[s]$$

También se puede calcular la energía disipada por el circuito de precarga en función de los valores previamente utilizados para R y C . La ecuación que relaciona estos valores es:

$$E = \frac{V^2 \cdot C}{2} = \frac{297^2 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}}{2} = 793,881[J]$$

Así, estos valores muestran que es factible la utilización del vehículo de manera rápida, logrando en menos de 1 [s] una carga total de los condensadores del pack de IGBTs.

Dentro de las protecciones se utiliza un contactor y un fusible para el bus DC de tracción y un termomagnético para el bus DC que alimenta la electrónica. Sin embargo, la utilización del termomagnético no se condice con los parámetros del vehículo ya que se utiliza un termomagnético C125 ni tampoco se considera que la ubicación sea la adecuada como se presenta en 2.33. Esto quiere decir que el interruptor es de curva tipo C con 125[A] nominales, valor que no es utilizado en ningún momento ya sea al cargar el vehículo o por la corriente que puede ir al conversor DC/DC durante operación normal. Según el fabricante del cargador a bordo la corriente que se entrega al cargar a 300[V] es de aproximadamente 15[A], valor lejano en comparación con los 125[A] de la protección.

Sumadas a estas últimas protecciones, se encuentran conectados tres pulsadores de emergencia en serie con la chapa del vehículo que permite el uso de la batería auxiliar y la alimentación de 12[V] una vez que el contacto de la llave es cerrado. Estos pulsadores están distribuidos a lo largo de distintas posiciones del vehículo para facilitar su acceso: En la parte trasera, lateral y el último en el interior del vehículo de manera que el piloto puede acceder rápidamente a él.

El fusible utilizado es un fusible NH de 440[VDC] y 315[A] máximos, que en función de los datos del motor está levemente sobredimensionado.

Las comunicaciones dentro de los controladores son realizadas a través de un bus CAN. El estándar es ampliamente utilizado en aplicaciones similares y permite la conexión de distintos dispositivos distintos del vehículo para poder extraer la información relevante al momento de la operación. Además se utiliza un puerto serial para la configuración de los controladores y el monitoreo de datos. Además, el controlador de tracción recibe también señales de periféricos como el acelerador o el sensor del freno regenerativo.

En resumen, se logra determinar y recopilar información técnica relevante de la mayoría de los componentes, lo que permitirá reconstruir parcialmente el esquemático eléctrico del vehículo ya que este no existe actualmente. Dentro de los elementos recopilados se encuentra documentación del BMS, baterías, protecciones eléctricas, controladores, convertidor DC/DC, cargador a bordo y el motor eléctrico del vehículo. También se cuenta con el manual de fábrica del vehículo, pero se desconoce la profundidad y el diagrama eléctrico completo del vehículo luego de las modificaciones por parte del equipo de ingenieros de la Universidad de Chile.

4.2.3. Diagnóstico de estado

El diagnóstico de estado se debería realizar en específico para los siguientes componentes:

- Motor de inducción
- Protecciones eléctricas
- Baterías
- IGBT

Sin embargo, dado que el motor ha sido probado en ocasiones anteriores y existen parámetros circuitales asociados, no se considera necesario probarlo en esta ocasión principalmente para limitar el alcance del trabajo. Así mismo, las protecciones eléctricas deberían ser renovadas debido al desuso que han tenido y las condiciones ambientales a las que fueron sometidas dentro del transcurso del proyecto LilEV y por sobre todo considerando que es mucho más eficiente reemplazar estas protecciones debido al bajo costo que presentan en el mercado en contraste con los elementos y trabajo necesario para poder probarlos. Se realiza un caso especial con los relés, ya que se probó que funcionaran de manera correcta energizando las bobinas a través de los distintos terminales y no representan un elemento crítico que afecte la seguridad del usuario en una etapa temprana de pruebas de funcionamiento.

Las baterías fueron probadas y se definió una metodología específica que permite determinar cierto nivel de deterioro frente a los datos técnicos del fabricante. Estos elementos se encuentran dentro del anexo técnico “**Recuperación Baterías LYP60AHA**”. Se propone un proceso a través del cuál las baterías cuyo voltaje es menor a un volt pueden ser cargadas para poder obtener un voltaje normal de operación, además, se realizan pruebas de descargas a un grupo de baterías para poder determinar el estado de salud en el que se encuentran y así determinar si es o no factible su reutilización en el vehículo LilEV. Como elemento final dentro de este apartado se define también el montaje experimental en caso de que se requiera repetir el proceso de carga y descarga de las celdas de litio.

En el caso de los IGBT's, se define un proceso que permite la prueba de los mismos y se encuentra descrito en el anexo técnico IGBT's “**POW-R-PAK PP300T060**”, pero no se realiza principalmente para acotar el alcance del trabajo de título además de ser uno de los elementos susceptibles a cambios ya que desde el estudio normativo se define claramente que el controlador del motor debe ser un elemento certificado por la SEC y en este caso el requisito no se cumpliría.

4.3. Caso de aplicación

El protocolo de validación de reconversiones propuesto se utiliza para poder complementarlo con el proceso de restauración y puesta en marcha del vehículo LilEV. En función de los componentes utilizados en la reconversión inicial del proyecto como también de las posteriores modificaciones y de los equipos disponibles es que se plantea una revisión por incisos que permitirá determinar las áreas de trabajo y mejoras que el vehículo necesitará.

Aplicación del protocolo de validación de reconversiones para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica

Título, punto y/o inciso	Cumplimiento
2.1.- Tipo de vehículo	<input type="checkbox"/> Bus o Minibus <input checked="" type="checkbox"/> Vehículo motorizado con peso bruto menor a 3.860 kg. <input type="checkbox"/>
5.1.1.- El vehículo cuenta con sistema de monitoreo de resistencia de aislación.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.1.2.- El sistema indica la condición de la resistencia de aislación bajo todos los estados posibles salvo apagado.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.1.3.- Los sistemas eléctricos del vehículo están diseñados para operar en un rango de -15°C a 50 °C.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.1.4.- Los cables de alto voltaje están identificados con las cubiertas de colores respectivas.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.2.1.- El paquete de baterías de tracción cuenta con un plug de conexión o equivalente que permite la desconexión sin el uso de herramientas.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.2.2.- (Sólo si el punto 5.2.1 es marcado como "No"). El compartimiento de baterías no puede abrirse mientras el vehículo está encendido, ni el vehículo se puede encender mientras el compartimiento de las baterías está abierto.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.2.3.- Las baterías cuentan con todas las protecciones respectivas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Sobre carga. 2. Sobre descarga. 3. Sobre temperatura. 4. Sobre corriente. 5. Corto circuitos externos. 	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.2.4.- Las baterías cumplen con la normativa UN-ECE R100.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.2.5.- La memoria de cálculo asociada a los anclajes de las baterías en el vehículo cumple con los valores establecidos por normativa para el impacto frontal, lateral, trasero y vertical (por volcamiento).	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.2.6.- Existe un switch de inercia que logra la desconexión del circuito de alto voltaje en las situaciones establecidas por la normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
5.2.7.- La ubicación del REESS con las distancias establecidas por normativa.	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.8.- Sólo si las baterías del vehículo son del tipo B. Las baterías no van en el habitáculo del pasajero, o están completamente selladas del mismo.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

<p>5.2.9.- Sólo si las baterías del vehículo son tipo B. El sistema de ventilación cumple con:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Proveer resistencia al agua. 2. Grado de protección a agentes externos de al menos IP2X. 3. Los gases son liberados directamente a la atmósfera y no hay recirculación de gases dentro del paquete de baterías. 	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.2.10.- Sólo si las baterías del vehículo son del tipo B. El pack de baterías contempla un sistema de detección de volcamiento que inhabilite el movimiento del vehículo en caso de actuar.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.2.11.- Sólo en caso de que las baterías del vehículo sean del tipo A (o de Litio). El vehículo cuenta con un sistema interno de balanceo de módulos que emite la alerta respectiva al conductor del vehículo en caso de operación. Cumple también con el funcionamiento dentro del rango especificado por la documentación técnica.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.2.12.- Existe un elemento visual que permita conocer la estimación de la vida útil de la batería o distancia restante de manejo.</p>	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.2.13.- El vehículo cuenta con un sistema de batería auxiliar de 12V independiente que permite que los elementos críticos de funcionamiento sigan funcionando frente a la desconexión del pack de baterías de tracción. Cumple también con permitir el uso de las luces de emergencia (4 luces) por al menos 20 minutos.</p>	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.3.1.- La potencia y el torque máximos del motor eléctrico están dentro del rango establecido por la normativa.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.3.2.- El motor está acoplado con un sistema que asegura su correcto funcionamiento y no compromete su seguridad.</p>	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.3.3.- El sistema motriz posee un grado de protección frente al agua.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.3.4.- Los cables del sistema motriz están dimensionados acorde a la corriente máxima que puede circular por el vehículo durante la conducción.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.4.2.- Existe una alarma sonora o visual que alerta frente a alguna anomalía en el funcionamiento del controlador del motor.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.4.3.- El controlador inhibe el funcionamiento del motor en caso de que exista alguna anomalía en la señal del acelerador.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.4.4.- El acelerador posee una salida de doble señal que permite detectar anomalías en el funcionamiento del acelerador.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.4.5.- Existe un contactor entre el paquete de baterías de tracción y el controlador del motor que está dimensionado para un valor mayor de corriente que el controlador, fusibles y termomagnéticos.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.5.1.- Los convertidores de voltaje del vehículo están certificados por la SEC y cumplen con la Norma Técnica de calidad y servicio.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.6.1.- Todas las modificaciones de frenos responden a la normativa vigente.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
<p>5.6.2.- Sólo si el vehículo tiene sistemas de dirección asistida. Se incluye una bomba de vacío que permita la correcta utilización del sistema, además de los documentos técnicos de respaldo.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No

5.6.3.- Los sistemas ABS, ESP, Airbags o similares fueron calculados, modificados e implementado en orden para que cumpla con los requisitos de seguridad establecidos por normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> No aplica
6.11.a.1.- Cables bajo normativa UN-ECE R100 o GB18384-2020.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.11.a.2.- Existe protección contra el contacto directo bajo los incisos i), ii), iii) y iv) de la normativa vigente.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.11.a.3.- Existe protección contra el contacto indirecto bajo los incisos i) y ii) de la normativa vigente.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.11.a.4.- La resistencia de aislamiento del circuito de alta tensión cumple con un valor mínimo establecido por normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.11.b.- El REESS cumple con los incisos i), ii), iii), iv) y v) establecidos por normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.11.c.- El sistema de acoplamiento de carga cumple con la resistencia establecida entre el circuito de alta tensión u el chasis eléctrico bajo los casos estipulados por la normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.11.d.- El vehículo cuenta con un dispositivo de apertura o corte por sobrecorriente.	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.e.- El vehículo cuenta con un dispositivo de aislación permanente que da una señal de pérdida de aislación en el panel y pide acudir a mantenimiento.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.12.a.- Las dimensiones del vehículo no cambian por la transformación.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.12.b.- El peso admisible y las cargas máximas admisibles en cada eje no son modificadas por la transformación.	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No
6.13.c.- La masa en orden de marcha del vehículo después de la transformación se altera en más de un 20% respecto del vehículo base.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.14.d.- La distribución de masa en orden de marcha del vehículo entre los ejes se altera en más de un 10%.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.14.e.- Funciona correctamente: Frenado, dirección, iluminación, desempañado, calefacción y cualquier otro sistema que estuviera operativo previamente en el vehículo base.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

4.4. Retroalimentación y propuesta final

Luego de revisar el caso de aplicación, los cambios que puedan realizarse al protocolo de aplicación dependerán de quién lo realice. Si es un tercero verificador, entonces aquellos incisos que son asociados a por ejemplo que las baterías cumplan con un grado mínimo de protección contra el agua o que el paquete de baterías de tracción cumpla con el reglamento R100, deberán ser validados por la SEC o el 3CV según corresponda y por tanto se requerirá algún documento adicional que lo respalde. Si es el 3CV el encargado de aplicar este protocolo (por ejemplo durante la presentación del vehículo modelo), entonces se deberán contar con todas las herramientas y/o equipos que permitan analizar las distintas categorías de seguridad propuestas en el protocolo.

Luego de realizar el chequeo de viabilidad práctica, no se considera realizar cambios a la propuesta de reglamento ni de protocolo ya que presentan una base lo suficientemente general como para que cubra los casos en que es aplicada por el tercero verificador o el 3CV mientras que se mantiene la estructura original de los distintos actores relevantes en el proceso propuesta por la normativa que además se basa fuertemente en la propuesta genérica la CEPAL.

4.5. Mejoras al vehículo LilEV

Las posibles áreas de mejoras del vehículo LilEV, aparecen inmediatamente resaltadas al aplicar el protocolo de validación de reconversiones. Estas se centran principalmente en cuatro componentes del vehículo:

- Baterías
- Controlador de tracción
- Controlador general
- Cargador a bordo

Las baterías no poseen ningún tipo de envoltorio que permita que se cumplan los criterios de seguridad mínimos para poder ser utilizadas en el vehículo. Además, para el anclaje utilizado para asegurar las baterías en el vehículo no existe memoria de cálculo asociada. Es por esto, que se sugiere trabajar en un reemplazo completo del paquete de baterías, así como de las protecciones eléctricas asociadas. Si bien es posible utilizar un paquete de baterías con un dimensionamiento eléctrico similar, dado el avance en las tecnologías de litio de los últimos años quizás pueda ser conveniente incluir más baterías en paralelo para poder aumentar la capacidad del banco.

Por su parte, el controlador de tracción debe ser reemplazado por un controlador en primera instancia comercial, que cumpla con estándares de seguridad y certificaciones mínimas, lo que no se cumple con el controlador desarrollado en la misma universidad. Así mismo, se deberá asegurar que el controlador utilizado y su instalación cumpla con los estándares establecidos principalmente frente a la protección contra el agua.

El controlador general que posee el vehículo podría ser reutilizado, pero dado que es un elemento diseñado específicamente para el conjunto de componentes actuales del vehículo, se sugiere reemplazarlo. Se debe buscar una opción que permita recopilar información desde los distintos componentes y pueda transformarla en las señales visuales o sonoras que requerirá el piloto al conducir. Por ejemplo, un controlador del vehículo que sea capaz de mostrar la capacidad restante de las baterías, el estado de funcionamiento del controlador del motor o que se ha perdido la resistencia de aislación.

El cargador a bordo debe ser reemplazado completamente, ya que el controlador original se encuentra averiado y no se logra determinar el origen de su falla y su reparación no parece factible en el corto plazo.

Con esto en mente, el vehículo debería poder recorrer el proceso de homologación de la siguiente manera:

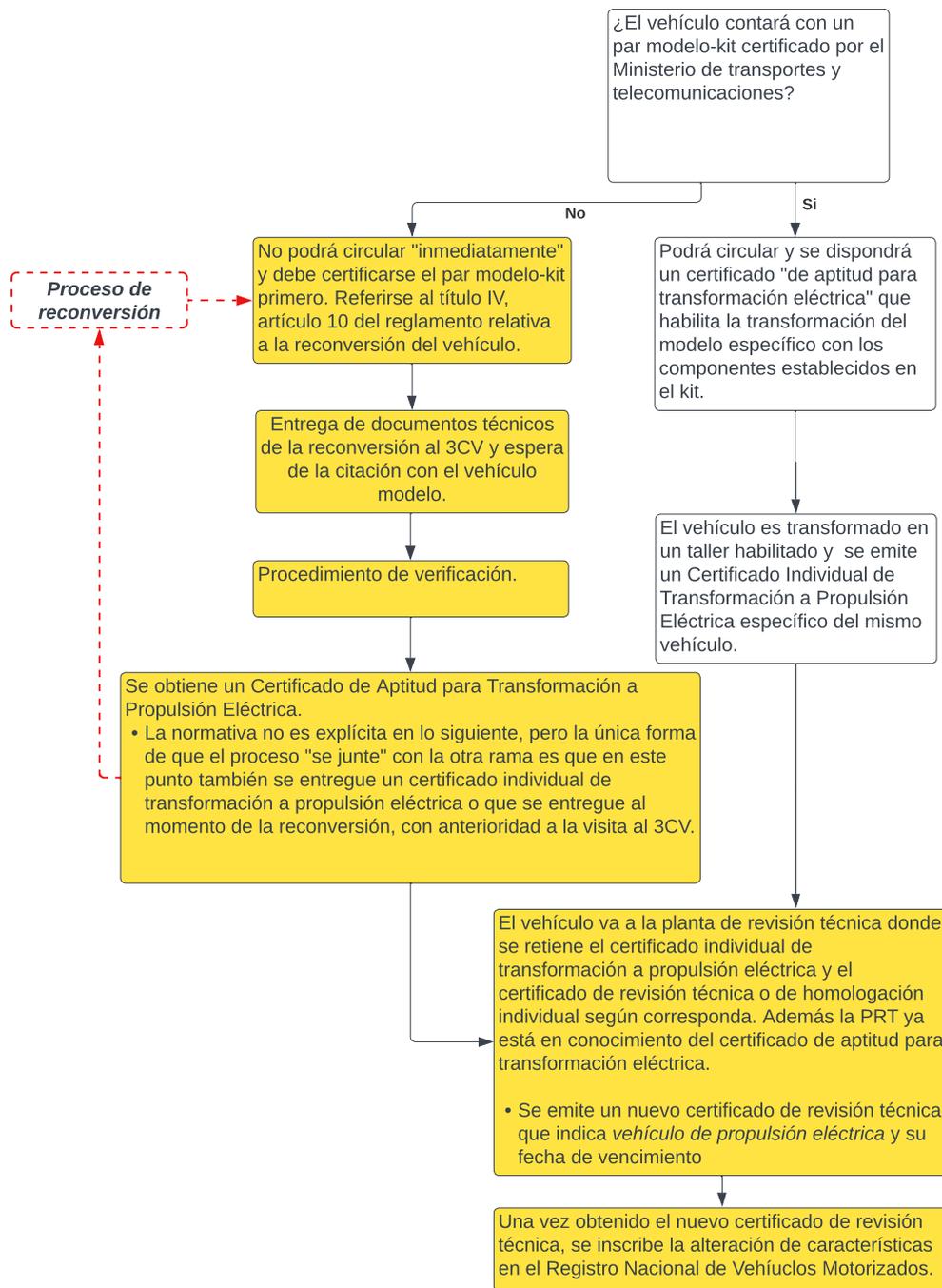


Figura 4.8: Chequeo de viabilidad práctica para el proyecto LilEV. El flujo destacado es el que se debería seguir para el vehículo LilEV.

Capítulo 5

Análisis de los resultados obtenidos

A continuación, se realiza un análisis de los resultados obtenidos para las distintas aristas de trabajo propuestas en la metodología del trabajo de título. Se inicia primero con los resultados obtenidos para el estudio normativo y la propuesta de protocolo para luego continuar con la experiencia del proyecto LilEV y finalizar con la retroalimentación y propuesta final del protocolo de validación además de los cambios necesarios en el vehículo LilEV.

5.1. Estudio normativo

Dado que el trabajo se realiza en función del “Reglamento para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica”, se logra identificar inicialmente a los actores implicados en el proceso de reconversión de vehículos dentro del contexto nacional. Así mismo, no se estipula necesario la incorporación de nuevos entes participantes ya que se considera que como este documento tiene una serie de elementos en común con el marco normativo propuesto por la CEPAL, se ajustan de manera correcta al contexto nacional. Si bien dentro del mismo reglamento la participación de un tercero verificador que sea ingeniero eléctrico, se podría también incluir especialistas del área civil Mecánica. No se menciona que estos terceros verificadores deban cumplir con alguna especialización o certificación, por lo que también se considera oportuno que deban registrarse o certificarse con alguna institución específica (SEC, 3CV u otro ente competente).

El análisis temático incorpora una revisión de 7 documentos normativos distintos. Se clasifican bajo cuatro distintas categorías y estas definen un conjunto mínimo de elementos que podrían definir una normativa. Si bien se podrían dividir en más secciones, en este caso no se busca entrar en mayor detalle en esta área de trabajo en particular. Así mismo, el ámbito de aplicación y la orgánica funcional de las distintas propuestas normativas es analizada, pero se considera oportuno proseguir con la que plantea el Reglamento de transformación de vehículos. Esta propone una estructura ordenada que permitirá una incorporación paulatina de vehículos reconvertidos en el parque nacional, pero que a su vez cumplirá con estándares mínimos de seguridad y permitirá generar un eco-sistema que evolucione con el tiempo para poder incorporar más elementos asociados al proceso de reconversión.

Bajo la estructura existente en el reglamento para transformación, se logra establecer una hoja de ruta que permite determinar rápidamente las acciones que deberán ser realizadas pa-

ra poder reconvertir el vehículo en regla y que sea homologable y por tanto autorizado para su circulación en la vía pública. Se determinan dos posibles caminos para la homologación, que están determinados por el conjunto de componentes utilizados (o a utilizar) en la reconversión. Si estos están ya certificados por el 3CV como utilizables para un par modelo-kit, es decir, que ya se certificó que los componentes son utilizables en el vehículo a reconvertir, entonces el camino es expedito y principalmente se requieren trámites administrativos luego de la reconversión. Por contraparte, si los componentes no están certificados por la SEC como un par modelo-kit, entonces se deberá lograr que este conjunto de componentes sea validado como tal y por tanto se realizan procedimientos adicionales principalmente en el 3CV.

La selección de secciones normativas se hace considerando las modificaciones al reglamento de transformación que se utilizó como base de trabajo. Esta propuesta de secciones normativas define la estructura que tendrá la normativa, pero debe responder también a la lógica u orgánica funcional del marco regulatorio. En el caso Chileno, se opta por una lógica de kits de reconversiones con pares modelo-kit pero no en todos los casos se realiza de la misma manera, como por ejemplo en el caso Australiano.

Como se mencionó en secciones anteriores, el proceso actual permite que una persona natural o una empresa pueda certificar un kit de reconversión bajo el alero del 3CV, contando con la autorización previa de la SEC para ciertos elementos del conjunto funcional. No se mencionan en ningún momento requisitos del conjunto funcional más allá de elementos particulares como la resistencia de aislación, algunas modificaciones mecánicas y especificaciones para el sistema de acoplamiento de carga y por tanto se considera necesario incorporar elementos de esta naturaleza que permitan elevar los estándares de seguridad.

Con esto en mente, la propuesta de contenidos mantiene la estructura general del documento utilizado como base, pero se introducen cambios principalmente tanto en el ámbito de aplicación como en los requisitos técnicos asociados a la reconversión. No se considera necesario implementar cambios a los capítulos que se relacionan directamente con la parte administrativa de la reconversión, ya que se ajustan al contexto nacional de buena manera.

La discusión de los requisitos técnicos presentes en la normativa se centra en dos aspectos fundamentales:

- Que los elementos presentes en la normativa proporcionen estándares de seguridad adecuados.
- Que los elementos de la normativa no presenten barreras significativas para la adopción de este tipo de tecnologías por ejemplo a emprendedores que deseen iniciar un taller de reconversiones.

La lógica de reconversión de vehículos bajo el sistema de pares modelo-kit de reconversión permite que el proceso sea realizado sistemáticamente cumpliendo estándares de mínimos de seguridad. Este esquema de reconversiones brinda suficiente flexibilidad como para poder abarcar distintos vehículos con un kit de reconversión base que sólo requerirá pequeñas modificaciones para cada modelo. Se puede crear un kit de reconversión que esté dimensionado para una Kombi eléctrica, pero que también aplique al modelo tipo 1 de VW o mejor conocido como ‘‘Escarabajo’’ sólo modificando partes del acople mecánico. Esto es especialmente posible con modelos antiguos que poseen poca electrónica y que en caso de ser intervenida el

proceso no es técnicamente complejo.

Dentro de los distintos requisitos técnicos que aparecen en la normativa, muchos de estos están centrados en la seguridad del paquete de baterías que además sólo puede estar conformado por baterías de litio. Se considera que el impacto de esta limitación es negativo, ya que podría frenar la adopción de reconversiones que se hicieran con baterías de plomo-gel, plomo-ácido u otras tecnologías, que de ser llevadas a cabo de manera segura también pueden contribuir con reutilizar un vehículo sin necesidad de cambiarlo completamente por uno eléctrico. Los elementos normativos que requieren memorias de cálculos si bien requieren de un especialista como lo puede ser un Ingeniero Civil Eléctrico o un Ingeniero Civil Mecánico, no presentan una barrera de entrada significativa para aquellos que quieran reconvertir un vehículo o iniciar un taller de reconversiones. Se considera oportuno mantener aquellos elementos normativos que hacen alusión a reglamentos como el UN-ECE R100 ya que presentan una directriz clara de cómo se pueden realizar modificaciones de manera segura, más allá de la normativa específica de cada país que como se vio en la revisión bibliográfica no siempre responde a regular elementos técnicos en profundidad.

La lógica par modelo-kit de reconversión permite también que la incorporación de elementos como el informativo de seguridad, se haga de manera más sencilla. Facilitará la creación de documentos sobre las diferentes medidas de seguridad asociadas a los vehículos eléctricos, que difieren parcialmente de las medidas tomadas para un vehículo convencional. Por ejemplo, los buses eléctricos utilizados en el Transantiago poseen un informativo de seguridad, que permite determinar de manera clara la forma de desenergizar el vehículo en caso de emergencia, así como también áreas que deben evitar manipular los equipos de emergencia en caso de accidentes.

Si bien la discusión de los elementos técnicos se centró en facilitar la adopción del proceso de reconversión mientras que se mantienen elementos de seguridad, se podría también incorporar algún elemento de análisis de costos que permita sustentar aún más lo realizado. Esto podría realizarse especialmente en aquellos elementos que son cruciales para ampliar el ámbito de aplicación de la normativa: Utilización de sistemas como Airbags, ABS o control de estabilidad, tanto como la utilización única de baterías de litio.

La propuesta del reglamento normativo permite establecer un marco de trabajo claro para poder elaborar el protocolo de validación de reconversiones. Sin tener un marco regulatorio claro, se dificulta la creación de un elemento como el protocolo de validación de reconversiones ya que no existe ningún tipo de limitación sobre lo que se podría o no considerar como seguro. Bajo la misma arista, la metodología propuesta permite que el trabajo sea replicado en distintos contextos ya que las distintas etapas del trabajo son lo bastante generales como para adaptarse fácilmente a otros países.

5.2. Experiencia del proyecto LilEV

Los resultados obtenidos en el reconocimiento de equipos y componentes permite determinar gran parte de los cambios que se realizaron al vehículo en una escala general. Se logra determinar las distintas relaciones que poseen los componentes actualmente insertos en el vehículo, y por lo tanto determinar la estructura que debería tener el sistema eléctrico del auto. El trabajo se dificulta debido a que no existía registro alguno de las modificaciones realizadas hasta la fecha, más allá del detalle de los distintos trabajos de memoria realizados sobre el vehículo.

Para la restauración de vehículos que se encuentren en un estado similar, la metodología utilizada parece ser la adecuada, a pesar de no haberse podido llevar a cabo completamente. La inspección visual de los distintos componentes del vehículo, junto con una búsqueda de los documentos técnicos asociados, permite reconstruir en gran parte las distintas relaciones entre los componentes. Por lo mismo, se sugiere que el primer paso sea la identificación de todos los componentes del sistema eléctrico vehículo, junto con sus características técnicas.

Por otra parte, la utilización de componentes no certificados o desarrollados dentro de la misma universidad imposibilita la homologación del vehículo. Por tanto, se debe considerar el reemplazo de elementos clave como el controlador de tracción, mientras que el controlador general del vehículo deberá ser reemplazado por un elemento que al menos permita recopilar y entregar toda la información requerida por el conductor (SOC, fallas, etc.) para poder manejar del vehículo de manera segura.

Una vez realizado el reconocimiento de componentes se dispondrá de un set de piezas que se deberán “encajar” para poder reconstruir las conexiones reales del vehículo. Aquí es donde la información técnica de los fabricantes juega un rol crucial ya que permitirá dos cosas: En primera instancia, determinar si los componentes del vehículo están dimensionados correctamente para su aplicación, y también permitirá avanzar desde un modelo conceptual del sistema eléctrico del vehículo a un esquema eléctrico que considera las conexiones reales de todos los componentes. Esto se realiza por ejemplo, al calcular si la precarga está dimensionada correctamente, o si el dimensionamiento de los componentes como fusibles es correcto. Como último paso de este proceso tiene sentido que se ajusten las distintas configuraciones de los componentes según sea necesario.

El diagnóstico de estado por su parte, da paso a una posible reutilización de componentes como baterías que puedan estar en un buen estado de salud. Si bien es un elemento que puede favorecer la reconversión en términos de costo, se tendrán que definir parámetros de seguridad claro en la reutilización de componentes ya que son más proclives a fallos. Un elemento importante del desarrollo de la etapa de diagnóstico de las baterías dentro del trabajo, fue que se realizó un montaje experimental que permitió sistematizar la prueba de estos elementos para poder obtener el estado de salud de las baterías de prueba. Así, se podría replicar esto para cada una de las celdas y aunque que los resultados muestran que no es posible reutilizarlas en el vehículo LilEV, sí se podrían determinar grupos de baterías en estados de salud similares para otras aplicaciones, considerando además, que la capacidad original de las baterías es de un valor considerable (60Ah).

Capítulo 6

Conclusiones

A partir de los objetivos planteados en este trabajo, se elabora un protocolo que permite validar una reconversión de vehículos eléctricos a partir de una revisión de la normativa internacional, incorporando particularmente estándares de seguridad. Además, se aplica este protocolo a un caso real de reconversión, lo que permitió determinar posibles áreas de trabajo para poder cumplir con los estándares de seguridad establecidos. Esto va en línea con uno de los principales objetivos del trabajo de título.

En este sentido, se contrasta la propuesta normativa actual para Chile con normativa internacional para producir un resultado que creemos eleva los estándares de seguridad, sin por ello entorpecer el proceso de reconversión. Esto se logra al exigir más elementos de seguridad que abarcan de manera mucho más integral el vehículo reconvertido y sus componentes. Lo anterior, sin embargo, no reviste una barrera adicional técnica o de infraestructura (taller) y equipamiento para un emprendedor que busque innovar en esta área.

Bajo la misma línea, se crea una metodología que permitiría iniciar un proceso similar en algún otro país y adaptarse a los estados de desarrollo o adopción de reconversiones según sea necesario. Desde un punto de vista centrado en el contexto nacional, se establece una hoja de ruta que permite eventualmente lograr una reconversión válida con el proyecto LilEV.

Cabe mencionar, que no fue factible completar el objetivo de restauración y puesta en marcha del vehículo reconvertido a eléctrico seleccionado LilEV. Si bien no se logra este objetivo, se realiza un trabajo de documentación del proyecto LilEV que en un futuro cercano permitirá que sea realizada con mucha mayor facilidad y en un marco temporal mucho más acotado. Por ejemplo, se logra definir e implementar un montaje experimental que permite la realización de pruebas de carga y descarga a distintas baterías y que fue utilizado con algunas de las celdas del vehículo LilEV.

Trabajo futuro

Dentro del trabajo futuro, en primera instancia se encuentran las modificaciones al vehículo LilEV para que pueda cumplir con el marco normativo propuesto y eventualmente sea homologado.

Asimismo, habiendo tomado conocimiento de la reciente publicación del nuevo reglamento que establece requisitos para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica, Decreto Supremo 62 de abril de 2022, se propone realizar un análisis comparativo con lo propuesto en este trabajo. De esta forma se puede seguir contribuyendo con futuros perfeccionamientos normativos.

Bibliografía

- [1] M. de Energía, “Estrategia nacional de electromovilidad,” 2019.
- [2] ANAC, “Informe de ventas vehículos cero y bajas emisiones,” 2021.
- [3] ANAC, “Informe del mercado automotor,” 2021.
- [4] AVEC, “Electromovilidad en Chile,” 2019.
- [5] M. de Energía, “Plataforma de electromovilidad, recuperado de [Plataforma Ecocarga](#), [Link directo](#),” 2021.
- [6] S. de Electricidad y Combustibles, “Estadísticas de electromovilidad,” 2021.
- [7] I. G. E. Outlook, “Accelerating ambitions despite the pandemic,” *International Energy Agency: Paris, France*, 2021.
- [8] M. Guarnieri, “Looking back to electric cars,” in *2012 Third IEEE HISTory of ELECTRO-technology CONFERENCE (HISTELCON)*, pp. 1–6, IEEE, 2012.
- [9] M. Ehsani, K. V. Singh, H. O. Bansal, and R. T. Mehrjardi, “State of the art and trends in electric and hybrid electric vehicles,” *Proceedings of the IEEE*, 2021.
- [10] G. Bhatti, H. Mohan, and R. R. Singh, “Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 141, p. 110801, 2021.
- [11] J. Van Mierlo, M. Bercibar, M. El Baghdadi, C. De Cauwer, M. Messagie, T. Coosemans, V. A. Jacobs, and O. Hegazy, “Beyond the state of the art of electric vehicles: A fact-based paper of the current and prospective electric vehicle technologies,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 12, no. 1, p. 20, 2021.
- [12] B. C. Keoun, “Designing an electric vehicle conversion,” in *Proceedings of Southcon’95*, pp. 303–308, IEEE, 1995.
- [13] S. Kaleg, A. Hapid, and M. R. Kurnia, “Electric vehicle conversion based on distance, speed and cost requirements,” *Energy Procedia*, vol. 68, pp. 446–454, 2015.
- [14] A. Karki, B. P. Shrestha, D. Tuladhar, S. Basnet, S. Phuyal, and B. Baral, “Parameters matching for electric vehicle conversion,” in *2019 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India)*, pp. 1–5, IEEE, 2019.
- [15] A. Aggarwal and V. Chawla, “A sustainable process for conversion of petrol engine vehicle to battery electric vehicle: A case study,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 38, pp. 432–437, 2021.
- [16] M. Armand, P. Axmann, D. Bresser, M. Copley, K. Edström, C. Ekberg, D. Guyomard, B. Lestriez, P. Novák, M. Petranikova, *et al.*, “Lithium-ion batteries—current state of the

- art and anticipated developments,” *Journal of Power Sources*, vol. 479, p. 228708, 2020.
- [17] J. Ma, Y. Li, N. S. Grundish, J. B. Goodenough, Y. Chen, L. Guo, Z. Peng, X. Qi, F. Yang, L. Qie, *et al.*, “The 2021 battery technology roadmap,” *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 54, no. 18, p. 183001, 2021.
- [18] Y. A. Alamoudi, A. Ferrah, R. Panduranga, A. Althobaiti, and F. Mulolani, “State-of-the-art electrical machines for modern electric vehicles,” in *2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, pp. 1–8, IEEE, 2019.
- [19] A. P. Asimakopoulos, B. T. Boumis, C. E. Patsias, D. A. Safacas, and E. E. Mitronikas, “Experience derived from the conversion of a conventional car to a hybrid electric vehicle—analysis of the powertrain,” in *SPEEDAM 2010*, pp. 1040–1045, IEEE, 2010.
- [20] K. Kiyota, H. Sugimoto, and A. Chiba, “Comparing electric motors: An analysis using four standard driving schedules,” *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 20, no. 4, pp. 12–20, 2014.
- [21] I. A. Polanco Lobos, “Diseño e implementación de un controlador de potencia para la tracción y conexión v2æg de un vehículo eléctrico utilitario,” 2014.
- [22] V. Castaneda, “Lufke i: Auto reciclado con tracción eléctrica para la ciudad de Santiago de Chile,” *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile*, 2005.
- [23] J. A. Vargas Fabre, “Conversión a auto eléctrico basada en un accionamiento trifásico: Diseño, modelación e implementación,” 2012.
- [24] N. CEPAL, “Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles,” 2021.
- [25] J. A. Cáceres Luque, “Diseño e implementación de controlador de potencia configurable para la aplicación en vehículos eléctricos,” 2016.

Anexos

Anexo A

Anexo - Comparativa de elementos normativos

En función de la discusión previa para los distintos puntos descritos en las normativas se propone a modo de resumen un análisis comparativo sobre las ventajas y desventajas de incorporar o retirar estos elementos de la propuesta.

Los cuadros están inicialmente compuestos por un elemento normativo que está sujeto a análisis y cuya discusión fue llevada a cabo en las secciones previas del trabajo. También están compuestos por una columna de ventajas y de desventajas donde se resumen de manera concisa los argumentos establecidos en la discusión previa.

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
Ámbito de aplicación	Se debe cambiar su posición en el texto principalmente por razones de cohesión.	
Incorporación de baterías de tipo A y B	La reconversión de vehículos no queda limitada solamente a una tecnología única como lo es el litio. Esto puede abaratar costos además de ser una tecnología técnicamente menos compleja de implementar. Así mismo, existen normativas de reconversiones que incorporan esta tecnología y se preocupan de incorporar elementos de seguridad específicos en la materia.	La normativa de seguridad se complejiza. Los procesos de certificación/validación de reconversiones deberán contemplar esta nueva categoría y proponer las regulaciones respectivas. La tecnología de plomo-ácido o plomo gel también es más dañina con el medio ambiente que la tecnología de litio.
Los sistemas eléctricos deberán estar diseñados para operar en un rango de temperatura de -15 °C a 50 °C.	Permite que los vehículos efectivamente operen en este rango. Dada la diferencia de condiciones climáticas en el país, esto asegura que los vehículos puedan ser usados en gran parte del país.	Existen zonas del país donde las temperaturas podrían no estar dentro del rango explicitado.
Los cables de alto voltaje deberán estar identificados con una cubierta de color naranja. Además, cables con voltaje DC deberán tener en sus extremos una cubierta roja y negra para terminales positivos y negativos respectivamente.	Permite la rápida identificación de los distintos niveles de voltaje en el vehículo, ya sea para mantención o casos de emergencia.	

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
<p>Todo pack de baterías ya sea tipo A o tipo B deberá contar con un plug de conexión o equivalente que permita la desconexión de un alto voltaje sin el uso de ninguna herramienta.</p>	<p>Puede facilitar la acción de equipos de rescate o mejorar los estándares de seguridad con los que trabajan los profesionales de los talleres de mantención.</p>	<p>Puede ser mal utilizado por el/los usuarios. Esto no implica que necesariamente debe ser accesible para cualquier usuario.</p>
<p>Si se utiliza un sistema distinto al plug de conexión, entonces deberá cumplir con que el compartimiento de las baterías no pueda ser abierto mientras el vehículo esté encendido y también que el vehículo no pueda ser encendido mientras el compartimiento de las baterías esté abierto.</p>	<p>Complementa la indicación anterior.</p>	<p>Los sistemas deben ser evaluados uno a uno para poder permitir su correcta implementación bajo normas de seguridad pertinentes.</p>
<p>3. Las baterías deberán contar con un sistema de protección para sobrecarga, sobre-descarga, sobre temperatura, sobrecorriente y corto circuitos externos.</p>	<p>Añade un elemento de seguridad del paquete de baterías de tracción que no estaba contemplado en el Reglamento R100 UN-ECE.</p>	<p>Complejiza la implementación y construcción del paquete de baterías.</p>
<p>El REESS deberá cumplir con la normativa UN-ECE R100 o equivalente.</p>	<p>Establece los estándares mínimos de seguridad que deben cumplir las baterías del vehículo.</p>	<p>Puede ser que la normativa de China permita un mayor estándar de seguridad. Sin embargo, podrían complementarse en un trabajo futuro.</p>

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
<p>Mecánicamente en REESS deberá cumplir con lo establecido en el anexo 8 del UN-ECE R100 y se deberá adjuntar la memoria de cálculo respectiva para los anclajes de manera de verificar que soportarán los siguientes impactos: Impacto frontal con una aceleración de 20 g.; Impacto lateral con una aceleración de 15 g.; Impacto trasero con una aceleración de 10 g; Impacto vertical (por volcamiento) con una aceleración de 10g</p>	<p>La indicación añade un elemento de seguridad que no está descrito ni en el R100 ni en el reglamento de transformación en consulta pública.</p>	<p>La memoria deberá ser analizada por el experto en cuestión, que deberá ser de la especialidad mecánica Podría implicar que dentro del "Tercero verificador"deba incluirse una nueva figura que corresponde a un especialista mecánico.</p>
<p>Se deberá utilizar un switch de inercia que logre la desconexión del circuito de alto voltaje del vehículo bajo la misma normativa utilizada en vehículos convencionales con motor a combustión.</p>	<p>Incluye un elemento de seguridad que no estaba establecido en la normativa del Reglamento de Transformación, ni el reglamento R100 UN-ECE. La implementación es relativamente sencilla.</p>	
<p>Las baterías de tracción y circuitos eléctricos cuyos sistemas operan a más de 60 VDC o 30VAC RMS deberán estar montados a una distancia: Mayor de 420mm de la línea horizontal trasera que demarca el frontal del vehículo, la cuál es paralela a la línea central del vehículo.; Mayor de 300mm de la línea horizontal trasera que demarca la parte trasera del vehículo, la cuál es paralela a la línea central del vehículo.</p>	<p>Permitirá que se eviten contactos directos a los paquetes de baterías. Así, los vehículos serán menos propensos a fallas catastróficas en el paquete de baterías de tracción durante los accidentes. Los equipos de rescate también podrán estar más seguros.</p>	<p>Restringe la ubicación de las baterías y en algunos modelos puede verse restringida la reconversión debido a que las baterías no caben en el vehículo.</p>

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
Las baterías de tipo B no podrán ir en habitáculo del pasajero y deberán estar completamente selladas del mismo. El compartimiento debe ser resistente a la corrosión o en su defecto estar cubierto por materiales que sean resistentes a la corrosión.	Mejora la seguridad del/los usuarios el vehículo.	Puede incluir modificaciones mayores al vehículo: La creación de un nuevo compartimiento, implementación de las baterías en el compartimiento del motor, etc.
Bajo la misma línea, las baterías tipo B deberán poseer un sistema de ventilación que cumpla lo siguiente: Debe proveer resistencia al agua. Se solicitará que también posea un grado de protección a objetos externos de al menos IP2X.; Los gases deben ser liberados de manera directa a la atmósfera. No pueden ser liberados por el lado inferior del vehículo y la entrada y salida de gases deben estar separadas de manera que se evite la recirculación de gases en el sistema de ventilación. Dependiendo del pack de baterías de tracción y el tamaño de las tomas de ventilación, se podrá requerir un sistema de ventilación forzado.	Mejora la seguridad del/los usuarios el vehículo.	Puede incluir modificaciones mayores al vehículo: La creación de un nuevo compartimiento, implementación de las baterías en el compartimiento del motor, etc.
El pack de baterías compuesto por baterías tipo B deberá contemplar un sistema de detección de volcamiento que inhabilite el movimiento del vehículo en caso de actuar.	Mejora la seguridad del/los usuarios el vehículo. También la de los equipos de emergencia ante un eventual accidente. Su implementación se puede sumar a la del switch de inercia u otros.	Complejiza la implementación y construcción del paquete de baterías.

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
<p>En el caso de la utilización de baterías de tecnología de litio, el vehículo deberá contar con un sistema interno de balanceo de módulos y también con alguna forma de alerta al conductor frente a algún problema de desbalanceo en los módulos de baterías. Se deberá inhibir la operación del vehículo frente a un fenómeno de desbalanceo cuyo rango sea mayor al establecido técnicamente para el vehículo.</p>	<p>Mejora la seguridad del/los usuarios el vehículo. Los fenómenos de desbalanceo pueden implicar una falla grave dentro del paquete de baterías y por lo tanto se considera un elemento de suma importancia. Si bien podría estar dentro de los elementos que la SEC podría certificar, no se menciona explícitamente.</p>	<p>Dado que no se considera en la actual normativa, complejiza la construcción del paquete de baterías.</p>
<p>El conductor debe tener acceso a algún elemento visual que permita conocer una estimación de la vida útil de la batería o la distancia de manejo restante para el estado de carga restante.</p>	<p>Mejora la seguridad del/los usuarios del vehículo ya que puede permitir una mejor respuesta frente a la descarga del paquete de baterías.</p>	<p>Probablemente se requerirán modificaciones al panel del vehículo para poder lograr este requisito.</p>
<p>El vehículo deberá contar con un sistema de batería auxiliar de 12V independiente que permita que elementos como luces, bombas de frenos, y otros elementos críticos de funcionamiento del vehículo puedan seguir actuando ante la desconexión del pack de baterías de tracción.; La batería auxiliar deberá permitir el uso de las luces de emergencia (4 luces) por un periodo continuo de 20 minutos.</p>	<p>Añade un elemento de seguridad al funcionamiento del vehículo. Los elementos de seguridad críticos siguen funcionando frente a una desconexión del paquete de baterías de tracción.</p>	<p>La capacidad de la batería auxiliar cambiará y dependerá de los componentes utilizados, por lo que se pierde la estandarización buscada con los kits de conversión.</p>

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
<p>La potencia máxima y el torque máximo del motor eléctrico deberán ser dimensionados acordes al tren motriz original del vehículo. La potencia deberá encontrarse dentro del rango cerrado del 65-100 % del valor original del motor a combustión mientras que el torque máximo no podrá superar el 100 % del valor original en ningún escenario de operación.</p>	<p>El vehículo estará funcionando dentro de sus valores nominales de operación, es decir, para los que fue diseñado. Esto evitará el deterioro y posible falla de algunos componentes mecánicos.</p>	<p>La potencia de los motores eléctricos no necesariamente debe coincidir con la potencia de los motores originales. Quizás habría que encontrar un motor demasiado específico o se requerirá de un motor especial para reconversiones, esta complejidad se entiende como un efecto negativo que frena la adopción de reconversiones.</p>
<p>El motor deberá ser acoplado con un sistema que asegure su correcto funcionamiento. Este deberá estar documentado técnicamente para asegurar que no incurrirá en generar peligro.</p>	<p>Se añade un elemento seguridad a la normativa.</p>	<p>No está especificado el tipo de montaje que se requerirá, por lo que cada reconversión deberá ser analizada en detalle. Los materiales de cada reconversión también deberán ser revisados por un experto en el área mecánica.</p>
<p>El sistema motriz debe tener un grado de protección frente al agua.</p>	<p>Se añade un elemento seguridad a la normativa. Especialmente para el sur de nuestro país, establece estándares de seguridad frente a condiciones climáticas adversas tal como establecer el rango de temperatura de funcionamiento de los sistemas eléctricos.</p>	<p>Complejiza la implementación y construcción del tren motriz.</p>

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
Los cables del sistema motriz deben estar dimensionados acorde a la corriente máxima que podría circular por el vehículo durante la conducción.	Se añade un elemento seguridad a la normativa que es coherente con los demás elementos en el área.	
Se deberán tomar las medidas correspondientes para evitar el daño provocado por altas temperaturas de operación.	Permite que los vehículos funcionen de manera correcta en diferentes geográficas zonas del país. Puede ser redundante con la medida general 1.3	
Si existe alguna anomalía durante el funcionamiento del controlador, el conductor debe ser avisado mediante algún tipo de alarma sonora o visual.	Mejora la seguridad del/los usuarios del vehículo ya que puede permitir una mejor respuesta en caso de emergencia o permitir la mantención oportuna del componente.	Probablemente se requerirán modificaciones al panel del vehículo para poder lograr este requisito.
El controlador no permitir que el motor acelere en caso de que exista alguna anomalía, desconexión o corto circuito que afecte la señal del acelerador.	Elemento de seguridad importante para el funcionamiento del vehículo.	
Los aceleradores o frenos electrónicos deberán tener una salida doble de señal que permitan detectar anomalías en el funcionamiento.	Un sistema de redundancia que permite detectar anomalías en el funcionamiento del acelerador. Complementa la medida anterior y establecen un elemento de seguridad importante para los usuarios.	

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
Deberá existir un contactor entre el pack de baterías de tracción y el controlador del motor, que deberá estar dimensionado para un valor mayor de corriente que la del controlador, fusibles y termomagnéticos.	Permitirá la correcta operación del vehículo en todo el espectro de valores para los que fueron dimensionados los componentes.	
Deberán ser certificados por la SEC y cumplir con la Norma técnica de calidad y servicio.	La certificación de este tipo de componentes no está explícita en el reglamento de transformación de vehículos. Sólo se hace referencia a: Módulos de baterías, Sistema de acoplamiento de carga, cargador a bordo y dispositivo de monitoreo de aislamiento.	
Toda modificación al sistema de frenos deberá responder a la normativa vigente respectiva para el tipo de vehículo reconvertido.	Permite que los vehículos con frenos ABS y otros sistemas puedan participar del proceso de reconversión con las respectivas medidas de seguridad. Se elimina el inciso que prohíbe explícitamente las modificaciones de vehículos con ABS u otros sistemas similares	

Elemento en discusión	Ventajas	Desventajas
<p>En caso de que existan sistemas de dirección asistida, se deberá incluir una de bomba de vacío que permita la correcta utilización del sistema además de la memoria de cálculo respectiva.</p>	<p>Este inciso permite que vehículos con dirección asistida (presentes en el mercado de vehículos de hace 20 años o más al menos) puedan participar del proceso de reconversión.</p>	
<p>Si existiesen sistemas ABS, ESP o de Airbags en el vehículo original, se deberá demostrar que el sistema fue calculado, modificado e implementado en orden para que estos sistemas sigan funcionando y dependan de la batería auxiliar y que actuarán en caso de emergencia pese a que el circuito de alto voltaje del vehículo esté desenergizado.</p>	<p>Complementando las dos indicaciones anteriores, permite que se utilicen las medidas de seguridad correspondientes. En conjunto con la planta de revisión técnica se certificará que el vehículo cumple con los requisitos mínimos de funcionamiento.</p>	

Anexo B

Anexo Técnico - Proyecto LilEV

B.1. Reconocimiento de equipos y componentes

Actualmente, el vehículo eléctrico **LilEV** está construido con los componentes mencionados en la siguiente sección.

B.1.1. Baterías Winston - LYP60AHA

Uno de los componentes principales del vehículo en términos de costo y tamaño son las baterías. El **LilEV** posee un banco de baterías recargables de una capacidad cercana a los 17 [kWh] de energía y aproximadamente 207 [kg] de masa compuesto por 90 celdas de ion-litio con tecnología LiFeYPO4 fabricadas por la empresa Winston Batteries[25].

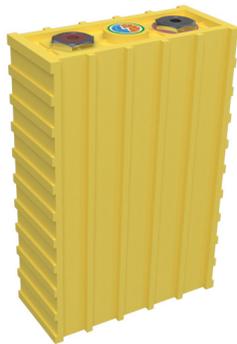


Figura B.1: Celda LYP60AHA



Figura B.2: Banco de baterías del vehículo LilEV

Estas baterías fueron compradas para la conversión inicial del vehículo [23] por lo que bajo cualquier escenario las baterías llevan al menos 8 años en el vehículo. A continuación se presentan las dimensiones físicas (B.1) y las especificaciones eléctricas del fabricante (B.2):

Tabla B.1: Dimensiones físicas de las baterías LYP60AHA de Winston Batteries

Características físicas de la batería	
Largo	11,4 [cm]
Ancho	6,1 [cm]
Altura	20,3 [cm]
Masa	2,3 [kg]

Tabla B.2: Características eléctricas de las baterías LYP60AHA de Winston Batteries

Características eléctricas de la batería		
Capacidad Nominal	60 AH	
Voltaje de operación	Carga completa	4 [V]
Ancho	Descargada	2,8 [V]
Resistencia interna	$\leq 0,55 [m\Omega]$	
Corriente máxima de descarga	Descarga constante	$\leq 3CA$
	Impulso de corriente	$\leq 10CA$
Máxima corriente de carga	180 [A] (3 CA)	
Corriente de carga/descarga estándar	30 [A] (0,5 CA)	
Ciclo de vida	80 % DOD	≥ 5000 ciclos
	70 % DOD	≥ 7000 ciclos
Temperatura de operación de la carcasa	$\leq 200^{\circ}C$	
Temperatura de operación	Carga	$-45^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$
	Descarga	
	Humedad de almacenamiento	$\leq 75 \%HR$
Tasa de auto-descarga	$\leq 3 \%$ (Mensual)	

De las características técnicas de las baterías podemos notar que existen algunos puntos críticos respecto al estado de las baterías. Si la tasa de auto-descarga es de un 3%, dado el contexto actual (estallido social y posterior pandemia) podemos contar al menos 22 meses desde que no se ha hecho ningún tipo de mantención a los componentes del vehículo. De ser así, se espera que estas baterías se hayan descargado en aproximadamente un 72% y por tanto sólo quede un 28% de carga en ellas considerando un escenario alentador.

B.1.2. BMS BCU-MICRO 03 - LFP Battery Balancing Module

Actualmente el *Battery Management System* instalado dentro del vehículo corresponde a un BMS desarrollado por la empresa Australiana EV Power , que consta de una unidad de control central y múltiples unidades de monitoreo conectadas directamente en las celdas del banco de baterías.



Figura B.3: Battery Management System EV POWER BCU-MICRO 03.

Por construcción, este componente no presenta opciones de funcionamiento más allá de la posibilidad de monitorear el voltaje del banco de baterías o de las celdas de manera individual y balancear los módulos por sobre un voltaje umbral. Además posee la capacidad de señalar el proceso de carga y descarga de las baterías en función del voltaje, lo que permite manejar relés y utilizarlo en conjunto con un cargador externo de baterías.

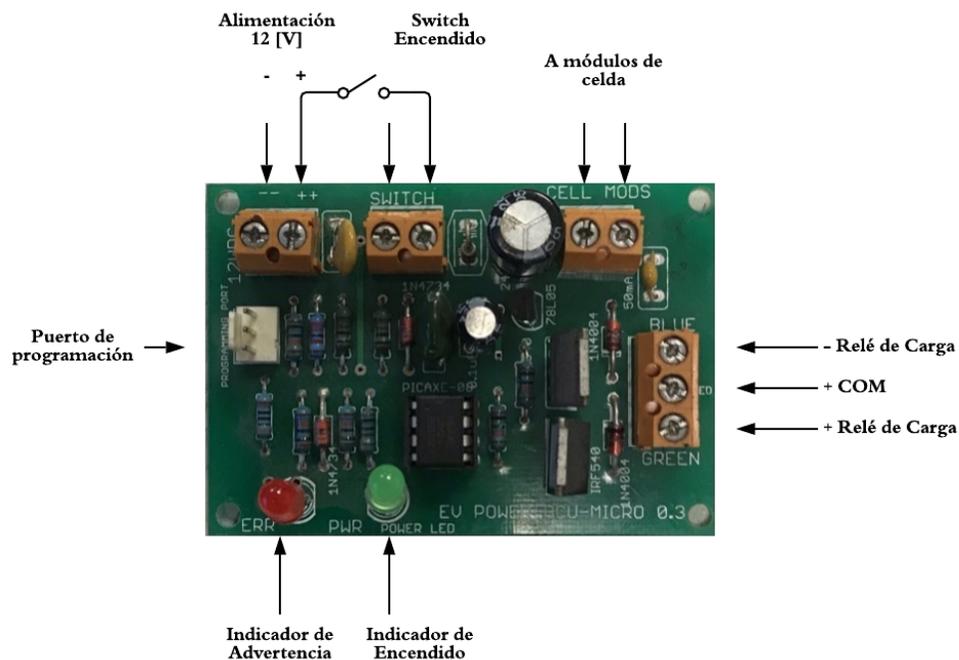


Figura B.4: Funciones del BMS EV POWER BCU-MICRO 03

Pese a la simpleza del modelo respecto a los BMS presentes hoy en el mercado, es suficiente para poder usarlo en conjunto con el cargador **Manzanita Micro PCF-20M** y así controlar el proceso de carga de las baterías de manera segura desde la red.

De los datos recopilados de [23] y [25] se establece que el módulo de control central funciona con 12[V], posee una señal de carga y de descarga a través del conector “*switch*” y que es posible utilizar un interruptor de encendido para el control. Además cuenta con un puerto de programación cuyas funciones no están definidas ni en el manual de usuario ni en [23] y [25]. Sin embargo, en el manual del usuario de versiones posteriores del BMS (en particular de la versión BCU-MICRO 08) se encuentra un breve anexo sobre la programación del controlador PICAXE a través del puerto de programación:

PC Serial Connector Diagram	ComPort D9 Func. Pin	Manual Wire Colr. #	PicAxe bd. Conn. Header	Phono Plug	PicAxe Chip Physical Legs '08 '18A 28A	Connection Port Name
	RxD 2	Orange 1		SHAFT	7 2 7	Serial Out
	TxD 3	Red 2		RING	2 3 6	Serial In
	Gnd 5	Brown 3		TIP	8 5 8	Ground

Figura B.5: Esquema de conexiones para el puerto de programación del BMS BCU-MICRO 08.

Dado que ambos BMS comparten el mismo circuito integrado de programación (PICAXE 08M2) es probable que su rutina de funcionamiento sea similar.

En conjunto con el BMS se encuentran los distintos módulos de sensado que se acoplan a las baterías en sí. Estos corresponden al modelo CM60 de la misma empresa EV Power.



Figura B.6: Sensor CM60 de la empresa EV Power.

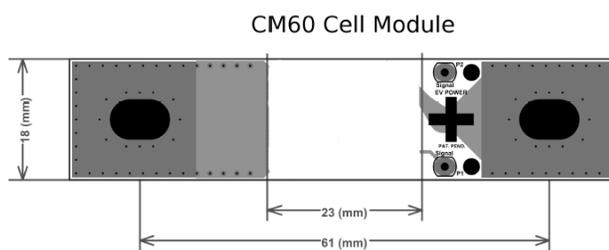


Figura B.7: Dimensiones del sensor CM60 de la empresa EV Power.

En el manual de fabricante solo se muestran características técnicas para dos tipos de sensores distintos pese a mencionar cuatro modelos. Esto se explica ya que tres de estos cuatros sensores tienen las mismas características eléctricas pero no físicas. Cada uno de estos modelos se adapta físicamente a distintas baterías cuyo tipo y distancia entre terminales es distinto entre sí.

Las características técnicas de los modelos CM60, CBM-LFP08, CBM-100/180 se listan a continuación:

Tabla B.3: Características eléctricas del BMS MCU EV2 y los módulos LFP.

Voltaje nominal de celda	3.2 [V] - 3.4 [V]
Voltaje de Bypass	3.60 [V] (Rama de Bypass se activa)
Máxima corriente de Bypass	800 [mA]
Peso	10 [g]
Consumo	<6 [mA] @ 3.2 [V]
Indicadores LED	Verde (Encendido = Ok) Rojo (Encendido = Bypass activo)
Límites de seguridad	2.5 [V] <Ok <4.1 [V]
Salidas de relé	NC cuando el voltaje es OK. Circuito abierto cuando hay falla.
Máxima corriente de señal	100 [mA] (Sin polarizar)
Máxima altura sobre los terminales	0 [mm]

A modo de ejemplo, el fabricante muestra la curva de funcionamiento de los módulos CBM-LFP08.

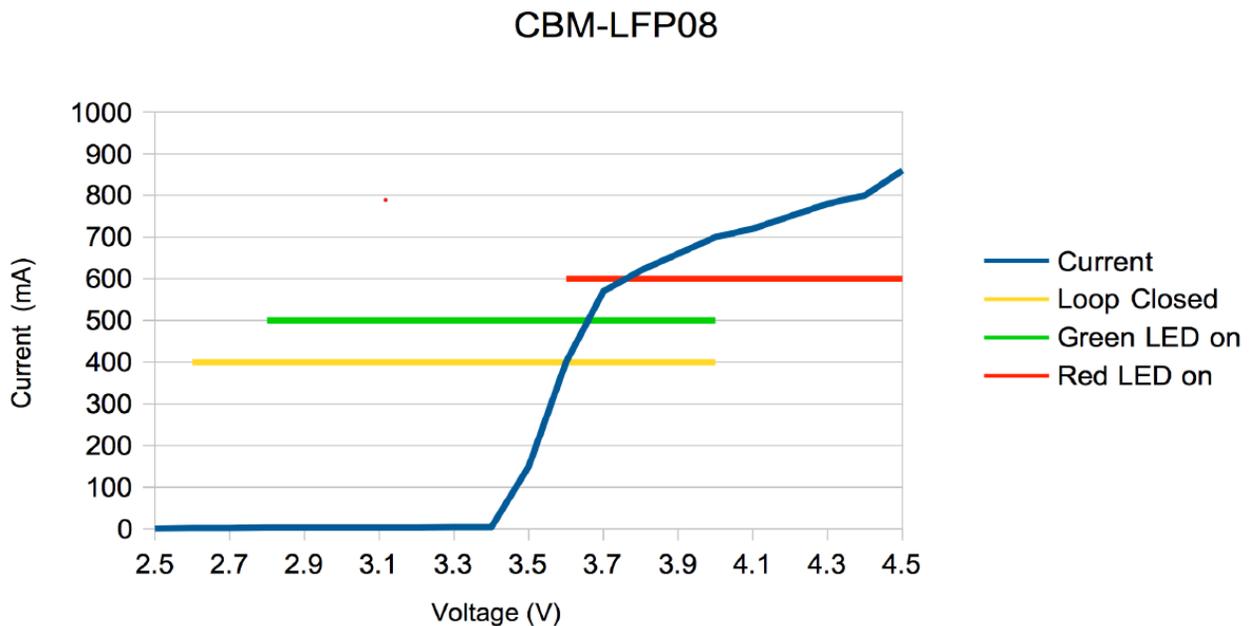


Figura B.8: Curva de operación del sensor de módulos de batería CBM-LFP08 de la empresa EV Power.

B.1.3. Protecciones Eléctricas

B.1.3.1. Contactor Schneider - LC1DT40JD

Dentro del circuito de protecciones del vehículo tenemos el contactor TeSys Deca LC1DT40JD. Este es un contactor de 4 polos normalmente abiertos que es capaz de sostener hasta 440[V] AC y 300 [V] DC y 40[A] por circuito, provisto por la empresa Schneider Electric bajo la marca de Telemecanique. Es un contactor de categoría AC-1, lo que implica que bajo la definición de los estándares IEC este puede ser utilizado en aplicaciones de baja o nula inductancia como cargas resistivas, hornos y calentadores.



Figura B.9: Modelo de regeneración de energía a través de SA propuesto.



Figura B.10: Modelo con siete grados de libertad propuesto.

Dentro de las características más importantes de este contactor se pueden rescatar la utilización de los 4 polos y una bobina de 24 [V] DC para el control del contactor. Este contactor posee una corriente operacional de 40[A] máximos a 300[V] DC, una corriente de ruptura máxima de 450[A] a 440[V] para el circuito de potencia y también una corriente de making Irms de 250[A] en DC para el circuito de señalización y 450 [A] a 440 [V] para el circuito de potencia.

La máxima corriente de making de un contactor es la máxima corriente que puede conducir el contactor al momento de cerrarse. Así, se considera la corriente de making como el valor peak del primer ciclo cuando hay un corto circuito imaginario entre fases. La corriente máxima de ruptura corresponde al valor máximo en RMS que el circuito del contactor puede interrumpir.

B.1.3.2. Relé Enchufable ABB CR-U012DC3

El relé CR-U012DC3 es un relé de Switching provisto por la marca ABB que permite controlar un circuito de potencia con hasta 250[V] DC y 10[A] a través de una bobina de 12[V] DC. Es un relé del tipo SPDT (Single Pole Double Throw) debe ser conectado a través de una interfaz “universal” de relé CR-U provisto por la misma empresa ABB. Este relé también posee un botón integrado que permite la activación manual y bloqueo de los contactos de salida.



Figura B.11: Relé enchufable ABB CR-U012DC3.



Figura B.12: Relé enchufable ABB CR-U012DC3.

B.1.3.3. Relé Schneider RXM4AB1JD - Socket RXZE2S114M

El relé RXM4AB1JD corresponde a un relé electromecánico que permite el switcheo de un interruptor mediante la energización de una bobina eléctrica. Este relé es provisto por la empresa Schneider Electric y posee 4 contactos/interruptores normalmente abiertos que son operados al energizar una bobina de 12 [V] DC. Es capaz de aguantar hasta 8 [A] en sus circuitos con un voltaje de 30 [V] DC.



Figura B.13: Relé Schneider RXM4AB1JD.



Figura B.14: Relé Schneider RXM4AB1JD

El socket RXZE2S114M está diseñado para que este y otros relés puedan ser montados en un riel BT DIN. El socket está diseñado para un máximo de 250 [VDC] y 10[A]. Ambos relés fueron testeados alimentando su bobina y revisando la continuidad entre sus diferentes terminales para corroborar su correcto funcionamiento. No se observó ninguna anomalía.

B.1.3.4. Termomagnético Legrand C125

El termomagnético es una de las protecciones encargadas de detener el flujo de energía hacia el motor si este sobrepasa los límites establecidos por el fabricante Legrand. El modelo C125 corresponde a un modelo de corriente nominal de 125[A] y curva tipo C (acciona entre 5 y 10 veces la capacidad de corriente a plena carga). Además el termomagnético posee una capacidad de ruptura de 16[kA] bajo estándar IEC 60898-1.



Figura B.15: Termomagnético Legrand C125



Figura B.16: Termomagnético Legrand C125

En la documentación del fabricante, se establece que el voltaje nominal de funcionamiento puede ser de entre 230 y 400 [V] en voltaje alterno y hasta 125 [V] por polo en corriente directa. El voltaje mínimo de operación por polo es de 12 [V] ya sea en AC o DC según el mismo fabricante. La potencia disipada por este elemento al funcionar a 80[A] es de 8.8[W].

B.1.4. Circuito de precarga

El circuito de precarga permite que la energización repentina del controlador de tracción no genere un in-rush de corriente que pueda dañar los equipos. Esto sucede principalmente debido a la presencia de capacitores cuyo voltaje al momento de la conexión del banco de baterías es bajo o nulo.

Sin la resistencia de precarga se genera un cortocircuito a través del condensador y la única resistencia en el circuito de alto voltaje corresponde a la de los cables, lo que genera altos valores de corriente que usualmente dañan equipos. Para esto, se incorpora un circuito de precarga que permite conectar el banco de baterías a los distintos equipos a través de una resistencia de alto valor que disminuirá la magnitud de la corriente al momento de energizar además de soportar la potencia necesaria.

El circuito de precarga del vehículo LilEV está compuesto por cuatro resistencias de 10[Ω], conectadas en un arreglo de 2 módulos en series, compuesto por 2 resistencias en paralelo tal y como muestra la figura.

Módulo resistivo del circuito de precarga del vehículo LiEV

El módulo considera cuatro resistencias de 10[Ohms] y 100[W].

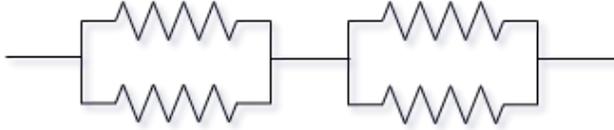


Figura B.17: Esquema de la resistencia de precarga del vehículo Li-EV.



Figura B.18: Resistencia de precarga utilizada en el vehículo.

B.1.5. Cargador Manzanita Micro PFC-20M

El cargador Manzanita Micro PFC-20M es un cargador de baterías para vehículos eléctricos diseñado para funcionar desde la red y cargar bancos de baterías de hasta 450 [V] mientras mantiene niveles de corriente de hasta 20 [A] y una potencia de 4.8 [kW].



Figura B.19: Cargador Manzanita Micro PFC-20M

Actualmente el vehículo no se encuentra con el cargador funcionando ya que producto de un cortocircuito en el módulo de regulación de voltaje que presenta en el panel, se averió. Sin embargo, datos sobre su programación y funcionamiento se encuentran tanto en el manual como en [23]. Las principales características de este cargador se listan a continuación:

Modelo	Manzanita Micro PFC20M
Rango de voltaje de entrada	100 - 240 [V] AC 40 - 80 [Hz]
Rango de voltaje de salida	12 - 450 [V] DC \pm 1
Potencia de salida	Hasta 4.8 [kW]
Temperatura de operación	-28.8° a 48.8°C
Peso	8.2 [kg]

B.1.6. Cargador de baterías DLS-240-45 de Iota Engineering

El cargador de baterías de 12 [V] DLS-240-45 provisto por la empresa IOTA Engineering posee como principal función la carga de la batería auxiliar del vehículo. Este cargador de baterías también puede ser operado para alimentar una carga de 12 [V].



Figura B.20: Conversor DC/DC DLS-240-45

Las características técnicas de este componente se listan a continuación en la tabla:

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Voltaje de salida DC (Sin carga, aproximado)	13.6 VDC	Protección de sobrecarga	>100 %
Tolerancia en Voltaje de Salida (Sin carga)	±7 %	Regulación de línea	100 mV rms
Corriente de salida, Máximo Continuo	45 A	Regulación de carga	<1 %
Voltaje de salida DC (Plena carga, aproximado)	>13.4 VDC	Control de ventilador	Proporcional
Máxima potencia de salida, Continua	600 W	Protección térmica	Sí
Ripple y ruido	<50 mV rms	Rango de temperatura operacional	0-40°C
Rango de Voltaje de Entrada	47-63 V	Temperatura de almacenamiento	-20 a 80°C
Máxima corriente AC @216VAC	5.5 A	Tensión soportada (VDC)**	1700/1700/500
Eficiencia típica	>80 %	Dimensiones aproximadas	9.7"x6.7"x3.4"
Máxima corriente de Inrush, Ciclo único	30 A	Peso	5 libras
Protección de corto circuito	Sí		

Bajo instrucciones del fabricante se debe alimentar este conversor/cargador de baterías con un voltaje alterno de entre 220 y 240 VAC, sin embargo, en el vehículo se encuentra instalado con su entrada conectada al bus DC que opera a un voltaje de 297 VDC. El fabricante en ninguna parte afirma que en su entrada el conversor pueda operar con un voltaje de esa magnitud, sin embargo, en [25] y [23] se cita que el conversor posee un rango de operación de 260-340 VDC sin poder corroborarse con los datos técnicos del fabricante. Se puede verificar visualmente que se encuentra conectado al bus DC del vehículo en las figuras B.21 y B.22:

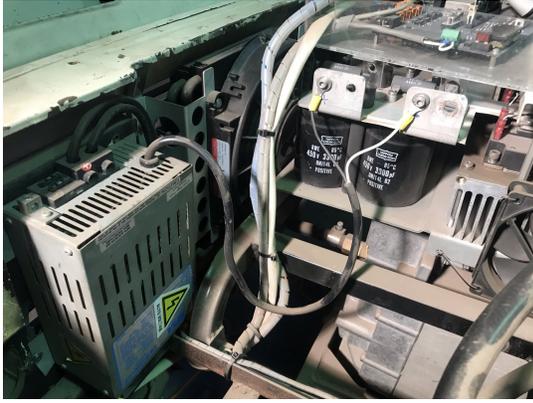


Figura B.21: Conversor DCDC del vehículo instalado directamente al Bus DC

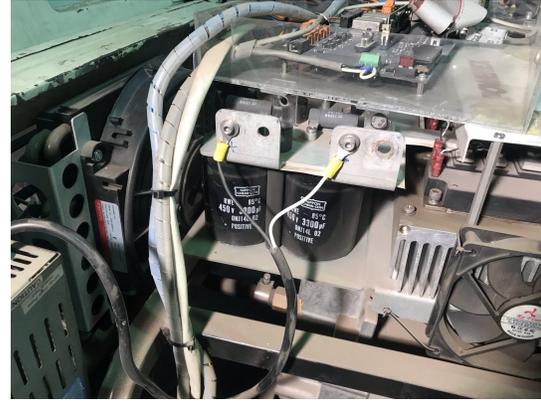


Figura B.22: Bus DC y su conexión al convertor DCDC

B.1.7. Motor Siemens 1PV5133-4WS20

El motor existente en el vehículo es un motor de inducción **Siemens 1PV5133-4WS20** cuyo diseño original fue pensado para el vehículo *Ford Ranger EV* manufacturado entre los años 1998 a 2002 por la empresa *Ford*. Fueron creados aproximadamente 1500 de estos vehículos bajo el mandato de la EPA (*Environmental Protection Agency*) en California para luego ser retirados debido a que la tecnología no se encontraba en un estado “maduro” en la época.



Figura B.23: Motor de inducción Siemens 1PV5133-4WS20 W11

Las características técnicas de este motor se muestran en la tabla : x

Tipo de tecnología	Motor de inducción
Tipo de refrigeración	Agua @ 8 [l/min]
Voltaje de operación	215 [V] - 380 [V]
Potencia nominal	33 [kW]
Potencia máxima	67 [kW] @280 [A]
Torque nominal	90 [Nm]
Torque máximo	200 [Nm]
Corriente nominal	145 [A]
Corriente peak	280 [A]
Velocidad nominal	4000 [RPM]
Velocidad máxima	13.000 [RPM]
Peso	77 [kg]

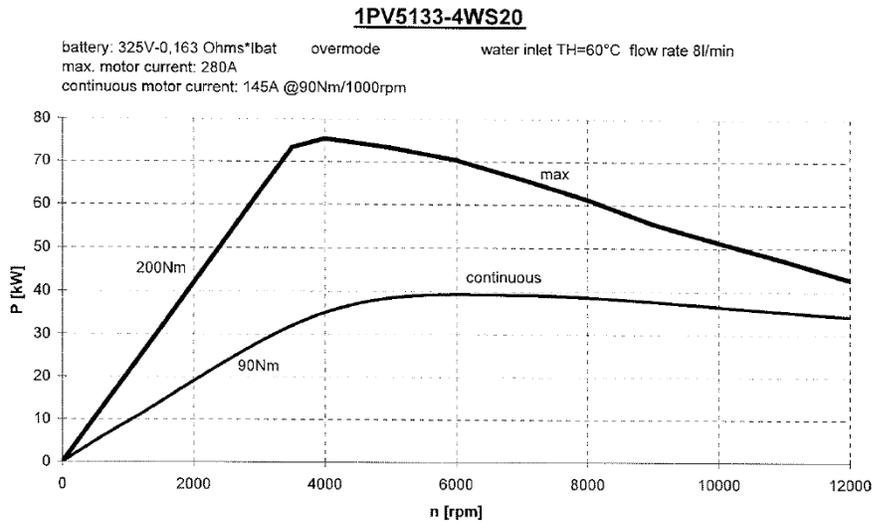


Figura B.24: Curva característica del motor Siemens 1PV5133-4WS20

Cabe destacar que la información técnica obtenida para el motor Siemens no es de alguna fuente oficial entregada por el fabricante de la máquina, sino más bien fuentes secundarias o terciarias que tienen acceso al motor y aparentemente solicitaron datos al fabricante. Aparentemente [Anexo Técnico del motor] proviene de una fuente oficial solicitada a Siemens, pero no hay certeza de esto. A pesar de esto, se utiliza como referencia en [23] y [25].

B.1.8. Conversor trifásico de potencia - POW-R-PAK PP300T060 Powerex

El conversor PP300T060 de la empresa Powerex presenta un montaje configurable de alta potencia y velocidad de switching basado en IGBT's para ser utilizado como conversor, chopper, medio puente, puente completo o inversor trifásico para aplicaciones motrices, entre otros usos posibles.



Figura B.25: Conversor PPP300T060 - Powerex

Las características de operación y componentes actuales del **LilEV** hacen que este componente se utilice principalmente como un inversor trifásico que deba conmutar con alta frecuencia para poder alimentar el motor bajo el algoritmo de *Control de Campo Orientado* implementado por [25]. La velocidad de switching de este conversor es de hasta 20 [kHz] según fabricante.

Este conversor esta pensado para aplicaciones de hasta 300 [V] y 600[A] nominales e incluye protecciones que lo protegen de eventuales fallas externas. Además, las compuertas de los IGBT's y sus fuentes están opto-aisladas (*optically isolated*) lo que permite evitar que altos voltajes provenientes de componentes externos alteren el correcto funcionamiento del sistema. También existen protecciones de sobrevoltaje, sobrecorriente y sobretemperatura, además de detección de cortocircuitos.

Gran parte de estos circuitos de protección emiten señales que son transmitidas a través de la "Gate drive board" a una interfaz de usuario. Esta conexión se hace a través de un cable estándar *IDC Socket* de 26 pines ampliamente disponible en el mercado.

B.2. Lada Niva

Dentro de la documentación del vehículo Niva se puede encontrar el masa del vehículo sin carga, además de la máxima carga admisible que el vehículo y la masa que puede ser llevada en un trailer.

CAR PERFORMANCE DATA

MAIN PERFORMANCE PARAMETERS AND DIMENSIONS		
Parameters	Car model and its versions	
	VAZ-21214	VAZ-2131
Body type	All-metal, unitized, three-door, station wagon	All-metal, unitized, five-door, station wagon
Layout scheme	All-wheel-drive, with engine longitudinal arrangement	
Number of seats, pers	4	5
Number of seats with backseats folded, pers	2	2
Unladen mass, kg	1210	1370
Authorized maximum weight (PMM), kg	1610	1870
Road clearance at PMM with statistics tire radius of 314 mm (185/75R16), no less than, mm: – up to front suspension crossmember – up to rear axle beam		221 213
External minimum radius of turn at front wheel track center line, m	5,5	6,45
Full mass of trailer towed*, kg: – without brakes – equipped with brakes		300 600
Overall dimensions, mm	Fig. 51	Fig. 52

Figura B.26: Principales parámetros de desempeño del vehículo

Anexo C

Anexo Técnico - Recuperación Baterías LYP60AHA

El propósito de este anexo es definir y mostrar todas las características técnicas que permitan la recuperación del banco de baterías del vehículo LiEV. Como contexto general, las baterías se encuentran con un nivel de voltaje lo suficientemente bajo como para realizar pruebas específicas sobre cada celda y determinar si se encuentran en estado de ser usadas nuevamente en el vehículo.

C.1. Documentos técnicos asociados y antecedentes previos

Dentro de los documentos técnicos asociados a las baterías están:

- Hoja de datos del modelo LYP60AHA
- Manual del operador de baterías Winston-Battery.



Figura C.1: Manual del operador - Winston Battery

Respecto de los voltajes que existen en el banco de baterías, estos fueron medidos y los resultados se encuentran a continuación en las figuras C.2 y C.3 :

Voltaje [V] en los módulos del banco de baterías del vehículo LiEV al 06 de septiembre del 2021

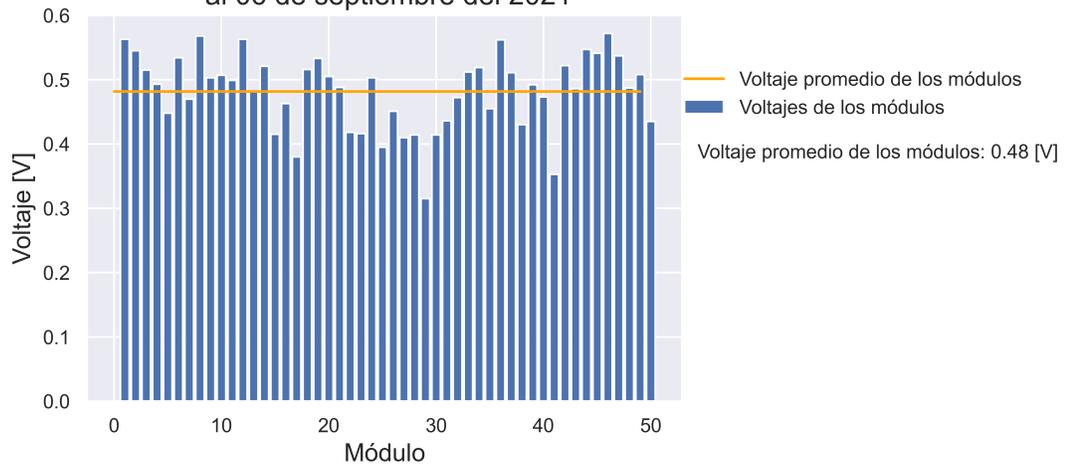


Figura C.2: Voltaje [V] medido en los bornes de las baterías al 06 de septiembre.

Voltaje [V] en los módulos del banco de baterías del vehículo LiEV al 08 de septiembre del 2021

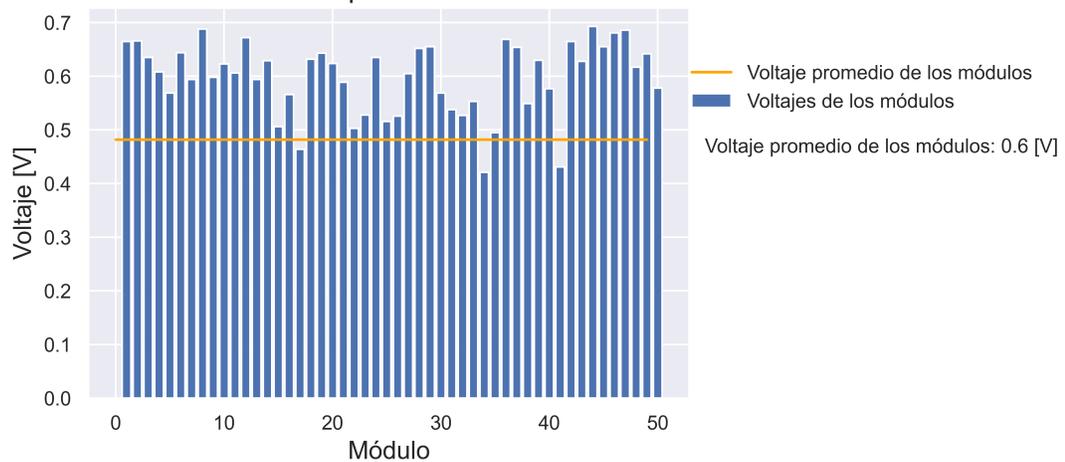


Figura C.3: Voltaje [V] medido en los bornes de las baterías al 08 de septiembre.

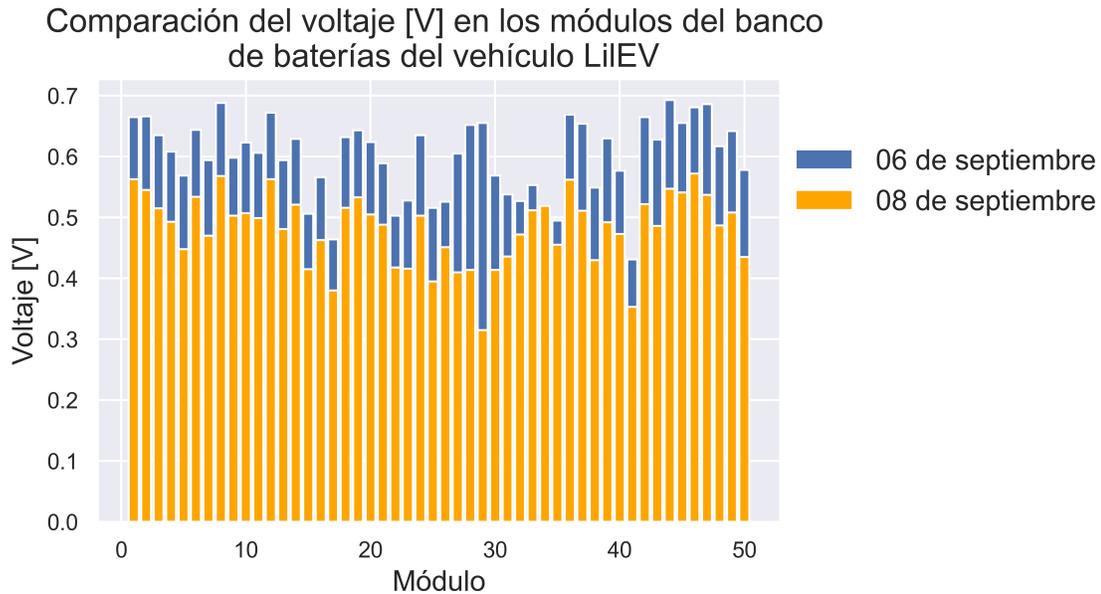


Figura C.4: Voltaje [V] medido en los bornes de las baterías al 06 y 08 de septiembre.

Se puede ver claramente que luego de haber desconectado los módulos del arreglo en serie y retirado los sensores del BMS las baterías experimentan un fenómeno donde el voltaje individual sube y por tanto el voltaje promedio también.

La química de las celdas determina el tipo de tecnología utilizada y por ende el valor de voltaje que caracteriza a la celda. Esta información se encuentra en el manual del operador y se resume a continuación:

Tabla C.1: Composición química de la celda LYP60AHA

Electrodo	Negativo	Positivo
	Carbón/Grafito	LiFeYPO ₄
Electrolito	Solución de LIPF6 en mezcla con solventes orgánicos **	
Voltaje nominal	3.3 [V]	

**Carbonato de Etileno (EC), Carbonato de Dimetil (DMC), Carbonato de Dietileno (DEC), Acetato de Etil (EA)

La celda es una variante de la tecnología de baterías de litio-ferrofosfato (LiFePO₄) al poseer un ánodo que también incorpora Itrio (Y). El electrolito de estas baterías no es comercial y responde a una fórmula particular desarrollada con ponderaciones específicas para los solventes mencionados anteriormente en cantidades determinadas por el productor de las baterías.

Dentro del manual del operador se enuncian diferentes medidas de seguridad tanto en la operación como en el almacenamiento de las baterías. Algunas de estas son:

1. No desarmar, apretar o perforar el pack de baterías. (14)
2. No realizar un corto circuito entre el cátodo y el ánodo de la batería. (14)

3. No calentar, lanzar al fuego o utilizar junto con baterías de otras marcas o tecnologías.(14)
4. Utilizar baterías de la misma capacidad.(14)
5. No almacenar la batería en posición vertical invertida. (15)
6. Para almacenar la batería, debe ser cargada al 40-60 % inicialmente.(15)
7. Cargar una vez por semestre. (15)
8. La batería no explota o se incendia bajo test de alto impacto como cortocircuitos, penetración de balas, sobrecarga, sobre descarga, pruebas de choque, etc.

Estas recomendaciones generales son tanto para las baterías tipo LYP como tipo LP que comercializa esta empresa.

Respecto a elementos de la vida útil de la batería se enuncian los siguientes:

1. La batería acepta corrientes para una carga rápida de hasta 3C siempre que la temperatura sea menor a 75°C .(20)
2. La batería tiene límites operacionales en 4 y 2.7 [v] bajo condiciones ambientales normales, y una vida útil de más de 3000 ciclos.(20)
3. La temperatura de operación es de -45 hasta 75°C . (20)
4. La batería no se dañará cuando el voltaje de descarga sea menor a 2 o 2.5 [V]. Sin embargo, se sugiere detener la descarga a los 2.7 [V]. (20)
5. La batería tiene una tasa de auto-descarga de aproximadamente un 3% mensual.

Como recomendaciones de trabajo, en la página 29 el fabricante establece que los primeros usos deben ser con:

1. Voltaje máximo de carga: 4[V]
2. Corriente de carga óptima: 0.5 CA (30 [A] para el modelo existente)
3. Voltaje mínimo de descarga: 2.7[V]
4. Corriente de descarga óptima: 0.5 CA (30 [A] para el modelo existente)

Existe una sección de solución de problemas asociados a las baterías desde las páginas 33 a 37. Si existe una celda con bajo o nulo voltaje, la solución del fabricante es el reemplazo de la misma por una celda de igual categoría. Sin embargo, asocia este fenómeno al cambio de impedancia interna dentro de una batería lo que genera una carga o descarga desigual de los módulos existentes del banco. Dentro de la misma sección se enuncian los procedimientos frente a baterías hinchadas, carcasas rotas o fugas de electrolito:

1. No hay riesgo asociado solo al quiebre de una carcasa, pero debe reemplazarse la celda. (35)

2. Si la temperatura sube más allá de los rangos establecidos para la batería, habrá fuga de electrolito vía válvula de escape y no presenta riesgo. (35)
3. La temperatura de la carcasa no debe superar nunca los 85°C . (35)
4. La batería por su composición química no debería encenderse, sin embargo bajo condiciones anormales podría hacerlo, para esto se plantea (37):
 - a) Evacuar rápidamente el lugar de trabajo
 - b) Conseguir ventilación forzada para el lugar de trabajo.
 - c) Utilizar agua para extinguir el fuego o sumergir la batería bajo agua.
 - d) La solución alternativa al agua, puede ser utilizar un extintor tipo D o de CO_2 .

Finalmente, como medidas de seguridad se establece:

1. Colocar celdas dañadas bajo agua. No hay riesgo asociado al contacto de celdas en mal estado bajo el agua.
2. En caso de contacto con piel humana, enjuagar con abundante agua y en caso de ser necesario recurrir a una consulta médica a la brevedad.
3. Si la batería se incendia o supera una temperatura de 150°C , la composición interna puede generar Fluoruro o Fosfuro. Si la parte de LiPF_6 del electrolito se mezcla con agua a esta temperatura, se puede producir óxido de flúor o dióxido de carbono. Frente a esta situación, se sugiere rápidamente rociar con agua, un extintor tipo D o un extintor de CO_2 .

Bajo ningún criterio de prueba convencional dentro del manual del operador se establece alguna metodología cuyo objetivo sea poder recuperar baterías (y no reemplazarlas) cuando su voltaje haya disminuido del umbral de los 2 [V], pese a que se señala que los módulos no deberían sufrir daño alguno si su voltaje disminuye más que esto. Sin embargo, en documentos relativos a la misma batería pero desde otros distribuidores se señala que si existe un perjuicio frente a disminuciones de voltaje por bajo este umbral.

C.2. Metodología de diagnóstico de estado y restauración

En función de los documentos revisados, se propone la siguiente metodología para recuperar las baterías y asegurar su correcto funcionamiento previo al uso en el vehículo:

1. Carga de la batería hasta un voltaje mínimo con una fuente de voltaje de manera controlada.
2. Carga de la batería hasta un voltaje normal de operación utilizando un cargador de baterías.
3. Pruebas de carga y descarga de la batería.

Respecto al punto número 1, el montaje experimental sólo requiere de una fuente de voltaje con una protección de sobrecorriente. Para los valores nominales de las celdas de litio utilizadas se configura de la siguiente manera:

- Protección de sobre corriente de la batería activada y configurada en un valor específico acorde a la celda utilizada.
- El voltaje fijado por la fuente debe ser levemente mayor al voltaje mínimo de la batería para evitar una carga descontrolada de la misma. Por esto se fija en 2.9[V]
- La corriente máxima se fija en 3[A] que corresponde a un valor de 1/10[C].

A medida que este voltaje objetivo es alcanzado, la corriente disminuye progresivamente y la batería alcanza un valor de carga mínimo que permite iniciar el paso 2 de la metodología recién descrita.

Con un cargador de baterías similar al modelo Icharger 208B, se puede realizar el procedimiento de carga de la batería a 0.5C de tal manera que se alcancen los valores nominales de la celda a carga completa.

Finalmente, con la celda en su valor de carga máximo, se deberá realizar una prueba de descarga que permita determinar la capacidad real de la celda. Así mismo, con la celda una vez descargada pero dentro de sus valores normales de operación, se puede cargar otra vez y comparar los resultados obtenidos con el documento técnico provisto por el fabricante. Para esto se puede utilizar la carga variable BK Precision 8500 de manera de descargar controladamente la batería al menos a 0,5C.ss

El proceso se debe realizar con los elementos de seguridad apropiados y también en un lugar con ventilación frente a una posible generación de gases. Si bien no hay un riesgo alto de inflamación o llama por parte de alguna falla en la carga de la batería, se recomienda tener a mano el extintor de CO₂ tal y como lo recomienda el fabricante. Finalmente, en el caso de que esta tarea sea realizara en algún laboratorio de la universidad, se recomienda tener siempre al alcance los números de los encargados de seguridad o mayordomía frente a cualquier eventualidad.

C.3. Elementos de carga

C.3.1. Icharger 1010B+

Dentro de los elementos de carga se encuentran algunos **Icharger 1010B+** y modelos similares que pueden cargar hasta 10 celdas en serie al mismo tiempo. Cabe destacar que estos cargadores funcionan de manera versátil y para muchas tecnologías de baterías sin limitarse a solo un tipo. En la documentación técnica de este cargador se establecen los siguientes rangos de funcionamiento en función del tipo de tecnología a utilizar:

Standard battery parameters						
	LiPo	Lilo	LiFe	NiCd	NiMH	Pb
Nominal voltage	3.7 V/cell	3.6 V/cell	3.3 V/cell	1.20 V/cell	1.20 V/cell	2.0 V/cell
Max. charge voltage	4.2 V/cell	4.1 V/cell	3.6 V/cell	1.60 V/cell	1.60 V/cell	2.45 V/cell
Storage voltage	3.85 V/cell	3.75 V/cell	3.3 V/cell	n/a	n/a	n/a
Allowable fast charge	$\leq 1C$	$\leq 1C$	$\leq 4C$	1C – 2C	1C – 2C	$\leq 0.4C$
Min. discharge voltage cut-off level	≥ 3.0 V/cell	≥ 2.5 V/cell	≥ 2.0 V/cell	≥ 0.85 V/cell	≥ 1.0 V/cell	≥ 1.75 V/cell

Figura C.5: Límites de operación del cargador 1010B+

Dado que el voltaje de las celdas aún está bajo el límite de los 2 [V] del ítem “*Min. discharge voltage cut-off level*”, el cargador no funcionará y se deberán buscar procesos y/o metodologías alternativas para poder recuperar las baterías o llevarlas sobre este voltaje umbral para poder cargarlas con el dispositivo.

C.3.2. Manzanita Micro PFC-20M

El cargador Manzanita Micro es reparado y se encuentra listo para operar. Este cargador posee una entrada AC de 220[V] en 50[Hz] que puede ser utilizada en cualquier enchufe de una casa/laboratorio. El voltaje de salida de este cargador es ajustable entre 12 y 450[V] y hasta 20 [A] de corriente.

En la figura B.19 se observa un dipswitch con 8 posiciones que permite configurar algunas de las características de este dispositivo y también se observan diferentes perillas que regulan otros elementos de la carga de baterías. La perilla central corresponde al ajuste de corriente mientras que la perilla del lado izquierdo corresponde a la regulación de voltaje de salida. Este potenciómetro según la documentación técnica da 12 vueltas y cubre el espectro completo de voltaje de salida. Así, cada vuelta aumenta o disminuye el voltaje de salida en 21.9 [V]. Para una carga segmentada de las baterías el potenciómetro debería girarse en sentido anti-horario hasta que llegue a su final.

De ser posible recuperar este cargador de baterías, se podría utilizar junto con el módulo BMS para poder cargar el banco de baterías completo y con un proceso de balanceo controlado.

C.4. Prueba de descarga

El fabricante establece las siguientes curvas de descarga que se utilizarán a modo de comparación con los resultados obtenidos en el laboratorio:

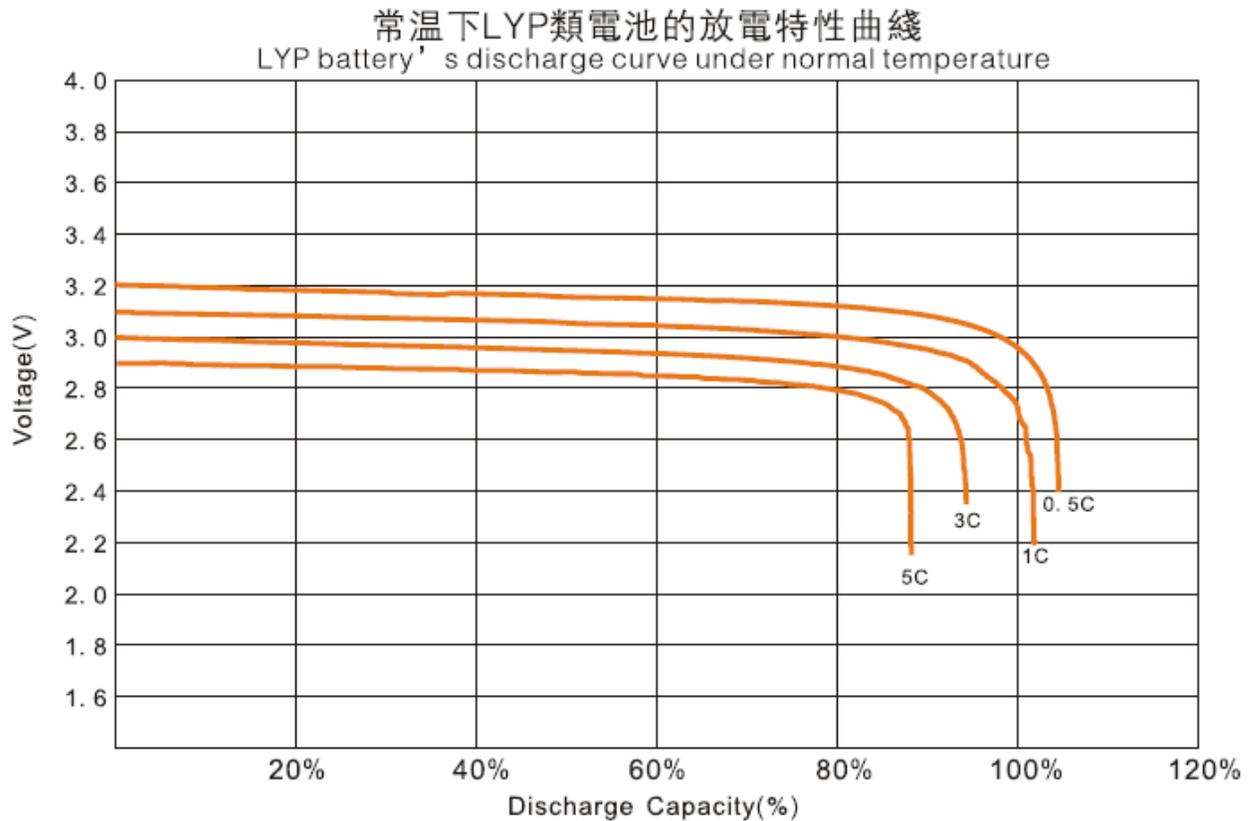


Figura C.6: Curvas de descarga de las baterías para distintos C según fabricante

La prueba de descarga se realiza con la carga variable BK Precision 8500 a una corriente de 15[A] ya que no se logra configurar para su corriente máxima nominal según fabricante de 30[A] por software. Así, la prueba se realiza a 0.25C según los datos nominales de la batería.



Figura C.7: Carga variable BK Precision 8500

Los resultados de las pruebas de descargas para tres módulos distintos se muestran a continuación:

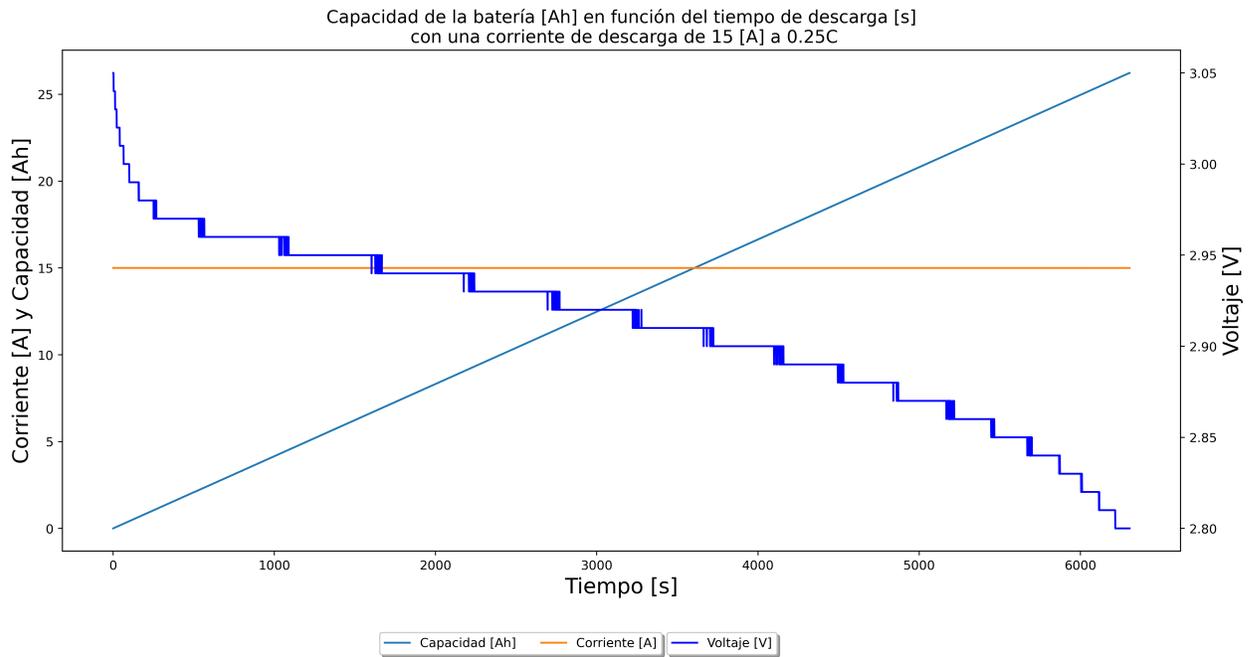


Figura C.8: Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 1.

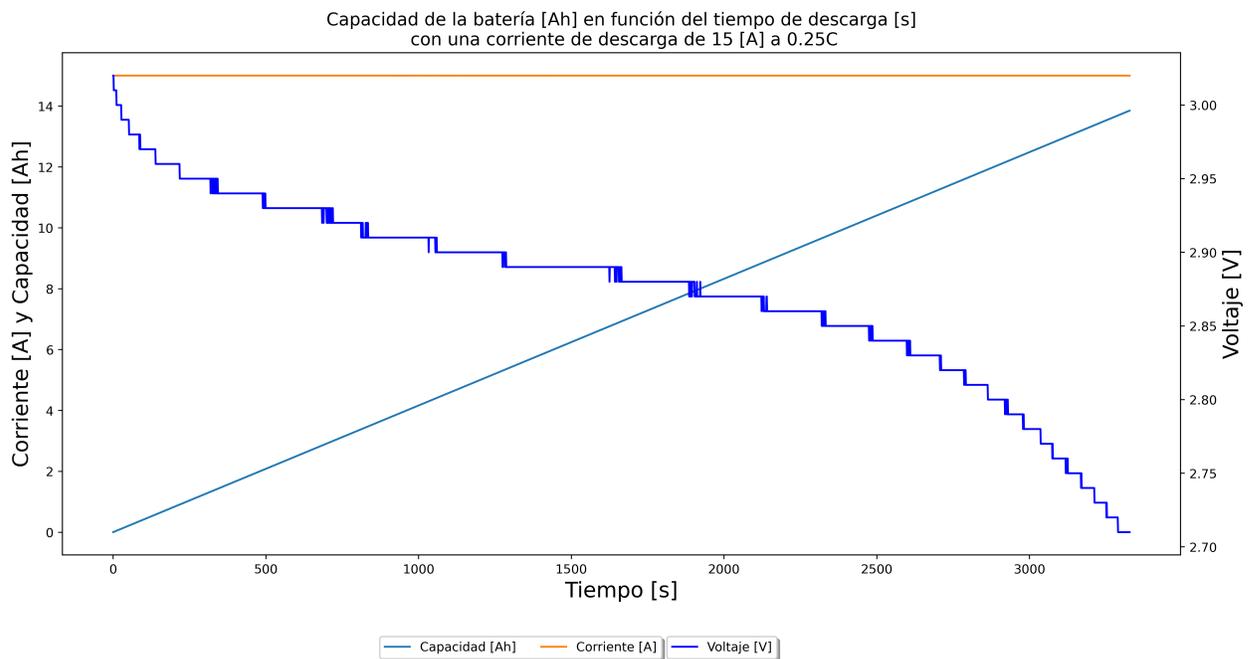


Figura C.9: Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 2.

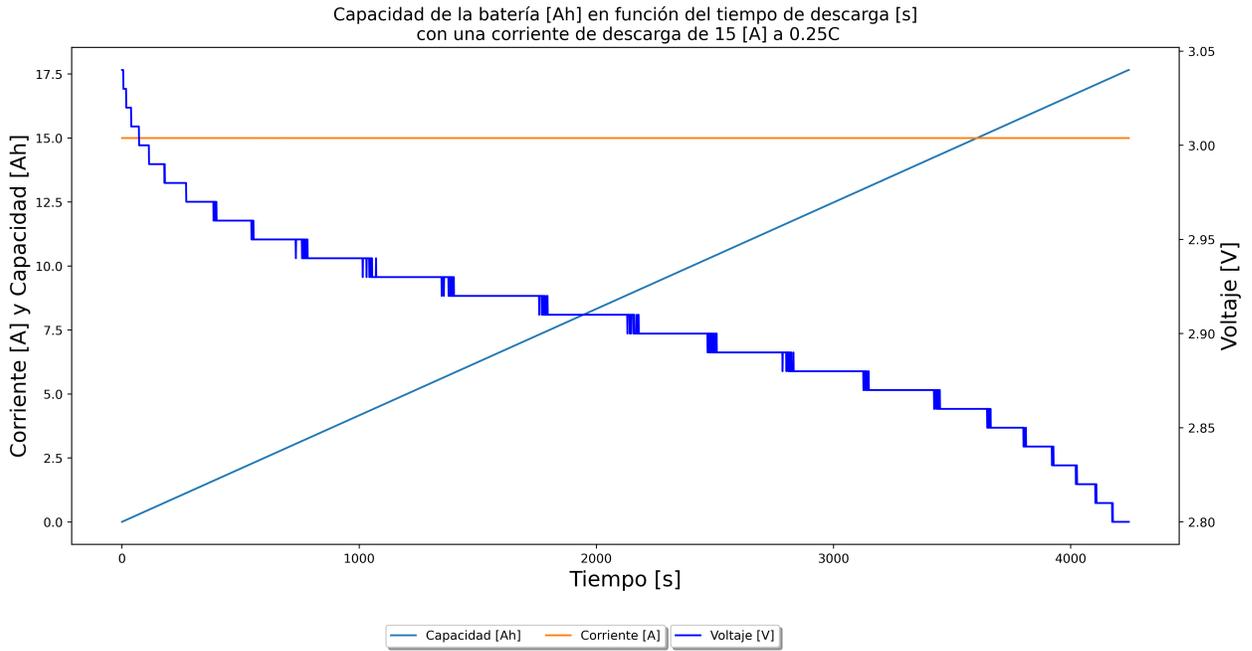


Figura C.10: Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 3.

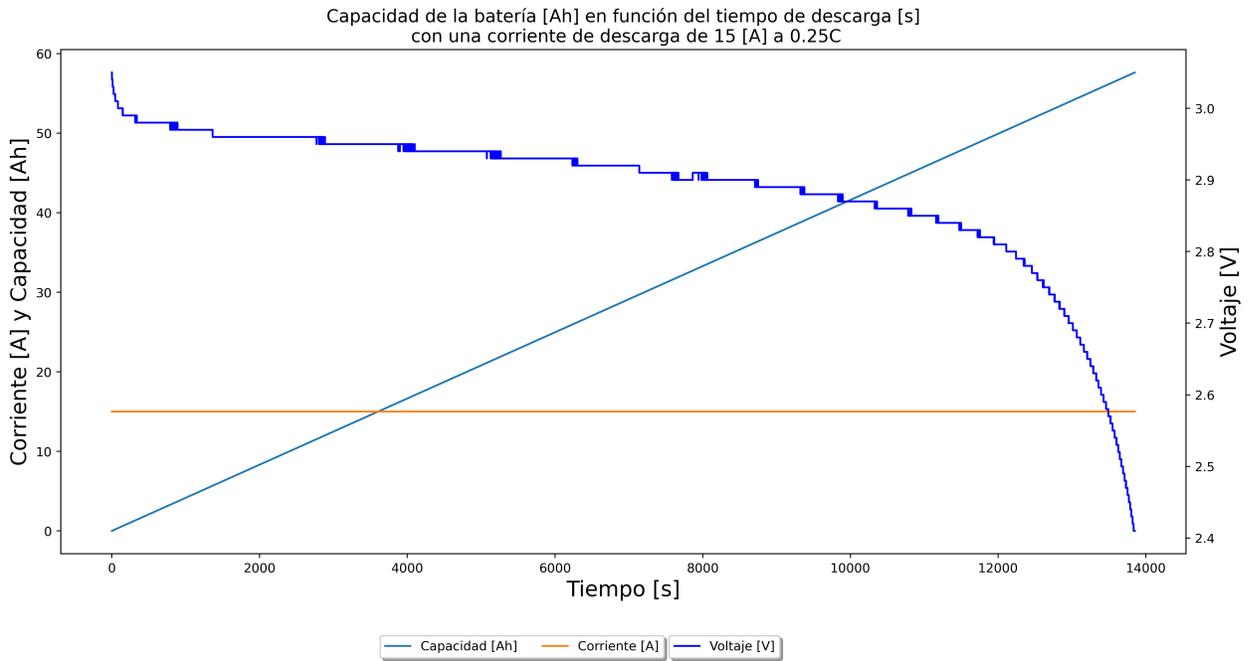


Figura C.11: Resultados de la prueba de descarga de la celda de prueba 4.

De los resultados obtenidos se puede concluir que las baterías 1,2 y 3 no se encuentran en buen estado ya que la capacidad calculada en la prueba de descarga no sobrepasa ni si quiera el 50 % de su capacidad original. De los datos de fabricante se espera que la capacidad de las baterías a una descarga de 0.5C corresponda a un 105-110 % de la capacidad nominal de la

batería. Para esta descarga que fue de menor impacto (0.25C) la capacidad obtenida fue de menos de entre un 25 y 50 %.

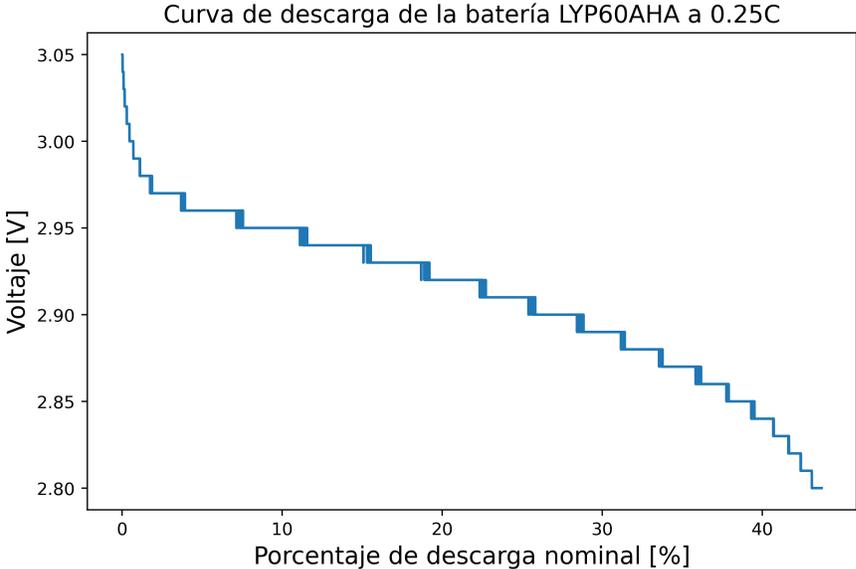


Figura C.12: Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 1.

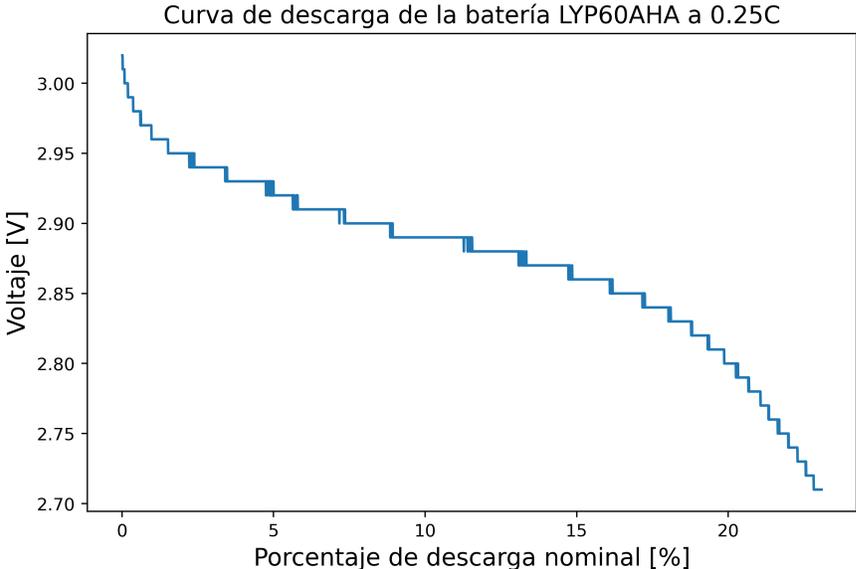


Figura C.13: Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 2.

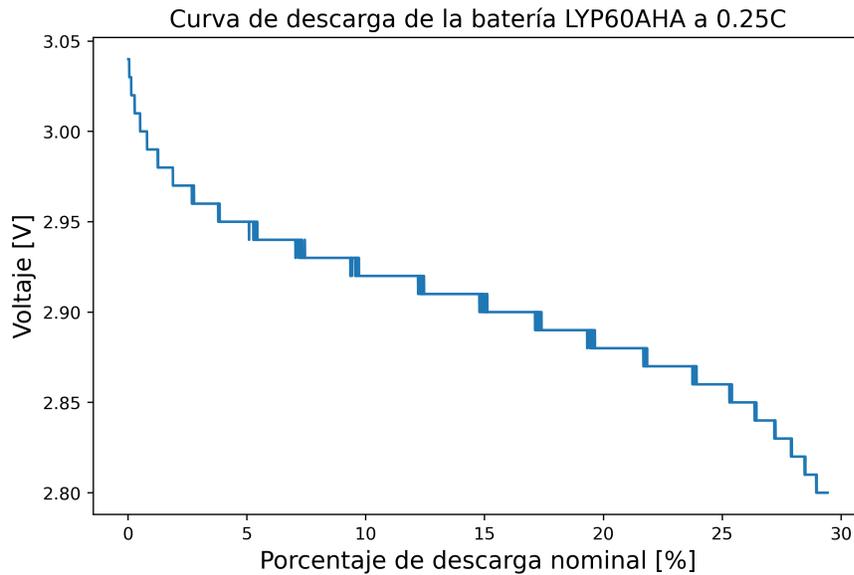


Figura C.14: Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 3.

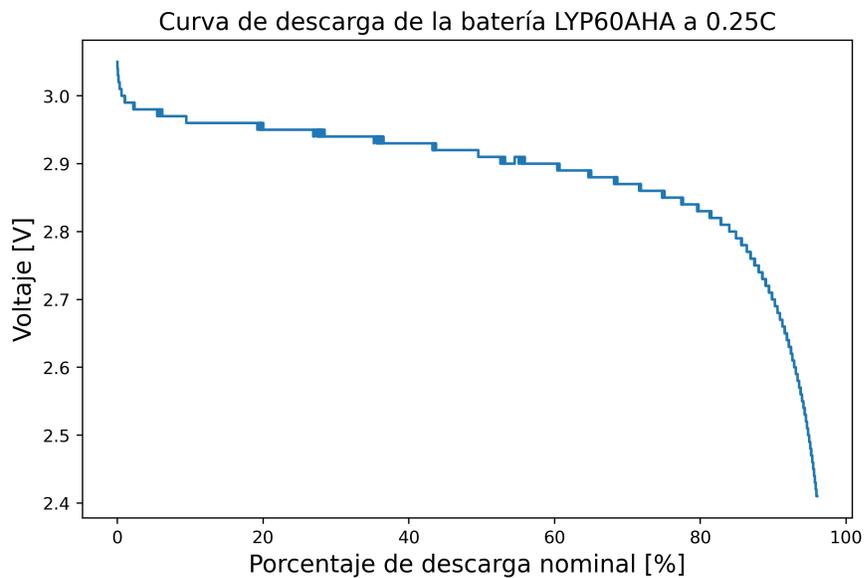


Figura C.15: Resultados de la prueba de descarga para la celda de prueba 4.

Si bien no se realizó la prueba hasta un voltaje de seguridad de 2.4[V] sino que a 2.8[V], la capacidad obtenida fue bastante menor que la nominal considerando que de las curvas en la figura C.6 se puede ver que bajo los 2.8[V] es una zona de rápida caída de voltaje y poca variación de capacidad de descarga. La batería número 4 demostró que entre los 2.8[V] y los 2.41[V] se logran obtener sólo 7[Ah] de capacidad, correspondiente a un 11 % de la capacidad nominal de la batería. Así, para las baterías anteriores entonces podríamos estimar que la capacidad almacenada es de un orden similar y por tanto debería corresponder a aproximadamente un valor de entre 1.7[Ah] y 2.6[Ah].

Si quisiéramos calcular el SoH de estas baterías, para la batería número cuatro se podrían utilizar los datos del fabricante para la curva de 0.5[C]. Así, podríamos estimar el SoH(%) de la batería:

$$SoH = \frac{57.62 \cdot 100}{103} = \frac{96.03}{103} = 93\%$$

Las suposiciones detrás de este cálculo son:

- La curva de descarga de la batería a 0.25C no difiere de la curva de descarga de 0.5C.
- Se pasa por alto el hecho de que la batería rápidamente en su descarga decae a un voltaje de 3[V] o menos, que según el fabricante debería suceder luego casi el 100% de la descarga de la batería.
- La curva coincide de mejor manera con la curva de descarga del fabricante a 3C.

Si bien no se puede considerar el valor calculado como un número cuyo valor sea representativo de la realidad, sí permite establecer una métrica comparativa entre todas las baterías del paquete de baterías de tracción que sean probadas con esta metodología.

En función de los datos obtenidos y las pruebas realizadas entonces, se sugiere lo siguiente:

- Se debe probar cada una de las baterías con la metodología descrita, para poder determinar aquellas celdas que poseen un SoH similar.
- Las baterías cuyo SoH sea similar, deben ser agrupadas para poder evitar fenómenos de desbalanceo. Dado que el paquete de baterías de tracción es un arreglo en serie, se sugiere determinar el rango de diferencia de SoH entre las distintas baterías, para poder determinar si es factible o no reutilizar el paquete de baterías completo en el vehículo a fin de evitar fenómenos de desbalanceo. Todas las baterías estarán sujetas a la misma descarga en términos de su capacidad, por lo que si el rango es muy amplio, la sugerencia es no utilizar aquellas baterías cuyo SoH sea muy diferente al resto del grupo.

Anexo D

Anexo Técnico - IGBTs POW-R-PAK PP300T060

La metodología de prueba de este componente se centrará en la prueba de los IGBTs mismos, en lugar de la revisión del paquete completo POW-R-PAK PP300T060.

D.1. Metodología de prueba de un IGBT

Un IGBT se compone de tres conexiones básicas:

- Base o Gate
- Colector o Collector
- Emisor o Emitter

Para la prueba en cuestión se necesitará un multímetro que tenga una función de prueba de diodos y también un modo de resistencia. Además se requerirá una fuente voltaje de 6[V]. Para poder probar el IGBT se realizará una prueba a la juntura colector - emisor:

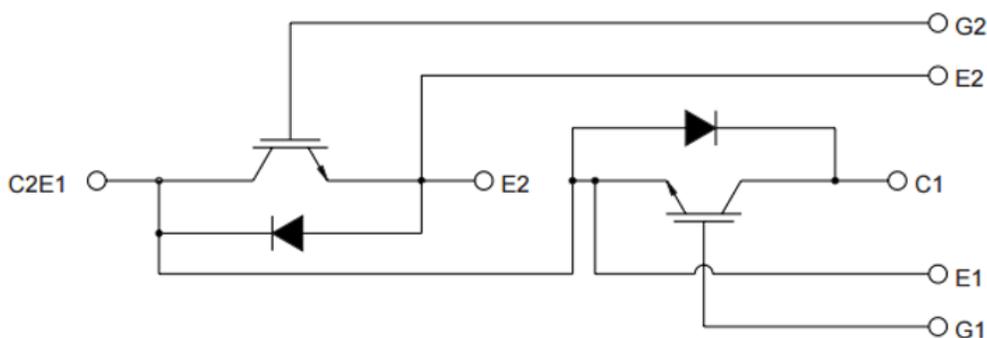


Figura D.1: Esquemático eléctrico de un IGBT.

1. Para iniciar la prueba, se cortocircuitan G1 con E1 y G2 con E2. Esto corresponde al cortocircuito de ambas bases con los emisores respectivos.
2. Con el multímetro en su modalidad de prueba de diodos, revisamos la conducción entre el Colector 1 y el C2E1. Si el multímetro no marca un circuito abierto, significa que el IGBT podría estar dañado y se recomienda no usarlo.

3. Nuevamente, revisamos la juntura entre C2E1 y E2. Nuevamente, el multímetro debería marcar un circuito abierto y si no, significa que el IGBT podría estar dañado.
4. Utilizamos la fuente para conectarla entre G1 y E1 para verificar la caída de tensión del diodo entre C1 y C2E1.
5. Realizamos la misma conexión de la batería para G2 y E2. Deberíamos ser capaces de verificar que existe una caída de voltaje del diodo entre C2E1 y E2.

Para el componente en cuestión, se deben retirar los IGBTs del montaje y así probarlos. Si no es posible realizar esto, se recomienda utilizar el Gate Drive Board de manera controlada para poder realizar las pruebas respectivas. Si todos los pasos enunciados previamente son verificados y no existe una falla en alguno de ellos, el IGBT puede ser usado. Si por el contrario, existe algún paso en el que no se observan los resultados esperados, se recomienda no utilizar el IGBT y buscar un reemplazo para el mismo.

Anexo E

Anexo - Reglamento propuesto

REGLAMENTO PARA TRANSFORMACIÓN DE VEHÍCULOS PROPULSADOS POR MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A PROPULSIÓN ELÉCTRICA.

TÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1º: Objeto y ámbito de aplicación.

El presente reglamento establece los requisitos para la transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica.

TÍTULO II: Ámbito de aplicación

Sólo podrán ser transformados aquellos vehículos sin elementos o dispositivos de seguridad de control electrónico, tales como: Sistema Antibloqueo de Frenos (ABS), Sistema Electrónico de Estabilidad (ESP), Control de Tracción, Airbag y/o Sistemas de Asistencia a la Conducción (frenado de emergencia, Detector de punto ciego, Asistente de Mantenimiento de Carril y/o Asistente de Velocidad Inteligente), y para los que exista un Kit Eléctrico de Transformación específico para la marca y modelo del vehículo. A esta relación biunívoca entre modelo y Kit de transformación en adelante se le llamará "Par Modelo – Kit".

Los tipos de vehículos que podrán ser transformados son:

- a) Buses o minibuses que presten servicios de transporte público o privado remunerado de pasajeros y que se encuentran definidos en los Decretos Supremos N°212, de 1992 y N° 80, de 2004, y aquellos vehículos regulados en el Decreto Supremo N°211, de 1995, todos del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, o los que en el futuro los reemplacen.
- b) Vehículos motorizados destinados al transporte de personas o carga con peso bruto vehicular inferior a 3.860 kg.

No podrán ser transformados los vehículos usados, livianos y medianos, internados al país bajo el régimen de Zona Franca de Extensión, señalado en el D.F.L. N° 2 de 2001, del Ministerio de Hacienda, que aprueba el texto refundido, coordinado y sistematizado del D.F.L. N°341, de 1977 sobre Zonas Francas.

Sin perjuicio de lo anterior, el vehículo transformado no podrá revertir su condición a vehículo con motor de combustión interna.

TÍTULO III: Definiciones

Para los efectos de este reglamento, se entenderá por:

- a) Transformación: proceso técnico mediante el cual a un vehículo con motor de combustión interna se reemplaza su motorización, por un motor eléctrico, y que considera a lo menos los siguientes dispositivos: motor eléctrico, sistema de almacenamiento de energía (baterías), sistema de acoplamiento de carga eléctrica, dispositivo de monitoreo de aislamiento, aislamiento y protección contra descargas eléctricas, y todo dispositivo necesario para el correcto funcionamiento del vehículo transformado.
- b) Aislante Sólido: corresponde al revestimiento aislante de conductores y partes activas destinado a cubrir contra el contacto directo desde cualquier dirección de acceso, conductores las tapas para aislar las partes activas de los conectores y el barniz o la pintura aplicados con fines de aislamiento.
- c) Alta tensión: clasificación de un componente o circuito eléctrico, si su tensión de funcionamiento es $> 60 \text{ V}$ y $\leq 1.500 \text{ V}$ corriente continua (CC), o $> 30 \text{ V}$ y $\leq 1.000 \text{ V}$ corriente alterna (CA) en valor eficaz (RMS).
- d) Barrera: elemento que protege contra el contacto directo con las partes activas desde cualquier dirección de acceso.
- e) Circuito de Alta Tensión: circuito eléctrico, alimentado eléctricamente con los rangos de tensión de la letra c y que incluye el sistema de acoplamiento para cargar el sistema de acumulación de energía eléctrica recargable y el circuito de tracción. Este circuito se encuentra aislado al chasis.
- f) Contacto Directo: corresponde al contacto de personas con partes activas.
- g) Contacto Indirecto: corresponde al contacto de personas con partes conductoras (elementos para la transmisión de energía eléctrica) expuestas.
- h) Envolverte: elemento que confina las unidades internas y protege a las personas contra el contacto directo desde cualquier dirección de acceso.
- i) Fuente de energía eléctrica exterior: fuente de energía eléctrica de corriente alterna o de corriente continua exterior al vehículo.
- j) GB 18384-2020: Norma GB 18384 - 2020, Electric Vehicles Safety Requirements, requerimientos de seguridad para vehículos eléctricos establecidos por la Administración de Estandarización de la República Popular China.
- k) GB/T 20234 - 2015: Norma GB/T 20234 - 2015 Connection set for conductive charging of electric vehicles, especificaciones para el conector de carga eléctrica de vehículos, establecidas por la Administración de Estandarización de la República Popular China.
- l) UN-ECE R100: Reglamento N°100 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) — Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en relación con los requisitos específicos del grupo motopropulsor eléctrico.
- m) Grado de Protección: protección que proporciona una barrera o una envolvente respecto al contacto con partes activas, medido mediante un calibre de ensayo, como un dedo de ensayo (IPXXB) o un alambre de ensayo (IPXXD), tal como se definen en el anexo 3 de UN-ECE R100.
- n) Parte activa: cualquier parte o partes conductoras destinadas a activarse eléctricamente en su uso normal.
- o) Sistema de Acumulación de Energía Eléctrica Recargable (REESS): corresponde al sistema de acumulación de energía recargable que suministra energía eléctrica para la propulsión eléctrica que podrá estar compuesto por módulos, paquetes o sistemas de baterías, sistema de manejo de baterías (BMS), componentes electrónicos de control y eléctricos de seguridad.
- p) Dispositivo de monitoreo de aislamiento: Dispositivo que monitorea la resistencia de aislamiento entre el sistema de alta tensión CC y el chasis eléctrico del vehículo.
- q) Cargador a bordo: convertidor electrónico de potencia de corriente alterna y corriente continua que realiza las funciones necesarias para la recarga de la batería del vehículo desde la red eléctrica y que se encuentra a bordo del vehículo para funcionar solamente dentro de este.

- r) Kit eléctrico de transformación o Par Modelo-Kit: son los componentes eléctricos necesarios para la transformación donde cada uno de ellos debe contar con la autorización de uso por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Cada modelo diferente de vehículo contará con un kit eléctrico de transformación específico para dicho modelo.
- s) Vehículo base: Corresponde al vehículo con motor de combustión interna al cual se realiza la transformación a propulsión eléctrica.
- t) Masa en orden de marcha: masa del vehículo con carrocería, incluido líquidos, herramientas y rueda de repuesto más 75 kg del conductor.
- u) Vehículo representativo: Corresponde al vehículo transformado a propulsión eléctrica a presentar para la certificación del Par Modelo-Kit.
- v) Celda secundaria de Litio o celda: Celda secundaria cuya energía deriva de la reacción de inserción/extracción de ion-litio o reacciones de oxidación/reducción de litio entre un electrodo negativo y positivo.
- w) Batería tipo A: Batería que no contiene líquido derramable ni descarga gases en la atmósfera durante operación normal**
- x) Batería tipo B: Batería que contiene líquido derramable y/o descarga gases en la atmósfera durante operación normal.**
- y) Módulo de batería: Grupo de celdas conectadas en conjunto, en serie o paralelo que cuenta o no con protecciones, tales como fusibles, y circuitos de monitoreo.
- z) Sistemas de Baterías: Dispositivo de almacenamiento de energía que incluye celdas o conjuntos de celdas o paquetes de baterías, así como circuitos eléctricos y electrónicos.
- aa) Paquete Baterías: Dispositivo de almacenamiento de energía que incluye celdas o módulos conectados con la electrónica de cada una de las celdas, el circuito de alto voltaje y el dispositivo de corte de sobrecorrientes, incluidas además las interconexiones eléctricas e interfaces para sistemas externos.
- bb) Sistemas de Manejo de Batería o BMS: Dispositivo que controla, maneja, detecta o calcula las funciones eléctricas y térmicas de un paquete de baterías.

Artículo 3° De las notificaciones.

Las notificaciones y comunicaciones deberán efectuarse de acuerdo a lo dispuesto en la Ley N°19.880.

TÍTULO IV: PRINCIPIOS BÁSICOS

Artículo 4° Del principio de incorporación de tecnología.

Se debe propender a la incorporación de tecnologías que mejoren la calidad de los sistemas de transporte, en especial, avanzar hacia el desarrollo de la electromovilidad, aprovechando el desarrollo tecnológico de los sistemas inteligentes.

Artículo 5° Del principio de prioridades ambientales.

La modernización tecnológica deberá alinearse con los objetivos medioambientales, a fin de alcanzar el desarrollo sostenible. La protección del medio ambiente deberá constituir parte integrante del proceso de desarrollo de las tecnologías de transporte.

Artículo 6° Del principio de seguridad.

Las transformaciones de vehículos deben desarrollarse de tal forma que no afecten la seguridad en el transporte y sus actividades conexas.

Artículo 7° Del principio del libre acceso.

Las transformaciones de vehículos deben permitir el libre acceso a diversos tipos de tecnologías en el transporte, sujeto a prioridades ambientales y de seguridad.

TÍTULO V: REQUISITOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS.

Requisitos de seguridad generales

- 1. El vehículo deberá contemplar un sistema de monitoreo de la resistencia de aislación entre las partes vivas del sistema y el chasis eléctrico.**
- 2. Este sistema deberá indicar al conductor en cualquier condición del vehículo (salvo apagado) el estado de la resistencia de aislación.**
- 3. Los sistemas eléctricos del vehículo deben estar diseñados para operar en un rango de temperaturas de -15°C a 50°C.**
- 4. Los cables de alto voltaje (sin contar aquellos que estén dentro de una envolvente) deberán estar identificados con una cubierta de color naranja. Aquellos cables con voltaje continuo deberán tener en sus extremos una cubierta roja y negra para los terminales positivos y negativos respectivamente.**

Requisitos del pack de baterías

- 1. Todo pack de baterías ya sea tipo A o tipo B deberá contar con un plug de conexión o equivalente que permita la desconexión de un alto voltaje sin el uso de ninguna herramienta.**
- 2. Si se utiliza un sistema distinto al plug de conexión, entonces deberá cumplir con que el compartimiento de las baterías no pueda ser abierto mientras el vehículo esté encendido y también que el vehículo no pueda ser encendido mientras el compartimiento de las baterías esté abierto.**
- 3. Las baterías deberán contar con un sistema de protección para sobrecarga, sobre-descarga, sobre temperatura, sobrecorriente y corto circuitos externos.**
- 4. El REESS deberá cumplir con la normativa UN-ECE R100 o equivalente.**
- 5. Mecánicamente en REESS deberá cumplir con lo establecido en el anexo 8 del UN-ECE R100 y se deberá adjuntar la memoria de cálculo respectiva para los anclajes de manera de verificar que soportarán los siguientes impactos:**
 - a. Impacto frontal con una aceleración de 20 g.**
 - b. Impacto lateral con una aceleración de 15 g.**
 - c. Impacto trasero con una aceleración de 10 g**
 - d. Impacto vertical (por volcamiento) con una aceleración de 10**
- 6. Se deberá utilizar un switch de inercia que logre la desconexión del circuito de alto voltaje del vehículo bajo la misma normativa utilizada en vehículos convencionales con motor a combustión.**
- 7. Las baterías de tracción y circuitos eléctricos cuyos sistemas operan a más de 60 VDC o 30VAC RMS deberán estar montados a una distancia:**
 - a. Mayor de 420mm de la línea horizontal trasera que demarca el frontal del vehículo, la cuál es paralela a la línea central del vehículo.**
 - b. Mayor de 300mm de la línea horizontal trasera que demarca la parte trasera del vehículo, la cuál es paralela a la línea central del vehículo.**
- 8. Las baterías de tipo B no podrán ir en habitáculo del pasajero y deberán estar completamente selladas del mismo. El compartimiento debe ser resistente a la corrosión o en su defecto estar cubierto por materiales que sean resistentes a la corrosión.**
- 9. Bajo la misma línea, las baterías tipo B deberán poseer un sistema de ventilación que cumpla lo siguiente:**
 - a. Debe proveer resistencia al agua. Se solicitará que también posea un grado de protección a objetos externos de al menos IP2X.**
 - b. Los gases deben ser liberados de manera directa a la atmósfera. No pueden ser liberados por el lado inferior del vehículo y la entrada y salida de gases deben estar separadas de manera que se evite la recirculación de gases en el sistema de ventilación. Dependiendo del pack de baterías de tracción y el tamaño de las tomas de ventilación, se podrá requerir un sistema de ventilación forzado.**
- 10. El pack de baterías compuesto por baterías tipo B deberá contemplar un sistema de detección de volcamiento que inhabilite el movimiento del vehículo en caso de actuar.**

11. En el caso de la utilización de baterías de tecnología de litio, el vehículo deberá contar con un sistema interno de balanceo de módulos y también con alguna forma de alerta al conductor frente a algún problema de desbalanceo en los módulos de baterías. Se deberá inhibir la operación del vehículo frente a un fenómeno de desbalanceo cuyo rango sea mayor al establecido técnicamente para el vehículo.
12. El conductor debe tener acceso a algún elemento visual que permita conocer una estimación de la vida útil de la batería o la distancia de manejo restante para el estado de carga restante.
13. El vehículo deberá contar con un sistema de batería auxiliar de 12V independiente que permita que elementos como luces, bombas de frenos, y otros elementos críticos de funcionamiento del vehículo puedan seguir actuando ante la desconexión del pack de baterías de tracción.
 - a. La batería auxiliar deberá permitir el uso de las luces de emergencia (4 luces) por un periodo continuo de 20 minutos.

Requisitos del tren motriz y motor eléctrico

1. La potencia máxima y el torque máximo del motor eléctrico deberán ser dimensionados acordes al tren motriz original del vehículo. La potencia deberá encontrarse dentro del rango cerrado del 65-100% del valor original del motor a combustión mientras que el torque máximo no podrá superar el 100% del valor original en ningún escenario de operación.
2. El motor deberá ser acoplado con un sistema que asegure su correcto funcionamiento. Este deberá estar documentado técnicamente para asegurar que no incurrirá en generar peligro.
3. El sistema motriz debe tener un grado de protección frente al agua.
4. Los cables del sistema motriz deben estar dimensionados acorde a la corriente máxima que podría circular por el vehículo durante la conducción.

Requisitos de la electrónica de control del motor eléctrico

1. Se deberán tomar las medidas correspondientes para evitar el daño provocado por altas temperaturas de operación.
2. Si existe alguna anomalía durante el funcionamiento del controlador, el conductor debe ser avisado mediante algún tipo de alarma sonora o visual.
3. El controlador no permitir que el motor acelere en caso de que exista alguna anomalía, desconexión o corto circuito que afecte la señal del acelerador.
4. Los aceleradores o frenos electrónicos deberán tener una salida doble de señal que permitan detectar anomalías en el funcionamiento.
5. Deberá existir un contactor entre el pack de baterías de tracción y el controlador del motor, que deberá estar dimensionado para un valor mayor de corriente que la del controlador, fusibles y termomagnéticos.

Requisitos de los convertidores DC/DC en el vehículo y cargador a bordo.

1. Deberán ser certificados por la SEC y cumplir con la Norma técnica de calidad y servicio.

Requisitos del sistema de frenos y dirección.

1. Toda modificación al sistema de frenos deberá responder a la normativa vigente respectiva para el tipo de vehículo reconvertido.
2. En caso de que existan sistemas de dirección asistida, se deberá incluir una de bomba de vacío que permita la correcta utilización del sistema además de la memoria de cálculo respectiva.
3. Si existiesen sistemas ABS, ESP o de Airbags en el vehículo original, se deberá demostrar que el sistema fue calculado, modificado e implementado en orden para que estos sistemas sigan funcionando y dependan de la batería auxiliar y que actuarán en caso de emergencia pese a que el circuito de alto voltaje del vehículo esté desenergizado.

TÍTULO VI: REQUISITOS PARA LA CERTIFICACIÓN DEL PAR MODELO – KIT

Artículo 9° Par Modelo-Kit.

Los vehículos transformados podrán circular siempre que el Par Modelo – Kit, haya sido certificado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, en adelante el “Ministerio”, a través del Centro de Control y Certificación Vehicular, en adelante el “3CV”, y se verifique con ocasión de las revisiones técnicas que el kit y sus componentes corresponden aquellos certificados por el 3CV.

Artículo 10° Datos a informar y antecedentes.

Para efectos de la certificación del Par Modelo – Kit, señalada en el artículo anterior, el interesado, deberá presentar ante el 3CV una solicitud que contenga los antecedentes que a continuación se indican:

1. Requisitos del interesado:

1.1. Personas Naturales:

- a) Copia simple de la cédula de identidad, vigente, por ambos lados.
- b) Domicilio.
- c) Dirección de correo electrónico.
- d) Teléfono de contacto.

1.2. Personas jurídicas:

- a) Razón Social y RUT
- b) Nombre y RUT del representante legal
- c) Copia de documentos que acrediten los poderes de representación de la sociedad, con una vigencia no superior a 60 días corridos contados a la fecha de presentación.
- d) Dirección de correo electrónico.
- e) Teléfono de contacto.

2. Requisitos del vehículo representativo:

- a) Marca.
- b) Modelo.
- c) Año.
- d) Número de identificación (VIN).

3. Informe técnico descriptivo que incluya a lo menos los siguiente:

- a) Descripción general de la transformación realizada.
- b) Descripción técnica de los sistemas de operación del vehículo, si han sido modificados, removidos o mantenida su funcionalidad. Dentro de estos, deberá considerar a lo menos, los sistemas de frenos, dirección y motriz, además de los elementos estructurales, aportando las respectivas memorias de cálculo, detalle de especificaciones y pruebas realizadas, según corresponda.
- c) Descripción técnica de los componentes eléctricos o de otra naturaleza que se han adicionado al vehículo en el proceso de transformación y la descripción de sus funcionalidades.
- d) Planos de los circuitos eléctricos de alta y baja tensión del vehículo transformado.
- e) Memoria explicativa de la conformación del REESS y la configuración del o los sistemas de control que aseguren el rango de operación de los módulos, paquetes o sistemas de baterías dentro de la región de operación de las Celdas de Litio.
- f) En el caso de que el vehículo representativo cuente con un cargador a bordo, debe presentar un informe técnico que describa una sesión de carga desde un 20% a un 80% de estado de carga de las baterías, donde la distorsión armónica de corriente generada al cargar el REESS, medida en el punto de conexión con la red eléctrica, cumpla con los valores

indicados en el artículo 3-8 de la Norma técnica de calidad para sistemas de distribución de la Comisión Nacional de energía. Para lo anterior, se utilizará un analizador de red, en conformidad a la norma IEC 61000-4-30.

4. Plano(s) del circuito de alta tensión del vehículo que incluya el motor, baterías de tracción, protecciones eléctricas, equipamiento de control y otros asociados al funcionamiento del vehículo transformado.
5. 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.

6. Especificaciones del motor eléctrico de propulsión con indicación de marca, modelo, fabricante, tipo, y potencia máxima.
7. Muestra de 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.
8. Informativo de Seguridad: que incluya al menos la descripción del vehículo (marca, modelo, año de fabricación, fotografía, señalética, componentes); Sistema de Desactivación; Procedimiento de Desactivación Primario y Alternativo; Diagramas del Procedimiento de Desactivación; Diagramas Sistema de Alto Voltaje del Vehículo; Procedimiento de remolque o transporte del vehículo.

Con posterioridad, se notificará al interesado la fecha de presentación del vehículo representativo del Par Modelo - Kit en el recinto del 3CV, a efecto que se lleve a cabo la verificación que señala el artículo siguiente.

Artículo 11° Procedimiento de verificación.

Se verificará en el vehículo representativo el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- a) Protección contra descargas eléctricas, y sistema a bordo para la supervisión de la resistencia de aislamiento.
 - a.1) 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 o su equivalente en GB 18384-2020 o la que la reemplace.
 - a.2) 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 o su equivalente en GB 18384-2020 o las que la reemplace.

Se verificará lo siguiente:

- i) A efectos de la protección de las partes activas dentro del habitáculo para ocupantes y del compartimento para equipaje, cuando corresponda, se deberá cumplir el grado de protección IPXXD de acuerdo a lo indicado en la norma IEC 60529.
- ii) A efectos de la protección de las partes activas en zonas distintas del habitáculo para ocupantes o del compartimento para equipaje, se cumplirá el grado de protección IPXXB de acuerdo a lo indicado en la norma IEC 60529.
- iii) Que en los conectores la tensión de las partes activas sea inferior o igual a 60 V CC. o inferior o igual a 30 V CA (RMS) en un tiempo máximo de un segundo a partir de la separación del conector.
- iv) Podrá aceptarse una desconexión del servicio que pueda abrirse, desmontarse o quitarse sin necesidad de herramientas si se cumple un grado de protección IPXXB con la condición de que se abra, se desmonte o se quite sin herramientas.

a.3) Protección contra el contacto indirecto

Los vehículos equipados con REESS que cumplan los requisitos de la parte II de UN-ECE R100 o su equivalente en GB 18384-2020 o el que las reemplace, deberán estar también protegidos contra el contacto indirecto y se deberá verificar lo siguiente:

- i) Que las partes conductoras expuestas, como las barreras y las envolventes conductoras, estén conectadas galvánicamente de forma segura al chasis a través de una conexión con cables eléctricos o un cable de tierra, o bien mediante soldadura, tornillos, etc., de manera que se eviten situaciones de peligro.
- ii) Que la resistencia eléctrica entre todas las partes conductoras expuestas y el chasis sea inferior a 0,1 ohm cuando haya un flujo de corriente de al menos 0,2 amperes. Se cumple este requisito si la conexión galvánica se establece mediante soldadura.

a.4) Resistencia de aislamiento

Las resistencias de aislamiento del circuito de alta tensión deberán cumplir con un valor mínimo de:

- i) 100 ohm / volts (Ω/V) de la tensión de funcionamiento en el caso de los circuitos de corriente continua, y de 500 ohm / volts (Ω/V) de la tensión de funcionamiento en caso de los circuitos de corriente alterna, cuando el grupo motopropulsor eléctrico que conste de dos circuitos de corriente continua o de corriente alterna separados.
- ii) 500 ohm / volts (Ω/V) de la tensión de funcionamiento, si el circuito de alta tensión de corriente alterna y de corriente continua están conectados galvánicamente cuando el grupo motopropulsor eléctrico conste de circuitos de corriente continua y corriente alterna combinados.
- iii) 100 ohm / volts (Ω/V) de la tensión de funcionamiento entre el circuito de alta tensión y el chasis eléctrico, si todos los circuitos de alta tensión de corriente alterna, cuando el grupo motopropulsor eléctrico conste de circuitos de corriente continua y corriente alterna combinados, están protegidos por una de las dos medidas siguientes: capas dobles o múltiples de aislantes sólidos, barreras o envolventes de protección contra el contacto directo; o protecciones resistentes mecánicamente con una durabilidad suficiente a lo largo de la vida útil del vehículo, como la caja del motor, las cajas de los convertidores eléctricos o los conectores.

La resistencia de aislamiento entre el circuito de alta tensión y el chasis eléctrico podrá demostrarse mediante cálculo, medición o una combinación de ambos métodos.

La medición deberá realizarse según lo dispuesto en el anexo 4A "Método de medición de la resistencia de aislamiento para los ensayos en el vehículo" de UN-ECE R100 o su equivalente en GB 18384-2020.

b) 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 o su equivalente en GB 18384-2020.

Además, se verificarán los siguientes requisitos:

- i) Cuando el vehículo esté en condición de iniciar su marcha por la aplicación de presión al pedal del acelerador (o la activación de un mando equivalente) o por el hecho de soltar el sistema de frenos, el sistema deberá indicar al menos una alerta momentánea.
- ii) Al salir del vehículo, una señal (óptica o acústica) avisará al conductor en caso de que el vehículo siga estando en el modo de conducción posible activo.
- iii) 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. Este requisito se demostrará mediante la utilización del procedimiento especificado por el solicitante especificado por el solicitante.
- iv) Verificar que el vehículo disponga de un dispositivo que permita al conductor identificar el estado del REESS.
- v) El REESS deberá estar inserto en una envolvente que garantice un estándar mínimo de protección contra los efectos de la inmersión temporal IPX67.

c) Sistema de acoplamiento de carga

En lo que respecta a la toma del vehículo destinada a ser conectada conductivamente a la fuente externa de corriente alterna con toma de tierra y el circuito eléctrico conectado galvánicamente a la toma del vehículo durante la carga del REESS, la resistencia de aislamiento entre el circuito de alta tensión y el chasis eléctrico será, como mínimo, de 1 Mega Ohms ($M\Omega$) cuando el acoplador del cargador esté desconectado. Durante la medición, el REESS podrá estar desconectado.

- d) Se verificará que el vehículo representativo cuente con un dispositivo de apertura o corte por sobrecorriente.
- e) Se verificará que el vehículo representativo cuente con un dispositivo de monitoreo de aislación permanente, que deba dar una señal de pérdida de aislación al panel y pida acudir al mantenimiento.
- f) 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.

Artículo 12° Otros aspectos a verificar.

Conjuntamente con lo anterior, se deberán verificar los siguientes aspectos del vehículo representativo:

- a) Las dimensiones del vehículo representativo (largo, ancho, alto, distancia entre ejes, voladizo, etc.) no deben cambiar por la transformación respecto del vehículo base.
- b) El peso admisible y las cargas máximas admisibles en cada eje no deben ser modificadas por la transformación.
- c) 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.
- d) 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.
- e) Se verificará la correcta operación de: frenado, dirección, iluminación, desempañado, calefacción y cualquier otro sistema que estuviera operativo en el vehículo base, mediante pruebas o estudios de las memorias técnicas presentadas por el solicitante.

TÍTULO VII: DE LOS CERTIFICADOS DE APTITUD PARA TRANSFORMACIÓN A PROPULSIÓN ELÉCTRICA Y LOS CERTIFICADOS INDIVIDUALES DE TRANSFORMACIÓN A PROPULSIÓN ELÉCTRICA

Artículo 13° Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica.

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" que señalará expresamente el o los modelos que quedan amparados por la certificación, y las principales características de los componentes del Kit Eléctrico específico utilizado en la transformación. Esta certificación tendrá validez mientras las características y los componentes utilizados no cambien respecto de aquellos considerados en los análisis realizados en el vehículo representativo del Par modelo- Kit, que fue objeto de la transformación. De producirse tales cambios, deberá comunicarse al 3CV con el objeto de que éste evalúe la necesidad de un nuevo proceso de certificación.

El 3CV comunicará a las Plantas de Revisión Técnica, a través de los Secretarios Regionales Ministeriales correspondientes, las características y componentes de las transformaciones realizadas en aquellos modelos certificados.

Artículo 14° Certificado Individual de Transformación a Propulsión Eléctrica.

Quienes obtengan un Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica, quedarán habilitados para realizar la transformación de que se trata en vehículos individuales, en cuyo caso, a su vez, deberán entregar un "Certificado Individual de Transformación a Propulsión Eléctrica" por cada vehículo, el que deberá indicar, a lo menos, su individualización y características, el emisor del certificado y la identificación de los componentes del kit eléctrico usado en la transformación. El referido Certificado Individual de Transformación a Propulsión Eléctrica deberá tener firma electrónica avanzada, de acuerdo a lo establecido en la ley N° 19.799 y su reglamento, en el formato que establezca por Resolución el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

TÍTULO VIII: REQUISITOS PARA LOS TALLERES DE TRANSFORMACIÓN

Artículo 15° Requisitos para Autorización de Talleres.

Las transformaciones deberán realizarse en talleres autorizados por Resolución de la Subsecretaría de Transportes, cuyo extracto deberá publicarse en el Diario Oficial.

La autorización se otorgará a los talleres que cumplan con los siguientes requisitos:

Personal Técnico

- a) Un responsable técnico, que cuente con título profesional de ingeniero civil electricista, ingeniero de ejecución electricista, o equivalentes.
- b) A lo menos, un instalador electricista autorizado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles para realizar la instalación y verificación de los componentes eléctricos en los vehículos a transformar según lo especificado en el D.S. N° 92, de 1983, del Ministerio de Economía, que aprueba reglamento de instaladores eléctricos y de electricistas de recintos de espectáculos públicos.
- c) A lo menos, un instalador mecánico con formación técnica en mecánica automotriz.

El responsable técnico deberá velar por que todo el personal técnico que se desempeñe en el Taller de Transformación, cuente con instrucción general en:

- i. Sistemas eléctricos vehiculares, incluido su funcionamiento y componentes.
- ii. Prevención de los riesgos asociados y manejo de situaciones de emergencia.
- iii. Conocimiento de las regulaciones relacionadas aplicables.
- iv. Uso de las herramientas necesarias para efectuar una transformación.
- v. Conocimiento en la instalación de los componentes utilizados en una transformación.

Infraestructura

Para realizar la transformación de vehículos las instalaciones deberán a lo menos cumplir los siguientes requisitos:

- a) Ventilación e iluminación apropiada al lugar y tipo de trabajo.
- b) La zona del taller que se utilice para el montaje y desmontaje del vehículo a transformar deberá estar pavimentada y techada en toda su extensión.
- c) La zona mencionada en la letra anterior, deberá estar diseñada y construida de manera de evitarse el contacto con agua, en particular en el caso de lluvia.
- d) La zona de trabajo, en especial aquella donde se desarrollen trabajos de alta tensión, deberá contar con la demarcación de un perímetro de seguridad y una puesta a tierra con un acceso para descargar el circuito de alta tensión.
- e) En el Perímetro señalado, deberá disponerse señalética con la leyenda: "Peligro – Zona de Trabajo Alta Tensión".

Equipamiento

- 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 (MΩ).
- d) Amperímetro de corriente alterna y corriente continua.
- e) Medidor de resistencia de aislamiento, de 5 kilovolts (kV), y 10 Mega Ohms MΩ.
- 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.

Nómina

El Taller deberá llevar una nómina de los vehículos transformados, en el que deberá constar:

- a) Marca y modelo del vehículo transformado.
- b) Principales datos identificatorios del vehículo: placa patente única, marca, modelo, año de fabricación, número de chasis (VIN) número de motor eléctrico
- c) Fecha de la transformación.
- d) Identificación de los principales componentes utilizados en la transformación.

Esta nómina deberá mantenerse actualizada y disponible en el taller, a lo menos, durante 5 años desde la fecha de la transformación, además se deberá remitir a 3CV una relación correlativa mensual de los vehículos transformados en el período informado.

El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establecerá por Resolución las demás condiciones, requisitos o procedimientos que la aplicación de esta disposición haga necesaria.

TÍTULO IX: PLANTAS DE REVISIÓN TÉCNICA

Artículo 16° Del control en plantas de revisión técnica.

Una vez realizada la transformación y respecto de cada vehículo en particular, deberá verificarse en las Plantas de Revisión Técnica, que su transformación corresponde a aquella que fue certificada por el 3CV. En caso de ser aprobada la verificación, la planta retendrá el Certificado Individual de Transformación a Propulsión Eléctrica y el Certificado de Revisión Técnica o de Homologación Individual, según corresponda. Conjuntamente, emitirá un nuevo Certificado de Revisión Técnica, en el que se deberá indicar "vehículo de propulsión eléctrica", el número del motor eléctrico y la fecha de vencimiento del Certificado.

TÍTULO X: REGISTRO NACIONAL DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS

Artículo 17° Alteración de características del vehículo en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados.

El propietario del vehículo cuya transformación a propulsión eléctrica resulte verificada mediante un certificado de revisión técnica en el proceso indicado en el artículo anterior, deberá realizar la anotación de la alteración de las características de un vehículo en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados según lo establece el Decreto Supremo N°22 del 2021 del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, que aprueba el reglamento del Registro Nacional de Vehículos Motorizados, o el que lo modifique o reemplace.

TÍTULO XI: CONTROL E INCUMPLIMIENTO

Artículo 18° Responsabilidades.

Quienes estén habilitados para entregar Certificados Individuales de Transformación a Propulsión Eléctrica, asumirán las responsabilidades que emanen de fallas en los elementos empleados, o relativos a la calidad del trabajo realizado, o por haberse omitido todos o algún trámite del procedimiento establecido o porque no cumplan con las referencias entregadas en la solicitud o comprobadas en el proceso de certificación.

Artículo 19° Suspensión de certificaciones.

En caso de comprobarse la circulación de vehículos del mismo modelo de uno que esté en trámite de certificación o que no se haya sujetado a los procedimientos del presente Decreto, el 3CV suspenderá cualquier procedimiento que se encuentre en trámite o que se solicite a su respecto, mientras no se establezca que no existe responsabilidad en ello del solicitante. Sin perjuicio de lo anterior, en caso de haberse cometido infracción a las normas que rigen el procedimiento de transformación de vehículos de motor de combustión interna a propulsión eléctrica o haberse extendido certificados falsos para amparar las comercializaciones o circulaciones de los vehículos transformados, se podrán impetrar las acciones que correspondan ante los Tribunales de Justicia, o efectuar la denuncia pertinente ante Carabineros de Chile, Policía de Investigaciones o el Ministerio Público.

Por su parte, el Ministerio suspenderá los efectos del Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica que hubiere otorgado, en caso que sorprendiere alguna anomalía en la dación de los Certificados Individuales de Transformación o en el procedimiento respectivo. Lo anterior, es sin perjuicio de ponerse los hechos en conocimiento del Servicio Nacional de Consumidor.

Artículo 20° Revocación de talleres

La Subsecretaría de Transportes dejará sin efecto la autorización a los talleres referidos en el artículo 15° precedente, si estos no mantienen las condiciones que originaron la autorización o si se comprobara que realiza transformación de vehículos no amparados por un Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica.

Anexo F

Anexo - Protocolo de validación propuesto

Aplicación del protocolo de validación de reconversiones para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica

Título, punto y/o inciso	Cumplimiento
2.1.- Tipo de vehículo	<input type="checkbox"/> Bus o Minibus <input type="checkbox"/> Vehículo motorizado con peso bruto menor a 3.860 kg. <input type="checkbox"/>
5.1.1.- El vehículo cuenta con sistema de monitoreo de resistencia de aislación.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.1.2.- El sistema indica la condición de la resistencia de aislación bajo todos los estados posibles salvo apagado.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.1.3.- Los sistemas eléctricos del vehículo están diseñados para operar en un rango de -15°C a 50 °C.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.1.4.- Los cables de alto voltaje están identificados con las cubiertas de colores respectivas.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.1.- El paquete de baterías de tracción cuenta con un plug de conexión o equivalente que permite la desconexión sin el uso de herramientas.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.2.- (Sólo si el punto 5.2.1 es marcado como "No"). El compartimiento de baterías no puede abrirse mientras el vehículo está encendido, ni el vehículo se puede encender mientras el compartimiento de las baterías está abierto.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.3.- Las baterías cuentan con todas las protecciones respectivas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Sobre carga. 2. Sobre descarga. 3. Sobre temperatura. 4. Sobre corriente. 5. Corto circuitos externos. 	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.4.- Las baterías cumplen con la normativa UN-ECE R100.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.5.- La memoria de cálculo asociada a los anclajes de las baterías en el vehículo cumple con los valores establecidos por normativa para el impacto frontal, lateral, trasero y vertical (por volcamiento).	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.6.- Existe un switch de inercia que logra la desconexión del circuito de alto voltaje en las situaciones establecidas por la normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.7.- La ubicación del REESS con las distancias establecidas por normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
5.2.8.- Sólo si las baterías del vehículo son del tipo B. Las baterías no van en el habitáculo del pasajero, o están completamente selladas del mismo.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

<p>5.2.9.- Sólo si las baterías del vehículo son tipo B. El sistema de ventilación cumple con:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Proveer resistencia al agua. 2. Grado de protección a agentes externos de al menos IP2X. 3. Los gases son liberados directamente a la atmósfera y no hay recirculación de gases dentro del paquete de baterías. 	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.2.10.- Sólo si las baterías del vehículo son del tipo B. El pack de baterías contempla un sistema de detección de volcamiento que inhabilite el movimiento del vehículo en caso de actuar.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.2.11.- Sólo en caso de que las baterías del vehículo sean del tipo A (o de Litio). El vehículo cuenta con un sistema interno de balanceo de módulos que emite la alerta respectiva al conductor del vehículo en caso de operación. Cumple también con el funcionamiento dentro del rango especificado por la documentación técnica.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.2.12.- Existe un elemento visual que permita conocer la estimación de la vida útil de la batería o distancia restante de manejo.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.2.13.- El vehículo cuenta con un sistema de batería auxiliar de 12V independiente que permite que los elementos críticos de funcionamiento sigan funcionando frente a la desconexión del pack de baterías de tracción. Cumple también con permitir el uso de las luces de emergencia (4 luces) por al menos 20 minutos.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.3.1.- La potencia y el torque máximos del motor eléctrico están dentro del rango establecido por la normativa.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.3.2.- El motor está acoplado con un sistema que asegura su correcto funcionamiento y no compromete su seguridad.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.3.3.- El sistema motriz posee un grado de protección frente al agua.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.3.4.- Los cables del sistema motriz están dimensionados acorde a la corriente máxima que puede circular por el vehículo durante la conducción.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.4.2.- Existe una alarma sonora o visual que alerta frente a alguna anomalía en el funcionamiento del controlador del motor.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.4.3.- El controlador inhibe el funcionamiento del motor en caso de que exista alguna anomalía en la señal del acelerador.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.4.4.- El acelerador posee una salida de doble señal que permite detectar anomalías en el funcionamiento del acelerador.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.4.5.- Existe un contactor entre el paquete de baterías de tracción y el controlador del motor que está dimensionado para un valor mayor de corriente que el controlador, fusibles y termomagnéticos.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.5.1.- Los convertidores de voltaje del vehículo están certificados por la SEC y cumplen con la Norma Técnica de calidad y servicio.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.6.1.- Todas las modificaciones de frenos responden a la normativa vigente.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>5.6.2.- Sólo si el vehículo tiene sistemas de dirección asistida. Se incluye una bomba de vacío que permita la correcta utilización del sistema, además de los documentos técnicos de respaldo.</p>	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

5.6.3.- Los sistemas ABS, ESP, Airbags o similares fueron calculados, modificados e implementado en orden para que cumpla con los requisitos de seguridad establecidos por normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No aplica
6.11.a.1.- Cables bajo normativa UN-ECE R100 o GB18384-2020.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.a.2.- Existe protección contra el contacto directo bajo los incisos i), ii), iii) y iv) de la normativa vigente.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.a.3.- Existe protección contra el contacto indirecto bajo los incisos i) y ii) de la normativa vigente.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.a.4.- La resistencia de aislamiento del circuito de alta tensión cumple con un valor mínimo establecido por normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.b.- El REESS cumple con los incisos i), ii), iii), iv) y v) establecidos por normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.c.- El sistema de acoplamiento de carga cumple con la resistencia establecida entre el circuito de alta tensión u el chasis eléctrico bajo los casos estipulados por la normativa.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.d.- El vehículo cuenta con un dispositivo de apertura o corte por sobrecorriente.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.11.e.- El vehículo cuenta con un dispositivo de aislación permanente que da una señal de pérdida de aislación en el panel y pide acudir a mantenimiento.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.12.a.- Las dimensiones del vehículo no cambian por la transformación.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.12.b.- El peso admisible y las cargas máximas admisibles en cada eje no son modificadas por la transformación.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.13.c.- La masa en orden de marcha del vehículo después de la transformación se altera en más de un 20% respecto del vehículo base.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.14.d.- La distribución de masa en orden de marcha del vehículo entre los ejes se altera en más de un 10%.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
6.14.e.- Funciona correctamente: Frenado, dirección, iluminación, desempañado, calefacción y cualquier otro sistema que estuviera operativo previamente en el vehículo base.	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No