

Trabajo Fin de Grado

Análisis del comportamiento y optimización del sistema de alimentación mediante módulos de baterías de un automóvil de altas prestaciones

Autor

Beatrix Albesa Soriano

Directores

Emilio Larrodé Pellicer
Juan Bautista Arroyo García

Escuela de Ingeniería y Arquitectura EINA/ Universidad de Zaragoza
2015



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. Beatriz Albesa Soriano,

con nº de DNI 73103726 C en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado _____, (Título del Trabajo)

Análisis del comportamiento y optimización del sistema de alimentación mediante módulos de baterías de un automóvil de altas prestaciones

_____,
es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 25/09/2015

Fdo: Beatriz Albesa Soriano

Análisis del comportamiento y optimización del sistema de alimentación mediante módulos de baterías de un automóvil de altas prestaciones

RESUMEN

Este trabajo Fin de Grado se ha realizado sobre un vehículo eléctrico desarrollado anteriormente, con el objetivo de analizar el comportamiento de su sistema de alimentación. Asimismo se busca la mejor manera de actuación sobre las baterías de tracción que forman dicho sistema, intentando que existan los menores desequilibrios posibles, puesto que limitan su capacidad.

La consecución de dichos objetivos se ha llevado a cabo mediante la realización de una serie de tareas. En primer lugar, se efectuó una labor de documentación sobre el sistema de alimentación instalado en el vehículo para conocer sus principales características, así como un estudio de la situación actual del estado del vehículo. Posteriormente se profundizó en aquellos sistemas que ha sido necesario manejar para la realización del trabajo.

La siguiente tarea fue la realización de una serie de pruebas de conducción del vehículo, cuyo fin trata de analizar cómo se comporta el sistema de alimentación ante el uso de distintos parámetros del vehículo. Al mismo tiempo se estudia el comportamiento de cada batería de forma individual. A causa de los desequilibrios que aparecen entre las baterías, que limitan al sistema de alimentación al completo, se diseña un procedimiento de actuación ante ellos basado en los datos obtenidos. Este mecanismo se conoce como equilibrado y consiste en la igualación de las tensiones de las baterías, evitando que aparezcan baterías con tensiones muy elevadas o muy bajas que afecten a sus usos futuros (limitando tanto la carga como la descarga). Dentro de este apartado se elabora un protocolo de carga a seguir en esta situación.

A continuación, una vez se finalizó el equilibrado de las tensiones de las baterías, se realizó su carga completa, con el correspondiente estudio del comportamiento de las mismas.

Por último tras la carga se volvieron a realizar ensayos en el vehículo, cuyo fin era comprobar la influencia positiva del equilibrado de las baterías al sistema de alimentación al completo.

Sumado a estos objetivos principales descritos, se ha diseñado alguna mejora como consecuencia de situaciones que han ido apareciendo a lo largo del trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Alcance y objetivos	1
1.3 Estado previo	2
1.4 Organización del trabajo	4
2. ESTADO DEL ARTE	5
2.1 Explicación general del funcionamiento de las baterías	5
2.2.1 Parámetros que definen una batería.....	6
2.2 Características que requiere una batería de un vehículo eléctrico	8
2.1.1 Ejemplos de vehículos en el mercado y baterías que utilizan	9
2.3 Selección y características de las baterías de tracción elegidas	12
2.3.2 Características de las baterías <i>LiFePO₄</i>	12
3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO	14
3.1 Sistema de estudio: Baterías de tracción	14
3.1.1 Especificaciones de las baterías.....	14
3.1.2 Disposición y conexión dentro del habitáculo.....	14
3.1.3 Importancia del equilibrado de baterías conectadas en serie.....	16
3.2 Sistemas de adquisición de datos	17
3.2.1 Sistema de control de las baterías, BMS	17
3.2.2 Software del sistema motor controlador.....	18
3.2.3 Aplicación de registro de datos a través de un dispositivo móvil	19
4. ENSAYOS DE DESCARGA	21
4.1 Definición de parámetros / aspectos clave.....	21
4.2 Protocolo de ensayo	22
4.3 Características de cada uno de los ensayos	23
4.3.1 Ensayos antes del equilibrado y la carga completa	23
4.3.2 Ensayos después de la carga completa	24
5. CARGA DEL SISTEMA DE LAS BATERÍAS DE TRACCIÓN.....	25
6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS ENSAYOS	27
6.1 Análisis de los ensayos iniciales.....	27
6.2 Análisis de las baterías de tracción durante la carga.....	39
6.3 Análisis de los ensayos después de la carga	40
7. EQUILIBRADO DE BATERÍAS	43
7.1 Procedimiento de equilibrado de baterías y carga completa	43
7.2 Carga de las baterías	46
7.2.1 Protocolo de carga	46
8. OBJETIVOS TRANSVERSALES.....	56
9. CONCLUSIONES.....	57
9. 1 Conclusiones.....	57
9. 2 Líneas de futuro y posibles continuaciones	58
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
11. BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	61
ANEXO A: LA BATERÍA	62
Anexo A1: Reacciones de carga y descarga.....	62
Anexo A2: Comportamiento termodinámico de una batería.....	64
ANEXO B: PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS DE TRACCIÓN	67
ANEXO C: DESCRIPCIÓN DE LAS REACCIONES DE LAS BATERÍAS LIFEPO4	71
ANEXO D: SISTEMA DE ALIMENTACION	73
Anexo D.1: Características de las baterías eléctricas	73

<i>Anexo D.2 Distribución de los módulos de baterías</i>	74
ANEXO E: SISTEMA DE CONTROL DE LAS BATERÍAS, BMS	75
<i>Anexo E1: Configuración del sistema de control, BMS</i>	75
<i>Anexo E2: Modo de operación del sistema de control, BMS</i>	79
ANEXO F: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE CONFIGURACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA MOTOR-CONTROLADOR UQM	86
ANEXO G: PROTOCOLO DE ENSAYO	93
ANEXO H: HOJA DE ENSAYOS	96
ANEXO I: MANUAL DEL CARGADOR EMPLEADO	97
ANEXO J: MANUAL DEL CARGADOR TRIFÁSICO	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de las baterías	10
Tabla 2. Especificaciones de las baterías	11
Tabla 3. Especificaciones de las baterías	11
Tabla 4. Correspondencia de batería y módulo.....	16
Tabla 5. Valores de tensión y porcentaje de descarga.	29
Tabla 6. Valores de tensión y porcentaje de recuperación.....	30
Tabla 7. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías....	31
Tabla 8. Valores de tensión y porcentaje de descarga.	33
Tabla 9. Valores de tensión y porcentaje de recuperación.....	33
Tabla 10. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías...34	34
Tabla 11. Valores de tensión y porcentaje de descarga.....	36
Tabla 12. Valores de tensión y porcentaje de recuperación	37
Tabla 13. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías...37	37
Tabla 14. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías...38	38
Tabla 15. Tablas con valores de las tensiones antes y después de la carga	39
Tabla 16. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías...40	40
Tabla 17. Valores de tensión y porcentajes de descarga	41
Tabla 18. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías...42	42
Tabla 19. Potenciales de reducción estándar. Fuente :	
http://www.alonsoformula.com/inorganica/_private/Quimica2bach07cast.pdf	65
Tabla 20. Valores de tensión y energía en diferentes tipologías de baterías.	66
Tabla 21. Comparativa de distintas tecnologías de baterías ^[7]	68
Tabla 22. Comparativa con distintas tecnologías de baterías Ion-Litio ^[4]	69
Tabla 23. Tabla comparativa de número de baterías, peso y volumen ^[4]	70
Tabla 24. Características de las baterías de tracción	73
Tabla 25. Cuadro resumen de los componentes del BMS	78
Tabla 26. Herramientas del registro de datos.....	90
Tabla 27. Variables del registro de datos.....	90
Tabla 28. Sucesos para parar la adquisición de datos	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor y controlador, UQM	2
Figura 2. Batería <i>LiFePO₄</i> situada en el vehículo	2
Figura 3. Autómata programable	3
Figura 4. Circuito de carga suave.....	3
Figura 5. Sistema de control de baterías, BMS	3
Figura 6. Tesla Model S	10
Figura 7. Nissan Leaf.....	10
Figura 8. Volkswagen e-Golf.....	11
Figura 9. Batería ion litio SE180AHA.....	14
Figura 10. Distribución de las baterías de tracción.....	15
Figura 11. Esquema de conexión de las baterías	15
Figura 12. Pletina de cobre y su doble protección de aislamiento.....	15
Figura 13. Protectores de plástico.....	16
Figura 14. Cable de sección 50 mm ² y tubo de poliamida.....	16
Figura 15. Pantalla principal del Battery manager system, BMS	18
Figura 16. Pantalla principal de la aplicación Sports- Tracker.....	20
Figura 17. Imagen real del circuito. Fuente : googlemaps.com	21
Figura 18. Circuito visto desde la aplicación Sports Tracker	21
Figura 19. Fotografía de la palanca de cambio de marcha.....	22
Figura 20. Vehículo ante uno de las pruebas.....	23
Figura 21. Cargador trifásico	25
Figura 22. Conexión cargador – vehículo	25
Figura 23. Pantalla de inicio de la carga	25
Figura 24. Curvas de la tensión y la velocidad de giro del motor frente al tiempo	27
Figura 25. Detalle ampliado de la tensión y la velocidad	28
Figura 26. Curvas de la tensión y la energía eléctrica frente al tiempo	29
Figura 27. Curvas de la tensión y la velocidad de giro del motor frente al tiempo	31
Figura 28. Curvas de velocidad del vehículo frente a distancia recorrida.....	32
Figura 29. Curvas de la tensión y la energía eléctrica frente al tiempo	32
Figura 30. Curvas la tensión y la velocidad de giro del motor frente al tiempo	35
Figura 31. Velocidad del vehículo frente a distancia recorrida	35
Figura 32. Curvas de la tensión y la energía eléctrica frente al tiempo	36
Figura 33. Representación de las tensiones de cada batería al principio y al final del ensayo. Ordenados de menor a mayor tensión final	38
Figura 34. Representación de las tensiones de cada batería al principio y al final de la carga. Ordenadas de menor a mayor tensión final	39
Figura 35. Velocidades del vehículo frente a distancia	40
Figura 36. Representación de las tensiones de cada batería al principio y al final del ensayo. Ordenados de menor a mayor tensión final	41
Figura 37. Esquema del procedimiento a seguir al realizar el equilibrado	45
Figura 38. Fuente de alimentación	46
Figura 39. Conexión de la fuente en paralelo	47
Figura 40. Conexión serie de la fuente	48
Figura 41. Interruptor.....	48
Figura 42. Primera batería módulo 09 (83)	49
Figura 43. Segunda batería módulo 09 (84).....	49
Figura 44. Combinaciones posibles de una batería	49
Figura 45. Protector borne positivo	50
Figura 46. Pletina de cobre	50
Figura 47. Capuchón	50

Figura 48. Protectores borne negativo.....	51
Figura 49. Cables que contiene el interruptor de protección	52
Figura 50. Método de carga a tensión y corriente constante ^[2]	54
Figura 51. Hoja de ensayos situada en el salpicadero	56
Figura 52. Proceso de descarga	62
Figura 53. Reacciones producidas en una batería de Ion-Litio ^[6]	71
Figura 54. Descarga de una batería de LiFePO4 ^[5]	71
Figura 55. Carga de una batería de LiFePO4	72
Figura 56. Curva de descarga.....	73
Figura 57. Esquema de la conexión de las baterías con su numeración	74
Figura 58. Controlador Central del BMS	75
Figura 59. Conexiones controlador central.....	76
Figura 60. Módulo de tensión	76
Figura 61. Sensor Hall del BMS.....	77
Figura 62. Distribución de módulos en el cajón principal de baterías.....	77
Figura 63. Información general de la pantalla del BMS	79
Figura 64. Información de la tensión de cada batería	79
Figura 65. Valores de temperatura de cada módulo.....	80
Figura 66. Estado de carga de las baterías	80
Figura 67. Menú de carga	81
Figura 68. Capacidad global del conjunto de baterías	82
Figura 69. Pantalla de inicio de la opción SET	82
Figura 70. Configuración módulos del BMS	83
Figura 71. Configuración de los límites	83
Figura 72. Configuración de los máximos	84
Figura 73. Pantalla principal del programa del motor-controlador.	86
Figura 74. Pantalla táctil del autómata	88
Figura 75. Configuración del sistema motor-controlador: pestaña de control.	88
Figura 76. Conf. del sistema motor-controlador: pestaña de Parámetros del sistema..	89
Figura 77. Registro de datos en el Software UQM	90
Figura 78. Menú del registro de datos	91
Figura 79. Adquisición de datos del Software UQM.....	91
Figura 80. Menú de adquisición de datos.....	92

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El mayor inconveniente de los vehículos eléctricos se encuentra en su autonomía. Por ello es necesario buscar la mejor manera de actuación para dar el máximo rendimiento a su sistema de alimentación.

Uno de los grandes problemas de estos sistemas de alimentación son los posibles desequilibrios de las baterías que lo componen. Como consecuencia de estos desequilibrios se producen limitaciones en el sistema de alimentación completo. La carga se ve limitada por la batería de mayor tensión haciendo que las demás no alcancen su máxima tensión, y la descarga se ve limitada por la batería de menor tensión provocando que las demás baterías no puedan seguir descargándose cuando todavía poseen tensión suficiente.

1.2 Alcance y objetivos

Este Trabajo Fin de Grado analiza el comportamiento del sistema de alimentación de un vehículo eléctrico de altas prestaciones en autonomía. A su vez, busca posibles mejoras para lograr un comportamiento óptimo de su sistema de alimentación de manera que le proporcione las mejores prestaciones.

Este vehículo eléctrico procede de la transformación de un vehículo de combustión interna. La transformación y la puesta a punto del sistema de control y tracción del vehículo se han realizado mediante una serie de proyectos fin de carrera en la Universidad de Zaragoza. En estos proyectos ha colaborado la empresa Zytel Automoción S.L.

El vehículo está equipado con 106 baterías conectadas en serie, por ello se debe examinar la actuación de cada una de ellas buscando que el conjunto actúe lo más uniformemente posible, tanto en carga como en descarga. Todo ello se hará mediante el uso del dispositivo BMS (**Battery Management System**) que permite la lectura de cada una de las baterías individualmente, así como del programa del motor-controlador **UQM** que permite registrar la tensión global del conjunto de estas baterías para cada uno de los ensayos realizados, comparándola con otros parámetros como puede ser la velocidad, la temperatura y la energía consumida.

El estudio ha consistido en la realización de pruebas de carga y descarga controlando el comportamiento de las baterías. En las pruebas de descarga se introducen además variaciones en el modo de conducción, por ejemplo el control, bien de velocidad o de par; o su marcha, larga o corta, además de la temperatura ambiente.

Uno de los procedimientos para conseguir las mejores prestaciones del sistema de alimentación es el equilibrado. En este trabajo se estudia cuándo realizar el equilibrado de las baterías y se diseña el procedimiento de equilibrado correcto.

1.3 Estado previo

A pesar de los trabajos realizados anteriormente siguen quedando pendientes muchas actividades para que el vehículo funcione aportándonos las mejores prestaciones y sea lo más seguro posible. A continuación se detalla el estado del automóvil al comienzo de este trabajo.

Sistema motor-controlador

Consiste en un motor PH 145 de corriente continua sin escobillas de imanes permanentes y un controlador del propio fabricante, UQM. Además del control del motor, el controlador permite el diagnóstico y la lectura de la velocidad, de la tensión, de la intensidad y la temperatura del motor y del controlador.

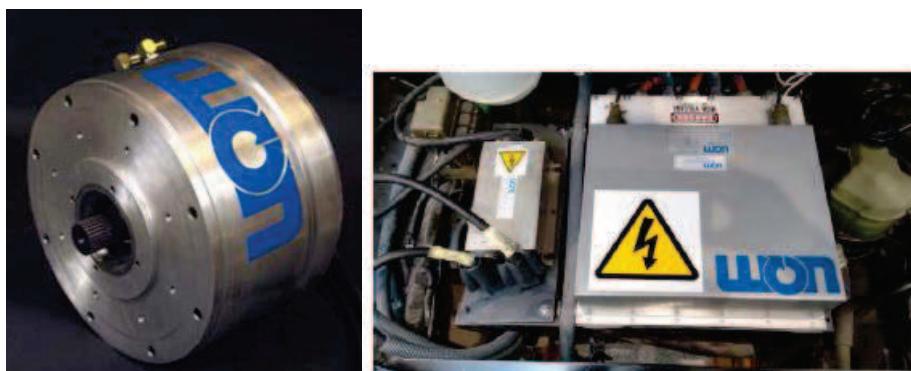


Figura 1. Motor y controlador, UQM

Baterías de tracción

Está formado por 106 baterías de potencia que alimentan al sistema motor – controlador. Actualmente se encuentran colocadas en el vehículo según la distribución que se puede observar en el Anexo D2, Distribución de los módulos de baterías, y o en el Apartado 3.1. Las baterías de tracción están integradas perfectamente tanto con el sistema de control de baterías, BMS tanto como con el sistema motor-controlador.

Este trabajo se centra especialmente en este sistema del vehículo. Se estudia cómo actúan las baterías ante diferentes situaciones y se busca el mejor mantenimiento para ellas.

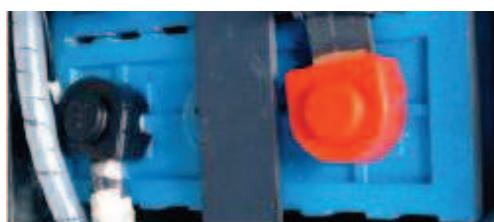


Figura 2. Batería LiFePO_4 situada en el vehículo

Sistema de alimentación auxiliar

Se compone de dos baterías de 12V conectadas en paralelo situadas en la parte delantera del vehículo que se encargan de alimentar los sistemas auxiliares como el autómata, la bomba de refrigeración, la dirección asistida, el cierre centralizado, las luces, ...

Sistema de control

El sistema de control está formado por un autómata programable que controla y monitoriza las principales variables del vehículo. Una de ellas se trata del circuito de carga suave que evita los picos de intensidad en la carga del controlador. Otras pueden ser el encendido y apagado del BMS, de la bomba de refrigeración del automóvil, de la luz de pantalla, sentido de la marcha



Figura 3. Autómata programable

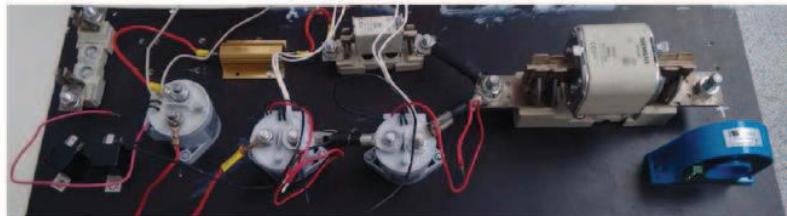


Figura 4. Circuito de carga suave

También se dispone de un sistema de control de baterías, el BMS. Permite obtener la lectura en tiempo real de la tensión de cada batería, la temperatura de cada módulo y la corriente que entra o sale del conjunto de baterías. Este sistema de control es manual, es decir, su función consiste en mostrar si las baterías se encuentran dentro de unos límites y a partir de ahí poder elegir la mejor forma de actuación. Todo ello se detallará en el Apartado 3.2.1.

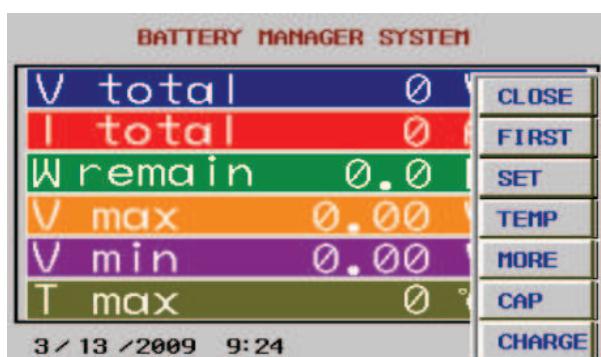


Figura 5. Sistema de control de baterías, BMS

Sistema de adquisición de datos

Se dispone de tres formas de obtener datos del vehículo: a través del software del sistema motor controlador UQM, mediante el BMS (Battery Management System), y con una aplicación disponible en el dispositivo móvil.

Sistema de carga

Este sistema permite la conexión entre el cargador y el vehículo permitiendo la carga del conjunto de todas las baterías de tracción.

1.4 Organización del trabajo

En esta sección se va a explicar la organización de este trabajo. El análisis de las baterías de tracción del vehículo se ha realizado en distintas fases, comenzando por el estudio previo de la situación del vehículo.

En primer lugar se explica el funcionamiento de las baterías, los parámetros que las definen, cuáles de ellos son necesarios para la aplicación de un vehículo eléctrico, y se nombra el proceso de selección llevado en su día para llegar a la elección de la batería situada en el vehículo.

Posteriormente se describen los principales sistemas empleados en este estudio, tanto el propio sistema de alimentación, como los sistemas de adquisición de datos.

A continuación se describen cada una de las pruebas de conducción realizadas con el vehículo, y su influencia tanto al sistema completo de alimentación como el comportamiento de cada una de las baterías.

Como consecuencia de las descargas anteriormente nombradas se llegó a un punto donde tuvieron que ser interrumpidas, puesto que se podían producir daños permanentes en algunas baterías. Por ello se realizó un equilibrado de las mismas antes de su posterior carga.

Una vez cargado el vehículo se volvieron a realizar pruebas de descarga, para así obtener más valores que nos permitieran elaborar un procedimiento de actuación sobre el sistema de alimentación completo.

En el siguiente punto del trabajo se explica este procedimiento de actuación. Dependiendo de las diferencias que existan entre las baterías que forma el conjunto se actuará de una u otra forma. En este mismo punto se añade un protocolo de carga, elaborado a partir de las experiencias obtenidas a lo largo del trabajo.

El trabajo se completa con otras enseñanzas obtenidas causadas por distintas situaciones que han surgido en la realización del mismo.

Finalmente se presentan las principales conclusiones y logros obtenidos durante el trabajo, proponiendo posibles líneas de investigación para el trabajo futuro.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 *Explicación general del funcionamiento de las baterías*

El almacenamiento de la energía eléctrica no es sencillo. Los condensadores permiten almacenar energía eléctrica directamente, pero la cantidad de energía que pueden almacenar es inferior a la demandada por un vehículo eléctrico, que es la aplicación que se está estudiando. En general, el almacenamiento de energía eléctrica requiere una conversión en otra forma de energía. En las baterías esta energía se almacena mediante una reacción electroquímica. En la descarga de las baterías se produce una reacción química que cambia la estructura química inicial y se genera una corriente eléctrica a una determinada tensión. En la carga se hace circular una corriente eléctrica y se produce la reacción química inversa que recupera la estructura química inicial.

En cuanto a su conexión, si las celdas se colocan en serie, es decir el positivo de una con el negativo de la siguiente y así sucesivamente, se consigue sumar las tensiones de cada una de ellas y así obtener una batería con una mayor tensión. Como sucede con las baterías de tracción para las que se está realizando el estudio. Si por el contrario se colocan las celdas en paralelo, todos los positivos unidos entre sí, al igual que los negativos, se obtiene una batería con mayor intensidad. Esto es lo que sucede con las dos baterías auxiliares del vehículo que se encargan del funcionamiento del autómata, de la bomba de refrigeración, de la dirección asistida, del cierre centralizado, luces...

Cada una de estas baterías está compuesta por una o varias celdas. Existe la posibilidad de que una única celda encerrada en su correspondiente habitáculo forme una batería, como sucede en nuestro caso. O bien la unión de varias celdas en un mismo recipiente, formen la batería.

Una celda está compuesta por dos electrodos sumergidos en un electrolito. El electrolito es normalmente líquido, como el agua u otros disolventes, con sales o ácidos. Sin embargo existen algunas baterías que usan electrolitos sólidos. El electrolito debe ser un buen conductor iónico pero no eléctrico lo que podría provocar cortocircuitos.

Los electrodos a su vez se conectan a unos bornes que son los terminales de conexión externa de la batería. Dentro de las celdas, entre cada uno de los electrodos y el electrolito, se producen reacciones químicas reversibles en las cuales se ceden o absorben electrones. Esto genera una tensión eléctrica entre los electrodos y por lo tanto entre los dos bornes de la celda.

Estos procesos químicos se conocen como reacciones oxidación-reducción. En la reducción los reactivos se combinan y absorben electrones disminuyendo así

su estado de oxidación. La oxidación es el proceso inverso. Estas reacciones aparecen detalladas en el Anexo A1.

2.2.1 Parámetros que definen una batería

En el Anexo A2 se describe el comportamiento termodinámico. Este comportamiento determina los parámetros fundamentales de una batería, como la tensión de equilibrio y la capacidad de almacenamiento energético.

Posteriormente se va a explicar el significado de cada uno de ellos además de otros parámetros importantes a la hora de definir una batería, como pueden ser la autodescarga, su resistencia interna, número de ciclos de carga y descarga, ...

La tensión de la celda [V]

La tensión de la celda viene fijada por el potencial de reducción del par de semirreacciones de reducción-oxidación utilizadas. Se calcula a través de la diferencia de los potenciales de reducción de ambos electrodos obtenidos como se ha explicado y demostrado en el Anexo A2. Para una tensión concreta de una determinada aplicación esta tensión fija el número de celdas necesarias. Siguiendo con el ejemplo nombrado en el Anexo anterior de las baterías de plomo ácido, para obtener una batería de 12V, serían necesarias 6 celdas, puesto que cada una de ellas posee 2V^[6].

La tensión en la celda depende del estado de carga de la batería. Cuanto mayor carga mayor tensión tiene la batería.

Con lo anterior se puede definir el punto tensión media (Mild Voltage Point, MPV) al valor de la tensión en la celda cuando ésta se encuentra al 50 % de carga y el punto de tensión de fin de descarga (end of Discharge Voltage, EODV) la tensión que presenta la batería completamente descargada.

Las baterías presentan dentro de un rango de operación una tensión prácticamente constante. Esta tensión se toma como tensión nominal y es la que se emplea como tensión de operación de la celda.

Capacidad Nominal [Ah]

La capacidad nominal de una celda es la cantidad de carga que puede almacenar la celda. Esta carga se mide en amperios hora, Ah, e indica la corriente que puede entregar durante una hora. Por ejemplo, una batería de 45Ah proporciona 45 A durante una hora o 4,5 A durante 10 horas. Sin embargo, debido a las perdidas internas de la batería, que son mayores, cuanto mayor es la intensidad que proporciona, esta batería en diez horas es capaz de proporcionar 5A en 10 horas. Este comportamiento se representa indicando la intensidad y la letra C seguida del número de horas. Así la batería del ejemplo sería una batería 45C1 o bien 5 C10.

Tiene una fuerte relación con la temperatura. Esta capacidad aumenta al aumentar la temperatura, pero a su vez el proceso químico se acelera deteriorando el electrolito y provocando una oxidación interna que deteriora las baterías.

Energía [Wh]

Es el producto de la capacidad por la tensión y se ve afectada por ambos factores. Se trata del máximo valor de energía que puede entregar para un sistema electroquímico específico.

Resistencia interna [Ω]

La resistencia interna es el valor del equivalente Thevenin de la batería, que es distinto de cero ya que no es una fuente ideal de tensión. En una batería esta resistencia no es constante si no que depende de las condiciones de funcionamiento de la batería y aumenta con el tiempo, de forma que aunque la tensión en vacío apenas varíe, la resistencia interna aumenta, haciendo que la intensidad que puede proporcionar la batería disminuya.

Estado de Carga (State of charge, SOC)

El estado de carga de una batería es la cantidad residual de carga que puede restituir la batería en relación a la cantidad nominal que puede almacenar. El SOC se expresa en porcentaje y coincide con el 100% cuando la batería está cargada al máximo. Nos va indicar a mayor valor de carga mayor autonomía del VE.

Profundidad de Descarga (Depth of discharge, DOD)

La profundidad de descarga de una batería es el ratio de energía descargada en relación a la cantidad de energía que puede almacenar. El DOD se expresa en porcentaje y es el opuesto del SOC.

Autodescarga

La autodescarga representa la descarga que se produce en la batería aun cuando esta no está conectada. Este valor lo indica el fabricante y depende de la tecnología. Ésta aumenta proporcionalmente con la temperatura y el envejecimiento de la batería.

Ciclos de carga y descarga

El número de ciclos de carga y descarga de una batería no es infinito. El número máximo normal de una batería se conoce como ciclos de vida. El número de ciclos reales va a estar condicionado por la profundidad de la descarga.

2.2 Características que requiere una batería de un vehículo eléctrico

Para la selección del tipo de batería se debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

Densidad energética, Wh/kg y Wh/l

La densidad energética se puede definir tanto como gravimétrica, medida en [Wh/kg] o como volumétrica, medida en [Wh/l]. Ambos valores indican el peso y el volumen para una cantidad de energía determinada. Es aconsejable que ambos sean elevados, lo que se traduce en unas baterías ligeras y con un bajo volumen, idóneo para ser colocadas en un VE.

Potencia específica, W/Kg

Indica la potencia en W en relación al peso de la batería. Esta potencia debe ser lo más alta posible para así tener una mayor capacidad de aceleración, necesaria para la aplicación de un VE.

Intensidad de carga, A

Indica la máxima intensidad a la que puede ser cargada una batería, cuanto mayor sea esta intensidad menor será el tiempo de carga.

Tensión de celda, V

Indica la tensión que no aporta una sola celda. Cuanto mayor sea, menor número de celdas, menor peso y menor volumen a ocupar.

Autodescarga, %

Debe ser lo más baja posible para evitar pérdidas de energía en parado. Lo cual no es deseable para ninguna aplicación.

Número de ciclos de carga/descarga,n

Índica la vida útil de una batería. Es decir cuanto mayor sea el número de ciclos de carga y descarga más usos nos concederán dichas baterías.

Fiabilidad y robustez mecánica y eléctrica

Lógicamente necesarias en una aplicación de un VE que va a ser sometido a distintos escenarios, como por ejemplo, a distintos pavimentos que pueden someter las baterías a vibraciones.

Seguridad de uso: ante accidentes

Necesaria en este caso al estar situadas en el propio VE, el cual está en contacto directo con las personas.

Mantenimiento

El mantenimiento deber ser el mínimo posible, puesto que en ningún caso interesa llevar a cabo una vigilancia permanente de su estado ni una continua manipulación sobre las mismas.

Coste



El coste siempre es importante y se ha de intentar que sea lo más rentable posible. Puesto que se ha de comprar un gran número de baterías y éstas baterías además posiblemente tengan que ser cambiadas por otras nuevas a lo largo de los usos.

Independencia de las condiciones medioambientales

Las baterías tienen que ser independientes a las condiciones ambientales. El vehículo va a recorrer entornos donde sobretodo la temperatura va a ser muy diferente unos de otros.

Impacto medioambiental: facilidad de reciclaje

El impacto ambiental se considera una cuestión de gran importancia en nuestra sociedad. Por tanto se valora positivamente la facilidad de reciclaje, no sólo para esta aplicación sino para todo tipo de ellas.

Es muy difícil que una batería cumpla todos estos requisitos a la vez por lo que se intenta que cumpla los máximos posibles. A lo largo de los siguientes puntos se verán todas estas características de la batería utilizada en nuestro vehículo.

2.1.1 Ejemplos de vehículos en el mercado y baterías que utilizan

Las principales ventajas de los vehículos eléctricos se encuentran en la nula emisión de gases contaminantes y en la reducción de la contaminación acústica, por otro lado, carecen de los principales inconvenientes de los vehículos convencionales, es decir, la utilización como combustible de un recurso fósil finito, y los bajos rendimientos de sus motores de combustión.

Su mayor inconveniente se encuentra en el temor a no finalizar los trayectos por falta de autonomía. Sin embargo la mayoría de los viajes que se realizan se podrían llevar a cabo con una sola carga de los vehículos, ya que la mayoría de los trayectos no superan los 100km de distancia. Es decir, no exceden la autonomía media de un vehículo eléctrico actual.

A pesar de esto, en la actualidad el parque de vehículos eléctricos está muy por debajo de los vehículos convencionales e incluso de los híbridos, que son los vehículos que poseen tanto motor eléctrico como de combustión.

Sin embargo existen algunas marcas que ya disponen de vehículos eléctricos con grandes prestaciones. A continuación se nombran algunos de ellas, dando especial importancia al sistema de alimentación.

Una de las empresas pioneras en la fabricación de este tipo de vehículos es Tesla Motors. Esta empresa tiene una gran gama de vehículos eléctricos, dentro de la cual se encuentra el Tesla Model S (ver figura 6). Una berlina que ostenta el título del coche eléctrico de producción con mayor autonomía del

mercado. Disponible en dos modelos según su paquetes de baterías, uno de 60 kWh y otro de 85 kWh de capacidad.

El modelo base (60 kWh) tiene una autonomía de 370 km y una aceleración de 0 a 100 km/h de 6.2 segundos mientras que el modelo con la batería de 85 kWh (PM85) acelera de 0 a 100 km/h en 4.4 segundos con una autonomía de 480 km.



Figura 6. Tesla Model S

BATERÍA	
Tipo	Iones de litio Panasonic 18650
Capacidad	60 kWh
Extraible (S/N)	NO
Tipo de cargador (Connector o enchufe)	Cargador incorporado de 10kW, compatible con 85-265 V, 45-65 Hz, 1-40. Compatible con los adaptadores J1772.
Tipo de carga / tiempo 100%	Lenta: 230 V a 3,3 kW =>12h Ultra-rápida: 90 a 120 kW20 minutos = 200km
Tipo de carga / tiempo 80%	Semi-rápida: 10 kW 1h = 50km
Vida/Ciclos de carga hasta 80%	8 años, 200.000 km

Tabla 1. Especificaciones de las baterías

Sin embargo el vehículo eléctrico más vendido en Europa es el NISSAN LEAF, con una autonomía de 199 kilómetros.



Figura 7. Nissan Leaf

Tipo batería	Iones de litio laminada
Voltaje	360 v
Capacidad	24 kWh
Número de celdas	192
Cargador de a bordo	3,3 kW
Cargador rápido	50 kW
Cargador de recarga	6 metros de longitud (4 kg)

Tabla 2. Especificaciones de las baterías

Otra de las grandes empresas que ha fabricado un vehículo eléctrico de altas prestaciones se trata de la empresa alemana Volkswagen.

El Volkswagen e-Golf (ver figura 8) es la versión 100% eléctrica del modelo clásico de la marca alemana. Este compacto usa un motor de 85 kW (115 CV), ofrece una autonomía entre 130 y 190 kilómetros y un consumo medio de 12,7 kWh/100 Km. Su motor ofrece una aceleración de 0 a 100 km/h en tan sólo 10,4 segundos.



Figura 8. Volkswagen e-Golf

BATERÍA	
Tipo	Iones de litio - 24,2kWh, 323V, 318kg
Capacidad	26,5 kWh
Capacidad útil	24,2 kWh
Extrable (S/N)	NO
Tipo de cargador (Connector o enchufe)	Estandar 3.6 kW o CCS 40 kW
Número de celdas	27 módulos de seis y doce celdas
Tipo de carga / tiempo 100%	Estandar 230V/10A => 13 horas Wallbox 3.6kW => 8 horas
Tipo de carga / tiempo 80%	Carga Combinada CCS => 30 minutos
Vida/Ciclos de carga hasta 80%	8 años de garantía o 160.000 km

Tabla 3. Especificaciones de las baterías

2.3 Selección y características de las baterías de tracción elegidas

Debido a los requerimientos exigidos para que una batería sea adecuada para nuestra aplicación, es decir, la tracción de un vehículo eléctrico, y los parámetros que las definen, se realizó en su día un proceso de selección mediante el cual se optó por la batería: LiFePO₄, (ver Anexo B).

2.3.2 Características de las baterías *LiFePO₄*

Al igual que sucedía en la explicación del Apartado 2.1 y o en el Anexo A1, estas baterías están formadas por un ánodo, un cátodo y un electrolito, y del mismo modo su energía se almacena por medio de unas reacciones químicas, éstas se pueden ver en el Anexo C.

A continuación se enumeran las principales ventajas y desventajas de este tipo de tecnología:

Ventajas

- Alto voltaje por celda, cada celda tiene un voltaje de 3.6 voltios.
- Elevada densidad de energía, acumulan grandes cantidades de energía por tamaño y peso.
- Elevada densidad de potencia
- Permiten tasas de descarga de hasta 40C, lo que las hace ideales para VE
- Permiten procesos de carga rápida: muy importante para VE
- Mantienen la tensión prácticamente constante hasta el 80% del DOD, lo que permite dar prácticamente el 100% de la potencia hasta el 80% del DOD
- Reducida autodescarga en torno a un 6%.
- Eficiencias superiores al 95%
- Largos ciclos de vida de 1000 a 3000, que se pueden ampliar tratando la batería de forma adecuada
- No tienen efecto memoria, por lo tanto, la primera carga no tiene nada que ver con su duración, y no necesitan cargas de reactivación.
- Descarga lineal, mientras la batería se está descargando su voltaje varía muy poco, es por eso que no necesitan de un regulador de voltaje.
- Son muy seguras, reducido riesgo de explosión.
- Pueden resistir altas temperaturas y por tanto son extremadamente estables en sobrecarga o en condiciones de cortocircuito. Pueden trabajar en un rango de temperatura (-20-70°C)
- Son cuidadosas con el medio ambiente.

Desventajas

- Impedancia interna mayor
- Son más costosas
- Reducido rendimiento a bajas temperaturas,

- Si la tensión cae por debajo de 2 V pueden sufrir una degradación permanente
- Determinar el estado de carga es más complejo que en otras debido a la baja variación de la tensión con la carga que tiene la batería.

Tras lo explicado anteriormente cabe concluir como características principales las siguientes: su alto número de ciclos de carga y descarga; su elevada densidad de energía; su alto potencial y su baja autodescarga. Estas cualidades las hacen idóneas para ser utilizadas como sistema de alimentación del vehículo eléctrico.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO

3.1 Sistema de estudio: Baterías de tracción

A continuación se especifican los principales valores; la conexión y la disposición de las baterías de tracción en el vehículo. Uno de los grandes problemas que posee este modelo de baterías, es el posible desequilibrio que surge a lo largo de los sus usos. Por ello dentro de este apartado se explicará cómo se producen estos desequilibrios y las consecuencias que provocan.

3.1.1 Especificaciones de las baterías

Concretamente la batería elegida para ser colocada en el vehículo fue la batería SE180AHA del fabricante Sky Energy. Poseen una tensión de 3,4 VDC, una capacidad de 180 Ah y un peso de 5,6 kg. El resto de características se ven en el Anexo D1, “Características de las baterías eléctricas”.

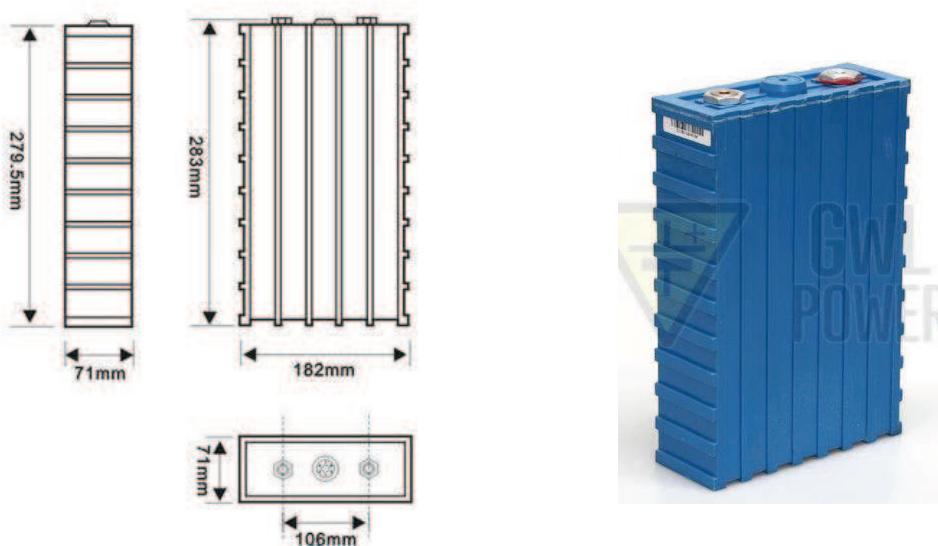


Figura 9. Batería ion litio SE180AHA

3.1.2 Disposición y conexión dentro del habitáculo

Se ha equipado el vehículo con 106 baterías en serie obteniendo la tensión necesaria para la tracción del vehículo. El conjunto de baterías proporciona una energía total de 64872 Wh, a una tensión nominal continua de 360.4 voltios, con una tensión mínima total de 212 V (considerando la tensión mínima por batería de 2V) y un peso total de 593.6 Kg.

Debido a su gran número, las baterías se distribuyeron en cuatro cajones, como se puede ver en la Figura 10: dos faldones laterales (G1I y G1D) en cada lateral del vehículo, un faldón inferior (G2) en la parte trasera del vehículo y el cajón del maletero en la zona interior del vehículo (G3)^[1].

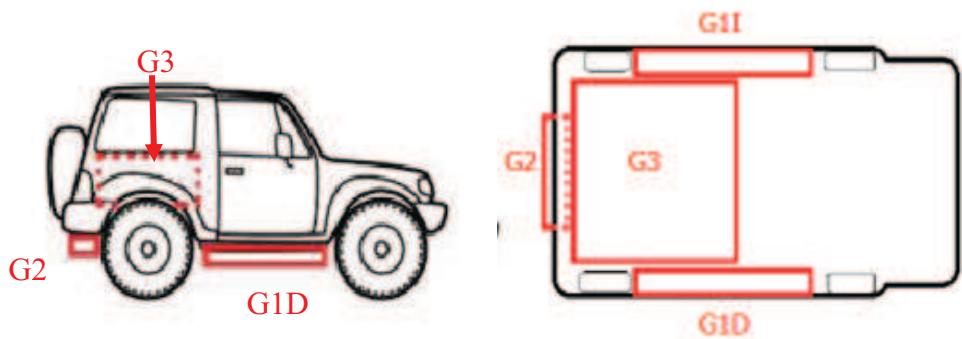


Figura 10. Distribución de las baterías de tracción

Los cajones están conectados entre sí tal como se muestra en la siguiente figura.

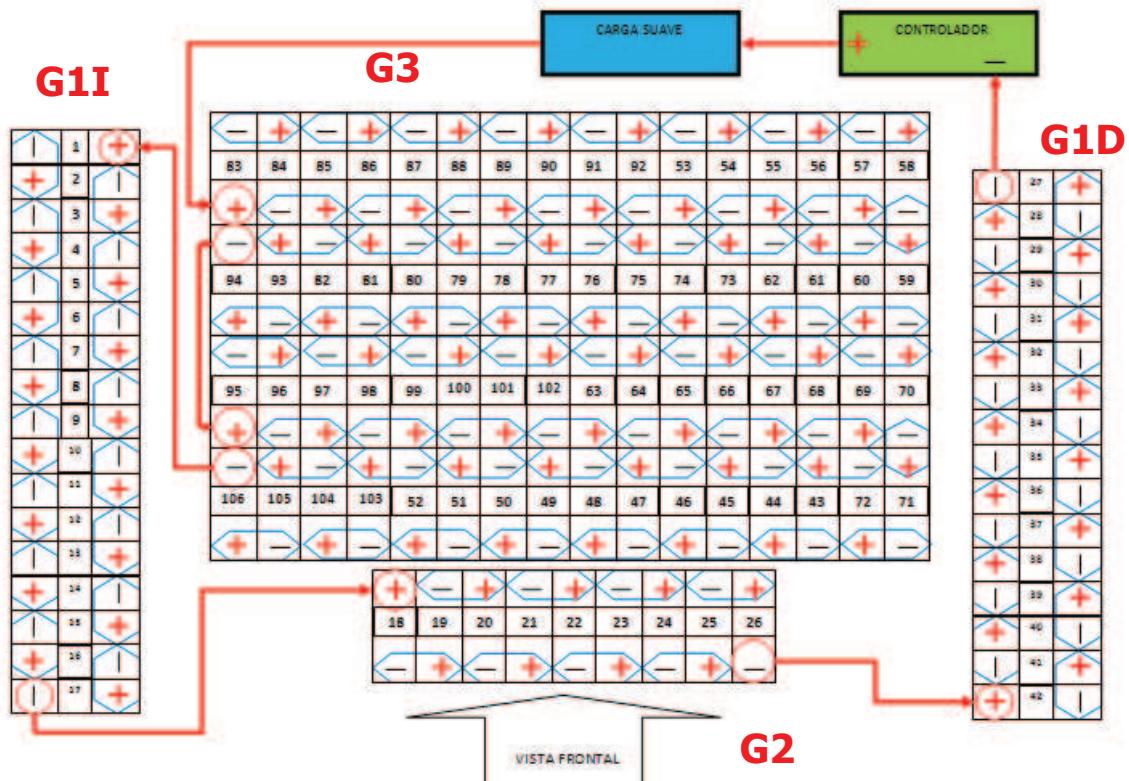


Figura 11. Esquema de conexión de las baterías

En cuanto a la conexión de las baterías se utilizaron pletinas de cobre con recubrimiento de un material termoplástico como se puede ver en la Figura 12. Además de una doble protección colocada alrededor de la pletina, ver en la figura de la derecha.



Figura 12. Pletina de cobre y su doble protección de aislamiento

También se introdujeron unos protectores de plástico para evitar el contacto (protector rojo para polo positivo y protector negro para polo negativo).



Figura 13. Protectores de plástico

Y en cuanto a la conexión de los distintos cajones se utilizó cable de sección 50 mm^2 con aislante XLPE y con un tubo de poliamida para su protección como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Cable de sección 50 mm^2 y tubo de poliamida

Las baterías de los cajones se agrupan en módulos. En la Tabla 4 se muestra dónde está localizado cada módulo, el número de las baterías que tiene y las baterías que le corresponden.

Nº Módulo	Localización	Cantidad de baterías	Nº de baterías
0	Lat izq	10	01-10
1	Lat izq	7	11-17
2	Inferior	9	18-26
3	Lat dcho	8	27-34
4	Lat dcho	8	35-42
5	Interior	10	43-52
6	Interior	10	53-62
7	Interior	10	63-72
8	Interior	10	73-82
9	Interior	10	83-92
10	Interior	4	103-106
11	Interior	10	93-102

Tabla 4. Correspondencia de batería y módulo

3.1.3 Importancia del equilibrado de baterías conectadas en serie

Para el correcto funcionamiento de baterías de más de una celda, o de un conjunto de baterías, se hace necesaria la existencia de un equilibrio entre todas las celdas que forman la batería, o entre todas las baterías que forman el conjunto.

Si durante la carga alguna de las baterías alcanza la tensión máxima se debe detener la carga del conjunto de las mismas. Por otra parte, durante la descarga, la batería más débil sufrirá una descarga más profunda, llegando incluso a causar daños permanentes. Del mismo modo que en el caso anterior la descarga deberá ser interrumpida si se descargan por debajo de un nivel de tensión ya que también pueden sufrir daños permanentes. Con los sucesivos ciclos de cargas y descargas las baterías débiles se vuelven aún más defectuosas.

Por un lado en la sobrecarga, es decir, en el caso de que la tensión de la batería supere su tensión máxima, ésta se vuelve inestable. Si se mantiene una tensión superior a 4,3 V/celda^[2], se forma una capa de litio metálico en el ánodo, y se genera un agente oxidante que produce CO₂ en el cátodo. Esto produce un aumento de la presión en la celda que puede hincharla. En este caso puede resultar peligrosa existiendo la posibilidad de explosión. Para evitar estos problemas la batería con mayor tensión limita la carga del conjunto.

Por otro lado en la sobredescarga, es decir, en el caso de que la batería descienda por debajo de su tensión mínima, ésta también resulta dañada. Nunca deben descargarse por debajo de los 2,1 V/celda^[2]. Si la tensión baja de 1,5 V/celda durante más de una semana^[2], no se debe recargar la batería ya que se han podido producir cortocircuitos internos que darían lugar a sobre temperaturas peligrosas. También se han podido descomponer materiales que forman la batería. De este modo la batería con menor tensión limitará la descarga.

En cuanto al por qué de estos desequilibrios, se pueden deber a las siguientes causas:

Distintas tolerancias de producción

En baterías formadas por más de una celda, se observan pequeñas diferencias entre ellas, debido a las tolerancias de producción o a las condiciones de funcionamiento. Esta diferencia tiende a aumentar con cada ciclo de carga y descarga. Lo mismo sucede cuando hay varias baterías, como es nuestro caso.

Comportamiento diferente.

Existen baterías que han mermado sus propiedades tras varios usos.

3.2 Sistemas de adquisición de datos

3.2.1 Sistema de control de las baterías, BMS

El BMS permite una lectura en tiempo real de la tensión global y la temperatura de cada conjunto de baterías. Y gracias a ello se puede controlar tanto la carga, limitada por la batería de mayor tensión, como la descarga limitada por la batería de menor tensión. Es el sistema que se va a usar para realizar el

estudio de las baterías en este trabajo. Su encendido se realiza con la tecla F1 de la pantalla del autómata situada en el salpicadero del vehículo.

En la pantalla principal, el BMS proporciona la tensión total de las baterías, la intensidad que recorre las baterías, la energía restante almacenada, la batería a mayor tensión, la batería a menor tensión y la sonda que registra mayor temperatura.

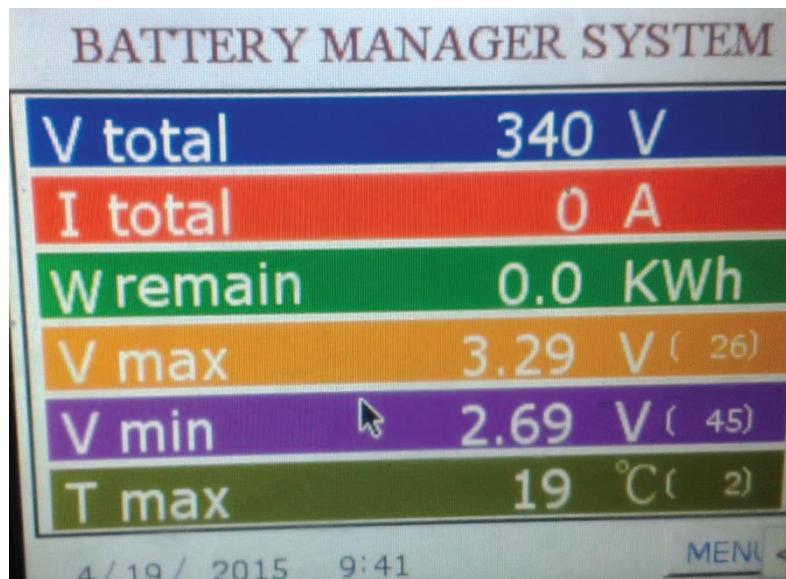


Figura 15. Pantalla principal del Battery manager system, BMS

Las funciones que se realizan con este sistema son: lectura de las tensiones de cada batería y de las temperaturas de cada módulo; introducción de límites tanto en carga como en descarga, y visualización del estado del conjunto de baterías durante la carga.

En cuanto a la introducción de límites, se ajusta la tensión máxima y mínima, que puede alcanzar una batería, la intensidad máxima del conjunto, y la temperatura máxima de los módulos. Para la correcta elección de estos valores se examina la hoja de características de la batería, ver Anexo D1. Los valores introducidos son los siguientes: 3,6 voltios como tensión máxima, la cual limita la carga; 2 voltios como tensión mínima, la cual limita la descarga; la intensidad máxima varía de los 500 amperios para la carga a los 700 para la descarga, y por último un límite máximo de temperatura de 45°C.

** El resto de características de su funcionamiento y como efectuar los cambios anteriores, aparecen detalladas en el Anexo E

3.2.2 Software del sistema motor controlador

Este software no sólo permite el diagnóstico de datos, sino también la configuración de distintos parámetros del motor. El programa del sistema

motor-controlador da la opción de seleccionar entre dos modos (para un vehículo) de funcionamiento: control de par y control de velocidad.

Control de par

Es el modo de funcionamiento más común para el motor. Cuando el control se realiza de forma analógica (como es el caso de este trabajo), el par motor se ordena como un porcentaje de la escala completa a través de los controles analógicos, "acelerador" (solicitud de par positivo) y "freno" (solicitud de par negativo). Las dos señales de entrada se compensan entre sí, siendo el par resultante la diferencia entre ambas señales. Como en el vehículo no se ha instalado un freno eléctrico, el par demandado por el usuario será el solicitado por el acelerador.

Control de velocidad

En este modo de funcionamiento el controlador del motor trata de mantener la velocidad de giro demandada por el usuario. Cuando se realiza el control de forma analógica, la velocidad se ordena como el valor solicitado a través de los controles analógicos, es decir, a través de las señales de "Acelerador" y "Freno". La señal de "Aceleración" corresponde a la velocidad demandada y la señal de freno es el porcentaje de par motor máximo definido. Como en el vehículo no se ha instalado un freno eléctrico, el par se introduce mediante un potenciómetro en su placa de conexiones, por ello en este modo el par será constante ya que no se varía este potenciómetro durante nuestros ensayos.

Además de la elección del modo de control se pueden configurar otros parámetros del sistema, como la tensión e intensidad máxima, o la velocidad de giro del motor. Durante la realización de este trabajo sólo se ha modificado la última variable.

Las principales características de este controlador se detallan en el Anexo F.

3.2.3 Aplicación de registro de datos a través de un dispositivo móvil

La aplicación del móvil Sports- Tracker permite registrar los datos de velocidad y distancia recorrida de cualquier tipo de actividad.

La forma de operar con esta aplicación es la siguiente: se selecciona dentro de la pantalla principal "Iniciar nuevo ejercicio", a continuación el programa permite elegir el tipo de actividad entre una amplia gama, en nuestro caso se elige "Deportes de motor". El siguiente paso consiste en pulsar la opción "Empezar", en este momento la aplicación comienza a grabar los datos hasta el instante en el que se decide parar la grabación, pulsando en este caso la tecla "Detener".

Los datos y gráficos se pueden obtener en el ordenador una vez registrados en dicha aplicación. Debemos tener en cuenta que para acceder a los datos desde el ordenador es necesario iniciar sesión con el mismo usuario del dispositivo móvil.



Figura 16. Pantalla principal de la aplicación Sports- Tracker

4. ENSAYOS DE DESCARGA

La base de este trabajo consiste en analizar el comportamiento del sistema de alimentación, y una vez este haya sido estudiado, encontrar la mejor manera de actuación sobre el sistema de alimentación. El fin último del trabajo reside en lograr su máximo rendimiento. Para ello el vehículo se somete distintos tipos de ensayos.

4.1 Definición de parámetros / aspectos clave

Antes de detallar cada uno de los ensayos detenidamente se definen y explican algunos aspectos necesarios.

Circuito

El circuito tiene lugar en uno de los parkings de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura, el cual se ve en la Figura 17 y 18, donde aparece el recorrido marcado en rojo y el sentido elegido. Una vuelta al circuito implica una distancia en torno a los 410 metros.

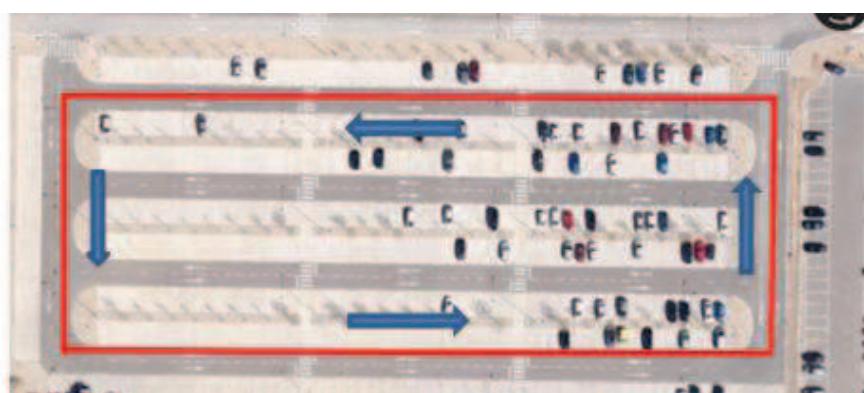


Figura 17. Imagen real del circuito. Fuente : [googlemaps.com](https://www.googlemaps.com)

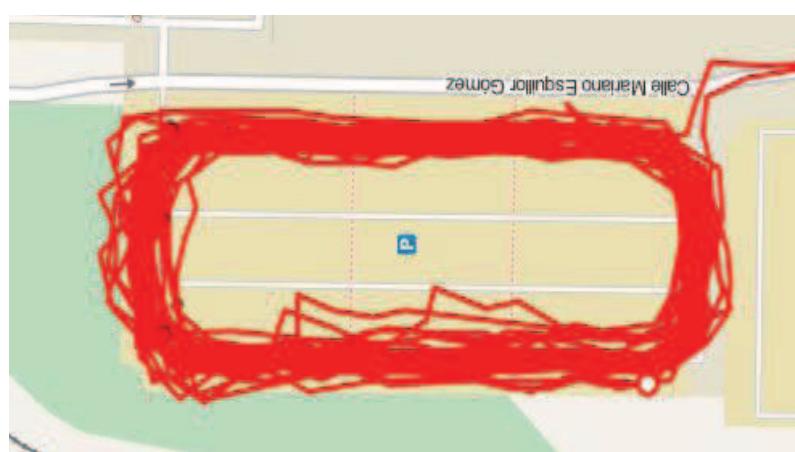


Figura 18. Circuito visto desde la aplicación Sports Tracker

Temperatura ambiente

La temperatura será un factor importante a tener en cuenta puesto que las distintas pruebas realizadas tendrán lugar en distintas condiciones atmosféricas. Las baterías de litio utilizadas son sensibles a este efecto como se nombró en el Subapartado 2.3.2.

Sistema de refrigeración

A la realización de una toma de contacto con el vehículo sin el sistema de refrigeración en funcionamiento, se tuvo que interrumpir la conducción ya que se alcanzaron temperaturas demasiado altas que comprometían el buen funcionamiento del sistema motor-controlador.

De cara a solucionar este problema se comprobó el funcionamiento del sistema de refrigeración y se realizó la correspondiente conexión con el autómata. Así a través de una de las teclas del autómata se enciende y se apaga la bomba de refrigeración. Las pruebas que se analizan a lo largo del trabajo son las realizadas posteriormente a la puesta en funcionamiento de la bomba de refrigeración.

Marcha utilizada

El vehículo dispone de dos marchas, la larga y la corta. La marcha larga permite ir a mayor velocidad y la marcha corta aporta mayor potencia.

El cambio de marcha se efectúa con una palanca situada en la parte inferior delantera del vehículo. Cuando está situada esta palanca hacia delante se tiene seleccionada la marcha corta y la marcha larga cuando está situada hacia atrás.



Figura 19. Fotografía de la palanca de cambio de marcha

4.2 Protocolo de ensayo

Para el correcto funcionamiento y puesta en marcha del vehículo se deben seguir una serie de pasos, como se puede ver en el Anexo G.

Este protocolo fue elaborado en un proyecto anterior y ha sido mejorado en base a las experiencias vividas a lo largo de este trabajo.

4.3 Características de cada uno de los ensayos

Los ensayos consisten en distintas pruebas de conducción efectuadas en el circuito anteriormente mencionado (ver en la figura 17 y 18).

Dentro de los distintos ensayos se distinguen: aquellos realizados con el vehículo en su estado inicial y los efectuados después de un equilibrado de las baterías y su correspondiente carga completa.

4.3.1 Ensayos antes del equilibrado y la carga completa

Estas pruebas han sido de corta duración ya que no se conoce el comportamiento de las baterías. Todas ellas cuentan con una duración y un recorrido similar, e intentan asemejar al máximo la forma de conducción en la vida cotidiana, variando tanto los controles, de par o de velocidad; como la marcha, larga o corta. En la Figura 20 se muestra el vehículo ante una de las pruebas a las que se ha tenido que someter.



Figura 20. Vehículo ante uno de las pruebas

Prueba 1

Esta prueba se caracteriza por un único ensayo de 21 vueltas, utilizando la marcha larga del vehículo y con un control de par. Además se introduce un límite máximo de la velocidad de giro del motor de 2000rpm. Durante la prueba la temperatura ambiente ronda los 26°C.

Prueba 2

Dentro de esta prueba se realizaron 4 tipos de ensayos distintos modificando tanto la marcha como el límite máximo de velocidad del motor.

Ensayo 1: Consiste en la realización de 10 vueltas, utilizando la marcha larga, con un control de par, y con un límite máximo de la velocidad de giro del motor de 2000rpm.

Ensayo 2: Consiste en la realización de 10 vueltas, utilizando la marcha corta, con un control de par, y limitando la velocidad de giro del motor a 2000rpm.

Ensayo 3: Realización de 5 vueltas, en marcha corta, con control de par, y con un límite de la velocidad de giro del motor de 4000rpm.

Ensayo 4: Realización de 6 vueltas, en marcha larga, con control de par, y con un límite de la velocidad de giro del motor de 4000rpm.

En este caso en total se realizan 31 vueltas y con una temperatura cercana a los 35°C

Prueba 3

Dentro de esta prueba también se realizaron cuatro ensayos distintos:

Ensayo 1: Consiste en la realización de 6 vueltas, utilizando la marcha corta y con control de par.

Ensayo 2: Realización de 6 vueltas, utilizando la marcha corta y con control de velocidad.

Ensayo 3: Realización de 6 vueltas, utilizando la marcha larga y con control de velocidad.

Ensayo 4: Realización de 6 vueltas, utilizando la marcha larga y con control de par.

** Todas ellas con un límite de velocidad máxima de giro del motor de 4000rpm.

En total se realizaron 24 vueltas y con una temperatura ambiente alrededor de los 33°C.

4.3.2 Ensayos después de la carga completa

La realización de este ensayo tiene lugar después de la carga del sistema de alimentación al completo, como consecuencia la prueba tiene una mayor duración. La elección del control y la marcha a usar se decidió tras los resultados de las pruebas anteriores, ya que la marcha larga y el control de par permite alcanzar mayores velocidades en el vehículo

Ensayo 1: Realización de 30.22 kilómetros, que se corresponde con 75 vueltas, durante 1 hora y 10 minutos, con una velocidad media de 25.6km/h. Se utilizó la marcha larga, con control de par, e introduciendo un límite de velocidad de 4000rpm. En cuanto a la temperatura ambiente se encontraba en torno a los 23°C.

5. CARGA DEL SISTEMA DE LAS BATERÍAS DE TRACCIÓN

A la hora de realizar la carga del vehículo se siguen los siguientes pasos:

1. Ajuste del cargador a la tensión deseada. Esta tensión se estima para que cada batería alcance los 3.4 voltios. La tensión total serán 360 voltios ($106 \times 3.4\text{v}$), puesto que el vehículo dispone de 106 baterías.



Figura 21. Cargador trifásico

2. Introducción de límites en el BMS. Aquí se introducen los 3.6 voltios de tensión máxima y los 500 amperios de intensidad máxima, comentados en el Subapartado 3.2.1.
3. Conexión del cargador al vehículo a través del conector, (ver Figura inferior).



Figura 22. Conexión cargador – vehículo

4. Habilitar la carga a través del autómata. Para ello se debe pulsar F3 mientras la llave del vehículo se encuentre colocada en la posición 1. Si todo es correcto aparece la pantalla siguiente:



Figura 23. Pantalla de inicio de la carga

5. Accionamiento del interruptor.
6. Control de la carga a través del BMS. Si aparece alguna situación donde se sobrepasen los límites introducidos en el paso 2, se detendrá la carga accionando el interruptor. En el caso de que no sucedan contratiempos, el propio cargador muestra la finalización de la carga iluminando un led verde.
7. Desconexión del conector de la Figura 22 del vehículo.

6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS ENSAYOS

A lo largo de este capítulo se analizan los resultados obtenidos en los ensayos comentados en el Apartado 4. Siguiendo la misma metodología se van a distinguir entre los análisis de los ensayos antes de la carga y después de la carga. Asimismo se analiza también el comportamiento de las baterías antes y después de la carga.

6.1 Análisis de los ensayos iniciales

Prueba 1

La descripción de la prueba se divide en los siguientes intervalos:

Intervalo [1000-1400]: se realizan seis vueltas utilizando la marcha larga, con un límite de velocidad de 2000 rpm.

Intervalo [1400-4000]: Este periodo se corresponde con una parada de la conducción que tiene como fin la comprobación de los niveles de temperatura y el correcto funcionamiento del vehículo. Este ensayo es el primero tras la incorporación de la bomba de refrigeración.

Intervalo [4000-4850]: se realizan 15 vueltas con las mismas características que en el primer intervalo.

*** Todas ellas se realizan con control de par*

En la siguiente figura se puede ver la relación entre la velocidad de giro del motor y la tensión media de alimentación de éste. Como cabe esperar siguen una relación inversa, cuando la velocidad sufre un aumento, es mayor la intensidad exigida o de descarga a las baterías, y por tanto la tensión existente en el motor desciende. Esto se aprecia en el detalle señalado con un círculo verde.

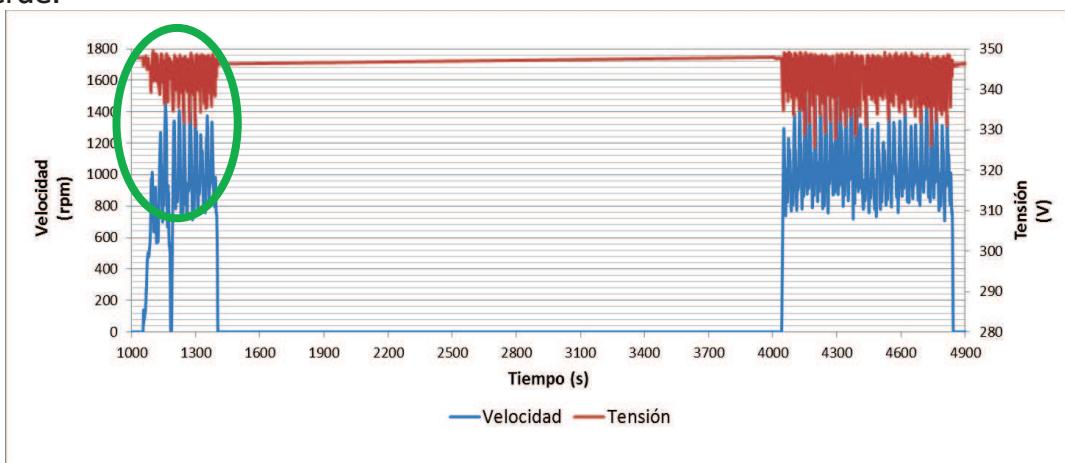


Figura 24. Curvas de la tensión y la velocidad de giro del motor frente al tiempo

En el detalle inferior se aprecia que la tensión comienza a aumentar cuando la velocidad todavía está creciendo. Esto se debe a que la tensión empieza a aumentar una vez se levanta el pie del acelerador, sin embargo la velocidad al llevar una inercia disminuye con cierto retraso. Justo lo contrario sucede cuando se pisa el acelerador, es decir, la tensión cae inmediatamente mientras el vehículo aún no ha comenzado a aumentar su velocidad.

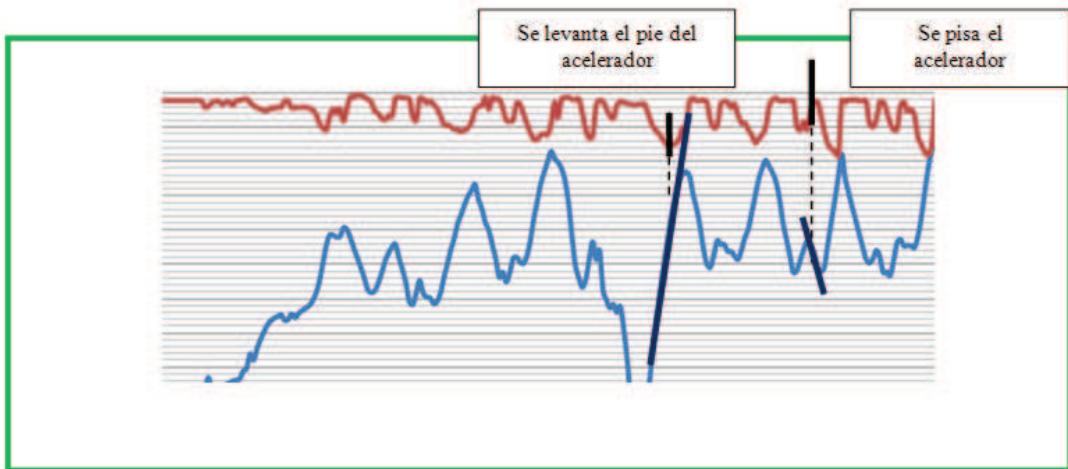


Figura 25. Detalle ampliado de la tensión y la velocidad

Por último se muestra la relación entre la tensión de alimentación del motor con la energía consumida. En el periodo donde el coche no se mueve pero se encuentra encendido, la tensión prácticamente es constante. Incluso se puede ver que esta tensión aumenta. Esto puede suceder a causa de una pequeña recuperación al no estar siendo sometido a ninguna intensidad de descarga. A su vez la energía consumida es nula.

Por el contrario, mientras el vehículo se mueve la energía consumida aumenta prácticamente con la misma pendiente en los dos intervalos, al tener ambos las mismas características: velocidad similar, misma marcha, mismo control y pequeña variación de temperatura.

Para comparar el consumo de energía en cada una de las pruebas se va a calcular la energía que se consume por vuelta. En este ensayo

$$1.716 - 0.143 = 1.573 \text{KWh} \Rightarrow \mathbf{0.0749 \text{KWh/vuelta}}$$

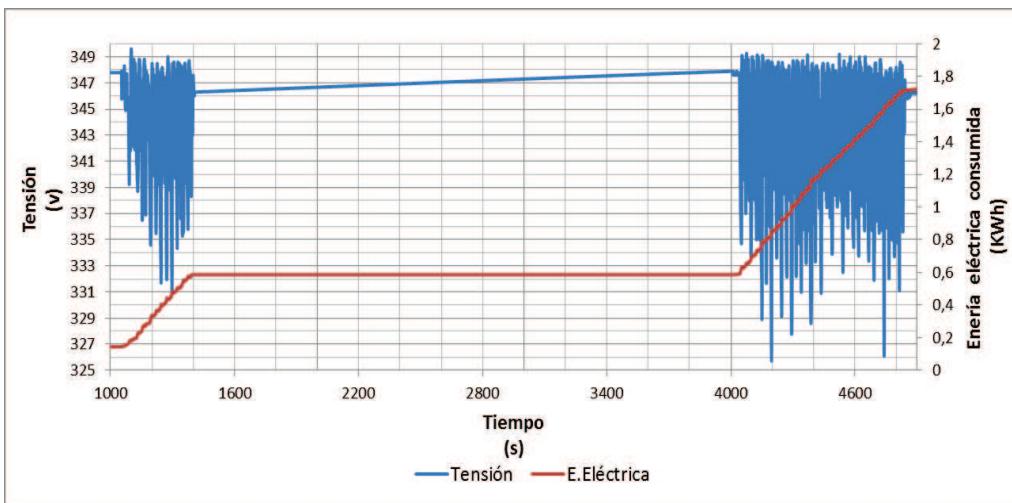


Figura 26. Curvas de la tensión y la energía eléctrica frente al tiempo

Los datos para la elaboración de los gráficos anteriores han sido obtenidos con el programa del controlador, UQM.

Como ya se comentó en el Apartado 1.3, se dispone de otro sistema de toma de datos, el sistema de control de las baterías de tracción, BMS. Gracias a él se obtiene la información de la tensión de cada una de las baterías de forma individual. Consultar Anexo E.

Con los datos obtenidos se elabora un documento Excel, en el que se puede observar la existencia de determinadas baterías con valores de tensión diferenciados de la tensión media global. Para ello se ha usado un marcado de colores en el cual los tonos cálidos indican tensiones bajas y mientras que los verdes corresponden a tensiones altas.

En la Tabla 5 la primera columna se corresponde con el número de cada batería, la segunda con la tensión al inicio del ensayo, la tercera a la tensión al final de éste y la última columna indica el porcentaje de tensión que ha perdido cada una de las baterías respecto a su tensión inicial. Sólo se adjuntan los datos de las diez baterías con mayor porcentaje de descarga, y las diez baterías con una tensión final inferior.

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
35	3,087	2,89	6,382
100	3,142	3,008	4,265
84	3,2	3,16	1,250
98	3,202	3,162	1,249
80	3,229	3,201	0,867
10	3,228	3,201	0,836
96	3,231	3,204	0,836
6	3,285	3,26	0,761
34	3,287	3,262	0,761
71	3,279	3,255	0,732

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
35	3,087	2,89	6,382
100	3,142	3,008	4,265
84	3,2	3,16	1,250
98	3,202	3,162	1,249
10	3,228	3,201	0,836
80	3,229	3,201	0,867
96	3,231	3,204	0,836
97	3,238	3,216	0,679
82	3,241	3,219	0,679
78	3,242	3,221	0,648

Tabla 5. Valores de tensión y porcentaje de descarga.

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor porcentaje de descarga y la figura de la derecha de menor a mayor tensión final.

Analizando las tensiones de las tablas aparecen dos baterías con porcentajes de descarga muy superiores al resto, a su vez éstas contienen los valores menores de tensión. Ambas baterías (la número 35 y 100) van a ser vigiladas con atención en los ensayos posteriores.

Cabe destacar la existencia de un módulo de medida del BMS (módulo 05) el cual nos proporciona datos erróneos. Por ello no se tendrán en cuenta en los posteriores análisis.

Además de los datos obtenidos durante el ensayo también se ve cómo actúan estas baterías cuando se encuentran en reposo. Para ello se añade la Tabla 6 donde la primera columna se corresponde con la tensión final del ensayo, la segunda con la tensión al inicio del siguiente ensayo y la tercera con el porcentaje de recuperación de cada una de las baterías.

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Recuperación
35	2,89	2,914	0,824
100	3,008	3,026	0,595
7	3,279	3,296	0,516
58	3,279	3,296	0,516
98	3,162	3,178	0,503
55	3,242	3,258	0,491
23	3,272	3,287	0,456
4	3,277	3,292	0,456
96	3,204	3,218	0,435
89	3,227	3,241	0,432

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Recuperación
35	2,89	2,914	0,824
100	3,008	3,026	0,595
84	3,16	3,172	0,378
98	3,162	3,178	0,503
10	3,201	3,213	0,373
80	3,201	3,214	0,404
96	3,204	3,218	0,435
97	3,216	3,229	0,403
82	3,219	3,232	0,402
78	3,221	3,234	0,402

Tabla 6. Valores de tensión y porcentaje de recuperación

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor porcentaje de recuperación y la figura de la derecha de menor a mayor tensión final.

Su porcentaje de recuperación es muy similar para todas las baterías, incluidas las baterías 35 y 100, cuyo porcentaje de descarga durante el ensayo era muy superior al resto. Al tener porcentajes de recuperación semejantes las baterías que contenían tensiones menores continúan del mismo modo, esto se ve en la figura de la derecha.

Los desequilibrios en esta situación no superan el 12%, como se observa en la tabla 7, donde se muestran las mayores diferencias en porcentaje de las tensiones después de esta recuperación.

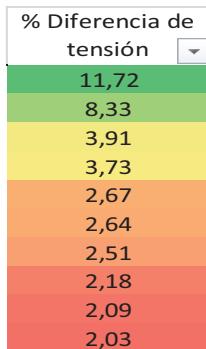


Tabla 7. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías

Prueba 2

La segunda prueba se divide en los siguientes intervalos:

Intervalo [380-895]: se realizan diez vueltas utilizando la marcha larga, con un límite de velocidad de 2000 rpm.

Intervalo [1000-1685]: se realizan diez vueltas utilizando la marcha corta, con un límite de velocidad de 2000 rpm.

Intervalo [2100-2365]: se realizan cinco vueltas utilizando la marcha corta, con un límite de velocidad de 4000 rpm.

Intervalo [2430000000-2720000000]: se realizan seis vueltas utilizando la marcha larga, con un límite de velocidad de 4000 rpm.

*** Todas ellas se realizan con control de par*

Entre cada uno de los distintos intervalos aparecen períodos donde el vehículo no está en movimiento, donde se realizan los cambios tanto de marcha como de límite de velocidad.

En esta situación se une una nueva variable, el cambio de marcha. La diferencia entre el uso de la marcha larga y la corta es la siguiente: la marcha corta nos aporta mayor potencia alcanzando mayores velocidades de giro del motor, mientras que la marcha larga nos permite alcanzar mayor velocidad con menor velocidad de giro del motor. Todo ello se ve en las figuras dos figuras siguientes:

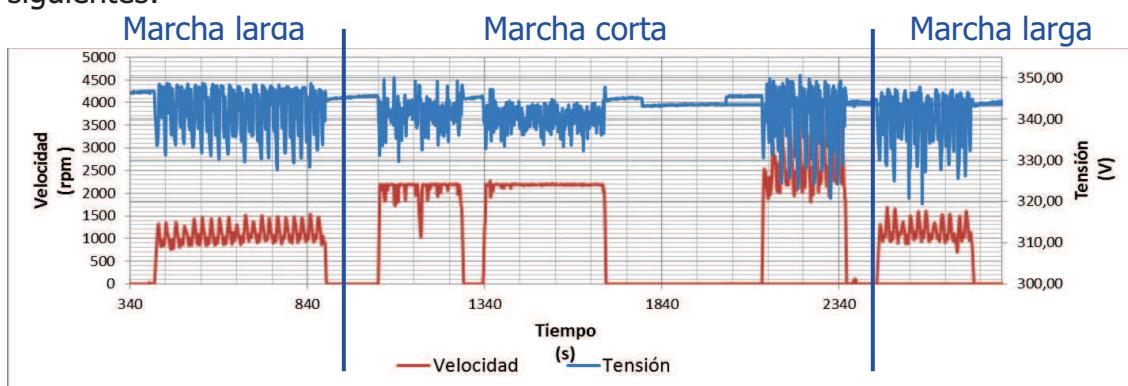


Figura 27. Curvas de la tensión y la velocidad de giro del motor frente al tiempo

En cuanto a la tensión de alimentación, si se usa la misma marcha sucede igual que en el ensayo anterior: si se experimenta un aumento de las revoluciones, descienden las tensiones de alimentación. En cambio si se comparan las velocidades respecto a la tensión de alimentación con una marcha distinta, no sucede exactamente esto. Al introducir una nueva variable las tensiones no son menores en los dos ensayos con mayores revoluciones, puesto que influyen otros factores.



Figura 28. Curvas de velocidad del vehículo frente a distancia recorrida

Además de lo ya comentado, en el segundo intervalo la curva de velocidad es prácticamente constante. Esto se debe a que al utilizar la marcha corta, que aporta altas revoluciones rápidamente, se alcanzó el límite de velocidad del motor, sin embargo la velocidad a la que nos movíamos no era demasiado alta, permitiendo realizar la vuelta sin apenas levantar el pie del acelerador.

Al hablar de energía eléctrica consumida no se aprecia una gran diferencia entre el uso de la marcha corta y larga.

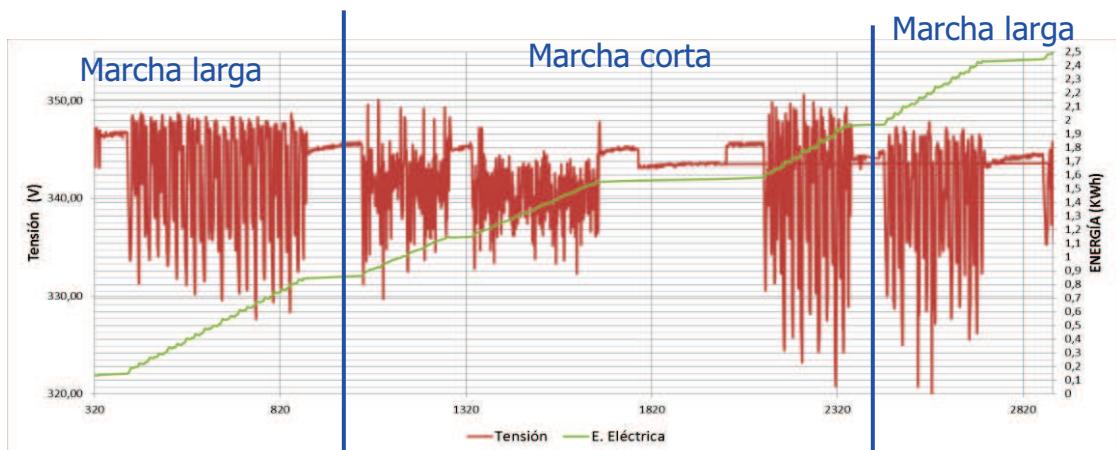


Figura 29. Curvas de la tensión y la energía eléctrica frente al tiempo

La energía consumida por vuelta para cada uno de los anteriores ensayos es la siguiente:

- 1) $0.817 - 0.144 = 0.673\text{KWh} \Rightarrow \textbf{0.0673KWh/vuelta}$
- 2) $1.549 - 0.864 = 0.685\text{KWh} \Rightarrow \textbf{0.0685KWh/vuelta}$
- 3) $1.964 - 1.579 = 0.385\text{KWh} \Rightarrow \textbf{0.077KWh/vuelta}$
- 4) $2.429 - 1.967 = 0.462\text{KWh} \Rightarrow \textbf{0.077KWh/vuelta}$

A continuación, en la Tabla 8 se muestran los efectos que han tenido estos cuatro ensayos sobre las baterías. Las dos baterías nombradas en el ensayo anterior siguen con la misma tendencia pero en aumento, alcanzando porcentajes de descarga en el caso de la batería número 35 del 24% y de la 100 del 16%. Anteriormente ninguna de ellas alcanzaba porcentajes del 7%. Además estas baterías tienen valores de tensión relativamente bajos con 2.1 y 2.5 voltios respectivamente. Por todo ello ambas continúan siendo vigiladas.

Tras los resultados de este último ensayo, se decide comenzar la vigilancia de las baterías 84 y 98, ya que poseen porcentajes de descarga similares a las anteriores en el primero de los ensayos realizados.

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
35	2,914	2,199	24,54
100	3,026	2,517	16,82
84	3,172	3,028	4,54
98	3,178	3,036	4,47
97	3,229	3,198	0,96
10	3,213	3,184	0,90
82	3,232	3,203	0,90
96	3,218	3,19	0,87
78	3,234	3,206	0,87
90	3,235	3,209	0,80

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
35	2,914	2,199	24,54
100	3,026	2,517	16,82
84	3,172	3,028	4,54
98	3,178	3,036	4,47
10	3,213	3,184	0,90
80	3,214	3,189	0,78
96	3,218	3,19	0,87
97	3,229	3,198	0,96
82	3,232	3,203	0,90
78	3,234	3,206	0,87

Tabla 8. Valores de tensión y porcentaje de descarga.

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor % de descarga y la figura de la derecha de menor a mayor tensión final.

En la Tabla 9 se añaden los datos de las baterías en el segundo periodo de reposo. En esta ocasión las baterías 35 y 100 son las que mayor porcentaje de recuperación experimentan. Ninguna excepto estas dos supera el valor del 1%.

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Recuperación
35	2,199	2,477	11,22
100	2,517	2,635	4,48
98	3,036	3,051	0,49
105	3,281	3,295	0,42
55	3,235	3,248	0,40
104	3,24	3,253	0,40
93	3,283	3,296	0,39
106	3,283	3,296	0,39
96	3,19	3,202	0,37
2	3,224	3,236	0,37

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Recuperación
35	2,199	2,477	11,22
100	2,517	2,635	4,48
84	3,028	3,038	0,33
98	3,036	3,051	0,49
10	3,184	3,194	0,31
80	3,189	3,199	0,31
96	3,19	3,202	0,37
97	3,198	3,209	0,34
82	3,203	3,212	0,28
78	3,206	3,214	0,25

Tabla 9. Valores de tensión y porcentaje de recuperación

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor % de recuperación y la figura de la derecha de menor a mayor tensión final.

Analizando los últimos resultados se observa una relación entre el porcentaje de descarga y el de recuperación, asumiendo que aquellas baterías que sufren mayores descargas, también sufren mayores porcentajes de recuperación. No obstante sus tensiones siguen estando por debajo del resto.

Todo lo anterior sigue el comportamiento habitual de este tipo de baterías descrito en el Subapartado *3.1.3 Importancia del equilibrado de las baterías conectadas en serie*.

A continuación se añade la tabla con las mayores diferencias en porcentaje de las tensiones después de esta recuperación:

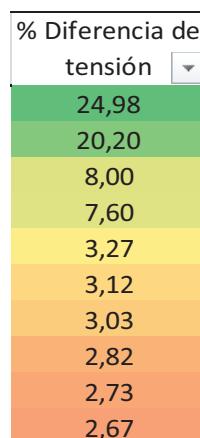


Tabla 10. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías

Es en este momento cuando se llevaría a cabo el equilibrado de las baterías según los porcentajes estimados en el Apartado 7, puesto que existen dos baterías que superan el 14%.

Prueba 3

La tercera prueba se divide en los siguientes intervalos:

Intervalo [320-650]: se realizan seis vueltas utilizando la marcha corta, utilizando el control de par y con un límite de velocidad de 4000 rpm.

Intervalo [1590-1970]: se realizan seis vueltas utilizando la marcha corta, con el modo control de velocidad y con un límite de velocidad de 4000 rpm.

Intervalo [2050-2440]: se realizan cinco vueltas utilizando la marcha larga, con el modo control de velocidad y con un límite de velocidad de 4000 rpm.

Intervalo [2800-3160]: se realizan seis vueltas utilizando la marcha larga, con el modo control de par y con un límite de velocidad de 4000 rpm

Entre cada uno de los distintos intervalos aparecen periodos donde el vehículo no está en movimiento, donde se realizan los cambios tanto de control como de marcha.

Al igual que en el caso anterior las mayores velocidades del motor se dan con la marcha corta. A su vez dentro de estas se dan mayores velocidades de giro del motor con el control de par. Lo mismo sucede con los dos ensayos de marcha larga.

En cuanto a la tensión de alimentación, si se usa la misma marcha sucede igual que en los ensayos anteriores que al aumentar las revoluciones se produce un descenso de la tensión de alimentación. Estos descensos son mayores para el control de par, puesto que el de velocidad está limitado con la señal introducida por el potenciómetro, nombrado en el Subapartado 3.2.2.

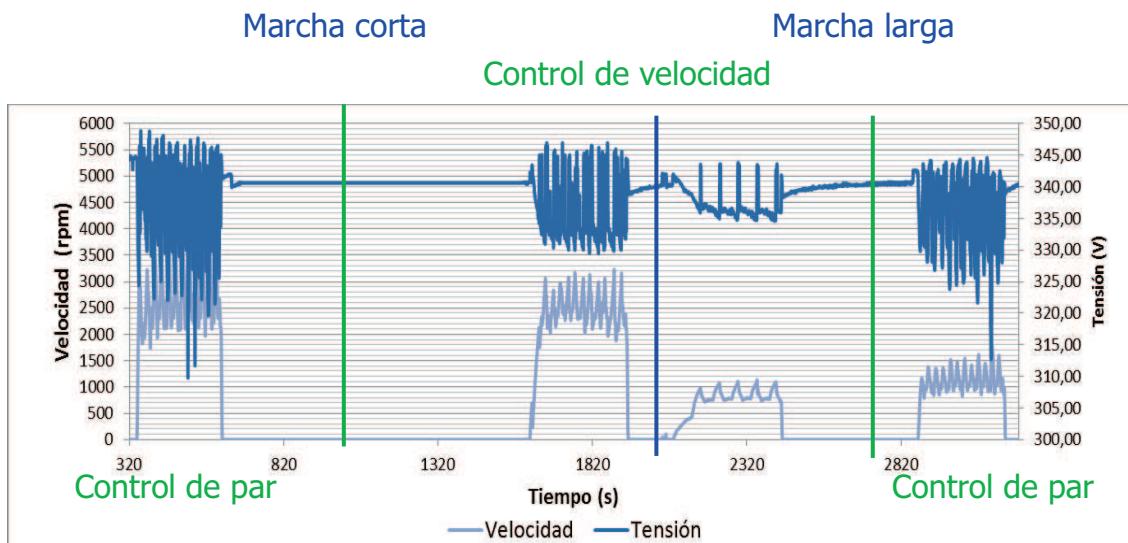


Figura 30. Curvas la tensión y la velocidad de giro del motor frente al tiempo



Figura 31. Velocidad del vehículo frente a distancia recorrida

** El primer ensayo no se grabó correctamente en esta aplicación.

En la figura 32, como sucedía en el caso anterior con el control de par, no se aprecia una gran diferencia en la energía consumida entre el uso de la marcha larga y corta. En cambio, con el control de velocidad sí se detecta un mayor consumo para la marcha corta.

En cuanto a la comparación de ambos controles con el uso de la misma marcha, las pendientes de mayor consumo de energía se dan para el control de par, puesto que la intensidad de descarga es mayor al no estar limitado el par como sucede en el control de velocidad.

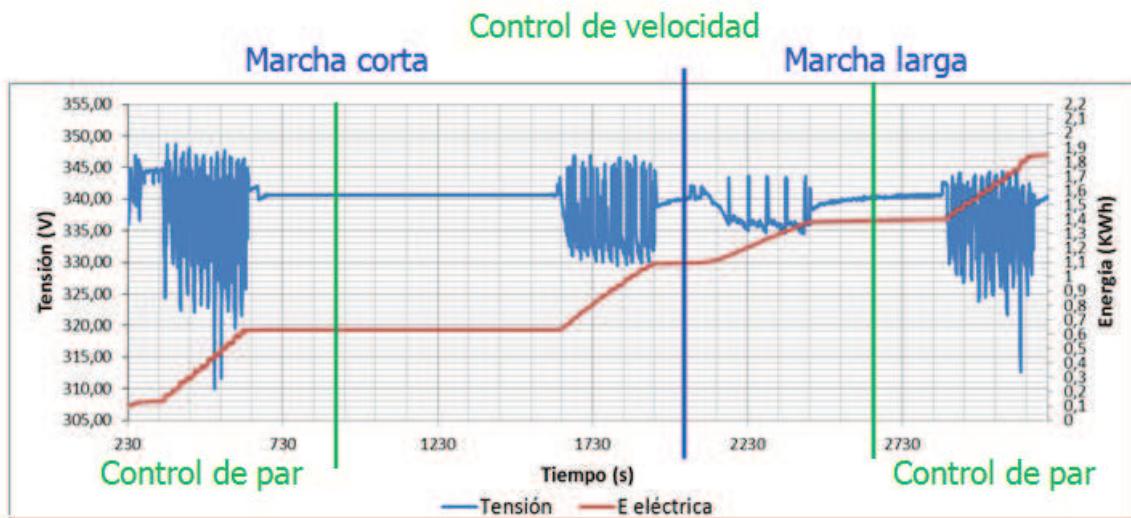


Figura 32. Curvas de la tensión y la energía eléctrica frente al tiempo

La energía consumida por vuelta para cada uno de los anteriores ensayos es la siguiente:

- 1) $0.627 - 0.132 = 0.494\text{KWh} \Rightarrow 0.082\text{KWh/vuelta}$
- 2) $1.091 - 0.631 = 0.46\text{KWh} \Rightarrow 0.076\text{KWh/vuelta}$
- 3) $1.373 - 1.108 = 0.2663\text{KWh} \Rightarrow 0.044\text{KWh/vuelta}$
- 4) $1.843 - 1.4 = 0.443\text{KWh} \Rightarrow 0.073\text{KWh/vuelta}$

Analizando los porcentajes de descarga, las baterías 35 y 100 siguen con la misma tendencia incrementada, alcanzando valores de tensión demasiado bajos, pudiendo incluso llegar a dañar las propias baterías permanentemente.

Como se ha mencionado las baterías no pueden bajar de un cierto valor de tensión, por lo que no es aconsejable seguir realizando ensayos de descarga del vehículo. Antes de que se produzcan daños en estas baterías se decide realizar un equilibrado del sistema de alimentación al completo. El procedimiento y modo de actuación del equilibrado se detalla en el siguiente apartado.

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
35	2,477	1,488	39,927
100	2,635	1,767	32,941
84	3,038	2,784	8,361
98	3,051	2,805	8,063
10	3,194	3,106	2,755
80	3,199	3,124	2,344
96	3,202	3,147	1,718
89	3,23	3,203	0,836
87	3,231	3,204	0,836
2	3,236	3,209	0,834

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
35	2,477	1,488	39,927
100	2,635	1,767	32,941
84	3,038	2,784	8,361
98	3,051	2,805	8,063
10	3,194	3,106	2,755
80	3,199	3,124	2,344
96	3,202	3,147	1,718
97	3,209	3,185	0,748
82	3,212	3,187	0,778
78	3,214	3,191	0,716

Tabla 11. Valores de tensión y porcentaje de descarga.

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor porcentaje de descarga y la figura de la derecha de menor a mayor tensión final

A continuación se añaden también los porcentajes de recuperación de tensión en reposo, los cuales siguen en la misma línea. Siendo las baterías 35 y 100 las que mayor porcentaje de recuperación experimentan, en este caso, su porcentaje de recuperación ha aumentado en mayor medida que su porcentaje de descarga. En concreto el porcentaje de recuperación se ha modificado del 6.8 y 4.5% al 32 y 24%, por su parte el porcentaje de descarga ha sufrido una variación del 24 y 16% al 39 y 32%

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Recuperación
35	1,488	2,198	32,302
100	1,767	2,35	24,809
98	2,805	2,833	0,988
84	2,784	2,809	0,890
21	3,279	3,293	0,425
96	3,147	3,16	0,411
2	3,209	3,221	0,373
55	3,225	3,237	0,371
68	3,279	3,291	0,365
103	3,279	3,291	0,365

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Recuperación
35	1,488	2,198	32,302
100	1,767	2,35	24,809
84	2,784	2,809	0,890
98	2,805	2,833	0,988
10	3,106	3,116	0,321
80	3,124	3,135	0,351
96	3,147	3,16	0,411
97	3,185	3,196	0,344
82	3,187	3,197	0,313
78	3,191	3,202	0,344

Tabla 12. Valores de tensión y porcentaje de recuperación

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor % de recuperación y la figura de la derecha de menor a mayor tensión final.

A continuación se añade la tabla con las mayores diferencias en porcentaje de las tensiones después de esta recuperación. Estos valores se corresponden con los posteriormente nombrados a la hora de resumir todos estos ensayos, Tabla 14:

% Diferencia de tensión
33,39
28,79
14,88
14,15
5,58
5,00
4,24
3,15
3,12
2,97

Tabla 13. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías

Tras analizar todas las pruebas hasta llegar a esta situación se diferencia dos tipos de baterías, aquellas que poseen valores de comportamiento normales y las que no.

Las baterías que no tienen un comportamiento normal aumentan tanto su porcentaje de descarga como su porcentaje de recuperación, éste último en mayor medida. Dentro de este grupo se encuentran la número 35 y 100, la 98 y 84 presentan comportamientos similares pero de forma menos acentuada.

El resto de baterías tienen un comportamiento aceptable. En ellas los porcentajes de descarga y recuperación son mucho menores, pudiendo ser usadas durante mayor tiempo sin la necesidad de tener que llevar a cabo algún mantenimiento especial.

Las diferencias comentadas dan lugar a desequilibrios, como se observa en la figura 33.

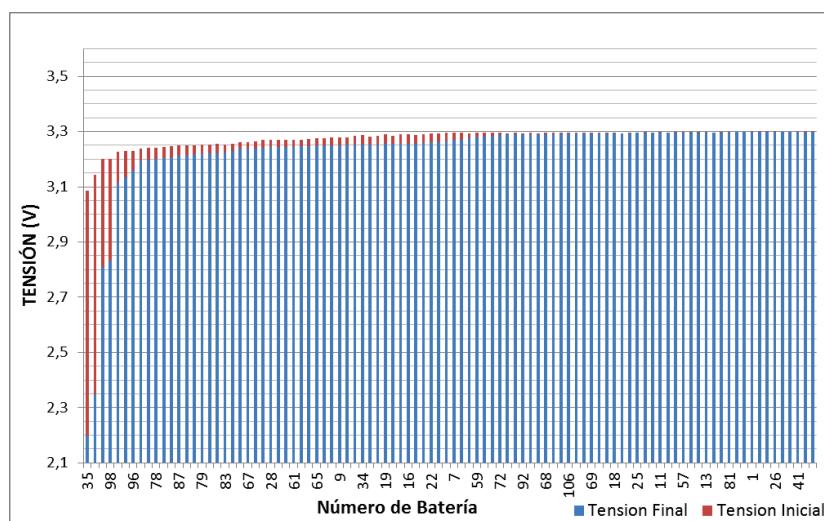


Figura 33. Representación de las tensiones de cada batería al principio y al final del ensayo. Ordenados de menor a mayor tensión final

Tras una serie de cálculos se comprueba que la diferencia en porcentaje de las tensiones de cada batería no supera el 10% en la mayoría de los casos. Sin embargo aparecen baterías que si superan este valor y sobre las que se plantea la realización de un equilibrado como solución.

% Diferencia con la tensión máxima
33,394
28,788
14,879
14,152
5,576
5,000
4,242
3,152
3,121
2,970

Tabla 14. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías

A partir de todos estos resultados se elaborará un procedimiento de actuación, detallado en el Apartado 7.

6.2 Análisis de las baterías de tracción durante la carga

Al igual que en la descarga, se estudian los valores de las tensiones en la carga.

En la siguiente tabla, la primera columna se corresponde con el número de batería, la segunda la tensión inicial antes de la carga, la tercera la tensión al final de la carga y la última el porcentaje de carga experimentado:

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Carga
17	3,289	3,599	9,425
1	3,292	3,6	9,356
3	3,292	3,6	9,356
14	3,29	3,589	9,088
26	3,292	3,587	8,961
102	3,292	3,579	8,718
15	3,289	3,56	8,240
10	3,08	3,318	7,727
13	3,29	3,539	7,568
81	3,101	3,316	6,933

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Carga
1	3,292	3,6	9,356
3	3,292	3,6	9,356
17	3,289	3,599	9,425
14	3,29	3,589	9,088
26	3,292	3,587	8,961
102	3,292	3,579	8,718
15	3,289	3,56	8,240
13	3,29	3,539	7,568
18	3,286	3,454	5,113
24	3,289	3,453	4,986

Tabla 15. Tablas con valores de las tensiones antes y después de la carga

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor porcentaje de carga y la figura de la derecha de mayor a menor tensión al final de la carga.

Se añade el siguiente gráfico donde se ven tanto las tensiones antes, como después de la carga y los distintos desequilibrios

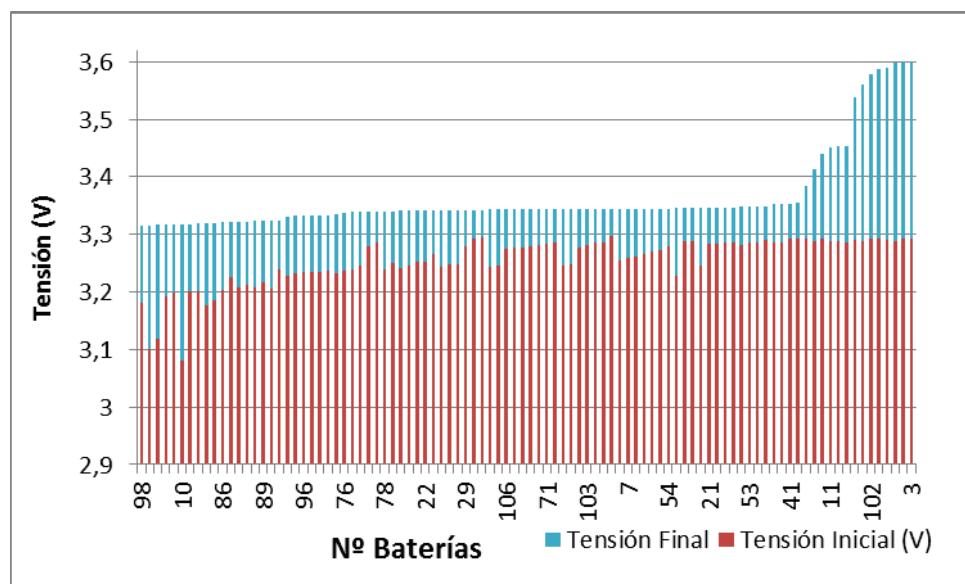


Figura 34. Representación de las tensiones de cada batería al principio y al final de la carga. Ordenadas de menor a mayor tensión final

Se añade la diferencia en porcentaje de las tensiones de las diferentes baterías. Sólo se muestran las baterías con un mayor valor de este porcentaje: Tras el equilibrio y la carga realizados estas baterías no superan el valor del 10% de diferencia entre ellas. Este porcentaje resulta aceptable. (Ver tabla 16)

% diferencia tensión
Máxima
9,178
9,151
9,123
9,123
9,123
9,096
9,096
9,068
9,041
9,041

Tabla 16. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías

6.3 Análisis de los ensayos después de la carga

En esta prueba, como se ha comentado por la pérdida de los datos del software del controlador, sólo se muestran los valores obtenidos gracias a la aplicación Sports – Tracker y los valores de las tensiones de las baterías, al inicio y al final de la prueba.

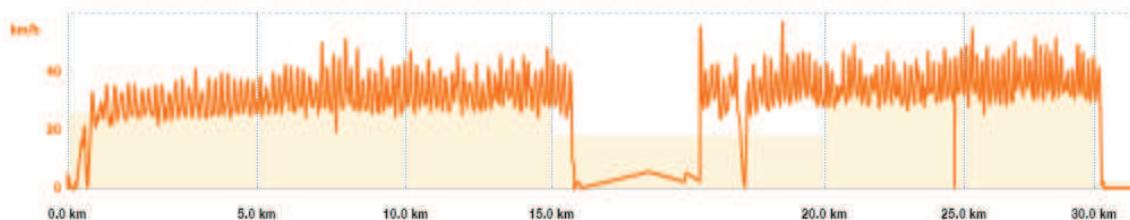


Figura 35. Velocidades del vehículo frente a distancia

La principal diferencia con los ensayos iniciales, es que en este caso las baterías de tracción se encuentran equilibradas y cargadas, por lo que la prueba es de mayor duración, recorriendo durante una hora y diez minutos una distancia de 30Km, datos obtenidos gracias a la aplicación Sports- Tracker. En la prueba se ha circulado con el control de par y con la marcha larga, ya que eran las dos características que aportaban la mayor velocidad del vehículo.

Tras la realización de dicho ensayo se añaden los datos de la tensión inicial, final y el porcentaje de descarga en la Tabla 17:

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
26	3,599	3,323	7,669
17	3,599	3,323	7,669
1	3,6	3,326	7,611
3	3,6	3,328	7,556
14	3,578	3,323	7,127
102	3,579	3,324	7,125
15	3,56	3,321	6,713
13	3,539	3,323	6,103
24	3,453	3,324	3,736
18	3,454	3,326	3,706

Batería	Tensión Inicial (V)	Tensión Final (V)	% Descarga
37	3,356	3,331	0,745
3	3,6	3,328	7,556
39	3,384	3,328	1,655
41	3,353	3,328	0,746
36	3,349	3,328	0,627
54	3,346	3,328	0,538
64	3,346	3,327	0,568
1	3,6	3,326	7,611
18	3,454	3,326	3,706
5	3,44	3,326	3,314

Tabla 17. Valores de tensión y porcentajes de descarga

** La figura de la izquierda se encuentra ordenada de mayor a menor porcentaje de descarga y la figura de la derecha de menor a mayor tensión final

Se muestra el siguiente gráfico donde se ven tanto las tensiones antes, como después del ensayo de descarga. Aparecen ordenadas de menor a mayor tensión final:

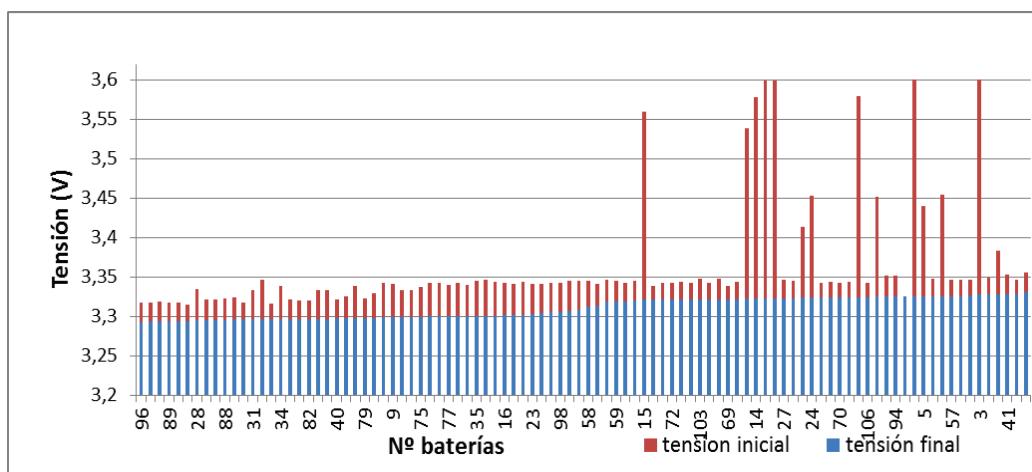


Figura 36. Representación de las tensiones de cada batería al principio y al final del ensayo. Ordenados de menor a mayor tensión final

Visto los porcentajes, ninguna batería ha experimentado grandes valores de descarga. Tampoco las diferencias de tensión son amplias. En este caso no se tomaría ninguna decisión de equilibrado.

% Diferencia
1,141
1,111
1,111
1,111
1,111
1,111
1,081
1,081
1,081
1,081

Tabla 18. Mayores diferencias en porcentaje de la tensión del conjunto de baterías

7. EQUILIBRADO DE BATERÍAS

Tras los resultados obtenidos en los análisis de sensibilidad se detecta la gran importancia del comportamiento uniforme de las baterías, de modo que cuando una batería limite la descarga o bien la carga, las demás tengan valores de tensión similares.

7.1 Procedimiento de equilibrado de baterías y carga completa

Para solucionar los problemas y/o limitaciones del uso del conjunto de baterías que provocan los desequilibrios, se estudia la mejor manera de actuación ante ellos.

- Lectura de los valores de tensión ofrecidos por el BMS. Comprobación de que la lectura del BMS es la correcta midiendo a su vez con el polímetro la tensión de las baterías. Se corresponde con el *ANÁLISIS DE LA TENSION DE LAS BATERÍAS* en el esquema, éste es recomendable realizarlo periódicamente.

- I. Se estima un valor a partir del cual una batería debe ser igualada al resto. Para ello se toma como referencia el valor máximo del conjunto, y en el caso de que esta diferencia supere por ejemplo el 14%, se realizará su carga.

**Como resultado de este valor se tendría que haber realizado el equilibrado un ensayo antes de lo que realmente se hizo, y de este modo no se habría llegado a la situación de interrupción del ensayo por tensiones excesivamente bajas.

- II. Existen baterías que superan este valor alcanzando porcentajes de diferencia superiores al 30%. Con los análisis posteriores no se llega a demostrar que estas baterías actúen con la misma tendencia. Como consecuencia la decisión de cambiar una de estas baterías por una nueva se va a tomar de una forma conservadora, es decir, se sustituye por una nueva cuando se alcancen porcentajes de diferencia del 40% durante dos descargas consecutivas.

- Para ambas circunstancias se localiza su posición en el vehículo. Para ello se usará el plano del Anexo D2 "*Distribución de los módulos de baterías*", donde aparece la conexión y situación de cada una de ellas.

- I. Para la opción I: CARGA DE LA BATERÍA, se tiene en cuenta la tensión a la que se ha de cargar la batería. Se toma como valor de dicha tensión la máxima del módulo al que pertenece la batería.

Una vez realizado los dos pasos anteriores se procede a su carga. Ver detalladamente en el Apartado 7.2.1, "Protocolo de carga".

- II. Para la opción II: INTERCAMBIO DE LA BATERÍA, puesto que la batería nueva tiene la tensión máxima, el cambio de batería implica la carga completa del sistema de alimentación.

** Este proceso tendrá lugar cada vez que tras un análisis al sistema de alimentación al completo aparezcan diferencias de tensión superiores al 14%.

- Una vez las diferencias de tensión sean menores del 14%, se puede optar, o bien por la carga completa del vehículo o bien por seguir con la descarga desde este punto.
 - I. Carga completa de las 106 baterías por medio del cargador trifásico. Ver todas las características del cargador trifásico en el Anexo D "*Manual del cargador trifásico*" y en el Apartado Carga del vehículo.
 - II. La otra opción es continuar con la descarga, en el caso de que el resto de baterías aun dispongan de una gran capacidad.

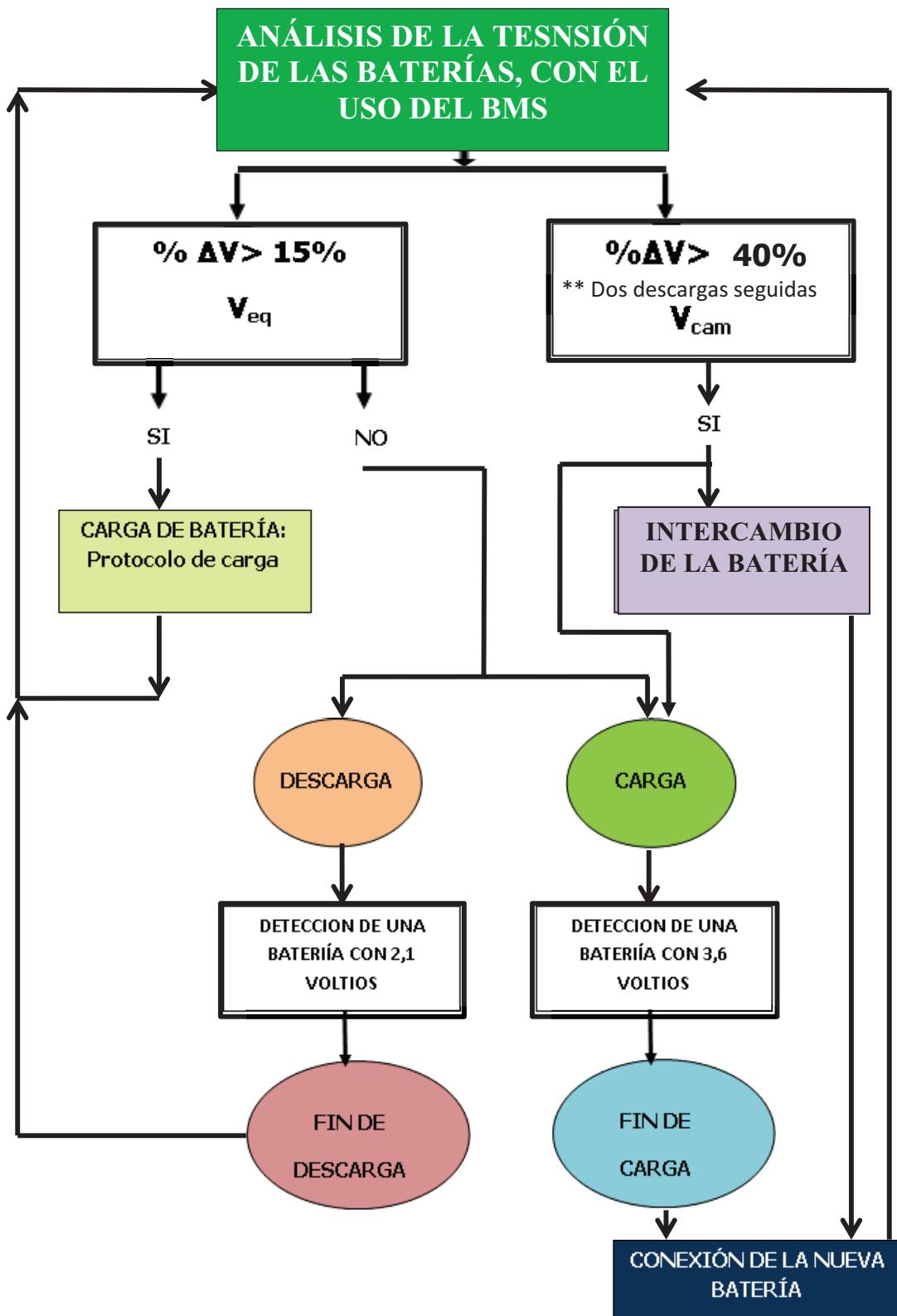


Figura 37. Esquema del procedimiento a seguir al realizar el equilibrado

7.2 Carga de las baterías

En este estudio va a tener lugar la carga de aquellas baterías, que tras la realización de la primera parte de los ensayos, han sufrido mayores descargas. Se encuentran en esta situación las baterías número 35, 100, 84 y 98. Vistos los análisis y el procedimiento de equilibrado, éste tendría que haberse llevado a cabo un ensayo antes, y sólo hubiera sido necesario hacerlo con las baterías 100 y 35, que superaban en ese momento el valor indicado en dicho procedimiento.

Tras la realización de la carga de las baterías nombradas, se elabora el siguiente protocolo de actuación a seguir:

7.2.1 Protocolo de carga

Para realizar la carga de una batería o bien de una serie de baterías se seguirán los siguientes pasos:

1. *Preparación de la fuente de alimentación*



Figura 38. Fuente de alimentación

Se utiliza una fuente con tres salidas, en este caso sólo se usan las salidas 1 y 2. Ambas poseen voltaje de salida ajustable de 0 a 30 voltios, y salida de corriente ajustable de 0 a 5 amperios. El resto de características se puede ver en el Anexo I “Manual de la fuente de tensión utilizada”.

Primero se ajusta la intensidad siguiendo los siguientes pasos. Se comienza dando un valor a la tensión entre 3 y 5 voltios, ya que no es posible realizar este paso con una tensión nula. Seguidamente se realiza un cortocircuito, uniendo mediante un cable, el terminal positivo con el negativo de la salida que se vaya a utilizar. Se rotará la ruleta de control de tensión hasta que el indicador CC (constant current), se ilumine. Ahora si se ajusta la corriente según nuestras necesidades. En nuestro caso se han cargado las baterías a una intensidad de 9 Amperios. Una vez ajustada la corriente se introduce el valor de tensión a alcanzar a circuito abierto, con ello se limita la tensión. Esta tensión como se ha comentado en el Apartado 7.1, se corresponde con la máxima

tensión del módulo al que pertenece la batería a cargar. Con todo ello se obtiene el ajuste de la fuente. Se finaliza con su desconexión, apagándola para que no se produzca ninguna variación al realizar los siguientes pasos.

La fuente se puede conectar de dos modos distintos, en serie y en paralelo. La elección de una u otra se toma una vez se haya calculado el número de baterías que vayan a ser cargadas al mismo tiempo. Sólo se cargarán una serie de baterías a la vez en el caso de que se encuentren conectadas seguidamente.

1.A En el caso de que el número de baterías no supere la cifra de ocho baterías la conexión será en paralelo

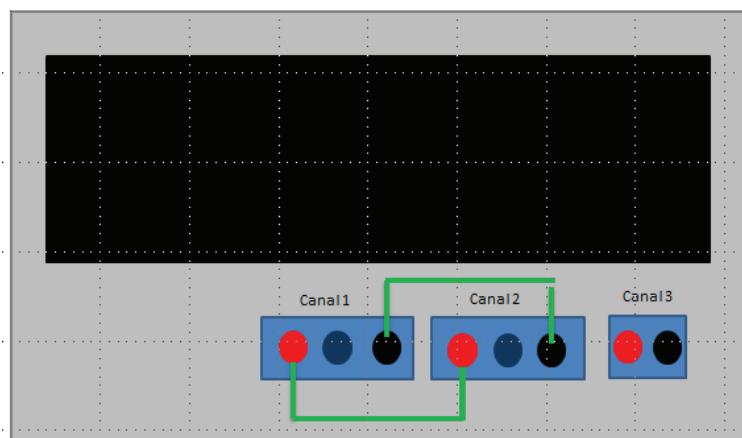


Figura 39. Conexión de la fuente en paralelo

Este esquema se corresponde con la conexión de la foto real de la figura 38. En la conexión en paralelo se une la salida positiva del canal 1 con la salida positiva del canal 2, lo mismo se hace con las salidas negativas. Y el control de la fuente se realiza con la ruleta del canal 2.

De este modo se consigue una intensidad de hasta 10 amperios y una tensión de 30 voltios. Es esta tensión la que nos condiciona el número de baterías que se pueden cargar a la vez.

1.B En el caso de que número de baterías a cargar se encuentre por encima de ocho baterías y no supere las 16 baterías la conexión será en serie.

En la conexión en serie se conectan el positivo del canal 1 con el negativo del canal 2. Y se controla con la ruleta del canal 2 como en el caso anterior, ver figura 40.

De este modo se obtienen tensiones de hasta 60 voltios, con una intensidad de 5 amperios. La carga en este modo necesitará más tiempo, al no alcanzar intensidades tan altas como en la conexión en paralelo.

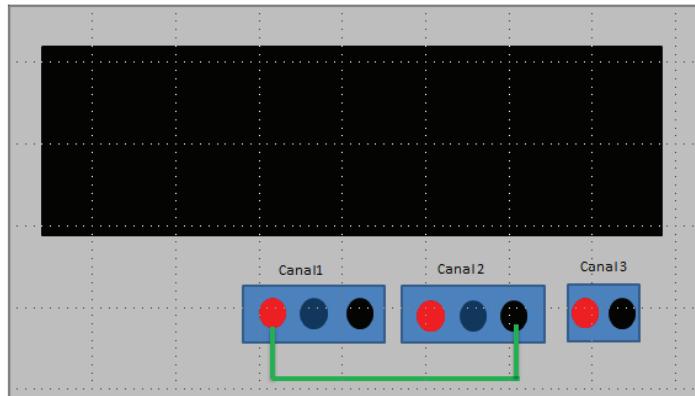


Figura 40. Conexión serie de la fuente

Además para una mayor seguridad se incorpora un mecanismo de protección. Este mecanismo se trata de un interruptor que conecta en uno de sus extremos con la fuente y en el otro con los bornes de la batería. Su finalidad trata de poder comprobar que todo está correcto, es decir, que las tensiones a un lado y a otro, son la introducida a la fuente y la que posee la batería a cargar.

Este interruptor se encontrará abierto durante todo el proceso hasta que se haya comprobado que todo funciona bien, en el Paso 4.

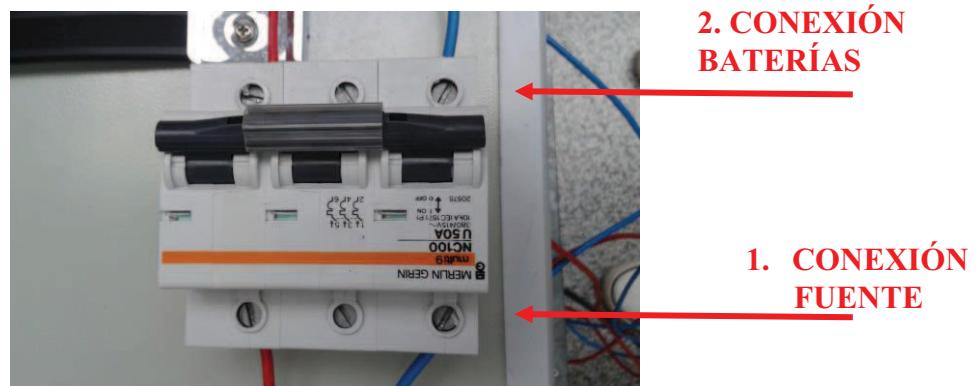


Figura 41. Interruptor

2. Aislamiento de la o las baterías a recargar

Existen los siguientes dos tipos de baterías:

Primera batería de cada módulo. La primera batería de cada módulo conecta directamente los bornes positivo y negativo con el módulo de tensión del BMS, para poder calcular su tensión.

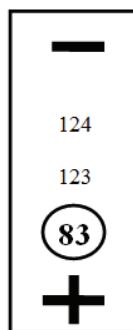


Figura 42. Primera batería módulo 09 (83)

Resto de baterías. El resto de baterías conectan solamente el borne negativo con el módulo de tensión. En este caso se mide la tensión por diferencia respecto a la primera.

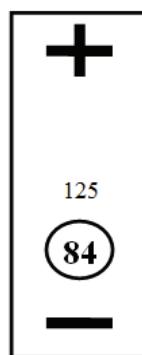


Figura 43. Segunda batería módulo 09 (84)

Una vez explicado lo anterior, existen las siguientes cuatro combinaciones posibles:

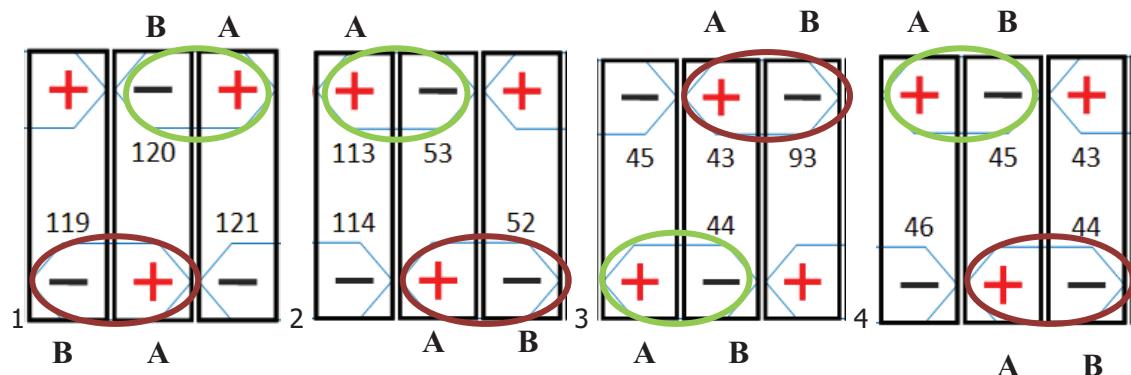


Figura 44. Combinaciones posibles de una batería

- 1. Se empieza siempre por desconectar el borne negativo de la batería a cargar, ver número 1 en la Figura 44.**

1

Esta desconexión sigue el siguiente orden:

- A) Se comienza con el borne positivo, de la batería que conecta con el negativo de la deseada**

- 1) Se elimina el protector rojo (positivo) de la batería.



Figura 45. Protector borne positivo

- 2) Posteriormente se aflojará la tuerca y se quitará el tornillo con herramienta aislada eléctricamente y guantes de protección.

** Sólo en la situación 2 de la figura superior, se tendrá en cuenta que existe un cable de medida, que conecta la batería con el módulo de tensión del BMS. Este cable tendrá que ser recordado a la hora de la conexión final. Para los demás casos no aparece este cable.

- 3) A continuación se levanta la pletina de este borne, esto es posible tras eliminar tanto la tuerca como el tornillo.



Figura 46. Pletina de cobre

- 4) Seguidamente se protege la pletina con un capuchón (ver figura 47). Su finalidad es la protección, evitando que se produzcan contactos al realizar esta misma operación con el borne negativo de nuestra batería.



Figura 47. Capuchón

5) Para terminar se incorpora de nuevo el protector. Para ello es necesario introducir el tornillo con su tuerca, utilizando las mismas protecciones que se han usado en el paso 2).

B) El segundo paso es desconectar el borne negativo de nuestra batería

1) Se elimina el protector negro (negativo).



Figura 48. Protectores borne negativo

2. Posteriormente se afloja la tuerca y se quitará el tornillo, con el uso de la herramienta aislada eléctricamente y los guantes de protección. Con cuidado de no mover la pletina, que ya se encuentra suelta del otro extremo.

** En todas las combinaciones, aparecerá el cable de media que conecta directamente con el módulo de tensión del BMS. Se debe recordar la existencia de este cable a la hora de realizar su reconexión.

3. A continuación se levanta la pletina desde este borne. Ahora se debe extraer y así conseguir su desconexión.

4. Se incorpora de nuevo el protector, para ello en necesario introducir el tornillo con su respectiva tuerca. Utilizando las mismas protecciones que se han usado en el paso 2).

5. El siguiente paso es desconectar el borne positivo de la batería a cargar, ver Figura 44. 2

A) Se comienza con el borne positivo de la batería a cargar.

Mismo procedimiento realizado en el paso 1.A. Salvo la siguiente excepción:

** Sólo en la situación 3 de la figura superior, se tendrá en cuenta la existencia del cable de medida que conecta la batería con el módulo de tensión del BMS. Este cable tendrá que ser recordado a la hora de la conexión final. En el resto de los casos no aparece dicho cable.

B) Borne negativo de la batería que conecta con el positivo de nuestra batería

Mismo procedimiento realizado en el paso 1.B.

3. Conexión de la batería a la fuente

Se distinguen dos conexiones: la del interruptor con la batería y la del interruptor con la fuente. En la primera unión se actúa de la misma manera independientemente de cómo se conecte la fuente.

Unión batería-interruptor

** Se trabaja con el interruptor abierto.

1. Se elimina el protector de plástico rojo
2. Se suelta el tornillo, que va al borne positivo. Y se atornilla introduciendo el cable de carga positivo 1, ver figura 49.
3. Añadimos de nuevo el protector correspondiente.
4. Se elimina el protector de plástico negro.
5. Destornillar el tornillo que va al borne negativo. Y se atornilla introduciendo el cable de carga negativo 1, ver figura 49.
6. Añadimos de nuevo el protector correspondiente.

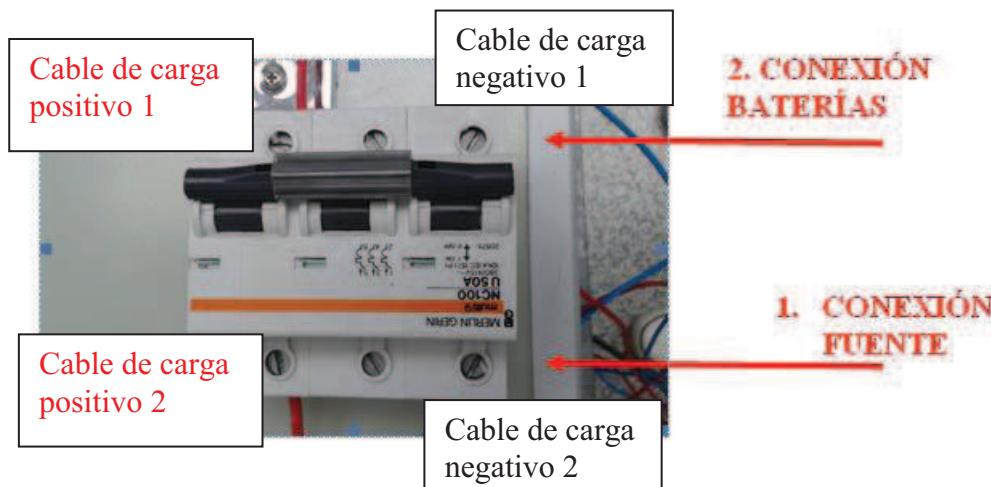


Figura 49. Cables que contiene el interruptor de protección

Unión interruptor-fuente

En este caso sí que se diferencia dependiendo el tipo de conexión de la fuente.

3.A Conexión en paralelo

En este modo se conecta el cable de carga negativo 2 (ver figura 49) con la salida negativa del canal dos de la fuente. Y lo mismo con el cable de carga positivo 2, es decir, a la salida positiva del canal dos.

3.B Conexión será en serie

En este modo se conecta el cable de carga negativo 2 (ver figura 49) con la salida negativa del canal uno de la fuente. Y lo mismo con el cable de carga positivo 2, es decir, a la salida positiva del canal dos.

4. Comprobación

Una vez realizado todo lo anterior, se comprueba su correcto funcionamiento. Es necesario observar la lectura de las tensiones a ambos lados del interruptor, con ayuda del polímetro. La tensión medida en el interruptor, en el lado de la fuente (1, Figura 49), se debe corresponder con la tensión introducida en ella, y en el lado de la batería (2, Figura 49), se corresponder con la tensión de la batería antes del inicio de la carga. Una vez el resultado de la comprobación es positivo se acciona el interruptor permitiendo el inicio de la carga.

5. Proceso Carga

Este tipo de batería se puede cargar de dos maneras distintas, la carga rápida y la carga convencional. Esta última será la que se realizará en este trabajo.

Carga rápida

Se caracteriza como su nombre indica por la rapidez con la que la batería realiza la carga. Sin embargo de este modo no se alcanza el 100% de la carga, sino el 95%. Su principio se basa, en una carga a intensidad constante durante todo el proceso.

Carga convencional

Se trata de un método simple de carga que concede buenos resultados, siempre y cuando los límites de corriente y tensión estén bien definidos. La carga empieza a corriente constante hasta alcanzar una determinada tensión, en los polos de la batería (U_{set}). A partir de ese momento, la carga continua a tensión constante y variando la intensidad, la cual va reduciendo hasta llegar a un valor (I_{set}), en el cual se considera que la batería está completamente cargada.

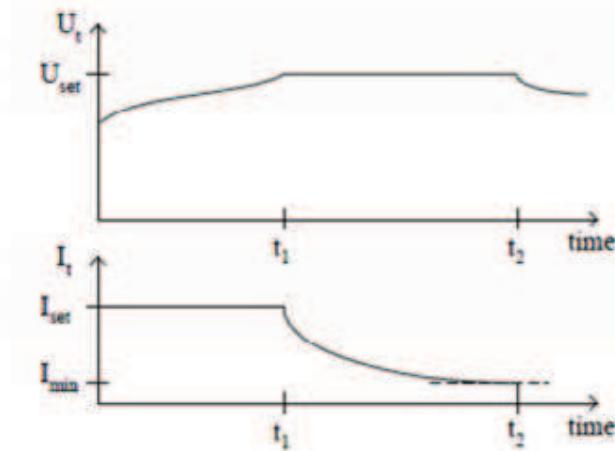


Figura 50. Método de carga a tensión y corriente constante^[2]

Además de tener en cuenta estas dos maneras de carga, una batería de LiFePO4 como se ha visto en el Subapartado 3.1.1 *Especificaciones concretas de las baterías*, son sensibles a altas temperaturas y tienen limitada la intensidad de carga. Por ello debe ser cargada en un entorno que no supere los 45°C y a una intensidad menor de 54A.

6. Finalización de la carga y su desconexión

Se procede de forma inversa a la conexión de la batería a la fuente. Pero en este caso sólo se realiza la desconexión del interruptor a la batería.

Unión batería-interruptor

** Se trabaja con el interruptor abierto.

1. Se elimina el protector de plástico rojo
2. Se suelta el tornillo, que va al borne positivo. Se elimina el cable de carga positivo 1, ver figura 49, y se vuelve a atornillar sin él.
3. Añadimos de nuevo el protector correspondiente.
4. Se elimina el protector de plástico negro.
5. Destornillar el tornillo que va al borne negativo. Se elimina el cable de carga negativo 1, ver figura 49, y se vuelve a atornillar sin él.
6. Añadimos de nuevo el protector correspondiente.

7. Re-conexión

Se va actuar de modo inverso a la desconexión.

1. Se comienza por desconectar el borne positivo de batería cargada, ver Figura 44.

2

A) Borne negativo de la batería contigua

Mismo procedimiento que el llevado en el paso 2.B de la desconexión. Excepto lo siguiente:

** En todas las combinaciones, recordar introducir el cable de medida de conexión con el módulo de tensión del BMS.

B) Borne positivo de la batería cargada

Mismo procedimiento que el llevado en el paso 2.A de la desconexión. Excepto lo siguiente:

** Sólo en la situación 3, se tendrá en cuenta la existencia del cable de medida que conecta la batería con el módulo de tensión del BMS.

2. Se continúa desconectando el borne negativo de la batería cargada, ver número 1 en la Figura 44.

1

A) Borne negativo de la batería cargada

Mismo procedimiento que el llevado en el paso 1.B de la desconexión. Excepto lo siguiente:

** En todas las combinaciones, recordar introducir el cable de medida de conexión con el módulo de tensión del BMS.

B) Borne positivo de la batería contigua

Mismo procedimiento que el llevado en el paso 1.A de la desconexión. Excepto lo siguiente:

** Sólo en la situación 2, se tendrá en cuenta la existencia del cable de medida que conecta la batería con el módulo de tensión del BMS.

8. OBJETIVOS TRANSVERSALES

A lo largo del proyecto se han podido sacar otras conclusiones en base a las situaciones a las que hemos tenido que enfrentarnos:

1. En la realización de los primeros ensayos se pudo ver que las temperaturas aumentaban poniendo en compromiso el sistema motor controlador. Este problema se solucionó comprobando el funcionamiento de la bomba de refrigeración. Sin embargo, en uno de los ensayos se comprobó que al estar un periodo de tiempo con el vehículo en movimiento sin el uso de la bomba, las temperaturas aumentaron, y a pesar de su posterior puesta en marcha no se consiguieron disminuir las temperaturas, tan solo mantenerlas. A parte de ello si se enciende la bomba en movimiento del vehículo no se oye si ésta realmente está encendida o no. Por todo ello se plantean mejoras, como implantar algún tipo de mecanismo que encienda la bomba de manera automática a través del autómata y aprovechar la salida del autómata para indicar su encendido.
2. En uno de los ensayos se produjeron fallos con el registro de los datos del controlador en el ordenador. Por ello en la Hoja de ensayos se ha introducido una nota para recordar que el fichero no se puede guardar en la carpeta del controlador. (Ver anexo H). Se ha introducido un ejemplar de esta hoja dentro del vehículo con las medidas adecuadas para su cómoda utilización.



Figura 51. Hoja de ensayos situada en el salpicadero

3. Con este trabajo se ha conseguido actualizar el Protocolo de ensayo de proyectos anteriores gracias a las incidencias que han ido surgiendo. (Ver anexo G).

9. CONCLUSIONES

9. 1 Conclusiones

Antes de introducirse en el estudio en sí, se han revisado los trabajos realizados anteriormente sobre el vehículo y en especial sobre el sistema de alimentación. Asimismo una larga documentación de los manuales de cada uno de los sistemas empleados.

Después de realizar todas las tareas de este trabajo se ha conseguido el objetivo principal: analizar el comportamiento del sistema de alimentación del vehículo, y diseñar la mejor manera de actuación ante los posibles desequilibrios que surjan en dicho sistema. Sin embargo este procedimiento queda abierto a mejoras que se puedan obtener tras la realización un mayor número de ensayos.

A lo largo de la realización de este trabajo se han tenido que resolver problemas que han ido apareciendo al margen del objetivo principal. Entre ellos se encuentra la anteriormente explicada conexión de la bomba de refrigeración, surgieron problemas con las baterías auxiliares que no conseguían alimentar al autómata con la tensión necesaria, puesto que no se encontraban en perfecto estado. Por ello se ha modificado el Protocolo de ensayo incluyendo la comprobación de éstas antes del inicio del vehículo.

A partir de los ensayos de conducción del vehículo y su correspondiente análisis se pueden extraer las siguientes conclusiones:

En cuanto a la tensión de alimentación en relación a la velocidad de giro:

- Con el uso de la misma marcha, cuando la velocidad de giro aumenta la tensión de alimentación disminuye al necesitar mayor corriente de descarga.

En cuanto a la velocidad de giro del motor, respecto la marcha y el tipo de control:

- El vehículo alcanza mayores velocidades de giro del motor con la marcha corta.
- A su vez las mayores revoluciones del motor se dan con el control de par, puesto que en el caso del control de velocidad el par está limitado por el valor de un potenciómetro.

En relación a la energía consumida se concluye:

- La pendiente de la energía consumida es mayor para el uso del control de par, puesto que hay mayor intensidad de descarga.
- Las diferencias entre la marcha larga y corta no son significativas en el control de par, el más habitual. Sin embargo sí se aprecia en el control de velocidad un aumento de estas energías con la marcha corta.

Respecto al comportamiento del conjunto de baterías que forman el sistema de alimentación, se pudo comprobar la existencia de desequilibrios, es decir, no todas las baterías se comportan de la misma manera. Este punto es de gran importancia porque éstos limitan la actuación del conjunto al completo. Con los datos obtenidos se ha elaborado un modo de actuación para corregir estos desequilibrios, de modo que influyan lo menos posible al conjunto. Inicialmente se ha estimado un valor a partir del cual se debe realizar la igualación en las baterías y otro para la sustitución de las mismas. Estos valores se ajustarán en el futuro tras un mayor número de ensayos.

Para la eliminación de desequilibrios se ha elaborado un protocolo de carga, donde se detallan todos los pasos a seguir para evitar riesgos eléctricos.

Sumado a todo ello se obtienen otra serie de objetivos adicionales a raíz de las situaciones experimentadas. Debido a ello se realizan mejoras sobre el protocolo elaborado anteriormente, se ha modificado la Hoja de ensayo.

9.2 Líneas de futuro y posibles continuaciones

Tras los análisis realizados se detectan posibles mejoras en distintos sistemas del vehículo, como puede ser el sistema de refrigeración, el cual no es capaz de bajar la temperatura sino que mantiene la que hay. Queda pendiente por lo tanto, la realización del correcto dimensionado de este sistema.

Realización de un mayor número de ensayos para obtener unos valores lentes más precisos, tanto para la igualación como la sustitución de las baterías.

Se pueden realizar otro tipo de ensayos variando el circuito, para alcanzar por ejemplo mayores velocidades, o variando la pendiente entre otros.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alejandro Horcas, 2015, Estudio de parámetros de las prestaciones del sistema motor-controlador de un vehículo eléctrico.
- [2] Gabriel Huerta, 2014, Gestor de carga Baterías
- [3] David Linden, Thomas B. Reddy, 2002, Handbook of batteries. 3^a Edición.
- [4] Iván Lozano, 2011, Transformación de un vehículo propulsado por un Maci en un vehículo eléctrico de altas prestaciones
- [5] Guillermo Monreal, 2014, Calculo, diseño y construcción de un sistema de refrigeración para los cofres de baterías de un vehículo eléctrico.
- [6] Scott Mathewson, 2014. Experimental Measurements of LiFePO₄ Battery Thermal Characteristics. Tesis para el master de Ciencia aplicada de Ingeniería mecánica. Waterloo, Ontario, Canada. (disponible en : https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/8378/Mathewson_Scott.pdf?sequence=1. Consultado el: 24 de agosto de 2015)
- [7] Batteryuniversity.com
- [8] Sycomoreen. 2012. Electro-química de los acumuladores con Litio Iónico. (Disponible en: http://sycomoreen.free.fr/docs_multimedia/electrochimie_accus/Redox_Lithium_ion_esp.pdf. Consultado el: 24 de agosto de 2015)

11. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Apuntes Asignatura Movilidad eléctrica
- ❖ http://calibattery.en.alibaba.com/product/796817794218145480/SE180A_ha_lithium_battery_for_UPS.html
- ❖ Me shul Oswald, Jason Paul and Run Hua Zhao, 2010. A comparative study of Lithium-Ion batteries. (Disponible en: http://www-scf.usc.edu/~rzhuo/LFP_study.pdf). Consultado el: 24 de agosto de 2015).
- ❖ Manual uso y funcionamiento del BMS
- ❖ Manual de controlador
- ❖ <http://www.volkswagen.es/es/models/e-golf.html>
- ❖ <http://www.teslamotors.com/models>
- ❖ <http://www.nissan.es/ES/es/vehicle/electric-vehicles/leaf.html>

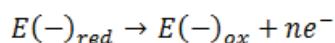
ANEXOS

ANEXO A: LA BATERÍA

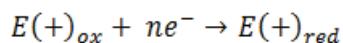
Anexo A1: Reacciones de carga y descarga

La operación de la celda durante la descarga se puede ver en la figura 52. Cuando la celda es conectada a una carga externa los electrones fluyen desde el ánodo, el cual es oxidado, a través de la carga externa del cátodo, donde los electrones son aceptados y así éste es reducido. Además se encuentran sumergidos en un electrolito donde fluyen tanto como los aniones (iones negativos) como los cationes (iones positivos).

Electrodo negativo [E (-)]: se produce una reacción anódica (oxidación, pérdida de electrones)



Electrodo positivo [E (+)]: se produce una reacción catódica (reducción, ganancia de electrones)



Reacción completa (descarga):

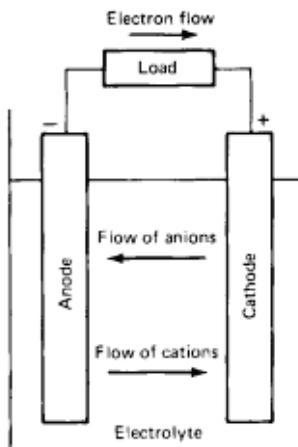
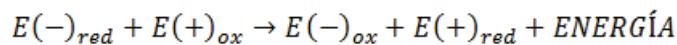


Figura 52. Proceso de descarga

Durante la carga, la corriente fluye en sentido contrario y tiene lugar la oxidación en el electrodo positivo y la reducción en electrodo negativo. La cantidad de energía en este caso debe ser suministrada a la célula.

Estas reacciones redox no se pueden dar indefinidamente. Después de cientos o miles de ciclos de carga-descarga, el material de los electrodos se va debilitando y estropeando progresivamente lo cual hace que las baterías

pierdan capacidad paulatinamente a medida que se usan hasta estropearse por completo. Esta degradación de los electrodos depende del tipo de tecnología y de las condiciones de uso: temperatura de funcionamiento, profundidad de descarga, etc.^[5]

Anexo A2: Comportamiento termodinámico de una batería

Primero se va a explicar el equilibrio o parámetros termodinámicos, que determina las características principales de una batería^[5].

Las leyes de la termodinámica se aplican en general al estado de equilibrio, por lo que los parámetros termodinámicos no depende del camino realizado para llegar a estos puntos de equilibrio sino que depende solo de los diferentes niveles de energía entre los componentes iniciales y finales (los productos y los reactivos de la reacción electroquímica). Los parámetros termodinámicos de una reacción electroquímica son:

ΔH, entalpía de la reacción: representa la cantidad de energía liberada o absorbida. **ΔH** describe la generación de calor máxima, siempre que la energía química posea una conversión del 100% en calor. **ΔH** puede ser positivo o negativo, siendo positivo cuando la energía adicional es absorbida, también llamada reacción endotérmica, o bien, negativo donde se suministra calor adicional o proceso exotérmico.

ΔG, entalpía libre de la reacción o bien “energía libre de Gibbs”: representa la cantidad máxima de energía química que se puede convertir en energía eléctrica y viceversa.

ΔS, entropía de la reacción: caracteriza la energía reversible perdida o ganada relacionada con la reacción electroquímica.

Las relaciones más importantes entre estos tres parámetros son:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad [1]$$

$$\Delta H - \Delta G = T \Delta S \quad [2]$$

Donde

T Temperatura [K]

La diferencia entre **ΔH** y **ΔG**, o el producto de **T ΔS**, representa el intercambio de calor con el entorno cuando el proceso se produce de forma reversible, lo que significa que todos los estados están equilibrados.

La tensión de equilibrio de la célula **E⁰** (V) viene determinada por:

$$E^0 = \frac{\Delta G}{nF} \quad [3]$$

$$\Delta G = nF E^0 \quad [4]$$

Donde

N número de cargas electrónicas intercambiadas

F Constante de Faraday, F=96485 C/mol

Con lo que, a partir de la fórmula [4] se obtiene la energía eléctrica generada en [kJ], ambas fórmulas son válidas si se encuentra en condiciones estándar (concentración 1M, presión 1 atm y temperatura 25ºC).

Existe otra posibilidad a través de tablas estandarizadas de los potenciales de reducción como se puede ver en la Tabla 19:

$\text{Pb}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}_{(\text{s})}$	-0,13
$\text{Sn}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}_{(\text{s})}$	-0,14
$\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})}$	-0,25
$\text{Cd}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}_{(\text{s})}$	-0,40
$\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}_{(\text{aq})}$	-0,41
$\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{(\text{s})}$	-0,44
$\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}_{(\text{s})}$	-0,74
$\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}_{(\text{s})}$	-0,76
$2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + 2\text{OH}^-_{(\text{aq})}$	-0,83
$\text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}_{(\text{s})}$	-1,18
$\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}_{(\text{s})}$	-1,66
$\text{H}_{2(\text{g})} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}^-_{(\text{aq})}$	-2,23
$\text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}_{(\text{s})}$	-2,37
$\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}_{(\text{s})}$	-2,71
$\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}_{(\text{s})}$	-2,87
$\text{Ba}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}_{(\text{s})}$	-2,90
$\text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{e}^- \rightarrow \text{K}_{(\text{s})}$	-2,93
$\text{Li}^+_{(\text{aq})} + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}_{(\text{s})}$	-3,05

Tabla 19. Potenciales de reducción estándar. Fuente :
http://www.alonsoformula.com/inorganica/_private/Quimica2bach07cast.pdf

Los valores termodinámicos como ΔH y ΔG dependen de las concentraciones de los componentes reactivos. En la medida que estos están disueltos, la expresión que los relaciona es:

$$\Delta G = \Delta G_S + RT \left(\sum \ln[(a_i)^{j_i}]_{\text{producto}} - \sum \ln[(a_i)^{j_i}]_{\text{reactivo}} \right) \quad [5]$$

Donde

ai Actividad del componente reactivo (aproximadamente la concentración en [mol/cm³])

ji Número de equivalentes del compuesto que toman parte en la reacción

R Constante molar de los gases ideales ($R = 8,3145 \text{ J/mol/K}$)

T: Temperatura [K]

Combinando las ecuaciones [3] [5], obtenemos la "Ecuación de Nernst". Esta ecuación se emplea para el cálculo del potencial de reducción de un electrodo en situaciones en las cuales las condiciones no son estándar:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{productos}}}{a_{\text{reactivos}}} \quad [6]$$

A continuación, en la Tabla 20, se muestran los principales ejemplos de baterías y sus correspondientes valores, los cuales sirvieron como indicadores en la elección de las baterías.

	MATERIAL ELECTRODO					ENERGÍA ESPECÍFICA[Wh/Kg]	
Batería	Postivo	Negativo	Electrolito	Reacción	E^0 [V]	Teórica	Práctica
Pbomo-ácido	PbO_2	Pb	Disolución H_2SO_4	$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \leftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$	2	161	20-50
Níquel-cadmio	$NiOOH$	Cd	KOH	$Cd + 2NiOOH + 2H_2 \leftrightarrow 2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$	1,3	240	20-55
Níquel-metalhidruro	$NiOOH$	H_2	KOH	$H_2 + 2NiOOH \leftrightarrow 2Ni(OH)_2$	1,3	300	50-80
Ion litio	$Li_{1-x}MnO_2$	Li_xC	Orgánico	$Li_xC_6 + Li_{1-x}Mn_2O_4 \leftrightarrow C_6 + Li_xMn_2O_4$	3,6	>450	90-115
Sodio-azufre	S	Na	Sólido	$2Na + 3S \leftrightarrow Na_2S_2$	2,1	795	90-120
Sodio-cloruro de níquel	$NiCl_2$	Na	Sólido	$2Na + NiCl_2 \leftrightarrow NaCl + Ni$	2,6	719	90-100
Zinc-bromo	Br_2	Zn	$ZnBr_2$	$Zn + Br_2 \leftrightarrow \frac{Zn}{Br_2}$	1,4	435	70

Tabla 20. Valores de tensión y energía en diferentes tipologías de baterías.

Como ejemplo, en las baterías de plomo ácido y en condiciones estándar, como se ha comentado anteriormente, se obtiene un potencial de reducción de 1.9V calculado de la siguiente forma:

Potencial del cátodo H_2O [1.77V]

Potencial de ánodo Pb [-0.13V]

Ambos obtenidos de la Tabla 1.

Potencial de la celda= $1.77 - (-0.13) = 1.9V \approx 2V$

ANEXO B: PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS DE TRACCIÓN

Las baterías a colocar en el vehículo debían almacenar 70 kWh^[4] de energía con una limitación de 700 kg. Estos valores de energía y peso daban lugar a que las baterías debían tener una energía específica superior a 100 Wh / kg, por lo que según la Tabla 20, del anexo anterior, las dos tipologías a emplear serían las baterías basadas en compuestos de litio o de sodio.

Sin embargo las baterías de sodio operan a una temperatura muy alta (>250°C) lo que compromete la seguridad de los ocupantes y la fiabilidad del conjunto. Por tanto una vez descartada esta tipología, las baterías seleccionadas fueron de ion-litio, gracias a sus principales características, como su gran densidad energética y capacidad de descarga.

A continuación se pueden ver una tabla con las principales características a tener en cuenta para la aplicación de un vehículo eléctrico, de las tipologías más conocidas.

Specifications	Lead-Acid	NiCd	NiMH
Specific energy density (Wh/kg)	30 – 50	45 – 80	60 – 120
Internal resistance (mΩ/V)	<8.3	17 – 33	33 – 50
Cycle life (80% discharge)	200 – 300	1,000	300 – 500
Fast-charge time (hrs.)	8 – 16	1 typical	2 – 4
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low
Self-discharge/month (room temp.)	5 – 15%	20%	30%
Cell voltage	2.0	1.2	1.2
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 (2.25 float)	Full charge indicated by voltage signature	Full charge indicated by voltage signature
Discharge cutoff volts (V/cell, 1C*)	1.75	1	1
Peak load current**	5C	20C	5C
Peak load current* (best result)	0.2C	1C	0.5C
Charge temperature	-20 – 50°C	0 – 45°C	0 – 45°C
Discharge temperature	-20 – 50°C	-20 – 65°C	-20 – 65°C
Maintenance requirement	3 – 6 months (equalization)	30 – 60 days (discharge)	60 – 90 days (discharge)
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuses common	
Time durability			
In use since	1881	1950	1990
Toxicity	High	High	Low

Li-Ion		
Cobalt	Manganese	Phosphate
150 – 190	100 – 135	90 – 120
21 – 42	6.6 – 20	7.6 – 15.0
500 – 1,000	500 – 1,000	1,000 – 2,000
2 – 4	1 or less	1 or less
Low	Low	Low
<5%	<5%	<5%
3.6	3.8	3.3
4.2	4.2	3.6
2.5 – 3.0	2.5 – 3.0	2.8
> 3C	> 30C	> 30C
<1C	< 10C	< 10C
0 – 45°C	0 – 45°C	0 – 45°C
-20 – 60°C	-20 – 60°C	-20 – 60°C
None	None	None
Protection circuit mandatory		
>10 years	>10 years	>10 years
1991	1996	1999
Low	Low	Low

Tabla 21. Comparativa de distintas tecnologías de baterías^[7]

**C se refiere a la capacidad de la batería,

**Pico de corriente de carga = máxima corriente de descarga, la cual si permanece daña la batería

Una vez se decidió que la batería idónea debía de ser de ion litio, se pasó a seleccionar dentro de este tipo la más adecuada. Atendiendo a las exigencias anteriores se realizó en su día un estudio de mercado que aparece resumido en la Tabla 22.

Fabricante	LifeBatt	Voltec	Sky Energy	Lithen	B4K	Thunder Sky	Tunder Sky	Pulson
Tipo	LiFeYPO ₄	LiPo	LiFeYPO ₄	LiFeYPO ₄	Li-ion	LiFeYPO ₄	LiFeYPO ₄	Li-ion
Ref.	12120-HFS	UN7-12XP	UEV-12XP	SE120AHA	SE120AHA	LS2770102	-	IPF22
Tensión [V]	12	12,8	19,2	3,3	3,4	3,2	6,4	3,7
Capacidad [Ah]	120	138	60	180	130	11	100	100
Res. Int. [mΩ]	-	5	10	3,0	2,5	-	-	2
Intensidad Maxima [A/V/s]	-	30030	20030	72030	32030	66	-	320000
Tensión mínima [V]	9	10	15	2	2	4,8	2,5	2,7
Rango temp. [°C]	-	-10 a 50	-10 a 50	-25 a 55	-25 a 55	-30 a 60	-45 a 85	-25 a 75
Corriente de carga máx. [A]	-	70	35	480	390	22	-	-
Ciclos de vida	3000	1000	2000	2000	1000	-	2000	2000
Energía total [Wh]	1440	1765	1325	594	442	352	640	592
Energía [Wh/kg]	59	91	89	106	100,5	98	85	106
Energía [Wh/d]	70	149	127	162,4	150	120	136	165
Dimensiones LxWxH [mm]	546x182x207	306x172x225	269x148x261	182x74x283	182x59x283	102x70x29	369x170x27	143x63x20
Peso [kg]	24,5	19,5	14,9	5,6	4,4	0,36	7,5	5,6
							3,2	1,2

Tabla 22. Comparativa con distintas tecnologías de baterías Ion-Litio^[4]

Analizando la tabla anterior no se obtuvieron los suficientes datos para justificar la elección de un grupo de baterías u otro. Para tomar esta decisión se tuvo en cuenta el número de baterías necesarias que aportaban la tensión suficiente para el movimiento del vehículo, en este caso 250V-420V (mínimo y máximo) datos obtenidos del controlador. De la misma manera este grupo de baterías debe ser capaz de alcanzar, en condiciones de seguridad, la corriente de descarga máxima a la que serán sometidas por el inversor del motor, 500 A con una duración máxima de 20 segundos.

Fabricante	Ref.	Tensión [V]	Tensión min [V]	Cap [Ah]	Peso [kg]	Nº Bat.	Peso bat. [kg]	Vol. Bat [l]	Tensión nom [V]	Tensión min [V]
Tianjin Lantian	ICR65400	3,7	3	100	2,6	189	492	300	699,3	567
Thunder Sky	LFP100AHA	3,7	2,5	100	3,2	189	605	410	699,3	472
Thunder Sky	LFP160AHA	3,7	2,5	160	5,6	118	662	423	436,6	295
Sky Energy	SE130AHA	3,4	2	130	4,4	158	697	464	537,2	316
Sky Energy	SE180AHA	3,3	2	180	5,6	118	659	430	389,4	236

Tabla 23. Tabla comparativa de número de baterías, peso y volumen^[4]

Como resultado se obtiene que la batería que cumple todas las exigencias anteriores, es la batería LiFePO₄.

ANEXO C: DESCRIPCIÓN DE LAS REACCIONES DE LAS BATERÍAS LIFEPO₄

Las reacciones que se producen en las baterías de litio son reversibles. Durante la carga, se aplica un potencial a través de los electrodos que causa que los iones de (Li^+) fluyan del cátodo al ánodo a través del electrolito. Durante la descarga, sucede el proceso inverso. Ambos se pueden ver en la figura siguiente^[3].

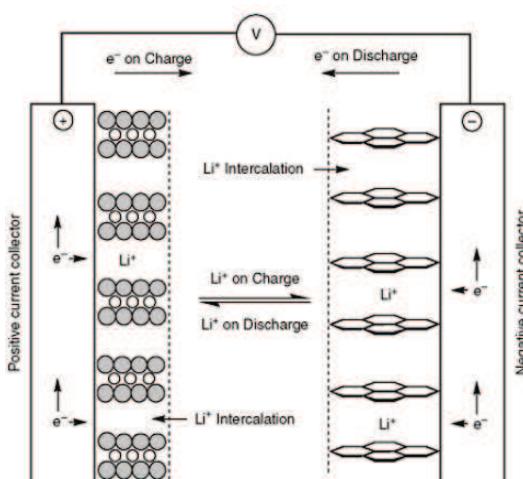
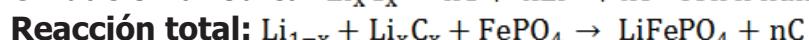
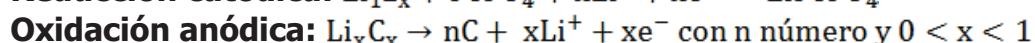
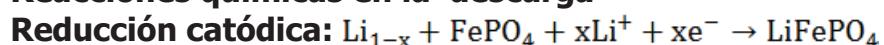


Figura 53. Reacciones producidas en una batería de Ion-Litio^[6]

Reacciones químicas en la descarga



La descarga viene con la formación de $LiFePO_4$ en el cátodo mientras el grafito de litio se separa en carbono y en catión Li^+ en el ánodo. Para los números de oxidación, el litio es reducido al cátodo pasando de + I a 0, mientras que es oxidado al ánodo pasando de 0 a + I. Así que la emigración de x cationes de litio genera la transferencia de x electrones del ánodo hacia el cátodo^[8].

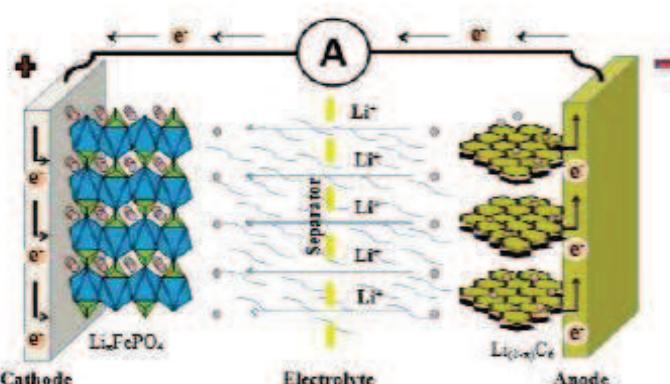
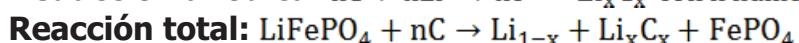
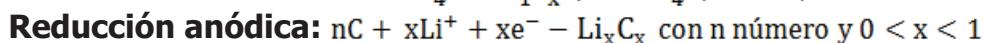
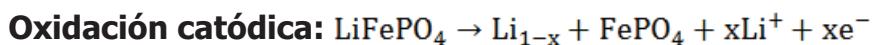


Figura 54. Descarga de una batería de $LiFePO_4$ ^[5]

Reacciones químicas en la carga



La carga viene con la destrucción de LiFePO_4 en el cátodo mientras el grafito se moldea en el ánodo. Para los números de oxidación, el litio es reducido al ánodo pasando de $+I$ a 0 , mientras que es oxidado al cátodo pasando de 0 a $+I$. Así que la emigración de x Li^+ genera la transferencia de x electrones del cátodo hacia el ánodo^[8].

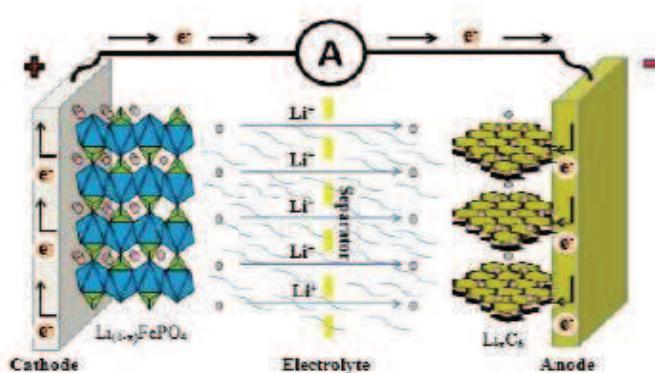
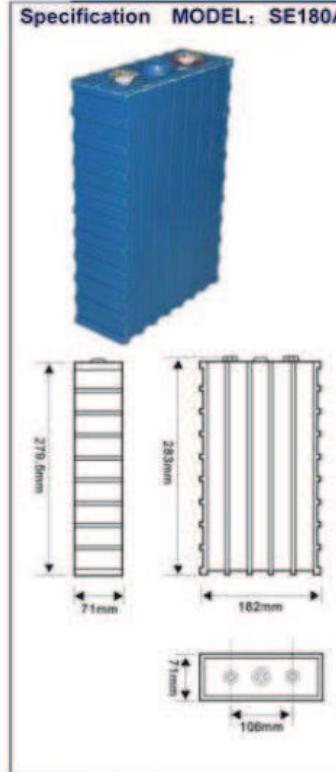


Figura 55. Carga de una batería de LiFePO_4

ANEXO D: SISTEMA DE ALIMENTACION

Anexo D.1: Características de las baterías eléctricas

En la siguiente tabla se muestran las principales características de las baterías eléctricas instaladas en el vehículo, dadas por el fabricante.



Specification MODEL: SE180AHA		MODEL: SE180AHA	
Nominal Capacity	180Ah		
Energy Density	116wh/kg@0.1C		
Float Voltage	3.4V		
Inner Resistance	<1.0mΩ		
Operating Voltage	Charge Voltage	3.6V	
	Discharge Cut-off Voltage	2.0V	
Max Charge Current	≤3CA		
Max Discharge Current	Constant Current	≤4CA(30s)	
	Impulse Current	≤12CA(5ms)	
Standard Charge/Discharge Current	0.3CA		
Cycle Life	80%DOD	≥2000times	
	70%DOD	≥3000times	
Max Transient Temperature Resistance of Shell	170°C		
Long Term Shell Temperature Resistance	≤130°C		
Max Recommended Temperature	≤75°C		
Operating Temperature	Charge	0°C ~ 55°C	
	Discharge	-25°C ~ 55°C	
Low Temperature Discharge Efficiency	≥90%		
Self-discharge Rate/Month	≤3%(Monthly)		
Weight	5.6kg±0.1kg		

Tabla 24. Características de las baterías de tracción

Por otro lado el fabricante también suministra la curva de descarga de las baterías, como se puede apreciar en la figura 56.

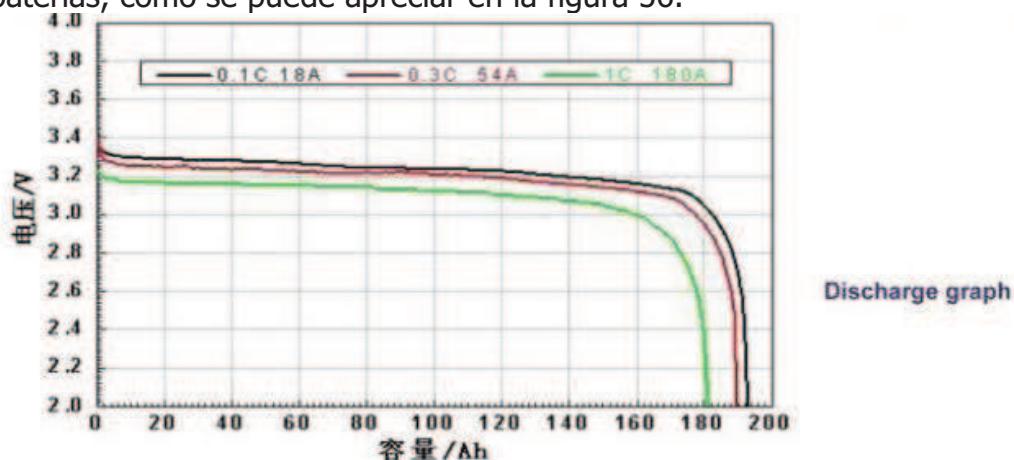


Figura 56. Curva de descarga

Anexo D.2 Distribución de los módulos de baterías

Como se ha comentado anteriormente las baterías se han distribuido en distintos módulos, dado que era imposible alojarlas todas juntas debido a la gran cantidad de baterías necesarias para obtener una elevada autonomía. En la Figura 57 se representa gráficamente la colocación y unión de los distintos cajones instalados en el vehículo.

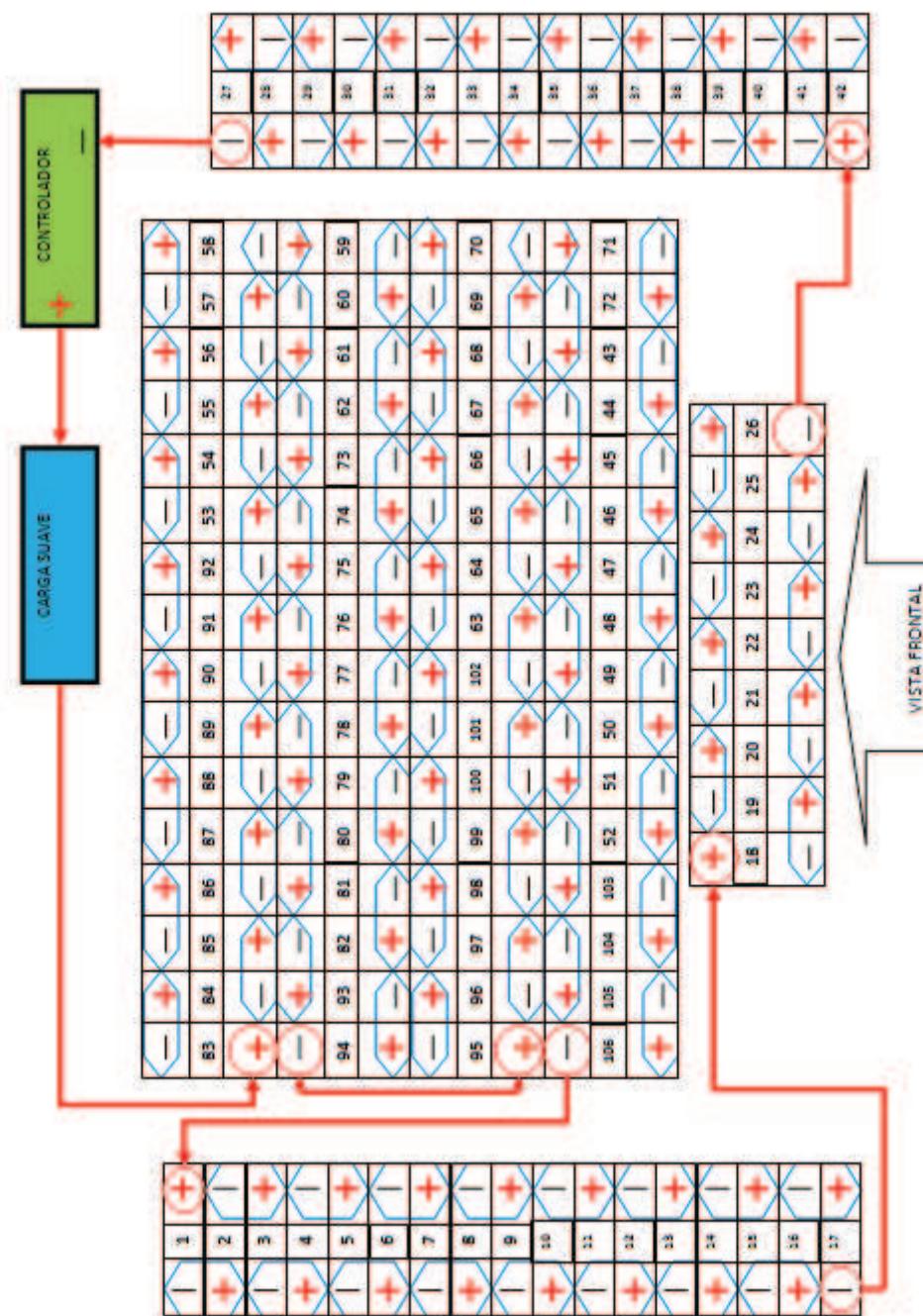


Figura 57. Esquema de la conexión de las baterías con su numeración

ANEXO E: SISTEMA DE CONTROL DE LAS BATERÍAS, BMS

Anexo E1: Configuración del sistema de control, BMS

En este Anexo se va a comentar la configuración del sistema de control de las baterías de potencia, BMS.

Descripción de componentes

El sistema consta de un módulo de comunicación de corriente, módulos de comunicación de tensión, un sensor Hall para la medida de la intensidad del circuito, el cableado de transferencia de datos, el controlador central y una pantalla táctil.

Controlador central

Es el encargado de adquirir y tratar toda la información recibida y alimentar a todos los componentes del sistema. En la Figura 58 se puede ver una imagen de dicho controlador.



Figura 58. Controlador Central del BMS

Este controlador necesita una alimentación de 12 VDC, que toma de las baterías auxiliares (cuando se activa pulsando F1 en la pantalla del autómata) a través de la conexión (1), ver Figura 59. La información de los diferentes módulos de tensión e intensidad le llega por medio del puerto (4), mientras que la comunicación con la pantalla se realiza a través de los puertos (6 y 7). El puerto (6) es la comunicación de datos y a través del puerto (7) se alimenta con los 24 VDC que necesita la pantalla.

Los puertos (2 y 3) no son utilizados, el puerto (2) realizaría la conexión con el cargador, y el (3) la comunicación CAN Bus.

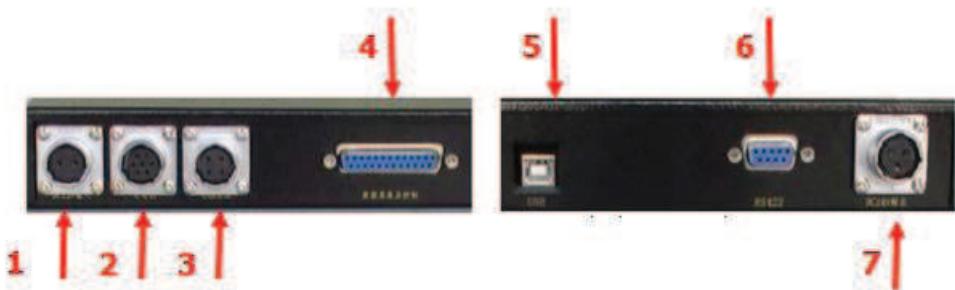


Figura 59. Conexiones controlador central

Pantalla táctil

Comunica los datos del estado de las baterías al conductor del vehículo. Esta pantalla es alimentada mediante el controlador, que le suministra los 24 VDC necesarios.

Módulos de tensión

Miden la tensión de un conjunto de hasta un máximo de 10 baterías y el valor de temperatura del conjunto. Esta información se traslada al controlador central por medio de su puesto de comunicaciones. En la Figura 60 se muestra un esquema con las conexiones de cada módulo.

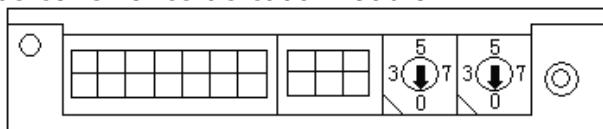


Figura 60. Módulo de tensión

A la izquierda se encuentran los pines de conexión con las baterías a través de los cuales el módulo registra la información de la tensión de hasta 10 baterías y la temperatura del conjunto.

El siguiente bloque de pines conecta al módulo con el controlador central y a través de él recibe la alimentación y transmite la información obtenida.

A continuación se pueden observar 2 números. Estos números han de configurarse correctamente ya que son la dirección del módulo. El módulo más próximo al controlador central llevará la dirección 00 y esta dirección irá aumentando de 1 en 1 hasta el último módulo colocado. Por último se encuentra un led rojo, que se ilumina si el módulo está alimentado y parpadea si se produce correctamente la transmisión de datos.

Módulo de intensidad

Este módulo está conectado al sensor Hall. Por medio de su puerto de comunicaciones suministra la lectura del sensor al controlador central, registrando la intensidad que circula por el sistema de baterías.

Su conexionado es similar al de los módulos de tensión, sólo que en vez de ir conectado a un bloque de baterías va conectado al sensor Hall. Para un

correcto funcionamiento la dirección de este módulo debe ser $n+1$, siendo n el número de módulos de tensión colocados. En nuestro caso hay 12 módulos de tensión, que irán numerados del 00 al 11, por tanto el de intensidad ha de ser el 13.

Sensor Hall

Mide la corriente de entrada y salida al sistema de baterías. Para ello se ha pasado un cable del sistema de alimentación por el círculo central del sensor como se puede ver en la Figura 61.



Figura 61. Sensor Hall del BMS

Colocación en el vehículo

El controlador central, así como los diferentes módulos de tensión e intensidad se encuentran divididos entre los diferentes cajones del vehículo como se explicó en el sistema de alimentación del vehículo (ver Figura 10).

En los cajones laterales se encuentran 17 y 16 baterías respectivamente, por lo que es necesario tener 2 módulos de tensión para su control. En el faldón posterior se necesita otro módulo de tensión para el control de las 9 baterías colocadas allí. Mientras que en el cajón principal, donde hay 64 baterías son necesarios 7 módulos de tensión.

En la Figura 62 se puede observar la distribución de los módulos de tensión, el controlador central y el módulo de intensidad situados en el cajón principal de baterías de potencia.

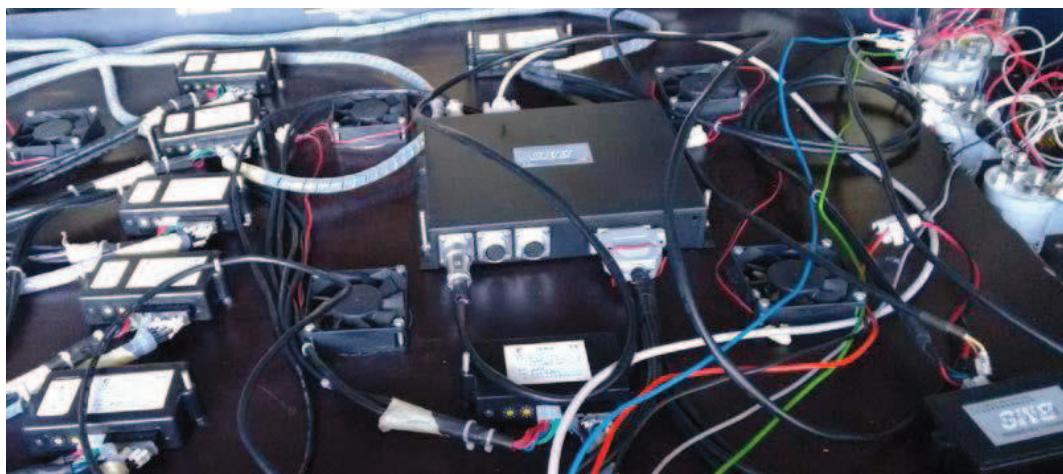


Figura 62. Distribución de módulos en el cajón principal de baterías

Componente	Descripción	Función
Módulo de corriente	Dispone de 4 cables conectados al sensor hall y un puerto de comunicaciones	Comunicar la lectura del sensor hall al controlador central
Módulo de tensión	Dispone de 14 cables para obtener la muestra de tensión de cada batería, un sensor de temperatura y un puerto de comunicaciones	Medir la tensión de cada batería y el valor de temperatura del conjunto. Comunicación de las lecturas al controlador central
Sensor Hall	Sensor Hall ubicado a la salida del conjunto de baterías.	Medir la corriente de entrada y salida.
Cableado de transferencia de datos	Cableado de conexión en serie entre los módulos de tensión y corriente al controlador central	Conectar y transmitir los datos de cada módulo al controlador central.
Controlador Central	Controlador central	Alimentar a todos los componentes del sistema. Adquirir y tratar la información recibida para su visualización. Permite configurar las alarmas.
Pantalla táctil	Pantalla táctil ubicada en el salpicadero.	Comunicar los datos del estado de las baterías al conductor.

Tabla 25. Cuadro resumen de los componentes del BMS

Anexo E2: Modo de operación del sistema de control, BMS

Funcionamiento BMS

Al conectar la pantalla del BMS a través del autómata, ésta nos da la siguiente información sobre el estado de las baterías como se puede ver en la Figura 63.

Los valores totales de tensión, intensidad, así como otros valores importantes como la batería con tensión mayor y la batería con menor tensión o la temperatura máxima a la que se encuentran los conjuntos de baterías.

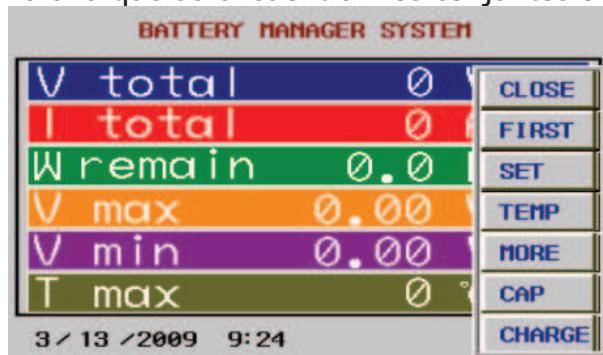


Figura 63. Información general de la pantalla del BMS

Además, dispone del botón menú, que al pulsarlo ofrecerá un desplegable con las diferentes opciones del sistema. Las opciones más interesantes a destacar son las siguientes:

Close

Devuelve a la página principal.

First

Vuelve a la elección de lenguaje.

More

Al pulsar este botón se obtiene en pantalla información detallada de la tensión de cada una de las baterías por separado, tal como se puede ver en la Figura 64. Con los cursores de la parte inferior se puede navegar por todas las baterías o volver al menú principal.

La figura muestra una lista de 10 baterías numeradas de 1 a 10, cada una con su tensión actual y dirección de voltaje (V). Los botones de navegación en la parte inferior permiten moverse entre las baterías.

NO.	VOLTAGE	NO.	VOLTAGE
1	0.000 V	6	0.000 V
2	0.000 V	7	0.000 V
3	0.000 V	8	0.000 V
4	0.000 V	9	0.000 V
5	0.000 V	10	0.000 V

Botones de navegación:

- <<
- <
- >
- >>

Figura 64. Información de la tensión de cada batería

Temp

Al pulsar este botón tendremos información de la temperatura de cada uno de los módulos. Los 2 primeros serán de los módulos colocados en el cajón lateral izquierdo, el 3 será el del faldón inferior, el 4 y 5 del faldón lateral derecho y los demás corresponderán al cajón principal trasero. Los valores se representarán tal como se muestra en la Figura 65.

sample temperature		sample temperature	
1	0 °C	6	0 °C
2	0 °C	7	0 °C
3	0 °C	8	0 °C
4	0 °C	9	0 °C
5	0 °C	10	0 °C

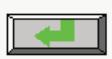

 
 

Figura 65. Valores de temperatura de cada módulo

Charge

Al pulsar este botón aparece la siguiente pantalla:

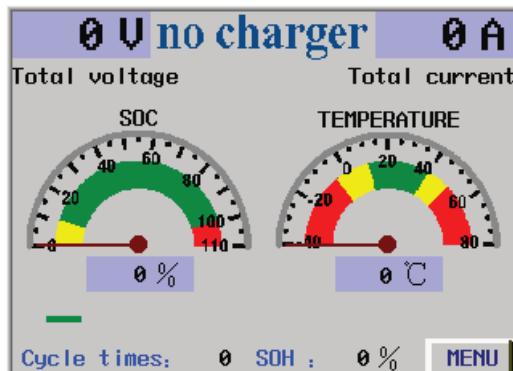


Figura 66. Estado de carga de las baterías

Indicador del estado del SOC

Cuando se está cargando, el indicador muestra el valor. Cuando no está cargando, el número del indicador es el valor de la corriente.

Estado de carga

No charger: el cargador no está conectado

Ready: el cargador está listo, se puede realizar la carga

Charging: el cargador está cargando

Stop: el cargador ha parado la carga

Cycle times

Tiempos de ciclo

SOC

Índice de salud del grupo de baterías

SOH

Magnitud eléctrica residual

Temperature

Marca la más alta del grupo de baterías

Al apretar el botón MENÚ dentro de esta pantalla, aparece la siguiente:

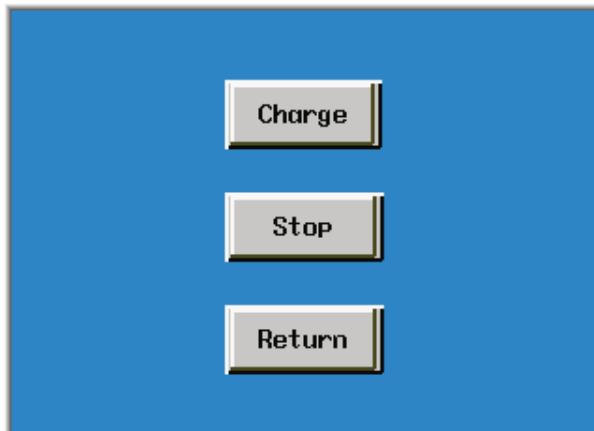


Figura 67. Menú de carga

Charge: cuando el estado de carga está preparado (ready), se elige este botón para cargar.

Stop: se elige esta tecla para detener el funcionamiento.

Return: si se selecciona esta tecla se vuelve a la pantalla principal

Existen tres fases durante la carga (esta opción de carga sólo se realiza en el caso de que el cargador y BMS estén conectados, no es nuestro caso)

- **Precarga:**

Durante la precarga, el BMS controla la carga cargando a $0.05C$ (ratio de la capacidad), después de un minuto, si la batería con el voltaje más bajo está por encima del "límite mínimo de corte de tensión", el cargador pasará a una fase de corriente constante; si por el contrario está por debajo, el cargador cargará a esta corriente hasta llegar a la situación anterior otra vez, donde o bien se volverá a cargar con corriente constantes o se parará la carga.

- **Carga constante**

Durante esta fase, el BMS controla la carga del cargador a la corriente más grande actual. Si la corriente más grande está por encima que la corriente de salida del cargador, el cargador se carga con la corriente de salida del cargador. Cuando está cargando y la batería con más voltaje está por encima del "límite superior de alarma de tensión", el cargador pasará a la fase de carga por goteo.

- Carga por goteo

Durante esta fase, el BMS controla el cargador de inducción de corriente de salida hasta que la batería con la tensión más alta es 5mV menor que "límite superior de alarma de tensión", el cargador cargará en la corriente que se ha ajustado. La fase continua hasta que la corriente de salida se reduce a 0.025C, entonces el cargador detendrá la carga. La carga se dará por finalizada.

Cap

Al apretar este botón aparece la siguiente pantalla:

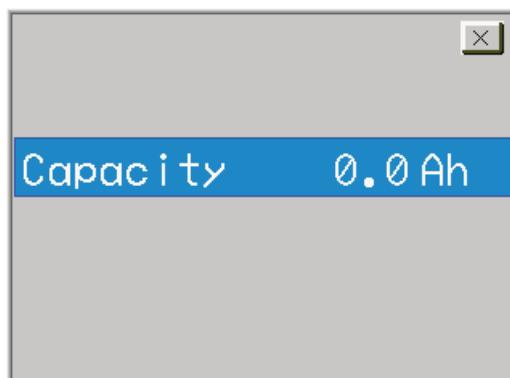


Figura 68. Capacidad global del conjunto de baterías

Set

Al pulsar Set se tendrá acceso a la configuración del sistema. En este caso se ha de introducir la contraseña facilitada por el fabricante. Inmediatamente aparece la siguiente pantalla.

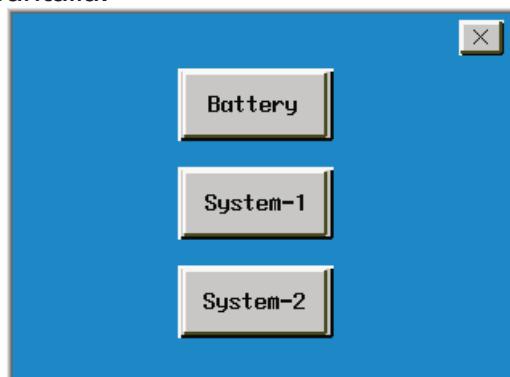


Figura 69. Pantalla de inicio de la opción SET

Si se selecciona el botón batería aparece el siguiente menú donde se podrá cambiar la configuración de los módulos como se puede ver en la Figura 70.

Module	Battery	Temperature
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0

Figura 70. Configuración módulos del BMS

Si se selecciona la tecla system-1, aparece la siguiente pantalla donde se pueden modificar distintos valores límites.

System-1	
V alarm max limit	0 mV
V cut max limit	0 mV
V alarm min limit	0 mV
V cut min limit	0 mV
T alarm max limit	0 °C
T cut max limit	0 °C

Figura 71. Configuración de los límites

Voltage alarm upper limit

Cuando el voltaje más elevado supere el valor introducido se activará una alarma. Una vez esté sonando, si el voltaje de la celda cae, y se situá 5mV por debajo del valor límite, la alarma se parará.

Voltage cut upper limit

Cuando el voltaje mayor está por encima de este valor, la alarma sonará. Esta alarma no parará hasta que la potencia la corte. Este dato es fundamental para controlar la salida del cargador. Esto sólo tiene sentido en el caso de que existan conexión entre el BMS y el cargador.

Voltage alarm lower limit

Cuando el voltaje más pequeño descienda por debajo del valor introducido se activará una alarma. Una vez esté sonando, si el voltaje de la celda crece, y se situá 5mV por encima del valor límite, la alarma se parará.

Voltage cut lower limit :

Cuando el voltaje menor está por debajo de este valor, la alarma sonará. La alarma no parará hasta que la potencia la corte. Cuando está cargando, la

alarma no sonará. Sólo tiene sentido en el caso de que exista conexión entre cargador y BMS.

Delta voltage alarma :

Es la diferencia entre el valor de tensión más elevado y más bajo. Cuando la diferencia supere este valor sonará la alarma. Mientras suene la alarma, si la diferencia es menor que este límite, la alarma parará.

Temperature upper limit :

Cuando la temperatura del ambiente esté por encima de este valor, el sistema conectará la alarma. Mientras esté sonando la alarma, si el valor más alto cae 4 °C por debajo de este valor, la alarma se parará.

Si por último se pulsa el botón System-2, aparece la siguiente pantalla:

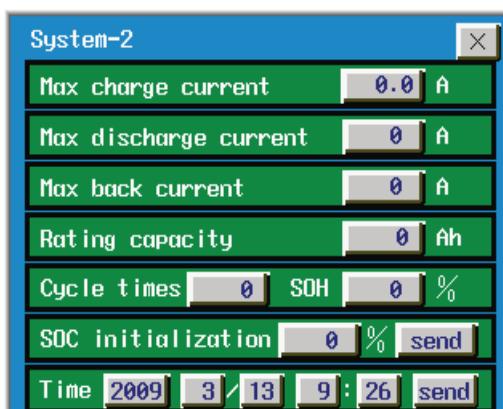


Figura 72. Configuración de los máximos

Charging current upper limit:

Cuando la corriente de carga total es superior a este valor, el sistema encenderá la alarma. El valor es el límite de corriente de carga

Discharging current upper limit:

Cuando la corriente total es superior a este valor, el sistema conectará la alarma. Mientras la alarma suena, si el total de corriente cae y es menor que el valor límite, la alarma se detendrá.

Rating capacitance:

Capacidad nominal de la celda, en tanto por ciento.

SOC initialization

Cada vez que se instala en el "sistema-2", este valor es 0%. La primera vez que se utiliza este sistema, es necesario configurar este valor, situado entre 0% ~ 105%.

Time

Sistema de memoria de tiempos. El sistema memorizará una vez se haya configurado este apartado.

Pulsando el botón "x" se guardarán dichas configuraciones.

ANEXO F: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE CONFIGURACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA MOTOR-CONTROLADOR UQM.

En este Anexo se explican las principales funciones del programa de configuración y diagnóstico del sistema motor-controlador. Se comentan las posibilidades de configuración de los parámetros del motor que resultan útiles para el vehículo eléctrico desarrollado.

Descripción del programa.

El programa que suministra el fabricante permite la configuración de los parámetros del motor-controlador proporcionando una gran flexibilidad en la configuración para obtener las máximas prestaciones del vehículo. Además permite visualizar y recoger la información de las condiciones del sistema a través de los diferentes sensores del controlador y del motor. La comunicación del controlador con el ordenador se realiza a través de un puerto de comunicación serie cruzado. La pantalla principal del programa se muestra en la siguiente figura.

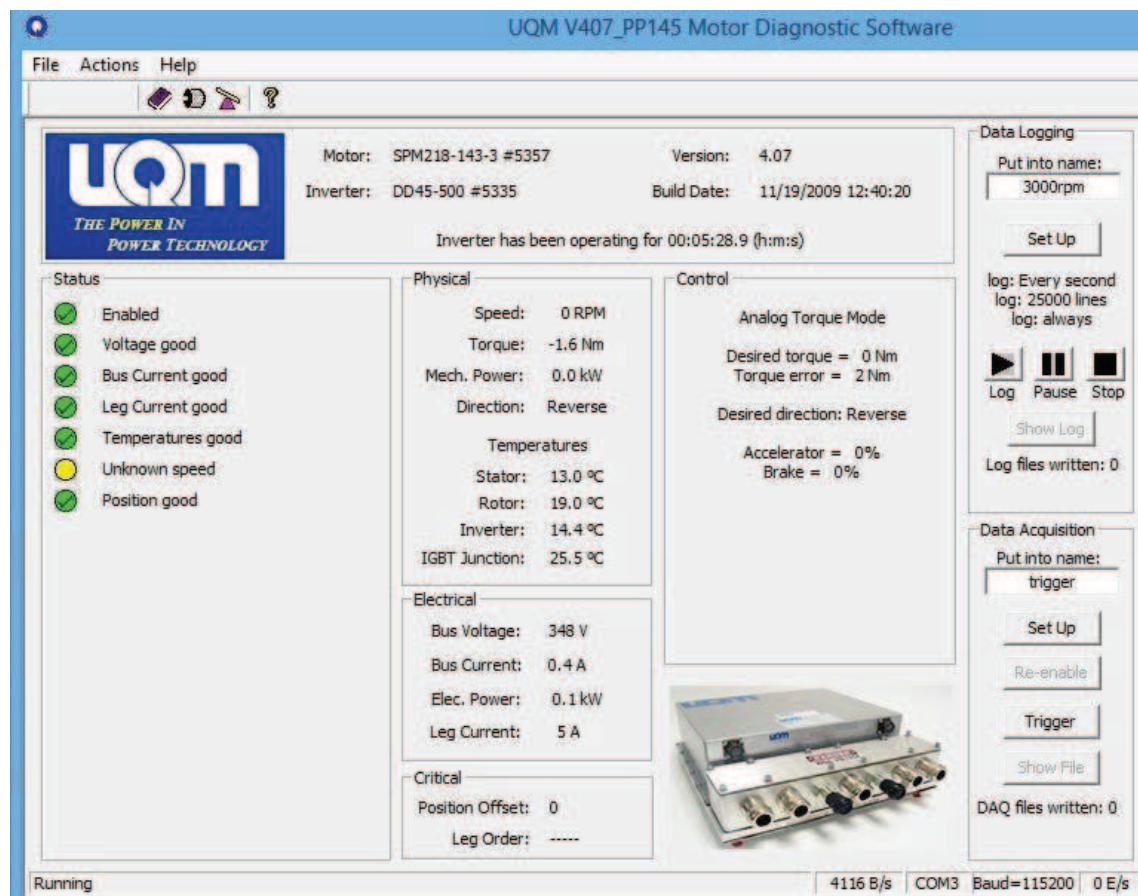


Figura 73. Pantalla principal del programa del motor-controlador.

Como se aprecia en la figura anterior la pantalla está dividida en diferentes secciones que se describen a continuación:

Parte superior

Muestra las versiones de motor, controlador, software y la fecha del día.

Estado (Status)

Representa el estado actual del sistema (tensión, corriente, temperatura, ...).

El color del círculo indica como es el funcionamiento: verde ↔ correcto, amarillo ↔ advertencia, rojo ↔ error grave

Físico (Physical): indica las medidas físicas como la velocidad de giro, par motor, potencia mecánica, dirección de marcha y temperaturas.

Eléctrico (Electrical): muestra las mediciones eléctricas (tensión, corriente y potencia eléctrica).

Crítico (Critical): informa sobre parámetros críticos de posición y orden de fases del motor.

Control: muestra el modo de control y sus principales parámetros.

Registro de datos (Data logging)

Controla la capacidad de registro de datos del programa.

Adquisición de datos (Data Acquisition): controla la capacidad de adquisición de datos del sistema motor-controlador.

Configuración del sistema

La configuración del sistema se muestra y se modifica en la ventana que se obtiene al elegir en el menú "Actions" la opción "System Configuration" (Figura 75).

Para modificar la configuración del sistema motor-controlador, el controlador debe estar deshabilitado (Disabled). Para conseguir este estado se tiene que pulsar sobre la pantalla táctil del autómata la tecla ESC + la flecha hacia arriba, todo ello con la llave del vehículo en la posición 1. Así los cambios realizados tienen efecto al volver a habilitar (Enabled) el controlador.



Figura 74. Pantalla táctil del autómata

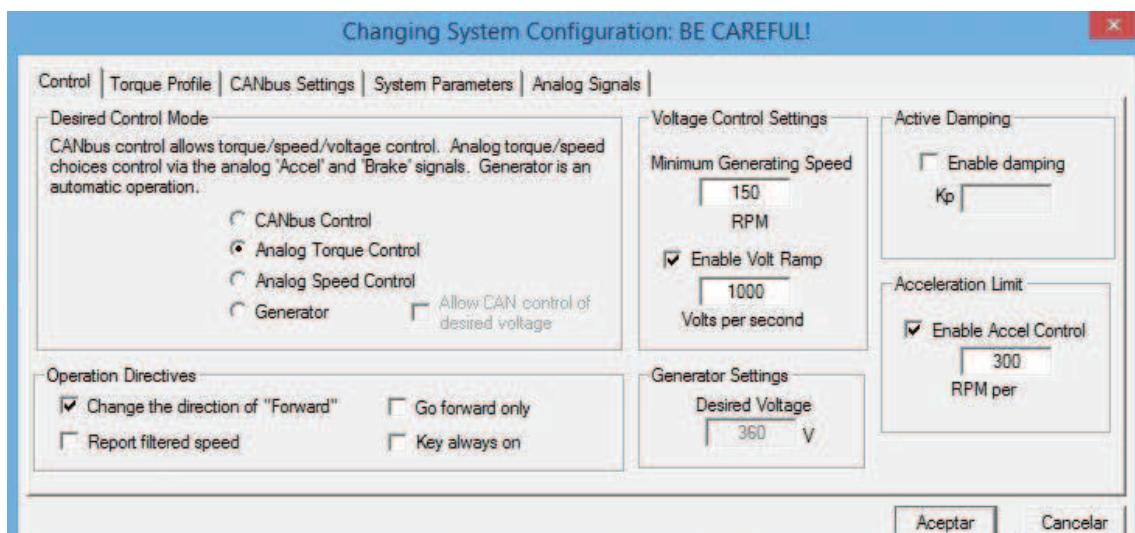


Figura 75. Configuración del sistema motor-controlador: pestaña de control.

De todas las configuraciones posibles en este trabajo sólo se han utilizado las siguientes:

Modo de control deseado (Desired Control Mode): se debe elegir entre control de par o control de velocidad, como se explicó en el Apartado 3.2.2.

Directrices de operación (Operation directives): se pueden elegir las siguientes opciones en la operación del motor:

"Change the direction of Forward": esta opción debe estar activada para que la dirección del motor se corresponda con la indicada por el autómata.

"Go Forward only": se elige esta opción si se desea que el vehículo solo funcione marcha adelante.

"Key always on": si se selecciona esta opción el controlador toma la alimentación de 12 VDC que necesita a partir las baterías de potencia y no de

la entrada 12 VDC del pin N del conector Amphenol y que está conectado a las baterías auxiliares.

Límite de aceleración (Acceleration Limit): se puede elegir si se desea un límite máximo de aceleración (en rpm/s)

Una vez elegido el modo de control se deben configurar los parámetros del sistema en la pestaña "System Parameter". En esta pestaña podemos modificar distintas variables como la tensión e intensidad máxima, o la velocidad de giro del motor. Todo esto se muestra en la Figura 76.

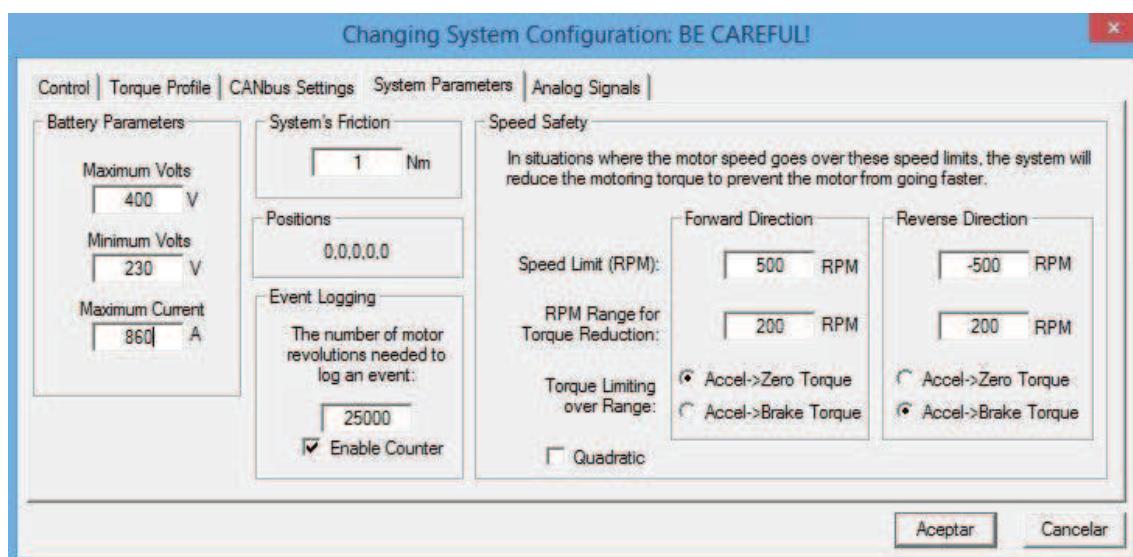


Figura 76. Conf. del sistema motor-controlador: pestaña de Parámetros del sistema.

Configuración del registro de datos

Este registro de datos es una herramienta de diagnóstico que registra los datos de medición del sistema motor-controlador, en un archivo de hoja de cálculo en tiempo real, en intervalos que pueden variar entre un cuarto de segundo y varios segundos. El software de diagnóstico puede registrar datos indefinidamente, sólo limitado por el espacio en la unidad de disco del ordenador.

El registro de datos se controla a través de la esquina superior derecha de la pantalla principal del software de diagnóstico. En la Figura 77 se ilustran estos controles y en la Tabla 26 se describen sus funciones.

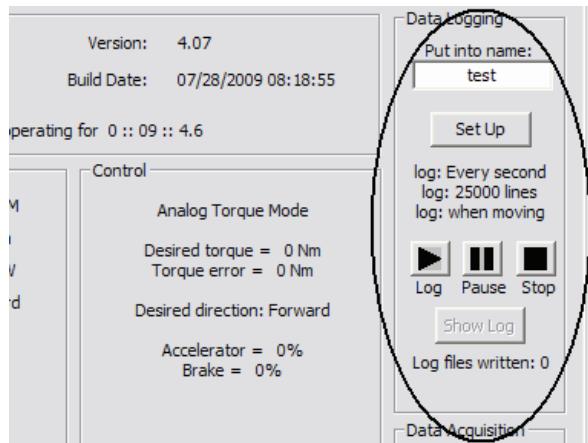


Figura 77. Registro de datos en el Software UQM

Nombre	Descripción
Put into name	Este cuadro de edición sirve para cambiar el nombre del archivo de forma rápida sin entrar en la configuración principal.
Set Up	Abre el menú principal de configuración del registro de datos.
Log	Inicia el registro de los datos en el archivo de registro. Si un archivo ya está registrando, se cierra el archivo y abre un nuevo archivo. Si está en pausa un archivo de registro, continuará el registro de datos.
Pause	Hace una pausa en el registro de datos en el archivo de registro.
Stop	Detiene el registro y cierra el archivo de registro.
Show Log	Inicia el programa de hoja de cálculo con el último archivo de registro de datos. Esta característica sólo funciona si tiene un programa de hoja de cálculo (Excel), que puede leer archivos con el formato CSV (variables separadas por coma).

Tabla 26. Herramientas del registro de datos

En el registro de datos se representan todos los parámetros que recoge el controlador, tanto variables de estado del sistema como indicación de los modos de control y seguridad activos en el momento del ensayo. En la Tabla 27 se representan los más útiles para la realización de este trabajo.

Nombre	Descripción
Tiempo	El tiempo de duración del ensayo partiendo desde cero
Velocidad (rpm)	Velocidad de giro del motor en revoluciones por minuto.
Tensión de alimentación (V)	Media de la tensión de alimentación en voltios
Potencia eléctrica (W))	Potencia eléctrica en vatios, calculada por el controlador a partir de la tensión y la correinte de alimentación

Tabla 27. Variables del registro de datos

El menú del registro de datos se representa en la siguiente figura.

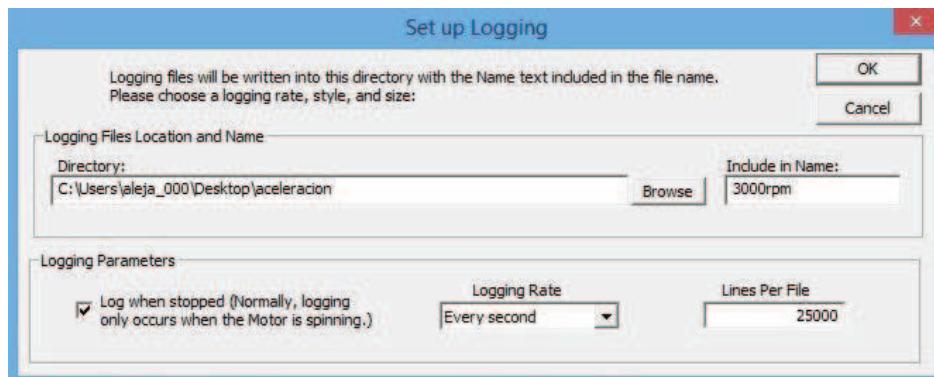


Figura 78. Menú del registro de datos

En este menú se puede elegir el nombre del archivo, el directorio en el que guardar el archivo, el rango temporal de grabación, el número de líneas de la hoja de cálculo y la opción de registrar datos únicamente si el motor está en movimiento.

Configuración adquisición de datos

La función de adquisición de datos de UQM es una herramienta de diagnóstico formidable para el diseño de los sistemas. El sistema motor-controlador UQM está midiendo el par, la tensión, la corriente y la velocidad de su sistema; y el DAQ hace que la información esté disponible con altas velocidades de muestreo. La longitud de los datos es limitada, y se registran en un archivo de hoja de cálculo después de ocurrir un evento desencadenante, que puede ser elegido por el usuario. En la Figura 79 se representa los controles de esta herramienta.

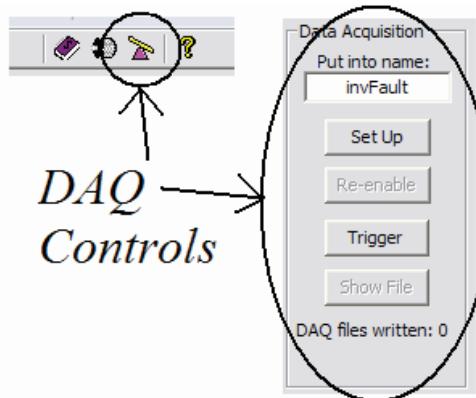


Figura 79. Adquisición de datos del Software UQM

Como se puede observar se puede acceder a esta función en su propio menú, situado en la esquina inferior derecha del menú principal; y también en la barra de herramientas situada en la parte superior.

Como se ha comentado el software registra datos hasta que ocurre un suceso determinado. En la Tabla 28 se representan algunos de estos sucesos que pueden ser elegidos por el usuario.

<i>Suceso desencadenante</i>	<i>Descripción</i>
Corriente de alimentación alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de corriente y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando la corriente de alimentación supera este valor.
Tensión de alimentación alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de tensión y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando la tensión de alimentación supera este valor.
Velocidad alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de velocidad (RPM) y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando la velocidad atraviesa este valor por encima o por debajo.
Par motor alcanza el nivel de disparo	Se fija un nivel máximo de par motor y el disparo (Comienzo de adquisición de datos) ocurre cuando el par cruza este valor en cualquier dirección.
Cambio de dirección	El disparo ocurre cuando la dirección del motor cambia, ya sea de hacia delante a hacia atrás o viceversa.
Salta modo de Control de Tensión Forzado	El disparo ocurre cuando el controlador está en el modo de control de tensión forzado.

Tabla 28. Sucesos para parar la adquisición de datos

El menú de Adquisición de datos se representa en la Figura 80.

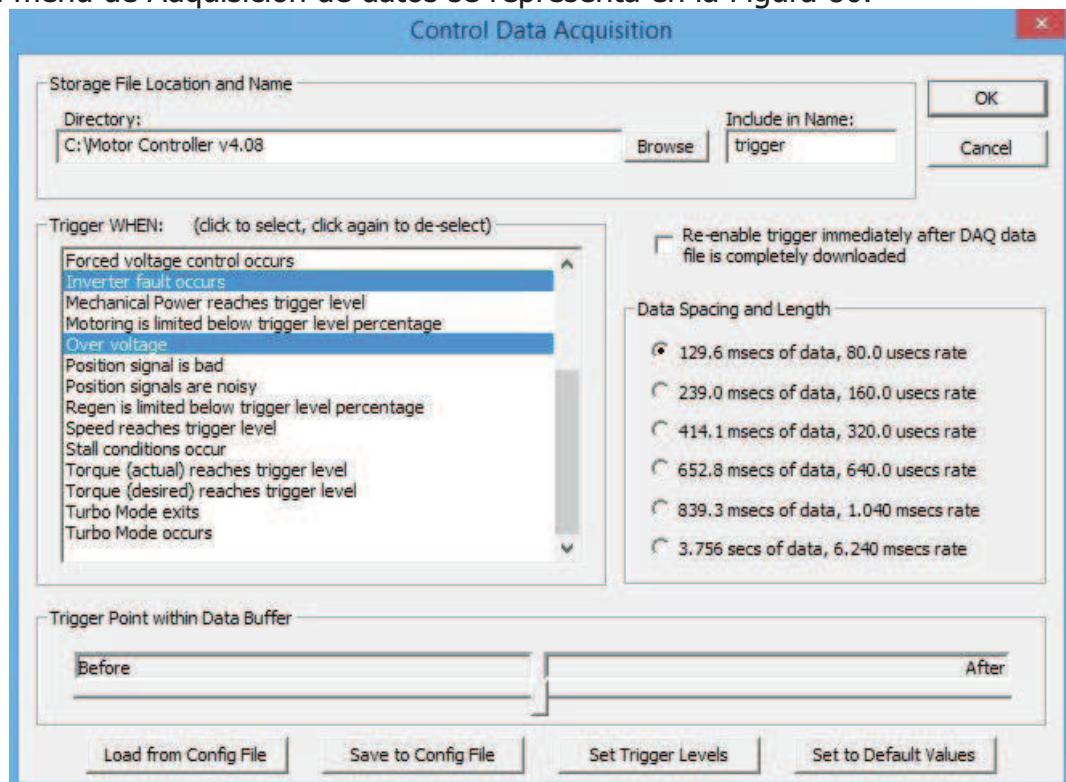


Figura 80. Menú de adquisición de datos

En este menú se puede elegir el nombre y directorio del archivo además de elegir el suceso desencadenante que produzca el comienzo de registro de datos. También se puede seleccionar el tiempo y la longitud del registro de los datos.

ANEXO G: PROTOCOLO DE ENSAYO

- 1. Correcto estado de las baterías auxiliares** Comprobación de la tensión a la que se encuentran dichas baterías, puesto que son las que alimentan el autómata, necesario para la puesta en marcha del vehículo, y continuar con los siguientes pasos.

2. Comprobación estado del vehículo

Para ello introducimos la llave en el bombín y la giramos hasta la posición 1 (Accesorios). De esta manera podemos comprobar:

El correcto funcionamiento del autómata

Si no hay errores, se conecta el autómata y su pantalla auxiliar con el mensaje "Inicio Bien".

El estado del sistema de carga suave

Se debe comprobar que el sistema está bien, indicado por el autómata por el mensaje anterior y visualizando la placa de leds (led verde del fusible debe estar enchufado y el resto apagados).

El estado del conjunto de baterías mediante el BMS

Conectado el autómata se debe pulsar el botón F1 de la pantalla táctil del autómata para enchufar el BMS. Entonces se comprueba que todas las baterías están cargadas correctamente y se toman los datos de estas.

3. Conexión del controlador del motor a un ordenador

Una vez comprobado el estado del vehículo se debe elegir la configuración deseada para la realización del ensayo, utilizando el programa del fabricante UQM. Para la configuración del ensayo se procede de la siguiente forma:

Elección del modo de control

Se debe elegir entre el control de par o el control de velocidad.

Selección de la opción "Change the direction of Fordward" en la configuración del modo de control

En la misma ventana de la elección del modo de control se debe elegir esta opción para que la dirección del motor concuerde con las indicaciones del autómata.

Elección del límite de la velocidad de giro del motor

Se debe limitar la velocidad máxima del motor requerida para el ensayo determinado.

Elección del nombre para el ensayo

En el recuadro del registro de datos se da un nombre y se elige la ubicación en la que se guardará el fichero con los datos. Este mismo nombre será el que defina cada prueba en la hoja de ensayos.

Elección del suceso de final de ensayo

Si se desea se fija un suceso que marque el fin del registro de datos.

Comienzo de la grabación del ensayo

Después de configurar todos los parámetros anteriores, se empieza el registro de datos pulsando el botón "Log" en el programa del controlador.

4. Arranque del vehículo

Tras realizar la configuración del motor-controlador se puede proceder al arranque del vehículo girando la llave a la posición 2. En ese momento comienza la carga suave de los condensadores del controlador. Los pasos a seguir en el arranque se detallan a continuación:

Comprobación la buena conexión de la carga suave

Se debe comprobar que el proceso se realiza correctamente, mediante los mensajes del autómata y visualmente a través de la placa de leds.

Elección sentido de la marcha

Aunque la dirección de giro del motor puede elegirse en la posición 1 de la llave, es conveniente asegurarse que es la deseada en este punto.

Encendido de la bomba de refrigeración

Se enciende la bomba mediante la tecla F2 de la pantalla táctil del autómata con el objetivo de que no se alcancen temperaturas que comprometan al vehículo.

Precauciones de seguridad

Como en todo coche, se deben tomar precauciones antes de conducir, como ponerse el cinturón de seguridad y quitar el freno de mano.

Puesta en marcha del vehículo

Tras estos pasos ya se puede habilitar el motor a través del autómata y comenzar la realización del ensayo, ya sea en vacío, en los rodillos o circulando por la calzada.

5. Realización del ensayo

El ensayo se realiza con las características elegidas en los apartados anteriores. Al terminar el ensayo se presentan dos opciones:

Realizar otro ensayo

Si se desea hacer otra prueba con unas características diferentes, se debe inhabilitar el controlador mediante el autómata y volver al paso 2

Fin de los ensayos

Si por el contrario no se desea realizar más pruebas pasamos a la detención del vehículo que se explica en el paso 6.

6. Detención del vehículo

Para finalizar los ensayos se deben realizar las siguientes acciones:

Quitar la alimentación del motor

Para ello se debe girar la llave a la posición 1, abriéndose los relés del sistema de carga suave que cortan la alimentación de potencia al controlador.

Tomar datos de las baterías

Se apuntan los datos del estado de las baterías al acabar el ensayo para ello se pulsa la tecla F1.

Finalizar la grabación de datos

Para finalizar la grabación se pulsa el botón "Stop" en la sección de Registro de Datos del programa UQM.

ANEXO H: HOJA DE ENSAYOS

* No guardar en la carpeta del UQM
Formato AAAAMMDD

ANEXO I: MANUAL DEL CARGADOR EMPLEADO

Please read the manual before operating this unit.

OVERVIEW

MODEL: The APS3005S-3D regulated DC power supply is a high reliability variable DC power supply with built in short circuit and thermal protection. This power supply has 3 outputs. and can be used in electronic circuits such as operational amplifiers, digital logic circuits and so on. Users include researchers, technicians, teachers and electronic enthusiasts. This unit is equipped with protection circuits that protect the unit from short circuits and over protection by shutting the output down for safety. It allows independent, serial and parallel modes of operation.

SPECIFICATION

1. Rated working conditions and external dimension

- **Input AC voltage**
AC 110V \pm 5%, Frequency 60Hz
- **The working conditions**
Temperature rang: 0°C~40°C
Relative humidity less than 80%
- **Storage conditions**
Temperature rang: -20°C~80°C
Relative humidity less than 80%
- **Dimensions**
14 x 10.2 x 6.3 inches
(L)360X (W)260 X (H)160mm
- **Accessories**
users manual 1pc
power cable 1pc
Test leads set 2pcs

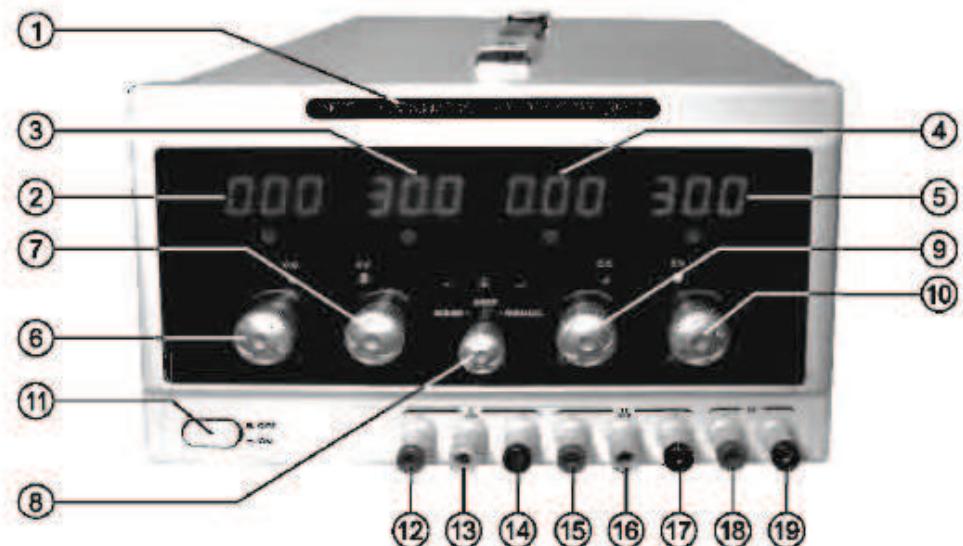
2. Technical specification

(1) Channel I, II independent pattern

- Adjustable Output voltage from 0 to 30V
- Adjustable Output current from 0 to nominal value.
Load regulation:
CV less than 0.1%+3mV ($I_{load} \leqslant 3A$)

PRODUCT PICTURES AND INSTRUCTIONS

APS3005S-3D regulated DC power supply Pictures and stated below:



- | | |
|-------------------------------------|---|
| (1) Product model | (11) Power Switch |
| (2) Current display channel I | (12) Positive terminal (+) channel I |
| (3) Voltage display channel II | (13) GROUND |
| (4) Current display channel I | (14) Negative terminals (-) channel I |
| (5) Voltage display channel II | (15) Positive terminal (+) channel II |
| (6) Current adjust knob channel I | (16) GROUND |
| (7) Voltage adjust knob channel I | (17) Negative terminals (-) channel II |
| (8) Tracking mode choice knob | (18) Positive terminal (+) channel III |
| (9) Current adjust knob channel II | (19) Negative terminals (-) channel III |
| (10) Voltage adjust knob channel II | |

CV less than 0.5%+5mV ($I_{load} > 3A$)

- Ripple and noise: CV $\leq 1\text{mV}_{\text{RMS}}$ ($I_{load} \leq 3A$)
(5Hz~1MHz) CV $\leq 1\text{mV}_{\text{RMS}}$ ($I_{load} > 3A$)
- Voltage accuracy: $\pm 0.5\%$ rdg
- Current accuracy: $\pm 0.5\%$ rdg
- Display resolution: $\pm 0.5\%$ rdg

(2) Channel III output Specification

- Rated output: $5.0 \pm 0.1\text{V}$ 3A
- Load regulation: less than 10mV
- Ripple and noise: (5Hz~1MHz) $\leq 1\text{mV}_{\text{RMS}}$

3. Tracking characteristics

(1) Series specifications Load regulation: less than 50mV

- Ripple and noise: (5Hz~1MHz) $\leq 3\text{mV}_{\text{RMS}}$

(2) Parallel characteristics

- Load regulation: less than 50mV
- Ripple and noise: (5Hz~1MHz) CV less than 1mV ($I \leq 6A$), CV less than 1.5mV ($I > 6A$)

4. Safety requirements

- **High voltage test:** Leakage current $I \leq 1\text{ mA}$ (*Test conditions: 1700VAC/2s From the input power to the ground, Input high AC voltage: 1700V, Time: 2 seconds*).
- **Insulation resistance:** Insulation resistance more than $100\text{M}\Omega$ (*Test conditions: 500Vdc/5s From the input power to the ground, Input high DC voltage: 500Vdc, Time: 5 seconds*).

INSTRUCTIONS

1. Note

(1) AC input

AC input should be $110\text{V} \pm 5\%$, 60Hz

(2) Scattered heat

Do not exceed 104°F (40°C) temperatures and keep the fan in the back of instrument clear.

(3) Output voltage overshoot

When switching power supply device, the output voltage is not more than preset value.

2. How to set a Current Limit

- (1) Rotate the voltage control knob, setting the voltage between 3V to 5V
- (2) Using a wire to temporarily short the voltage output terminals (+) and (-)
- (3) Rotate the voltage control knob, until the CC (constant current)designator lights up.
- (4) Adjust current knob to the current needs.
- (5) Once this is set, do not change after the current knob during operation or you will lose the setting.
- (6) Remove the shorting wire and begin using the power supply.

3. Constant voltage/current characteristics

This power supply has the characteristics of constant voltage or constant current. The mode is shown with the indicator lights above the adjusting knobs. For example, if the power load is working in constant voltage mode, as the load decreases, output voltage will remain stable, with the current changing. The same goes for the constant current mode.

4. Operating methods

- Turn the power switch in "OFF" position. Ensure the input voltage is correct.
- Turn the power switch to the "ON" position.
- Set the output voltage values and Set the output required load current value by adjusting "VOLTAGE" and "CURRENT" knobs.
- Connects the load to Positive "+" terminals and Negative "-" terminals.
- When used in ripple and noise higher applications, output "+" and "-" terminals should have a reliable connection with GND terminals, this can reduce output ripple and noise.
- **Independent operation mode.**

Switch to center knob to "INDEP" which allow separate control of each channel (I &II). The LED above will light.

- **Series Mode**

Switch to center knob to "SERIES" which sets the machine to work in the Series mode, the LED above will light. The "+" positive of the load is connected to positive "+" output terminal II and "-" negative of load is connected to the negative "-" terminal I . In the series mode, output voltage regulation by the voltage adjustment knob II. Output current is regulated by the current adjustment knob II. This will allow up to 60 V and 5 A. To run in the series mode, the output terminal I positive "+" and Output II negative terminals "-" must be connected with an AWG20 wire.

- **Parallel Mode**

Switch to center knob to "PARALLEL" which sets the machine to work in the Parallel mode, the LED above will light. The "+" positive of the load is connected to the positive "+" output terminal II and "-" negative of load is connected to the negative "-" terminal II .

In the parallel mode, output voltage regulation by the voltage adjustment knob II. Output current is regulated by the current adjustment knob II. This will allow up to 30 V and up to 10 A. To run in the parallel mode, the output terminal I positive "+" and Output II positive "+" terminals must be connected with an AWG 20 wire. Also the output terminal I negative "-" and Output II negative "-" terminals must be connected with an AWG 20 wire.

5. Fuse replaced

Replace the fuse only with original fuse value. Any other value can cause harm to the machine and the operator. The fuse is located below the power receptacle.

INSTALLATION, USE AND MAINTENANCE INSTRUCTIONS

- 1.** You should keep this unit in a dry and well ventilated place after using. Disconnect the power cord if you are not going to use it for a long time.
- 2.** Make sure the power cord is plugged into a 3 prong grounded outlet.
- 3.** The device is designed for indoor use only.
- 4.** Do not block the ventilation holes in the rear and side panel, as this will increase the internal temperature and cause the unit to overheat.
- 5.** Please keep the device away from children.
- 6.** Before operating the system should be at room temperature to avoid condensation inside the device
- 7.** Do not put any liquids near of the unit to avoid a short circuit.
- 8.** Opening of the system for service is only allowed by qualified service personal.

ANEXO J: MANUAL DEL CARGADOR TRIFÁSICO

H SERIES BATTERY CHARGER SPECIFICATIONS

Model: KP45016HL

DC Output

DC Output Voltage-maximum:448V

DC Output Voltage-adjust range: 370-448V

DC Output Current-maximum:16A

DC Output Current-adjust range: None

AC Input

AC Input Voltage-range:360~400VAC

AC Input Voltage-nominal: 3 phase, 380VAC

AC Input Frequency: 50~60Hz

Mechanical

Dimensions: 420×450×180mm

Net Weight: 22KG.

Operating Temperature: 14°F~113°F (-10~45°C)

Storage Temperature: -40°F~158°F (-40~70°C)

AC Input: Customized, 1.5 metre cable

DC Output: Customized, 1.5 metre cable

Charging Mode

CC (constant current) Stage:16A

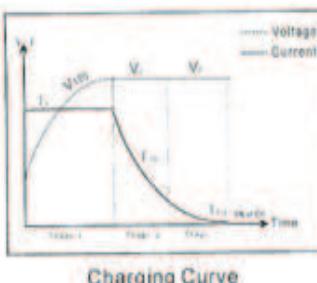
CV (constant voltage) Stage: 448V, 16A

Cut-Off :448V,0.8A

Regulatory

Safety Standard: CE Listed

Safety-Europe: EN60335-2-29:2002



Charging Curve

Packing List:

- Charger 1
- User Manual 1
- DC Power cord 1
- AC Power cord 1

A. Features:

1. Short-circuit Protection: Charger O/P cut-off automatically when short circuit.
2. Overload Protection: Charger O/P current-limited automatically when overload.
3. Reverse Polarity Protection: Charger O/P cut-off automatically when battery reverse connection .
4. Automatic multi-rate charging function: CC, CV, Cut-Off
5. Parallel operation available: Parallel with battery as DC power supply operation available.
6. 2 LED Display: LED1 Red (power on); LED2- Red (charging); Green (full).

B. Operations:

1. Check if your local mains supply conforms to charger' s input voltage 380V.
Then connect the charger system to a wall socket strongly.
Warning: Do not connect to a wrong input voltage, or charger will be broken.
2. LED1 RED confirms AC power on, and the LED2 GREEN confirms charger connects well.
Note: If the charger has a Power Switch at AC side please turn on it firstly
3. Connect the plug or DC Output cord to battery terminals
LED2 light turns to RED, and if goes to GREEN, it confirms battery fully charged.
(N → Positive + ; L → Negative - ; Brown → +ve terminal, Blue → -ve terminal).
Note: If this charger with a Relay for Reverse Polarity Protection, it doesn't have output voltage and current when charger power on but disconnecting with the battery. It will have voltage and current output when it connects with battery. If the charger don't have a Relay for Reverse Polarity Protection, it has output once the power on.

C. Notices:

1. Charger will turn off automatically if it was not connected to battery for 1-3 minutes after power on, please start it again.
2. This charger is designed for charging Lithium battery. Lead Acid battery is available after adjustment.
- 3.The battery maybe damaged if LED2 cannot be changed to green after long time charging.
4. Always place the charger in well-ventilated and dry environments.
- 5.The charger is designed by aluminum housing as itself heat sink, don' t cover it avoiding over temperature on the case when charging.
6. Charger should be power on for 2 hours once a month.