



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Concepción del Uruguay
INGENIERIA ELECTROMECHANICA

PROYECTO FINAL DE CARRERA
(P F C)

Procedimiento de homologación para vehículos transformados a eléctricos y mejoras de Autonomía aplicables a la Conversión Eléctrica realizada sobre el automóvil Peugeot 308 en el PFC-1706A

Proyecto N.º: PFC 1905A

Autores:

Baldesari, Gabriel
Molo, Tomás

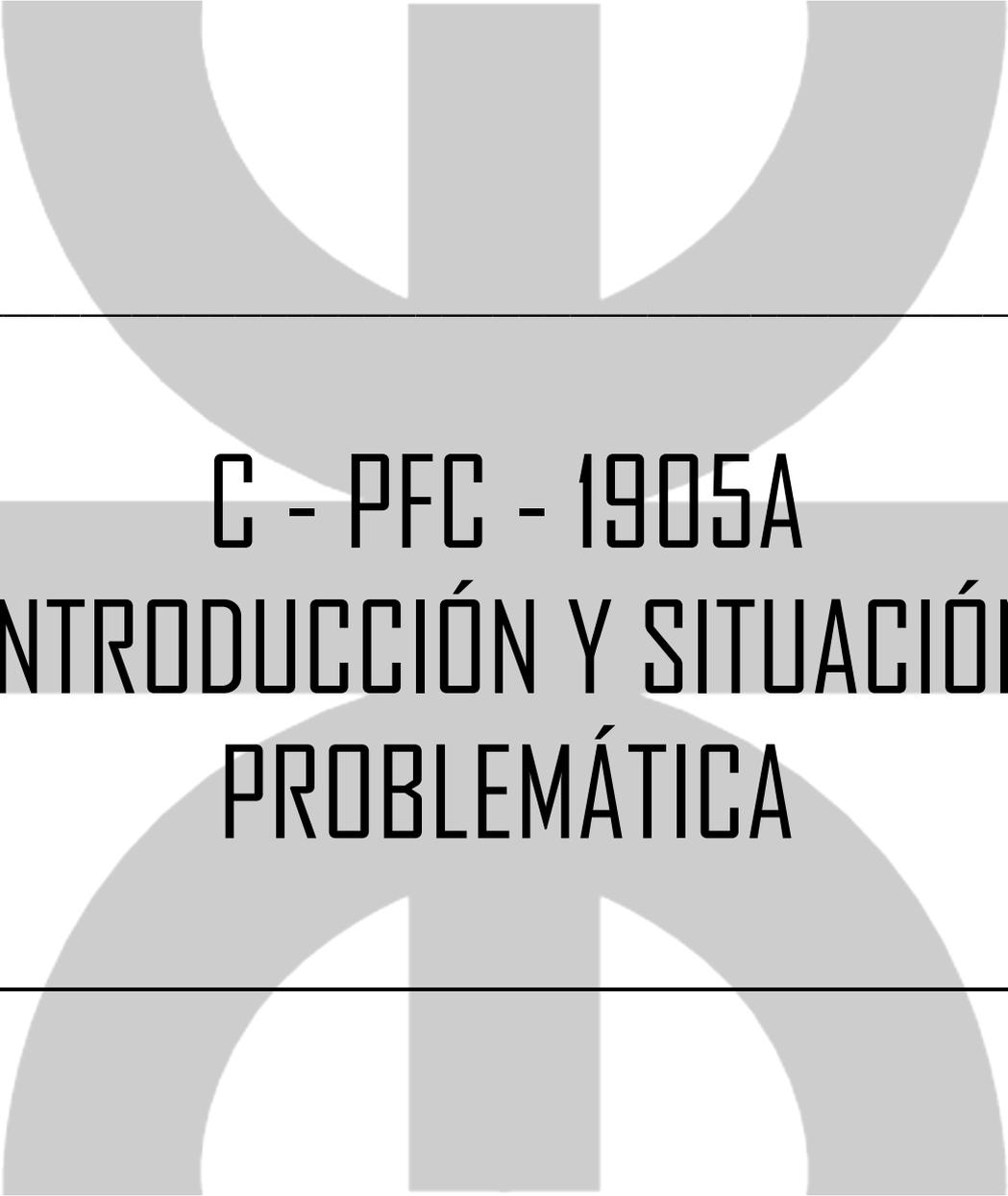
Tutor:

Charadia, Raúl

Dirección de Proyectos:

Ing. Puente, Gustavo
Ing. De Carli, Aníbal

AÑO 2019



C - PFC - 1905A
INTRODUCCIÓN Y SITUACIÓN
PROBLEMÁTICA

Contenido

1. Introducción y situación problemática..... 3
 1.1. Origen del proyecto..... 3
 1.2. Situación problemática 3

1. Introducción y situación problemática

1.1. Origen del proyecto

Nuestra Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional, dispone de un automóvil Peugeot 308 donado por dicha marca, para ser destinado al uso exclusivo como material de estudio. El mismo fue modificado pasando de su motorización original de combustión a eléctrica en marco del proyecto de referencia PFC-1706A (Conversión de la motorización original mecánica a eléctrica de automóvil Peugeot 308).

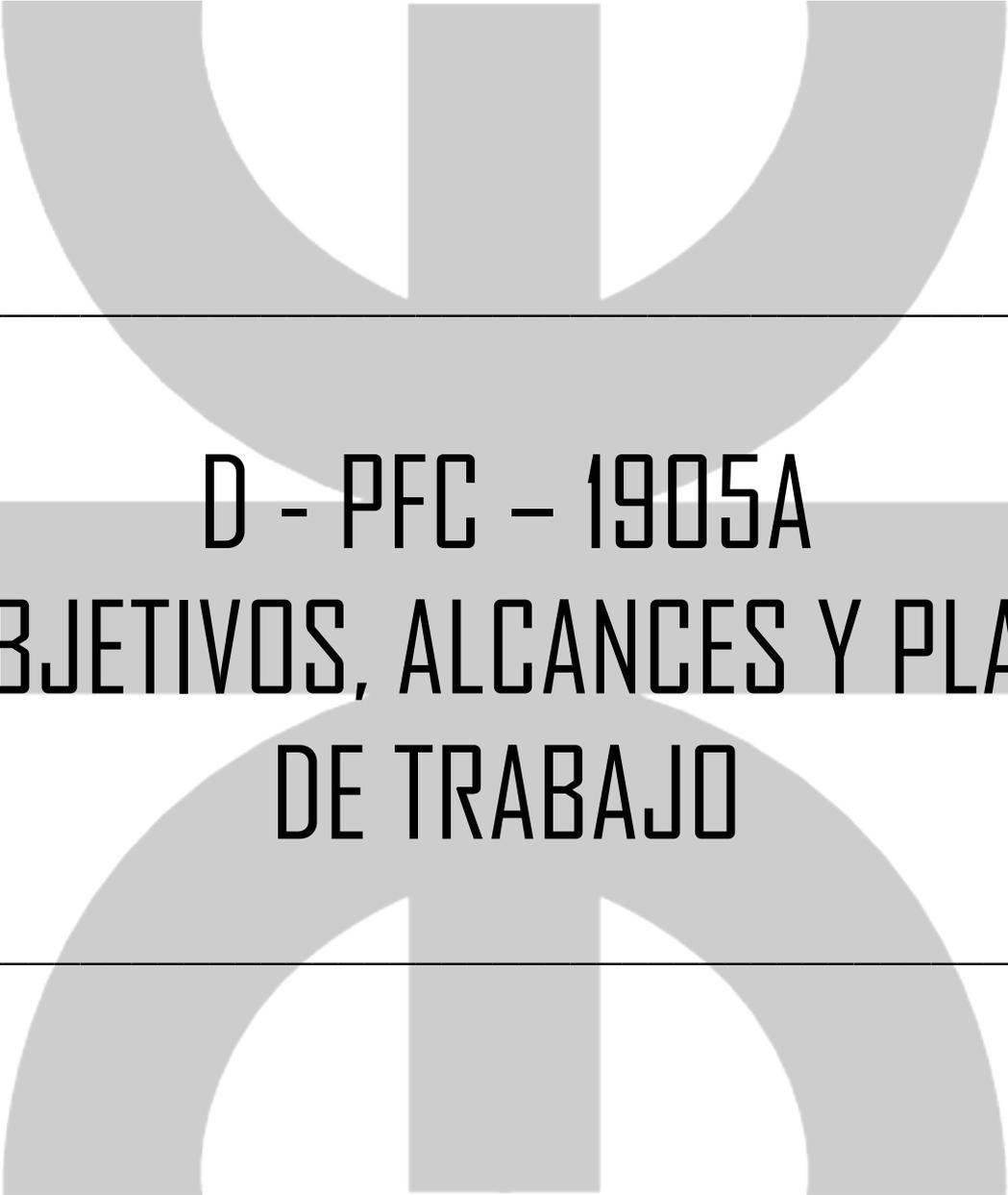
Desde el departamento de ingeniería electromecánica se propone realizar mejoras de autonomía, así como también, estudios para homologar su circulación futura por la vía pública.

1.2. Situación problemática

En referencia al PFC-1706A (Conversión de la motorización original mecánica a eléctrica de automóvil Peugeot 308) donde el objetivo principal fue realizar una conversión que funcione y no las características y calidad del sistema de baterías, hoy nace la oportunidad de tener como objetivo el análisis y elección del mejor sistema disponible para este tipo de vehículos.

A su vez, en el proyecto de referencia tampoco fue objetivo de este el estudio de los procedimientos de homologación y potenciales ajustes técnicos para circular.

Estas cuestiones abren la oportunidad de desarrollar soluciones para ambos puntos.



D - PFC - 1905A
OBJETIVOS, ALCANCES Y PLAN
DE TRABAJO

Contenido

1. Objetivos, alcances y plan de trabajo	3
1.1 Objetivos	3
1.2 Alcances	3
1.3 Plan de trabajo	3

1. Objetivos, alcances y plan de trabajo

1.1 Objetivos

- Aumento de autonomía eléctrica
- Análisis de reglamentación y detallar procedimiento para la homologación de vehículos transformados de motorización mecánica a eléctrica.

1.2 Alcances

Los principales aspectos que se tendrán en cuenta en este PFC son los siguientes:

- Selección de baterías por seguridad, eficiencia y eficacia
- Elaboración de la ingeniería de detalle de la instalación.
- Análisis económico.
- Identificar normativas en esta área.
- Detallar procedimiento para la homologación de vehículos transformados de motorización mecánica a eléctrica para habilitar su circulación por la vía pública.

Nota: Si existiera presupuesto oportuno, suficientemente antes de la defensa, el alcance del presente proyecto podría extenderse a consideración del departamento Electromecánica, para la aplicación tecnológica del caso y las pruebas de campo.

1.3 Plan de trabajo

El presente trabajo incluirá la siguiente metodología:

- Estudio de las diferentes alternativas de baterías existentes.
- Diseño de la ubicación y fijación de las baterías seleccionadas.
- Conexión de los circuitos existentes conforme a las modificaciones.
- Análisis económico aplicado a la nueva tecnología de baterías seleccionadas.
- Estudio y discusión de los protocolos para la normalización de este tipo de conversión.
- Detallar procedimiento para la homologación de vehículos transformados de motorización mecánica a eléctrica para habilitar su circulación por la vía pública.



E - PFC - 1905A
INGENIERIA BÁSICA

Contenido

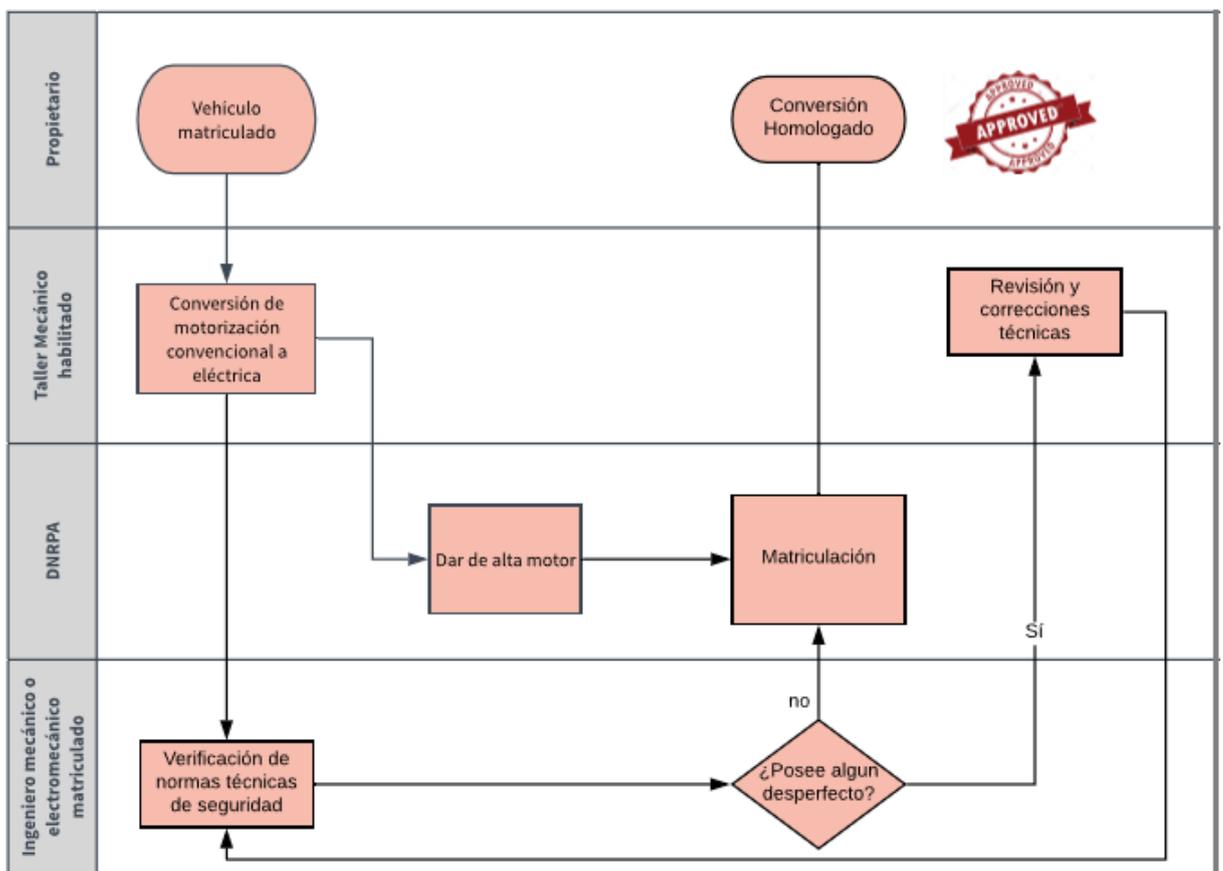
3. Ingenieria Basica..... 3
 3.1. Procedimiento de homologación 3
 3.2. Selección de baterías..... 4

1. INGENIERIA BASICA

1.1. Procedimiento de homologación

Cualquier vehículo en el cual se realiza una conversión de motorización mecánica original a eléctrica debe estar homologado para poder circular por la vía pública. Para ello, se deben cumplir con determinadas normativas técnicas de seguridad y lo estrictamente reglamentario para dar de alta el motor eléctrico detallado por la circular D.T.R y R N.º 9/19, establecida a partir del 19 de Julio de 2019.

En este sentido, se procedió a realizar un mapa de procesos donde se pueden observar las personas vinculadas en cada etapa con sus respectivas funciones.



Las personas y organismos vinculados a la homologación de vehículos convertidos serán:

1. Propietario
2. Taller mecánico habilitado
3. DNRPA (Dirección nacional de registros de la propiedad automotor)
4. Ingeniero mecánico o electromecánico matriculado

Sus respectivas funciones serán numeradas para analizar con detalle cada una de ellas.

- a. Vehículo matriculado
- b. Conversión de motorización convencional a eléctrica
- c. Verificación de normas técnicas de seguridad
- d. Dar de alta el motor
- e. Revisión y correcciones técnicas
- f. Matriculación

1.2. Selección de baterías

El vehículo, Peugeot 308, convertido de su motorización mecánica original a eléctrica en marco al proyecto final de carrera (PFC 1706A) cuenta con baterías de plomo ácido de ciclo profundo para el almacenamiento de energía. Estas poseen una serie de desventajas con respecto a nuevas tecnologías existentes en el mercado.

Para seleccionar el tipo de baterías que tiene mejores prestaciones en cuanto a autonomía y seguridad, se procede a analizar las siguientes características de estas:

- Energía específica [kWh/kg]
- Ciclos de vida
- Profundidad de descarga [%]
- Seguridad
- Rendimiento [%]
- Costos [U\$S]
- Autodescarga [%/mes]
- Volumen
- Peso
- Tiempo de recarga



F - PFC - 1905A
INGENIERIA DETALLE

Contenido

4. INGENIERIA DE DETALLE	3
4.1 Procedimiento de homologación	3
4.1.1 ¿Qué es una homologación?	3
4.1.2 Clasificación de vehículos según características técnicas	3
4.1.3 Organismos y personas vinculadas en la homologación	5
4.1.4 Funciones.....	6
4.2 Alternativa de baterías	21
4.2.1 Funcionamiento de baterías.....	21
4.2.2 Características más importantes.....	22
4.2.3. Baterías a utilizar	24
4.3 Ubicación y fijación de las baterías seleccionadas	30
4.4 Conexión de los circuitos existentes conforme a las modificaciones ..	30
4.4.1 Cargado inteligente de batería LiFePO4	31
4.4.2 Sistema de Administración de Energía (BMS)	35
4.4.3 Uniones.....	41
4.5 Análisis económico aplicado a la nueva tecnología de baterías seleccionadas	43
4.5.1 Life Cycle coste.....	45
4.5.2 Conclusión de análisis de inversión	45

4. INGENIERIA DE DETALLE

4.1 Procedimiento de homologación

4.1.1 ¿Qué es una homologación?

La homologación de vehículos es el procedimiento mediante el cual la autoridad competente verifica que este atiende todos los requerimientos de seguridad activa y pasiva, emisiones contaminantes y ruidos vehiculares de acuerdo con lo establecido en la Ley N.º 24.449 y su reglamentación. Es la aprobación que un vehículo debe tener para circular por la vía pública. En el caso de modificaciones en el mismo por causas diversas, estas también deben homologarse o aprobarse. Si se trata de vehículos destinados a competición, estos deberán cumplir con los requisitos exigidos por la homologación correspondiente.

En general, se entiende por homologación de vehículos a la aprobación de estos por parte de un país para:

- La circulación por la vía pública.
- La adaptación de vehículos de producción en serie a determinadas características para una competición.

4.1.2 Clasificación de vehículos según características técnicas

El organismo nacional que clasifica los vehículos destinados a transporte de pasajeros y de carga es la Comisión Nacional de Tránsito y Seguridad Vial, esta clasificación está detallada en el decreto 779/1995, Anexo A (definición, denominación, clasificación y modelo).

- Categoría L: vehículo automotor con menos de 4 ruedas. Se distinguen las categorías L1, L2a, L2b, L3, L4, L5a, L5b según su cilindrada y velocidad inferior o superior a 50 cm³ y 50 km/h respectivamente. También se incluyen en las categorías, L6a, L6b, L7a, L7b los vehículos de motor de dos o tres ruedas, gemelas o no, y cuadríciclos, destinados a circular por carretera, así como sus componentes o unidades técnicas.
- Categoría M: vehículo automotor que tenga, por lo menos, 4 ruedas, y es utilizado para el transporte de pasajeros.

Categoría M1: vehículo para transporte de pasajeros, que no contengan más de 8 asientos, además del asiento del conductor, y que cargado no exceda de un peso máximo de 3.500 kg.

Categoría M2: vehículo para transporte de pasajeros con más de 8 asientos, excluyendo el asiento del conductor, y que no exceda un peso máximo de 5.000 kg.

Categoría M3: vehículos para transporte de pasajeros con más de 8 asientos, excluyendo el asiento del conductor, y que tengan un peso máximo mayor a los 5.000 kg.

- Categoría N: vehículo automotor con al menos 4 ruedas y utilizados para el transporte de carga.

Categoría N1: vehículo automotor que tenga, por lo menos, 4 ruedas, y que sea utilizado para transporte de carga con un peso máximo que no exceda los 3.500 kg.

Categoría N2: vehículos utilizados para transporte de carga con un peso máximo superior a los 3.500 kg, pero inferior o igual a los 12.000 kg.

Categoría N3: vehículo para transporte de carga con un peso máximo superior a los 12.000 kg.

- Categoría O: remolques, incluidos semirremolques.

Categoría O1: remolques cuyo peso máximo es menor o igual a 750 kg.

Categoría O2: remolques cuyo peso máximo es mayor a 750 kg, pero menor o igual a 3.500 kg.

Categoría O3: remolques cuyo peso máximo es mayor a 3.500 kg, pero menor o igual a 10.000 kg.

Categoría O4: remolques cuyo peso máximo es mayor a 10.000 kg.

- Subcategoría G: vehículos todo terreno, son vehículos de categoría L, M o N.

4.1.2.1 Selección de la categoría a tratar

El procedimiento de homologación de vehículos transformados de motorización mecánica a eléctrica se cumple para todas las categorías detalladas anteriormente. Se hará relevancia a la categoría M1 de vehículos de transporte de pasajeros que no superan los 3500 kg, ya que es la que mejor se adapta a las prestaciones que tiene un motor eléctrico actualmente.

4.1.3 Organismos y personas vinculadas en la homologación

1. Propietario

Es aquella persona que requiere una transformación en su vehículo convencional, tal que su tracción sea 100% eléctrica.

2. Taller mecánico habilitado

Para la habilitación de un taller de estas características se debe contar con las instalaciones adecuadas y poseer los instrumentos necesarios para realizar estas conversiones. El personal debe estar capacitado en este sentido, para hacer cumplir con las especificaciones técnicas de seguridad activa y pasiva.

Instalaciones

- **Box Eléctrico:** equipamiento y herramientas propias como un multímetro de categoría III a 1.000 voltios, que permitirá realizar las mediciones de voltaje de manera segura, cargador de baterías universal de manera de atender cualquier batería del mercado. Es imprescindible instalar bancos de trabajo no metálicos, ya que puede ser peligroso cuando entren en contacto con piezas de alto voltaje. Se recomienda que los bancos sean de plástico, ya que incluso la madera puede conducir la electricidad si se mancha con aceites o grasas.
- **Puntos de recarga:** dependiendo de la potencia del cargador la instalación eléctrica deberá ser la adecuada.

Seguridad Personal

Es importante que el mecánico cuente con guantes de clase 0 con capacidad de 1000 voltios, gafas de protección contra chispazos y explosiones, herramientas de trabajo aisladas y un traje protector impermeable, ya que las baterías pueden desprender sustancia tóxica durante la reparación de los vehículos. Por último, el empleado debe estar atento para no trabajar con ninguna joya en el cuerpo para evitar todo riesgo de electrocución.

Formación de los profesionales del taller

Formación básica para que los mecánicos comprendan cómo funcionan los componentes de los automóviles eléctricos e híbridos y las principales medidas de seguridad. Este curso debe enseñar a montar y desmontar el kit de conversión y piezas específicas de estos vehículos como las baterías, el sistema de desconexión de servicio, etc. así como prácticas sobre cómo desconectar y trabajar con piezas de alta tensión.

La habilitación será dada de alta por un organismo o institución competente.

NOTA: La Universidad Tecnológica Nacional cuenta con los profesionales adecuados para realizar habilitaciones de este tipo.

3. DNRPA (Dirección nacional de registros de la propiedad automotor)

Este organismo es aquel que detalla los pasos a seguir para dar de alta el motor eléctrico, a su vez es el encargado de otorgar la certificación de homologación del vehículo.

4. Ingeniero mecánico o electromecánico matriculado

Es aquel profesional apto para la verificación técnica de seguridad activa y pasiva realizada por el taller mecánico.

4.1.4 Funciones

4.1.4.1 Vehículo matriculado

Para obtener la homologación de vehículos de las categorías L, M, N u O, el fabricante, importador, persona humana o jurídica o último interviniente en el proceso de fabricación (para vehículos armados en etapas), deberá presentar la solicitud de LCM (Licencia de configuración de modelo) y LCA (Licencia de configuración ambiental), los reportes de ensayos de los requisitos de seguridad vehicular prescriptos en el Anexo B del Decreto N.º 779/95 de la ley de tránsito vehicular 24449 y , la documentación detallada, conteniendo la información detallada en la sección I del anexo P del decreto 32/2018. Para su circulación deben cumplir además con las secciones II y III del anexo citado.

LCM (Licencia de configuración de modelo)

Certificado emitido por la Secretaria de Industria y Servicios dependiente del Ministerio de Producción, a todo vehículo, acoplado y semicopado de producción seriada y cero kilómetros (0 km), fabricado en el país o importado, que acredita el cumplimiento de los requisitos de seguridad activa y pasiva.

LCA (Licencia de configuración ambiental)

Certificado emitido por la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, a todo vehículo automotor de producción seriada y cero kilómetros (0 km), fabricado en el país o importado, con relación a las emisiones contaminantes, ruidos vehiculares y/o radiaciones parásitas.

4.1.4.2 Conversión de motorización convencional a electrica

Es el proceso por el cual se realiza la modificación del grupo motriz.

4.1.4.3 Dar de alta el motor

Para realizar este procedimiento debe darse cumplimiento con lo establecido en la D.N.R.P.A., título II, capítulo III, sección 7.

Se citarán los artículos más relevantes para tener en cuenta:

Artículo 1º.- La solicitud de alta de motor deberá efectuarse cuando se incorpore un motor a un automotor inscripto, provenga o no de otro automotor inscripto.

Artículo 2º.- Podrá solicitar el alta de motor:

- a) El titular del dominio. En caso de condominio, en forma conjunta por todos los condóminos.
- b) El adquirente de un automotor presentando en forma conjunta la Solicitud Tipo “08” totalmente completada y en condiciones de inscribir la titularidad a su nombre.

Artículo 3º.- Para solicitar el alta de motor se deberá presentar; además de la Solicitud Tipo “04”:

- a) Título del Automotor.
- b) Cédula de Identificación si por cualquier causa no se la hubiera presentado al solicitar la baja del anterior motor. En el caso de presentarse la solicitud de alta de motor simultáneamente con la de baja, la Cédula deberá presentarse recién al retirar el trámite terminado.
- c) En el caso de que el motor que se incorpora sea nuevo y producido por una fábrica terminal nacional: Certificado de fabricación.
- d) En el caso de que el motor que se incorpore sea nuevo e importado: Certificado de importación emitido por la Administración Nacional de Aduanas, el que previo a la inscripción del alta deberá ser constatado en la forma prevista en este Título, Capítulo I, Sección 3ª, Parte Segunda, salvo que se trate del certificado de importación del modelo que obra como Anexo III de esa Sección 3ª, en cuyo caso no requerirá constatación.
- e) En caso de que el motor que se incorpore haya pertenecido a un automotor inscripto: Certificado de baja emitido por el Registro interviniente (triplicado de la Solicitud Tipo “04”) de acuerdo con lo previsto en este Capítulo, Sección 6ª, el que previo a la inscripción del alta debe ser constatado ante el Registro Seccional que lo emitió por intermedio del correo electrónico oficial, a cuyo efecto remitirá el documento escaneado
- f) En el caso de que el motor que se incorpore sea usado y no haya pertenecido a un automotor inscripto: Certificado de fabricación o de importación emitido por la Administración Nacional de Aduana, según corresponda, previa constatación de este último en la forma prevista en este Título, Capítulo I, Sección 3ª, Parte Segunda, salvo que se trate del certificado de importación del modelo que obra como Anexo III de esa Sección 3ª, en cuyo caso no requerirá constatación.

A partir de la fecha que para cada delegación aduanera determine la Dirección Nacional, los Registros Seccionales sólo admitirán los certificados del modelo indicado en el mencionado Anexo III, excepto cuando éstos hubieren sido emitidos con anterioridad a esas fechas, en cuyo caso mantendrán su vigencia, cualesquiera fuere la fecha en que se practique la petición del alta de motor en el Registro.

A tal fin deberá tenerse en cuenta la nómina de aduanas que se vayan incorporando al nuevo régimen y las fechas en que se opera esa incorporación, de acuerdo con el listado que obra como Anexo IV de la Sección 3ª, Capítulo I de este Título.

Artículo 5º.- A los efectos de la tramitación de las solicitudes de alta de motor, el Registro Seccional recibirá la documentación que se le presente dando cumplimiento a lo dispuesto en el Título I, Capítulo II, Sección 1ª; luego de lo cual procesará el trámite de acuerdo con lo dispuesto en el mismo Título y Capítulo citados, Sección 2ª y en especial comprobará:

- a) Que se refiera al automotor inscripto.
- b) Que el peticionario sea el titular del dominio según constancias del Legajo y cuente con capacidad suficiente para realizar el acto o el adquirente en condiciones de inscribir la titularidad a su nombre. En caso de condominio, que peticionen en forma conjunta todos los titulares.
- c) Que los datos hayan sido consignados correctamente.
- d) Que se haya cumplido con la verificación física del automotor.

Artículo 6º.- Cumplidos los recaudos anteriormente señalados sin que medien observaciones, el Registro Seccional procederá a:

- a) Si quien peticiona el alta de motor fuere el adquirente, procesar e inscribir en primer término la transferencia de dominio.
- b) Anotar el alta de motor en la Hoja de Registro y en el Título del Automotor.
- c) Emitir nueva Cédula de Identificación, excepto que mediare alguno de los impedimentos previstos en el artículo 3º, Sección 1ª del Capítulo IX de este Título, o se diere el supuesto mencionado en el segundo párrafo del artículo 25, Capítulo II del Título III, en virtud del cual no debe entregarse cédula. En todos los casos se anulará y destruirá la anterior que hubiere sido presentada salvo en la parte que contenga el número de control o de dominio, la que se agregará al Legajo.
- d) Completar, firmar y sellar en el espacio reservado al efecto, cada elemento de la Solicitud Tipo.
- e) Entregar al presentante el triplicado de la Solicitud Tipo juntamente con el Título y la Cédula emitida según el punto c), excepto en el caso previsto en el artículo 4º de esta Sección, en el cual no se entregará el triplicado de la Solicitud Tipo, que quedará retenido en el Legajo.
- f) Archivar el original de la Solicitud Tipo en el Legajo B.

g) Remitir el duplicado de la Solicitud Tipo a la Dirección Nacional, en la forma prevista en el Título I, Capítulo III, Sección 3ª.

h) Si el origen del motor dado de alta se hubiera justificado con un certificado de baja expedido por otro Registro Seccional, el Registro Seccional interviniente deberá comunicar al que emitió dicho certificado, el alta que inscribió y el número de dominio del automotor. Si en el interín se realizó un cambio de radicación, el Registro Seccional que emitió el certificado de baja, al recibir la aludida comunicación, deberá derivar la información al Registro Seccional de la nueva radicación del automotor. El Registro Seccional que emitió el certificado de baja o el de la nueva radicación en su caso, agregará dicho informe al Legajo B y asentará tal circunstancia en la Hoja de Registro.

Artículo 8º.- No se admitirá el alta de un motor que ha sido dado de baja por alguna de las causales mencionadas en el inciso a) del artículo 1º de la Sección 6ª de este Capítulo (destrucción total en grado tal que la parte deje de estar en condiciones para servir como motor y sea irrecuperable).

Artículo 9º.- Ningún automotor podrá tener registrado más de un motor.

Artículo 10.- Sólo se aceptará trámite de alta de motor, en el caso de vehículos que tengan un motor registrado, si con la solicitud de alta se pide simultáneamente la baja del motor registrado hasta ese momento.

Artículo 11.- Se entenderá por “cambio de motor” a la baja y alta simultáneas de un motor con relación a un mismo automotor y, a los efectos registrales, serán tramitados como baja de motor y alta de motor, pudiendo presentarse ambas solicitudes en una misma Solicitud Tipo.

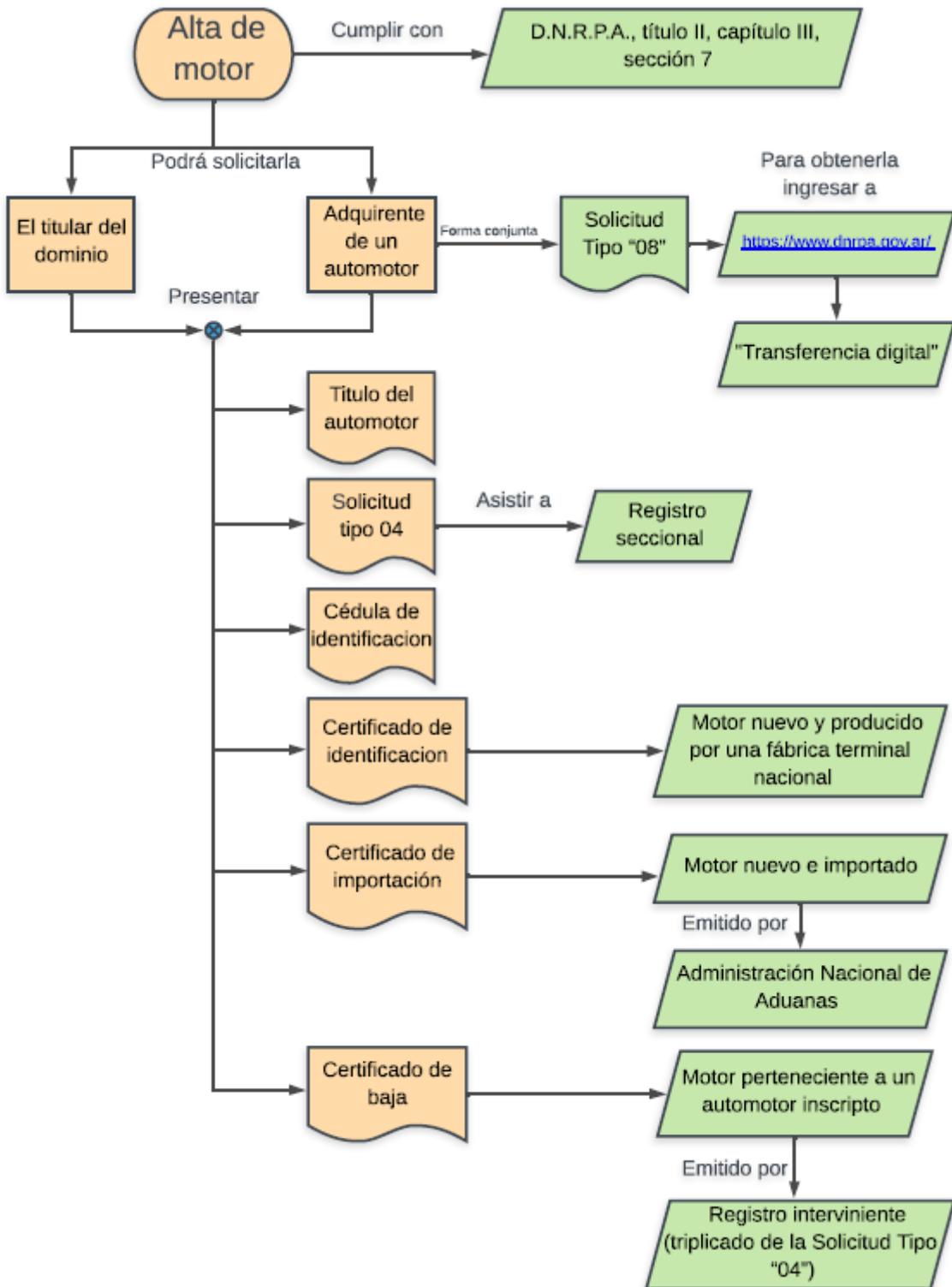
Artículo 12.- Cuando se trate de cambio de motores entre dos automotores de un mismo titular, que se encuentren radicados en distintos Registros Seccionales, se deberán tramitar las respectivas bajas de motor antes de solicitar las altas.

Cuando se trate de cambios de motor entre dos automotores de un titular y el trámite se realice ante un mismo Registro Seccional en forma simultánea, no se exigirá la presentación de los certificados de baja mencionados en el artículo 3º, inciso e), de esta Sección.

Artículo 13.- El Registro Seccional que en función de lo previsto en el artículo 3º, inciso e) de esta Sección reciba un pedido de constatación de un Certificado de baja por él emitido y proceda a constatarlo, sea éste el original del Certificado de baja (triplicado de la Solicitud Tipo “04”), o un duplicado o triplicado del mismo, deberá dejar constancia de ese hecho en la Hoja de Registro.

Si al recibir el pedido de constatación de un ejemplar duplicado o triplicado del Certificado de baja, el Registro advirtiera que se encuentra asentada en la Hoja de Registro una comunicación proveniente de otro Registro Seccional de algún alta efectuada con el original de ese Certificado de baja o con el duplicado, según sea el caso, procederá a formalizar la denuncia ante la Justicia y comunicar el hecho a los Registros intervinientes en las altas y a la Dirección Nacional.

Se deberá presentar la documentación correspondiente en el registro del automotor seccional más cercano. En resumen, se muestran los artículos anteriormente citados en el siguiente diagrama de flujo:



4.1.4.4 Verificación de normas técnicas de seguridad

En materia de seguridad activa y pasiva la Subgerencia Operativa de Energía y Movilidad del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) establece una serie de recaudos, citados en la circular D.T.R y R. N.º 9/19, que deberán ser aprobado por autoridades competentes, ya sea un Ingeniero mecánico o electromecánico matriculado con su firma debidamente colegiada, que dé cuenta que se han verificado las condiciones de seguridad consignadas en el siguiente cuadro:

Ítem a controlar	Descripción/Modificación del vehículo
BATERÍA	Número de Certificado de Homologación de Autopartes de Seguridad (CHAS) Correcta fijación a la estructura y soporte Lugar ignífugo
AYUDA PEDAL DE FRENOS	Adecuación de la bomba de frenos
MOTOR	Fijación a la estructura y alineación con caja de cambios, eje o semiejes
CABLES, BORNES y FUSIBLES	Instalación eléctrica de acuerdo a estándares de seguridad Controlar amperaje y tipo de aislamiento
PARADA DE EMERGENCIA	Una dentro del habitáculo y otra cerca del pack de baterías
DESCONEXION RÁPIDA	Corte de tensión/desconexión cerca del pack de baterías
INDICADORES	Medidor de carga y temperatura de las baterías, dentro del habitáculo.

Las modificaciones realizadas en este tipo de transformaciones deberán cumplir determinados requisitos que se detallan a continuación:

4.1.4.4.1 Baterías

Número de Certificado de Homologación de Autopartes de Seguridad (CHAS)

La ley N.º 24.449 establece que todo componente o pieza destinada a repuestos de vehículos automotores, acoplados o semiacoplados, definidos como “autopartes de seguridad”, que se fabriquen en el país o se importen, para poder comercializarse en el mercado de reposición exclusivamente, deben cumplir las condiciones de seguridad según lo establecido en la Resolución 91/2001. Para ello deben estar certificadas como repuesto no original según Decreto 779/95.

Posterior a la certificación, deberá tramitar el Certificado de Homologación de Autopartes de Seguridad (C.H.A.S.) en la oficina pertinente de INTI.

Correcta fijación de la estructura y soporte

Se deberán tener en cuenta distintas cuestiones respecto a la seguridad activa y pasiva en la fijación de la estructura y soporte de las baterías:

- Soportes contruidos con perfiles conformados de chapa metálica

Tendrá que ser una estructura rígida, que evite movimientos y vibraciones.

- Tanto el soporte como la estructura deberán ser ignífugos

Deberá ser resistente al fuego y a altas temperaturas, así como también al desgaste.

- Estructura ventilada

Debido a la producción de gases y a cualquier desperfecto que ocurriera, deberán tener varias entradas y salidas de aire; en el caso que se encuentre en el interior del vehículo deberá poseer una estructura con tapa hermética y salida de gases al exterior.

- Fijaciones y soportes desmontables

Para realizar cualquier tipo de mantenimiento o modificaciones es fundamental una fijación abulonada.

- Correcta fijación a la carrocería

Ocupar espacios de manera adecuada para no entorpecer la ubicación de otros equipos.

Idealmente, todas las baterías deben estar contenidas en una caja de acero soldado que esté asegurada al bastidor del vehículo, y sujeta fuertemente para evitar el movimiento.

Las baterías con electrolito líquido deben estar en posición vertical en todo momento, dado que existe peligro de derrame si se colocan de costado o inclinadas. Además, estas baterías necesitan de operaciones de mantenimiento y de control del nivel de electrolito en el interior de los vasos, reponiendo con agua destilada si el nivel baja del permitido.

En el caso de baterías que no utilicen electrolito líquido, herméticas, pueden volcarse sin peligro, no emiten gases, son limpias, no generan olores y no precisan ningún tipo de mantenimiento.

Las adecuaciones de los componentes, en este caso las baterías, en un vehículo transformado de motorización mecánica a eléctrica, tendrán que ser muy bien distribuidas para no modificar sustancialmente las características ideales del vehículo para las que fue construido.

Lugar ignífugo

Las baterías deberán ubicarse en sectores vulnerables a la propagación de la llama.

4.1.4.4.2 Ayuda de pedal de frenos

Adecuación de la bomba de vacío:

- Verificar que no haya perdidas en el sistema de frenado
- Correcta fijación de la bomba
- Instalar pulmón de vacío correctamente

4.1.4.4.3 Motor

Fijación a la estructura y alineación con caja de cambios, eje o semiejes

- Soportes contruidos con perfiles, tubos, conformados de chapa metálica o goma respectivamente.

Tendrá que ser una estructura rígida, que evite movimientos y vibraciones (absorber momento torsor de arranque).

- Placa adaptadora

Uno de los aspectos más importantes en la conversión es como conectar la caja de cambios al nuevo motor eléctrico. Esto se hace normalmente con una placa adaptadora que ajusta en ambas caras de la caja de cambios y el nuevo motor.

Esta placa se tiene que diseñar y fabricar con una muy alta precisión, ya que la geometría de la transmisión puede peligrar si hubiera errores. La placa tiene que estar fabricada de un material que sea duro, ligero, resistente, etc. por ejemplo, aluminio. El grosor de la placa depende del par y la potencia del motor eléctrico.

- Acoplamiento

Normalmente, ambos ejes tienen diámetros diferentes, distinto estriado o son cilíndricos planos con una muela, por lo tanto, se necesita dos acoplamientos diferentes, uno para cada palier (motor y caja de cambios). Estos dos acoplamientos pueden conectarse directamente o usando el embrague original.

4.1.4.4.4 Cables, bornes y fusibles

Instalación eléctrica de acuerdo con estándares de seguridad

Para vehículos de propulsión eléctrica, el reglamento que exige la normativa argentina es el R100 (Reglamento de Naciones Unidas) referido a seguridad eléctrica.

Protección contra choques eléctricos

Estos requisitos en materia de seguridad eléctrica se aplican a los buses de alta tensión en caso de que no estén conectados a fuentes de alta tensión externas.

Se denomina bus de alta tensión a el circuito eléctrico, incluido el sistema de acoplamiento para cargar el REESS (sistema de acumulación de energía recargable) que funciona con alta tensión.

- **Protección contra contactos directos**

La protección contra el contacto directo con las partes activas dentro del habitáculo deberá cumplir con grado de protección IPXXD y en zonas distintas del habitáculo con grado de protección IPXXB.

Para el grado de protección IPXXD las barreras y envolturas deben estar fijadas de manera segura y deben tener resistencia mecánica, estabilidad y durabilidad suficientes para mantener el grado de protección requerido con una separación suficiente de las partes activas en las condiciones conocidas de servicio normal y teniendo en cuenta las influencias externas del interior de la envoltura y externas a ella (ambiente que la rodea).

En el caso de grado de protección IPXXB las barreras o envolturas están destinadas a impedir todo contacto con las partes activas, aún no aisladas de la instalación eléctrica. Las partes activas deben colocarse en el interior de envolventes o detrás de barreras.

- **Conectores**

Se considerará que los conectores (incluida la toma del vehículo) cumplen este requisito si:

- a. Cumplen con ambos grados de protección cuando se separan sin necesidad de utilizar herramientas.
- b. Están situados bajo el suelo y cuentan con un dispositivo de cierre, o bien
- c. Cuentan con un dispositivo de cierre y otros componentes han de quitarse mediante herramientas para separar el conector.
- d. La tensión de las partes activas es inferior o igual a 60 V c.c. o inferior o igual a 30 V c.a. (rms) en un plazo de un segundo a partir de la separación del conector.

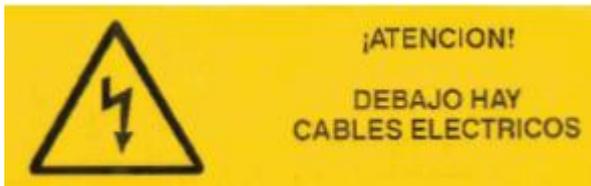
- **Desconexión del servicio**

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.

- **Marcado**

En el caso de un REESS que cuente con capacidad de alta tensión, el símbolo indicado en la figura figurará en dicho REESS o en sus proximidades. El fondo del símbolo será de color amarillo, mientras que el borde y la flecha serán de color negro.

Marcado del equipo de alta tensión



El símbolo también será visible en las envolventes y las barreras que, al quitarse, expongan partes activas de los circuitos de alta tensión. Esta disposición es opcional para los conectores de los buses de alta tensión y no se aplicará en caso de que:

- a. No se pueda acceder a las barreras o las envolventes o estas no se puedan abrir o quitar, a menos que se quiten otros componentes del vehículo utilizando herramientas;
- b. Las barreras o las envolventes estén situadas bajo el suelo del vehículo.

Los cables de los buses de alta tensión que no estén situados en el interior de envolventes estarán identificados mediante una cubierta exterior de color naranja.

- **Protección contra contactos indirectos**

A efectos de la protección contra los choques eléctricos que puedan producirse por contacto indirecto, las partes conductoras expuestas, como las barreras y las envolventes conductoras, estarán conectadas galvánicamente de forma segura al chasis eléctrico 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.

La resistencia entre todas las partes conductoras expuestas y el chasis eléctrico será inferior a 0,1 ohmios cuando haya un flujo de corriente de al menos 0,2 amperios, se cumple este requisito si la conexión galvánica se ha establecido mediante soldadura.

En el caso de los vehículos de motor destinados a ser conectados a una fuente de energía eléctrica exterior conectada a tierra a través de la conexión conductiva, se facilitará un dispositivo para permitir la conexión galvánica del chasis eléctrico a la tierra.

El dispositivo debe permitir la conexión a tierra antes de que la tensión externa se aplique al vehículo y mantenerla hasta que se retire la tensión externa del vehículo. El cumplimiento de este requisito podrá demostrarse bien utilizando el conector especificado por el fabricante del automóvil o bien mediante análisis.

Resistencia de aislamiento

El presente apartado no se aplicará a los circuitos eléctricos conectados al chasis cuando la tensión máxima entre cualquier parte activa y el chasis eléctrico o cualquier parte conductora expuesta no exceda de 30 V c.a. (rms) o de 60 V c.c.

- Grupo motopropulsor eléctrico que conste de dos buses de c.c. o de c.a. separados

Si los buses de alta tensión de c.a. y los de c.c. están aislados galvánicamente entre sí, la resistencia de aislamiento entre el bus de alta tensión y el chasis eléctrico tendrá un valor mínimo de 100 Ω/V de la tensión de funcionamiento en el caso de los buses de c.c., y de 500 Ω/V de la tensión de funcionamiento en caso de los de c.a.

- Grupo motopropulsor eléctrico que conste de buses de c.c. y de c.a. combinados

Si los buses de alta tensión de c.a. y los de c.c. están conectados galvánicamente, la resistencia de aislamiento entre el bus de alta tensión y el chasis eléctrico tendrá un valor mínimo de 500 Ω/V de la tensión de funcionamiento. Sin embargo, la resistencia de aislamiento entre el bus de alta tensión y el chasis eléctrico tendrá un valor mínimo de 100 Ω/V de la tensión de funcionamiento si todos los buses de alta tensión de c.a. están protegidos por una de las dos medidas siguientes:

a) Capas dobles o múltiples de aislantes sólidos, barreras o envolventes que cumplan con ambos grados de protección de forma independiente.

b) 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 bus de alta tensión y el chasis eléctrico podrá demostrarse mediante cálculo, medición o una combinación de ambos métodos.

La medición para ambos deberá realizarse con arreglo a lo dispuesto en el anexo 4^a del citado reglamento

Método de medición de la resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento de cada bus de alta tensión del vehículo se medirá o determinará mediante cálculo, utilizando valores de medición de cada parte o componente de un bus de alta tensión.

La medición de la resistencia de aislamiento se realizará seleccionando un método de medición adecuado, dependiendo de la resistencia de aislamiento, de las cargas eléctricas de las partes activas, etc.

En caso de que los valores medidos no sean estables por el funcionamiento del sistema de a bordo para la supervisión de la resistencia de aislamiento, podrán realizarse las modificaciones necesarias para realizar la medición, como detener el funcionamiento del dispositivo en cuestión o quitarlo. Además, cuando se quite el dispositivo, se demostrará, mediante dibujos o de otro modo, que no cambiará la resistencia de aislamiento entre las partes activas y el chasis eléctrico.

Se extremarán las precauciones con respecto a cortocircuitos, choques eléctricos, etc., ya que esta confirmación podría exigir operaciones directas del circuito de alta tensión.

- Método de medición utilizando tensión procedente de fuentes exteriores al vehículo

Instrumento de medición

Se utilizará un instrumento de ensayo de la resistencia de aislamiento capaz de aplicar una c.c. superior a la tensión de funcionamiento del bus de alta tensión.

Método de medición

Se conectará un instrumento de ensayo de la resistencia de aislamiento entre las partes activas y el chasis eléctrico. A continuación, se medirá la resistencia de aislamiento aplicando una c.c. de, como mínimo, la mitad de la tensión de funcionamiento del bus de alta tensión.

Si el sistema tiene varios rangos de tensión (por ejemplo, debido a un convertidor elevador) en un circuito conectado galvánicamente y algunos de los componentes no pueden soportar la tensión de funcionamiento de todo el circuito, la resistencia de aislamiento entre dichos componentes y el chasis eléctrico pueden medirse por separado aplicando al menos la mitad de su propia tensión de funcionamiento con dichos componentes desconectados.

- Método de medición utilizando el REESS del propio vehículo como fuente de c.c.

Condiciones de ensayo de los vehículos

El bus de alta tensión estará alimentado por el REESS del propio vehículo y/o el sistema de conversión de energía, y el nivel de tensión del REESS y/o del sistema de conversión de energía durante el ensayo equivaldrá, como mínimo, a la tensión nominal de funcionamiento del motor eléctrico.

Instrumento de medición

El voltímetro utilizado en este ensayo medirá los valores de la c.c. y tendrá una resistencia interna de al menos 10 MΩ.

Método de medición

Primera etapa

La tensión se mide tal como se muestra en la siguiente figura y se registra la tensión del bus de alta tensión (V_b). Esta será igual o mayor que la tensión de funcionamiento nominal del REESS y/o del sistema de conversión de energía.

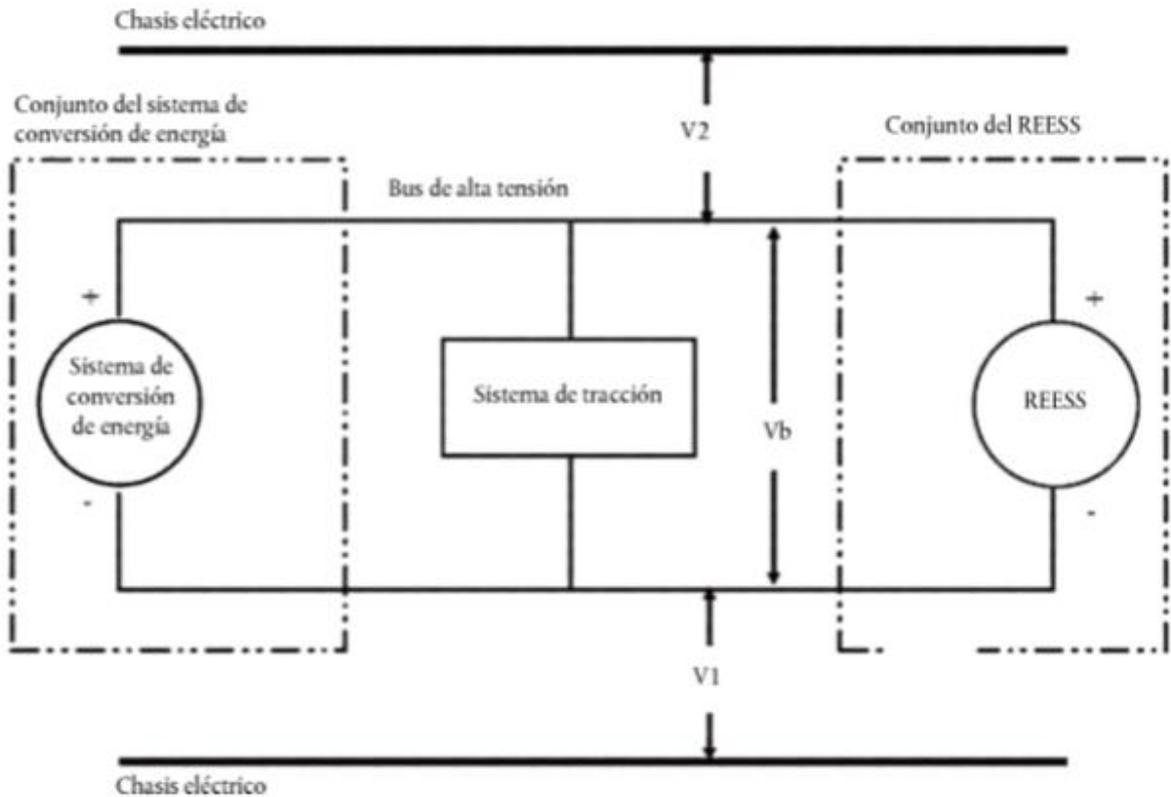
Segunda etapa

Se mide y se registra la tensión (V_1) entre la parte negativa del bus de alta tensión y el chasis eléctrico.

Tercera etapa

Se mide y se registra la tensión (V2) entre la parte positiva del bus de alta tensión y el chasis eléctrico.

Medición de Vb, V1 y V2

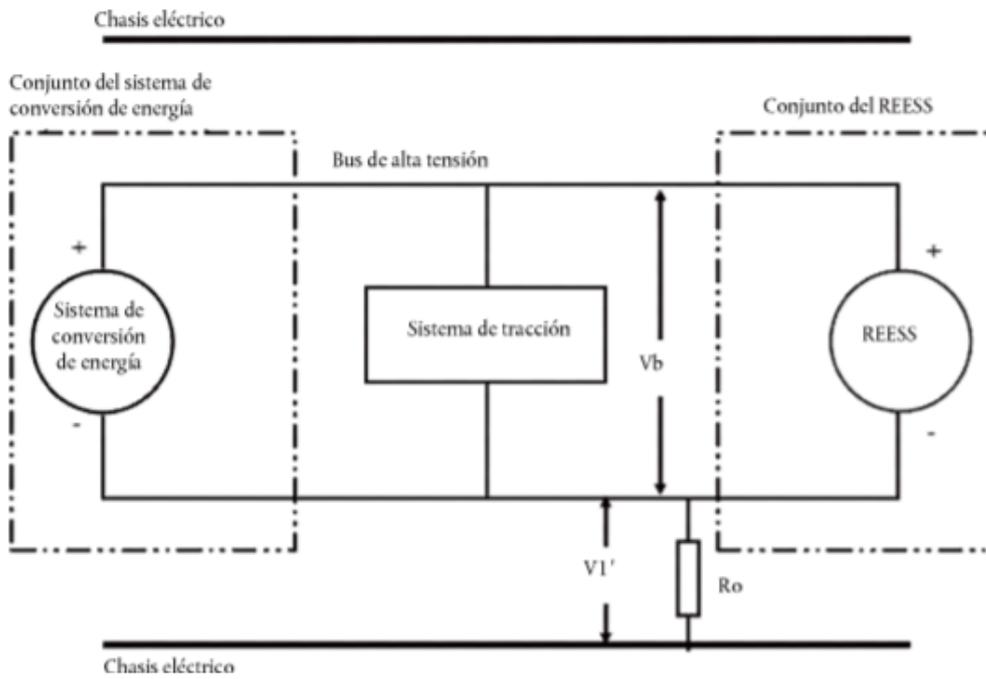
Cuarta etapa

Si V1 es mayor o igual que V2, se inserta una resistencia estándar conocida (R0) entre el polo negativo del bus de alta tensión y el chasis eléctrico. Con la R0 instalada, se mide la tensión (V1') entre la parte negativa del bus de alta tensión y el chasis eléctrico.

Se calcula el aislamiento eléctrico (Ri) según las fórmulas siguientes:

$$R_i = R_0 * \left(\frac{V_b}{V_1'} - \frac{V_b}{V_1} \right)$$

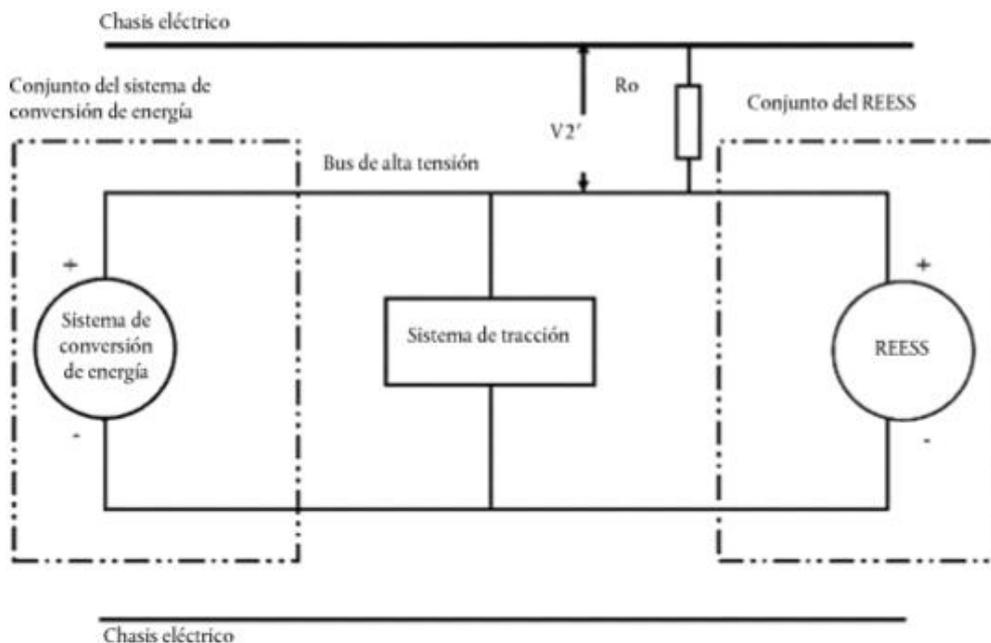
Medición de V1'



Si V2 es mayor que V1, se inserta una resistencia estándar conocida (Ro) entre el polo positivo del bus de alta tensión y el chasis eléctrico. Una vez instalada la resistencia Ro, se mide la tensión (V2') entre el polo positivo del bus de alta tensión y el chasis eléctrico. Se calcula el aislamiento eléctrico (Ri) según las fórmulas que figuran a continuación. Se divide el valor correspondiente al aislamiento eléctrico (en Ω) por la tensión nominal de funcionamiento del bus de alta tensión (en voltios).

Se calcula el aislamiento eléctrico (Ri) según las fórmulas siguientes:

$$R_i = R_0 * \left(\frac{V_b}{V_2'} - \frac{V_b}{V_2} \right)$$



Quinta etapa

El valor del aislamiento eléctrico R_i (en Ω) dividido por la tensión de funcionamiento del bus de alta tensión (en voltios) da la resistencia de aislamiento (en Ω/V).

Nota: La resistencia normalizada conocida R_o (en Ω) debe ser el valor de la resistencia de aislamiento mínima requerida (en Ω/V) multiplicado por la tensión de funcionamiento del vehículo $\pm 20\%$ (en voltios). No se requiere que la R_o equivalga exactamente a ese valor, ya que las ecuaciones son válidas para cualquier R_o ; sin embargo, una R_o dentro de este rango debe proporcionar una buena resolución para las mediciones de la tensión.

4.1.4.4.5 Parada de emergencia

Esta parada puede producirse en condiciones normales de funcionamiento una vez finalizado el trabajo o una maniobra y en condiciones anormales de funcionamiento cuando aparece una situación de peligro (emergencia).

Está conformado por un interruptor accionado manualmente situado en la línea de alimentación del vehículo. Un auxiliar de mando dispuesto en el circuito auxiliar de modo que, al ser accionado, todos los circuitos que puedan originar peligro queden desconectados.

Este órgano de mando utilizado como paro de emergencia debe reunir las características siguientes:

- Será visible y fácilmente accesible, por lo que se colocará en un lugar donde pueda ser alcanzado rápidamente por el operario.
- Será capaz de cortar la corriente máxima del motor en condiciones de arranque.
- Podrá ser accionado manualmente y será enclave en la posición de abierto.
- Puede presentar varias formas: maneta, pedal, cuerda, botón pulsador, etc., eligiendo la más conveniente en cada caso; en todos los casos el color será rojo.

4.1.4.4.6 Desconexión rápida

Interruptor que se utiliza para evitar el paso de corriente y desactivar el circuito en modo de seguridad. Debe estar ubicado cerca del pack de baterías.

Las características de estas deben ser:

- Resistente al óxido y la corrosión, tuercas y arandelas de acero inoxidable sólido.
- Fácil de instalar y simple de usar.

Las ventajas de tener desconexión rápida son:

- Extender la vida útil de la batería de su vehículo.
- Prevenir el fuego.

4.1.4.4.5 Indicadores

- Medidor de carga de baterías

Indica el porcentaje de carga del banco de baterías. Debe estar ubicado dentro del habitáculo en un lugar visible para el conductor.

- Medidor de temperatura de baterías

Se debe utilizar un indicador de temperatura ubicado en el interior del habitáculo. Es indispensable que las baterías utilizadas funcionen en un rango de temperatura determinado. A partir de una temperatura de funcionamiento de +40°C disminuye la vida útil, mientras que, por debajo de -10°C, el grado de efectividad decrece y la potencia disminuye. Además, la diferencia de temperatura entre cada una de las células no debe superar unos valores determinados.

4.1.4.5 Revisión y correcciones técnicas

En el caso de algún desperfecto que sea detectado por el ingeniero, se deberá informar al taller mecánico que no cumplió con determinadas especificaciones técnicas en cuanto a seguridad activa y pasiva, teniendo el mismo que normalizar las partes afectadas.

4.1.4.6 Matriculación

Una vez que el motor se dio de alta y se verificaron las normativas técnicas de seguridad, la dirección nacional de registro de propiedad automotor emite un certificado de homologación para que el vehículo transformado pueda circular sin ningún tipo de restricciones.

4.2 Alternativa de baterías

4.2.1 Funcionamiento de baterías

Se denomina batería o acumulador eléctrico al dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que, posteriormente, la devuelve con ciertas pérdidas; este ciclo puede repetirse un determinado número de veces.

El funcionamiento de un acumulador está basado esencialmente en un proceso reversible llamado reducción-oxidación (también conocida como reacción redox). Se trata de un proceso en el cual uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y

el otro se reduce (gana electrones). Está formada por dos electrodos llamados ánodo y cátodo, sumergidos en un electrolito. El primero de ellos se oxidará, mientras que el segundo ganará electrones, reduciéndose. Esto ocurre en el proceso de descarga, y es debido a que la electricidad tiene signo opuesto al flujo de electrones, por lo que esta irá desde el polo positivo (cátodo) hasta el negativo (ánodo). En el proceso de carga ánodo y cátodo se invierten para que el primero vuelva a ganar los electrones perdidos durante la conducción.

4.2.2 Características más importantes

A pesar de su diversa constitución, todas las baterías pueden ser definidas mediante características comunes que se consideran seguidamente:

- **Fuerza electromotriz, voltaje o potencial (V):** el voltaje de una celda electroquímica viene dado por la diferencia entre los potenciales redox de los materiales activos del cátodo y ánodo. Es muy importante disponer de celdas con alto potencial, ya que permiten disminuir la cantidad de elementos que se deben conectar en serie para aumentar el voltaje nominal de la batería.
- **Capacidad Especifica (Ah):** es el parámetro que indica la cantidad de carga eléctrica que es capaz de almacenar la batería.
- **Energía específica:** indica la cantidad de energía que se puede almacenar en la batería. Este parámetro electroquímico es muy importante ya que reúne a los dos anteriormente indicado. La unidad de la energía específica másica es Wh/kg y la volumétrica también denominada densidad energética Wh/l. Ambas normalizaciones son significativas, ya que el peso como el volumen son dos magnitudes importantes de deducir para una óptima aplicación de las baterías.
- **Ciclos de vida:** ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería antes de ser sustituida. Cuanto más ciclo mejor, ya que será más duradera.
- **Profundidad de descarga (%):** la profundidad de descarga de una batería es el porcentaje de la capacidad total de la batería que se usa durante un ciclo de carga o un ciclo descarga. Cuanto mayor es la profundidad de descarga menos ciclo de uso puede dar una batería.
- **Seguridad en ocasiones de daño:** cada composición química de las baterías se comporta de manera distinta. Los parámetros que influyen en este sentido son sobretensión, sobrecarga, choque mecánico, fuego, etc.
- **Rendimiento (%):** es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga.

- Costos (U\$S): es la mayor influencia en el precio del vehículo eléctrico.
- Autodescarga (%/mes): las constantes reacciones químicas que se generan en los electrodos de la baterías provocan una descarga lenta y persistente, es este proceso el que ocasiona la descarga de las mismas aunque no estén conectadas a una carga o consumo.
- Efecto memoria: es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada totalmente, se crean unos cristales en el interior de estas baterías, a causa de una reacción química al calentarse la batería, bien por uso o por las malas cargas.
- Tiempo de recarga: se debe tener en cuenta que existen distintas condiciones que influyen y definen este valor. Estas condiciones varían para cada vehículo y también para los distintos puntos de carga.

Existen distintas velocidades de carga entre ellas se encuentran:

Carga lenta

Actualmente, la carga lenta es la más utilizada para recargar la batería de los vehículos eléctricos, ya que es muy básica y a baja potencia puede realizarse en puntos de carga domésticos o privados como los que se instalan en lugares de trabajo, aeropuertos o centros comerciales.

Este tipo de recarga se realiza a través de una corriente alterna monofásica de 220V, una intensidad de 16A y una potencia máxima de 3,7 kW. Empleando este tipo de carga, el tiempo estimado varía mucho dependiendo de la capacidad de la batería del vehículo, aunque normalmente suelen tardar entre cinco y ocho horas.

También existe una variable en este tipo de carga que emplea corriente alterna trifásica de 400V, una intensidad de 16A y una potencia máxima de 11 kW, por lo que el tiempo de recarga de la batería se reduce hasta las dos o tres horas.

Carga semirápida

El tipo de carga semirápida no se emplea tanto como la carga lenta, debido a que no hay muchos puntos públicos que la ofrezcan ni privados que la permitan. Normalmente, se encuentra ubicada en centros comerciales, centros urbanos, supermercados, parkings de empresas, etc.

La carga semirápida se obtiene gracias a una corriente monofásica de 220V, una intensidad entre 32-63A y una potencia máxima de entre 8-14 kW. Por ello, permite la recarga de las baterías medias en un tiempo estimado de tres horas (32A) o una hora y media (63A). Asimismo, ofrece otra alternativa que consiste en emplear una corriente alterna trifásica de 400V, una intensidad de hasta 63A y una potencia máxima de 22 a 43 kW, que permite recargar una batería en tan solo media hora.

Carga rápida

La carga rápida pretende aproximarse a los tiempos de repostaje de los combustibles fósiles. Este tipo de carga es la que necesariamente deben ofrecer las estaciones de combustible o puntos de recarga de este tipo donde acuden multitud de usuarios, que no pueden estar mucho tiempo esperando.

Actualmente, continúa siendo complejo instalar un punto de carga rápida, puesto que se necesita una corriente continua de hasta 600V, una intensidad de 400A y una potencia máxima de 240 kW. Estas cifras pueden ofrecer cargas de hasta el 80% de una batería media en intervalos de entre cinco y treinta minutos.

Tipo de carga a utilizar

En este caso, el tiempo de recarga a analizar en las diferentes baterías será una carga lenta debido a la potencia máxima que permite el cargado inteligente, este posee una potencia nominal de 2,5 kW y una tensión de entrada que puede funcionar de 90V a 270V de corriente alterna. La función que cumple el cargador es de proteger a las baterías y a la instalación eléctrica de alimentación por ello permite una tasa de descarga de entre 10A y 16A.

4.2.3. Baterías a utilizar

A partir de la matriz de decisión realizada en la memoria, se selecciona el siguiente modelo de baterías:



Figura 1: batería LiFePO4 100Ah-12,8V



Figura 2: batería LiFePO4 100Ah-3,2V

Características

- Batería de litio Marca GBS de Segunda Generación Li-ion
- Voltaje Nominal: 12.8V (4 celdas X 3.2 V)
- Capacidad Nominal: 100Ah
- Química: Litio-Hierro-Fosfato (LiFePO4)
- Voltaje de Operación: 11.2 a 14.6V
- Peso: 11,5 kg
- Dimensiones: 276 (largo) X 126 (ancho) X 243 (alto) [mm]
- Corriente de Recarga Máxima: 3C
- Corriente de Descarga Máxima: 1C (de forma continua) / 3C (de forma momentánea 10 segundos)
- Ciclo de Vida: >2000 (80%DOD)
- Temperatura de Operación: -20 a 65°C
- Porcentaje de Auto Descarga: <3% mensual
- Accesorios incluidos: terminales de interconexión, tornillos, huasas, huasas de seguridad y tapa plástica.

Para desarrollar la potencia necesaria que alimente al motor es necesario conectar 8 baterías, generando de esta manera 102.4 V de corriente continua.

Desempeño básico y ventajas de las baterías de Litio GBS de Segunda Generación

- Alta densidad de energía vs peso y volumen.
- Salida con una gran ampliación: corriente de descarga estándar 0.5C-1.0C, impulso instantáneo de descarga de corriente es de 10C durante 2 segundos.
- Un buen rendimiento a alta temperatura.
- La estructura de la batería es buena y segura.
- Un buen rendimiento a baja temperatura, capacidad de descarga en no menos de 90% de la capacidad nominal cuando se descarga con 1C debajo de -20°C; no menos de un 70% de la capacidad nominal de 0,33C.
- Un buen rendimiento de seguridad: cuando la presión dentro de la batería es demasiado grande, la válvula de seguridad va a liberar el gas y el calor de la batería para asegurarse de que funcionen bien. Cuando la presión interna alcanza cierto nivel, la válvula se abre inmediatamente que puede proteger la batería de la combustión y explosión.
- La batería no explota o se incendia cuando estas se encuentran en corto circuito o son perforadas.
- Un buen tiempo de ciclo de vida, la capacidad de descarga es aún más del 80% después de 3000 ciclos de una celda (80% DOD).
- Es una carga rápida. Puede ser cargada al 80% dentro de 0.5h y cargado con 1h.
- No hay contaminación durante la fabricación y uso.
- Diseño más robusto de conexión al utilizar cuatro tornillos por cada terminal, lo que proporciona un mayor contacto eléctrico y previene que se aflojen las conexiones por causa de vibraciones.
- Impedancia interna reducida gracias a mejoras en el diseño de la terminal de electrodos.
- Estructura de la celda facilita la integración del sistema de administración de energía (BMS) y la formación de arreglos de paquetes de baterías.

Asuntos que requieren atención

- Leer el manual de instrucciones.
- Cargar la batería a plena capacidad antes de la descarga para el primer uso.
- La batería se fija con la placa y la tira antes de la entrega, no desmonte la placa y la tira cuando se utiliza la batería.
- Controlar la tensión de batería, normalmente es de 3,2 V por celda.
- Fijar BMS para batería y proteger a una celda para evitar la excesiva carga y descarga.
- Tornillos o remache se utiliza para el conector de la batería.
- Utilice parte de cobre para conectar baterías y fijarla con un alicate de presión hidráulica. También fijar la conexión con tornillos.
- El cargador utilizado debe ser aprobado por el fabricante con el fin de coincidir con las baterías de litio, va a acortar el ciclo de vida y daños de la batería, debido a la sobrecarga y la descarga si no se realice de acuerdo a lo anterior.

Ventajas con respecto a las baterías de plomo ácido (actualmente usadas en el vehículo convertido)

Profundidad de descarga superior

A diferencia de las baterías de plomo ácido, se consideran prácticas para usar regularmente el 90% de la capacidad nominal de un banco de batería de litio, y ocasionalmente más. Una batería con una capacidad de 100 Ah si fuese de plomo ácido sólo se podría usar 30Ah a 50Ah, pero con el litio LFP se puede aprovechar 90 Ah o incluso 100 Ah.



Ciclos de vida superiores

Los resultados experimentales indican que podría esperar de 2.000 a 10.000 ciclos de vida para un banco de baterías de fosfato de litio-hierro. El ritmo de carga-descarga (ratio C) y la profundidad de descarga (DoD) afectan a la vida útil esperada. Según estudios científicos esta entregará más del 80% de su capacidad después de 2.000 ciclos al 100% profundidad de descarga o incluso 5.000 ciclos al 65% profundidad de descarga. Todos estos test están hechos con ciclos de ratio 1C, es decir, con ritmos de cargas–descargas de 1 hora; si este ritmo o tiempo es superior, los ciclos aumentan notablemente, pudiendo llegar a los 20.000 ciclos.

En contraste, incluso las mejores baterías de plomo ácido de ciclo profundo entregan 250-1.200 ciclos.

La siguiente figura muestra el número esperado de ciclos para las baterías de LiFePo4 en diferentes profundidades de descargas y cargas-descargas en 1h.

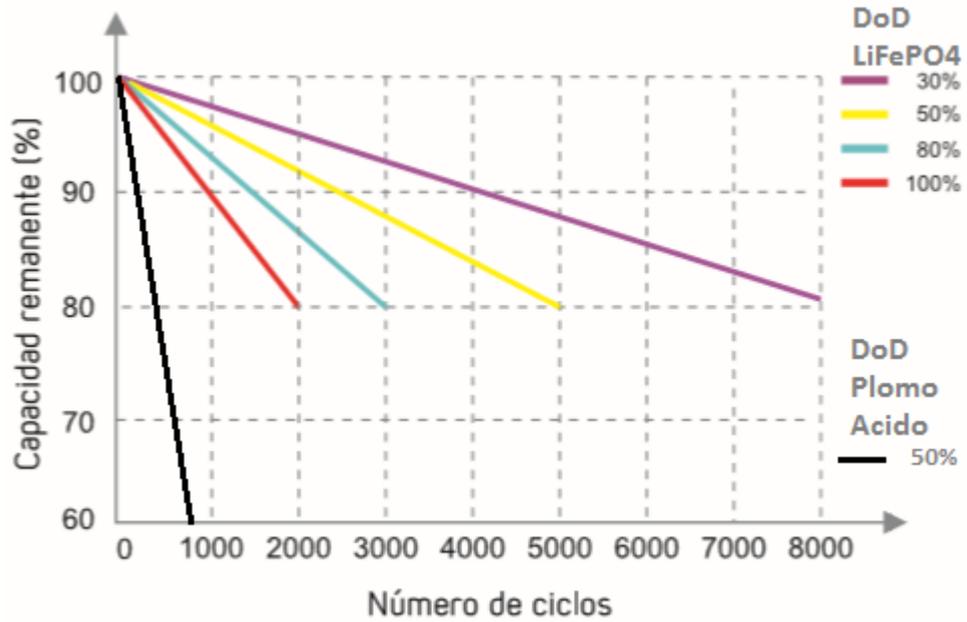


Figura 3: ciclos vs profundidad de descarga (1C)

Perdidas de Peukert y caída de voltaje virtualmente no existente

La curva de descarga de las baterías de litio (especialmente en comparación con el plomo ácido) es esencialmente plana, significando que una batería cargada al 20% suministrará prácticamente el mismo voltaje de salida que una batería cargada al 80%. Esto previene de los problemas derivados de la “caída del voltaje”, problema típico para el plomo ácido cuando se descarga.

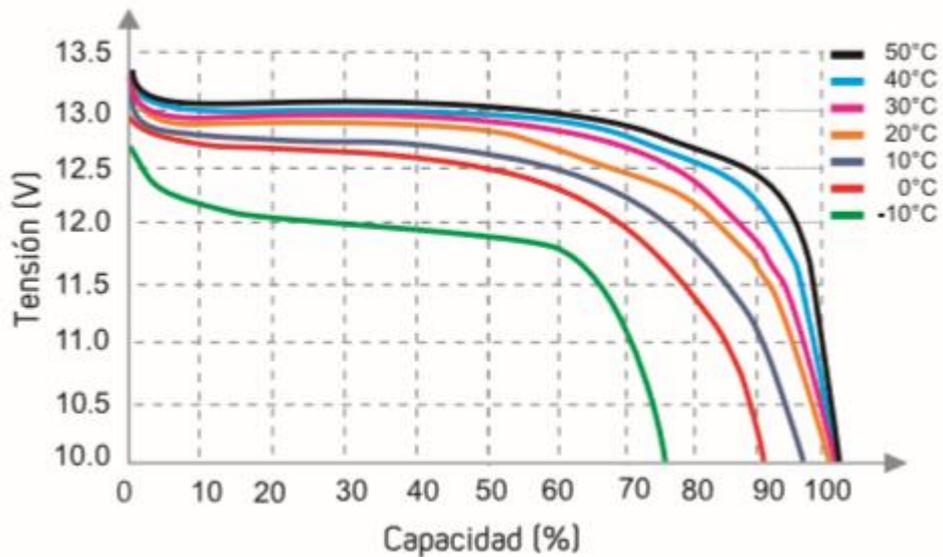


Figura 4: Descarga a diferentes temperaturas (0.5C)

En contrapartida, una vez que las baterías de litio están completamente descargadas, sus voltajes caen en picado rápidamente, es misión del BMS proteger las baterías para que no ocurra esto. Completamente descargado, un banco de ion-litio, puede quedar permanentemente inactivo.

Otra gran ventaja de las baterías de litio es que las pérdidas de Peukert son esencialmente inexistentes. Esto significa que las baterías ión-litio pueden entregar su capacidad nominal completa, incluso con corrientes altas. Mientras, el plomo ácido puede ver hasta el 40% de pérdida de su capacidad en cargas altas.

Ventajas de tamaño y peso

Plomo acido (Trojan 27TMX)	LiFePO4	Ventajas LiFePO4
Longitud: 326 mm Altura: 247 mm Ancho: 168 mm	Longitud: 276 mm Altura: 243 mm Ancho: 126 mm	Su volumen es un 38% menor
Peso: 25 kg	Peso: 11,5 kg	54% más livianas
Capacidad: C0.5 117 Ah C1 105Ah C5 97Ah	Capacidad: C0.5 100 Ah C1 100Ah C5 100Ah	Potencia y energía constante
400 ciclos (80% DoD) 800 ciclos (50% DoD)	2000 ciclos (80% DoD) 5000 ciclos (50% DoD)	Ciclo de vida de 4 a 8 veces más

Carga rápida y eficiente

Las baterías ión-litio pueden ser cargadas “rápidamente” al 100% de capacidad. A diferencia con la de plomo ácido, no hay necesidad de la fase final de absorción para obtener el 20% de almacenamiento final. Si el cargador es lo suficientemente potente, las baterías de litio también pueden ser cargadas increíblemente rápido.

Si no se carga totalmente al 100%, a diferencia del plomo ácido, este fenómeno no daña las baterías.

Muy poca energía desperdiciada

Las baterías plomo ácido son menos eficientes en almacenar energía que las baterías LiFePO4. Estas cargan al casi 100% de eficiencia, comparado con el 85% de eficiencia de la mayoría de las baterías de plomo ácido.

Resistencia climática

Las baterías de plomo ácido y de litio pierden capacidad en ambientes fríos. Sin embargo, como se observa en la figura, las baterías ión-litio LiFePO4 son mucho más eficientes a bajas temperaturas. Además, la ratio de descarga afecta al rendimiento de las baterías de plomo ácido. A -20°C, una batería de litio que entrega una corriente 1C, puede entregar más del 80% de su energía cuando la batería de plomo ácido entregará un 30% de su capacidad. Para ambientes duros (calor o frío), ión-litio LiFePO4 es la solución tecnológica adecuada.

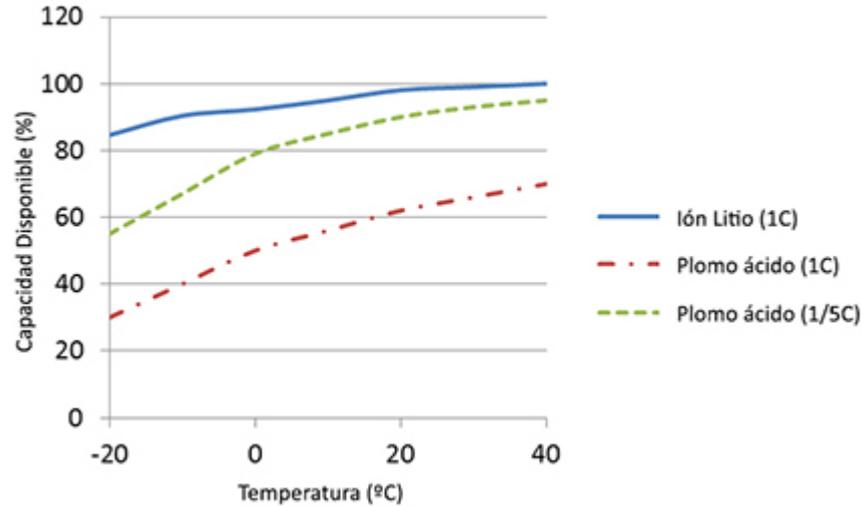


Figura 5: Capacidad frente a temperaturas

Versatilidad en su modo de ubicación

Estas no necesitan ser almacenadas verticalmente, o en un compartimento de batería ventilado.

Seguridad

Una ventaja importante sobre otros compuestos químicos de iones de litio es su estabilidad química y térmica, la cual mejora la seguridad de la batería. Las celdas LiFePO_4 contienen un material catódico intrínsecamente más seguro que otras celdas. El enlace químico Fe-P-O es muy fuerte, por lo que, cuando se las somete a abuso (cortocircuito, sobrecalentamiento, etc.) los átomos de oxígeno son más difíciles de separar.

Contaminación medioambiental

La batería de Litio Fosfato de Hierro ha demostrado ser la batería más respetuosa con el medio ambiente.

Baja Autodescarga

Puede mantenerse hasta 2 años en almacenamiento antes de requerir una carga.

4.3 Ubicación y fijación de las baterías seleccionadas

El alojamiento actual de las baterías se encuentra debajo de la butaca trasera y en la parte delantera. En lo que respecta al espacio debajo de la butaca trasera es un cajón de aluminio cuyas dimensiones son 420(ancho) x 985(largo) x 280 (alto) [mm]. El pack de baterías seleccionadas cuenta con un volumen de 1008 (ancho) x 276 (largo) x 243 (alto) [mm], conforme a esto se dispondrán de 8(ocho) baterías en la butaca trasera

4.4 Conexión de los circuitos existentes conforme a las modificaciones

4.4.1 Cargado inteligente de batería LiFePO4

Este dispositivo tiene como principal objetivo que las baterías duren más tiempo, es decir, que tengan más ciclo de carga y descarga. Miden el estado de estas y son capaces de interrumpir la carga cuando llegan a su voltaje máximo.

Características:

- ❖ Cargan por etapas programadas en fabrica
- ❖ Multi voltaje y corte automático

Para que estas baterías funcionen correctamente, el cargador inteligente debe ser apropiado. Se analizarán dos opciones para ver la más conveniente a seleccionar.

Opción 1

Actualmente, este dispositivo está configurado para baterías de plomo acido. Por ello, si se quiere seguir utilizando este cargador, se deberá seguir los siguientes pasos:

- Curva de carga característica de las baterías LiFePO4, proporcionadas por la empresa GBS.
- El fabricante actual del cargador inteligente (Enpower) deberá cargar las curvas características de estas baterías.

Opción 2

Cargador inteligente nuevo para las baterías seleccionadas.

4.4.1.1 Opción seleccionada

Analizando cada opción en detalle, se decide por la opción 2 ya que los traslados del cargador y los costos de programación son elevados.

4.4.1.2 Selección de cargador para batería de LiFePO4

El proveedor seleccionado es autolibre, la marca del dispositivo es Enpower de origen chino.

Características

- Amplia gama de voltaje de entrada AC85V ~ AC265V disponible para los requerimientos de todo el mundo, conveniente para la fluctuación eléctrica de la red y los vehículos de exportación. Eficiencia alta con un 93%.
- “Función inteligente” de compensación de temperatura en el proceso de carga y prevención de daños, que extiende en gran medida la vida útil de la batería.
- Totalmente hermética e impermeable. Tratamiento de resistencia al choque con el interior a prueba de vibración, nivel hasta SAEJ1378, puede satisfacer plenamente el nivel de uso del aparato en automóviles.
- Disponible para los diversos tipos como baterías de plomo-ácido, LiFePO4 batería, etc. Equipado con interfaz de comunicaciones CAN para realizar la comunicación en tiempo real con BMS.

Especificaciones técnicas

- Potencia de salida: 2,5 kW (96V – 25A)
- Rango de voltaje de entrada: 85V a 265V (AC)
- Frecuencia de entrada: 45 a 65 Hz
- Factor de potencia: 0,98
- Eficiencia con carga completa: 93%
- Mecánica del choque y resistencia a la vibración: conformidad con la SAEJ1378 estándar
- Ambiental del recinto: IP65
- Temperatura de funcionamiento: -40°C a 55°C
- Temperatura de almacenamiento: -40°C a 100°C
- Dimensión: 35mm x 175 mm x 139mm
- Peso: 6,33 kg



Descripción de funcionamiento

Se presenta a continuación un gráfico con su sistema de ejes representando a Voltaje de batería (Volts) y Corriente de batería (Amps) vs Tiempo de carga (horas), para comprender el funcionamiento de carga en etapas.

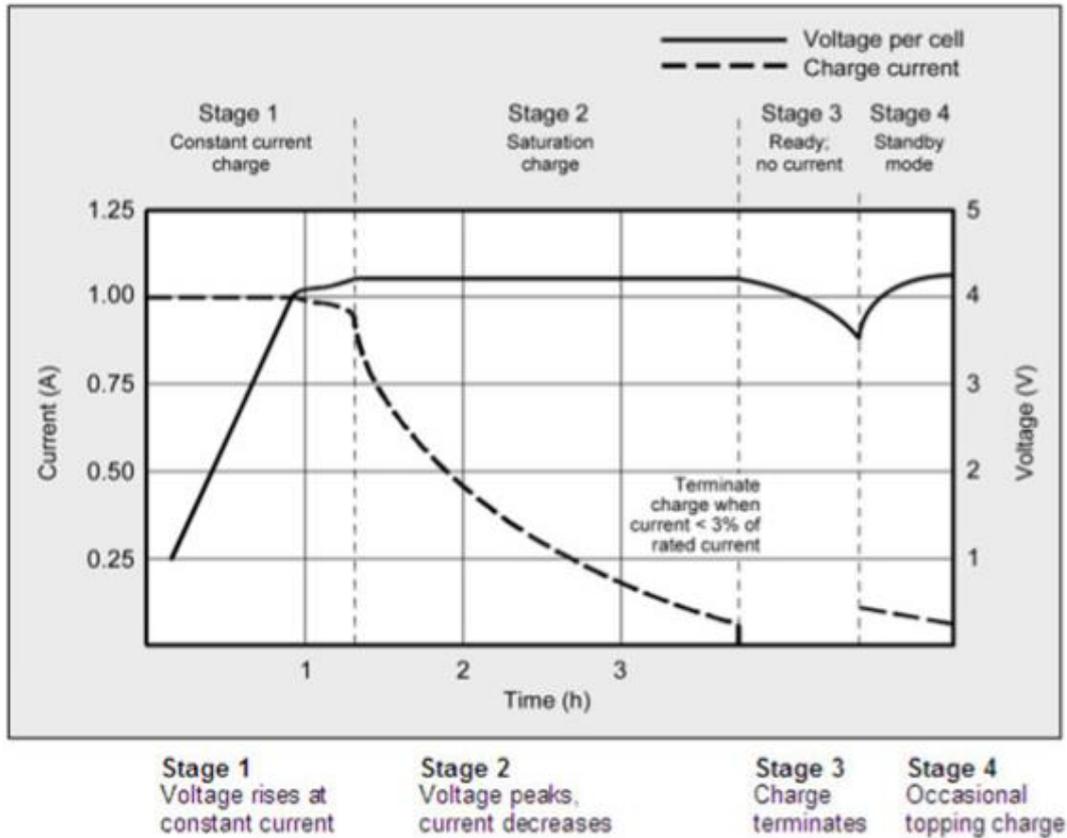


Figura 6: Curvas de carga tensión-corriente baterías LiFePO4

Etapa 1 (Carga en bruto)

En esta fase el cargador proporciona a la batería una corriente constante, mientras monitoriza la tensión. Esta corriente la determina la potencia del cargador de baterías, y suele ser la máxima en esta fase. Cuanto mayor potencia tiene el cargador, más corriente le cederá a la batería y por tanto la carga de esta será más rápida. A partir de ciertos niveles de tensión, en función del tipo de batería que sea (se debe haber indicado de alguna forma al cargador o este haberlo detectado), el cargador decidirá pasar a la siguiente fase de carga, la de absorción. En este punto habremos cargado ya entre el 80% y el 90% de la capacidad de la batería.

Etapa 2 (Absorción)

En esta fase el cargador de baterías mantiene la tensión constante mientras termina de cargarse la batería. A medida que la carga se completa, la corriente va disminuyendo progresivamente.

Etapa 3 (Flotación)

Llegado un punto, la corriente de carga se mantendrá estable, y se igualará a la corriente de pérdidas para mantener la carga completa en todo momento.

Etapa 4 (Ecuación)

En esta fase (opcional) el cargador de baterías eleva la tensión, proporcionando una corriente baja. Esto provoca un burbujeo del electrolito (generación de gas hidrógeno). El burbujeo de gas remueve el electrolito dentro de la batería, igualando las densidades de la parte alta y baja, evitando la sulfatación de las placas de la batería y consiguiendo que la mezcla de electrolito sea más homogénea.

La siguiente grafica la relación entre tensión, corriente y capacidad.

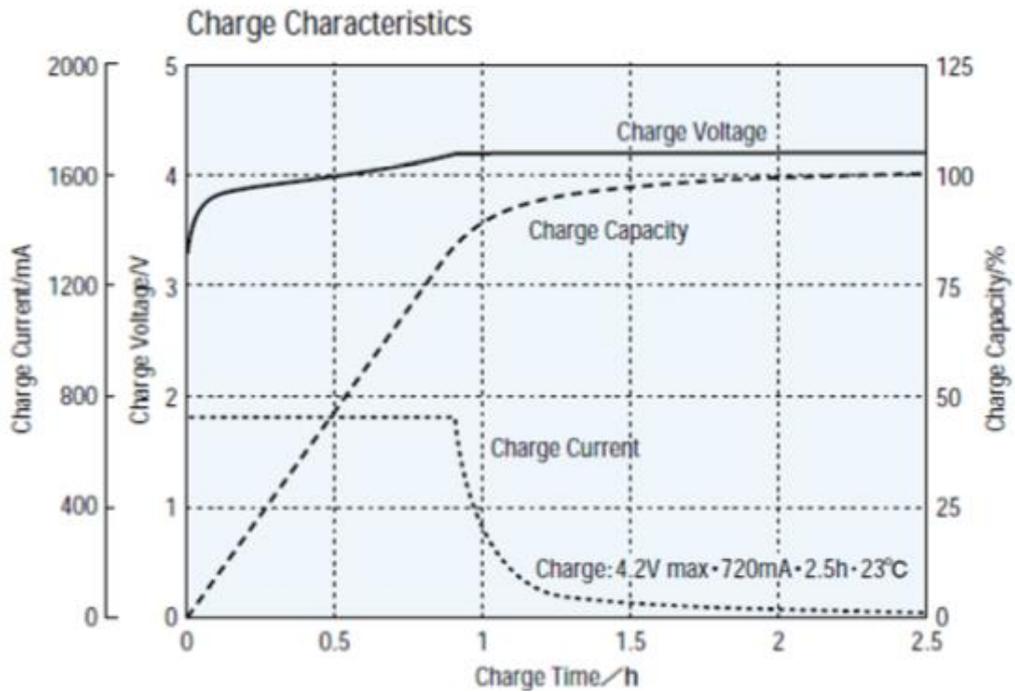


Figura 7: Curvas de carga tensión, corriente y capacidad de baterías LiFePO4

Las conexiones en el cargador inteligente serán como se observa en la siguiente imagen:

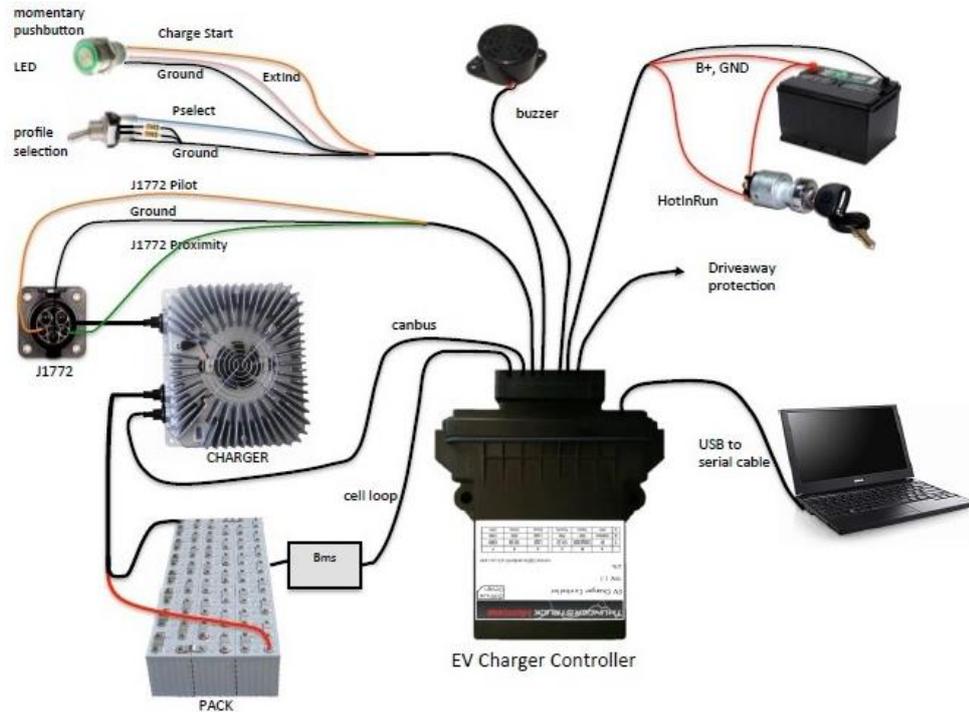


Figura 8: Circuito de conexión de cargador inteligente para baterías LiFePO4

4.4.2 Sistema de Administración de Energía (BMS)

Un BMS monitoriza una serie de parámetros de la batería y con estos sumado a un algoritmo que los relaciona se encarga de realizar funciones para que el uso de la batería se encuentre dentro de unos estándares que consideremos aceptables y seguros, y también obtener información relevante sobre el estado de la batería.

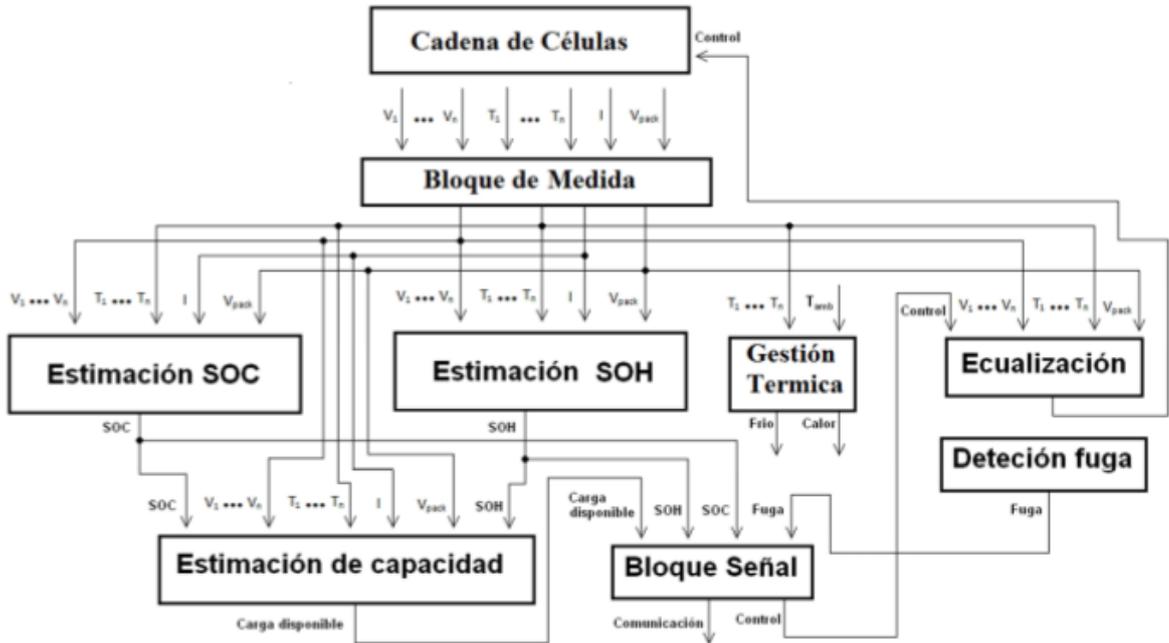
Es imprescindible la instalación de un sistema capaz de controlar en todo momento el conjunto de células de la batería con el fin de evitar temperaturas elevadas y diferencias de voltajes. Estos sistemas bien implementados para una batería pueden aumentar la vida útil de nuestra batería en un 25%.

Funciones

La función única y principal de un BMS es asegurar el correcto funcionamiento de la batería y para llevarlo a cabo realiza las siguientes operaciones:

- ❖ Toma de datos.
- ❖ Determinación del estado de la batería.
- ❖ Controlar la carga y descarga de la batería.
- ❖ Equilibrado eléctrico.
- ❖ Gestión térmica.
- ❖ Gestión de seguridad.
- ❖ Comunicación con la interfaz de usuario.

En el siguiente diagrama de bloques se esquematiza las funciones y la interrelación entre ellas.



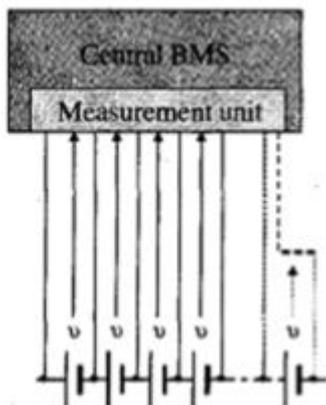
Cada bloque cumple una determinada función, que se detalla a continuación:

Bloque de toma de medida

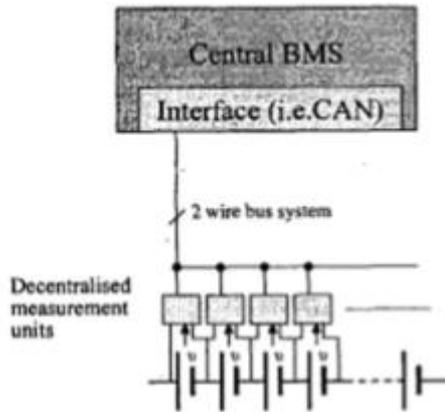
Este bloque se encarga de la toma de información para el BMS. Los parámetros que toma para el BMS son los voltajes, corrientes y temperatura de cada célula, así como la temperatura ambiente.

Hay dos diferentes arquitecturas conocidas para la toma de medidas

- Sistema centralizado: la unidad de medida está localizada dentro del BMS



- Sistema descentralizado: la unidad de medida es para cada celda o para el conjunto de celdas. Estas unidades se comunican con el BMS vía buss. Este método tiene la ventaja de eliminar cableado y facilitar la adición de nuevas células.



Detección de fuga

Este bloque al detectar un defecto eléctrico envía una señal a la unidad de control para que se activen los protocolos de seguridad correspondientes.

Para esta detección estos sensores se encargan de medir el aislamiento entre la batería y el chasis (tierra), si esta baja de $500 \Omega/v$ da orden de aislar la batería mediante la apertura de los contactores que conectan esta. La detección de una corriente excesiva también provocaría el aislamiento de la batería. Cabe destacar que para este sistema es necesario que tanto el BMS como los contactores de aislamiento estén alimentados por una batería auxiliar, independiente de la que queremos aislar.

Bloque de gestión térmica

El control térmico es necesario para las aplicaciones de potencia altas y altas temperaturas. La función de este bloque es el control de la temperatura entre células de la batería. Como vemos el bloque de medida le manda las temperaturas de cada célula y en función de ellas decidirá si enfriar la batería, calentarla o dar por buena la temperatura.

Uno de los mayores problemas es como transferir el calor desde las células a fuera ya que las resistencias térmicas del electrolito y el encapsulado de plástico de las células y de la batería son bastante altos. Para el enfriamiento de la batería se usan ventiladores o métodos de refrigeración con líquidos en función del calor a disipar.

Estimación del SOC (state of charge)

El estado de la carga o SOC es uno de los parámetros más importantes requeridos para la carga y descarga de la batería. El SOC se define como la capacidad de la batería en función de su capacidad nominal. Este valor permite la carga y descarga de la batería dentro de unos valores adecuados a fin mejorar la vida útil de esta.

Estimacion del SOH (state of heal)

Indica el estado de salud de una batería del cual se reflejan las condiciones físicas de la batería que pueden ir desde condiciones internas como la pérdida de carga a comportamientos externos más graves.

Su objetivo es proporcionar una indicación del rendimiento que se puede esperar de la batería en su condición actual y obtener de ese modo una indicación de la vida útil consumida y por lo tanto la que queda antes de tener que reemplazarla. Esto ayuda a la realización de planes de mantenimiento y anticipación a posibles fallos.

Estimacion de la capacidad

Este bloque tiene como objetivo deducir la corriente máxima de carga y descarga de las baterías en cualquier instante mediante un algoritmo. La salida de este bloque se comunica con la unidad de control electrónica del cargador (a través del bloque de comunicación). De este modo la batería no está sujeta a cargas o descargas por encima de los límites especificados.

Ecualización o equilibrio celular

Las células no son idénticas, sino que tiene ciertas diferencias como resultado del proceso de fabricación de estas. Estas diferencias provocan que no se carguen al mismo tiempo, lo que supone que durante la carga habrá un momento en el cual una célula puede estar totalmente cargada y otras no.

En los procesos de carga de las baterías de litio, una de sus características es que si la célula está totalmente cargada todo el exceso de carga que suministremos provoca un deterioro en la célula. Así que, cuando una célula alcanza la plena carga, se para la carga de la batería, pero no todas están cargadas. Este problema se traduce en una reducción de la carga que debería tener la batería, una infrautilización de la batería y a medida que se realicen más ciclos de carga y descarga este error se irá acumulando hasta dejar la batería fuera de servicio.

Para evitar este efecto se cuenta con este bloque que, mediante una serie de circuitos, se encarga de reducir la diferencia de carga entre las células. Este equilibrio se produce de dos maneras posibles:

- Método disipativo: iguala la carga a la célula menos cargada disipando en exceso de carga en las demás.
- Método activo: aprovecha la carga de las más cargadas para cargar las menos cargadas.

Bloque de señal

Este bloque se encarga de comunicar el BMS con la ECU (unidad de control electrónica). Esta comunicación se puede realizar mediante distintos métodos. Los más frecuentes son:

- Bus CAN (Control Area Network): son un tipo de buses con un protocolo diseñado para la comunicación entre microcontroladores y dispositivos dentro de un vehículo sin ordenador central.

- Cableado directo: en función de la cantidad de señales que queramos comunicar.
- DC-BUS: aprovecha las líneas de alimentación para enviar su señal de datos.
- Comunicación inalámbrica.

4.4.2.1 Selección de BMS para baterías de LiFePO4

El kit completo de sistema de administración de energía seleccionado consta de: balanceadores que sean necesarios dependiendo el número de celdas del paquete de baterías, más la unidad BMS-CPU y un display opcional.

- La unidad BMS-CPU incluye: 1 microcomputadora CPU, un sensor de corriente de 500Amps y un cable de interconexión entre el CPU y la primera tira de 4 sensores.
- El número de balanceadores (en tiras de 4 cada serie) para conectarse a cada celda de todo el paquete. Cada tira contiene 4 balanceadores y estas van conectadas en serie una con otra hasta llegar al CPU.
- Modelo **EMS-4SB-V7** diseñados para celdas de 100Ah.
- Los balanceadores **EMS-4SB-V7** y EMS200-4SB-V6 soportan conexiones en series de hasta 140 (hasta 35 tiras de 4) para sistemas de 500V máximos.
- Display BMS-LCD para visualizar la información (Opcional).
- Interfaz BMS-CAN o BMS-MOD para interconectar con otros dispositivos o sistemas (Opcional).



Figura 9: Kit completo de BMS

Características

- Diseñado para baterías marca GBS de 100Ah.
- Un sistema modular distribuido para mediciones de voltaje y temperatura de cada celda de litio.
- Configuración en forma serie, lo que permite interconectar sistemas de hasta 140 balanceadores.
- Sistema de fallo de tierra (GND) y salida alarmada.
- Medición de voltaje de todo el paquete.
- Cálculo muy preciso del estado de carga de todo el paquete.
- Salidas de alarma de bajo y alto voltaje.
- Módulos de comunicación opcionales CANBus y MODBus.
- Salida de video compuesto NTSC para despliegue de datos en cualquier display que soporte dicha entrada.
- Diseñado y hecho en USA por la empresa Elite Power Solution.

Especificaciones técnicas

- El sistema despliega en pantalla principal: voltaje total del paquete, corriente entrante/saliente, capacidad de carga 0-100%, voltaje máximo y mínimo de todas las celdas del paquete y temperatura máxima de todas las celdas.
- En pantallas individuales: número de celda, voltaje de cada celda y temperatura.
- Consumo de energía del BMS-CPU: de 8-20Vdc – 120mA.
- Voltaje máximo de todo el sistema: hasta 500V.
- Máximo número de celdas soportadas: hasta 140.
- Sensor de corriente: máximo 500A = 50mV.
- Resolución de voltaje: 0.1V.
- Resolución de corriente: 1A.
- Rango de temperatura de operación: -72°C a 92°C.
- Salida de Video: video compuesto, color, NTSC.
- Resolución de escala de medición: <1% de la escala completa.
- Tiempo de muestreo: 3 veces por segundo para pantalla principal, 1 vez por segundo pantallas secundarias.
- Rango de voltaje por celda: de 2.00V a 4.50V
- Voltaje de inicio de balanceo: 3.55V
- Corriente de balanceo: 0.5A constantes.
- Salidas digitales de alarma: hasta 4A por 100mS, 2A continuos.
- Temporizado de salidas: 30 segundos.
- Detección de fallo a tierra: >2mA (5000Ohm/Volt).
- Dimensiones del CPU: 145mm x 66mm x 46mm.
- Dimensiones del sensor de corriente: 82,5mm x 45mm x 45mm.

La conexión para el conjunto de baterías es el siguiente:

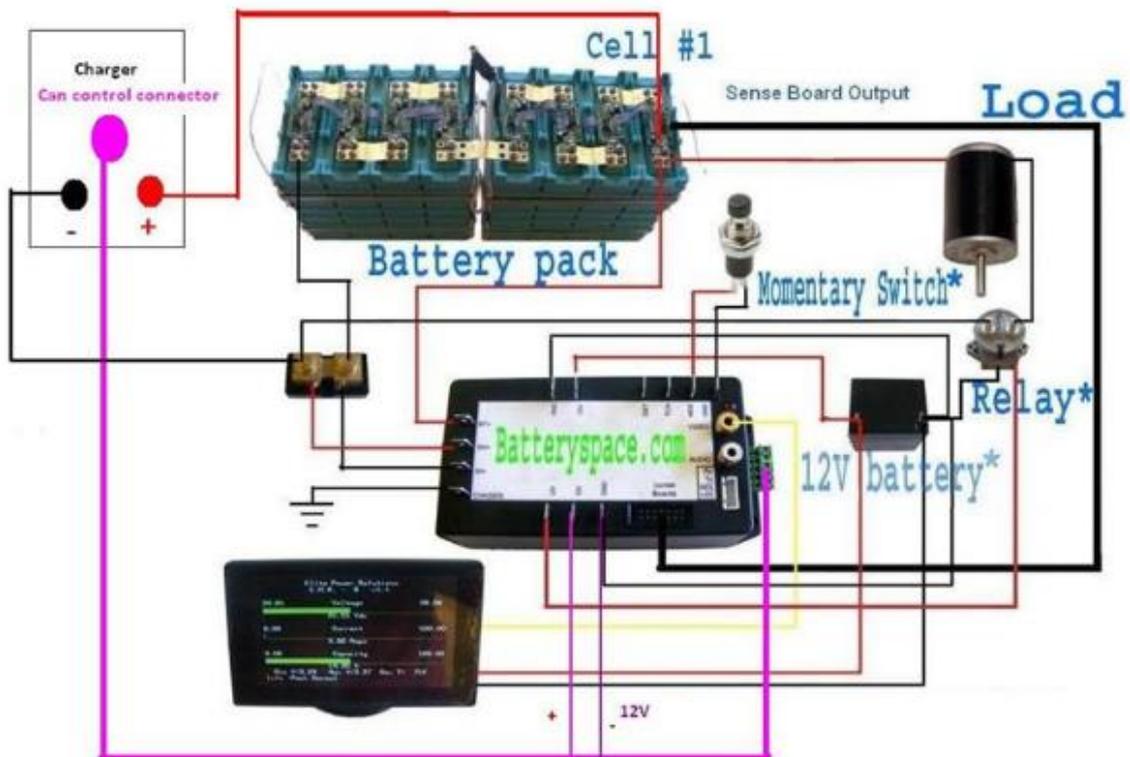


Figura 10: Diagrama unifilar centrado en BMS

4.4.3 Uniones

Las baterías se dispondrán en serie a través de láminas de aluminio en el caso de las 5(cinco) baterías que se ubicarán en la parte trasera y lo mismo para las 3 (tres) baterías ubicadas en la parte delantera, para conectar ambos paquetes se dispondrá de la instalación actual.

Las uniones de la marca GBS, se seleccionan de acuerdo con las corrientes y tensiones que deben soportar. Como la descarga en estas baterías puede ser hasta 3 veces su capacidad nominal en un instante, se dispondrán de 4 placas encimadas para cada conexión. Por lo que tienen una capacidad de soportar 400A de flujo continuo de corriente. Para una corriente superior podría generarse un pequeño calentamiento en las láminas.

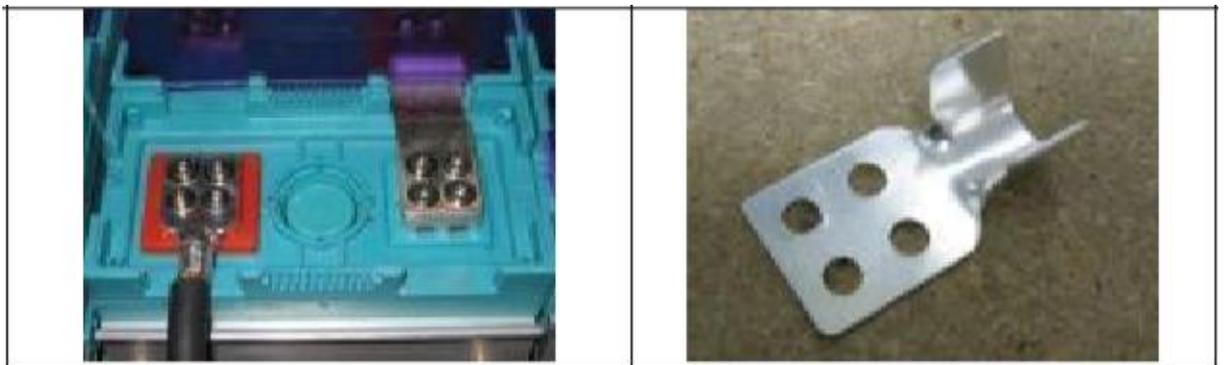
- Celda a celda
- ❖ Longitud: 84mm
- ❖ Espesor: 1mm



- Batería a batería
- ❖ Longitud: 108mm
- ❖ Espesor: 1mm



- Terminales
- ❖ Espesor: 6mm



4.5 Análisis económico aplicado a la nueva tecnología de baterías seleccionadas.

Para este análisis se compararán las dos tecnologías, la existente (plomo ácido) y la nueva tecnología seleccionada (LiFePO4).

Capacidad instalada: es la cantidad de baterías que conforman el banco de alimentación, en total son 8.

Capacidad útil: aquí se tiene en cuenta la profundidad de descarga de cada tipo de batería, 50% para las de plomo ácido y 80% para LiFePO4.

Autonomía: kilómetros recorridos esperados, en el caso de las de plomo ácido fueron ensayadas y no así las de LiFePO4, estimando unos 100 km.

Ciclos de vida: la vida útil dependerá de la profundidad de descarga de cada batería.

Costo de las baterías: se consideran los precios actuales a la fecha 05/11/2019 a un dólar de \$63,5.

El precio de las baterías de plomo ácido ciclo profundo (Trojan 27TMX) se obtuvo del proveedor VZH distribuidor nacional, para el caso de las baterías de LiFePO4 se obtuvo del fabricante Zhejiang GBS Energy Co., Ltd. origen chino (se incluye el precio de BMS y cargador inteligente, sumado a un %50 por gastos de importación).

Especificaciones	Plomo ácido	LiFePO4
Capacidad instalada [kW]	10,1	10,24
Capacidad Útil [kW]	5,05	8,2
Autonomía [km]	45	100
Ciclos de vida esperados	800	2000
Costo de las baterías [\$AR]	194.945	361.950
Costo de la energía [\$/kwh] *	5,87	5,87

*Se obtuvo del cuadro tarifario para consumos a partir del 1 de noviembre de 2019 hasta el 31 de enero de 2020 de la distribuidora ENERSA.

Total de Km recorridos en toda su vida útil

- Plomo ácido

$$800 \text{ ciclos} * 45 \text{ km} = 36.000 \text{ km}$$

- LiFePO4

$$2.000 \text{ ciclos} * 100 \text{ km} = 200.000 \text{ km}$$

Consumo en kW durante su vida útil

- Plomo acido

$$800 \text{ ciclos} * 5,05 \frac{kW}{\text{ciclo}} = 4.040 \text{ kW}$$

- LiFePO4

$$2.000 \text{ ciclos} * 8,2 \frac{kW}{\text{ciclo}} = 16.400 \text{ kW}$$

Costo de energía durante su vida útil

- Plomo acido

$$4.040 \text{ kW} * 5,87 \frac{\$}{kW} = \$23.714,8$$

- LiFePO4

$$16.400 \text{ kW} * 5,87 \frac{\$}{kW} = \$96.268$$

Relación de autonomía entre LiFePO4 y Plomo-Acido

$$\frac{Autonomia_{LiFePO4}}{Autonomia_{plomo-Acido}} = \frac{200.000 \text{ km}}{36.000 \text{ km}} = 5,55$$

4.5.1 Life Cycle coste

El costo de toda la vida se refiere al costo total de propiedad durante la vida de un activo.

$$LCC = I_0 + CER + RB$$

Siendo:

- LCC: Life Cycle coste
- I_0 : Inversión inicial
- CER: Costo de energía en recarga
- RB: Costo de reposición de baterías

Por lo tanto:

- Para las baterías de Plomo-Acido

$$LCC_{Plomo-Acido} = I_0 + CER + RB$$

$$LCC_{Plomo-Acido} = \$194.945 + 5,55 * \$23.714,8 + 5 * \$194.945$$

$$LCC_{Plomo-Acido} = \$1.301.287$$

- Para las baterías de LiFePO4

$$LCC_{LiFePO4} = I_0 + CER + RB$$

$$LCC_{LiFePO4} = 361.950 + \$96.268 + 0$$

$$LCC_{LiFePO4} = \$458.218$$

4.5.2 Conclusión de análisis de inversión

En conclusión, la diferencia de ambos costos al realizar 200.000 km es equivalente a \$843.069 a favor de las baterías de LiFePO4. Esto nos permite ver que circular con baterías de tecnología de litio resulta más económico en una proporción aproximada a 3 veces, siendo así muy positivo su uso desde este punto de vista y quedando justificada la inversión.



G - PFC - 1905A
MEMORIAS DE CÁLCULO

Contenido

5. MEMORIAS DE CÁLCULO 3

 5.1. Alternativa de Baterías 3

 5.2. Selección de la batería 4

5. MEMORIAS DE CÁLCULO

5.1. Alternativa de Baterías

En función de las características de una batería se le dará una importancia a cada una de ellas para luego seleccionar la batería más conveniente a través de una matriz de decisión.

Entre ellas se encuentran:

- Plomo ácido
- Níquel Cadmio (NiCd)
- Níquel Hidruro Metálico (NiMH)
- Óxido de cobalto y litio: cátodo de LiCoO_2 y ánodo de grafito (LCo)
- Titanato de Litio: cátodo de Li_2TiO_3 y ánodo de grafito (Li_2TiO_3)
- Fosfato de hierro y litio: cátodo de LiFePO_4 , ánodo de grafito (LFP)
- Óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto: cátodo de LiNiMnCoO_2 , ánodo de grafito (NMC)
- Óxido de manganeso y litio: Cátodo LiMn_2O_4 , ánodo de grafito. (LMO)
- Óxido de aluminio, cobalto, níquel y litio: cátodo de LiNiCoAlO_2 y ánodo de grafito (NCA)

5.2. Selección de la batería

En el siguiente cuadro comparativo, se presenta cada tipo de batería evaluada con los respectivos valores que corresponden a cada característica.

Características	Energía específica [Wh/kg]	Ciclos de vida	Costo	Profundidad de descarga [%]	Seguridad	Rendimiento [%]	Efecto memoria	Autodescarga [%/mes]
Tipo de baterías								
Plomo-ácido	30 a 50	500 a 800	Muy Bajo	50	Media	80	No	5 a 15
Níquel Cadmio (NiCd)	40 a 60	1000 a 1500	Bajo	90	Alta	70 a 90	Muy Alto	20
Níquel Hidruro Metálico (NiMH)	60 a 120	500 a 2000	Medio	75	Alta	66	Bajo	30
Litio Cobalto (LCo)	150 a 190	500 a 1200	Alto	85	Muy baja	90	No	
Titanato de Litio (Li2TiO3)	90	≥3000	Muy alto	85	Muy alta	87 a 95	No	
Litio Hierro fosfato (LiFePO4)	90 a 120	≥2000	Alto	85	Alta	92	No	
Níquel Manganeseo Cobalto (NMC)	140 a 180	1000 a 2000	Muy alto	85	Media	90	No	
Litio Manganeseo (LMO)	100 a 135	500 a 1000	Alto	85	Alta	90	No	
Níquel Cobalto Aluminio (NCA)	240	500	Alto	85	Media	90	No	

Tabla 1 Fuente: (Indumetal Recycling S.A.; AEMETIC 2012b)

Con los mismo se procedió a realizar una matriz de decisión, que se presenta a continuación.

Matriz de decisión	Energía específica [Wh/kg]	Ciclos de vida	Profundidad de descarga [%]	Seguridad	Rendimiento [%]	Costo	TOTAL
Valoración (Equivalencia total)	25 (240 wh/kg)	25 (3000 ciclos)	10 (100%)	15 (Muy Alta)	10 (100%)	15 (Muy Alta)	100
Tipo de Batería							
Plomo-ácido (Actualidad)	4	5	5	9	8	15	46
Níquel Cadmio (NiCd)	5	10	9	12	8	12	56
Níquel Hidruro Metálico (NiMH)	9	10	7	12	6	9	53
Litio Cobalto (LCO)	18	7	8	3	9	6	51
Titanato de Litio (Li2TiO3)	9	25	9	14	9	2	68
Litio Hierro fosfato (LiFePO4)	12	17	9	12	10	6	66
Níquel Manganeseo Cobalto (NMC)	17	13	8	9	9	3	59
Litio Manganeseo (LMO)	12	6	8	12	9	6	53
Níquel Cobalto Aluminio (NCA)	25	4	8	9	9	6	61

Tabla 2 Fuente: (Indumetal Recycling S.A.; AEMETIC 2012b)

Como se observa en la matriz de decisión, las baterías con mejores prestaciones para nuestro uso en cuanto a energía, seguridad y medioambiente son las de Titanato de Litio y las de Litio Hierro Fosfato. Si bien las primeras están unos puntos por encima de las de LiFePO4, se opta por utilizar esta última tecnología ya que tienen un costo considerablemente más bajo y se encuentran en un amplio mercado. En cambio, en las de Titanato de Litio esto no sucede ya que son solo dos empresas las que la fabrican en este momento y es una tecnología muy reciente.