



MÁSTER EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO Y MONTAJE DE UN BANCO DE ENSAYOS DE BATERÍAS DE IONES DE LITIO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DOCENTES

Autor: D. Darío Delgado Esteban

Tutor: Daniel Moríñigo Sotelo

Co-Tutor: Francisco Vicente Tinaut Fluixá

Valladolid, 1 julio de 2019

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España





Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España



DISEÑO Y MONTAJE DE UN BANCO DE ENSAYOS DE BATERÍAS DE IONES DE LITIO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DOCENTES

RESUMEN BREVE

Palabras clave: batería, ión-litio, banco de pruebas, test, programación, LabVIEW.

El presente trabajo fin de máster trata sobre el diseño y montaje de un banco de pruebas para baterías de iones de litio. El objetivo principal es crear un banco de pruebas como herramienta didáctica en las asignaturas del Máster de automoción. Para ello ha sido necesario dimensionar y adquirir una serie de componentes (fuente de alimentación, carga electrónica, baterías, etc) que, mediante un programa de control realizado en LabVIEW, sea capaz de supervisar el comportamiento del sistema de una forma segura y que registre los datos en tiempo real de tensión, intensidad y temperatura, medidos con un sistema de adquisición de datos. Se han creado dos programas principales, uno de Carga y otro de Descarga de baterías, así como un tercero Combinado que gestiona la ejecución de ambos para realizar ciclos de cargas-descargas. Por último, se proponen una serie de prácticas didácticas para ser realizadas en este banco.

DESIGN AND ASSEMBLY OF A LITHIUM-ION BATTERY TEST BENCH FOR TEACHING PRACTICES

SHORT ABSTRACT

Keywords: battery, lithium ion, test bench, test, programming, LabView.

In the present Master thesis, the design and construction of a real test bench for lithium-ion batteries is presented. The main objective is to build a test bench which can be used as a didactic tool in different subjects of the Master in Automotive Engineering. To accomplish this, it was necessary to choose and buy several components, such as an electronic load, a power supply, batteries, etc., all of them controlled by a LabVIEW program. This program supervises the safe operation of the system, and it also shows the real-time values of current, voltage and temperatures of the batteries, measured with a data acquisition system. Two different programs have been created, one for charging and another for discharging the batteries. A Combined third one is used to manage both previous, offering the possibility of executing Charge-Discharge cycles. Finally, several didactic practices have been proposed to be performed in this bench.

DISEÑO Y MONTAJE DE UN BANCO DE ENSAYOS DE BATERÍAS DE IONES DE LITIO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DOCENTES

RESUMEN EJECUTIVO

En este Trabajo Fin de Máster, del Máster en Ingeniería de Automoción, se ha llevado a cabo un proyecto para el diseño, dimensionado, construcción y realización de programas de adquisición de datos y control de un **banco de pruebas para baterías de iones de litio**, con el objetivo de que sirva como **herramienta didáctica** en las asignaturas de dicho máster.

La idea busca ofrecer a los alumnos unas prácticas donde puedan aprender el comportamiento real de las baterías de iones de litio. Debido al actual auge del vehículo eléctrico e híbrido, y su previsible aumento de ventas en un futuro no muy lejano, parece interesante y necesario adaptar los contenidos del máster a la realidad de la industria del automóvil.

El **objetivo principal del TFM** es el diseño, la adquisición de los equipos, la construcción desde cero del banco de pruebas, su conexión a un sistema de adquisición de datos y su control mediante un software de control que posibilite la realización de unas prácticas de caracterización de procesos de carga y descarga de baterías de iones de litio. El proyecto comienza a partir de un planteamiento de las necesidades y plazos. Una vez hecha una revisión de la oferta de equipos del mercado, se aprueba un presupuesto y se adquieren los equipos necesarios. Mediante el uso de un PC, se conectan las comunicaciones de los **tres componentes principales**: la **fuentes de alimentación**, la **carga electrónica** y el **sistema de adquisición de datos**. Se elige LabVIEW como el software de control adecuado para las tareas a desempeñar. La tarea más compleja del proyecto ha sido crear la programación de control de este, generando los programas de **Carga** de baterías, **Descarga** de baterías y uno **Combinado de Cargas-Descargas**, requisitos principales de las especificaciones establecidas. En la **adquisición de datos** se monitorizan y registran las **intensidades** y las **tensiones**, así como también las **temperaturas**. Esta información puede ser útil en la validación de modelos térmicos de baterías. Todo el sistema se crea bajo unas pautas de **seguridad**, que controlan las actuaciones del usuario (alumnos), no permitiendo seleccionar corrientes o voltajes por encima de unos valores límite, dependiendo de la cantidad de baterías conectadas y según su esquema de conexión, ya sea en serie o paralelo. Además, existen **niveles de alarma** si se sobrepasan valores prefijados por el usuario de temperaturas (máximas) o tensiones (máximas y mínimas)

Una vez comprobado el buen funcionamiento de cada uno de los programas, así como sus medidas de seguridad necesarias, se han propuesto una serie de **prácticas didácticas** adecuadas a las capacidades del banco de pruebas.

Para la creación de estas prácticas didácticas se han adaptado los estándares expuestos en la fase de documentación. En esta parte del TFM se hace una exposición de los **ensayos estándar de baterías** para los vehículos eléctricos e híbridos, y se hace mención a la **normativa actual** existente acerca de la regulación de las pruebas necesarias para la validación de este tipo de baterías (IEC 62660-1:2010 entre otras). Existen **ensayos de prestaciones**, de seguridad y de envejecimiento, siendo solo los de prestaciones los que se puedan adaptar a este banco de pruebas debido al carácter destructivo (seguridad) y a la larga extensión temporal de las pruebas (envejecimiento) de los otros dos tipos de ensayo.

En definitiva, se ha creado un banco de pruebas totalmente funcional, que cumple con los requisitos de funcionamiento deseados en su diseño. Su construcción ha resultado exitosa, superando algunos inconvenientes surgidos en su desarrollo tales como problemas de comunicación, de resolución del sistema de adquisición de datos, de programación por desconocimiento del software de control por parte del autor o la capacidad para crear una interfaz sencilla para el usuario. El trabajo se acompaña de un **manual de usuario** donde se describe el **funcionamiento del banco** y los procedimientos de

ejecución de los programas. Finalmente, se propone la realización de unas **prácticas docentes** como referencia para el aprendizaje aplicado de las asignaturas del Máster relacionadas con las baterías: descarga, carga, rendimiento de carga-descarga, determinación de resistencia interna, etc.

DESIGN AND ASSEMBLY OF A LITHIUM-ION BATTERY TEST BENCH FOR TEACHING PRACTICES

EXECUTIVE ABSTRACT

In this Master Thesis, for the Master in Automotive Engineering, a project of assembly a **lithium-ion battery test bench** has been accomplished. The main objective is to serve as a **tool for didactic purposes** in the different subjects of the mentioned master.

The main motivation is the desire to improve the master's practices quality, seeking to offer students a set of practices where they can acquire a better knowledge of lithium-ion battery's behavior. Due to the current peak of the electric and hybrid car, and its foreseeable increase in market share in a short period of time, it seems interesting and essential to adapt the contents of the Master syllabus to the automotive industry's reality.

The **main objective** is to build the test bench from scratch, connecting it to a data acquisition system and control it through control software. The project starts generating a technical specifications document where the deadlines and necessities are exposed. Once a market research is finished, a budget should be approved, and the different parts will be purchased. The communication system will be managed via PC, connecting the **three main components**: the **DC power supply**, the **electronic load** and the **data acquisition system**. We choose the right software to deal with this task, which will be LabVIEW. The most complex task of the project has been to create the programs to control the **Charge** of batteries, **Discharge** of batteries and the combined cycle of **Charging-Discharging**, main objectives in the technical specifications document.

In the **data acquisition** process not only the **current and voltage** are controlled, but also the **temperature** of the batteries. This information could be useful in the field of battery thermic models. The whole system is created under conditions of security and **safety**, not allowing the user to select extreme voltages or currents. This is calculated considering the amount of batteries in parallel or series configuration.

Once the performance of all programs and their safety cautions have been checked, **several practices have been created** regarding the performance capacity of the test bench.

Different standards exposed in the documentation section have been adapted to create these mentioned practices. In this section, the **main standards** for battery test of electric and hybrid cars have been explained. Also, it is exposed the **actual regulations** about the validation tests of this type of batteries. There are three different types of tests: **performance**, security and ageing. We will be able to adapt only the performance ones, due to the destructive nature (security) and the length (ageing) of the other ones.

In conclusion, a truly functional test bench has been constructed, which achieves the requirements set in the design stage. Its construction has been successful, overcoming some issues such as communication problems, problems with the resolution of data acquisition system, unknowledge of LabVIEW software use by the author or the ability to create an easy and intuitive interface to the user. In addition, a **user manual** is created in order to describe clearly the behavior of the test bench and the procedures of execution of the different programs.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por siempre ayudarme a hacer lo que más me gusta.

A mis amigos, por ser esa fuente de apoyo incondicional, alegrías y aventuras.

A todos los que han colaborado a que salga adelante este proyecto, como los técnicos del laboratorio de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Energética, David Moro y Jose Ángel Moreno, mis tutores Daniel Morínigo y Francisco Tinaut, y en especial Andrés Melgar por su ayuda desinteresada.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes y justificación del TFM.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Alcance y desarrollo del TFM.....	3
2.	VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y BATERÍAS.....	5
2.1	El coche eléctrico como alternativa al de combustión interna.....	5
2.2	Desarrollo de los vehículos eléctricos y de sus baterías.....	6
2.2.1	Pasado, presente y futuro del coche eléctrico.....	6
2.2.2	Baterías para los vehículos eléctricos.....	10
2.2.3	Tipos de baterías.....	11
2.3	Resumen del capítulo.....	15
3.	ENSAYOS NORMALIZADOS DE CARGA Y DESCARGA	17
3.1	Estándares y tests de baterías.....	17
3.1.1	Tests de prestaciones.....	17
3.1.2	Tests de vida de la batería.....	19
3.1.3	Pruebas de seguridad.....	20
3.1.4	Normas internacionales vigentes.....	21
3.2	Normativa vigente.....	21
3.3	Resumen del capítulo.....	22
4.	DISEÑO, DESARROLLO Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS DE BATERÍAS.....	23
4.1	Diseño inicial del banco.....	23
4.1.1	Especificaciones.....	23
4.1.2	Presupuesto inicial.....	24
4.2	Búsqueda de equipos.....	25
4.3	Adquisición de equipos.....	25
4.4	Montaje de los equipos.....	28
4.5	Conexión de los sistemas de comunicación y software.....	30
4.6	Modos de funcionamiento de la fuente de alimentación y carga electrónica.....	30
4.6.1	Fuente de alimentación IT6723.....	30
4.6.2	Carga electrónica IT8512A+.....	30
4.7	Creación de los programas.....	31
4.7.1	Programa "Carga".....	31
4.7.2	Programa "Descarga".....	36
4.7.3	Programa "Ciclo combinado".....	38
4.8	Programación interfaz usuario.....	41
4.8.1	Carga.....	41

4.8.2	Descarga.....	43
4.8.3	Ciclo Combinado.....	45
4.8.4	Gráficas.....	46
5.	MANUAL DE USUARIO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD	49
5.1	Manual de usuario.....	49
5.2	Medidas de seguridad.....	49
6.	PRÁCTICAS DIDÁCTICAS PROPUESTAS.....	51
6.1	Práctica 1. Descarga de una batería a Intensidad Constante.....	51
6.2	Práctica 2. Carga de una batería en dos fases: Intensidad Cte.-Tensión Cte.....	53
6.3	Práctica 3. Determinación de la resistencia interna de una batería	55
6.4	Práctica 4. Eficiencia energética conjunta de la carga y descarga.....	56
6.5	Práctica 5. Ciclos de baterías según la norma IEC 62660	57
6.6	Práctica 6. Ciclos de conducción reales.....	59
6.7	Práctica 6. Simulador de BMS	60
7.	CONCLUSIONES.....	61
7.1	Conclusiones	61
7.1.1	Fase de documentación sobre vehículos eléctricos y baterías	61
7.1.2	Fase de diseño y construcción del banco	61
7.2	Principales aportaciones del autor del TFM.....	62
7.3	Sugerencias para trabajos futuros	63
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
	ANEXO I. MANUAL DEL BANCO DE CARGA-DESCARGA BATERÍAS DE LITIO.....	67
	ANEXO II. CÓDIGO COMPLETO DEL PROGRAMA	95
	ANEXO III. DOCUMENTACION COMPLEMENTARIA	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proyección de ventas de vehículos de combustión interna (MCIA), híbridos (PHEV), eléctricos (BEV) (Deloitte 2019).....	1
Figura 2. Diagrama de Gantt para el desarrollo del proyecto.....	3
Figura 3. Taxi eléctrico, con el conductor sentado en la parte superior (1904).....	7
Figura 4. Cuotas de mercado del vehículo eléctrico en el año 2018 en Europa	9
Figura 5. Velocidad del vehículo en el ciclo de conducción FTP-75	19
Figura 6. Diseño CAD de la caja de instrumentación.....	27
Figura 7. Baterías de iones litio adquiridas. A la izquierda baterías tipo A de 2850 mAh, a la derecha de tipo B de 5000 mAh.....	27
Figura 8. A la izquierda carga electrónica IT8512A+. A la derecha, fuente de alimentación IT6723.....	27
Figura 9. Fuente de alimentación para el sistema de adquisición de datos, sensores de intensidad y conectores	28
Figura 10. Caja de instrumentación, con el sistema de adquisición de datos montado	29
Figura 11. Portabaterías, para los tamaños 26650 (izquierda) y 18650 (derecha).	29
Figura 12. Disposición general del banco de pruebas de baterías.....	29
Figura 13. Modos de funcionamiento de la carga electrónica	31

Figura 14. Base de datos en el programa de Carga	32
Figura 15. Hilo del bucle principal WHILE del módulo de comunicaciones del programa CARGA	33
Figura 16. Hilo del tratamiento de datos leídos en el bucle principal para el programa CARGA.....	33
Figura 17. Hilo de programación para la fuente de alimentación, en el programa de Carga	34
Figura 18. Tiempo de refresco del bucle principal y gestión de alarmas en el programa CARGA	35
Figura 19. Gestión del tiempo de ejecución para el programa carga	35
Figura 20. Hilo del bucle principal para la gestión de la carga electrónica en el programa DESCARGA	36
Figura 21. Ejemplo de configuración del fichero Excel para el ciclo carga-descarga.....	39
Figura 22. Parte de lectura inicial del fichero Excel en el programa de ciclo Carga-Descarga	40
Figura 23. Bucle principal del programa ciclo Carga-Descarga	41
Figura 24. Interfaz para el programa de CARGA	42
Figura 25. Interfaz para el programa de DESCARGA.....	44
Figura 26. Interfaz del ciclo combinado Carga-Descarga	45
Figura 27. Interfaz gráfica para mostrar en tiempo real Intensidad, Tensión y Temperatura	46
Figura 28. Ejemplo de pantalla de funcionamiento, con la interfaz gráfica a la derecha.....	47
Figura 29. Obtención de la ecuación de la curva de tensión frente a tiempo de descarga (proporcional a la carga Ah suministrada, por ser proceso a I cte).....	52
Figura 30. Gráficas de la práctica 1	53
Figura 31. Gráficas de la práctica 2 (Carga)	54
Figura 32. Gráficas de la carga y descarga para la práctica 3	56
Figura 33. Porcentaje de potencia máxima frente al tiempo para el ciclo propuesto en la Tabla 6.....	58
Figura 34. Configuración de la hoja de datos para el ciclo dinámico BEV	58
Figura 35. Resultados de la simulación del test dinámico para BEV	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de tipos de batería	13
Tabla 2. Presupuesto inicial banco de pruebas baterías.....	24
Tabla 3. Relación de materiales, cantidades y precios adquiridos.....	25
Tabla 4. Terminología establecida en relación a la energía en las baterías	51
Tabla 5. Resultados para cálculo de Rint.....	55
Tabla 6. Pasos para el ciclo dinámico para BEV propuesto en la norma UNE-EN IEC 62660-1:2018 ..	57

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y justificación del TFM

El panorama de la industria automovilística europea es sin duda alguna a día de hoy tremendamente incierto. En España en concreto, el borrador de la futura ley de Cambio climático y transición energética prevé la descarbonización completa de la economía española para el año 2050. Se propone que los fabricantes de automóviles no puedan matricular vehículos en nuestro territorio que emitan dióxido de carbono a partir de 2040. Esto incluye a los motores Diesel, Gasolina, Híbridos y de Gas. Y no solo eso, sino que a partir de 2050 ni siquiera podrán circular.

Ante este escenario previsiblemente conflictivo, la alternativa del coche eléctrico cobrará todo el protagonismo (ver figura 1, [Deloitte 2019](#)). Actualmente las ventas de estos vehículos suponen un porcentaje despreciable comparado con todo el volumen de ventas mundiales, principalmente debido a su elevado precio. Pero no solo eso, existen otras muchas desventajas, tales como su baja autonomía, la falta de puntos de recarga, los elevados tiempos de recarga, etc. La industria está invirtiendo fuertemente para tratar de solventar todos estos inconvenientes, y poder así disponer de unos automóviles limpios y que cumplan las futuras normativas, sin renunciar a las comodidades que nos ofrecen los vehículos actuales.

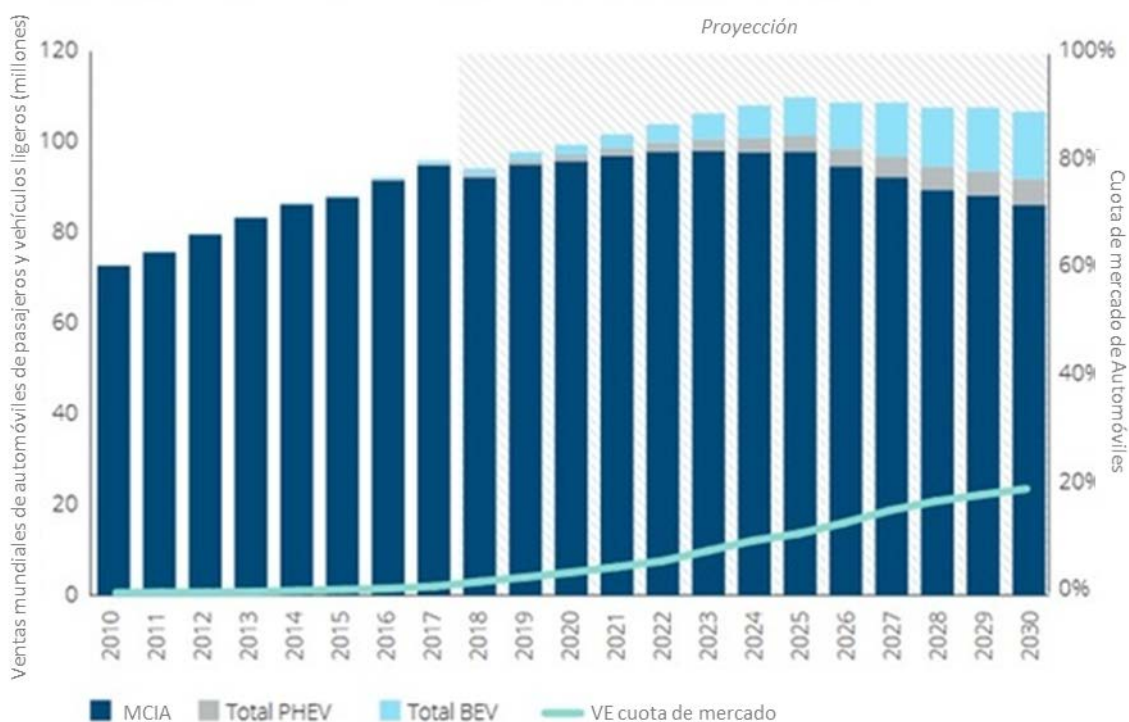


Figura 1. Proyección de ventas de vehículos de combustión interna (MCIA), híbridos (PHEV), eléctricos (BEV) ([Deloitte 2019](#)).

Para aumentar la autonomía disponible en el coche eléctrico, numerosas investigaciones están tratando de desarrollar baterías de nueva generación, normalmente combinadas con iones de litio: baterías de ion de lito-azufre, litio-fosfato hierro, polímero de litio, litio-aire, de electrolito sólido, con calcio, etc. Actualmente las baterías que se imponen en el mercado de coches eléctricos e híbridos son de iones de litio.

En consecuencia, se prevé que la transición al coche eléctrico conllevará un aumento importante de consumo de litio. Como con otras fuentes de energía, el litio no se encuentra de forma ilimitada, y es probable que ante una demanda tan elevada no se puedan cubrir todas las necesidades. Entra en

escena por tanto la industria de la reutilización de las baterías usadas, que debido a la degradación que sufren por su uso, dejan de ser adecuadas para los sistemas de transporte, pero pueden tener una segunda vida como sistemas de almacenamiento menos exigentes.

Es por todos estos motivos, el desarrollo del coche eléctrico, la variedad de sistemas de almacenamiento eléctrico, la necesidad de reutilización de las baterías, que resulta imprescindible conocer las características técnicas de las mismas. Y no sólo de forma teórica, sino que es imprescindible comprobar de una forma práctica sus capacidades y limitaciones. Este hecho además cobra mayor importancia teniendo en cuenta que a día de hoy no existe una batería que no se degrade a medida que aumentan sus ciclos de uso, ni que no varíe su comportamiento con la temperatura a la que este expuesta, o cuando es sometida a un uso intensivo por sobrecarga o sobredescarga. Todas estas situaciones pueden ser probadas en un banco de pruebas para baterías, que funcione de forma análoga a como se testean los motores de combustión interna de los vehículos. Un banco de pruebas en el que se puedan simular cualquier estado de funcionamiento de las baterías de forma segura, que registre los datos obtenidos y que permita realizar al investigador un análisis a posteriori, ayudando así a caracterizar correctamente los comportamientos reales de las baterías.

1.2 *Objetivos*

Objetivo general

El **objetivo general** de este trabajo es el diseño, selección de equipos y construcción de un banco de pruebas de baterías físico, una vez adquiridos todos los componentes necesarios, y programarlo para que se puedan realizar en él prácticas didácticas relacionadas con la **carga y descarga de baterías de iones** de litio en las asignaturas del Máster de Ingeniería de Automoción en la Universidad de Valladolid.

Objetivos específicos

Diseño del banco

Realizar un diseño previo a la adquisición de cualquier tipo de material, planteando cuales son las necesidades del proyecto, así como las limitaciones y capacidades del banco en sí.

Adquisición de los equipos

Una vez planteado el esquema deseado, adquirir los equipos acordes a las necesidades, siempre respetando el presupuesto fijado. Se realizará una comparativa del mercado, tratando de conservar un equilibrio en las prestaciones de cada uno de los equipos, de tal forma que se obtenga un conjunto funcional adecuado.

Instalación y programación de los equipos

Colocar en los soportes adecuados y conexas todos los equipos. Se programarán los modos de funcionamiento para la realización de cargas de baterías, descargas, graficación de los resultados, interfaz con el usuario, exportación de datos y modos de funcionamiento combinados.

Proposición de prácticas didácticas

Tras verificar el buen comportamiento del sistema, así como la seguridad del usuario, proponer una serie de prácticas que podrán ser usadas por los profesores del Máster de Automoción. Se proporcionará un manual resumido de los modos de funcionamiento, así como el código del programa.

1.3 Alcance y desarrollo del TFM

La planificación del proyecto se muestra en el diagrama de Gantt de la Figura 2. En él se reflejan la consecución de los cuatro objetivos específicos descritos previamente, con una clara secuenciación de los mismos. Cabe destacar que durante la realización del proyecto han surgido varios imprevistos que han modificado la temporalidad del proyecto como fue planteado en un principio. Los principales fueron:

- Retraso en la recepción del material.
- Adecuación del sistema de comunicación de los equipos al PC disponible.
- Necesidades de programación específica para obtener el rendimiento deseado.

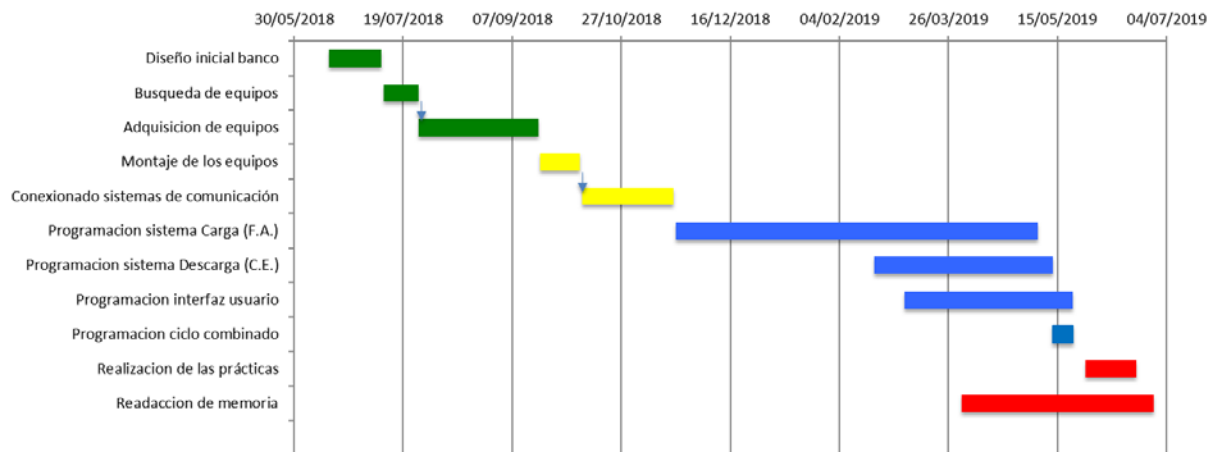


Figura 2. Diagrama de Gantt para el desarrollo del proyecto

La memoria del TFM se ha estructurado en los siguientes apartados:

- **Capítulo 2**, donde se recoge la evolución del coche eléctrico desde su origen hasta la actualidad y los tipos de baterías principales.
- **Capítulo 3. Ensayos normalizados de carga y descarga**, se expone tanto la normativa vigente como los ensayos normalizados que se realizan sobre las baterías.
- **Capítulo 4. Construcción del banco de pruebas**, donde se describe el desarrollo del proyecto desde su inicio hasta su validación.
- **Capítulo 5. Manual de usuario y medidas de seguridad**, para el correcto uso del banco de pruebas.
- **Capítulo 6. Prácticas propuestas**, como posibles métodos didácticos en el máster de Automoción.
- **Anexos**, donde se incluye el manual de prácticas, el código detallado del programa, y el listado de los archivos adjuntos en la versión electrónica.

2. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y BATERÍAS

2.1 *El coche eléctrico como alternativa al de combustión interna*

Es innegable que las normativas anticontaminación son cada vez más restrictivas. Esto es consecuencia principalmente de un conjunto de legislaciones previas que no han sabido adelantarse a las condiciones ambientales que tenemos hoy en día, bien porque no eran suficientemente restrictivas o ambiciosas, o bien porque las bases sobre las que se fijaron los objetivos no se correspondían con la realidad.

En cualquier caso, numerosos estudios reportan que la calidad del aire en las ciudades europeas ha empeorado peligrosamente en los últimos años. Para las actividades más contaminantes como la industria, la producción de energía, la agricultura o el transporte, se han producido cambios significativos en lo que a reglamentación de contaminación ambiental se refiere. Sin embargo, la solución definitiva a la contaminación localizada en las ciudades sigue siendo uno de los desafíos más difíciles de alcanzar. En concreto para el sector del transporte los esfuerzos se focalizan en minimizar o eliminar la producción de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y la emisión de partículas (pm 2,5 y pm 10), contaminantes presentes en los gases de escape derivados del uso de combustibles fósiles en los motores de combustión interna. Las normativas EURO han tratado de regular las emisiones en el sector de transporte desde 1992, imponiendo unos límites de emisiones a los fabricantes de automóviles.

Existe una problemática añadida y que solo ocurre en la unión europea, que es el elevado porcentaje de vehículos diésel que componen el parque. El motor diésel comparado con el motor de gasolina produce menos cantidades de CO₂, pero un número mucho más elevado de partículas y de NO_x. Según [Hoffman et. al \(2018\)](#) si se busca el origen de por qué actualmente circulan un elevado número de vehículos diésel se debe principalmente a la normativa de emisiones europea. Cuando desde el órgano regulador se propuso la normativa EURO 5, se penalizaba fuertemente a los vehículos con altos índices de emisiones de CO₂, en un intento así de frenar el efecto invernadero que es consecuencia directa de elevadas tasas de este gas en la atmosfera. El hecho de que se premiara el bajo índice de CO₂ por km, unido a unos motores de bajo consumo, hizo que el consumidor particular, así como las empresas de transporte, optaran por el motor diésel. En lo que a las emisiones de CO₂ se refiere, los coches de particulares representan el 62 % del total de las emisiones derivadas del sector del transporte. De 1990 a 2014 las emisiones de CO₂ han aumentado un 17 % a pesar de las normas anticontaminación impuestas. Las principales causas del aumento de estas emisiones son por un lado el aumento del número de vehículos por ciudadano europeo y por otro lado el incremento de la cantidad total de kilómetros recorridos. Para 2050 se prevé un aumento de entre el 40 % y el 58 % de la cantidad de kilómetros recorridos por los coches de pasajeros, lo cual conlleva un aumento significativo en las emisiones de contaminantes. En lo que a la contaminación de NO_x se refiere, la contaminación debida a los motores diésel representa el 80 % del sector del transporte.

Aunque los sistemas de anticontaminación propuestos por las normas EURO han demostrado ser efectivos, aún queda mucho camino por recorrer para que un vehículo de combustión interna sea catalogado como vehículo de emisión 0. Para ello no solo habría que lidiar con los gases de escape, sino que también habría que tener en cuenta por ejemplo la contaminación derivada de la fricción de las pastillas de freno, el propio desgaste del neumático, etc. En cualquier caso, numerosos cambios se avecinan para la industria del automóvil en lo que a contaminación se refiere. Las nuevas normativas EURO 6d Temp y EURO 6d introducen límites de emisiones más bajos, además de incluir nuevos tipos de ciclos de conducción (RDE, WLTC).

Se pretende así eliminar las diferencias entre los resultados obtenidos en el laboratorio y las emisiones reales de los vehículos en funcionamiento, evitando también estratagemas de los fabricantes para enmascarar los resultados reales como ya se han producido en numerosos casos. Otras normativas fuera de Europa, como las de China o Estados Unidos, han sido históricamente mucho más restrictivas

con la contaminación ambiental y a día de hoy tienen unos objetivos mucho más ambiciosos que las normas EURO. Un ejemplo es que la U.S. Federal Agency limitará la contaminación por NO_x a 19 mg/km para 2025, mientras que la EURO 6d TEMP, en vigor a partir de septiembre de 2019, tendrá un límite de 168 mg/km para los coches diésel contando con la desviación permitida en los ciclos RDE. Hay que indicar que la normativa EURO 6d TEMP es fruto de las presiones de los fabricantes de automóviles europeos, como prórroga para poder cumplir los límites exigidos.

Con todo esto, es fácil observar que en un futuro próximo será más rentable buscar una alternativa al coche de combustión interna que seguir invirtiendo en el desarrollo de sistemas anticontaminación que cumplan unas normativas que evolucionan hacia un ideal de contaminación 0. Es por ello que en mercados que tienen una legislación mucho más restrictiva se está desarrollando a pasos agigantados el vehículo eléctrico, como es el caso de China. El éxito del vehículo eléctrico dependerá de la capacidad de los fabricantes en adaptar su proceso productivo, reduciendo los elevados costes actuales, así como de la aceptación de los consumidores de esta nueva tecnología. La solución no es universal, ya que también hay que superar algunos inconvenientes importantes, como son la autonomía, el tiempo de recarga, o la seguridad de los sistemas de baterías. El desarrollo lógico prevé un paso previo por el vehículo híbrido, que combine las ventajas de ambas tecnologías, para más tarde tener un parque completo de vehículos eléctricos. Se prevé que la electrificación tenga un repunte importante en el año 2022, siempre que los gobiernos colaboren e incentiven el cambio.

2.2 *Desarrollo de los vehículos eléctricos y de sus baterías*

2.2.1 *Pasado, presente y futuro del coche eléctrico*

El desarrollo del coche eléctrico se puede dividir en **dos grandes periodos**. Un primer periodo en el que se descubre el coche eléctrico en sí, se patentan las primeras unidades, se investiga y se evoluciona el producto. El segundo periodo, en el que, tras haber perdido la batalla con el coche de combustión interna, resurge como alternativa limpia y económica.

En torno a 1834, después de 30 años de motores de vapor, sucios y ruidosos, nació una alternativa cuando se fabricó el primer vehículo eléctrico impulsado por batería según [Chan \(2013\)](#). Hasta 1885 no se fabrica el primer vehículo de combustión interna, por lo que se puede considerar que el coche eléctrico es 50 años más antiguo. Numerosos inventores de Europa y Estados Unidos aportaron sus creaciones para desarrollar el VE. El primero se puede considerar el de Ányos Jedlik, un húngaro que en 1828 fabricó un modelo a escala con un motor eléctrico creado por el mismo. En 1834 un herrero de Vermont llamado Thomas Davenport inventó el primer vehículo eléctrico movido por una batería. Construyó un pequeño tren con una vía circular movido por una batería; las vías hacían de conductores de la electricidad. Entre 1832 y 1839 el escocés Robert Anderson construyó el primer coche movido por electricidad, usando como fuente de energía una batería no recargable. Alcanzaba una velocidad de 6,4 km/h. En 1835 el holandés Sibrandus Stratingh y su ayudante Cristófer Becker desarrollaron un vehículo accionado por baterías no recargables. Una patente para el uso de raíles conductores de electricidad fue validada en Inglaterra en 1840. El problema principal de los vehículos eléctricos de entonces eran las baterías. Las baterías recargables, que proporcionaban una manera viable de almacenar la electricidad en un vehículo no llegaron hasta principios de 1840. Los cálculos demostraban que el consumo de zinc de una batería resultaba cuatro veces más caro que el carbón de una máquina de vapor. En 1850 Gaston Planté inventó la batería recargable de ácido plomo, que todavía se utiliza en la actualidad para alimentar el motor de arranque de los coches. El invento de la dinamo en 1860 y su perfeccionamiento posterior dio un gran impulso a la tracción eléctrica.

La falta de fuentes de energía de origen fósil en Francia e Inglaterra resultó en una rápida electrificación de las naciones europeas. No fue hasta 1898 cuando se construyeron los primeros modelos de vehículos eléctricos que circularon por las calles de Londres y Nueva York. En la primera década del siglo XX se fabricaron y comercializaron varios modelos de coches eléctricos, que eran poco más que una carroza donde los caballos habían sido sustituidos por un motor eléctrico de

corriente continua y una batería. La autonomía era baja, de entre 20 y 30 km y no superaban los 25 km/h. Para las ciudades era el coche ideal, ya que no se recorrían distancias elevadas, aunque sus precios eran tan elevados que solo las personas ricas podían acceder a ellos.

Numerosas compañías de taxis adquirían coches eléctricos para ser usados de forma constante. En la figura 3 podemos ver un ejemplo de un taxi eléctrico. Su manejo era fácil, su mantenimiento sencillo, y no desprendían ningún tipo de olor a gasolina o ruido y vibraciones como sí lo hacían los de combustión interna. El punto álgido del coche eléctrico se puede considerar en 1912; en América por ejemplo muchos hogares comenzaban a tener corriente eléctrica y era muy fácil cargar el coche en casa. Estados Unidos se convirtió en el país donde más se desarrolló este tipo de automóviles.



Bundesarchiv, Bild 183-1990-1128-500
Foto: o. Ang. | 1904

Figura 3. Taxi eléctrico, con el conductor sentado en la parte superior (1904)

En los años 20 del siglo XX se produjeron grandes cambios que acabarían rápidamente con las ventajas del coche eléctrico frente a sus competidores. El primero fue la implantación de un sistema de carreteras que permitía viajar fácilmente entre ciudades que estaban muy separadas entre sí, beneficiando al coche de combustión interna y su elevada autonomía. El descubrimiento de yacimientos muy extensos de petróleo en Texas abarató enormemente el precio del combustible. La invención del motor de arranque eliminaba la necesidad del arranque manual por palanca. La fabricación en cadena, ideada por Henry Ford, disminuiría mucho el precio de venta del coche de combustión. En América, un coche eléctrico costaba unos 2000 USD con una autonomía de 25km, mientras que uno de gasolina, costaba unos 600 USD con autonomía sustancialmente mayor. **El vehículo eléctrico desaparecería en 1935, poniendo fin a su primera etapa histórica.**

La segunda etapa de los vehículos eléctricos comienza a mediados de 1960, cuando los densos humos producidos por los coches de combustión interna se convirtieron en un problema grave en algunas ciudades norteamericanas, según [D'Agostino \(1993\)](#). Los coches eléctricos resurgieron como una

alternativa limpia. Sin embargo, los casi 50 años de desventaja tecnológica marcaron al VE como una solución pobre e ineficaz. En algunos casos las autonomías de los nuevos coches creados por Ford y General Motors eran similares a las de los vehículos eléctricos de 1910. Hubo pocos incentivos reales por parte del gobierno, y al consumidor no le convenció esta solución en absoluto. Para 1973, con la crisis del petróleo en Oriente medio, el nombre del coche eléctrico volvió otra vez a cobrar fuerza como alternativa al motor de combustión interna. Las necesidades de no dependencia del crudo árabe pasaban por reducir el consumo global, y la única forma plausible era mediante los motores eléctricos. Una decisión completamente política, en la que el medio ambiente aún estaba en un segundo plano. Mientras que los gobiernos trataban de impulsar el VE, para los años 80 cuando la crisis del petróleo ya había finalizado los consumidores no veían razón alguna en comprar los lentos y limitados coches eléctricos.

Entre 1980 y 1993 el coche eléctrico mejoró notablemente, tanto en aceptación como tecnológicamente. Ganó apoyos en la política, entre los fabricantes de automóviles y los defensores del medio ambiente. Durante estos últimos 30 años se ha invertido mucho en investigación para adecuar el vehículo eléctrico a las necesidades de los exigentes consumidores, y convertirse así en un sustituto óptimo con las mismas o mejores cualidades. Las necesidades medioambientales han contribuido enormemente a este hecho, ya que son un punto clave para poder cumplir los objetivos anticontaminación marcados para el futuro próximo.

Fabricantes como Toyota, con su exitoso modelo híbrido Prius lanzado a nivel mundial en el año 2000, han sabido crear un producto de éxito dentro de la tendencia a la electrificación. Tal es la implicación de esta marca en la hibridación que pronto ofrecerá su gama al completo exclusivamente en modelos híbridos para 2025, porque representan la gran mayoría de sus ventas. La alianza Renault-Nissan apostó desde un primer momento por la electrificación pura, y sus esfuerzos han catapultado al Nissan Leaf, lanzado en 2010, como líder en ventas dentro del sector eléctrico 100 % al ofrecer al usuario un vehículo eléctrico de precio asequible, con una autonomía equilibrada.

En la **actualidad**, el coche eléctrico en España está en su fase inicial de aceptación por el cliente. Cada vez más marcas de automóviles se suman a presentar Concept Cars que auguran un futuro completamente eléctrico. Es rara la marca que no tiene ya en el mercado un modelo eléctrico o híbrido, por lo que la oferta eléctrica a día de hoy ya está disponible. Sin embargo, en lo que a la demanda del consumidor se refiere, existen disparidades dentro del continente europeo.

En la figura 4 se pueden ver las diferentes **cuotas de mercado del coche** eléctrico en los países europeos para el año 2018. Noruega, con una cuota de mercado que en el mes de marzo de 2019 llegaba al 58.4 % según la agencia de transporte noruego (OFV), se sitúa como el país europeo con mayor porcentaje de coches eléctricos en activo. Mientras que en Noruega y Alemania se han matriculado 23.000 coches eléctricos en lo que llevamos de año, en países como España, Italia o Irlanda no superan los 5.000 según la asociación de constructores europeos (ACEA). Existen varias causas que originan esta disparidad. Por un lado, el elevado coste actual del coche eléctrico sitúa al producto en el mercado de los coches de lujo, por lo que no todo el mundo puede acceder a uno y los países con mayor poder adquisitivo se benefician de esto. Por otro lado, las infraestructuras de recarga están mucho más avanzadas en los países donde más éxito está teniendo, gracias a gobiernos que se han anticipado al cambio. También hay que tener en cuenta que existen incentivos para la ayuda a la compra, o estacionamiento en el centro de ciudades que favorecen sus ventas. En total en Europa en el año 2018 la cuota de mercado del coche eléctrico se sitúa en el 5,5 %, que llega hasta el 10,1 % si se incluyen con los vehículos híbridos. Si las comparaciones se realizan globalmente, existe un claro ganador. China ya fabrica más de la mitad de los vehículos eléctricos vendidos en el mundo, beneficiada por los bajos precios de las baterías, también fabricadas allí en su mayoría (>70 % del mercado global).

El **futuro** del coche eléctrico está lleno de incertidumbres que hacen que no se pueda asegurar completamente su éxito. Cierto es que hay predicciones de expertos que prevén que para 2030 la

producción del vehículo eléctrico (VE) sea más barata que la del vehículo de combustión interna (VCI), y por lo tanto su precio de venta sea menor. A continuación, se enumeran las incertidumbres existentes hoy en día según [Wanitschke & Hoffmann \(2019\)](#):

- **El precio de la electricidad.** El mix energético, la nueva demanda derivada del aumento de consumo del VE, así como la teórica disminución del consumo de fuentes fósiles y su posible agotamiento influirán en el precio de la electricidad servida, y a su vez en la amortización de la inversión del ciudadano europeo en el coche eléctrico.
- **El precio de fabricación de las baterías de litio.** Se espera que el precio de las baterías de ion litio baje de 100 EUR/kWh para la década de 2020, aunque el ratio de bajada de precio no se comporta de forma lineal, ya que depende a su vez de la demanda de los consumidores y de los desarrollos tecnológicos en su fabricación.

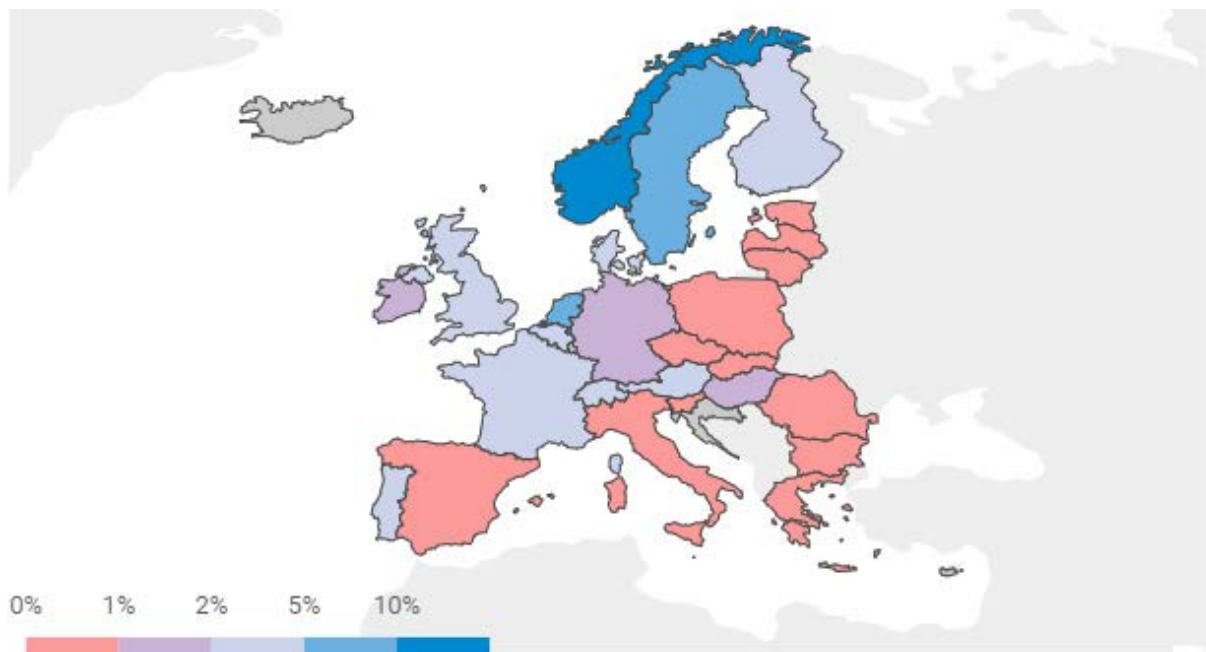


Figura 4. Cuotas de mercado del vehículo eléctrico en el año 2018 en Europa

- **La duración de la vida útil de la batería.** A día de hoy existen varianzas elevadas que hacen difícil prever la realidad de la duración de las baterías. El fabricante TESLA asegura que sus modelos pueden llegar fácilmente a los 500.000 km con un estado de batería (State of charge, SOC) del 80 %, mientras que se han dado casos reales de un SOC del 84 % con sólo 30.000 km.
- **La disminución de puestos de trabajo,** asociada a la hipotética decadencia del VCI, y la creación de puestos de empleo asociados a la industria del VE. En Alemania, un país con una industria automovilística importante, se prevé una disminución de 75.000 puestos de trabajo, aun sumando los 25.000 nuevos puestos que se generaran por el VE. Esto es debido a que el VE tiene un desgaste menor de piezas, necesita menos recambios y tiene muchos menos componentes en su totalidad. Actualmente, el 43 % de los vehículos eléctricos se producen en China, por lo que es probable que la industria alemana sea reticente a un cambio rápido de tecnologías.
- **Capacidad de fabricación de baterías.** Existe la incertidumbre de si existe una capacidad global de fabricación de baterías necesarias para cubrir toda la demanda. De no ser así, se puede producir un cuello de botella en el desarrollo del VE, en favor de otras tecnologías. A esta limitación en la capacidad de fabricación, otros autores añaden la limitación geográfica de

la obtención del litio como materia prima esencial para las baterías, con los principales yacimientos situados en China o bien en otros países, pero controlados por empresas chinas.

- **El desarrollo de tecnologías complementarias a la industria del VE.** El éxito de medidas como el coche compartido, el uso del VE como sistema de almacenaje de la red eléctrica (Vehicle to Grid, VtG), el desarrollo de autovías con sistema de recarga en conducción, ayudas de los gobiernos a la adquisición de VEs, creación de zonas de cero emisiones en las ciudades, el desarrollo del vehículo autónomo, el aumento del teletrabajo, etc. Todas ellas contribuyen en mayor o menor parte a la velocidad de implantación del VE.

2.2.2 Baterías para los vehículos eléctricos

Una batería es un dispositivo electroquímico que almacena energía en forma química. Cuando se conecta a un circuito eléctrico, la energía química se transforma en energía eléctrica. Todas las baterías son similares en su construcción, estando integradas por un número de celdas electroquímicas. Cada una de estas celdas están compuestas de un electrodo positivo y otro negativo, sumergidos en un electrolito (sustancia que se permite el transporte interno de los iones). Cuando la batería se carga o se descarga, se producen reacciones electroquímicas entre los diferentes materiales de los dos electrodos, con transporte de iones a través del electrolito, asociado a la circulación de electrones por el circuito externo.

Durante la descarga, el material en el electrodo negativo se oxida y se liberan electrones por lo que se convierte en más negativo (reacción anódica). Al mismo tiempo, el material en el electrodo positivo se reduce y el electrodo se convierte en más positivo (reacción catódica). Los electrones viajan entre los electrodos por un circuito exterior el cual conecta el electrodo positivo con el negativo. Lo relevante de las baterías recargables es que las reacciones electroquímicas se invierten al aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos de la batería.

Los parámetros más característicos que se deben tener en cuenta a la hora de elegir una batería son:

- **Tensión característica o potencial [V]:** Determina si la batería conviene al uso al que se le destina. Viene del potencial de reducción del par redox utilizado. Varía entre 1 – 4 V por elemento.
- **Corriente [A]:** Es de gran importancia la corriente que puede suministrar el elemento.
- **Capacidad eléctrica [Q, Ah]:** Cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado.
- **Capacidad nominal [Q_{nom} , Ah]:** Capacidad asignada por el fabricante para una batería nueva y para ciertas condiciones de operación.
- **Capacidad disponible [Ah]:** Capacidad obtenida en función de un conjunto de condiciones de operación, como régimen de descarga, temperatura, estado de carga inicial y voltaje final de descarga.
- **Energía almacenada [Wh]:** Número total de watios-hora que pueden ser extraídos de una batería plenamente cargada.
- **Régimen de carga / descarga:** Corriente aplicada a la batería para restablecer / extraer la capacidad disponible.
- **Tensión de corte [V]:** Voltaje para el cual se finaliza la descarga de la batería. Depende del régimen de descarga y del tipo de batería.
- **Ciclo:** Secuencia de carga / descarga para una profundidad y régimen de descarga determinados.
- **Ciclo de vida:** Número de ciclos que una batería puede soportar bajo unas condiciones determinadas.

- **Densidad de energía [Wh/kg]:** Relación entre la energía disponible (nominal) y su peso o volumen.
- **Densidad de potencia [W/kg]:** Relación entre la potencia disponible (nominal) y su peso o volumen.
- **Autodescarga:** Pérdida de capacidad de una batería cuando se encuentra en circuito abierto.
- **Rendimiento combinado carga/descarga:** Relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que la batería entrega durante la descarga.
- **Resistencia interna [Ohm]:** Valor de la resistencia que caracteriza el circuito equivalente de una batería. Depende del estado de carga, de la temperatura, de su estado de salud, etc.
- **Corriente C o C1:** Es un coeficiente comúnmente usado para reflejar las condiciones de carga o descarga de la batería. Equivale a la corriente nominal con la que carga o la descarga completa de la batería se realizaría en una hora. Si una batería con una capacidad de Q Ah se carga a 1 C, estaría idealmente cargada o descargada en 1 h. Por ello, la corriente C en A equivale numéricamente a la capacidad Q en Ah. Si la misma batería se carga a 0,5 C, significa el proceso de carga completo tardaría 2 h.
- **Estado de carga (SOC, %):** Es una medida de la carga disponible en la batería. Se define como un porcentaje del valor real de la carga almacenada en la batería con respecto a la situación de carga total de la batería, cuando es totalmente nueva.

$$SOC_{bat}(t) = \frac{Q_{bat}(t)}{Q_{nom}} \times 100$$

- **Profundidad de descarga (DOD, %):** Capacidad en amperios-hora extraídos de una batería plenamente cargada, expresado como un porcentaje de la capacidad nominal.

$$DOD_{bat}(t) = 100 - SOC_{bat}(t)$$

- **Estado de salud (SOH):** Refleja el impacto de los procesos de envejecimiento en la vida útil restante de la batería. Se define como:

$$SOH = \frac{U_{envej.} - U_1}{U_{nuevo} - U_1}$$

siendo U_{nuevo} el valor de tensión de la batería cuando es sometida a un test de descarga en unas condiciones determinadas, cuando es nueva. $U_{envej.}$ es el valor de tensión que alcanza la batería tras ser su proceso de envejecimiento cuando se le somete al mismo test en las mismas condiciones, y U_1 será el valor de tensión umbral. Alternativamente, el SOH se puede referir a la reducción de capacidad de la batería por envejecimiento, o también al aumento de resistencia interna por la misma razón.

- **Estado de operatividad (SOF):** es la habilidad o capacidad de la batería en su estado actual para cumplir con sus funciones, principalmente se evalúa su capacidad para proporcionar la potencia necesaria en el arranque. El SOF está relacionado con el SOH, SOC y la temperatura.

2.2.3 Tipos de baterías

A continuación, se expone una clasificación de las pilas (baterías primarias) y las baterías, atendiendo a su composición básica.

Pilas alcalinas (Ferroníquel):

Su mayor costo se deriva de la dificultad de sellar las pilas contra las fugas de hidróxido. Son similares a las celdas secas comunes a excepción, entre otras cosas, de que en este caso la pila alcalina tiene un voltaje cercano a 1,5V.

Pilas alcalinas de Manganeso:

Con un contenido de mercurio que ronda el 0,1 % de su peso total, es una versión mejorada de la pila anterior. Como inconveniente, una pila alcalina puede contaminar 175.000 litros de agua, que es el consumo promedio de agua de toda la vida de seis personas.

Baterías Plomo-Ácido:

Fueron creadas a mediados del siglo XIX por Gaston Planté y a día de hoy son uno de los tipos más usados en la industria. Su principal ventaja es que utiliza plomo (material relativamente barato) tanto para la placa positiva como para la negativa. El voltaje de estas celdillas es aproximadamente 2,3 voltios. Normalmente están diseñadas para trabajar a 25 °C, operar a temperaturas más elevadas conllevará a un deterioro de la vida útil de la batería, así como a un fenómeno de autodescarga de la misma.

Baterías de Níquel-Cadmio:

En este caso el electrolito no participa de la reacción electrónica, por lo que la densidad no está influenciada por el estado de la carga. La tensión de cada elemento es de 1,2 V nominales, por lo que, para conseguir una batería de 12 V habría que conectar diez de estos elementos en serie, presentando una gran desventaja en cuanto a aumento de peso y tamaño de la batería final.

Ventajas: Pueden usar descargas profundas y sobrecargas sin necesidad de un regulador para el control del voltaje sobre la carga, puede permanecer largos periodos de tiempo bajo carga, la tensión por elemento en descarga se mantiene mucho más estable, puede resistir altas temperaturas, no se producen gases corrosivos durante la carga...

Desventajas: Autodescarga del 3 al 6 % al mes, baja capacidad de carga a regímenes de descarga lentos, alto coste, debe ser adecuadamente reciclado ya que el cadmio es tóxico.

Baterías de Níquel-Metal-Hidruro

Es un tipo de baterías recargables similar a las de NiCd pero que no contiene cadmio (material muy caro y medioambientalmente peligroso). Pueden almacenar un 30 % de carga más que las anteriores y sus ciclos de carga oscilan entre las 500 y 700 cargas.

Ventajas: Las corrientes de carga y descarga son relativamente altas, siendo un tipo de batería adecuado para vehículos híbridos, donde es más importante este factor que la autonomía.

Inconvenientes: La tensión característica es baja (1,2 V). Alcanzan altas temperaturas en las cargas y descargas. Relativamente alta tasa de autodescarga (5 %/día).

Baterías de Ión-Litio:

El litio es el más liviano de todos los metales, y en este caso se usa como electrodo negativo. De esta manera las baterías recargables son capaces de proveer alto voltaje y excelente capacidad, obteniendo así una extraordinaria alta densidad de energía.

Inicialmente esta batería utilizaba carbón como electrodo positivo, pero, debido a una serie de reacciones químicas, podían llegar a arder espontáneamente. En la actualidad se ha sustituido el carbón por grafito. Como consecuencia la energía útil puede ser recuperada descargando solo hasta 3 V.

Dependiendo de la composición del ánodo (electrodo negativo), hay diversos tipos de baterías de Li:

Baterías de Litio-Fosfato de Hierro (LFP):

En la actualidad uno de los materiales más utilizados en el cátodo de una batería de iones de litio que sustituye al cobalto y al magnesio es el LiFePO₄.

Ventajas: No necesitan mantenimiento, mantiene todo su voltaje hasta el mismo momento de la descarga, no explotan o incendian con sobrecarga, su vida útil oscila entre 2000 y 3000 ciclos durante 6 o 7 años, tiene el doble de capacidad de energía que baterías de ácido de plomo de comparable tamaño, pueden dejarse a medio cargar durante largos periodos de tiempo, si se dejan sin darle uso se descargan de forma extremadamente lenta, funcionan hasta 140 °C sin disminuir su rendimiento, se pueden instalar en cualquier orientación, no contienen elementos tóxicos, las vibraciones no le afectan, se pueden cargar al 90 % de su capacidad en tan solo 15 minutos.

Además, se deben citar las baterías de Litio-Cobalto (LCO) y las de Litio-Manganeso (LMO), así como las que contienen níquel: LNO, NCA, NMC y LNM, cada una de las cuales con características electroquímicas ligeramente distintas.

Las baterías de ión-litio son unas de las más utilizadas en la industria; se presenta a continuación una tabla comparativa de los tres principales tipos de estas baterías:

Tabla 1. Comparativa de tipos de batería

	LiFePO ₄	LiCoO ₂	LiMn ₂ O ₄
Capacidad teórica por gramo [mAh/g]	170	145	148
Voltaje de corte [V]	3,2 – 3,3	3,6 – 3,7	3,6 – 3,7
Ciclos de vida	> 1000	> 500	> 300
Funcionamiento a altas temperaturas [°C]	> 75	0 – 45	0 - 45
Seguridad	Superior	Normal	La mejor
Alta corriente de descarga	10C>5 min Instant >20C	10C>5min Instant >25C	La peor

Baterías de Polímero de Litio:

Se trata de una variante de las baterías de ión-litio. Permiten una mayor densidad de energía y una tasa de descarga bastante superior. El uso del polímero de litio como electrolito permite evitar usar carcasas de acero herméticas y por lo tanto disminuir el espesor y peso de las baterías. Su tamaño y peso les hacen muy útiles para equipos pequeños que requieran alta potencia y duración.

Las dificultades técnicas en la fabricación de estas baterías han retrasado su introducción en grandes volúmenes. Además, este retraso se debe a las grandes inversiones efectuadas en la investigación, el desarrollo y el equipo para producir en masa la batería de ión-litio, inversiones que ahora los fabricantes y accionistas desean amortizar.

Ventajas: Delgadas y livianas, permitiendo poder ser empaquetadas de cualquier forma, mejoran la seguridad, no requieren mantenimiento, baja descarga durante su almacenamiento, en pequeñas cantidades son inocuas para el medio ambiente.

Desventajas: Más caras, menor densidad y mayor costo-energía que las de ión-litio, menor capacidad, necesitan un circuito de seguridad para mantener los niveles de voltaje máximo y mínimo; se degradan

con el tiempo; se deben almacenar en un lugar frío con un nivel de carga del 60 %, capacidad de descarga moderada, limitaciones en su transporte; y pueden explotar si se perforan.

Ultracondensadores (Baterías cerámicas):

Un ultracondensador (condensador de doble capa) es un condensador electroquímico que posee una densidad energética inusualmente alta. Sus componentes son biodegradables y apenas tóxicos y en su interior no se dan reacciones químicas. Los ultracondensadores son celdas de almacenamiento basadas en el condensador, que pueden proporcionar y absorber picos de energía muy elevados. Son muy adecuados para automoción ya que se les puede dar muchos usos, aparte del frenado regenerativo.

Ventajas: Vida de más de 10 años, indiferencia ante cambios de temperatura, alta inmunidad a golpes y vibración, alta eficacia al cargar y descargar.

Inconvenientes: Limitaciones físicas sobre el área de superficie del electrodo y el espaciado, necesidad de ser mucho más grandes que las baterías para sostener la misma carga, capacidad de almacenamiento de energía alrededor de 25 veces menor que una batería de litio de tamaño similar.

Baterías y supercondensadores de grafeno:

El potencial del grafeno se hace más evidente cada día, con titulares en prensa, promocionando nuevos materiales para los electrodos y nuevos diseños de baterías.

Electrodos de grafeno

Los electrodos de grafeno consiguen que la carga y la descarga de la batería sea más rápida en comparación con los ánodos convencionales. Varias universidades en conjunto con ciertas marcas (Honda, Hyundai...) están investigando el grafeno con gran interés para su uso en vehículos eléctricos. Estas investigaciones han demostrado que los ánodos de grafeno mantienen mejor la energía que los de grafito, con una carga diez veces más rápida. Se han realizado diversos estudios en este campo, introduciendo pequeños agujeros en las hojas de grafeno o mezclándolo con óxido de vanadio. De esta experimentación se obtienen unos resultados de densidades energéticas de 700 Wh/kg, es decir, estas baterías podrían multiplicar por tres o por cuatro la autonomía de un coche eléctrico.

Supercondensadores de grafeno

El grafeno no solo se puede utilizar para los electrodos de baterías, sino también para el material activo en sí mismo, pudiendo realizarse un híbrido asimilable a las baterías que tenga mucha potencia y se pueda cargar en unos pocos segundos. Este también es un campo en vías de desarrollo sobre el que se están realizando investigaciones desde universidades de diferentes países.

Pila de combustible con hidrógeno:

También llamada célula de combustible o celda de combustible (comúnmente nombrada *fuel cell* en inglés) es un dispositivo electroquímico en el cual un flujo continuo de combustible y oxidante sufren una reacción química controlada que da lugar a los productos y suministra directamente corriente eléctrica a un circuito externo. El proceso químico que tiene lugar es de alta eficiencia y mínimo impacto ambiental.

Como combustibles se utiliza habitualmente hidrógeno, que es el elemento químico más simple de número atómico 1 y abundante en el universo. El principal problema es que el hidrógeno no existe por sí mismo en la tierra, sino que aparece unido a otros elementos formando una gran variedad de compuestos moleculares. La obtención de hidrógeno puro es un proceso realmente costoso

económicamente y muy contaminante. Hoy en día se están realizando estudios desde las universidades que permitan obtener hidrógeno puro de un modo más sencillo, económico y respetuoso con el medio ambiente. Es por esto por lo que se trata de una tecnología en vías de desarrollo.

Ventajas: Alta eficiencia energética, carácter modular (disponible en módulos independientes, se puede obtener la potencia deseada mediante interconexión de los módulos), flexibilidad de operación (funciona con alto rendimiento a casi cualquier índice de carga), reversible (regenerativa).

Desventajas: Alto coste debido a los materiales empleados, funcionamiento complejo y delicado, lentitud de respuesta ante cambios en la carga, lo que obliga a utilizar una batería electroquímica en paralelo para amortiguar las variaciones de potencia.

Hasta este punto se ha presentado una clasificación de los vehículos eléctricos y de los tipos de baterías. Esto es fundamental ya que es necesario conocer las prestaciones que se desea dar a un vehículo para poder seleccionar la batería adecuada para el mismo. Además, se ha presentado un pequeño resumen con las principales características de las baterías disponibles actualmente y las que están en vías de desarrollo.

Actualmente la gran mayoría de los vehículos eléctricos disponibles en el mercado trabajan con baterías de iones de litio. En esta línea parece que el futuro está en las baterías de iones de litio con níquel y cobalto, ya que se obtiene una densidad energética mucho mayor. También resultan prometedoras las baterías de litio-aire, en las que el electrodo positivo es muy ligero, con excelentes valores de la energía específica.

Las baterías de polímero de litio resultan interesantes para dispositivos portátiles (ordenadores, teléfonos móviles), pero no tanto cuando se requiere almacenar energía del orden de decenas de kWh, por lo que no parece que se vaya a utilizar este tipo de tecnología en un futuro cercano.

Por otra parte, las baterías de grafeno prometen ser las que mejores resultados proporcionen, existiendo una gran cantidad de centros investigadores y marcas que han apostado por esta tecnología al invertir en sus investigaciones y desarrollo.

2.3 *Resumen del capítulo*

En definitiva, en este capítulo se ha expuesto la evolución del coche eléctrico desde sus inicios en el siglo XIX a la actualidad, viendo cómo fue relegado a un segundo plano por el vehículo de combustión interna y como se plantea como la única alternativa sostenible en la actualidad debido a los problemas de contaminación del medio ambiente. Además, se ha realizado una breve exposición de las incertidumbres que determinaran el éxito o no del VE en el futuro, ya que nada está asegurado. Por otro lado, se han introducido los conceptos básicos de las baterías eléctricas, así como sus parámetros característicos. Este primer apartado se completa con un listado de los tipos de baterías existentes con sus ventajas e inconvenientes, concluyendo que las baterías de iones de litio son, con los conocimientos actuales, las óptimas para el vehículo eléctrico.

3. ENSAYOS NORMALIZADOS DE CARGA Y DESCARGA

En este capítulo se va a hacer un repaso por los ensayos estandarizados que se aplican a las baterías de los automóviles eléctricos e híbridos, así como la normativa vigente que los regula.

3.1 *Estándares y tests de baterías*

Los estándares son documentos adoptados por compañías u organizaciones con un interés en un producto, servicio o una tecnología en concreto. Un standard se genera cuando surge la necesidad de establecer unas normas para completar un proceso o producto. Cuando un estándar se publica, es plenamente aceptado, si se da la situación que un producto o proceso se sale de los límites de este estándar, puede considerarse ineficiente, de peor calidad o en algunos casos inseguro. Dos grandes beneficios se derivan del establecimiento de estándares: (1) proveen de una referencia con la cual se pueden comparar otros productos o servicios, ya sean consumidores, fabricantes u organizaciones; y (2) forman las bases de compatibilidad o intercambiabilidad de los productos.

En el caso de las baterías para vehículos eléctricos (VE), mientras que la industria no para de crecer, muchas compañías trabajan para mejorar las capacidades y prestaciones de las baterías, tratando de aumentar su potencia, su densidad energética, su fiabilidad, sin descuidar las necesidades de seguridad. Fabricantes de baterías, empresas integradoras, o fabricantes de vehículos invierten mucho tiempo y dinero en mejorar todos estos parámetros para obtener un producto que destaque sobre la competencia. Para comprobar que esas diferencias son reales y objetivas, es necesario tener unos estándares robustos con los que evaluar correctamente todos estos parámetros.

Los tests que se pueden realizar a las baterías del VE, según la clasificación realizada por [Cabrera Castillo, E. \(2015\)](#), se pueden clasificar en dos grupos: tests de prestaciones y tests de seguridad:

- **Tests de prestaciones:** Prueban el comportamiento eléctrico de la batería bajo condiciones normales de funcionamiento. Los podríamos subdividir en tests de caracterización, que lo que tratan es buscar los límites funcionales de la batería para obtener modelo lo más real posible, y los tests de vida, que miden parámetros específicos durante un periodo prolongado de tiempo, de tal forma que se pueda observar el rendimiento de la batería relativo a ese parámetro en el tiempo.
- **Tests de seguridad:** Se somete a la batería a condiciones extremas, fuera de su funcionamiento normal, de tal forma que se produzca un fallo de la batería. Suelen ser destructivos en su mayoría.

3.1.1 Tests de prestaciones

Para medir las prestaciones de las baterías normalmente se realiza sobre el sistema completo de baterías, aunque los tests realizados sobre las celdas individuales aportan otra información. Pero por lo general los ensayos se aplican sobre el sistema de batería que se va a montar en el VE directamente, que normalmente superan los 300 V y 25 kW de potencia. Los tests más comunes son:

- **CC. Descarga a corriente constante y capacidad estática.**

Se realiza con la batería completamente cargada, y se descarga a una corriente constante durante todo el ensayo. La corriente de descarga es la corriente nominal o "C", y se descarga hasta que el voltaje alcance el nivel que indica el fabricante como voltaje mínimo.

El objetivo de esta prueba es encontrar si la capacidad medida en amperios-hora y la energía contenida en vatios-hora concuerdan con las especificaciones del fabricante. Da por tanto una idea de la capacidad real de la batería en unas ciertas condiciones.

Se suele realizar a una temperatura estable, entre 25-30 °C, pero también se puede variar este parámetro. De la misma forma, se puede realizar a mayores corrientes de descarga, como por ejemplo 2 C ó 5 C (ISO 12405-2), siempre que no se exceda de la máxima corriente de descarga indicada por el fabricante.

- **Resistencia interna y caracterización de potencia de pulso.**

El test combina altos pulsos de corrientes de descarga con pulsos de carga. La intención es emular el comportamiento en un VE al que se le somete a una aceleración rápida con situaciones de carga (frenada regenerativa), y de esta forma medir el comportamiento dinámico de la batería. Se podrá observar durante el test las caídas y subidas de potencial de la misma.

El test se suele denominar "hybrid pulse power characterization" (HPPC). Para las corrientes de descarga se suele usar un 100 % de la corriente nominal, mientras que para la carga un 75 %. El pulso suele medir entre 0.1-20 s (ISO 12405-1).

Con las variaciones de intensidad y de voltaje medidas, se puede hallar la resistencia interna de la batería durante este test:

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

De la misma forma, podremos calcular la potencia instantánea que la batería es capaz de proporcionar durante el pulso de descarga:

$$P = \Delta V \cdot \Delta I$$

Debido a que las transiciones de estado cuando se realizan los pulsos son rápidas, habrá que tener una frecuencia de adquisición de datos alta, por ejemplo, de 50 ms.

Este test se puede realizar a distintos estados de carga de la batería, así como en cualquiera de las temperaturas de funcionamiento de la misma. Sólo el manual (INL/EXT-07-12536 Rev. 2) indica que se debe de realizar el HPPC test con al menos un 10 % de SOC.

- **Ciclo de conducción y régimen de potencia de descarga variable.**

El objetivo de este test es simular, de forma análoga a como se haría para un motor de combustión interna, el consumo de energía durante un uso convencional de un VE en su entorno natural. El test provee de unas velocidades y aceleraciones a realizar, durante un tiempo determinado. Normalmente estos tests se aplican sobre el VE como un conjunto, no sobre el sistema de baterías. Sin embargo, esta prueba puede ser adaptada si se conoce la masa del vehículo sobre el que se va a ensayar, y el consumo demandado para cada velocidad y aceleración. De esta forma, a la batería se le sometería a un ciclo de potencia o corrientes demandadas, de tal forma que se pueda ensayar sin ser montada en el vehículo eléctrico.

El ensayo se repite indefinidamente, partiendo de una batería completamente cargada. Se finaliza cuando la batería se descarga por completo, midiendo el número de ciclos necesarios para agotar la batería y midiendo la cantidad de tiempo de funcionamiento.

Algunos de estos tests son NEDC (Europa), FTP-75 (norte América) reflejado en la figura 5 ó JC08 (Japón).

- **Autodescarga o test de almacenaje.**

En este test se deja la batería a un cierto nivel de SOC durante un extenso periodo de tiempo. Tras este tiempo, se vuelve a medir su SOC y se comprueba la cantidad que se ha perdido, si la ha habido. La pérdida de carga elevada puede indicar un mal estado de la batería.

El SOC inicial suele estar entre un 50-100 %, mientras que el tiempo de almacenaje puede ser 1, 7, 30 o incluso 90 días, a una temperatura de 25 °C (IEC 61982), o 45 °C (ISO 12405).

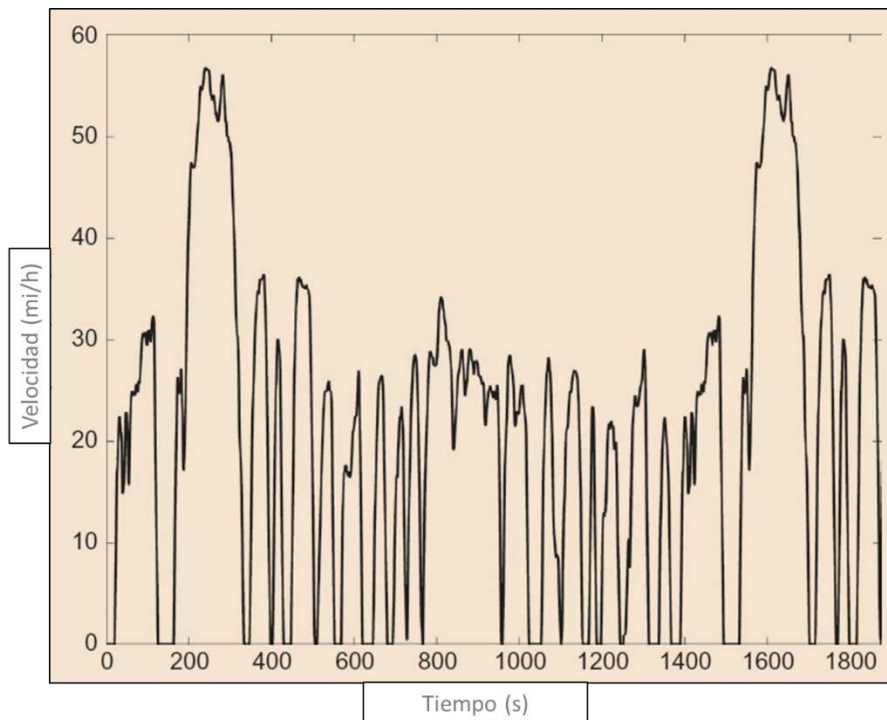


Figura 5. Velocidad del vehículo en el ciclo de conducción FTP-75

- **Potencia de arranque**

Con una batería con un SOC bajo, por ejemplo 20 %, se descarga con pulsos de alta corriente de corta duración, repetidos varias veces. El objetivo es ver si con un SOC bajo la batería es capaz de arrancar otro sistema de propulsión, como es el caso de los vehículos híbridos.

Los pulsos suelen ser de 2-5 s de duración, con una pausa de 10 s entre ellos. Los tests se suelen realizar a bajas temperaturas, por debajo de 0 °C, aunque otro estándar menciona realizar los tests a 50 °C (ISO 12405-1).

- **Carga y eficiencia energética.**

El test consiste en determinar la relación entre la capacidad de descarga (energía de salida) y la capacidad de carga (energía de entrada). Esto se puede hacer midiendo la energía que proporciona una batería cargada, hasta su límite de descarga, y midiendo la energía necesaria para cargar de nuevo la batería hasta el 100 % de carga. Sin embargo, también es válido realizarlo en forma de pulsos, alternando un pulso de carga y otro de descarga, de igual tiempo y magnitud. Se podría hacer con un 100 % SOC de partida, aunque varios estándares recomiendan realizarlo con SOC del 65 %, 50 % o incluso del 35 % (ISO 12405-1).

- **Tests térmicos**

Básicamente consiste en la realización de cualquiera de los anteriores tests, pero a una determinada temperatura. La batería se deja dentro de una cámara térmica el tiempo necesario para que su temperatura se iguale a la deseada, dependiendo este tiempo de la masa y las propiedades térmicas de la batería. El rango de temperaturas a testear es desde -35 °C a 65 °C, temperaturas que son consideradas como el rango de funcionamiento en las condiciones climáticas de nuestro planeta.

3.1.2 Tests de vida de la batería

Consisten en evaluar la vida útil de la batería, analizando su degradación. Los más comunes son de tres tipos:

- **Envejecimiento acelerado**

En esta prueba, una vez identificados los parámetros que hacen que la batería se degrade (comúnmente por temperatura, y ciclos de carga-descarga), se testea la batería sobre ciclos repetitivos hasta que se observa un envejecimiento considerable. Se trabajará siempre dentro de los límites de funcionamiento de la batería. Se considera que el test ha finalizado cuando la capacidad de la batería, tras ser cargada completamente, supone un 80 % de la energía que era capaz de almacenar al comienzo del test.

- **Envejecimiento temporal**

Test simple que consiste en almacenar la batería a una temperatura elevada, de entre 35 °C y 60 °C, por ejemplo, durante varias semanas o meses. Luego se observa la autodescarga, la pérdida de capacidad, resistencia interna, etc.

- **Ciclos de vida de uso común**

Combina ciclos de descarga dentro de los límites con un tiempo de reposo. El objetivo es simular un comportamiento lo más parecido al que un usuario puede hacer de la batería. Se somete a un ciclo de descarga y carga diario, con dos días de reposo a la semana. La descarga se realiza con un ciclo normalizado, dentro de unos límites de temperatura controlados. Las variaciones que se pueden introducir en este test afectan precisamente a las temperaturas, ya que, si deseáramos simular las condiciones climáticas de cierto país, adecuaríamos los límites de funcionamiento a las máximas y mínimas anuales del mismo. Se debe realizar periódicamente un test de rendimiento a 25 °C para observar la degradación de la batería.

3.1.3 Pruebas de seguridad

El objetivo de diseño de estas pruebas es emular las condiciones reales a las que una batería puede, de manera puntual, ser expuesta. También llevar a las baterías a un punto de trabajo donde puedan producirse condiciones de inseguridad o donde pueda quedar permanentemente dañada.

- **Test de fiabilidad**

Se somete a la batería a unas condiciones de funcionamiento normales, y se observa que no sufra ningún tipo de alteración al ser expuesta a estas condiciones, ya sea por la temperatura ambiente, vibraciones externas, aceleraciones, etc.

- **Test de seguridad eléctrica**

Existen varios tests para comprobar qué pasaría si el sistema de gestión de la batería dejara de funcionar, permitiendo cargas y descargas fuera de las condiciones normales. Algunos ejemplos son:

Sobrecarga, sobre voltaje, carga anómala: La batería se carga a mayor voltaje del indicado por el fabricante, se expone a un tiempo de carga mayor u otros tipos de carga desaconsejados.

Cortocircuito: Hay dos tipos de cortocircuito, el fuerte si la resistencia del cortocircuito es menor de 1/10 de la resistencia interna de la batería, o suave si es mayor. La prueba se mantiene el tiempo suficiente hasta observar un fallo en la batería, ya sea en las celdas o conectores de la misma

Sobredescarga: De forma análoga a la sobrecarga, se descarga la batería por debajo del límite indicado por el fabricante, que puede inducir a un cambio de polaridad en la misma.

- **Test de seguridad mecánica**

En estos casos se trata de observar el comportamiento de la batería ante un posible impacto del vehículo.

Aplastamiento controlado: la batería es deformada con una prensa, con un útil concreto en la punta. El objetivo del test es tanto medir la deformación sufrida por la batería, que dependerá del útil colocado y que es bastante difícil de medir, y medir la fuerza suministrada por la máquina para deformarla. En la norma SAE J2464 se recomienda una deformación del 15 %, un periodo de reposo, y continuar hasta una deformación del 50 %, siempre limitando la fuerza a 1000 veces la masa de la batería. Otro test similar propone realizar una compresión a 100 kN independientemente de la deformación observada. En IEC 62660-2, el test finaliza al alcanzar el 15 % de deformación, o 1000 veces la masa de la celda.

Caída o test de impacto: La batería se deja caer desde cierta altura, usualmente 2 m, o se le somete a un impacto horizontal equivalente.

Baja presión o test de altura: Se somete la batería a unas condiciones de presión de 11,6 kPa, que se corresponden con la presión que tendría si fuera transportada en un avión a 10.000 m de altura sobre el nivel del mar.

Shock mecánico: Se somete a aceleraciones elevadas, durante un corto periodo de tiempo. En la ISO 12405 se propone 500 m/s² durante 6 ms, 245 m/s² durante 15 ms para la SAE J2464, 150 G en 6 ms para UN 38.3, etc.

Test de punción: Se penetra una aguja de diferentes tamaños (3-20 mm), con una velocidad de 8 cm/s. Producirá una rotura de las capas de la batería, que resultará en un cortocircuito.

Vibración: Se somete a unas frecuencias de vibración, de 10 a 200 Hz para observar si se produce algún fenómeno de resonancia, en los tres ejes X, Y y Z.

- **Tests térmicos**

Se realizan para observar el comportamiento de la batería ante un posible incendio o altas temperaturas.

Resistencia al fuego: Se expone la batería a una temperatura muy alta. Tanto el estándar SAND 2005-3123 como SAE J2464 recomiendan realizar el test en un horno, introduciendo la batería cuando las condiciones sean de 890 °C y mantenerla durante 10 minutos.

Calor externo: Se introduce la batería en un sistema controlado, que aumente la temperatura desde la ambiente a razón de 5 °C por minuto. En algunos estándares, la temperatura final es de 130 °C (IEC 62660-2), otros fijan 85 °C.

Shock térmico: La batería se introduce en un ambiente muy cálido, se deja para que se estabilice, e inmediatamente se traslada a otro muy frío. Se deja estabilizar, y se repite el ciclo un número concreto de veces. Las temperaturas suelen ser de 80 °C para el ambiente cálido y -40 °C para el frío.

3.1.4 Normas internacionales vigentes

Algunos tests de los antes mencionados no reflejan las condiciones reales a las que va a ser sometida la batería, o en algunos casos no aportan información útil o suficiente como para poder avanzar en la seguridad y rendimiento de las mismas. Es por ello que los estándares de los tests están evolucionando y mejorando. Un ejemplo es el ensayo de cortocircuito; se están estudiando nuevos tests que incluyan materiales inmersos en las celdas que, mediante temperatura, puedan crear un cortocircuito interno. De esta forma se simula de forma más fidedigna las condiciones en las que se produce un cortocircuito en la vida real.

3.2 Normativa vigente

El vehículo eléctrico representa una mezcla de tecnologías que hasta ahora tenían sus normativas diferenciadas, por un lado, el vehículo de transporte, por otro los dispositivos eléctricos. Según [Ruiz Ruiz V. \(2018\)](#), tradicionalmente la IEC (International Electrotechnic Commission) lidiaba con los temas

eléctricos, mientras que la ISO (International Organization for Standardization) trataba con todos los estándares relacionados con el vehículo eléctrico. Para finales de los años 90, se llegó a un consenso para definir las competencias de cada uno de los comités: ISO trabajaría con el vehículo eléctrico en sí, como un objeto completo y disgregaría el mismo hasta el nivel de pack de baterías, mientras que IEC lo haría con los componentes eléctricos creando estándares a nivel de celda. Por su parte SAE, de origen americano, ha trabajado paralelamente a las anteriores organizaciones para proponer estándares propios, de carácter voluntario y relacionados con la estadounidense NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration). Para la Unión Europea, SAE no es considerada una organización de estándares internacional.

A continuación, se muestran las normas vigentes consideradas las más importantes:

- **IEC 62660-1:2010:** especifica los ensayos de prestaciones y test de vida de las baterías secundarias de iones de litio usadas para propulsión de vehículos eléctricos incluyendo eléctricos completos e híbridos.
- **ISO 12405-4:2018** (reemplaza a ISO 12405-1:2011 e ISO 12405-2:2012): especifica los procedimientos de ensayo para las características básicas de rendimiento, fiabilidad y funcionalidad eléctrica de los packs de baterías y sistemas para alta potencia o aplicaciones de alta energía.
- **IEC 61982:2012:** Aplicable a los tests de prestaciones y durabilidad de las baterías secundarias usadas en vehículos de propulsión. El estándar es aplicable a baterías de ácido, Ni/Cd, Ni/MH y baterías de sodio usadas en vehículos eléctricos. Sustituye y reemplaza a IEC 61982-1:2006, IEC 61982-2:2002 e IEC 61982-3: 2001
- **SAE J1798:2008:** provee de unos tests comunes y métodos de verificación para evaluar el rendimiento de las baterías de Vehículos eléctricos.

3.3 *Resumen del capítulo*

Se ha podido observar que en la actualidad existen numerosos tests estandarizados para ensayar las prestaciones, la seguridad y el envejecimiento de las baterías. Estos tests se tomarán como referencia para la realización de las prácticas didácticas, adaptándolos a las capacidades funcionales del banco de pruebas de baterías. Además, se han mostrado las diferentes normativas actuales que cobrarán sin duda una gran importancia en un futuro, cuando la hibridación y electrificación de los vehículos sea una realidad.

4. DISEÑO, DESARROLLO Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS DE BATERÍAS

4.1 *Diseño inicial del banco*

La fase de diseño comienza como en todo proyecto con la definición de unas especificaciones deseadas.

4.1.1 Especificaciones

➤ *Objeto*

El objetivo de este proyecto es la creación de un banco de pruebas para baterías de iones litio, a partir de una serie de componentes, con el fin de ser usado como método didáctico en las prácticas de algunas de las asignaturas del máster de ingeniería de automoción. Con él se pretende al menos ser capaz de realizar **cargas, descargas y ciclos de cargas-descargas automáticos**, todo ello supervisado por un **software de control y registrando los datos** con un sistema de adquisición de datos. Adicionalmente, puesto que el banco está destinado a ser utilizado por alumnos, se deseaba que su manejo fuera lo más seguro posible, incluyendo en el programa de control un **sistema de alarmas** en caso de que se superasen valores prefijados de temperaturas, tensiones o corrientes.

➤ *Descripción del proyecto*

Para la construcción del banco de baterías de iones de litio será necesaria la adquisición de la siguiente lista de componentes (como mínimo):

- **Baterías de ion litio**, como objeto de ensayo. Se buscarán baterías pequeñas tipo pila, que sean fácilmente reemplazables, y de varios tipos o capacidades.
- **Fuente de alimentación**, para poder generar la carga de baterías. Se pretende trabajar con al menos 150 V y 30 A
- **Carga electrónica**, para el proceso de descarga de baterías. Potencia similar a la fuente de alimentación.
- **Ordenador PC**, para controlar los procesos de carga y descarga, mostrar los resultados en tiempo real y exportar los datos. Se trabajará con el software nativo de la fuente y carga electrónica si se puede adaptar a los requisitos deseados. En caso contrario, se usará LabVIEW como software integrador.
- **Sistema de adquisición de datos**, para registrar las variables de tensión, intensidad y temperatura de las baterías. El sistema incluye un módulo de conversión A/D de tensión con ocho canales diferenciales (que se usa para adquirir las señales de tensión y de intensidad), un módulo de linealización y conversión A/D de termopares, y un tercer módulo para comunicaciones entre los anteriores módulos y el PC.
- **Sensores de intensidad**, basados en efecto Hall, para convertir las intensidades a tensión, como paso previo a la conversión a valores digitales.
- **Divisores de tensión**, para reducir en dos canales (0 y 1) la tensión a la entrada y adecuarla al valor máximo admitido por el módulo A/D de tensión. Otros dos canales (2 y 3) no tienen divisor.
- **Sensores termopares**, para registrar las temperaturas de las baterías (8 canales).
- **Portapilas, y cables rojos y negros**, para realizar las conexiones entre las baterías.

- **Caja y rack de seguridad**, para introducir las baterías y tener un ambiente controlado de temperatura.
- **Multímetros y otra instrumentación**, para ayudar al correcto conexionado y montaje del equipo.

➤ **Realización del proyecto**

La realización del proyecto se ha llevado a cabo por el autor de este TFM, supervisada por sus tutores. Ha consistido principalmente en:

- Búsqueda de los componentes adecuados que se ajusten al presupuesto acordado.
- Montaje del conjunto.
- Conexionado de las comunicaciones.
- Realización del software de control.

➤ **Documentación a entregar**

Como documentación se pedía, una vez finalizado el proyecto:

- Manual de funcionamiento, de carácter sencillo y comprensible para los alumnos de las prácticas.
- Código del programa.
- Prácticas didácticas propuestas.
- Memora de realización del proyecto (TFM)

➤ **Control de los trabajos**

Para el control de los trabajos se realizarán reuniones periódicas en el que se expongan los problemas encontrados y las soluciones a adoptar. Se realizarán aproximadamente cada dos semanas, además de una obligatoria cuando se finalice cada una de las etapas mostradas en el diagrama de Gantt de la figura 2.

➤ **Plazos**

Los plazos se cumplirán de acuerdo con lo reflejado en el diagrama de Gantt de la figura 2. En cualquier caso, se deberá completar el proyecto previo a la última convocatoria de exposición del TFM del curso 2018-2019 del máster de ingeniería de automoción, que tiene como fecha de entrega el 1/7/2019.

4.1.2 Presupuesto inicial

Con todo ello se genera un presupuesto aproximado, que servirá como punto de partida para la búsqueda de financiación (tabla 2).

Tabla 2. Presupuesto inicial banco de pruebas baterías

Equipo	Precio estimado (€)
Fuente de alimentación	726,00
Carga electrónica	786,50
PC	- (Cedido)
Sistema adquisición datos	484,00

Baterías	363,00
Termopares	145,20
Modulo termopares	363,00
Cables, conexiones	121,00
Portapilas	84,70
Caja y rack	278,30
Multímetro y otros	242,00
TOTAL	3.513,70 €

4.2 Búsqueda de equipos

Una vez validado el presupuesto, por un total de 3100 €, se decide buscar modelos que se adecuen al precio fijado. Tras las consultas realizadas a varios distribuidores locales y vendedores online, se realiza una selección de equipos de equipos para realizar su compra. Las tiendas consultadas fueron:

- IDM Instrumentos
- Farnell
- Jesús suministros industriales S.A.
- SETUP electrónica
- RS components
- Adler instrumentos

4.3 Adquisición de equipos

Tras una selección de los equipos anteriormente expuestos, se decide realizar la adquisición de los componentes mostrados en la tabla 3. Algunos de los componentes se pueden ver en las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Tabla 3. Relación de materiales, cantidades y precios adquiridos

Componente	Modelo y características	Unidades	Precio unitario (€)	TOTAL (€)
Carga electrónica	IT8512A+ 150V/30A/300W	2	540,00 €	1.080,00 €
Fuente de alimentación	IT6723 DC 80V/40A/850W RS232/USB	1	950,00 €	950,00 €
Termopares	Tipo K, unión desnuda, 1 m de cable, conector aéreo más base fija	8	17,68 €	141,44 €
Baterías Li+ - A	18650, 2850 mAh	20	5,25 €	105,00 €
Baterías Li+ - B	26650, 5000 mAh	10	14,12 €	141,20 €

Batería Pb	6V 3A 12Ah	1	30,40 €	30,40 €
Portapilas	Para baterías grandes (B) y pequeñas (A)	15	5,33 €	79,95 €
Módulo A/D entradas analógicas	I-7017, 8 canales tensión diferenciales, +-5 V, 10 Hz, 16 bits	1	191,00 €	191,00 €
Módulo A/D termopares	I-7018, 8 canales para termopares, 10 Hz, 16 bits	1	197,00 €	197,00 €
Módulo comunicación USB - RS485	I-7561U	1	81,00 €	81,00 €
Fuente de alimentación	Fuente alimentación +-15V	1	100,92 €	100,92 €
Sensores de intensidad efecto Hall	Transductor de Corriente, Serie HY, 20A, -60A a 60A, 1 %, Salida de Tensión, 12 Vdc a 15 Vdc	4	21,10 €	84,40 €
Interruptores de corte de seguridad	Seccionadores giratorios de dos polos 40 A con caja	2	91,73 €	183,46 €
Modulo convertidor DB9 Serial Port a USB	OP2102 UART 6 pin	1	4,55 €	4,55 €
			TOTAL	3.345,76 €

Modificaciones sobre los equipos iniciales:

- Se cambia la opción inicial de una tarjeta de adquisición de datos para el PC por la opción de un sistema de adquisición de datos basado en tres módulos Adams, uno convertidor A/D de tensión (8 canales), otro linealizador de termopares y conversión A/D (8 canales) y otro de comunicaciones entre estos módulos (vía RS485) y el PC (vía USB).
- Se adquiere una segunda carga electrónica, ya que hay presupuesto para ello y permite aumentar la versatilidad del banco.
- Se rechaza la adquisición de una caja metálica para introducir en ella las baterías durante los ensayos, ya que se plantea realizarlo en un futuro, incluyendo medidas de seguridad y de refrigeración y control de temperatura.
- Se decide fabricar mediante una impresora 3D una caja para la integración de los módulos de adquisición de datos y borneros (figura 6).
- Se construye mediante perfiles metálicos y tablero aglomerado un bastidor para alojar las cargas electrónicas, la fuente de alimentación, los interruptores seccionadores y los soportes de los portabaterías (esquema incluido en el Anexo III).

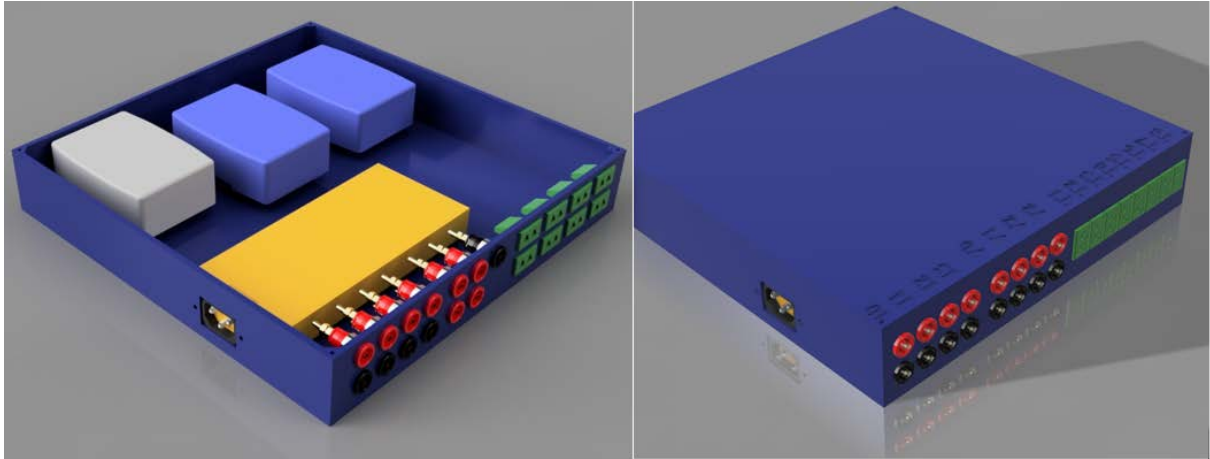


Figura 6. Diseño CAD de la caja de instrumentación



Figura 7. Baterías de iones litio adquiridas. A la izquierda baterías tipo A de 2850 mAh, a la derecha de tipo B de 5000 mAh.



Figura 8. A la izquierda carga electrónica IT8512A+. A la derecha, fuente de alimentación IT6723

4.4 Montaje de los equipos

Para el montaje de los equipos se ha llevado a cabo el siguiente proceso:

1. **Montaje del sistema de adquisición de datos.** Se parte de una caja diseñada y construida por los técnicos de los Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, incluye el conexionado de los borneros, el cableado del módulo de termopares, módulo de entradas analógicas (tensión máxima a la entrada y módulo de conversión USB. Además, ha sido necesario crear un módulo (figura 9) que integra una fuente de alimentación conmutada y los sensores de intensidad de tipo Hall, así como un divisor de tensión 1/10 para la medición del voltaje. El divisor de tensión solo se ha colocado en las entradas V0 y V1, por lo que las tensiones aplicables a las entradas V2 y V3 deben estar por debajo de 5V, pero a cambio se tendrá una mayor resolución en la medición de tensión de una sola batería de Li+. En el Anexo III se proporcionan los esquemas de construcción de la placa base con los sensores de intensidad.

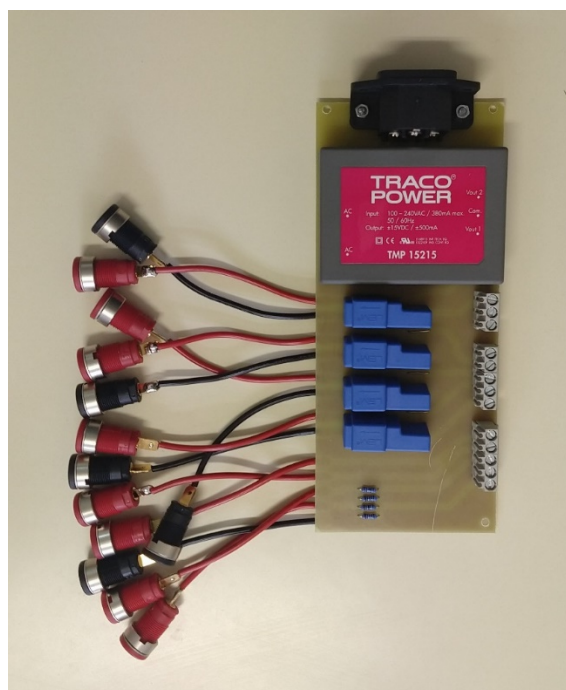


Figura 9. Fuente de alimentación para el sistema de adquisición de datos, sensores de intensidad y conectores

2. **Conexión y cableado.** Se han dispuesto los componentes principales como se muestra en la figura 10.
3. **Conexión y cableado de los portabaterías.** Se han realizado los montajes del cableado principal de la fuente de alimentación y carga electrónica, que son controlados por unos seccionadores de seguridad. Además, se han dispuesto regletas para realizar las conexiones de las baterías, en cada uno de sus portapilas, a dichos seccionadores (figura 11).
4. **Colocación de los equipos en el bastidor de montaje.** La disposición final se puede ver en la figura 12.

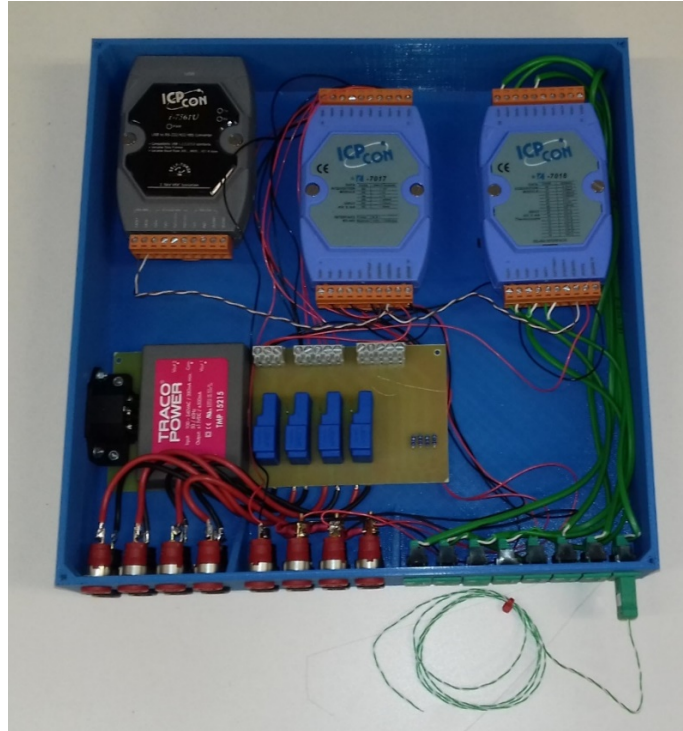


Figura 10. Caja de instrumentación, con el sistema de adquisición de datos montado



Figura 11. Portabaterías, para los tamaños 26650 (izquierda) y 18650 (derecha).

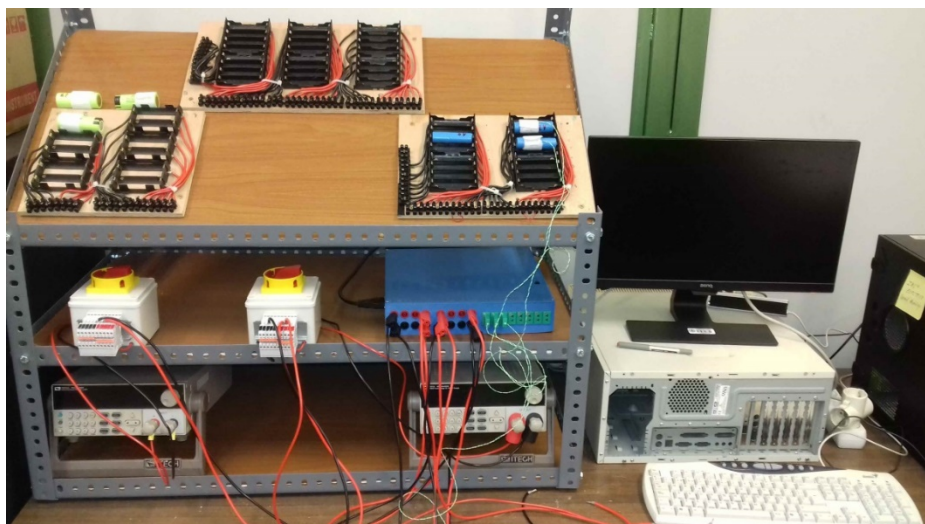


Figura 12. Disposición general del banco de pruebas de baterías

4.5 Conexión de los sistemas de comunicación y software

La comunicación de los equipos con el PC se hace mediante un cable USB, a través de un puerto DB9 con un cable de comunicación IT-132. Cabe destacar que tanto la carga electrónica como la fuente de alimentación dan la posibilidad al usuario de usar interfaz RS-232, conexión GPIB o USB. Se usarán protocolos USB debido a su mayor sencillez y facilidad de uso en cuanto a los comandos, órdenes de escritura y de lectura.

El software elegido para controlar a los equipos y programar las funcionalidades deseadas es LabVIEW en su versión 16.0. LabVIEW es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico pensado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido. Las razones por las que se ha elegido este software para la programación son las siguientes:

- Integración: LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante como de otros fabricantes
- Facilidad de uso: Valido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos de programación.
- Herramientas de depuración interactiva: provee de una forma intuitiva de entender el orden de ejecución del código.

LabVIEW sigue un modelo de flujo de datos para ejecutar VIs. Un nodo de diagrama de bloques se ejecuta cuando recibe todas las entradas requeridas. Cuando el nodo se ejecuta, produce datos de salida y pasa los datos al siguiente nodo en la trayectoria del flujo de datos. El movimiento de datos a través de los nodos determina el orden de ejecución de los VIs y las funciones en el diagrama de bloques.

Las estructuras de ejecución contienen secciones de código gráfico y controlan cómo y dónde se ejecuta el código de dentro. Las estructuras de ejecución más comunes son Ciclos *While*, Ciclos *For* y Estructuras de Casos los cuales puede usar para ejecutar la misma sección del código varias veces o para ejecutar una sección diferente del código basada en alguna condición.

4.6 Modos de funcionamiento de la fuente de alimentación y carga electrónica

4.6.1 Fuente de alimentación IT6723

La fuente de alimentación dispone de dos modos de funcionamiento: V-cte e I-cte. Se podrán configurar ambos modos y sus parámetros desde la consola principal o por software.

El valor de salida de la corriente viene determinado por el voltaje de salida de la fuente y la resistencia de la carga conectada. Cuando el valor real de la corriente sea menor que el fijado en la fuente, el dispositivo trabajará en modo CV (Voltaje constante). Si la corriente de salida demandada es mayor que la fijada en la fuente, trabajará en modo CC (Corriente constante) limitando la corriente de salida al nivel fijado.

4.6.2 Carga electrónica IT8512A+

Los modos de funcionamiento que dispone la carga electrónica son cuatro: CV (Voltaje constante), CC (Intensidad constante), CW (Potencia constante) y CR (Resistencia constante) reflejados en la figura 13.

- Para el **modo CC**, la carga consume una corriente constante, independientemente del voltaje en sus terminales.
- En el **modo CV**, la carga mantiene entre sus bornes la tensión prefijada, siempre que la tensión aplicada sea superior a la misma.

- Para el **modo CR**, la carga se comporta como un valor de resistencia constante. Como se observa en la gráfica, la carga se comporta de manera lineal con respecto a la corriente y voltaje.
- En el **modo CW**, la carga electrónica disipará una potencia constante. La corriente disminuirá cuando la tensión aumente y viceversa, siempre manteniendo una potencia constante

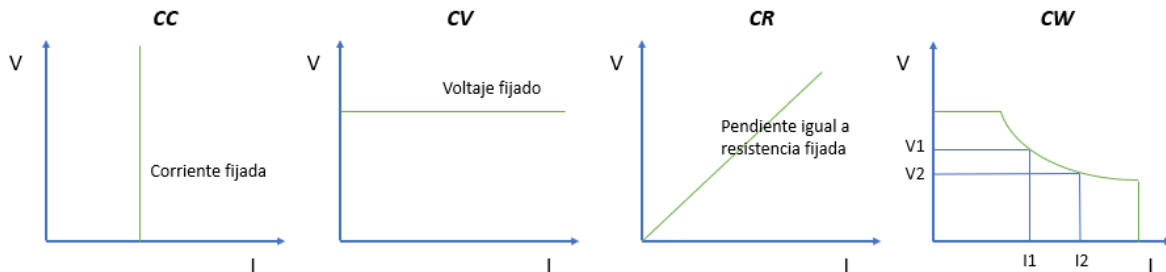


Figura 13. Modos de funcionamiento de la carga electrónica

4.7 Creación de los programas

Se crea un programa para cada **proceso básico**, uno para la **Carga** y otro para la **Descarga**. Para el **ciclo combinado** de ambos, se hará otro programa que haga de gestor de los dos anteriores.

4.7.1 Programa “Carga”

A continuación, se describe el funcionamiento del programa realizado que gestiona un ciclo de carga de la batería. En el anexo II se encuentra el programa completo, y se adjunta el archivo del programa en el formato electrónico de este TFM.

El programa de carga comienza con un **inicio de las comunicaciones**, tanto para los módulos de comunicación (ADAMs) como para la fuente de alimentación. Una vez abiertas las comunicaciones, el **programa principal** se ejecuta en un bucle *while*, finalizando con unas condiciones deseadas. Cuando el programa finaliza, se realiza el **cierre de conexiones de comunicación** para evitar conflictos de ejecución. Además, existen una serie de **parámetros con valores fijos**, que sirven como “base de datos” (figura 14) de las características de las baterías. Parámetros como temperatura máxima y mínima de carga, de descarga, voltaje máximo de carga, C máxima de carga, intensidad máxima de carga, intensidad de fin de carga, voltaje máximo de descarga, C máxima de descarga, intensidad máxima de descarga, resistencia interna y carga nominal. Todo esto para cada uno de los tipos de baterías.

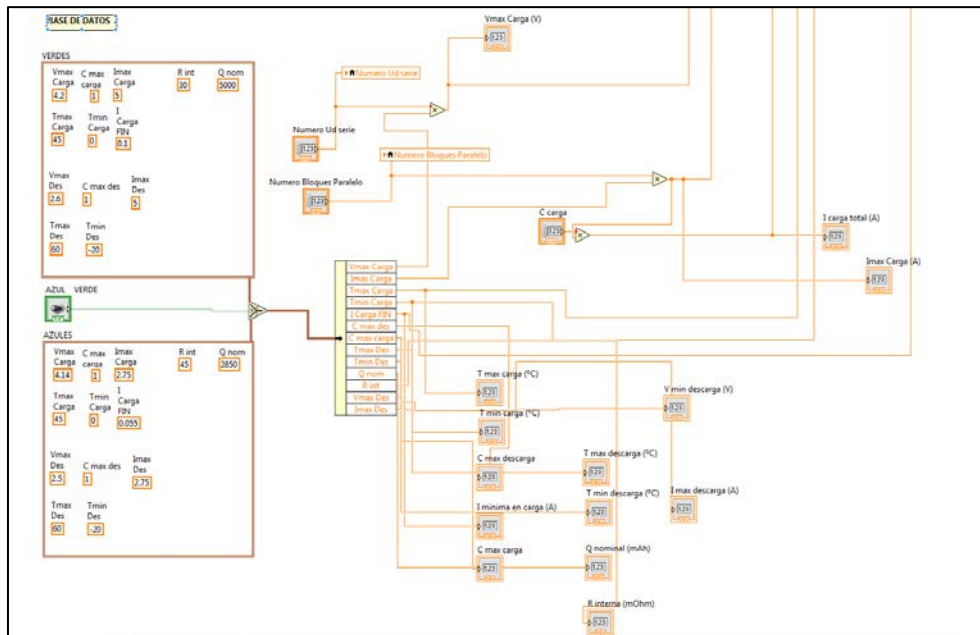


Figura 14. Base de datos en el programa de Carga

En este bucle principal, donde realmente se ejecuta el programa, tenemos varios hilos conductores que ejecutan sus subprogramas simultáneamente. Los podríamos agrupar en:

- **Módulo de comunicaciones**

Representado en la figura 15. Sus subprogramas se ejecutan en el siguiente orden:

- **Leer input.** Es un subprograma que lo que hace es acceder a los datos de lectura de los módulos de comunicaciones. Los módulos ya se les ha asignado una dirección de acceso (1 para el 7017, 2 para el 7018) por lo que mediante comandos de lectura adquirimos un array con 8+8 datos. Hay que destacar que dentro de este subprograma se encuentra un subprograma de calibración de los módulos, en el que ajustamos las lecturas linealizándolas de forma $y=Ax+B$.
- **Medias graf.** Módulo de representación de datos. Genera las gráficas en las que representamos los datos de Intensidad, Voltaje y Temperatura como se puede observar en la figura __. Se ha provisto de un visor de la medición, un selector de entradas para solo representar las medidas con datos, un selector de eje Y, para poder tener dos ejes simultáneamente en caso de necesitarlo, y un selector de color de grafica para facilitar las lecturas de los datos. El eje X, escala temporal, se puede ajustar de forma que se visualice la medición completa o durante un periodo temporal acotado (por ejemplo, los 30 últimos registros).
- **Salvar línea.** Este módulo sirve para guardar los datos en un archivo de texto, reflejando el tiempo y los ocho valores de cada ADAM.
- **Error temp.** Sirve para crear una vigilancia de las temperaturas, generando un error en caso de que cualquiera de las entradas de temperaturas seleccionadas como activas por el usuario supere los valores limite, dependiendo del tipo de batería seleccionada. La señal de error activara la finalización del bucle *while* principal, terminando con el programa como medida de seguridad.

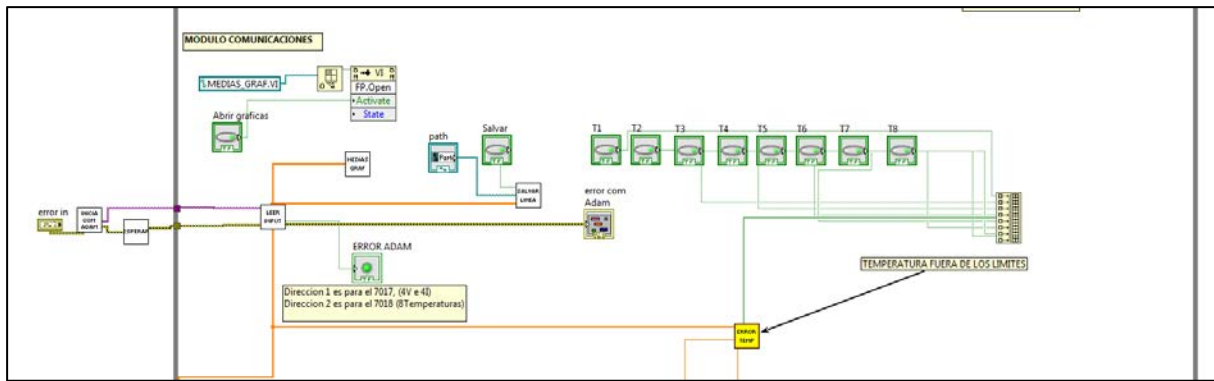


Figura 15. Hilo del bucle principal WHILE del módulo de comunicaciones del programa CARGA

Este esquema del módulo de comunicaciones es igual para los programas de carga y de descarga.

- **Lectura de datos**

Es la parte del programa en el que se tratan los datos leídos (figura 16), mostrándolos por pantalla al usuario. Se selecciona del array de datos los valores de voltaje e intensidad, mostrando los cuatro valores de cada una de estas magnitudes de forma independiente. Además, se gestiona los valores leídos para el modo de circuito abierto, que describiremos más adelante.

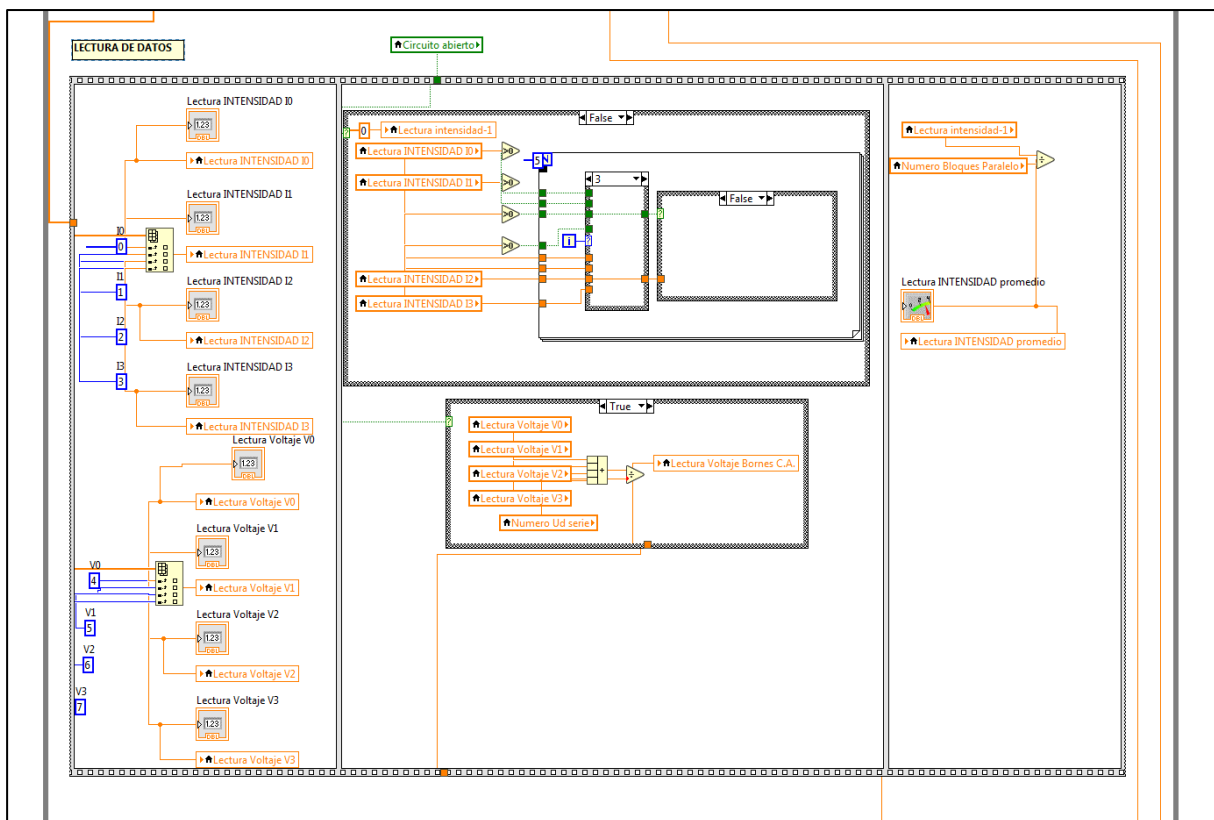


Figura 16. Hilo del tratamiento de datos leídos en el bucle principal para el programa CARGA

- **Fuente de alimentación**

El hilo de programa de la fuente de alimentación (figura 17) consta de los siguientes subprogramas ejecutados secuencialmente:

- Lectura V e I. Lee el voltaje e intensidad que proporciona la fuente de alimentación, con su función de lectura interna o METER.
- Mandar orden carga auto. Gestiona el encendido de la fuente de alimentación, así como los valores que se le envían a la fuente.
 - Entradas de parámetros
 - Voltaje leído de la batería: Promedio de las cuatro entradas de voltaje leído con los ADAM.
 - Voltaje máximo de carga: Voltaje máximo que indica que la batería está cargada, leída de la base de datos de baterías.
 - Intensidad de carga leída: Lectura de la suma de intensidades de los cuatro canales leídos por los ADAM, siempre que sean >0.
 - Intensidad de carga: intensidad fijada por el usuario que se enviara como valor para el modo a intensidad constante
 - Intensidad mínima fin de carga: Intensidad demandada por la batería que indica que ya está cargada, leída de la base de datos de baterías.
 - Señal de tiempo terminado: Recibe esta señal si el tiempo de carga indicado por el usuario ha finalizado.
 - Salidas
 - On/Off Fuente alimentación: Gestiona el encendido y apagado de la fuente, dependiendo de sus entradas.

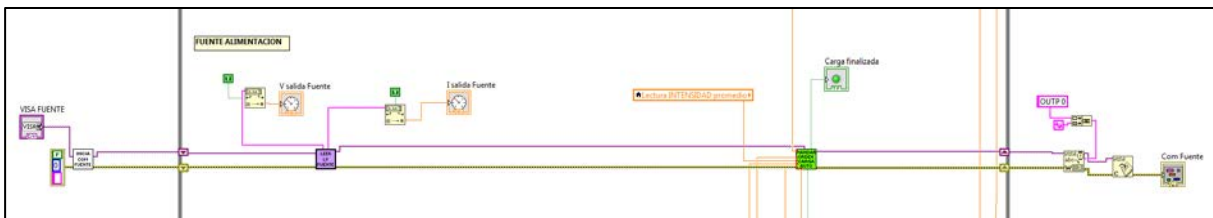


Figura 17. Hilo de programación para la fuente de alimentación, en el programa de Carga

• Gestión de alarmas y encendido

(figura 18). El programa tiene un sistema de gestión de encendido, apagado o finalización del programa que funcionan de la siguiente forma:

- **STOP:** A modo de seta de emergencia, si el usuario pulsa este botón el sistema cerrará las comunicaciones y terminará la ejecución del programa. Cuando la batería este completamente cargada, el programa finalizará igual que si pulsáramos el botón de stop.
- **ON/OFF:** En ON el programa se ejecuta y se activa la salida de la fuente de alimentación, mientras que en OFF el programa se sigue ejecutando a la espera de acciones por el usuario, pero la salida de la fuente esta apagada.
- **Alarmas de temperatura:** Error devuelto del subprograma Error Temp explicado previamente, que en caso de activarse finaliza el programa de igual forma que la señal de STOP.

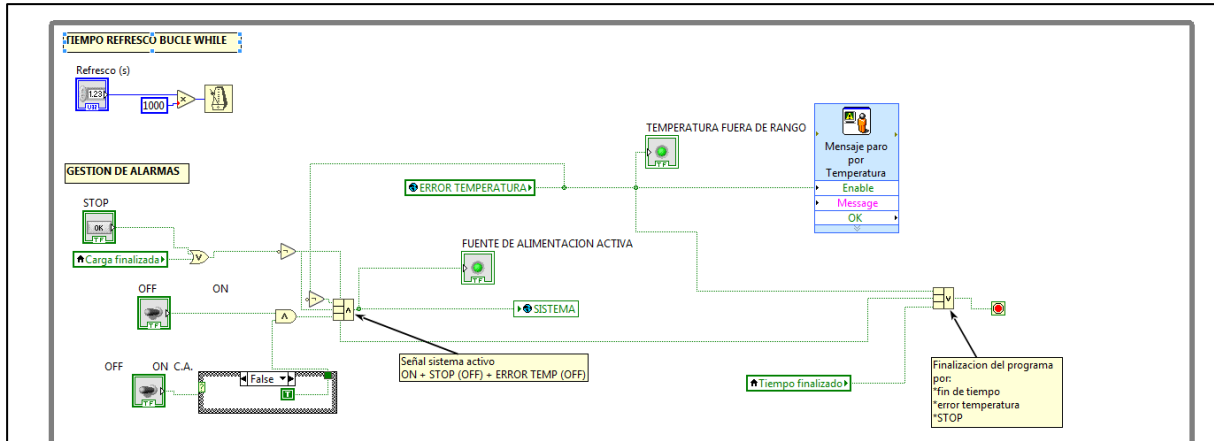


Figura 18. Tiempo de refresco del bucle principal y gestión de alarmas en el programa CARGA

- **Otras consideraciones**

Para fijar la corriente de carga se hace una simple operación de traducir la C de carga introducida por el usuario a la intensidad en amperios equivalente, que se enviará al subprograma Mandar orden carga auto.

En lo que se refiera a la **ejecución temporal** del programa (figura 19), hay dos aspectos importantes.

- **Tiempo de funcionamiento:** el usuario puede fijar un tiempo máximo de funcionamiento, que una vez concluido el programa finaliza su ejecución.
- **Tiempo de refresco:** Se puede fijar el tiempo de refresco de adquisición de datos. Si se desea observar cambios rápidos será necesario hacerlo pequeño, mientras que para cargas prolongadas conviene elevarlo. El tiempo de refresco coincide con el de adquisición de datos generado en el fichero de exportación, y marca el tiempo de espera entre cada ejecución del bucle principal WHILE.

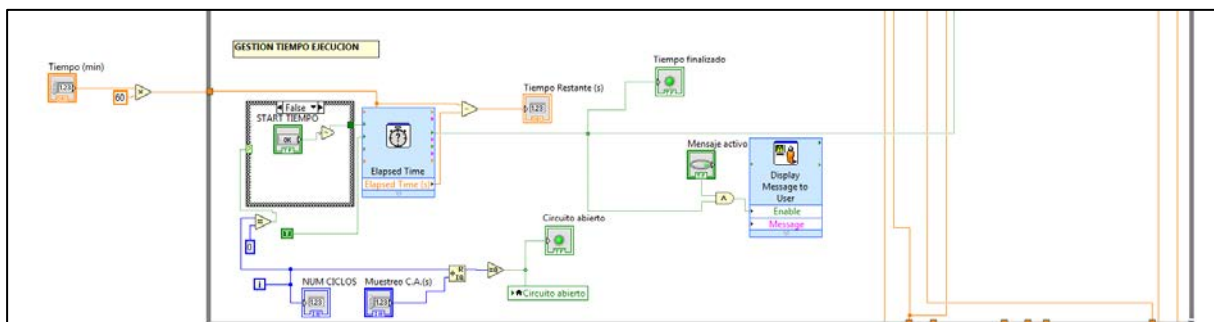


Figura 19. Gestión del tiempo de ejecución para el programa carga

El **modo de circuito abierto** permite al usuario realizar una medición del voltaje de la batería, en un ciclo de carga o descarga, para comprobar el voltaje en circuito abierto, reanudando inmediatamente el programa. Durante un ciclo de ejecución del programa que este en curso (funciona de forma idéntica para carga y descarga) se pausa la salida de la fuente de alimentación, o la entrada de la carga electrónica. Se adquieren los datos de voltaje y se guardan, hasta la siguiente lectura en circuito abierto. La frecuencia de lectura en circuito abierto puede ser seleccionada por el usuario, así como su activación.

- **Modo de funcionamiento resumido**

El programa de carga vigila constantemente el voltaje e intensidad de carga de la fuente, ya que son los indicadores principales para asegurar que la batería está completamente cargada. El programa basculará entre los modos de Intensidad constante (cuando el voltaje medido sea inferior al deseado) y Voltaje constante, cuando se ha alcanzado el voltaje deseado y la corriente de carga comienza a disminuir. Es importante recalcar que el programa hace un promedio de las cuatro entradas, tanto para la intensidad (solo para los valores mayores que 0 A) como para el voltaje (para valores mayores que 1 V). Además, el programa tiene en cuenta las elecciones del usuario para las configuraciones de baterías en paralelo o serie, en lo que a los cálculos se refiere. Cuando la batería está cargada, lo indicará por un mensaje por pantalla y finalizará el programa.

4.7.2 Programa “Descarga”

Para el programa de descarga de baterías, se ha seguido un esquema similar al realizado para la carga, con un **inicio de las comunicaciones**, un **bucle principal tipo while** con unas condiciones de finalización, una **base de datos** de las baterías a ser conectadas y por último una **finalización de las comunicaciones** abiertas. La ejecución del bucle principal se puede subdividir en los siguientes hilos del programa:

- **Módulo de comunicaciones**

Con respecto al inicio de las comunicaciones, se abren las comunicaciones de la carga electrónica con su dirección correspondiente y la de los módulos de adquisición de datos.

- **Lectura de datos**

Es la parte del programa en el que se tratan los datos leídos, mostrándolos por pantalla al usuario. Se selecciona del array de datos **los valores de voltaje e intensidad**, mostrando los cuatro valores de cada una de estas magnitudes de forma independiente. Además, se gestiona los valores leídos para el modo de circuito abierto, de la misma forma que para el programa de carga.

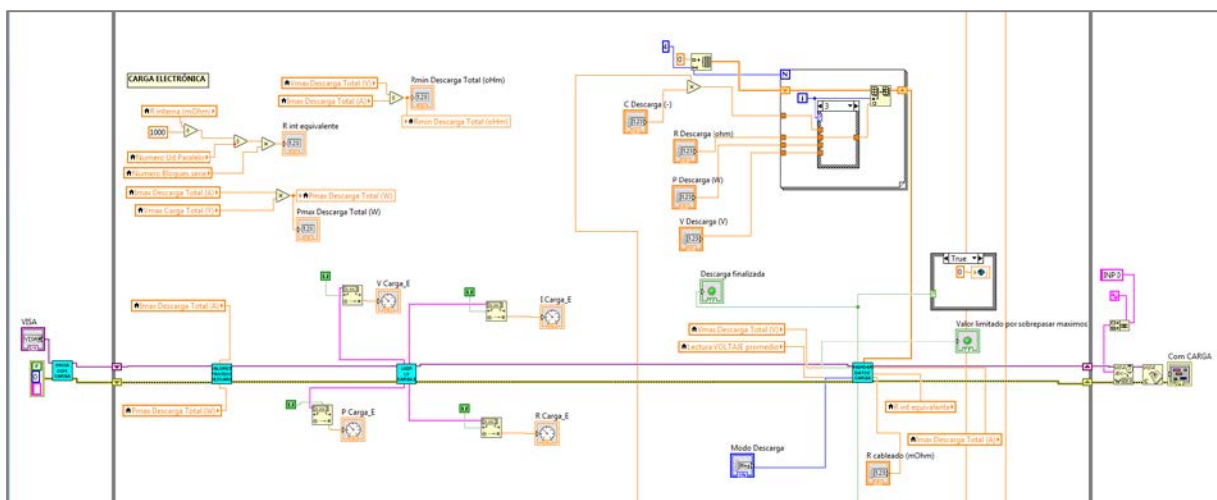


Figura 20. Hilo del bucle principal para la gestión de la carga electrónica en el programa DESCARGA

- **Carga electrónica**

La principal diferencia entre el programa de descarga y el de carga es la posibilidad de **seleccionar el modo de descarga** deseado por el usuario. Los modos disponibles son **Voltaje constante**, **Intensidad**

constante, **Potencia constante** y **Resistencia constante**. El modo elegido es un parámetro de entrada en el subprograma de "Mandar Datos Carga". La lista de subprogramas que se ejecutan en este hilo del bucle *while* principal son (figura 20):

- **Valores protección descarga:** Es un subprograma que selecciona como valores de protección los valores máximos de corriente e intensidad de las baterías, dependiendo del tipo de batería seleccionada por el usuario, así como la cantidad y configuración (serie o paralelo) de las baterías conectadas.
- **Leer I, V, P, R Carga E.:** Subprograma que lee de la carga electrónica las mediciones de voltaje, intensidad, potencia y resistencia en tiempo real, que se muestran por pantalla al usuario. Sirve para comparar con las mediciones del sistema de adquisición de datos y coincide con las medidas que se muestran por el display de la fuente electrónica, en la zona de medidas.
- **Mandar datos carga:** Es la función principal de este hilo que hace uso de los siguientes parámetros.
 - **Entradas de parámetros**
 - Modo de descarga: Introducido por el usuario, indicara a la carga el modo de funcionamiento.
 - Valor del modo de descarga: También indicado por el usuario, se enviará como comando a la carga electrónica. Sera tratado previo al envío, ya que las unidades de la carga electrónica no se corresponden con las deseadas para el usuario.
 - Voltaje leído de la batería: Promedio de las cuatro entradas de voltaje leído con los ADAM.
 - Voltaje máximo de descarga: Voltaje máximo que indica que la batería esta descargada, leída de la base de datos de baterías.
 - Señal de tiempo terminado: Recibe esta señal si el tiempo de carga indicado por el usuario ha finalizado.
 - **Salidas**
 - On/Off Fuente alimentación: Gestiona el encendido y apagado de la carga electrónica, dependiendo de sus entradas.

- **Gestión de alarmas y encendido**

El programa tiene un sistema de gestión de encendido, apagado o finalización del programa que funcionan exactamente igual que para el programa de carga.

- **Otras consideraciones**

En términos de **ejecución temporal** del programa, el comportamiento es el mismo que para la carga, tanto para el **tiempo de funcionamiento** como el **tiempo de refresco**.

El **modo de circuito abierto** funciona de la misma forma que en el modo de carga, para comprobar el voltaje real de la batería en circuito abierto en el modo de descarga.

- **Modo de funcionamiento resumido**

El programa de descarga tiene en cuenta el modo seleccionado por el usuario y configura la carga electrónica para ese modo. Vigila constantemente el voltaje de las baterías conectadas, ya que es el principal indicador de la descarga completa. Además, tiene una configuración que limita los valores introducidos por el usuario si superan los límites de seguridad recomendados, recortándolos al máximo admisible. Para ello obtiene los valores de voltaje e intensidad instantáneos y calcula la resistencia equivalente interna de las baterías, según la configuración de serie/paralelo introducida por el usuario.

De igual forma que para la carga, lee los promedios de las cuatro entradas para voltaje (si es mayor que 1 V) y para intensidad (si es mayor que 0 A), indicando por pantalla cuándo detecta que la batería está descargada y finalizando el programa automáticamente.

4.7.3 Programa “Ciclo combinado”

El ciclo combinado es un programa que gestiona la ejecución de los programas de carga y descarga. Para ello utiliza como entrada un fichero Excel, en el que el usuario debe reflejar las condiciones deseadas de alternancia entre el programa de carga y descarga, lanzando el programa y ejecutando esas órdenes de forma secuencial. El objetivo es someter a una batería a un ciclo de cargas y descargas (pasos) para evaluar su comportamiento.

- **Fichero de datos**

En el fichero Excel, el usuario dispone de una hoja ya preparada, donde podrá fijar los siguientes datos de cabecera comunes a cada uno de los pasos:

- **Tiempo de refresco:** tiempo que se espera entre ciclo y ciclo de la ejecución del bucle principal
- **Tipo de batería:** Los dos tipos de baterías existentes en la base de datos (verde y azul)
- **Baterías en paralelo:** número de baterías colocadas en paralelo n_p .
- **Baterías en serie:** número de baterías colocadas en serie n_s .

El usuario debe ir añadiendo una fila a la tabla por cada uno de los pasos que desee añadir al ciclo. El usuario tiene la opción de elegir entre los dos tipos de actuaciones, con sus parámetros correspondientes:

- **Carga**
 - Tiempo: tiempo de duración del paso
 - Valor C de la corriente de carga
- **Descarga**
 - Tiempo: tiempo de duración del paso
 - Modo de descarga: V cte (V), I cte (C), P cte (W), R cte (Ω)
 - Valor de descarga (dependiente del modo anterior elegido)

Una vez rellenado el fichero Excel (figura 21), hay que generar el fichero con extensión .csv para que el programa de LabVIEW pueda leerlo correctamente. La exportación a csv se realiza automáticamente con una macro de Excel. Una vez hecho esto, se puede acceder al programa de ciclo combinado para su ejecución.

Es importante tener en cuenta que en este fichero Excel de entrada se debe usar un “.” como símbolo para separar los decimales (y no una “,”), para garantizar la compatibilidad con el formato csv.

NOTA: Usar "." en vez de "," como separador decimal

Total pasos	Tiempo total	Tiempo refresco (s)	Tipo Batería	Baterías Paral	Baterías serie
10	120	1	VERDE	1	1

Nº PASOS	TIPO	TIEMPO (min)	C Carga	Modo Descarga	Valor
1	DESCARGA	30		I cte (A)	2
2	CARGA	25	1		
3	DESCARGA	15		V cte (V)	12
4	DESCARGA	25		I cte (A)	1
5	CARGA	1	0.5		
6	DESCARGA	2		R cte (ohm)	130
7	CARGA	3	1		
8	CARGA	4	0.2		
9	DESCARGA	5		P cte (W)	15
10	CARGA	10	1		
11					
12	CARGA DESCARGA				
13					
14					
15					
16					

Generar .CSV

Figura 21. Ejemplo de configuración del fichero Excel para el ciclo carga-descarga

- Programa gestor

El programa del ciclo combinado tiene dos partes diferenciadas:

- Lectura del fichero

Se realiza una lectura de todos los parámetros del fichero y se guarda en un array (figura 22). Los parámetros de cabecera, como el número total de pasos, el tiempo total, tiempo de refresco, etc. se almacenarán como parámetros de entrada para el bucle principal.

- Bucle principal tipo FOR

Este bucle realizará tantas llamadas a las funciones de carga y descarga como número de pasos se hayan reflejado en el fichero Excel (figura 23). Dependiendo de lo seleccionado, llamará al bloque de CARGA o de DESCARGA. En sendos bloques se tienen las siguientes entradas:

- Tiempo de refresco: tiempo de espera entre cada ejecución del bucle principal *while*, que será el mismo para la carga y la descarga.
- Tipo de batería: los dos tipos de baterías existentes en la base de datos (verde y azul).
- Numero baterías en paralelo.
- Numero bloques en serie.
- Control de temperaturas: de la misma forma que para los programas de carga y descarga, se le da la opción al usuario de marcar las entradas de temperaturas que desee que sean controladas por el programa.
- Activación por tiempo (forzada siempre ON): necesario para la ejecución temporal de los programas de carga y descarga.

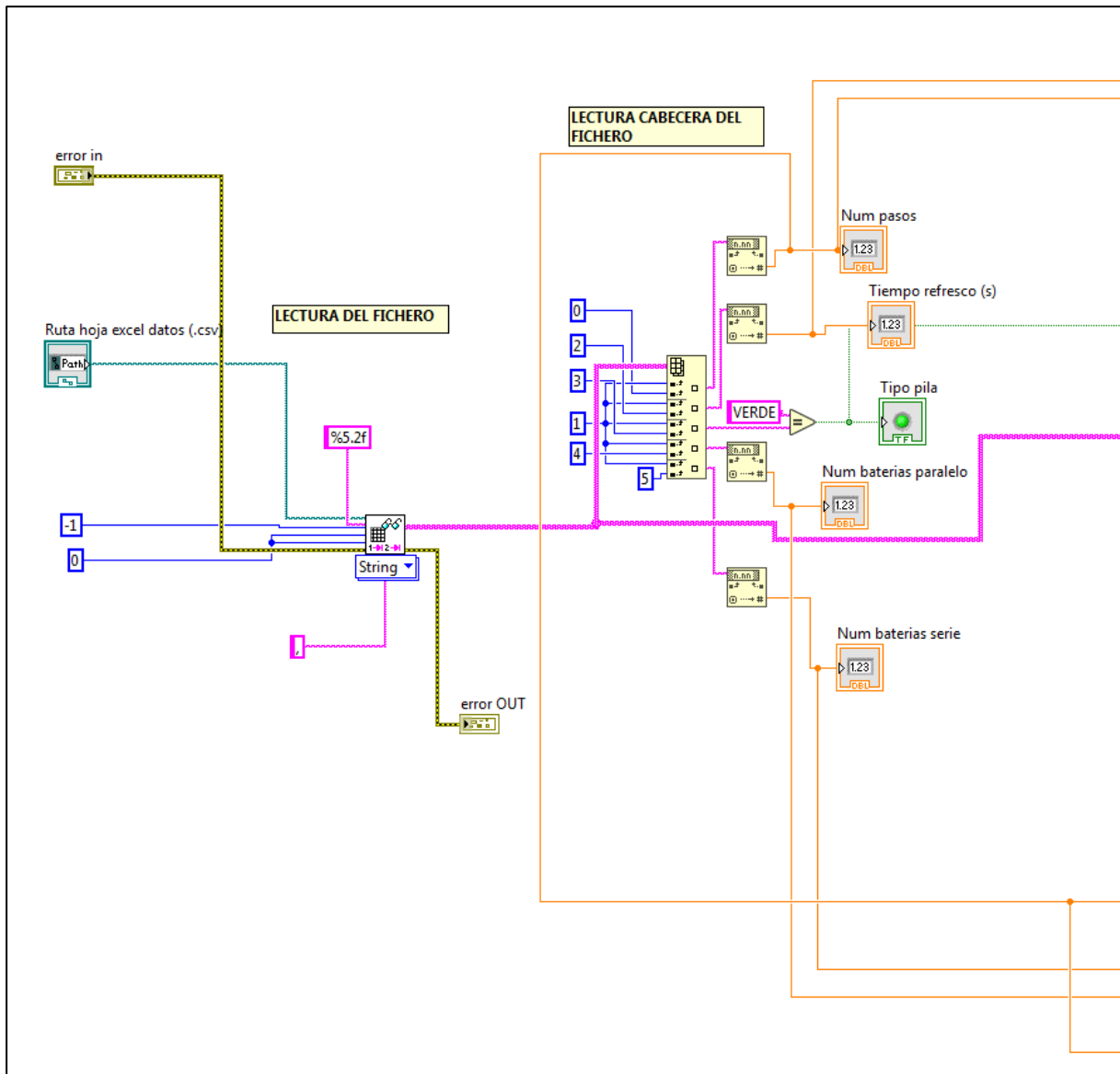


Figura 22. Parte de lectura inicial del fichero Excel en el programa de ciclo Carga-Descarga

- **Encendido del sistema:** el sistema estará siempre forzado a ON para la ejecución automática de todos los pasos.
- **Guardado de los datos:** el usuario podrá guardar los datos de los módulos de adquisición de datos durante la ejecución del programa, en un único fichero para toda la sesión.
- **Tiempo de ejecución:** dependiendo del paso en el que se sitúe el programa, se enviara el parámetro reflejado en el archivo Excel.
- **Modo de descarga:** modo seleccionado en el paso correspondiente del fichero Excel.
- **Valor de descarga:** valor del parámetro para el modo **descarga**.
- **C de carga:** valor del parámetro para el modo de **carga**.

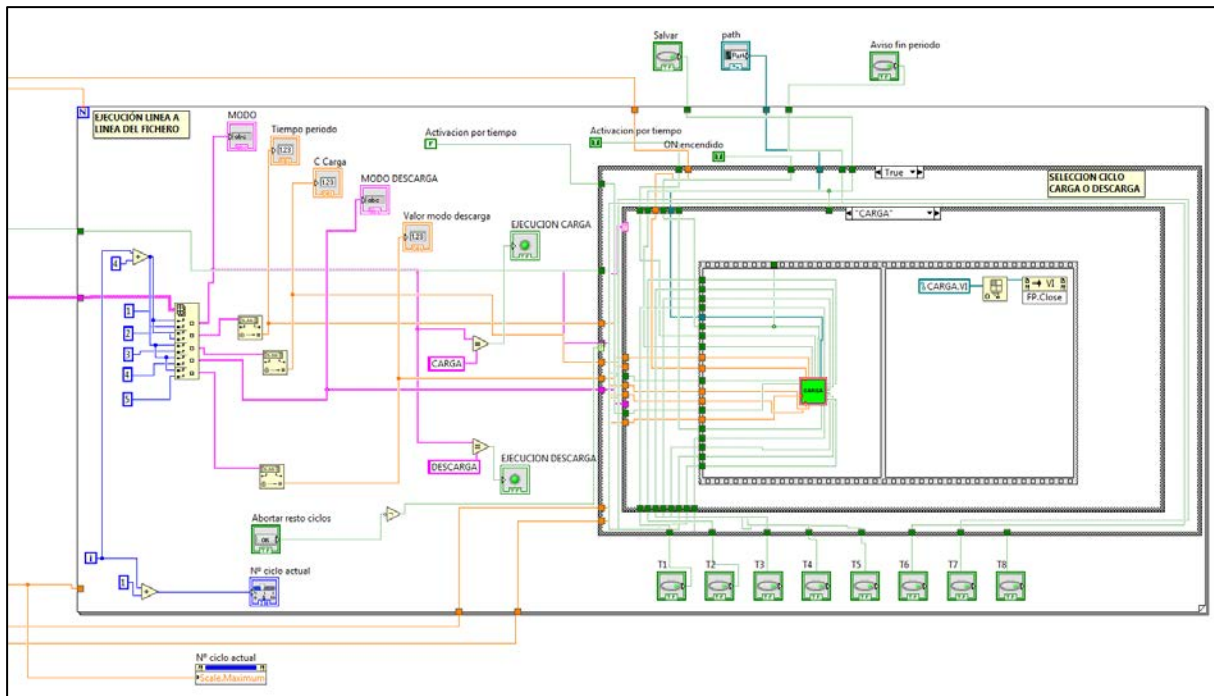


Figura 23. Bucle principal del programa ciclo Carga-Descarga

Además, se ha provisto de un **paro de ciclo**, cuya función consiste en abortar el resto de los ciclos restantes en una ejecución del programa, manteniendo el ciclo que se esté ejecutando en ese momento. Por ejemplo, si se está ejecutando un ciclo de CARGA y aún quedan tres ciclos restantes, si se pulsa el botón de **ABORTAR RESTO DE CICLOS** se mantendrá el ciclo de CARGA hasta su fin y se terminará el programa sin ejecutar los tres ciclos restantes.

- **Modo de funcionamiento resumido**

Básicamente este programa hace unas llamadas a los programas de carga y descarga pasando como parámetros las condiciones leídas del fichero Excel mencionado. Realiza tantas llamadas a los programas como se le indique en el fichero, siempre de forma secuencial y durante el tiempo fijado. Se mantiene las condiciones de parada de seguridad ya existentes en los dos programas anteriores.

4.8 Programación interfaz usuario

En este apartado se muestra la interfaz diseñada para cada uno de los programas. El usuario interactúa con estas ventanas exclusivamente, sin necesidad de actuar sobre la programación antes descrita. La interfaz se ha creado de tal forma que en el lado izquierdo de la pantalla siempre tengamos los botones e indicadores de ejecución del programa, y a la derecha siempre se mostrara las gráficas de las lecturas de los módulos de adquisición de datos. Se mostrará en tiempo real las intensidades de los cuatro canales, los voltajes de los cuatro canales y las temperaturas de las ocho entradas de termopares.

4.8.1 Carga

En la interfaz de programa se alternan marcadores numéricos con botones interactivos. Se han agrupado en diferentes partes para mostrar el programa de la manera más clara posible, dentro de lo que el tamaño de la pantalla permite como se puede ver en la figura 24.

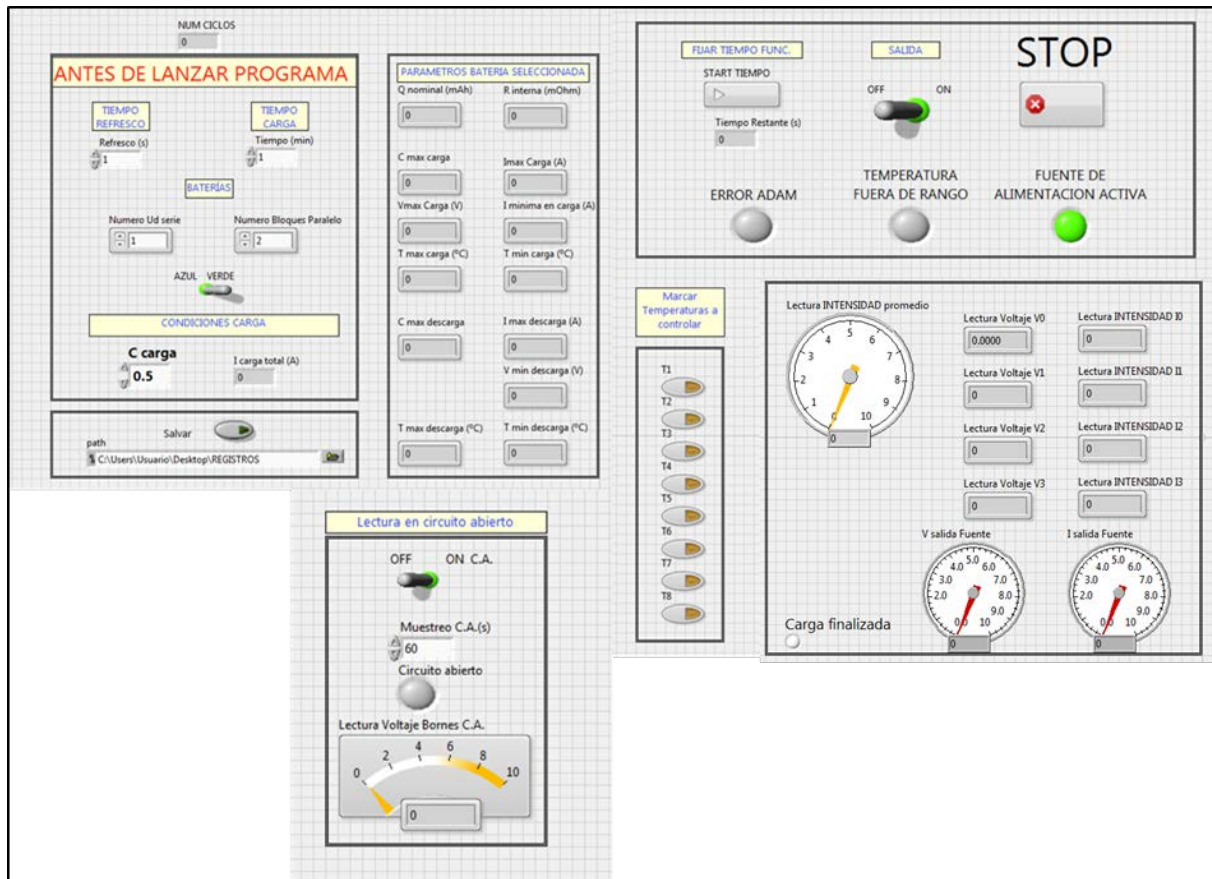


Figura 24. Interfaz para el programa de CARGA

Hay un bloque en el que se puede leer **"ANTES DE LANZAR PROGRAMA"**. Todos los parámetros dentro de este bloque se deben de configurar antes de lanzar el programa de LabVIEW, ya que una vez lo lancemos no se podrán cambiar o configurar. En este caso los parámetros son:

- Tiempo de refresco
- Tiempo de carga
- Numero de baterías en serie y paralelo
- Tipo de baterías
- C de carga

Dependiendo del tipo de batería seleccionada, se reflejarán sus parámetros característicos en la zona **"PARÁMETROS BATERÍA SELECCIONADA"**. Estos datos provienen de la base de datos antes mencionada y solo son parámetros de lectura que informan al usuario de las características de la batería seleccionada.

En otra zona, se marcará si deseamos que la sesión sea grabada y la ubicación del fichero a generar.

Hay otra agrupación de información para el **control de la fuente de alimentación** en la que se puede ver e interactuar con:

- Tiempo de funcionamiento y su activación
- Encendido y apagado de la salida, así como el botón de paro general STOP

- El **botón de paro general** cerrará todas las conexiones abiertas, poniendo la entrada en OFF y deteniendo la ejecución del programa.
- **Indicadores de estado**, como el error de temperatura, estado de la fuente, o error del sistema de adquisición de datos.
 - **Error de temperatura:** Se activará cuando se supere, de las temperaturas activas por el usuario, los límites establecidos en la base de datos. Conllevará un paro automático del programa
 - **Estado de la fuente:** Se encenderá cuando la salida de la fuente esté activa, apagándose cuando no lo esté.
 - **Error del sistema de adquisición de datos:** Hay algún tipo de error con el sistema y no se están leyendo los datos o no está alimentado a la red eléctrica.

En la **zona de lectura de datos** se refleja lo leído por el sistema, con las cuatro entradas de intensidad y las cuatro de voltaje (ADAMs). "V salida fuente" y "I salida fuente" corresponden con los valores reales de la fuente de alimentación, mientras que el marcador "Lectura Intensidad promedio" es el promedio de las cuatro entradas de intensidad, cuando su intensidad es mayor que 0 A. **Tiene en cuenta el número de baterías en paralelo.** Además, junto a esta zona están los botones de marcado de los canales de temperatura, los cuales hay que marcarlos si se quiere que el sistema active la vigilancia en ellos.

Por último, el bloque de **lectura de tensión en circuito abierto** permite activar esta función y seleccionar la frecuencia de muestreo de la misma, así como mostrar la lectura de voltaje en ese instante de muestreo.

4.8.2 Descarga

La interfaz es muy similar a la de Carga, salvo pequeñas excepciones (ver figura 25). Hay un bloque en el que se puede leer "**ANTES DE LANZAR PROGRAMA**". Todos los parámetros dentro de este bloque se deben de configurar antes de lanzar el programa de LabVIEW, ya que una vez lanzado no se podrán cambiar o configurar. En este caso los parámetros son:

- Tiempo de refresco
- Tiempo de carga
- Numero de baterías en serie y paralelo
- Tipo de baterías
- R cableado

En la zona "**PARÁMETROS BATERÍA SELECCIONADA**" se mostrarán por pantalla los datos técnicos del tipo de batería seleccionada, por unidad.

Hay otra zona donde se marca si la sesión desea ser registrada o no, y la ubicación donde se quiere que el fichero se guarde.

Existe otra agrupación de información denominada "**CONDICIONES DESCARGA**" en la que se puede ver e interactuar con:

- Valores de los modos de descarga.
- Selección de modo de funcionamiento.
- Valores máximos, según la base de datos, que no se deben sobrepasar en ningún momento.
- Indicador de que los valores han sido limitados por sobrepasar los máximos.

Bloque de **botones de funcionamiento**, similar a la carga:

- Tiempo de funcionamiento restante y su activación.
- Encendido y apagado de la salida, así como el botón de paro general STOP.
 - El botón de paro general cerrará todas las conexiones abiertas, poniendo la salida en OFF y deteniendo la ejecución del programa.
- Indicadores de estado, como el error de temperatura, estado de la fuente, o error del sistema de adquisición de datos.
 - Error de temperatura: Se activará cuando se supere, de las temperaturas activas por el usuario, los límites establecidos en la base de datos. Conllevara un paro automático del programa
 - Estado de la carga electrónica: Se encenderá cuando la entrada de la carga esté activa, apagándose cuando no lo esté.
 - Error del sistema de adquisición de datos: Hay algún tipo de error con el sistema y no se están leyendo los datos o no está alimentado a la red eléctrica.

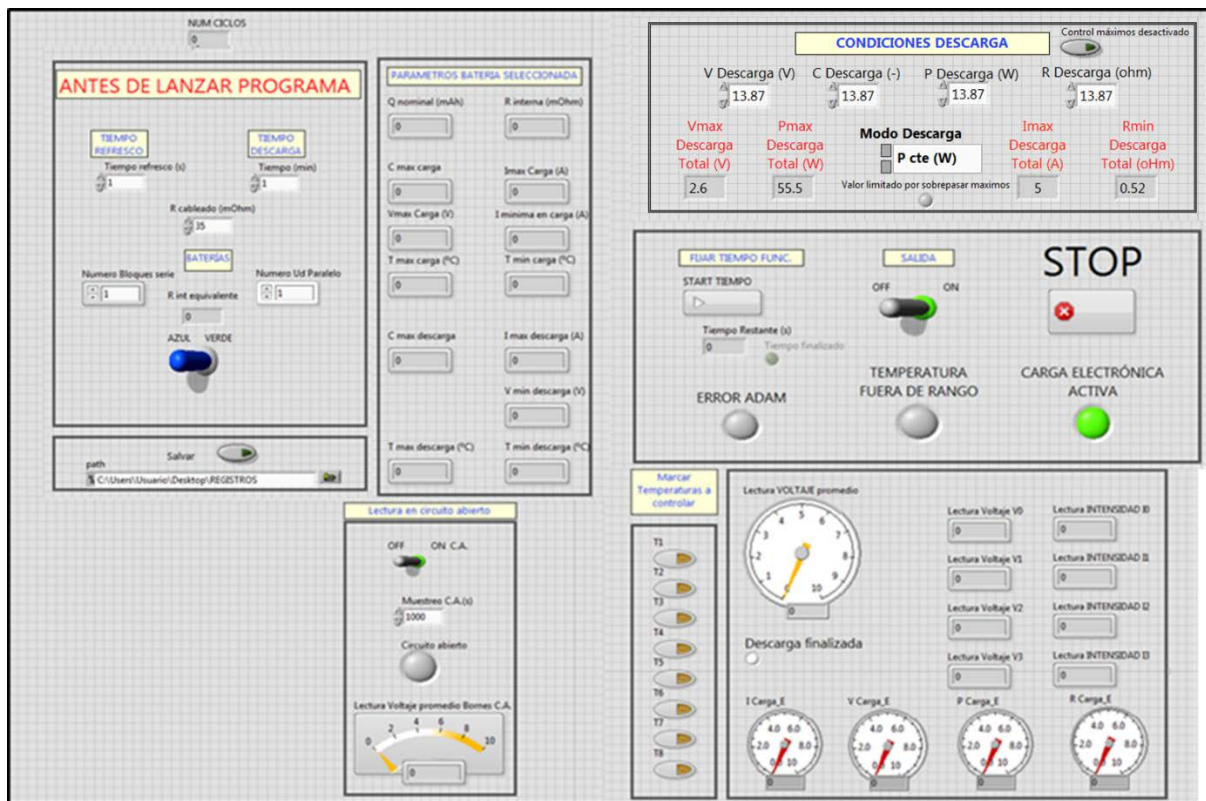


Figura 25. Interfaz para el programa de DESCARGA

En la zona de **lectura de datos** se refleja lo leído por el sistema. Los cuatro marcadores de la parte inferior son los valores leídos por la carga electrónica, mientras que el indicador "Lectura voltaje promedio" es el promedio de las cuatro entradas de voltaje, cuando su voltaje supera 1 V. A la derecha de este se muestran los valores de las cuatro entradas de voltaje y las cuatro de intensidad. Además, junto a esta zona están los botones de marcado de temperaturas, los cuales tendrán que marcarse si se quiere que el sistema active la vigilancia en ellos.

Por último, el bloque de **lectura de circuito abierto** permite activar esta función y seleccionar la frecuencia de muestreo de la misma, así como mostrar la lectura de voltaje en ese instante de muestreo.

4.8.3 Ciclo Combinado

La interfaz del Ciclo Combinado es mucho más sencilla que las de los programas individuales de Carga y Descarga, ya que simplemente sirve para lanzar el programa (figura 26). La interacción con esta interfaz es simplemente al inicio del programa, para indicar la ubicación del fichero del ciclo combinado (fichero Excel ya descrito previamente) y seleccionar si se desea ser grabar o no los datos de la sesión, y su ubicación. Por último, se deben marcar las temperaturas que deseamos controlar a efectos de alarmas, y se lanza el programa. Automáticamente se alternará entre las interfaces de carga y descarga, solo necesitando volver a esta interfaz (minimizada durante la sesión) si se desea abortar el resto de los ciclos.

El resto de información mostrada en esta interfaz hace referencia al tipo de batería seleccionada, el programa que se está ejecutando en cada momento, o el número de paso del ciclo en el que se encuentra.



Figura 26. Interfaz del ciclo combinado Carga-Descarga

4.8.4 Gráficas

La ventana en la que se pueden visualizar las gráficas se cargará automáticamente a la derecha de la pantalla una vez se lance el programa de carga o descarga. En ella se podrá representar la intensidad, el voltaje y las temperaturas, como se puede ver en la figura 27. En su ejecución se situará en la mitad derecha de la pantalla como se muestra en la figura 28, y el usuario puede interactuar con ella de la siguiente forma:

- Selección de las gráficas a visualizar, para poder eliminar las de valor 0.
- Selección de color de las gráficas.
- Selección del eje Y a representar, a la izquierda de escalado fijo y derecha autoescalado.

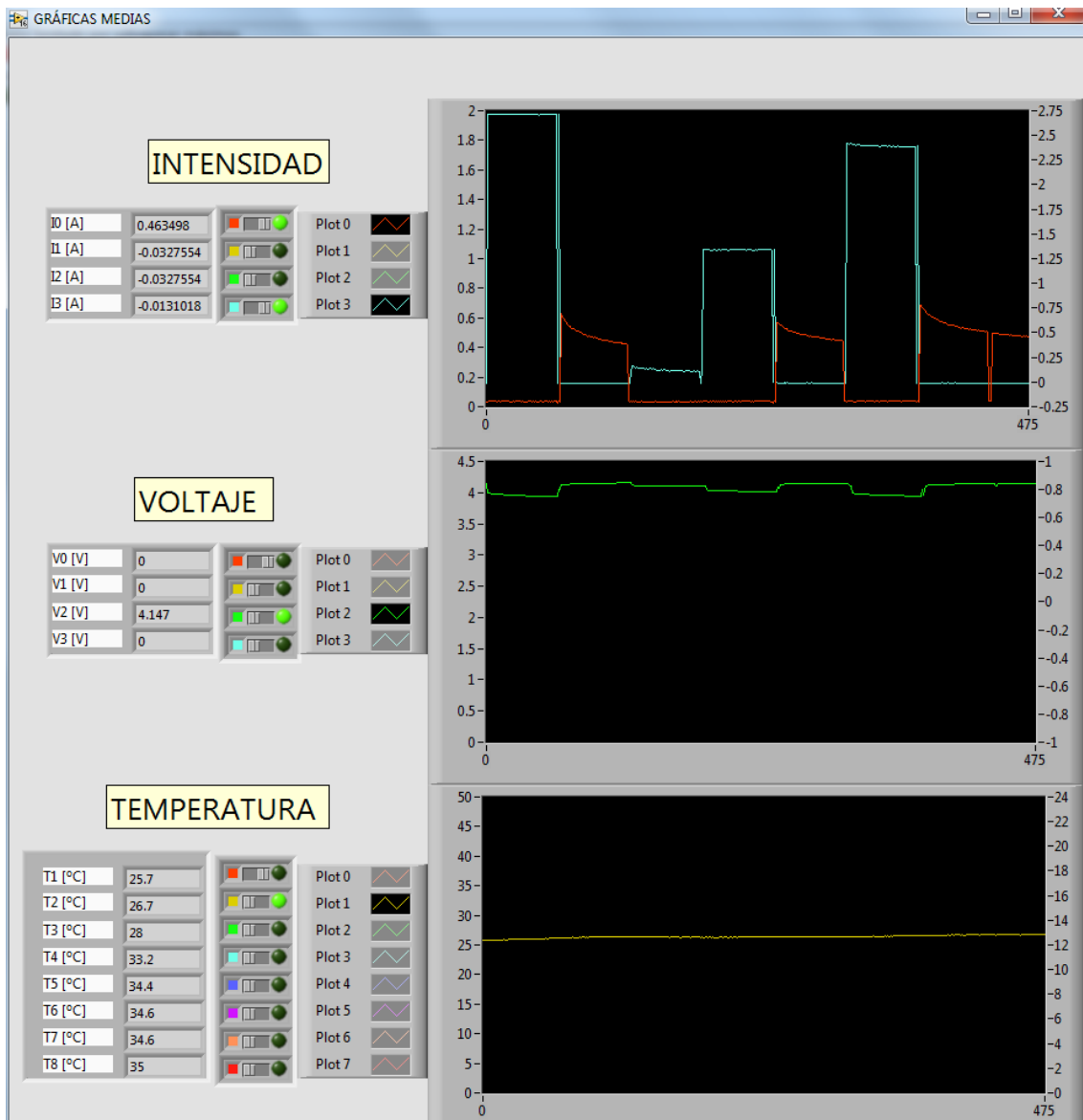


Figura 27. Interfaz gráfica para mostrar en tiempo real Intensidad, Tensión y Temperatura

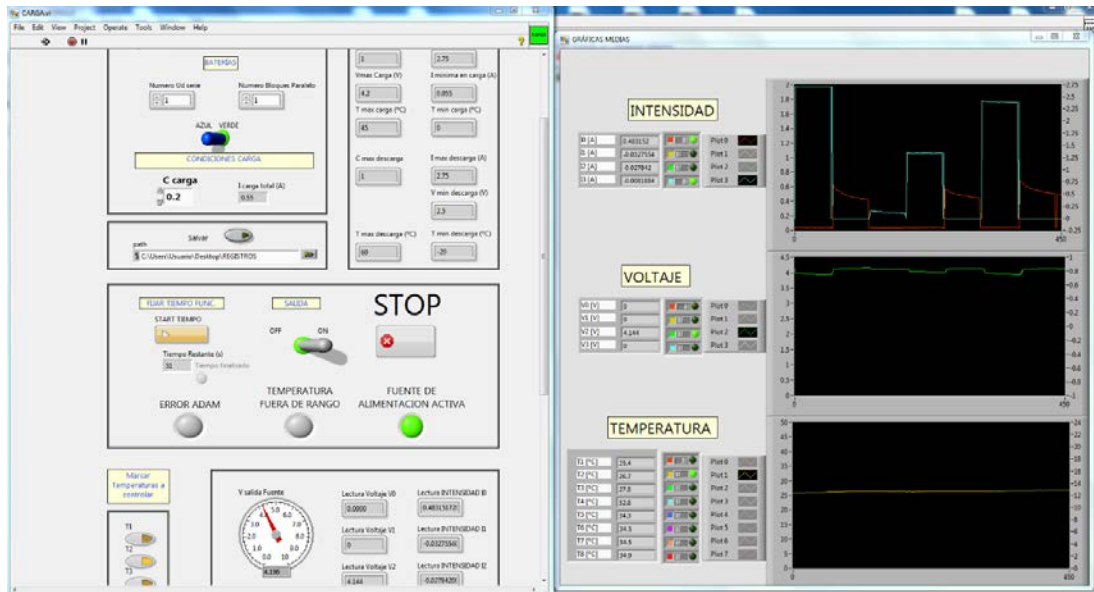


Figura 28. Ejemplo de pantalla de funcionamiento, con la interfaz gráfica a la derecha

5. MANUAL DE USUARIO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

5.1 *Manual de usuario*

Para el correcto uso del banco de pruebas, se ha creado un manual de usuario en el que se describe los tres modos de funcionamiento de los programas, así como los procedimientos de adquisición de datos y representación de los mismos. Los tres modos corresponden a los tres programas; Carga, Descarga y Combinado Carga-Descarga. Además, se muestra las normas de seguridad específicas del equipo, para minimizar los riesgos de accidente. También se incluye una breve descripción del manejo de los dispositivos si no se desea utilizar el programa de LabVIEW.

El manual se adjunta en el **anexo I**, por lo que aquí sólo se indica el **índice** del mismo:

1. INSTRUCCIONES INICIALES PARA LA CARGA-DESCARGA

- 1.1. PUESTA EN MARCHA DE LOS INSTRUMENTOS
- 1.2. PRECAUCIONES PREVIAS
- 1.3. IDENTIFICACIÓN PREVIA DE LAS BATERÍAS

2. CARGA DE BATERÍAS

- 2.1. USO DIRECTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN (IT6723)
- 2.2. LÍMITES DE TENSIÓN, INTENSIDAD Y POTENCIA DE LA FUENTE
- 2.3. MODOS DE CARGA DE BATERÍAS
- 2.4. PROCEDIMIENTO DE CARGA DE BATERÍAS EN MODO MANUAL

3. DESCARGA DE BATERÍAS

- 3.1. USO DIRECTO DE LA CARGA ELECTRÓNICA (IT8512A)
- 3.2. DESCARGA DE BATERÍAS
- 3.3. USO DIRECTO DE LA CARGA ELECTRÓNICA EN PROCESOS DE DESCARGA
- 3.4. PROCEDIMIENTO DE DESCARGA DE BATERÍAS EN MODO MANUAL

4. CARGA-DESCARGA DE BATERÍAS CON CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

- 4.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA Y FUNCIONES
- 4.2. PROCEDIMIENTO DE CARGA O DESCARGA DE BATERIAS EN MODO LABVIEW
- 4.3. PROGRAMA CARGA-DESCARGA LABVIEW
- 4.4. FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE CARGA/DESCARGA DE LAS BATERÍAS
- 4.5. PROGRAMA DE CICLO COMBINADO DE CARGAS-DESCARGAS

5.2 *Medidas de seguridad*

A la hora de evaluar las medidas de seguridad necesarias para usar el equipo, hay que considerar la normativa española, en concreto al **Real Decreto 614/2001 sobre las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico**.

La definición de Riesgo eléctrico según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo es todo riesgo originado por la energía eléctrica, quedando incluido los siguientes riesgos:

- Choque eléctrico por contacto con elementos en tensión por contacto eléctrico directo o indirecto.
- Quemaduras a consecuencia de un arco eléctrico provocado por un cortocircuito.
- Caídas o golpes, como consecuencia de choque o arco eléctrico.

- Explosiones, por acumulación de cargas electroestáticas generando atmosferas explosivas.

En esta normativa se evalúa la necesidad de usar distintos tipos de EPIS (equipos de protección individual) dependiendo de las condiciones de trabajo evaluadas. Teniendo en cuenta que los equipos con los que se trabaja tienen un voltaje máximo de utilización de 150V, de corriente continua, no deberá sobrepasarse en ningún momento los 75 V, límite a partir del cual se pueden producir daños en el cuerpo humano. Por tanto, se ha limitado a 50 V la tensión que la fuente de alimentación puede entregar (inferior al valor posible de 80V). Este valor de 50 V se encuentra dentro de los valores considerados seguros y en sí mismo no supone más restricción que limitar a unas 10 el número de baterías que se pueden colocar en serie. Además, se prohibirá al usuario manipular en tensión las baterías y el equipo, para mayor seguridad.

Por otro lado, el INSHT proporciona una guía de buenas prácticas centrada en la prevención del riesgo en el laboratorio, denominada **NTP 432**. En ella se describe una serie de precauciones y actuaciones recomendadas en caso de accidente. Todas estas precauciones y consejos se adjuntan como **nota informativa** en el apartado de medidas de seguridad en el manual de usuario del banco de pruebas. Medidas tales como:

- No invertir la polaridad de las baterías o cortocircuitar
- No perforar o golpear las baterías
- No sobrecargar o descargar por debajo del V_{\min}
- En caso de fuga de líquido, no manipular sin protección
- Alejar las baterías de fuentes de calor

El programa desarrollado en el entorno LabView supervisa los procesos de carga y descarga y permite establecer alarmas para los valores de temperatura máxima, tensión máxima de carga, tensión mínima de descarga, intensidades máximas de carga o de descarga, etc. lo que constituye un elemento de seguridad activa, que fue uno de los condicionantes establecidos para este trabajo.

Además, al tratarse de baterías de iones litio es necesario considerar la posibilidad de **incendio** en casos extremos de cortocircuito. En esos casos, ante cualquier señal que advierta la posibilidad de incendio (como temperatura muy elevada de las baterías o humo) lo primero será cortar todo tipo de alimentación eléctrica, ya sea mediante los seccionadores principales o el general. Ante un incendio real, es necesario utilizar un extintor de clase "B" y clase "C". Los incendios de clase "B" son aquellos que involucran líquidos y gases inflamables, mientras que los de clase "C" involucran equipos eléctricos como motores y baterías. Por lo tanto, se recomienda tener cerca un extintor ABC o uno de CO₂. En caso de emergencia, y de no disponer de un extintor adecuado, se recomienda usar agua o arena para sofocar las llamas, siendo siempre un caso de emergencia ante la ausencia de un extintor. Además, los humos desprendidos son tóxicos, por lo que se recomienda alejarse todo lo posible de ellos.

6. PRÁCTICAS DIDÁCTICAS PROPUESTAS

A continuación, se proponen una serie de prácticas didácticas que, de acuerdo con las capacidades actuales del banco de pruebas, podrán ser realizadas por los alumnos de este y otros másteres con el objetivo de aprender el funcionamiento real de las baterías de iones de litio, así como sus procesos de carga y descarga. Como ya se ha visto previamente en el capítulo 3, existen numerosos tests normalizados. Sin embargo, dadas las capacidades del banco diseñado, el entorno donde está emplazado y las características destructivas de algunos tests, se descartan los tests de seguridad de baterías como objeto de estudio en este banco. Son por tanto los **tests de rendimiento o prestaciones** los que se puedan realizar con el banco.

Se han realizado grabaciones de la pantalla en la realización de estas prácticas. Se adjuntan como formato de vídeo en la versión digital del TFM.

Consideraciones previas: con objetivo de aclarar la terminología y establecer un estándar para la energía de las baterías, se consideran los términos de la tabla 4.

Tabla 4. Terminología establecida en relación a la energía en las baterías

ENERGÍA	Medible en bornes de la batería (integral de $V_t I dt$)	Calculable a nivel de celda (integral de $VOC I dt$)
Descarga $I_d > 0$	SUMINISTRADA	EXTRAÍDA
Carga $I_c < 0$	APORTADA	ACEPTADA

6.1 Práctica 1. Descarga de una batería a Intensidad Constante.

Objetivo: Comprobar si la capacidad de la batería concuerda con la real, y en caso de que no sea así, observar cuales podrían ser las causas (envejecimiento). Observar la curva característica de voltaje de la batería durante todo el proceso

Procedimiento

1. Buscar una batería totalmente cargada, comprobando mediante la medición de su voltaje que es así.
2. Proceder a realizar una descarga a corriente continua a 1 C, adquiriendo los datos para después representarlos en una gráfica.
3. Calcular la capacidad (Ah) de la batería con los datos obtenidos.
4. Comparar la curva característica de voltaje obtenida con la de referencia del fabricante.
5. Obtener la ecuación de la curva del voltaje resultante.

Aprendizaje

1. Seleccionar una batería cargada, aprendiendo a medir el voltaje de la misma.
2. Realizar una descarga a corriente constante. Aprender a manejar el programa de Descarga con un test sencillo.
3. Calcular la capacidad real de la batería a partir de la carga asociada a la corriente de descarga
4. Conocer y establecer la curva característica de descarga de una batería de Ion-Litio.

- Establecer la evolución de la temperatura superficial de la batería, debida a la potencia disipada en la batería por las pérdidas internas.

Resultados (ejemplo)

Se realiza una descarga completa de una batería completamente cargada. Se escoge una de capacidad pequeña (tipo A, color azul) y se comprueba midiendo su voltaje que está cargada (tensión VOC muy cercana a los 4,2 V).

- Con el programa de descarga, se hace una descarga a 1 C llevando a la batería a su estado de descarga total, es decir, cuando el voltaje llega a 2,6 V. El programa gestionará cuándo estará descargada y detendrá el programa de ejecución.
- El tiempo de duración de la descarga es de aproximadamente 55 minutos y 13 segundos.
- Las gráficas resultantes de la prueba se pueden encontrar en la figura 30 (página siguiente).
- Para el cálculo de la capacidad de la batería, se suman los intervalos de muestreo durante toda la sesión. De esta forma, el resultado se asemejará al cálculo real de la integral bajo la curva. El resultado es 2.492,25 mAh.
- Para obtener la ecuación de la curva, se representan los valores de la tensión de la sesión en Excel (Figura 29).
- Puesto que el proceso de descarga se ha realizado a intensidad constante, se puede calcular la carga eléctrica (Ah) descargada como integral de los productos de la intensidad y el intervalo de medición (típicamente 1 s). A partir de dicha carga eléctrica, se puede calcular la profundidad de descarga (DOD) o el correspondiente SOC. Finalmente, mediante la herramienta de línea de tendencia de Excel se puede obtener la ecuación de la relación tensión en bornes-DOD (o tensión-SOC).

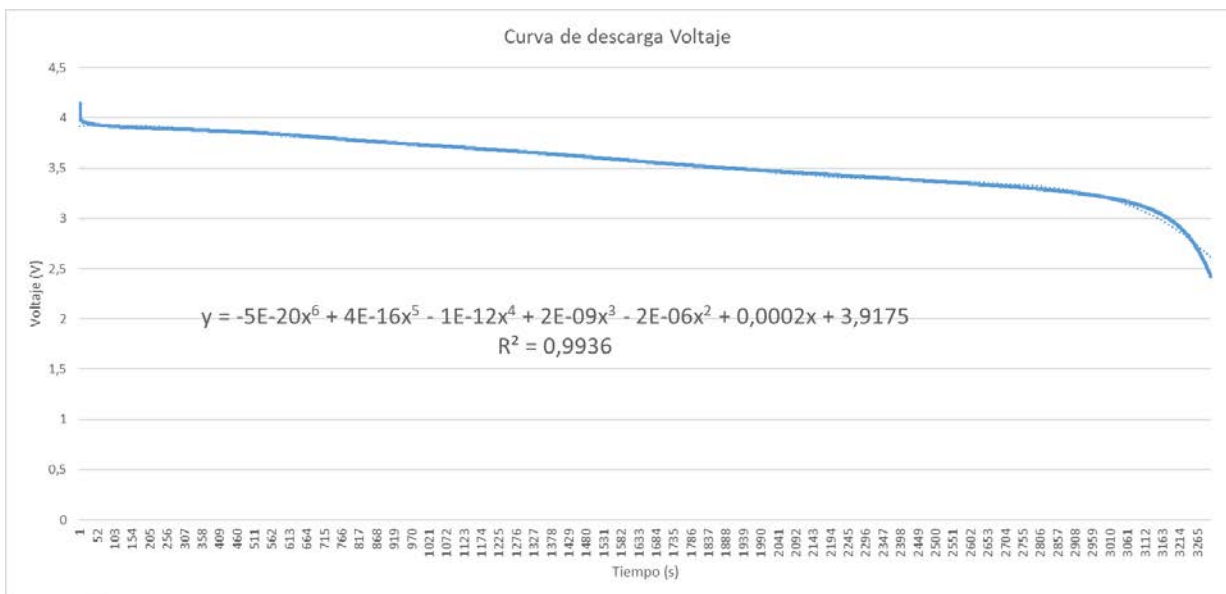


Figura 29. Obtención de la ecuación de la curva de tensión frente a tiempo de descarga (proporcional a la carga Ah suministrada, por ser proceso a I cte)

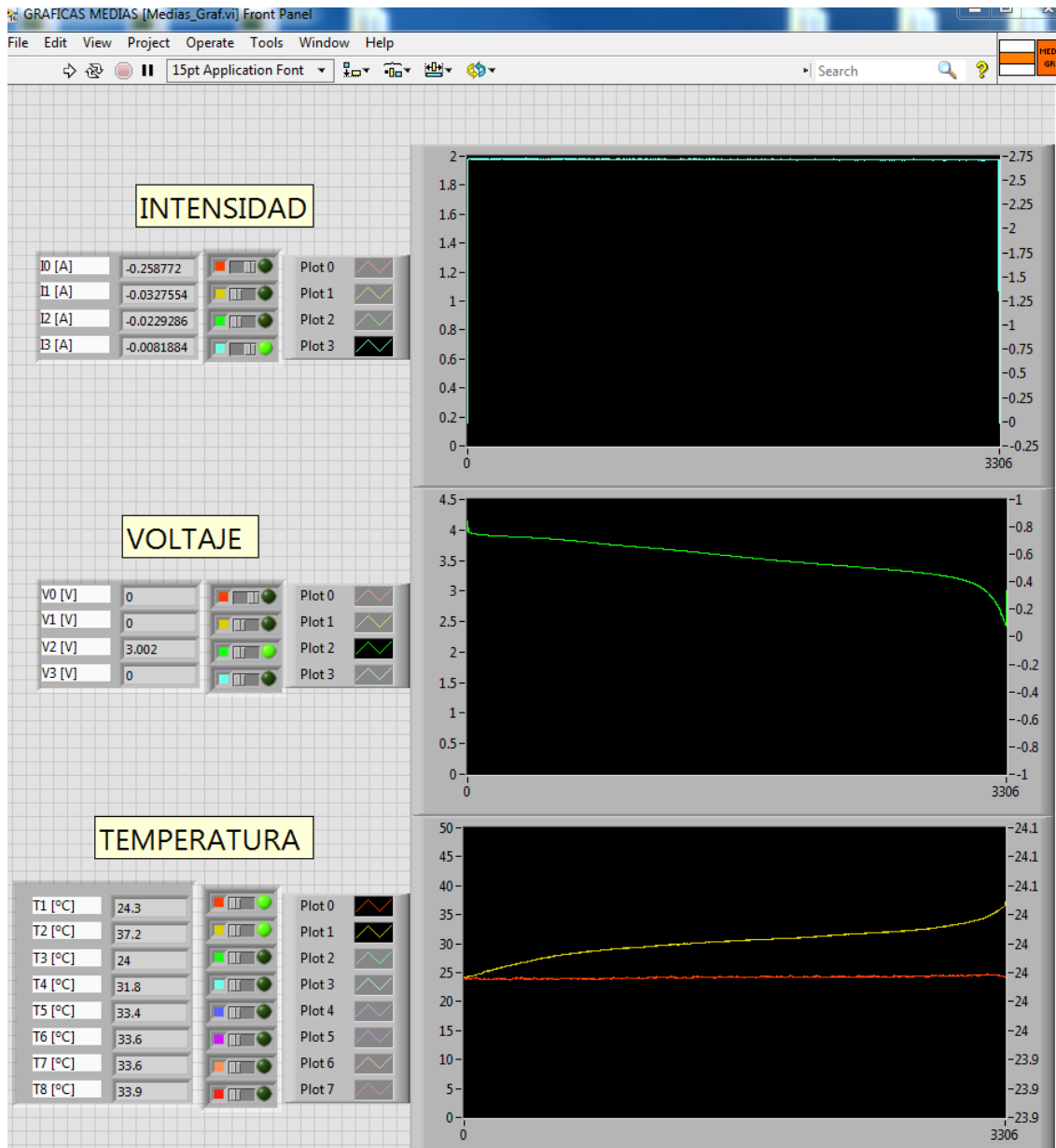


Figura 30. Gráficas de la práctica 1

6.2 Práctica 2. Carga de una batería en dos fases: Intensidad Cte.-Tensión Cte.

Objetivo: Realizar una carga completa a una batería mediante la secuencia de dos fases: intensidad constante y tensión constante.

Procedimiento

1. Buscar una batería totalmente descargada, comprobando mediante la medición de su voltaje que es así.
2. Proceder a realizar una carga de la batería, prefijando el valor de la intensidad de la corriente en 1 C, y asegurándose que la tensión máxima de batería está prefijada en el programa de Carga (cotejarlo con la hoja de características de la batería empleada), adquiriendo los datos para después representarlos en una gráfica.
3. Comparar las curvas características de intensidad y de tensión obtenidas con las de referencia del fabricante.

Aprendizaje

1. Seleccionar una batería descargada, aprendiendo a medir el voltaje de la misma.
2. Realizar una carga a corriente constante, aprendiendo a manejar el programa de Carga.
3. Conocer y establecer las curvas características de intensidad de carga y de tensión durante la misma de una batería de Ion-Litio.
4. Establecer la evolución de la temperatura superficial de la batería, debida a la potencia disipada en la batería por las pérdidas internas.

Resultados (ejemplo)

- Se realizará una carga a 1 C con la batería descargada, usando la misma batería que para la descarga. Se cargará hasta su voltaje nominal de 4,2 V, siendo el programa el que gestione en qué momento está cargada.
- Se podrán distinguir claramente las dos fases de carga, primero a **corriente constante** y luego a **tensión constante**, como se puede ver en las gráficas generadas en la figura 31.
- El tiempo de la carga es mucho más elevado que el de la descarga, siendo el tiempo total necesario de 2 h 12 min 15 s.

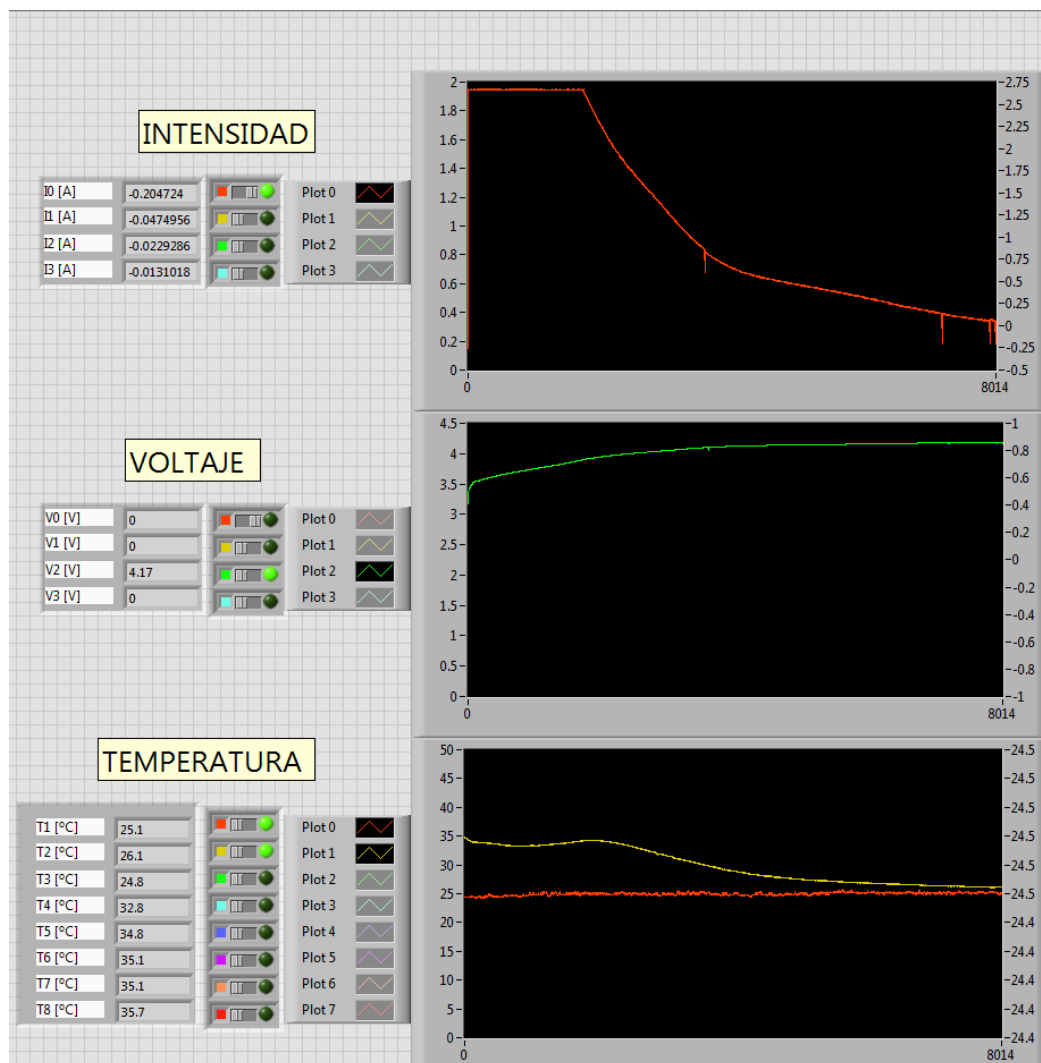


Figura 31. Gráficas de la práctica 2 (Carga)

6.3 Práctica 3. Determinación de la resistencia interna de una batería

Objetivo: Calcular la resistencia interna de una batería en un proceso de carga y en descarga, a partir de la diferencia entre la tensión en bornes y la tensión en circuito abierto de la batería, para distintos valores de la carga (SOC).

Procedimiento

1. Seleccionar una batería que tenga un VOC de 4V, en caso de que no lo esté, cargarla o descargarla hasta que tenga ese VOC.
2. Seleccionar un valor de C adecuado para la carga o descarga. Seleccionar dos puntos de medición, por ejemplo 3,8 V y 3,7 V.
3. Cuando el voltaje medido, ya sea en el proceso de carga o descarga, llegue a uno de los puntos de medición, desactivar manualmente la salida (fuente de alimentación) o entrada (carga electrónica). Monitorizar el valor de la tensión medida el tiempo suficiente para permitir que la tensión se estabilice, y una vez lo haga, volver a activar la entrada o la salida.
4. Con los datos obtenidos, calcular la resistencia interna, para los puntos de medición, para la carga y la descarga

Aprendizaje

1. Observar las diferencias de voltaje medido en circuito abierto, circuito cerrado.
2. Aprender a calcular la resistencia interna de una batería

Resultados (ejemplo)

Para el cálculo de la resistencia interna, se trata de ver la diferencia entre las tensiones existente entre los dos instantes, el de antes de abrir (o cerrar) la entrada de la carga electrónica (o salida de la fuente de alimentación), y sabiendo la intensidad con la que se estaba trabajando, en este caso siempre con 1 C, se obtiene la resistencia interna de la batería. Se ha realizado una tabla Excel para mostrar los resultados correspondientes a la batería tipo A:

Tabla 5. Resultados para cálculo de Rint

Tipo	V ref (V)	V inicial (V)	V final (V)	Diferencia (V)	Intensidad (A)	R int (mOhm)	
Carga	3,75	3,75	3,628	0,122	2,6548	45,954	
Carga	3,75	3,59	3,711	0,121	2,64505	45,746	
Carga	3,8	3,8	3,678	0,122	2,6548	45,954	
Carga	3,8	3,631	3,752	0,121	2,64505	45,746	
Carga	3,85	3,851	3,732	0,119	2,6548	44,824	
Carga	3,85	3,672	3,796	0,124	2,64505	46,880	45,851
Descarga	3,85	3,85	3,947	0,097	2,70892	35,808	
Descarga	3,85	3,968	3,869	0,099	2,71384	36,480	
Descarga	3,8	3,8	3,898	0,098	2,71875	36,046	
Descarga	3,8	3,935	3,835	0,1	2,71875	36,782	
Descarga	3,75	3,747	3,844	0,097	2,71384	35,743	
Descarga	3,75	3,89	3,795	0,095	2,71875	34,943	35,967

Como se puede observar en la tabla 5, se comprueba que el cálculo de la resistencia interna varía si se realiza en un proceso de carga o de descarga. Con respecto a la resistencia teórica proporcionada por el fabricante, es de 45 mOhm y coincide con el proceso de carga. Sería interesante que el alumno desarrollara las causas de por qué puede haber diferencia de resistencia interna entre los dos procesos. En la figura 32 se pueden ver las gráficas de los dos procesos realizados.

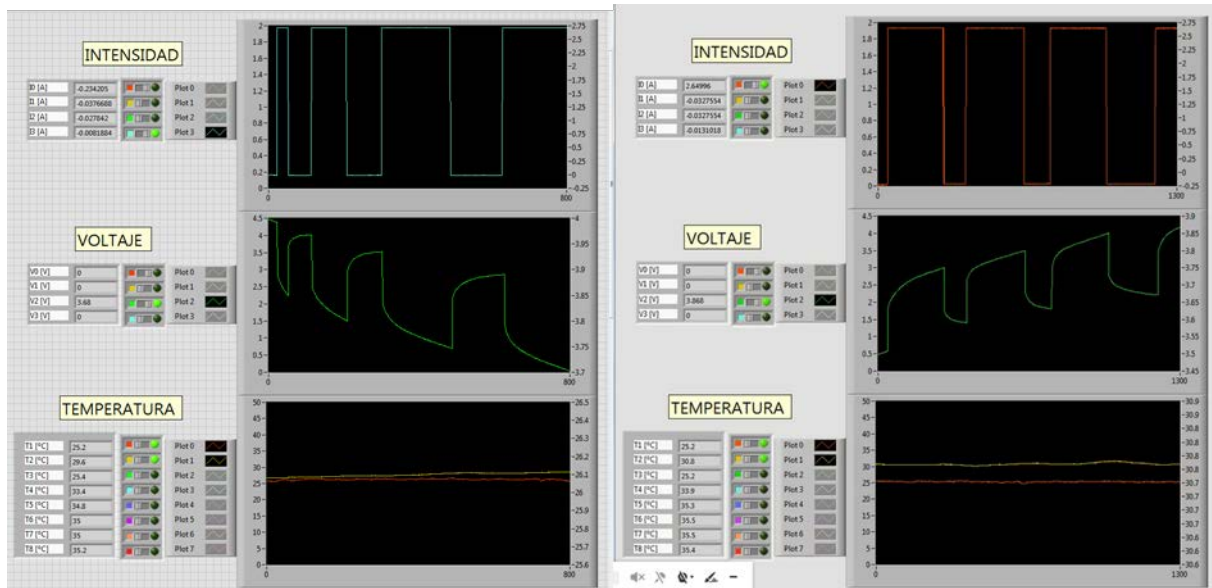


Figura 32. Gráficas de la carga y descarga para la práctica 3

6.4 Práctica 4. Eficiencia energética conjunta de la carga y descarga

Objetivo: Calcular eficiencia del proceso de carga y descarga del sistema

Procedimiento

1. Seleccionar dos tipos distintos de baterías, de distinta capacidad
2. Realizar un test de descarga completa partiendo de las baterías cargadas, calculando la energía disipada en el proceso.
3. Realizar un test de carga completa, partiendo de las mismas baterías descargadas completamente, calculando la energía utilizada en el proceso.
4. Calcular el rendimiento de la operación Descarga-Carga.

Aprendizaje

1. Observar el rendimiento del sistema y la energía perdida en cada batería.
2. Comparar el rendimiento de las baterías dependiendo de su capacidad.
3. Calcular, con el rendimiento experimental obtenido, cuál sería la energía perdida en un proceso de Descarga-Carga para un coche eléctrico con características estándar.

Resultados (ejemplo)

Se aprovechan los resultados obtenidos en la práctica 1 y 2, para los cálculos de los datos de la descarga y carga respectivamente.

- Se hace un cálculo de la energía utilizada en cada caso. Sabiendo que:

$$P (W) = V(V) * I (A)$$

$$E (Wh) = \int P(W) * dt(h)$$

Y teniendo los datos de la carga y descarga, con muestreos de un segundo, el sumatorio total proporciona:

Carga: 9,95 Wh

Descarga: 8,84 Wh

Rendimiento combinado del proceso carga-descarga: 88,8 %

6.5 Práctica 5. Ciclos de baterías según la norma IEC 62660

Objetivo: Realizar un ciclo de test dinámico para BEV según la norma IEC 62660-1:2018.

Procedimiento

1. Buscar el test dinámico para BEV dentro de la normativa antes descrita. Leer con detenimiento cuál es el proceso de realización del test, cuáles son sus condiciones iniciales, sus condiciones de finalización y sus valores.
2. Calcular la potencia nominal de las baterías (para la tipo A-azul y para la tipo B-verde) y ver que se corresponde con la descrita en las hojas de especificaciones.
3. Calcular para cada uno de los pasos de descarga la potencia que deberemos introducir en la carga electrónica, de acuerdo a lo reflejado en la tabla 6 y figura 33 que se corresponde con el test anteriormente mencionado. Hacer lo mismo para los pasos de carga, calculando la C de carga necesaria y considerando el voltaje nominal de la batería.
4. Rellenar el fichero Excel con los datos anteriores y los modos de carga y descarga correspondientes.
5. Realizar el ensayo y obtener las gráficas del test.

Tabla 6. Pasos para el ciclo dinámico para BEV propuesto en la norma UNE-EN IEC 62660-1:2018

Test step	Duration s	Ratio to test power %	Charge/discharge
1	16	0,0	-
2	28	+12,5	Discharge
3	12	+25,0	Discharge
4	8	-12,5	Charge
5	16	0,0	-
6	24	+12,5	Discharge
7	12	+25,0	Discharge
8	8	-12,5	Charge
9	16	0,0	-
10	24	+12,5	Discharge
11	12	+25,0	Discharge
12	8	-12,5	Charge
13	16	0,0	-
14	36	+12,5	Discharge
15	8	+100,0	Discharge
16	24	+62,5	Discharge
17	8	-25,0	Charge
18	32	+25,0	Discharge
19	8	-50,0	Charge
20	44	0,0	-

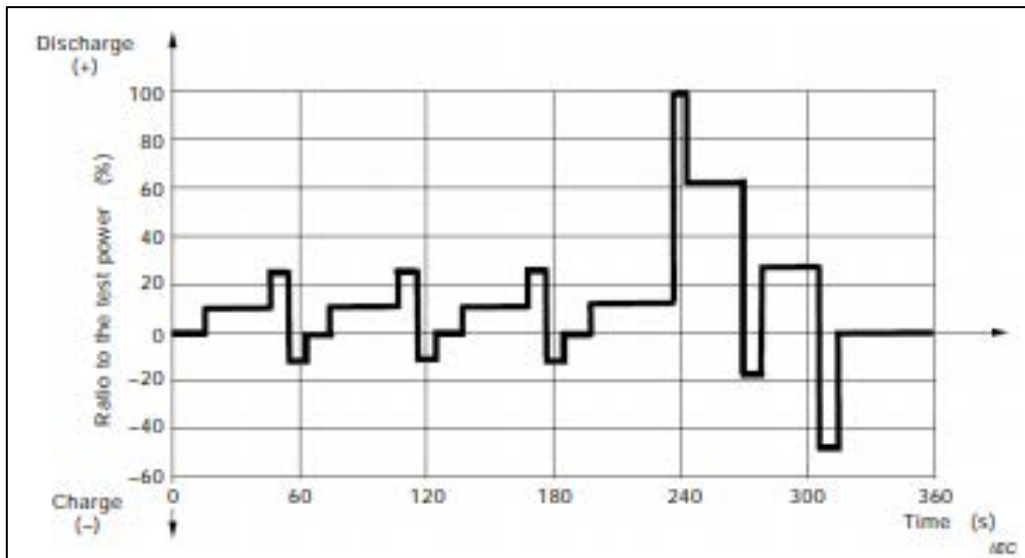


Figura 33. Porcentaje de potencia máxima frente al tiempo para el ciclo propuesto en la Tabla 6

Aprendizaje

1. Aprender cuál es el procedimiento real de un test normalizado y las condiciones en las que se realiza.
2. Aprender cómo se calcula la potencia nominal de una batería.
3. Realizar un test normalizado en el banco de pruebas

Resultados (ejemplo)

Una vez comprobada la potencia nominal de la batería, adaptamos los parámetros del test al fichero de datos del banco de pruebas, como se puede ver en la figura 34.

Total pasos	Tiempo total	Tiempo refresco (s)	Tipo Batería	Ud. Paralelo	Bloques serie
20	5,99	0,5	VERDE	1	1
Nº PASOS	TIPO	TIEMPO (min)	C Carga	Modo Descarga	Valor
1	CARGA	0,27	0		
2	DESCARGA	0,47		P cte (W)	6,9375
3	DESCARGA	0,2		P cte (W)	13,875
4	CARGA	0,13	0,375		
5	CARGA	0,27	0		
6	DESCARGA	0,4		P cte (W)	6,9375
7	DESCARGA	0,2		P cte (W)	13,875
8	CARGA	0,13	0,375		
9	CARGA	0,27	0		
10	DESCARGA	0,4		P cte (W)	6,9375
11	DESCARGA	0,2		P cte (W)	13,875
12	CARGA	0,13	0,375		
13	CARGA	0,27	0		
14	DESCARGA	0,6		P cte (W)	6,9375
15	DESCARGA	0,13		P cte (W)	55,5
16	DESCARGA	0,4		P cte (W)	34,6875
17	CARGA	0,13	0,75		
18	DESCARGA	0,53		P cte (W)	13,875
19	CARGA	0,13	1,5		
20	CARGA	0,73	0		

Figura 34. Configuración de la hoja de datos para el ciclo dinámico BEV

Los resultados del test se pueden ver en la figura 35.

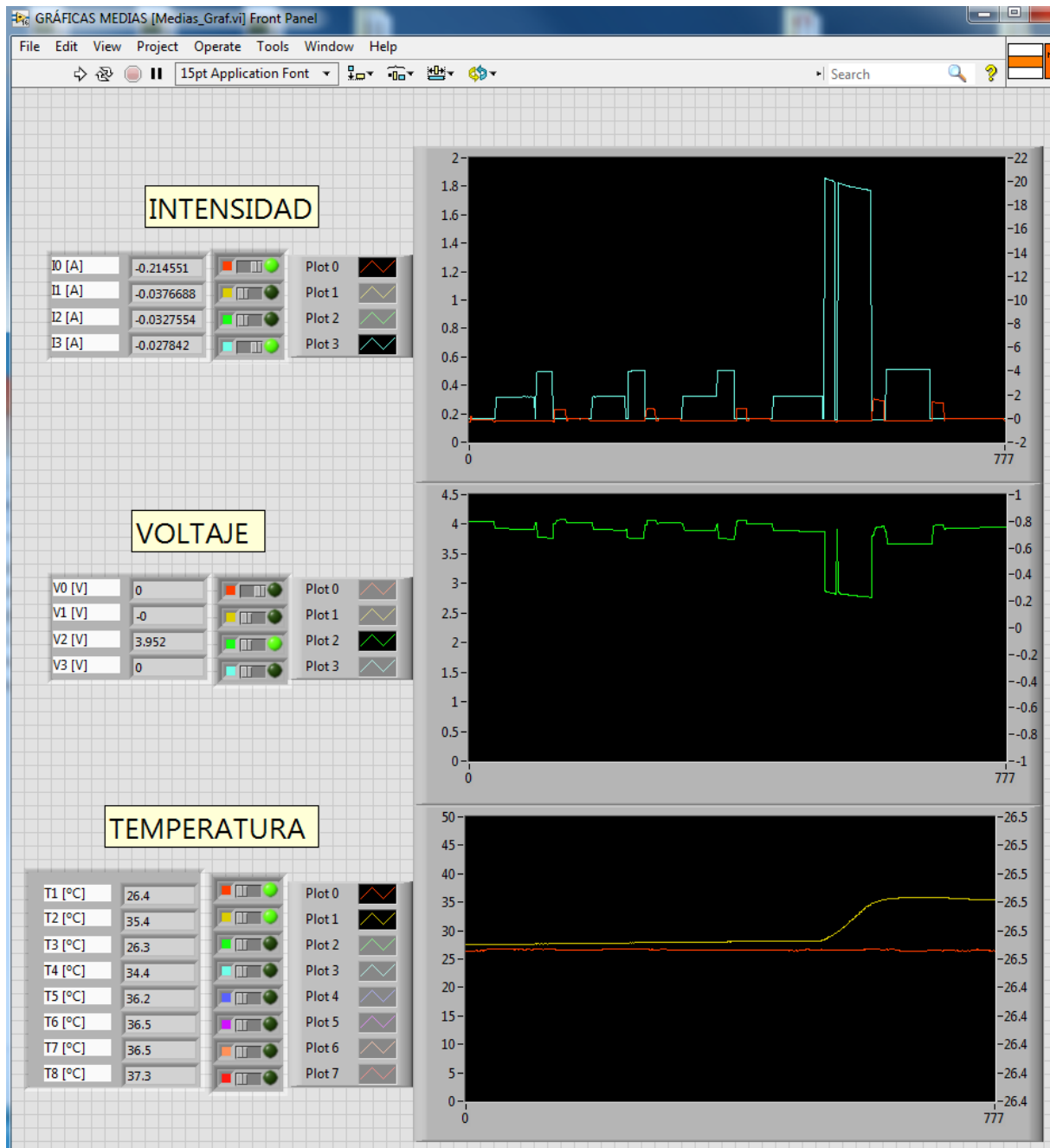


Figura 35. Resultados de la simulación del test dinámico para BEV

6.6 Práctica 6. Ciclos de conducción reales

Objetivo: Transformar el perfil de un ciclo de ensayo actual, como el WLTC o NEDC, en un perfil de corrientes o potencias y ensayarlo sobre unas baterías.

Procedimiento

1. Transformar el perfil dado en velocidad y aceleraciones a un perfil de intensidades (en caso de que sea necesario), sabiendo la potencia de las baterías, peso y potencia de un vehículo eléctrico elegido (sabiendo su potencia, energía de baterías y masa) y adaptarlo a la potencia de las baterías a ser probadas.
2. Asumir que se regenera parte de la energía en frenadas (en caso de que el vehículo eléctrico escogido posea esta tecnología)

3. Crear el fichero de perfiles de intensidad para carga y descarga de la batería.
4. Realizar el test sobre unas baterías completamente cargadas.
5. Registrar las curvas de voltaje, intensidad y temperatura de las baterías.
6. Extender esta autonomía observada en las prácticas a un vehículo eléctrico convencional.
7. Analizar los resultados.

Aprendizaje

1. Aprender a transformar un perfil de velocidades a intensidad
2. Realizar un test real sobre las baterías, y observar las curvas de voltaje, intensidad y temperatura.
3. Obtener la autonomía real ensayada, y compararla con la teórica proporcionada por el fabricante.

Resultados

Para la realización de esta práctica se necesita un trabajo previo más exhaustivo que para las anteriores prácticas. Se debe previamente traducir el perfil del ciclo a analizar a un perfil de potencias (o intensidades), dependiendo de las características del vehículo a analizar. Una vez realizado esto, se prepararía la hoja Excel del ciclo combinado con todos los periodos y sus correspondientes periodos. Se recomienda poner un tiempo de refresco bajo para evitar errores entre las transiciones de los pasos.

6.7 Práctica 6. Simulador de BMS

Objetivo: Utilizar una herramienta de simulación de BMS (battery management system) para aprender el comportamiento de un conjunto de baterías con distintas características: capacidad nominal, capacidad inicial, corriente de autodescarga, etc., con el objetivo de tener una previsión del comportamiento de las baterías colocadas en serie o paralelo, o bien complementar el conocimiento de los alumnos mientras se testean las baterías (ya que normalmente los tests se suelen alargar mucho en el tiempo).

El enlace al simulador es el siguiente: <http://liionbms.com/balance/>

7. CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones

A la hora de establecer las conclusiones de este TFM, se pueden diferenciar dos ámbitos distintos, la fase de documentación y la fase de construcción, desarrollo y puesta a punto experimental del banco.

7.1.1 Fase de documentación sobre vehículos eléctricos y baterías

En la fase de documentación y revisión de publicaciones y normativa, se han estudiado varios aspectos claves:

- La evolución de la demanda del coche eléctrico, y, en consecuencia, de las baterías eléctricas que lo impulsan.
- La evolución del vehículo eléctrico a lo largo de la historia y de las causas principales por las que se prevé como una alternativa al vehículo convencional.
- La evolución de las normativas anticontaminación y la afectación al mercado automovilístico mundial.
- La necesidad de realización de estándares de verificación de baterías para automóviles eléctricos.
- La variedad de estándares y tests normalizados, así como la normativa actual vigente para el rendimiento y seguridad de las baterías.

Con todo ello, se pueden sacar varias conclusiones. En primer lugar, la próxima electrificación de los medios de transporte de pasajeros ya sea mediante tecnologías de vehículos híbridos o eléctricos. Esta previsión de crecimiento de la demanda viene principalmente sustentada por las nuevas normativas anticontaminación que se van a aplicar en un futuro próximo sobre los núcleos urbanos más importantes. Se pretende, por tanto, llevar fuera de las ciudades o disminuir todo lo posible la contaminación local tan característica de los motores de combustión interna. Ante esta elevada previsión de demanda, los fabricantes de automóviles están dando un giro importante en su estrategia de mercado.

En cuanto a los tests de baterías para vehículos eléctricos e híbridos, se han revisado brevemente los estándares y normativas que evalúan las prestaciones, seguridad y duración de las baterías. Aunque la mayoría son de reciente creación comparadas con otras normativas en el sector del automóvil, están siendo modificadas y adaptadas a los avances de la industria.

7.1.2 Fase de diseño y construcción del banco

En cuanto al banco propuesto, se puede concluir que se ha conseguido **diseñar, construir y hacer funcionar un banco de pruebas para baterías de iones de litio** flexible y versátil, y que cumple con los requisitos y plazos fijados en la fase de diseño.

Las principales características del banco son las siguientes:

- Posibilidad de realizar **ensayos de carga y descarga de baterías** actuando sobre la fuente de alimentación y la carga electrónica, bien en modo manual (a través de los correspondientes paneles frontales) o bien en modo controlado y con adquisición de datos, utilizando los programas desarrollados en el entorno LabView.
- En modo controlado por LabView, existe dos programas independientes para gestionar la **Carga** y la **Descarga**, y un tercer programa (**Combinado**) que permite realizar procesos con pasos de carga y descarga cuyas características se pueden fijar en términos de modo (ej.

Corriente constante, tensión constante, resistencia constante, potencia constante), con duraciones y valores de ajuste totalmente flexibles.

- El **tiempo de ciclo típico** usado en los programas de LabView es de un segundo, con posibilidad de reducirlo hasta un valor de 0,3 segundos, lo que permitiría analizar con más detalle procesos no estacionarios y así caracterizar los elementos resistivos y capacitivos del circuito equivalente de una batería.
- La **adquisición de datos** permite registrar cuatro canales de intensidad, cuatro de tensión (dos de ellos de 0 a 5 V, y dos de 0 a 50 V), y ocho de temperatura. Se recomienda dedicar un canal siempre a registrar la temperatura ambiente.
- Las **tensiones** que se pueden manejar han sido intencionadamente **limitadas a 50 V**, por razones de seguridad, dado que el banco será utilizado por alumnos no necesariamente familiarizados con el mismo. En conjunto se podrían ensayar hasta 10 baterías de litio en serie (o 10 conjuntos en serie de agrupaciones de baterías en paralelo).
- Las **corrientes** están limitadas por los valores máximos de la fuente (40 A) y de la carga electrónica (30 A). Esto supone que una batería de 10 Ah se podría cargar o descargar con corrientes en torno a 3C. En caso de querer registrar con el sistema de A/D corrientes superiores a 20 A, habría que usar dos canales de medida en paralelo.
- El **programa LabView** supervisa los procesos y permite establecer **alarmas** para los valores de temperatura máxima, tensión máxima de carga, tensión mínima de descarga, intensidades máximas de carga o de descarga, etc.
- Dentro del TFM se proponen **varias prácticas didácticas** que se pueden realizar utilizando el banco y sus funcionalidades de carga, descarga, modo combinado, con el registro de variables y la supervisión de las alarmas.

En la construcción y puesta a punto del banco ha sido necesario superar una serie de inconvenientes que han ido surgiendo en su desarrollo:

- **Problemas de comunicación con el PC.** Al principio la carga electrónica llegó sin su cable de comunicación adecuado, y se tuvo que fabricar uno. El problema era que el protocolo para este nuevo cable no era SCPI, sino tipo FRAME, cuya programación es más complicada. Una vez recibido el cable adecuado se optó por cambiar el programa, ya hecho en FRAME a SCPI para que los programas de Carga y Descarga fueran lo más homogéneos posible.
- **Problemas de resolución de los datos.** Se tuvo que cambiar la configuración del divisor de tensión, ya que no se podía medir con la resolución deseada las tensiones de una sola batería.
- **Necesidad de conocer el software.** El autor del TFM ha tenido que trabajar con un programa que desconocía completamente, aprender el lenguaje y el tipo de programación para poder hacer un programa útil. Gracias a la ayuda del profesor Andrés Melgar que me indicó los pasos a seguir, el proyecto se ha podido finalizar correctamente.

7.2 Principales aportaciones del autor del TFM

En esta memoria se ha redactado la construcción física del banco de pruebas de baterías para el coche eléctrico. Se ha construido desde cero, partiendo de una idea de mejora de la calidad de las prácticas en el Máster en Ingeniería de Automoción. El proceso realizado se puede resumir de la siguiente forma:

- Planificación y creación de un presupuesto y plazos, principalmente gestionado por el coordinador del Máster en colaboración con los departamentos interesados en las futuras prácticas con el banco de pruebas de baterías.
- Adquisición de los equipos, una vez aprobado el presupuesto.
- Montaje y conexionado de todo el sistema, comprobando que con lo adquirido era suficiente como para poder realizar unas prácticas de calidad.
- Programación de todo el sistema, partiendo desde cero. Esta es **una de las principales aportaciones del autor del TFM**. Se ha creado una serie de programas que permiten controlar la carga y descarga de baterías, así como realizar un ciclo de varias cargas y descargas de forma automática. Además, se ha programado un sistema de adquisición de datos, para recopilar los resultados y mostrarlos por pantalla en tiempo real.
- **Propuesta de prácticas didácticas**, a realizar con el banco.
- **Recopilación de toda la documentación** y los manuales de los equipos elegidos.

7.3 Sugerencias para trabajos futuros

A criterio del autor, el banco de ensayos creado tiene un gran potencial didáctico. Actualmente se tiene la posibilidad de aprender los perfiles de carga y descarga de las baterías de iones de litio, e incluso implementar sobre ellas un ciclo estándar normalizado. A continuación, se **proponen una serie de mejoras** que, ya sea por tema de presupuesto o por falta de tiempo en la realización del TFM, se han quedado fuera de este trabajo:

- **Mejora del sistema de conexión de cables con los porta-pilas**, ya que actualmente se utilizan regletas y puentes artesanales.
- **Mejorar la precisión del sistema de adquisición de datos**, eliminando la caída de potencial por la instrumentación y utilizando las entradas externas de medición de tensión de la fuente de alimentación y carga. En paralelo se puede reducir el tiempo de adquisición de datos con una mayor velocidad de ejecución de ciclo.
- **Ampliación de la variedad de los modelos de baterías a utilizar**, para pasar de exclusivamente de dos modelos de batería de iones de litio empleados a una mayor variedad con otros tipos y diferentes características.
- **Mejora de la interfaz del programa**, para hacerla más simple, quizás en un entorno más accesible que no sea LabVIEW.
- **Duplicación del banco**, montando más puestos de carga y descarga para hacer más dinámicas las prácticas.
- **Sustitución de la carga electrónica** por un motor real, para asemejarse mejor al sistema del vehículo eléctrico. Este motor además podría integrar una frenada regenerativa real, en vez de simularla con la fuente de alimentación.
- **Introducción de las baterías en un contenedor cerrado**, de tal forma que se pueda hacer un control de temperatura de éstas y una regulación de la temperatura interior del contenedor mediante un sistema de refrigeración. Además, con ello se ganaría en seguridad ante un posible accidente al tenerlas en un espacio confinado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabrera Castillo, E. (2015). Standards for electric vehicle batteries and associated testing procedures. 10.1016/B978-1-78242-377-5.00018-2.

Chan, C. C. (2013). The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned [Scanning Our Past]. Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 1, pp. 206-212, Jan. 2013. Doi: 10.1109/JPROC.2012.2228370

D'Agostino, S. (1993). The electric car. *IEEE Potentials*, vol. 12, no. 1, pp. 28-32, Feb. 1993. doi: 10.1109/45.207172

DC Programmable Electronic Load, Series IT8500+ Programming Guide. ITECH Electronic Co., Ltd

Deloitte. (2019, 29 enero). New market. New entrants. New challenges. Battery electric vehicle. Recuperado 24 junio, 2019, de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/manufacturing/deloitte-uk-battery-electric-vehicles.pdf>

Diferencias y Tipos de Vehículo Eléctrico | Factor Energía. (2019, 10 abril). Recuperado 16 mayo, 2019, de <https://www.factorenergia.com/es/blog/movilidad-electrica/tipos-de-vehiculo-electrico/>

Fernández, S. (2015, 11 septiembre). ¿Son las baterías de los coches eléctricos tan limpias como creemos? Recuperado 16 mayo, 2019, de <http://forococheselectricos.com/2015/09/son-las-baterias-de-los-coches-electricos-tan-limpias-como-creemos.html>

Hoofman, N., Messagie, M., Van Mierlo, J., & Coosemans, T. (2018). A review of the European passenger car regulations – Real driving emissions vs local air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 86, April 2018, 1-21*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012>

Ibáñez, I. (2018, 29 enero). Esto será lo próximo en baterías para coches eléctricos: más de 650 km de autonomía real. Recuperado 16 mayo, 2019, de <https://www.xataka.com/automovil/esto-sera-lo-proximo-en-baterias-para-coches-electricos-mas-de-650-km-de-autonomia-real>

Impactos ambientales de las pilas de litio - Blog Tecnoeraser. (2016, 31 mayo). Recuperado 16 mayo, 2019, de <https://tecnoeraser.es/blog/impactos-ambientales-pilas-de-litio/>

Mounce, R., & Nelson, J. D. (2019). On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems. *Transportation Research Part A* 120 (2019) 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.003>

Noya, C. (2017, 10 agosto). El reciclaje de las baterías será el gran reto de la industria del coche eléctrico. Recuperado 16 mayo, 2019, de <http://forococheselectricos.com/2017/08/reciclaje-baterias-coches-electricos-el-gran-reto.html>

Ortar, N., & Ryghaug, M. (2019). Should all cars be electric by 2025? The electric car debate in Europe. *Sustainability* 2019, 11(7), 1868; <https://doi.org/10.3390/su11071868>

Piacente, P. J. (2010). Demuestran los beneficios ecológicos de las baterías de litio-ion para coches eléctricos. Recuperado 16 mayo, 2019, de https://www.tendencias21.net/Dmuestran-los-beneficios-ecologicos-de-las-baterias-de-litio-ion-para-coches-electricos_a4785.html

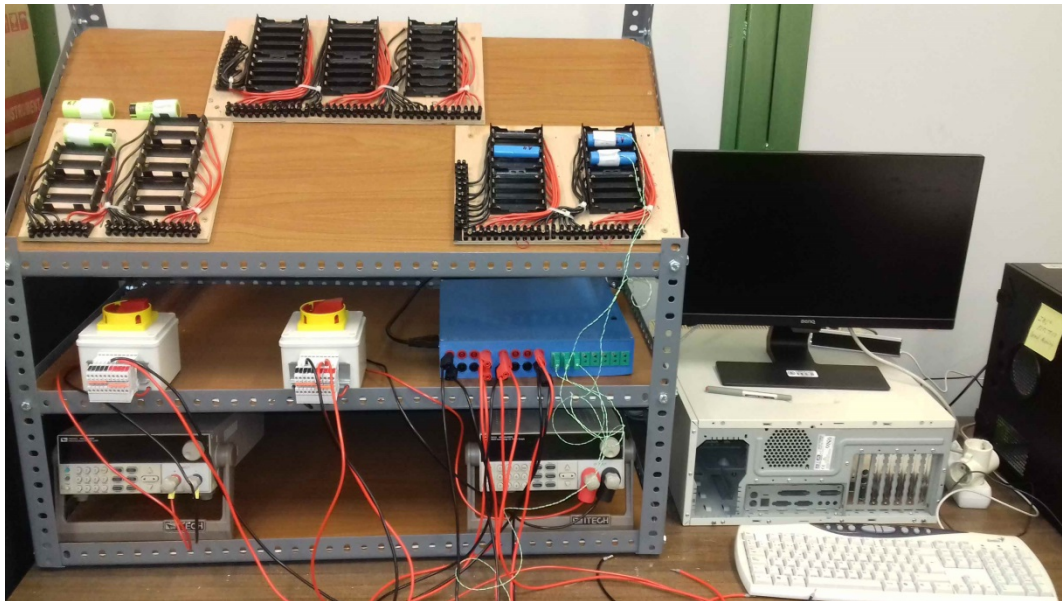
Programmable HV Power Supply, Series IT6700 Programming Guide. ITECH Electronic Co., Ltd

Ruiz Ruiz, V. (2018, 30 octubre). Standards for the performance and durability assessment of electric vehicle batteries - EU Science Hub - European Commission. Recuperado 20 mayo, 2019, de <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/standards-performance-and-durability-assessment-electric-vehicle-batteries>

Wanitschke, A., & Hoffmann, S. (2019). Are battery electric vehicles the future? An uncertainty comparison with hydrogen and combustion engines. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.03.003>

ANEXO I. MANUAL DEL BANCO DE CARGA-DESCARGA BATERÍAS DE LITIO

MANUAL DEL BANCO CARGA-DESCARGA BATERÍAS DE LITIO



1. INSTRUCCIONES INICIALES PARA LA CARGA-DESCARGA

- 1.1. PUESTA EN MARCHA DE LOS INSTRUMENTOS
- 1.2. PRECAUCIONES PREVIAS
- 1.3. IDENTIFICACIÓN PREVIA DE LAS BATERÍAS

2. CARGA DE BATERÍAS

- 2.1. USO DIRECTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN (IT6723)
- 2.2. LÍMITES DE TENSIÓN, INTENSIDAD Y POTENCIA DE LA FUENTE
- 2.3. MODOS DE CARGA DE BATERÍAS
- 2.4. PROCEDIMIENTO DE CARGA DE BATERÍAS EN MODO MANUAL

3. DESCARGA DE BATERÍAS

- 3.1. USO DIRECTO DE LA CARGA ELECTRÓNICA (IT8512A)
- 3.2. DESCARGA DE BATERÍAS
- 3.3. USO DIRECTO DE LA CARGA ELECTRÓNICA EN PROCESOS DE DESCARGA
- 3.4. PROCEDIMIENTO DE DESCARGA DE BATERÍAS EN MODO MANUAL

4. CARGA-DESCARGA DE BATERÍAS CON CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

- 4.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA Y FUNCIONES
- 4.2. PROCEDIMIENTO DE CARGA O DESCARGA DE BATERIAS EN MODO LABVIEW
- 4.3. PROGRAMA CARGA-DESCARGA LABVIEW
- 4.4. FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE CARGA/DESCARGA DE LAS BATERÍAS
- 4.5. PROGRAMA DE CICLO COMBINADO DE CARGAS-DESCARGAS

1. INSTRUCCIONES INICIALES PARA LA CARGA-DESCARGA

1.1 PUESTA EN MARCHA DE LOS INSTRUMENTOS

- **Fuente de alimentación programable (Power Supply).** Interruptor Power (panel frontal abajo izquierda). Pulsador ON/OFF debe permanecer apagado (OFF). El display debe estar iluminado.
- **Carga electrónica (Electronic Load).** Interruptor Power (panel frontal abajo izquierda). Pulsador ON/OFF debe permanecer apagado (OFF). El display debe estar iluminado.
- **Interruptores-Seccionadores.** Deben estar posicionados en abierto (0).
- **Sistema de Adquisición de Datos.** Caja azul con piloto de encendido (No tiene interruptor propio, sólo si se desea usar este equipo).
- **Ordenador con programa en LabVIEW** (sólo si se desea usar este modo)

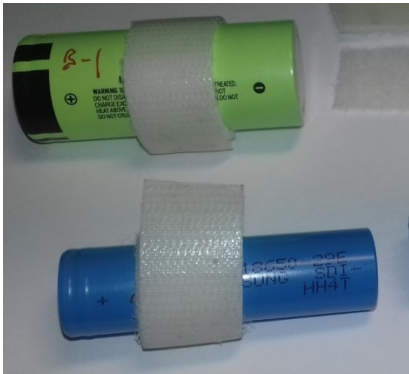
1.2 PRECAUCIONES PREVIAS

- Comprobar el estado externo de las baterías:
 - Cilíndricas sin distorsiones de la superficie
 - Sin abultamientos
 - Sin fugas de electrólito
- Manejar siempre con precauciones, usando guantes de protección en caso de fugas.

NO INVERTIR LA POLARIDAD (+, -)
NO CORTOCIRCUITAR
NO SOBRECARGAR POR ENCIMA DE V_{max}
NO DESCARGAR POR DEBAJO DE V_{min}
NO DEJAR LAS BATERÍAS EN EL PORTAPILAS, PARA EVITAR QUE SE SOBRECARGUEN
NO PERFORAR
NO CALENTAR
EN CASO DE INCENDIO, ARROJAR AGUA ABUNDANTEMENTE
LAS FUGAS DE LÍQUIDO SON CORROSIVAS, NO MANEJAR SIN PROTECCIÓN
NO ALMACENAR POR ENCIMA DE:
25°C MÁS DE UN AÑO
45°C MÁS DE TRES MESES
60°C MÁS DE UN MES
PARA ALMACENAMIENTO PROLONGADO, MANTENER A 50% SOC

1.3 IDENTIFICACIÓN PREVIA DE LAS BATERÍAS

- Identificar el tipo a que pertenecen:
- Azules. Tipo A, 18650, Código A.X
- Verdes. Tipo B, 26650, Código B.X
- Anotar el código X de las que se van a usar.
- Medir con el polímetro la tensión inicial de cada batería y apuntarla (tres decimales).
- Comprobar posteriormente que esta tensión coincide con la registrada por el sistema de adquisición de datos.

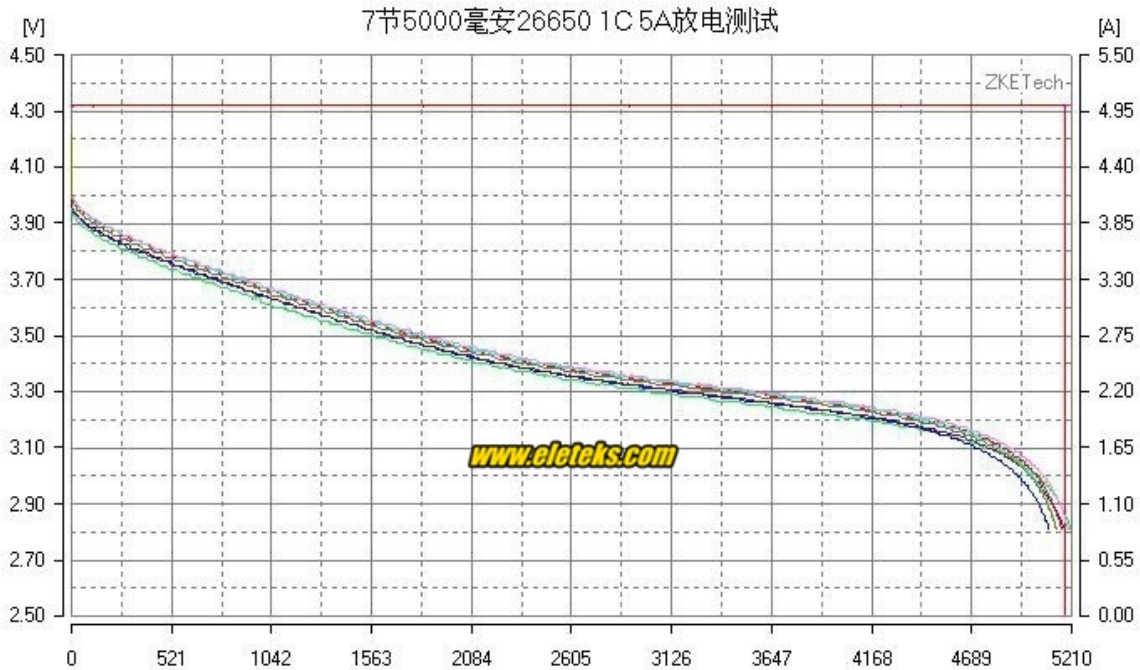


- Identificar la **hoja de características técnicas** de cada tipo de batería, con los valores de capacidad, tensión, resistencia, corrientes máximas de carga y descarga, temperaturas de funcionamiento, etc.

BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS		HOJA RESUMEN DE CARACT	
TIPO			
Marca			
Modelo Comercial			
Hoja de características			
Capacidad Nominal	Qnom		Ah
Capacidad Mínima	Qmin		Ah
Condiciones (0.2C, 2.50 V descarga)			
Tensión nominal	Vnom		V
Tensión máxima carga	Vmax		V
Tensión mínima descarga	Vmin		V
Resistencia interna	Rint		mΩ (<=)
Corriente nominal para 1h	C ó C1	0.0	A
Energía nominal	Enom	0.0	Wh
Proceso de Carga			
Corriente nominal carga	Icnom	0.25	C
		0.0	A
Tiempo nominal carga	tcnom		h
Corriente máxima carga	Icmax	0.25	C
		0.0	A
Tiempo máximo carga	tcmx		h
Tensión máxima carga	Vcmx	0.00	V
Corriente final carga	Icfin		C
		0	A

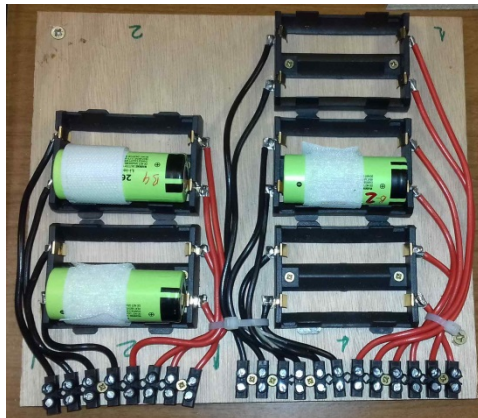
- Si está disponible la curva VOC-SOC, apuntar el SOC inicial de cada batería.

Ej. Baterías tipo B (verdes)



$$x = \text{SOC} \quad y = -28.529x^6 + 100.44x^5 - 138.16x^4 + 94.292x^3 - 32.626x^2 + 5.6813x + 2.8405$$

- Las baterías se deben colocar en los correspondientes **portapilas**, a la izquierda los 26650 y a la derecha los 18650, atendiendo a la **polaridad** (cables rojos, +; cables negros, -).



26650



18650

- Cuando no se estén ensayando, las baterías **NO** deben dejarse en los portapilas, para evitar que se sobredescarguen por accidente a través de los cables conectados.

2. CARGA DE BATERÍAS

2.1. USO DIRECTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN (IT6723)



La Fuente de Alimentación IT6723 permite su uso manual desde el panel frontal (indicación LOC en el panel), o bien desde un ordenador a través del puerto de comunicaciones (indicación RMT en el panel).

El botón **POWER** es el interruptor de la fuente.

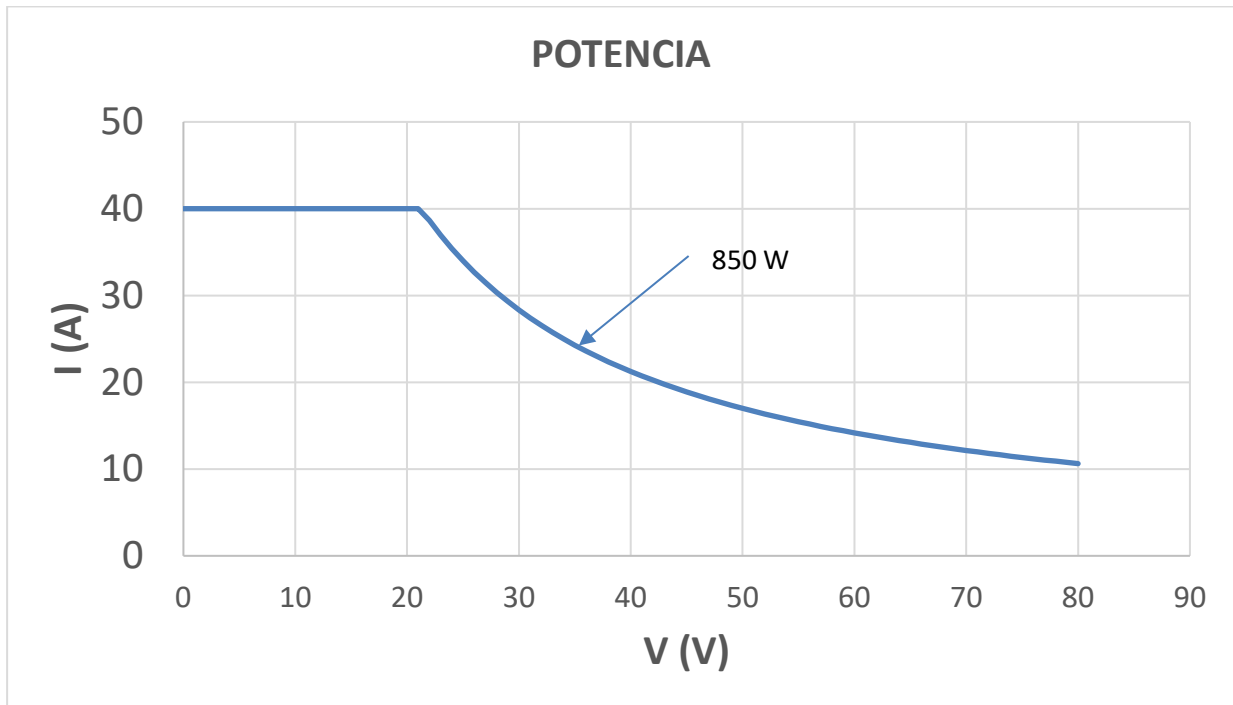
La tecla **ON/OFF** permite tener los cables de salida de la fuente conectados a la carga, pero sin tensión. Al presionar dicha tecla, ésta se ilumina y empieza el proceso de carga (indicación ON en el panel).

A través del teclado se pueden introducir los valores de la tensión y de la intensidad que debe suministrar la fuente (validación con tecla **ENTER**).

La pantalla refleja dichos valores, o bien, si se presiona la tecla **METER** ésta se ilumina y se visualizan los valores reales medidos a la salida de la corriente y la tensión.

2.2. LÍMITES DE TENSIÓN, INTENSIDAD Y POTENCIA DE LA FUENTE

Los límites de tensión, intensidad y potencia de la fuente IT 6723 son los siguientes:



2.3. MODOS DE CARGA DE BATERÍAS

A. MODO TENSIÓN CONSTANTE (CV)

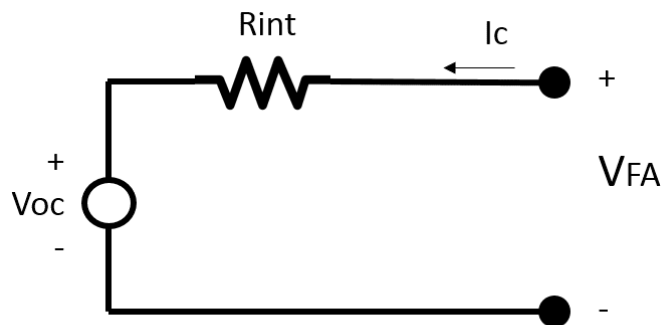
En este modo de Carga, la fuente aplica una tensión constante en los terminales de la batería (o baterías, si se agrupan varias en serie y en paralelo), imponiendo el valor de la tensión, con lo que la intensidad de carga es el resultado de la diferencia entre la tensión de la fuente V_{FA} ($=V_t$) y la de la batería V_{OC} .

» **ATENCIÓN: PELIGRO DE SOBRECARGA**

La intensidad de carga I_C debe estar dentro de los límites admisibles de la batería.

Ej.: $I_C < 1C$

La tensión aplicada no debe superar el valor máximo de la tensión $V_{OC_{max}}$ de la batería.



$$V_{FA} = V_{OC} + R_{INT} * I_C$$

$$I_C = \frac{(V_{FA} - V_{OC})}{R_{INT}}$$

B. MODO INTENSIDAD CONSTANTE (CC)

Alternativamente, la fuente podría imponer el valor de la intensidad de la corriente de carga, aumentando el estado de carga SOC, con lo que la tensión en bornes crece a medida que se produce la carga.

» ATENCIÓN: PELIGRO DE SOBRECARGA

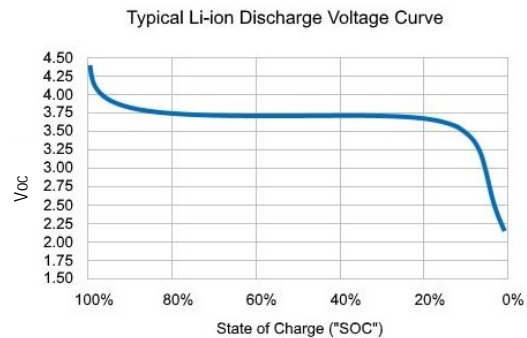
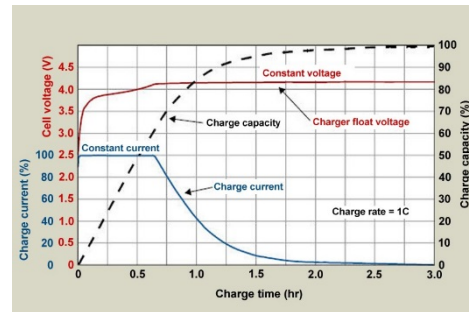
La intensidad de carga I_c debe estar dentro de los límites admisibles de la batería.

Ej.: $I_c < 1C$

La tensión aplicada no debe superar el valor máximo de la tensión VOC_{max} de la batería.

La tensión de circuito abierto VOC sólo se puede medir cuando la intensidad de carga (o de descarga) es cero, pero se puede estimar a partir de V_t si se conoce la resistencia interna R_{int} :

$$VOC = V_t - R_{int} I_C$$

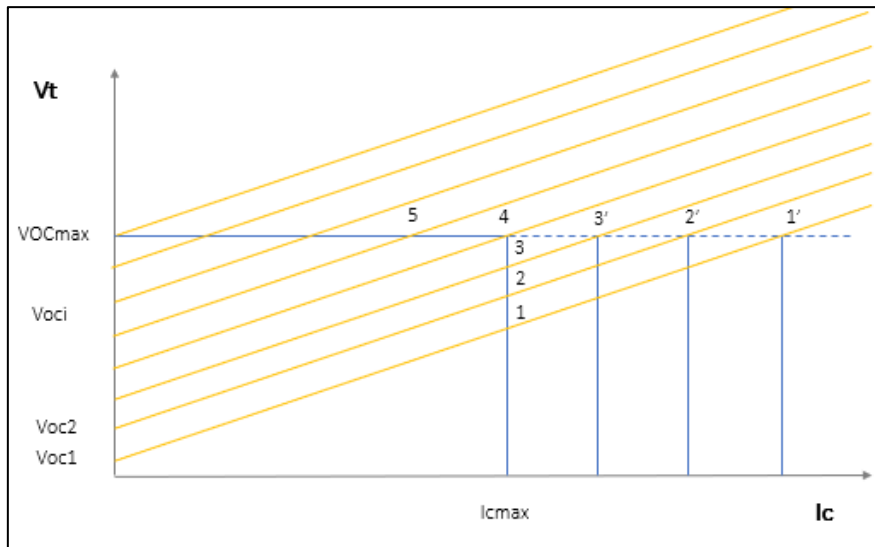


C. MODO INTENSIDAD CONSTANTE-TENSIÓN CONSTANTE (CC-CV)

Combinando ambos métodos, la fuente de alimentación permite realizar cargas a **Corriente Constante (CC)** y a **Tensión Constante (CV)**, aunque estos modos no son totalmente independientes, ya que al conectar una carga externa (la batería por ejemplo), la intensidad se limita al valor máximo (modo CC), pero la fuente cambia al modo tensión constante (CV) si la corriente demandada es menor que la establecida o si se llega a la tensión deseada (por ejemplo, a medida que la batería se carga y aumenta su tensión).

Para usar este modo de carga, hay que introducir en la Fuente de Alimentación los **valores máximos** de la intensidad (Ej.: $0,3C = 0,3 \times 5 = 1,5A$) y de la tensión (Ej.: $4,2V$, dependiendo del número de baterías en serie).

La combinación de modos CC y CV permite realizar el proceso de carga de una batería de litio con dos fases del proceso de carga, como se ve en la figura siguiente:



Al inicio (1, 2, 3), cuando la tensión VOC es pequeña frente a la tensión de la fuente, la intensidad sería grande (1', 2', 3'), por lo que funciona la limitación del **modo CC**. A medida que se produce la carga, SOC aumenta y con ello, el valor de VOC, y también el valor de la tensión en bornes de la batería V_t :

$$V_t = VOC + R_{int} I_C$$

pero en el momento en el que esta tensión en bornes de la batería V_t iguala (4) al valor máximo de la tensión VOC_{max} , se pasa al **modo CV**, para continuar la carga con intensidades decrecientes (5, 6, 7).

2.4. PROCEDIMIENTO DE CARGA DE BATERÍAS EN MODO MANUAL

1. Colocar las baterías en los portapilas que se quieren cargar.
2. Usar los cables rojos y negros adecuados para conectar en serie o en paralelo las baterías.

IMPORTANTE: Todas las baterías deben ser del mismo tipo. Para conectarlas en paralelo o en serie deben tener un nivel de tensión y de carga similares.

3. Conectar los bornes comunes de las baterías al **interruptor/seccionador** (debe estar en la posición 0) y de éste a la **Fuente de alimentación**.
4. Comprobar con el **polímetro digital** que las tensiones en los bornes comunes son las esperadas para la agrupación de baterías en serie y en paralelo que se ha hecho.
5. Accionar el **pulsador Power** para encender la Fuente de alimentación. Comprobar que en el panel aparece la **indicación Loc** (modo local o manual). El pulsador ON/OFF debe estar apagado (modo de salida en OFF).
6. Introducir con los pulsadores del panel frontal los valores adecuados de **tensión y de intensidad del proceso de carga** que se desea realizar.
7. Comprobar que los valores en el panel son los correctos.
8. Girar el mando del **interruptor/seccionador** a la posición 1.
9. Al pulsar la tecla **METER**, se visualizan los valores reales de tensión e intensidad (esta debe ser cero, ya que la fuente está hasta ahora en circuito abierto).
10. Pulsar la tecla **ON/OFF** del panel frontal para que se ilumine y la fuente se conecte a las baterías y comience el proceso de descarga.
11. Al pulsar la tecla **METER**, se visualizan los valores reales de tensión e intensidad. Comprobar que son los adecuados.

12. Continuar el proceso hasta que se alcancen los valores establecidos y finalizarlo pulsando la tecla **ON/OFF**. La Fuente puede acabar el proceso de carga de forma automática si se cumple alguna condición establecida (tensión máxima, p.e.)
13. Después, girar el mando del **interruptor/seccionador** a la posición 0.

EN TODO MOMENTO: En caso de apreciar **calentamiento excesivo o humo** en las baterías o en los cables, pulsar la tecla **ON/OFF** de la fuente y girar el **interruptor/seccionador** a la posición 0.

EN CASO DE INCENDIO DE UNA BATERÍA: Usar un **extintor tipo D**. Alternativamente arrojar **agua abundante** sobre la batería. Si es posible, coger la batería con unas **pinzas largas** e **introducirla en un cubo con agua**. Evitar respirar los **humos producidos**.

3. DESCARGA DE BATERÍAS

3.1. USO DIRECTO DE LA CARGA ELECTRÓNICA (IT8512A)



La Carga Electrónica IT8512A+ permite su uso manual desde el panel frontal (indicación **Loc** en el panel), o bien desde un ordenador a través del puerto de comunicaciones (indicación **RMT** en el panel).

El botón **POWER** es el interruptor de la carga electrónica.

La tecla **ON/OFF** permite tener los cables de salida de la fuente conectados a la carga, pero sin tensión. Al presionar dicha tecla, se ilumina y empieza el proceso de descarga.

A través del teclado se pueden introducir los valores de la tensión y de la intensidad que debe suministrar la fuente (validación con tecla **ENTER**).

Se pueden elegir **cuatro tipos de regulación de la descarga**: Corriente Constante (**CC**), Tensión Constante (**CV**), Potencia Constante (**CW**) y Resistencia Constante (**CR**).

La pantalla refleja tanto los valores establecidos y como los reales en funcionamiento.

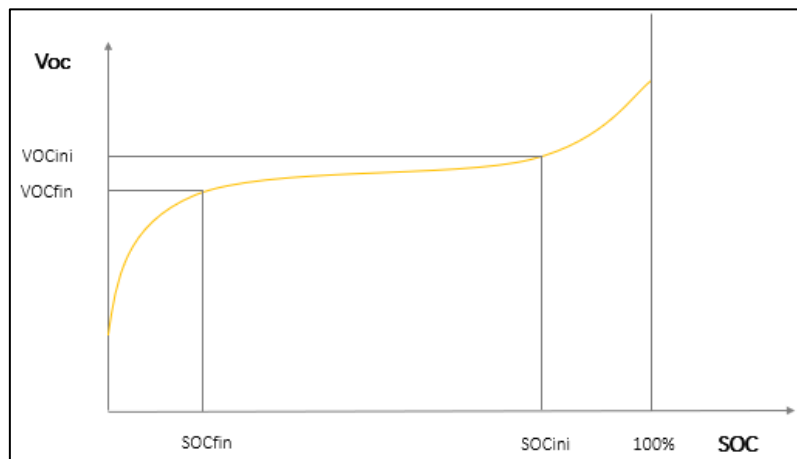


3.2. DESCARGA DE BATERÍAS

Al descargar la batería, su SOC disminuye:

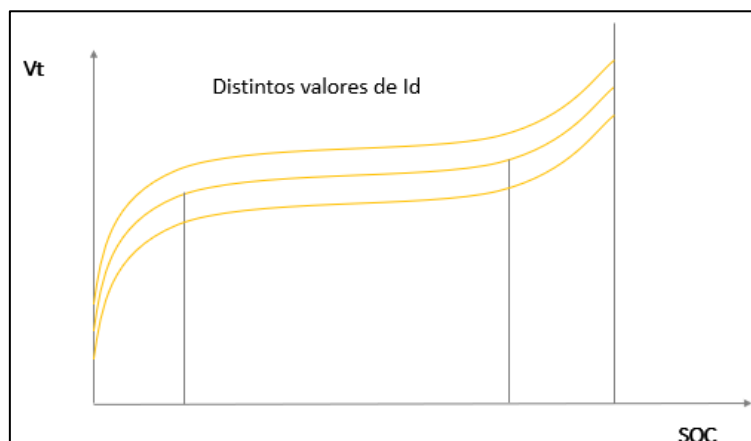
$$SOC(t) = SOC_{ini} - \frac{\int I_D dt}{Q_{bat}}$$

Como la tensión de circuito abierto VOC está relacionada con la SOC, también se reduce:

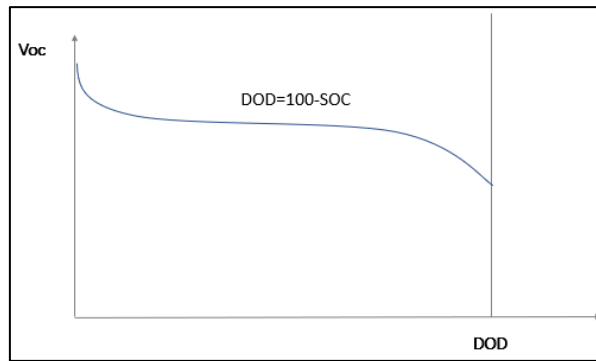


La tensión VOC sólo se puede medir en vacío, mientras que cuando circula corriente de descarga, la tensión en bornes V_t depende de propia corriente y de la resistencia interna:

$$V_t = VOC - R_{int} I_D$$



En vez de SOC, se puede usar $DOD = 100 - SOC$ para caracterizar la descarga.



USO DIRECTO DE LA CARGA ELECTRÓNICA EN PROCESOS DE DESCARGA

La carga electrónica permite realizar procesos de descarga de baterías en los distintos modos, de los cuales los más importantes son Corriente Constante (CC), Resistencia Constante (CR) y Potencia Constante (CW). Además, hay un modo específico de descarga de baterías.

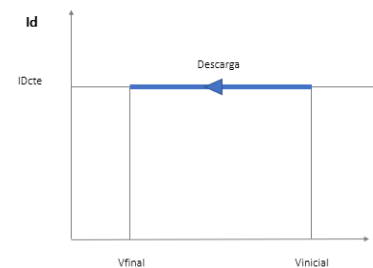
A. CORRIENTE CONSTANTE (CC)

La Carga drenará corriente de la batería hasta que se descargue completamente, con una **intensidad constante** independientemente del valor de la tensión en bornes.

» **ATENCIÓN: PELIGRO DE SOBRE-DESCARGA**

La intensidad de descarga I_D debe estar dentro de los límites admisibles de la batería.

Ej.: $I_D < 1C$



B. RESISTENCIA CONSTANTE (CR)

La Carga drenará corriente de la batería hasta que se descargue completamente, pero la **intensidad de la corriente se reduce paulatinamente** a medida que la tensión en bornes se va reduciendo, siempre manteniendo la relación entre la tensión y la intensidad.

» **ATENCIÓN: PELIGRO DE SOBRE-DESCARGA**

SOC disminuye como:

$$SOC(t) = SOC_{ini} - \frac{\int I_D dt}{Q_{bat}}$$

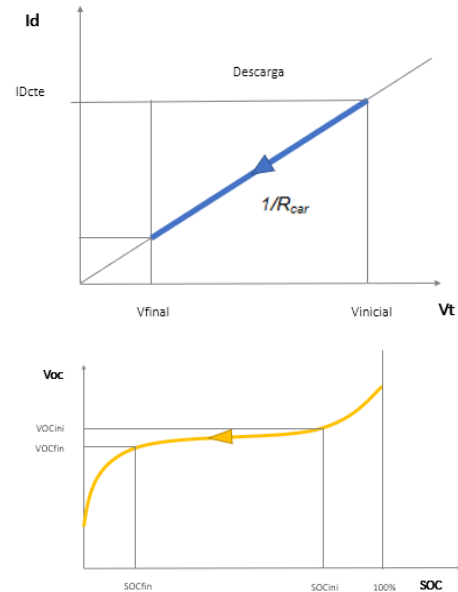
Como la tensión de circuito abierto VOC está relacionada con la SOC, también se reduce.

La intensidad de descarga I_D depende de la resistencia interna de la batería R_{int} y de la de la carga electrónica R_{car} :

$$I_D = \frac{V_t - VOC}{R_{int}} = \frac{V_t}{R_{car}}$$

El valor de la R_{car} se debe elegir para la que al variar V_t la I_D esté dentro de los límites admisibles de la batería.

Ej.: $I_D < 1C$



C. POTENCIA CONSTANTE (CW)

La Carga drenará corriente de la batería hasta que se descargue completamente, pero la **intensidad de la corriente aumenta paulatinamente** a medida que la tensión en bornes se va reduciendo, para mantener constante el valor del producto de la tensión y la intensidad.

» **ATENCIÓN: PELIGRO DE SOBRE-DESCARGA Y/O SOBRECALENTAMIENTO**

SOC disminuye como:

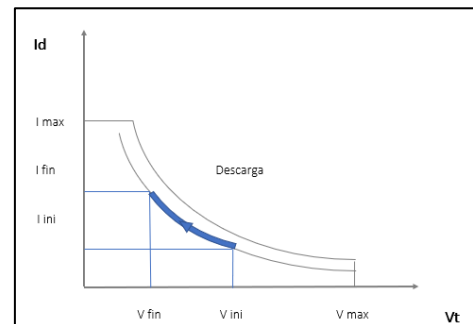
$$SOC(t) = SOC_{ini} - \frac{\int I_D dt}{Q_{bat}}$$

La tensión de circuito abierto VOC, relacionada con la SOC, se reduce.

La intensidad de descarga I_D depende de la resistencia interna de la batería R_{int} y de la de la carga electrónica R_{car} , la cual varía para que se cumpla que el **producto de la tensión por la intensidad sea el valor prefijado CW**.

El valor de la CW debe elegirse para que al variar V_t la ID esté dentro de los límites admisibles de la batería sobre todo hacia el final del proceso.

Ej.: $I_D < 1C$



D. MODO ESPECÍFICO DE DESCARGA DE BATERÍAS (CV)

En este modo, la Carga drenará corriente de la batería a **intensidad constante**, pero **evitando la sobre-descarga**, porque el **proceso acaba** cuando se cumple alguna de las condiciones siguientes:

- La tensión se reduce hasta el valor mínimo en V especificado por el usuario.
- La carga descargada, equivalente a la integral de la intensidad en el tiempo, alcanza el valor máximo en Ah especificado por el usuario.
- Se alcanza la duración máxima en segundos establecida para el proceso de descarga.

» ESTE MODO EVITA EL PELIGRO DE SOBRECARGA, PERO NO EL DE SOBREALENTAMIENTO POR CORRIENTE DE DESCARGA ELEVADA

SOC disminuye como:

$$SOC(t) = SOC_{ini} - \frac{\int I_D dt}{Q_{bat}}$$

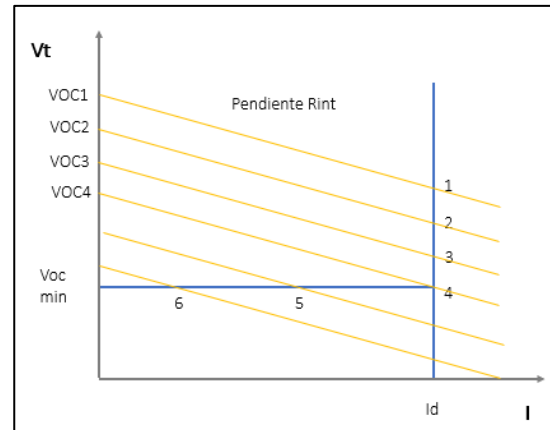
La tensión de circuito abierto VOC, relacionada con la SOC, se reduce.

La intensidad de descarga I_D es constante, hasta que se interrumpe el proceso por llegar a la tensión mínima VOC_{min} , a la carga descargada máxima o al tiempo máximo.

Como la tensión en bornes V_t

$$V_t = VOC - R_{int} I_D$$

es menor que la tensión VOC, y se va reduciendo del valor inicial 1 al final del proceso de descarga 4 que se produce antes de alcanzar VOC_{min} . Este error se puede minimizar con la opción de lectura externa de tensión de la Carga Electrónica.



3.3. PROCEDIMIENTO DE DESCARGA DE BATERÍAS EN MODO MANUAL

1. Posicionar las baterías en los portapilas que se quieren descargar.
2. Usar los cables adecuados para conectar en serie o en paralelo las baterías.

IMPORTANTE: Todas las baterías deben ser del mismo tipo. Para conectarlas en paralelo o en serie deben tener un nivel de tensión y de carga similares.

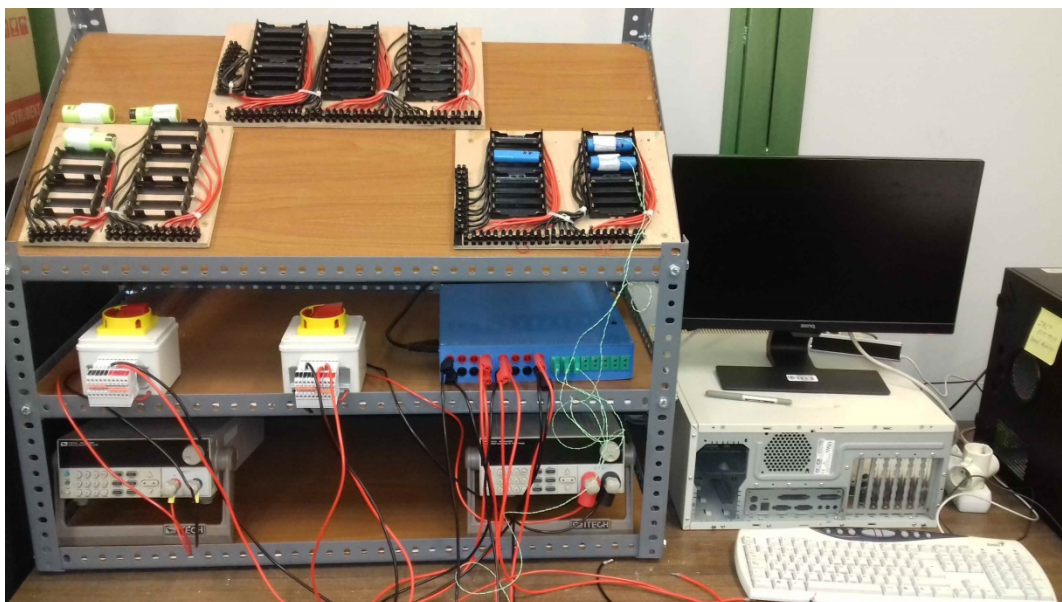
3. Conectar los bornes comunes de las baterías al **interruptor/seccionador** (debe estar en la posición 0) y de éste a la **Carga electrónica**.
4. Comprobar con el **polímetro digital** que las tensiones en los bornes comunes son las esperadas para la agrupación de baterías en serie y en paralelo que se ha hecho.
5. Accionar el **pulsador Power** para encender la Carga electrónica. Comprobar que en el panel aparece la **indicación Loc** (modo local o manual). El pulsador ON/OFF debe estar apagado (modo de salida en OFF).
6. Introducir con los pulsadores del panel frontal el tipo de descarga a realizar: CC, CV, CR, CW, así como los valores adecuados de **tensión y de intensidad del proceso de descarga**.
7. El **modo Combinado de Descarga de Baterías** se debe introducir buscando en el **menú correspondiente**. Para este modo se pueden establecer hasta los tres valores de: tensión mínima de descarga, carga máxima descargada y tiempo máximo de descarga.
8. Comprobar que los valores en el panel son los correctos.
9. Girar el mando del **interruptor/seccionador** a la posición 1.

10. En el panel se visualizan los valores establecidos, así como los **valores reales de tensión e intensidad** (ésta debe ser cero, ya que la Carga está hasta ahora en circuito abierto).
11. Pulsar la **tecla ON/OFF** del panel frontal para que se ilumine y la Carga electrónica se conecte a las baterías y comience el proceso de descarga.
12. Comprobar que los valores reales de tensión e intensidad que se visualizan son los adecuados.
13. Continuar el proceso hasta que se alcancen los valores establecidos y finalizarlo **pulsando la tecla ON/OFF**. En el modo Combinado, el proceso acaba si se cumple alguna de las tres condiciones establecidas (tensión mínima, carga descargada en Ah, tiempo máximo de descarga).
14. Después, girar el mando del **interruptor/seccionador** a la posición 0.

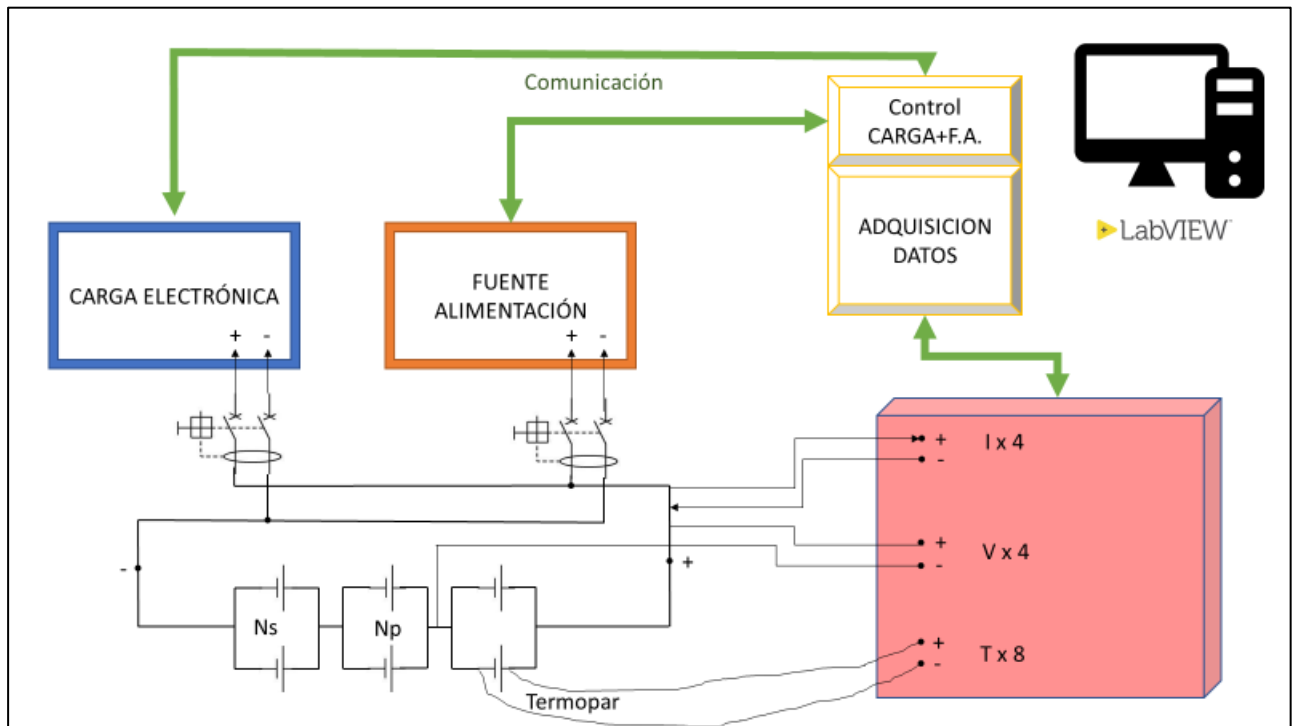
EN TODO MOMENTO: En caso de apreciar calentamiento excesivo o humo en las baterías o en los cables, pulsar la tecla ON/OFF de la Carga Electrónica y girar el interruptor/seccionador a la posición 0.

EN CASO DE INCENDIO DE UNA BATERÍA: Usar un extintor tipo D. Alternativamente arrojar agua abundante sobre la batería. Si es posible, coger la batería con unas pinzas largas e introducirla en un cubo con agua. Evitar respirar los humos producidos.

4. CARGA-DESCARGA DE BATERÍAS CON CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS



4.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA Y FUNCIONES



El sistema está basado en un **programa de LabVIEW**, para desarrollar tres **funciones**:

- Control de la Carga Electrónica y la Fuente de Alimentación
- Adquisición de datos de Intensidad, Tensión y Temperatura
- Visualización y registro de resultados

Las comunicaciones entre el ordenador y la fuente de alimentación, la carga electrónica y el sistema de adquisición de datos se realizan a través de cables con protocolos específicos.

Este sistema permite **controlar y monitorizar los procesos de carga y de descarga** para evitar que se rebasen:

- Los valores máximos o mínimos de la **tensión** de las baterías
- Los valores máximos de la **intensidad** de carga o de descarga
- Los valores máximos de la **temperatura** superficial de las baterías.

Para ello es necesario identificar previamente el tipo de batería a utilizar, así como el **número de baterías en paralelo N_p** y el **número de conjuntos en serie N_s** . Todas las baterías de una agrupación deben ser del mismo tipo.

Con los valores adecuados, se evitan los riesgos de: sobrecargar, sobredescargar o sobrecalentar las baterías.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN (IT6723)

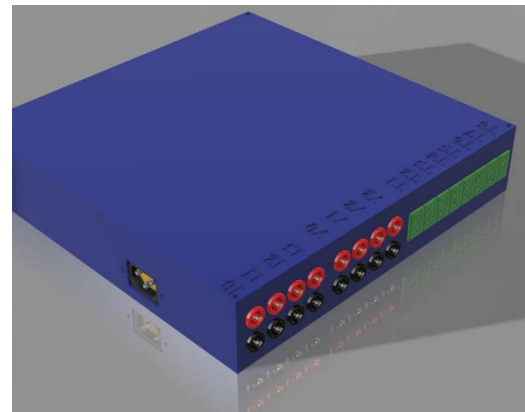
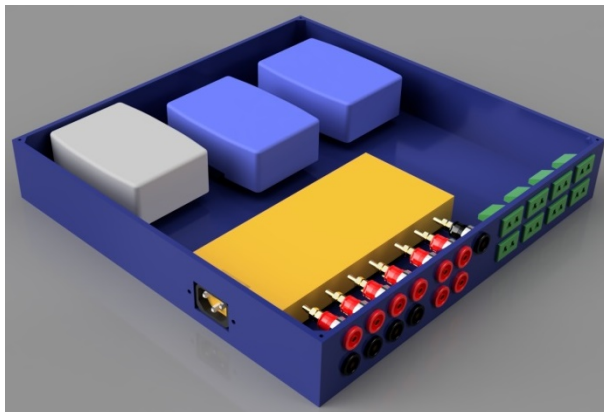
CARGA ELECTRÓNICA (IT8512A)

- Estos elementos realizan las funciones descritas anteriormente, pero controlados desde el programa LabVIEW.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

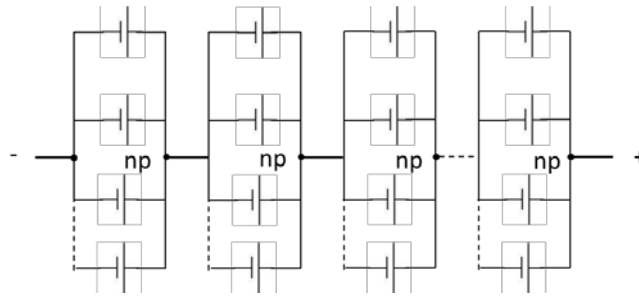
El sistema incluye:

- 4 sensores de intensidad de efecto Hall, convertidores intensidad-tensión.
- 2 divisores de tensión 1/10 (V0, V1).
- 8 termopares tipo K
- Un módulo de conversión A/D para las señales de intensidad y de tensión ICP-DAS I-7017.
- Un módulo de conversión A/D para termopares ICP-DAS I-7018
- Un módulo de comunicaciones RS-485 a USB I-7561U, para conexión con el ordenador.
- Una fuente de alimentación +15V



4.2. PROCEDIMIENTO DE CARGA O DESCARGA DE BATERÍAS EN MODO LABVIEW

1. Posicionar las baterías que se quieren cargar en los portapilas.
2. Usar las tiras de velcro para posicionar la unión soldada de los termopares en las baterías representativas, asegurando un buen contacto térmico. De los 8 termopares disponibles, reservar uno para la temperatura ambiente.
3. Apuntar el código de identificación de cada batería en relación con su posición.
4. Usar los cables adecuados para conectar en serie o en paralelo las baterías.
5. Apuntar el número de **bloques de baterías en paralelo** n_p en cada agrupación y en **número de agrupaciones en serie** n_s : Estos valores se deben introducir después en el panel inicial del programa LabVIEW (ver apartado siguiente)



IMPORTANTE: Todas las baterías que se ensayen cada vez deben ser del mismo tipo.

- El programa está diseñado de tal forma que el usuario le tiene que indicar la cantidad de baterías en serie y en paralelo. Considera que las baterías se colocaran en “packs” de baterías en paralelo, con idéntico número de ellas y cada pack en serie con respecto al resto de packs
 - Para conectarlas en paralelo o en serie deben tener un nivel de tensión y de carga similares.
 - Para evitar superar la tensión máxima de la fuente o de la carga, n_s debe ser menor o igual a 10 (aprox. 40 V).
 - Para evitar superar la intensidad máxima de la fuente o de la carga, n_p debe ser menor o igual a 5 (aprox. 40 A).
6. Conectar los bornes comunes de las baterías al **interruptor/seccionador** (debe estar en la posición 0) y de éste a la **Fuente de alimentación**.
 7. Comprobar con el **polímetro digital** que las tensiones en los bornes comunes son las esperadas para la agrupación de baterías en serie y en paralelo que se ha hecho.
 8. Para usar la Fuente de alimentación controlada por LabVIEW, accionar el **pulsador Power** para encender la Fuente de alimentación. Comprobar que en el panel aparece la **indicación RMT** (modo Remoto). El pulsador ON/OFF debe estar apagado (modo de salida en OFF). En el **modo RMT**, las teclas del panel frontal están desactivadas.

IMPORTANTE: En caso de introducir un esquema con criterio distinto al anterior, el programa no calculará bien ni resistencias internas, voltajes límite o corrientes de protección, pudiendo poner en peligro todo el conjunto

EN TODO MOMENTO: En caso de apreciar **calentamiento excesivo o humo en las baterías** o en los cables, girar el **interruptor/seccionador a la posición 0**.

EN CASO DE INCENDIO DE UNA BATERÍA: Usar un **extintor tipo D**. Alternativamente arrojar agua abundante sobre la batería. Si es posible, coger la batería con unas pinzas largas e **introducirla en un cubo con agua**. Evitar respirar los humos producidos.

EN CASO DE BLOQUEO DEL PROGRAMA LABVIEW: Si el programa no responde o se observa cualquier otro tipo de anomalía, se puede **anular el control del programa pulsando la tecla LOC**, pero el programa dejara de controlar la fuente de alimentación y quedará funcionando con el último estado lanzado, por lo que es el usuario el que debe tomar el control del proceso y deber llevarlo a un estado de seguridad, desconectando la salida.

4.3. PROGRAMA CARGA-DESCARGA LABVIEW

Paso inicial: ejecutar desde el escritorio de Windows el programa de LabVIEW "Carga" o "Descarga". Estos dos programas son de similar aspecto y control.

En el entorno gráfico que aparece, hay que seguir los siguientes pasos:

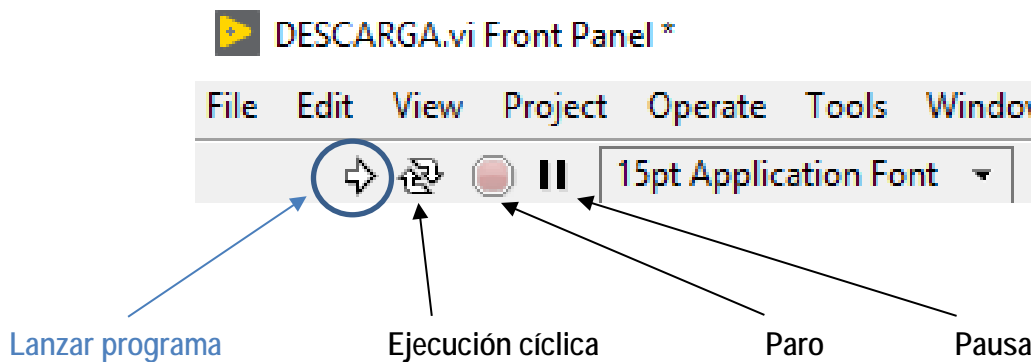
RECUADRO "ANTES DE LANZAR EL PROGRAMA"

Seleccionar o introducir los valores adecuados de:

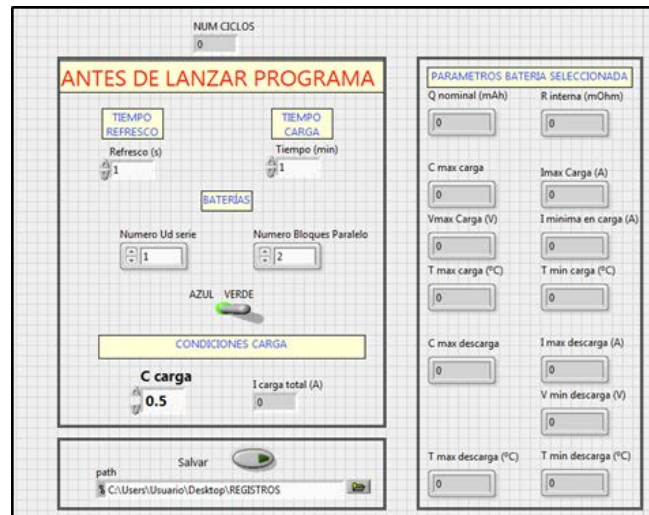
- El tiempo máximo de carga del proceso de carga o de descarga, en caso de que se quiera utilizar la opción de control por tiempo.
- El tiempo de refresco del programa que será el periodo entre ciclos de ejecución del programa. Coincide con la frecuencia de registro de datos.
- Corriente de carga (en valores C y solo para el programa de Carga), comprobando que el valor en amperios es correcto (se actualiza al lanzar el programa).
- Introducir el número de bloques de baterías en paralelo n_p en cada agrupación y en número de agrupaciones en serie n_s : que corresponde al montaje físico realizado (apartado anterior).
- Tipo de baterías: Marcar la posición adecuada del tipo de baterías, Azules o Verdes. Comprobar que, al lanzar el programa, los valores que se muestran a la derecha de las características de cada batería son los correctos: V_{max} , V_{min} , Q_{nom} , C_{des} , C_{carga} , T_{min} , T_{max} , R_{int} , etc.

¿CÓMO LANZAR EL PROGRAMA?

LabVIEW tiene un menú, en la parte superior izquierda con las teclas de control que sirven para lanzar el programa y que controlan la ejecución del mismo.



IMPORTANTE: Una vez lanzado el programa, las modificaciones en los valores de entrada anteriores de las características de las baterías no tienen efecto, siendo necesario parar el programa y cambiarlos antes de volver a lanzarlo.



FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA LABVIEW

- Registro de datos.

El registro de los datos asociados a las variables monitorizadas (tensiones, intensidades, temperaturas) se inicia al pulsar la tecla **SALVAR**. Los valores se guardan **con la frecuencia del tiempo de refresco seleccionada** en un archivo Excel, hasta que se desactiva dicha tecla o se finaliza el programa, ya sea manualmente o por tiempo. El nombre del archivo Excel es la fecha y la hora de inicio del registro.

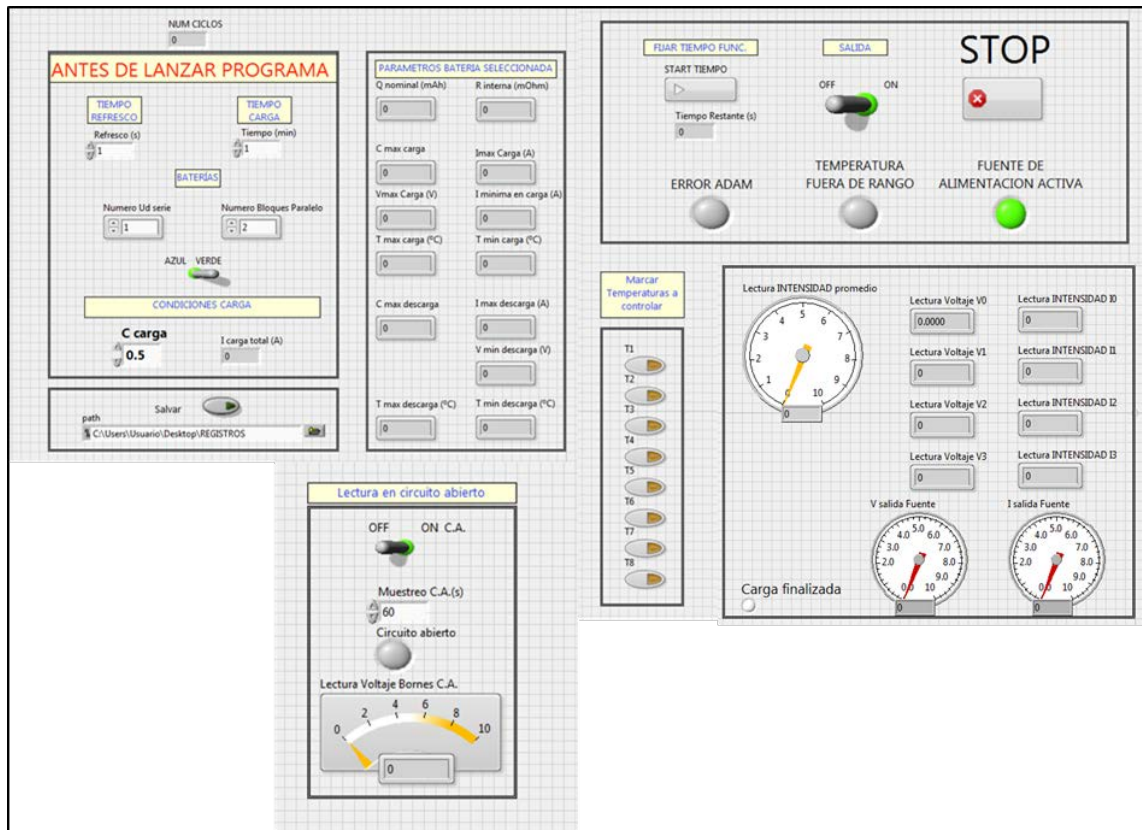
- Control de la fuente de alimentación (FA) y carga electrónica (CE)

Este control permite establecer en la FA:

- Tiempo de funcionamiento restante y su activación.
- Encendido y apagado de la salida, así como el botón de paro general STOP
- Indicadores de estado, como el error de temperatura, estado de la FA o CE, o error del sistema de adquisición de datos
- En el caso del programa de Descarga (CE), existen otros indicadores para poder introducir el Modo de descarga, sus valores, y sus valores máximos a los que limitará en caso de sobrepaso para proteger las baterías. En caso de que así sea se indicará en una alarma luminosa.

- Supervisión de los valores máximos de temperatura superficial (8 canales)

Estos controles permiten supervisar si se alcanza la temperatura máxima superficial de las baterías (hasta 8 valores), seleccionando los números de los canales de alarma, **independientemente de los canales que se usen para monitorizar**.

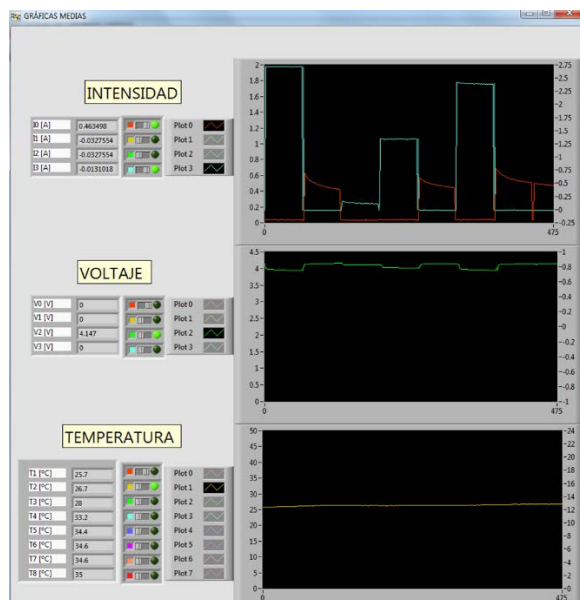


- **Monitorización de variables**

Las variables (tensiones, intensidades, temperaturas) se adquieren en continuo, pero es necesario especificar las variables que se desea **monitorizar**, así como si se representan en el eje izquierdo o derecho.

La representación es en función del tiempo en el eje de abscisas, mientras que en el eje ordenadas se puede elegir representar a escala fija (eje izquierdo) o bien con autoescalado (eje derecho).

IMPORTANTE. Conviene monitorizar siempre la **temperatura ambiente con el termopar 1**, para que sea más evidente el aumento de temperatura superficial asociado al calentamiento de las baterías medido con los otros termopares.



Supervisión de la tensión de circuito abierto VOC sin carga

Si se elige esta opción, la corriente de carga se interrumpe cada cierto periodo de tiempo, seleccionable por el usuario (abajo a la izquierda), para poder medir la tensión de la batería en circuito abierto. En este modo el sistema abre el circuito durante un ciclo de ejecución, realizando una lectura

para ver el VOC de las baterías conectadas. El usuario puede activar o desactivar esta condición. El programa muestreará según la frecuencia que le indiquemos y según el tiempo de refresco que le hayamos indicado. Si se pone un tiempo de refresco de 0.2 s y uno de muestreo de 5 s, el programa encenderá y apagará la salida cada segundo. Es recomendable poner tiempos altos si se va a usar esta herramienta para evitar problemas de ejecución con el programa, siendo lo recomendable un tiempo de refresco de 1 s y de muestreo de 60 s.

El indicador del panel de LabVIEW muestra el último valor registrado. Se puede comprobar en los monitores que efectivamente la corriente pasa periódicamente a un valor cero, al mismo tiempo que la tensión en bornes de la batería se reduce ligeramente (valor **VOC**, en vez de valor V_i).

Los valores V_i y VOC permiten estimar el valor de la R_{int} equivalente del conjunto de baterías ensayadas.

4.4. FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LOS PROCESOS DE CARGA O DE DESCARGA DE LAS BATERÍAS

1. Comprobar que todas las conexiones de las baterías son correctas y que las tensiones medidas con el polímetro son las adecuadas,
2. Comprobar que se han elegido los valores adecuados de **tiempo máximo de carga** (opcional) y de los **termopares** que se van a **supervisar como alarmas** (opcional).
3. Comprobar que se ha elegido un valor adecuado del intervalo de tiempo entre las comprobaciones de la **tensión en circuito abierto**, en caso de que se desee usar esta opción, y activarla.
4. Comprobar que la Fuente de alimentación o Carga electrónica está encendida y que aparece la indicación **RMT** en el panel. La **tecla ON/OFF** debe estar apagada. (Hay que recordar que en modo RMT las teclas del panel están desactivadas).
5. Girar el mando del **interruptor/seccionador a la posición 1**.

A continuación, se puede:

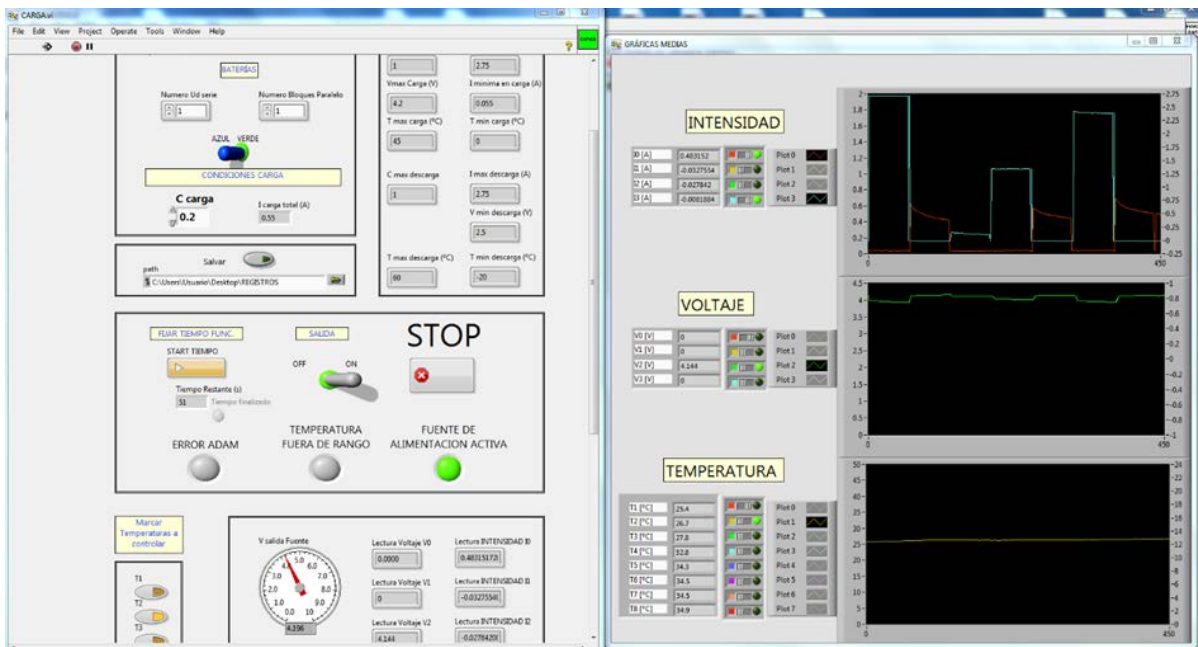
6. Pulsar el botón **SALVAR**, para iniciar el registro de datos en un archivo Excel.
7. Pulsar el botón **START TIEMPO**, para empezar a descontar el tiempo de carga.
8. Pasar el conmutador **OFF/ON** del **panel de LabVIEW a la posición ON**, para activar la fuente de alimentación. La indicación luminosa de la tecla ON/OFF de la fuente o de la carga electrónica se ilumina y comienza el proceso de carga.
9. Comprobar en los indicadores del panel frontal de la fuente o carga, del panel de LabVIEW y de los gráficos de monitorización que los **valores de tensión e intensidad** del proceso son los adecuados, y que las **temperaturas** evolucionan correctamente.
10. En caso de **desviación importante de los valores**, pulsar el botón **STOP**.
11. El **registro de datos continúa** hasta que se detiene el programa o se desactive el botón salvar.

EN TODO MOMENTO: En caso de apreciar **calentamiento excesivo o humo en las baterías** o en los cables, girar el **interruptor/seccionador a la posición 0**. Se puede pulsar el botón **STOP** del panel de LabVIEW para detener la ejecución del programa.

EN CASO DE INCENDIO DE UNA BATERÍA: Usar un extintor tipo D. Alternativamente arrojar agua abundante sobre la batería. Si es posible, coger la batería con unas pinzas largas e introducirla en un cubo con agua. Evitar respirar los humos producidos.

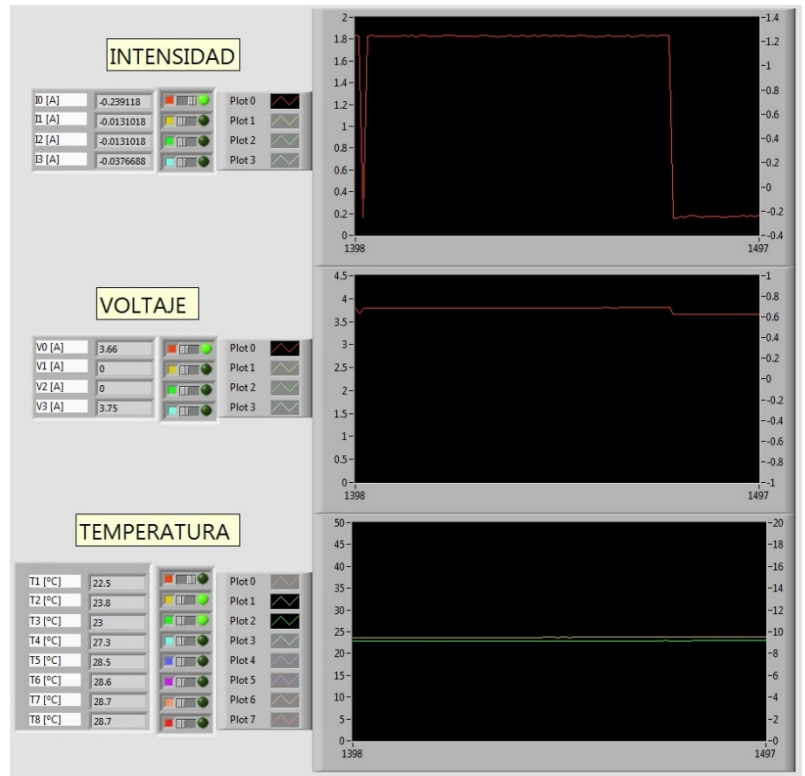
EN CASO DE BLOQUEO DEL PROGRAMA LABVIEW: Si el programa no responde o se observa cualquier otro tipo de anomalía, se puede anular el control del programa pulsando la tecla LOC, pero el programa dejará de controlar la carga electrónica y quedará funcionando con el último estado lanzado, por lo que deber ser el usuario el que tome el control y para llevarlo a un estado de seguridad, desconectando la entrada.

Indicaciones del panel de LabVIEW con el proceso de carga iniciado (conmutador en posición ON).



Una vez iniciado el proceso de carga o de descarga, éste puede terminar si:

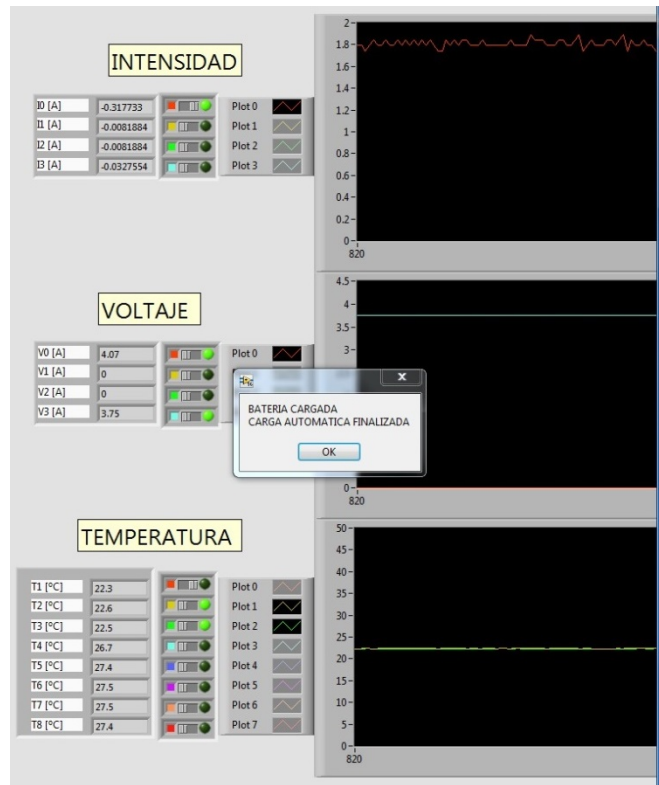
- Se pulsa el botón STOP



- Si se agota el tiempo de carga o de descarga establecido (sólo si se ha elegido la opción)



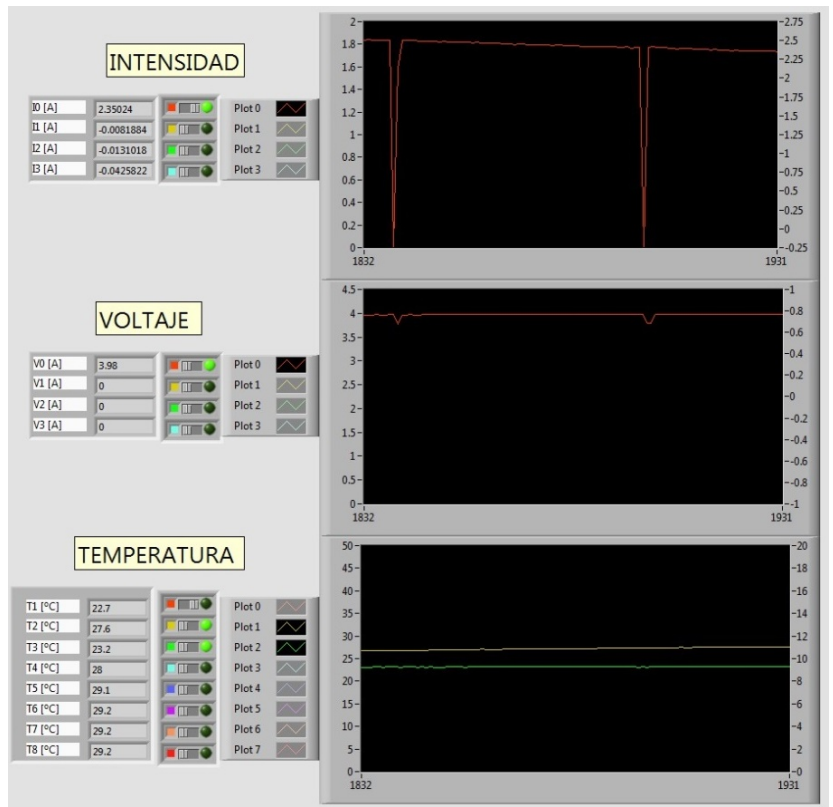
- Si se alcanza la **tensión final** en el proceso de descarga o la **corriente mínima** en el proceso de carga (siempre se supervisa).



- Si alguno de los **termopares alcanza el valor máximo** (sólo si se ha seleccionado esta opción).

- A medida que se produce el proceso de carga, el SOC aumenta y con ello la **tensión VOC**, con lo que la **intensidad se va reduciendo**.

- Si no se interrumpe antes porque se alcanza la **tensión máxima**, la **temperatura máxima** o bien el tiempo establecido, el proceso acaba cuando la **intensidad de carga alcanza el valor mínimo** (Ej. 0,02C).



Registro de datos de cada ensayo en un archivo Excel

Cuando el botón **SALVAR** está activado y se pulsa de nuevo, el registro de datos a archivo Excel se interrumpe.

La estructura del archivo de datos es la siguiente, con las **cuatro intensidades** posibles, las **cuatro tensiones** y las **ocho temperaturas**, en función del tiempo:

Tiempo	I0 [A]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	V0 [V]	V1 [V]	V2 [V]	V3 [V]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]
14:21:27	-0.3	-0	-0	-0	3.63	0	0	3.75	22.4	22.8	22.8	26.8	27.8	28	28	28.1
14:21:28	-0.3	-0	-0	-0	3.63	0	0	3.75	22.4	22.8	22.7	26.7	27.9	28	28	28.1
14:21:29	-0.3	-0	-0	-0	3.63	0	0	3.75	22.4	22.8	22.7	26.6	27.9	28	28	28
14:21:30	-0.3	-0	-0	-0	3.63	0	0	3.75	22.4	22.8	22.7	27.1	27.9	28	28	28
14:21:31	-0.3	-0	-0	-0	3.63	0	0	3.75	22.4	22.8	22.7	27.1	27.9	28	28	27.9
14:21:32	-0.3	-0	-0	-0	3.63	0	0	3.75	22.4	22.8	22.7	27	27.9	28	28	28.1

NOTA 1. Los sensores de intensidad, cuando no están funcionando, proporcionan valores negativos próximos a cero y deben desecharse.

NOTA 2. Conviene que una de las temperaturas registradas sea la ambiente (T1 preferentemente).

NOTA 3. En caso de que se haya seleccionado un valor de tiempo de refresco inferior a 1s, aparecerán más de un dato en el mismo segundo.

CONDICIONES DE PARADA AUTOMÁTICA

CARGA

La carga se considerará finalizada cuando la corriente de carga sea la especificada para cada tipo de batería. El programa analiza el **PROMEDIO** de las cuatro entradas de intensidad, siempre que la medición sea mayor que 0. El programa lanza un aviso y se interrumpe automáticamente.

DESCARGA

De forma similar a la carga, el programa de descarga considera que las baterías están descargadas cuando el voltaje medido **PROMEDIO** de las cuatro entradas sea el mínimo establecido para las baterías seleccionadas. El promedio se calcula para las entradas que sean mayores que 1 V. Cuando se alcanza el mínimo, el programa lanza un aviso y se interrumpe automáticamente.

4.5. PROGRAMA DE CICLO COMBINADO DE CARGAS-DESCARGAS

El ciclo combinado es un programa que como bien indica su nombre gestiona la ejecución de los programas de carga y descarga. Para ello hace uso de un fichero Excel de entrada, en el que el usuario introduce las condiciones deseadas de alternancia entre el programa de carga y descarga, lanzando el programa y ejecutando esas órdenes de forma secuencial. Para ejecutar el ciclo combinado hay que seguir el siguiente proceso:

1. Abrir el fichero Excel "Pasos Ciclo Combinado" que se encuentra en el escritorio

- Rellenar el fichero con los pasos deseados. No hay límite de pasos a introducir. Rellenar también la cabecera del fichero en los casos en las que sea necesario modificarlas y comprobar que el tiempo total coincide con la suma de todos los pasos.

NOTA: Usar "." en vez de "," como separador decimal					
Total pasos	Tiempo total	Tiempo refresco (s)	Tipo Batería	Baterías Paral	Baterías serie
10	120	1	VERDE	1	1
Nº PASOS	TIPO	TIEMPO (min)	C Carga	Modo Descarga	Valor
1	DESCARGA	30		I cte (A)	2
2	CARGA	25	1		
3	DESCARGA	15		V cte (V)	12
4	DESCARGA	25		I cte (A)	1
5	CARGA	1	0.5		
6	DESCARGA	2		R cte (ohm)	130
7	CARGA	3	1		
8	CARGA	4	0.2		
9	DESCARGA	5		P cte (W)	15
10	CARGA	10	1		
11					
12	CARGA				
13	DESCARGA				
14					
15					
16					

Generar .CSV

- Presionar sobre el botón exportar .csv y cerrar.
- Lanzar el programa de LabVIEW "COMBINADO" que se encuentra en el escritorio
- Seleccionar la ruta del fichero .csv generado (se encuentra en la misma ruta que el fichero excel anterior), seleccionar si deseamos o no registrar la sesión y las temperaturas a controlar. Si deseamos que nos avise del cambio entre paso y paso, activar el botón de "aviso fin periodo".
- Lanzar el programa



El programa alternará entre los programas de CARGA y DESCARGA de manera automática, ejecutándolos durante el tiempo establecido.

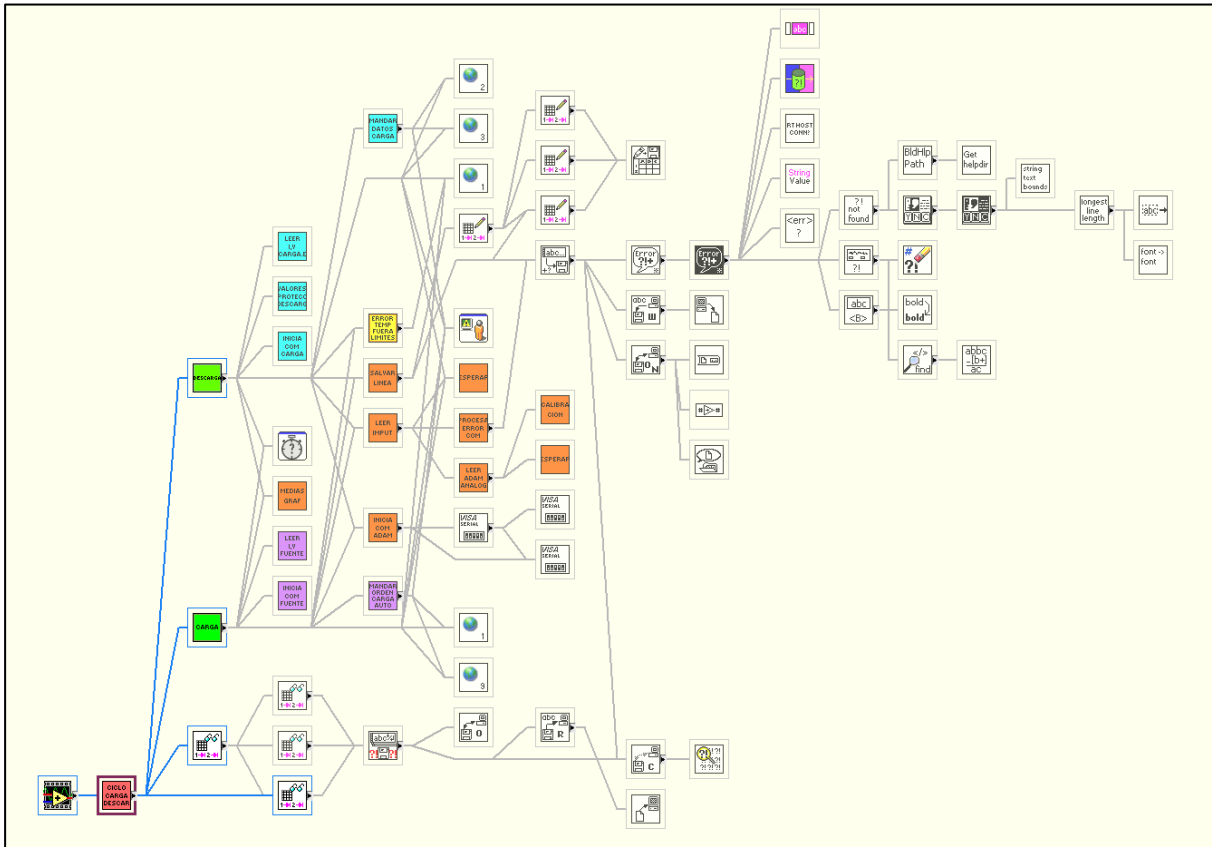
NOTA: En caso de desear finalizar el ciclo antes de su conclusión, es necesario realizar los siguientes pasos.

- En la interfaz del programa "Combinado" pulsar sobre el botón "Abortar resto de ciclos"
- Ir al programa que esté en ejecución, Carga o Descarga, y pulsar sobre el botón STOP.
- En caso de que no se realice el punto 2, el programa esperará a que finalice el paso que se esté ejecutando y terminará. Si no se activa el botón "Abortar resto de ciclos" pero se pulsa el botón de "STOP" del programa que se esté ejecutando, se finaliza ese paso, saltando automáticamente al siguiente.

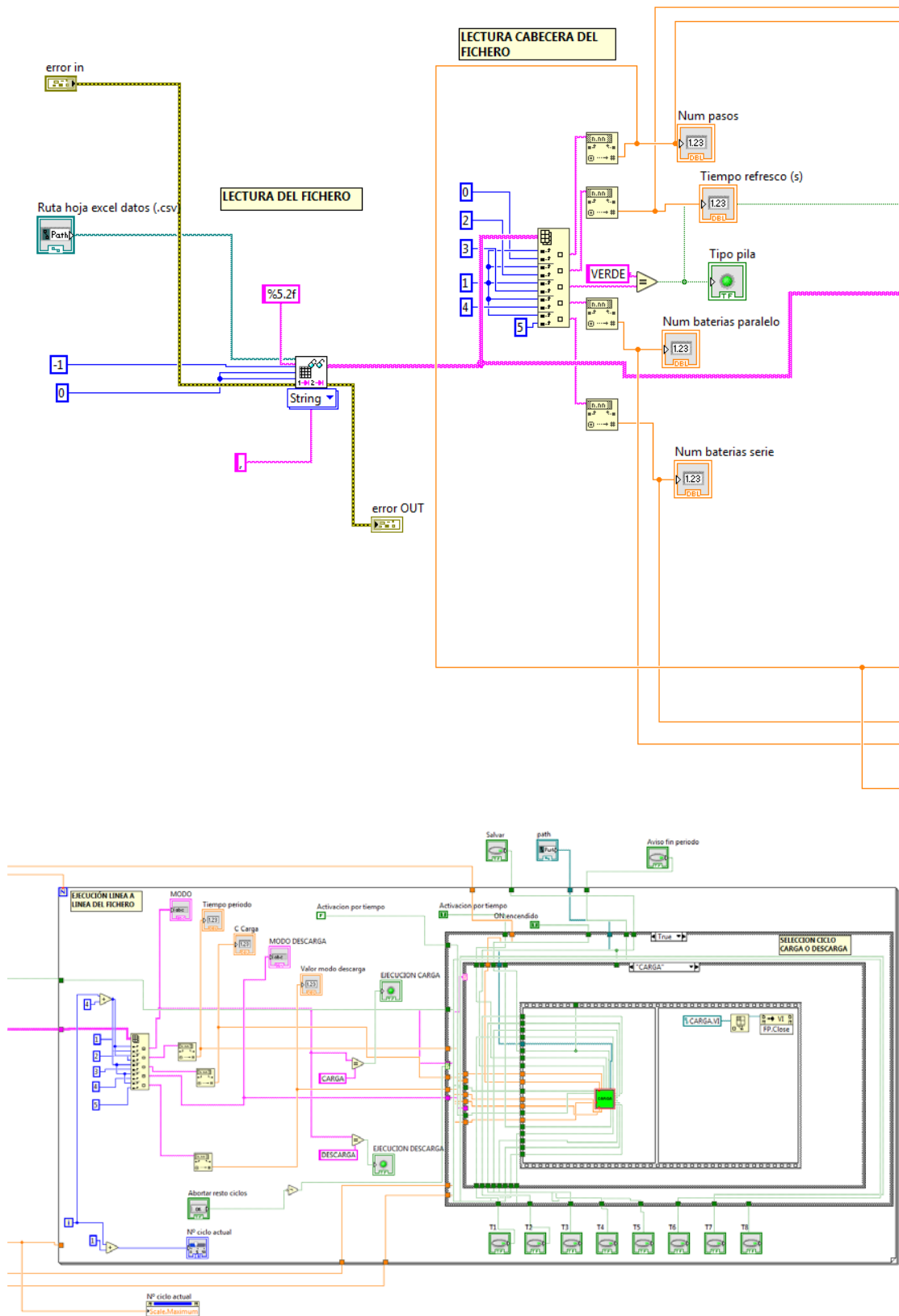
ANEXO II. CÓDIGO COMPLETO DEL PROGRAMA

En este anexo se expone el código completo, en formato de capturas de pantalla, incluyendo todos los subprogramas asociados. Para mayor información, el programa completo se ha adjuntado como archivo en el formato digital.

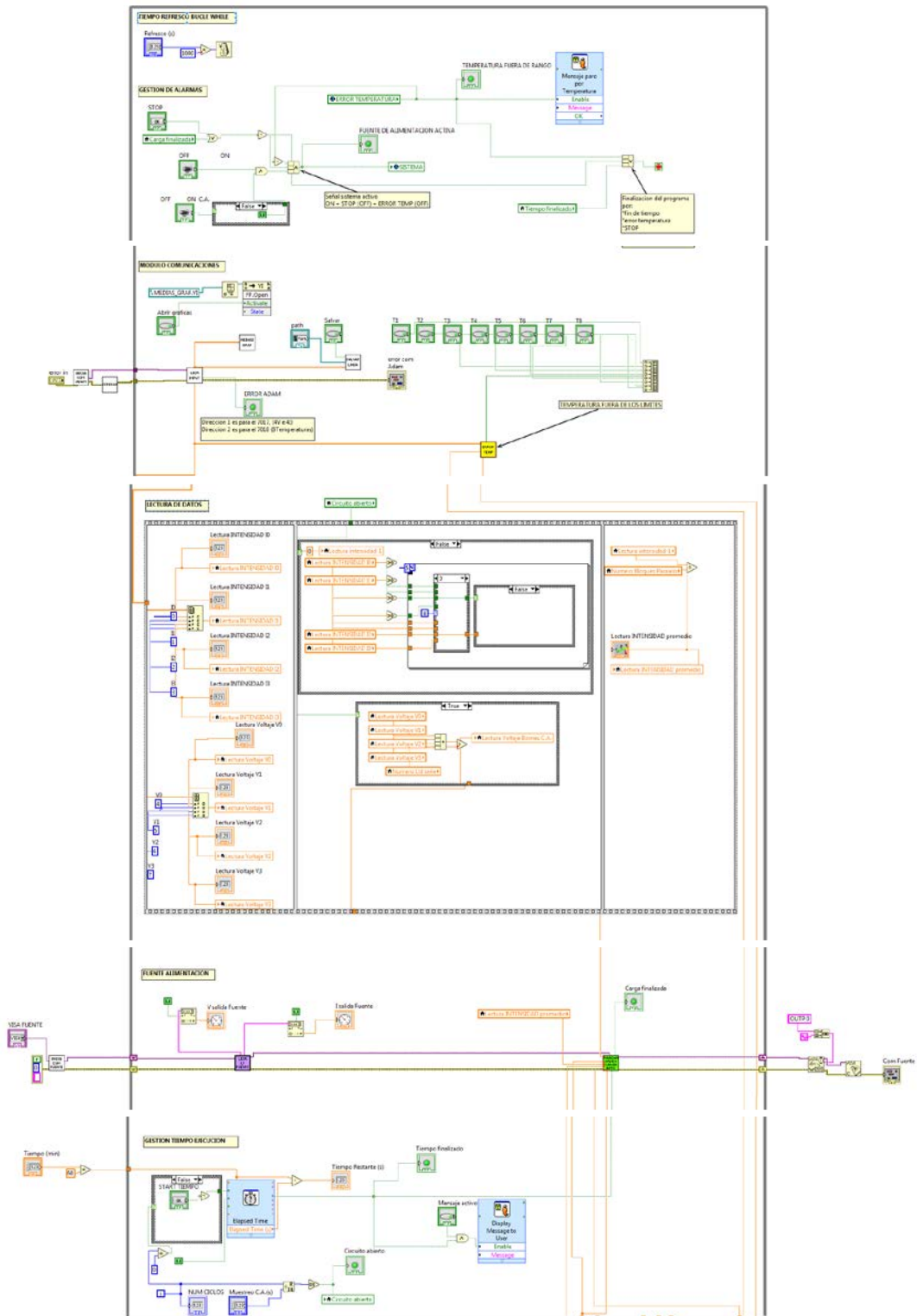
1. JERARQUÍA COMPLETA DEL PROGRAMA

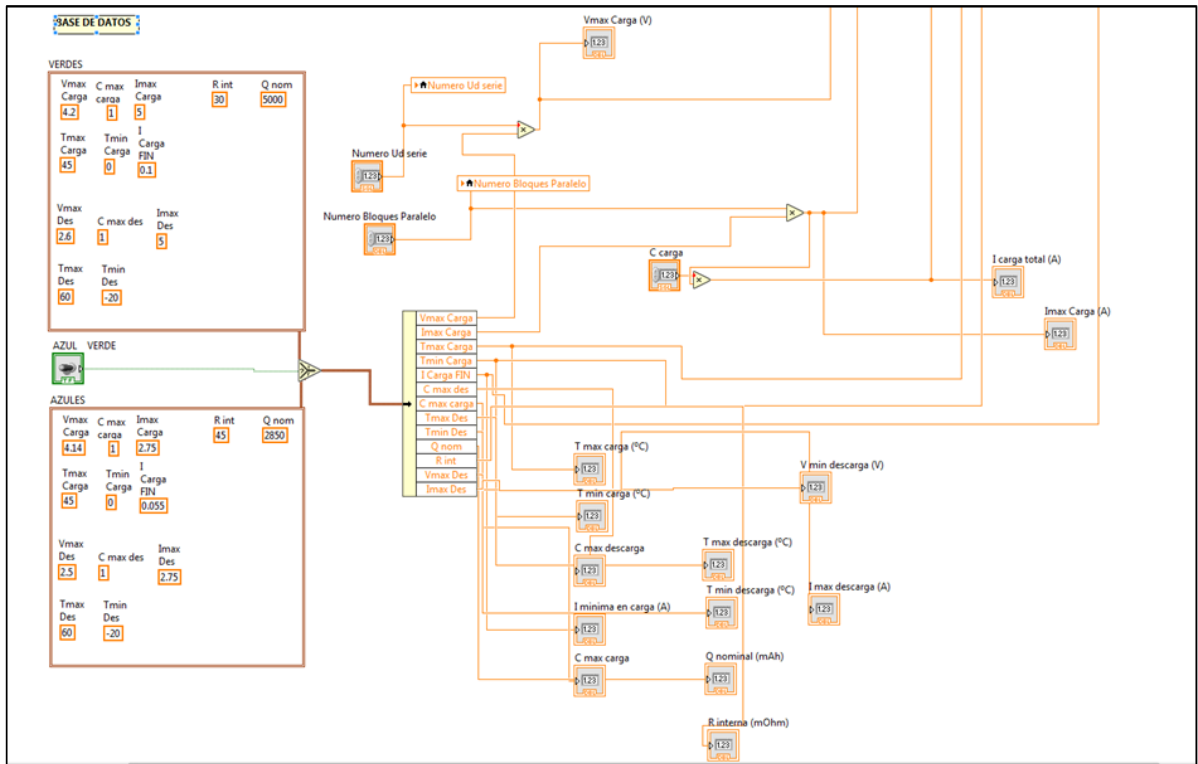


2. PROGRAMA CICLO COMBINADO

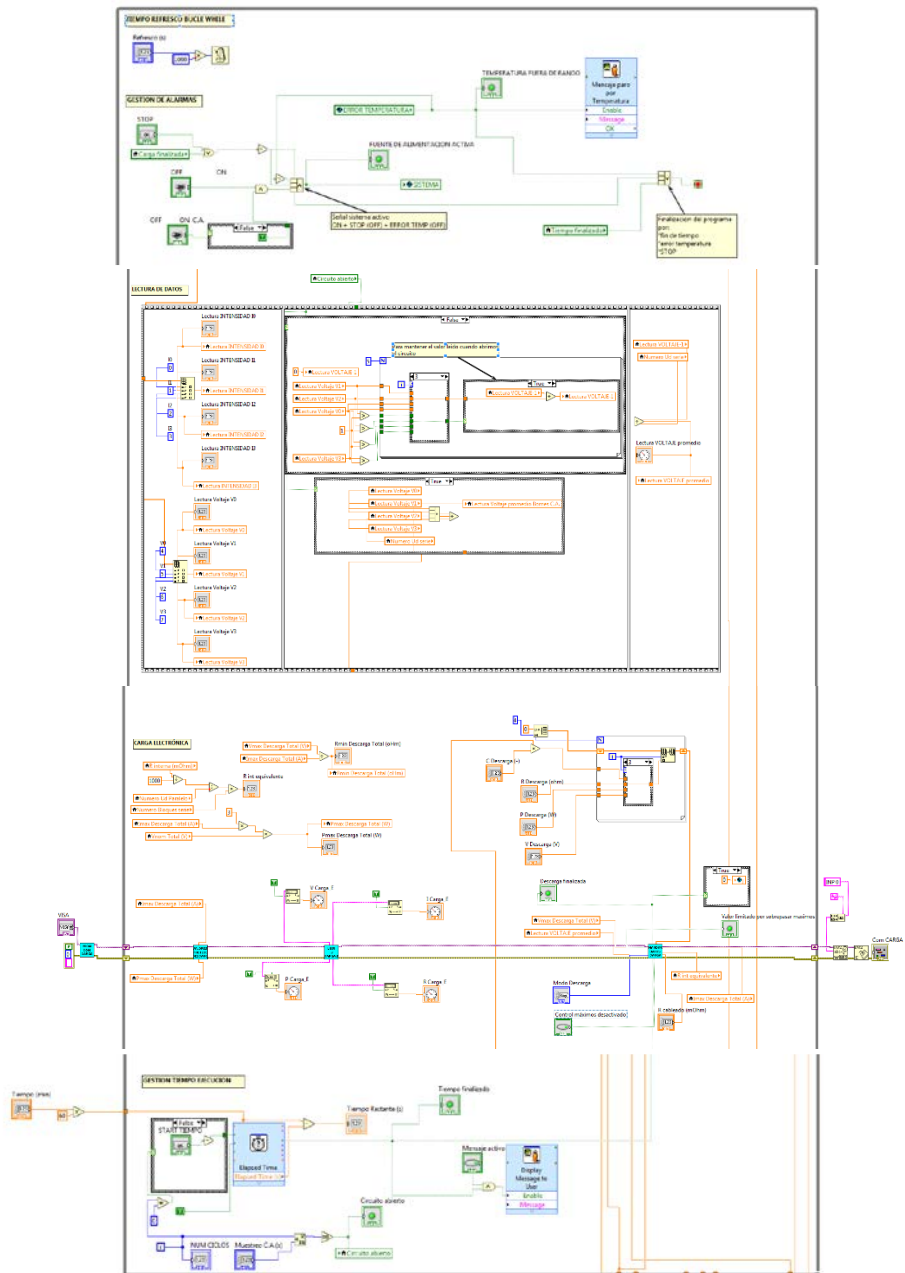


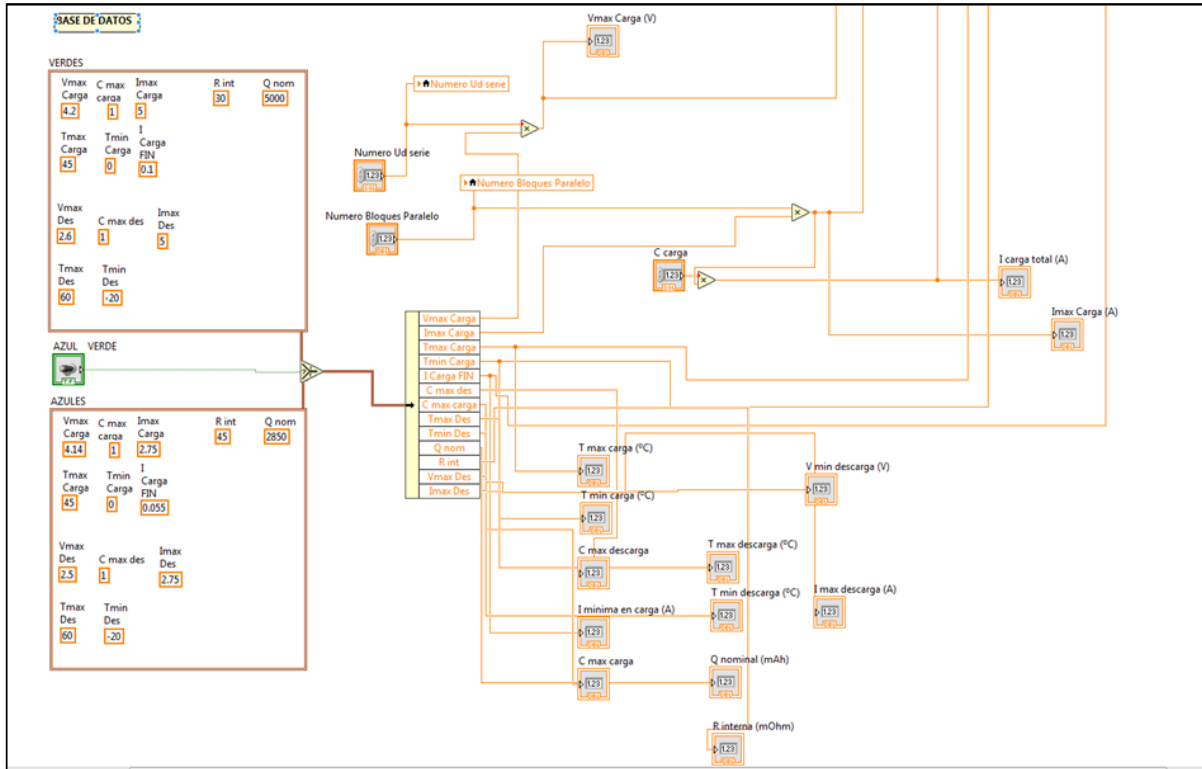
3. PROGRAMA CARGA



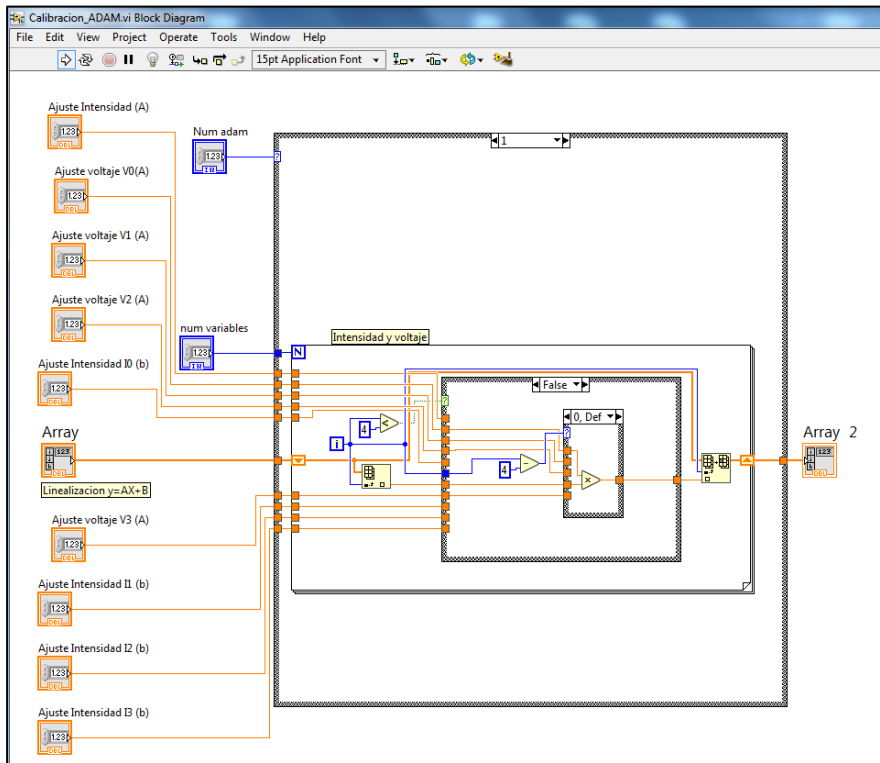


4. PROGRAMA DESCARGA

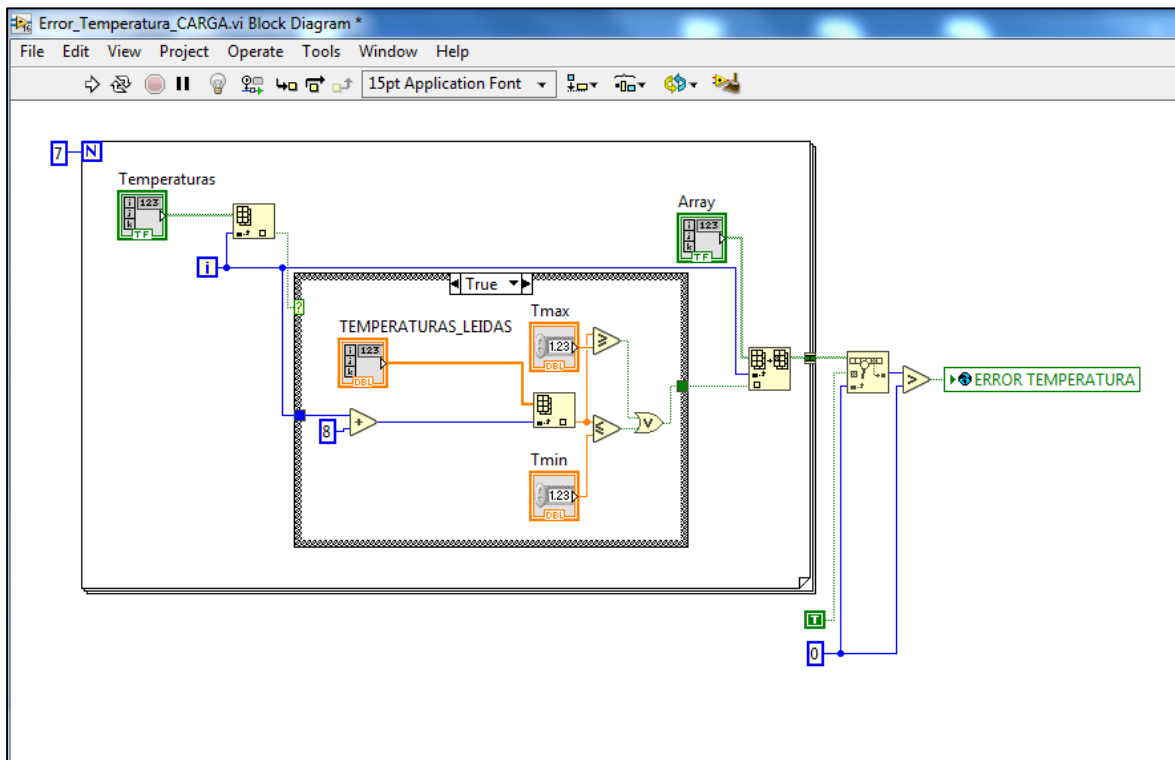




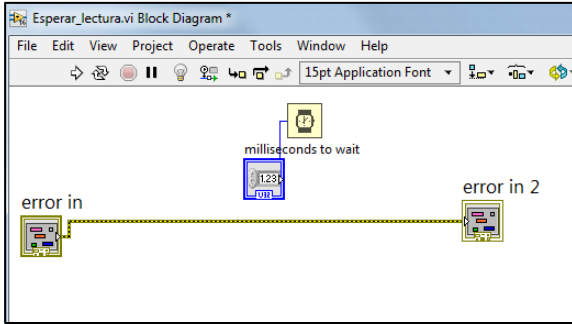
5. SUBPROGRAMAS CALIBRACION ADAM



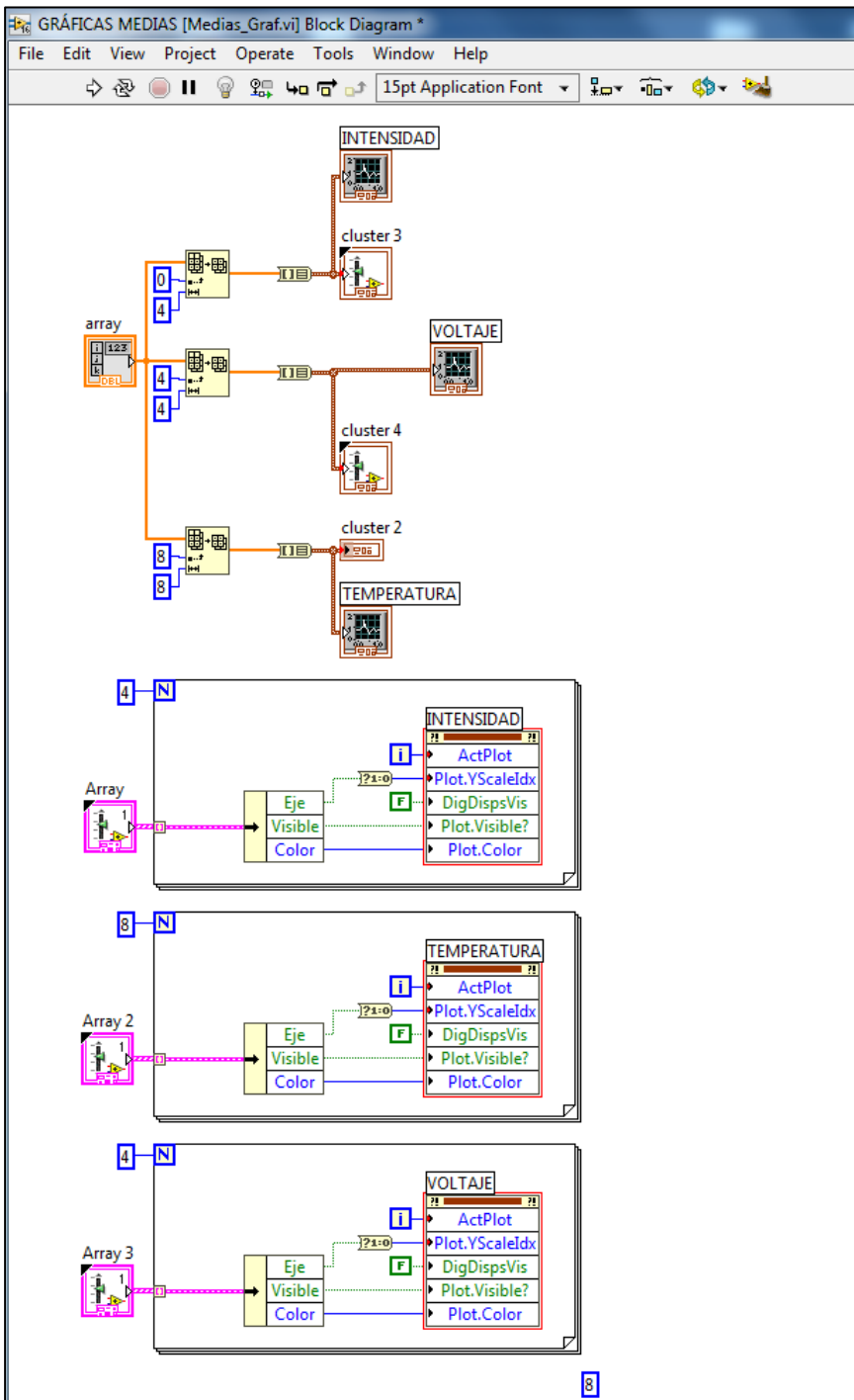
ERROR TEMP CARGA



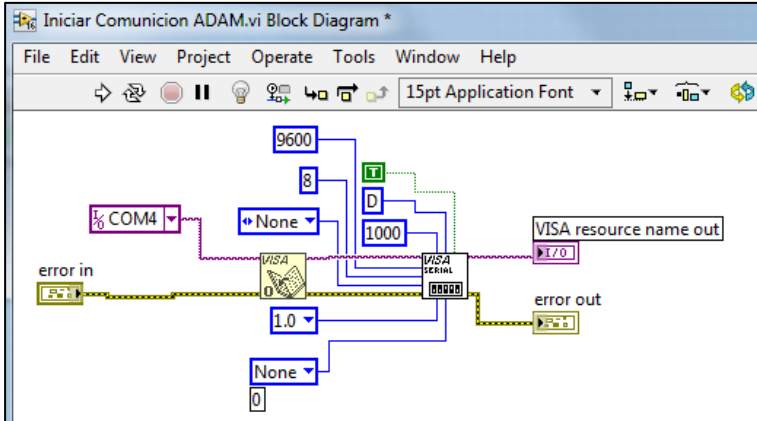
ESPERAR



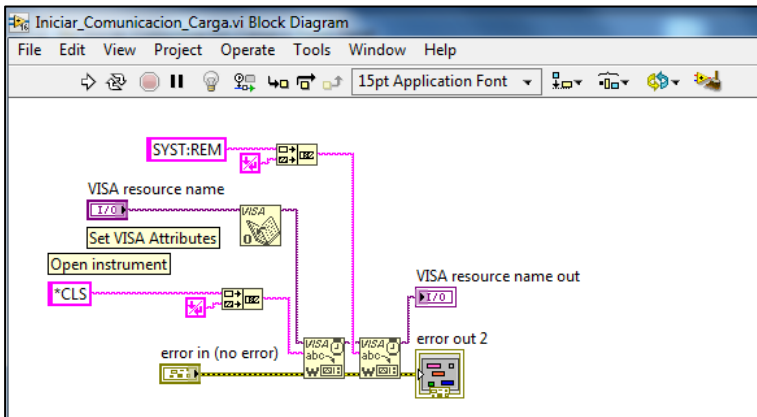
GRAFICAS



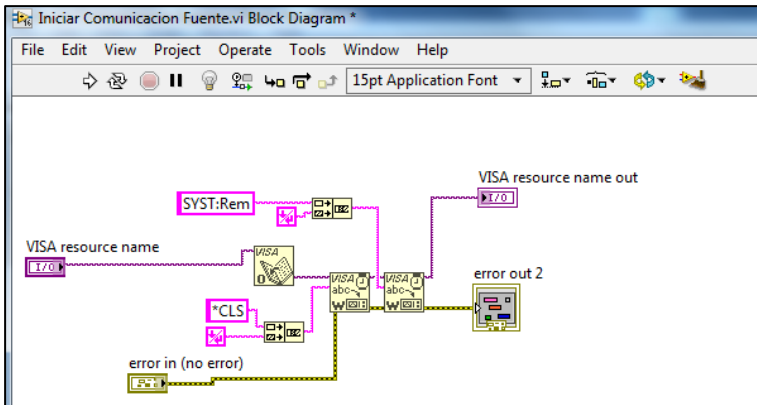
INICIA COMUNICACIÓN ADAM



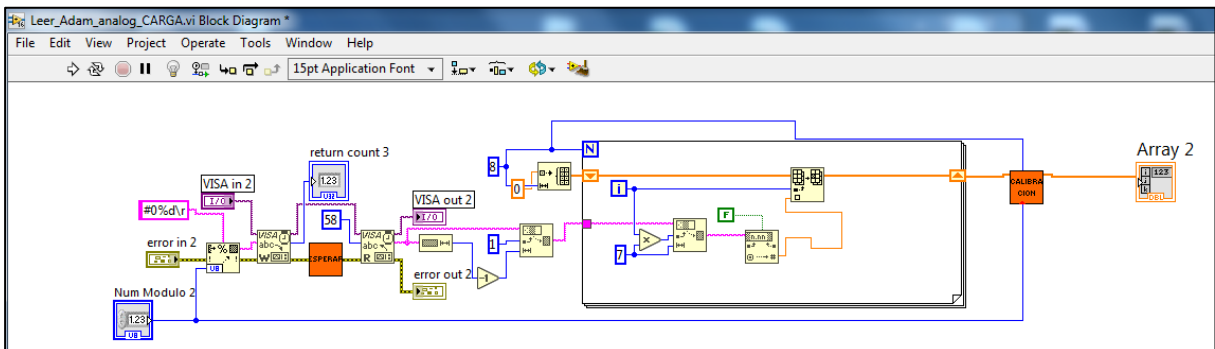
INICIA COMUNICACIÓN CARGA



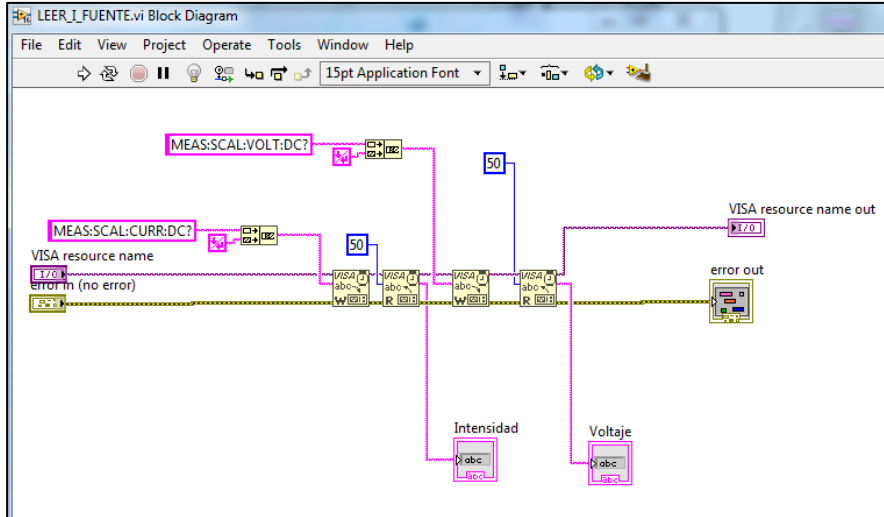
INICIA COMUNICACIÓN FUENTE



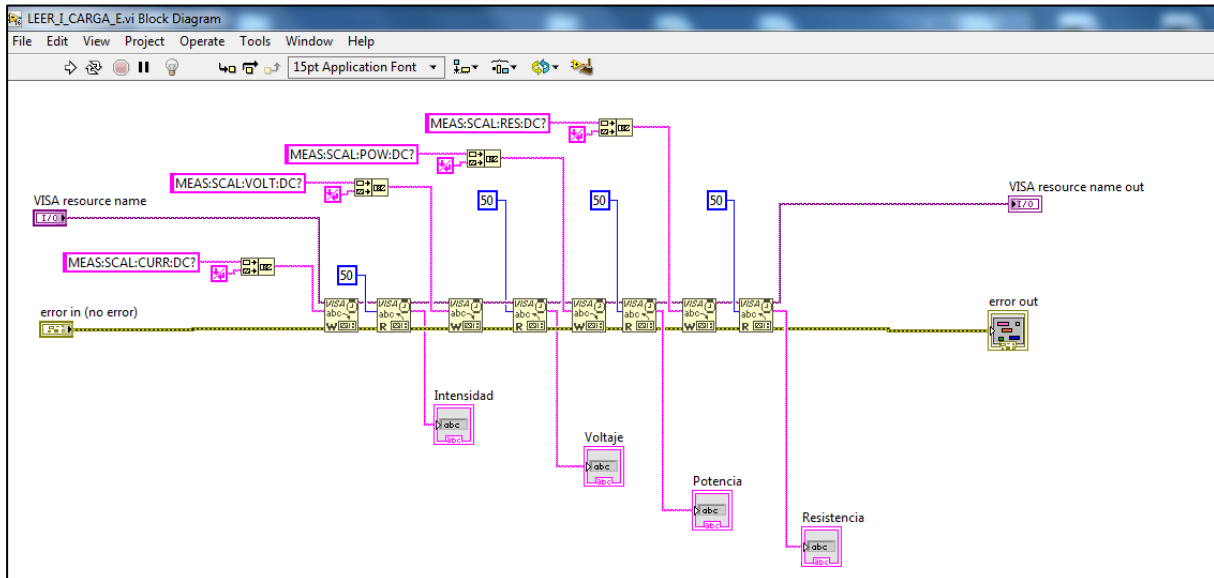
LEER ADAM ANALOG



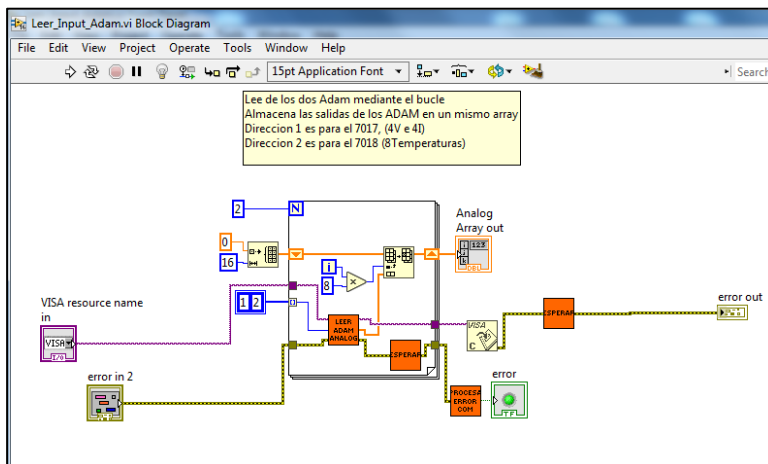
LEER I V FUENTE



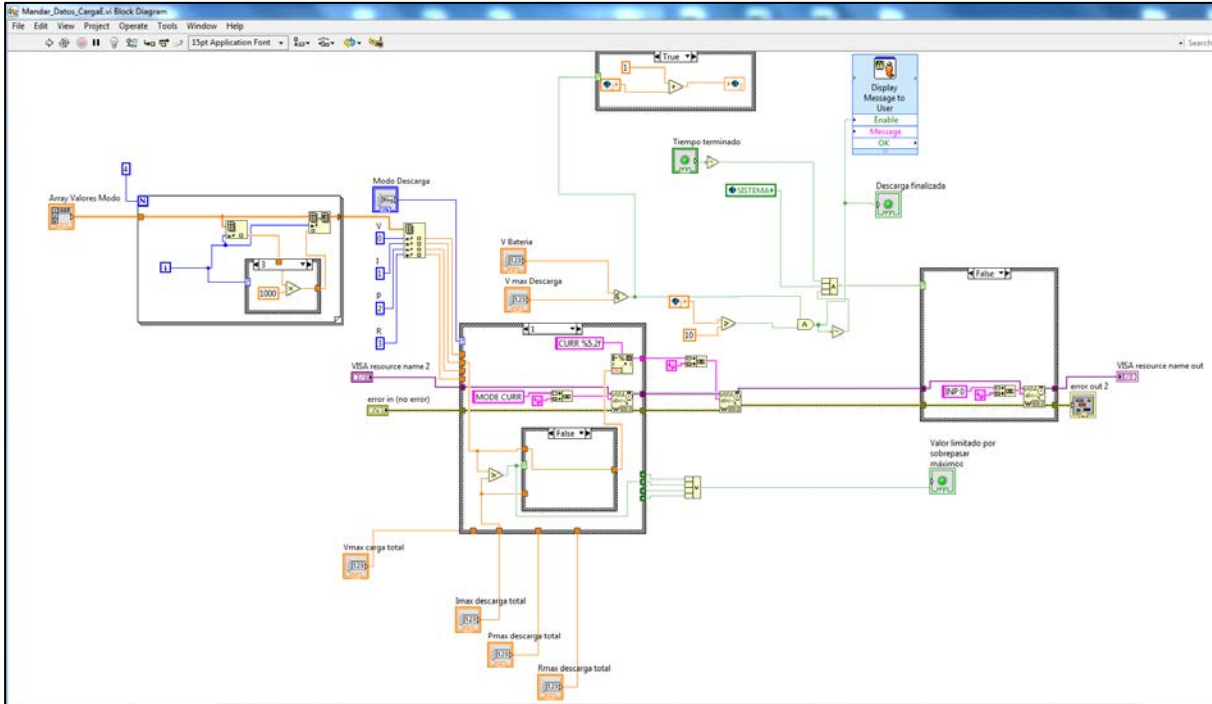
LEER I V CARGA ELECTRONICA



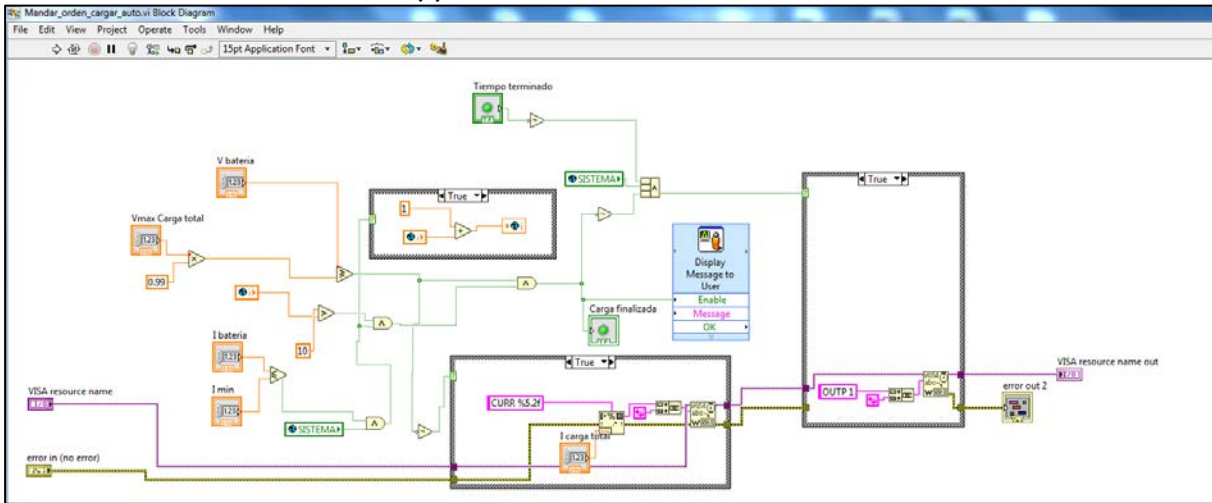
LEER INPUT ADAM



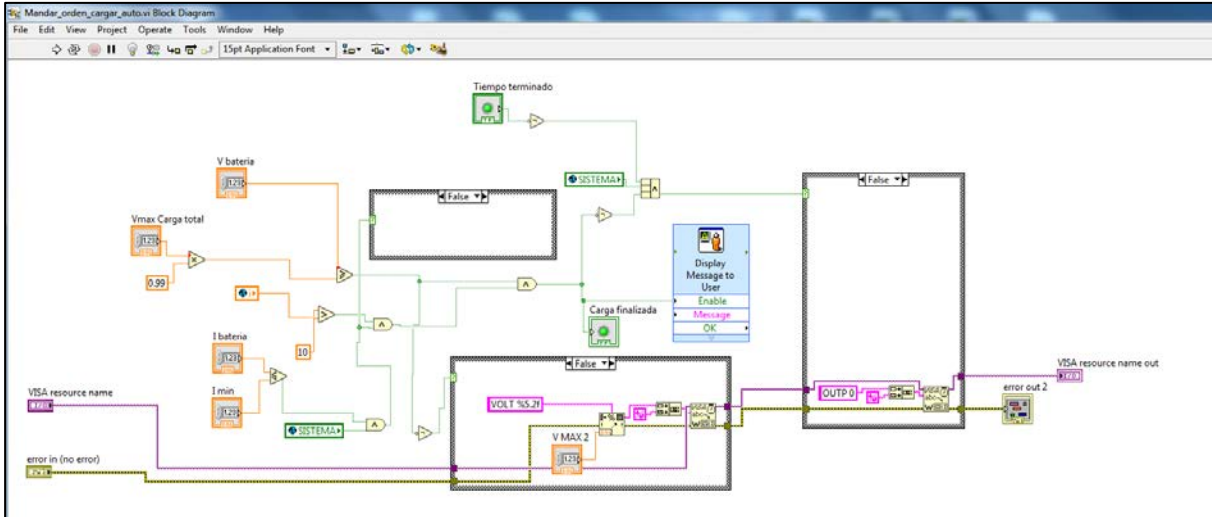
MANDAR DATOS CARGA E.



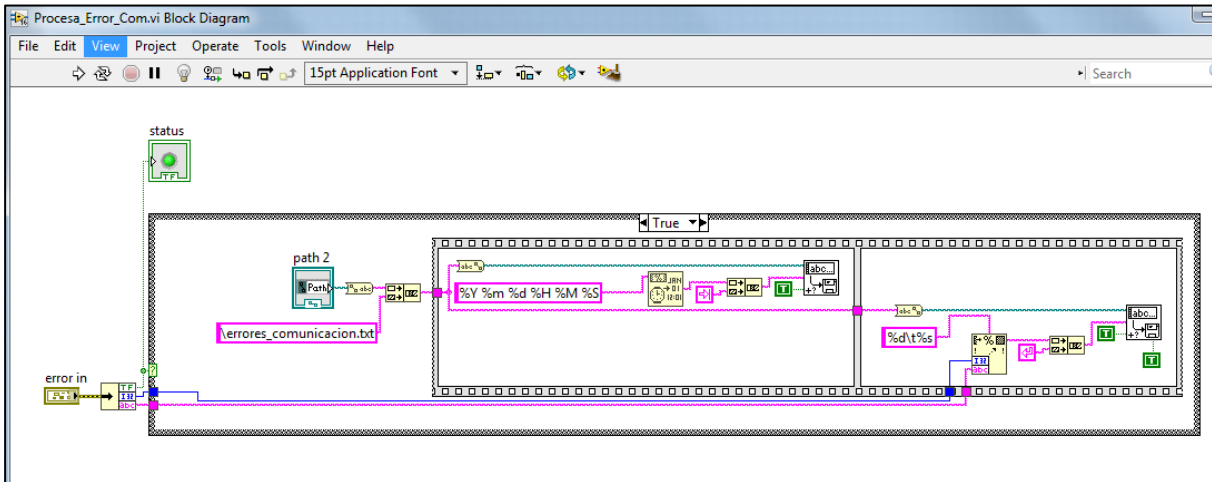
MANDAR ORDEN CARGA AUTO (1)



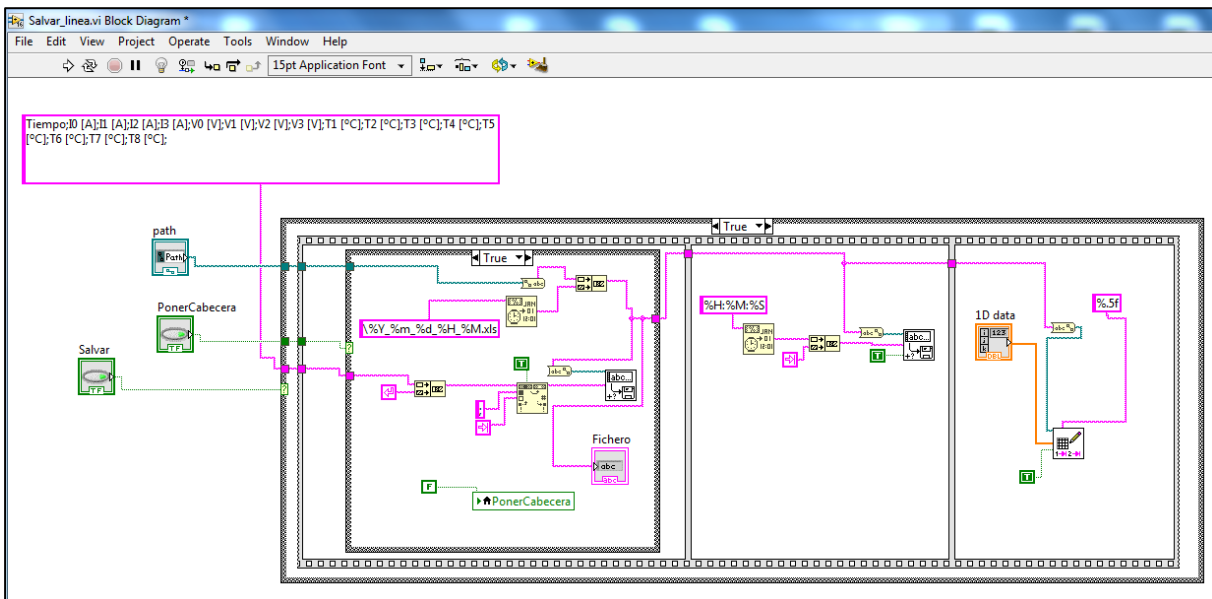
MANDAR ODEN CARGA AUTO (2)



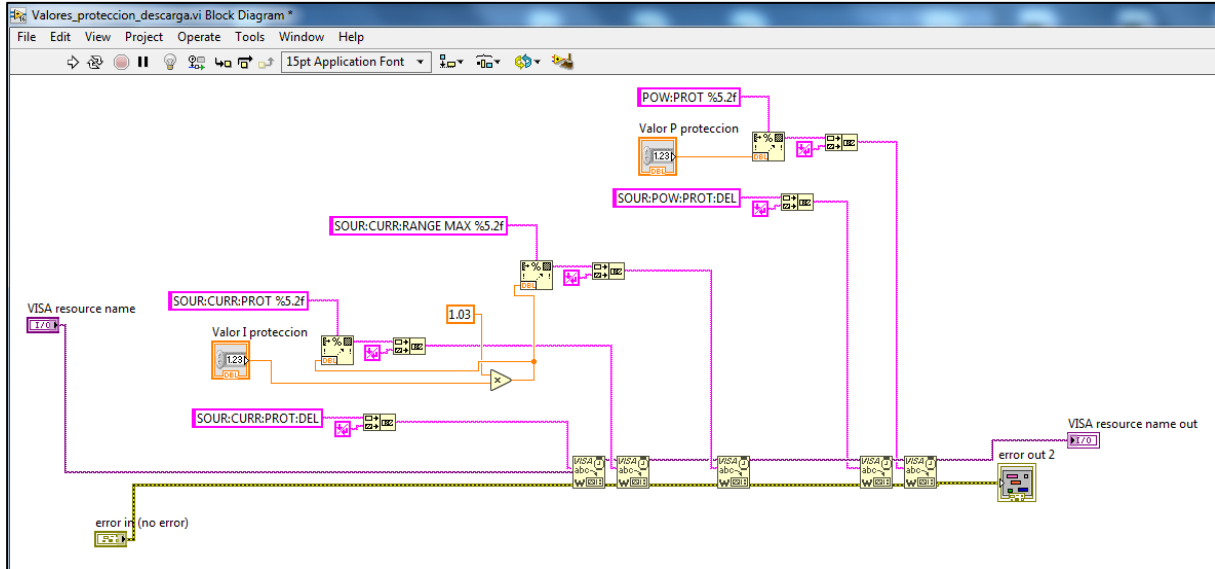
PROCESAR ERROR COMUNICACION



SALVAR LINEA



VALORES PROTECCIÓN DESCARGA



ANEXO III. DOCUMENTACION COMPLEMENTARIA

En este anexo se expone un listado de los archivos adjuntos incluidos en la versión electrónica de este TFM, considerados relevantes en la realización de este proyecto.

- Manual de la fuente.
- Manual de la carga.
- Manual programador fuente.
- Manual programación carga.
- Hojas de calibración Fuente.
- Hojas calibración cargas electrónicas.
- Hojas características módulos Adam.
- Hoja características sensores de intensidad.
- Hoja características termopares.
- Esquema placa electrónica.
- Planos de bastidor para los equipos.

En las siguientes hojas se adjunta la siguiente información, por ser considerada de mayor relevancia:

- Hojas características baterías tipo A y B

BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

21/06/2019

TIPO	18650	A	AZULES
Marca	SAMSUNG SDI		
Modelo Comercial	INR18650-29E		
Hoja de características	Samsung_INR18650-29E_2012		
Capacidad Nominal	Qnom	2850	mAh
Capacidad Mínima	Qmin	2750	mAh
Condiciones (0.2C, 2.50 V descarga)			
Tensión nominal	Vnom	3,65	V
Tensión máxima carga	Vmax	4,20	V
Tensión mínima descarga	Vmin	2,50	V
Resistencia interna	Rint	45	mΩ
Corriente nominal para 1h	C ó C1	2,750	A
Energía nominal	Enom	10,40	Wh
Proceso de Carga			
Corriente nominal carga	Icnom	0,50	C
		1,375	A
Tiempo nominal carga	tcnom	3,00	h
Corriente máxima carga	Icmax	1,00	C
		2,750	A
Tiempo máximo carga	tcmx	2,50	h
Tensión máxima carga	Vcmax	4,20	V
Corriente final carga	Icfin	0,020	C
		0,055	A
Proceso de Descarga			
Corriente máxima descarga continua	Idmax	1,00	C
		2,750	A
Tensión mínima descarga	Vdmin	2,50	V
Corriente límite descarga discontinua	Idlim	3,00	C
		8,250	A
Temperaturas min-max			
Almacenamiento	Tmin	-20	°C
	Tmax	25	°C
Carga	Tmin	0	°C
	Tmax	45	°C
Descarga	Tmin	-20	°C
	Tmax	60	°C
Dimensiones y peso			
Diámetro	Dmax	18,40	mm
Longitud	Lmax	65,00	mm
Volumen	Vol	17.284	mm ³
Peso		48	g
Densidad aparente	p	2,78	kg/L
Coste (IVA excl.)	Coste	5,33	€
	Coste/E	512,4	€/kWh
Energía específica	E/m	216,7	Wh/kg
	E/Vol	601,9	Wh/L
Potencia máx. @ 3C	P	30,1	W
Potencia específica @ 3C	P/m	627,3	W/kg
Nº Ciclos descarga	80%DOD		>
	70%DOD		

NO INVERTIR LA POLARIDAD (+, -)
NO CORTOCIRCUITAR
NO SOBRECARGAR POR ENCIMA DE V_{max}
NO DESCARGAR POR DEBAJO DE V_{min}
NO DEJAR LAS BATERÍAS EN EL PORTAPILAS, PARA EVITAR QUE SE SOBRECARGUEN
NO PERFORAR
NO CALENTAR
EN CASO DE INCENDIO, ARROJAR AGUA ABUNDANTEMENTE
LAS FUGAS DE LÍQUIDO SON CORROSIVAS, NO MANEJAR SIN PROTECCIÓN
NO ALMACENAR POR ENCIMA DE: 25°C MÁS DE UN AÑO 45°C MÁS DE TRES MESES 60°C MÁS DE UN MES
PARA ALMACENAMIENTO PROLONGADO, MANTENER A 50% SOC

BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

TIPO	26650	B	VERDE
Marca	PANASONIC		
Modelo Comercial	NCR26650A		
Hoja de características	Panasonic_26650A_5000mAh_Recharge		
Capacidad Nominal	Qnom	5000	mAh
Capacidad Mínima	Qmin	5000	mAh
Condiciones (0.2C, 2.60 V descarga)			
Tensión nominal	Vnom	3,70	V
Tensión máxima carga	Vmax	4,20	V
Tensión mínima descarga	Vmin	2,60	V
Resistencia interna	Rint	30	mΩ
Corriente nominal para 1h	C ó C1	5,00	A
Energía nominal	Enom	18,50	Wh
Proceso de Carga			
Corriente nominal carga	Icnom	0,50	C
		2,50	A
Tiempo nominal carga	tcnom	3,00	h
Corriente máxima carga	Icmax	1,00	C
		5,00	A
Tiempo máximo carga	tcmax		h
Tensión máxima carga	Vcmax	4,20	V
Corriente final carga	Icfin	0,020	C
		0,10	A
Proceso de Descarga			
Corriente máxima descarga continua	Idmax	1,00	C
		5,00	A
Tensión mínima descarga	Vdmin	2,60	V
Corriente límite descarga discontinua	Idlim	2,00	C
		10,00	A
Temperaturas min-max			
Almacenamiento	Tmin	-20	°C
	Tmax	25	°C
Carga	Tmin	0	°C
	Tmax	45	°C
Descarga	Tmin	-20	°C
	Tmax	60	°C
Dimensiones y peso			
Diámetro	Dmax	26,00	mm
Longitud	Lmax	67,00	mm
Volumen	Vol	35.572	mm ³
Peso		94	g
Densidad aparente	ρ	2,64	kg/L
Coste (IVA excl.)	Coste	5,33	€
	Coste/E	288,1	€/kWh
Energía específica	E/m	196,8	Wh/kg
	E/Vol	520,1	Wh/L
Potencia máx. @ 3C	P	55,5	W
Potencia específica @ 3C	P/m	590,4	W/kg
Nº Cidos descarga	80%DOD		>
	70%DOD		

NO INVERTIR LA POLARIDAD (+, -)
NO CORTOCIRCUITAR
NO SOBRECARGAR POR ENCIMA DE V_{max}
NO DESCARGAR POR DEBAJO DE V_{min}
NO DEJAR LAS BATERÍAS EN EL PORTAPILAS, PARA EVITAR QUE SE SOBRECARGUEN
NO PERFORAR
NO CALENTAR
EN CASO DE INCENDIO, ARROJAR AGUA ABUNDANTEMENTE
LAS FUGAS DE LÍQUIDO SON CORROSIVAS, NO MANEJAR SIN PROTECCIÓN
NO ALMACENAR POR ENCIMA DE:
25°C MÁS DE UN AÑO
45°C MÁS DE TRES MESES
60°C MÁS DE UN MES
PARA ALMACENAMIENTO PROLONGADO, MANTENER A 50% SOC

Valores para parámetros

circuito equivalente	Qbat (Ah)	Vmin (V)	Vnom (V)	Vmax (V)	R _{total} (mΩ)
NCR26650A	5,00	2,60	3,70	4,20	30,0