

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA
INGENIERIA INDUSTRIAL



PROYECTO FIN DE CARRERA
ENSAYOS DE RECUPERACIÓN EN
BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

AUTOR: LUIS PLIEGO NIETO

TUTOR: MANUEL GARCÍA PLAZA

DIRECTOR: JAIME ALONSO-MARTINEZ DE LAS MORENAS

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

PROYECTO FIN DE CARRERA

Ensayos de recuperación en baterías electroquímicas

Autor: Luis Pliego Nieto

Tutor: Manuel García Plaza

Director: Jaime Alonso-Martínez de las Morenas

Firma del tribunal

Presidente: Javier Sanz Feito

Fdo.:

Secretario: Miguel Montilla D´Jesús

Fdo.:

Vocal: Álvaro Barba Nieto

Fdo.:

CALIFICACIÓN:

AGRADECIMIENTOS

*Dedicado a mi familia por su plena confianza en mí,
su apoyo incondicional, el cariño y amor recibido.*

*Quisiera agradecer a mis compañeros de laboratorio
Bárbara y Koku, por los buenos momentos vividos
durante la realización del presente proyecto.*

*A mi tutor por confiar en mí durante todo el tiempo
que ha llevado la realización del mismo.*

ÍNDICE

RESUMEN	1
CAPITULO 1 OBJETIVOS Y PLANIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO 2 INTRODUCCIÓN	5
2.1 SISTEMAS DE ACUMULACION ENERGÉTICA	5
2.2 RAZÓN DEL ESTUDIO DE LAS BATERIAS ELECTROQUÍMICAS	6
2.3 BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS	7
CAPÍTULO 3 ESTUDIO TEÓRICO DE LAS BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS	10
3.1 DEFINICIONES	10
3.2 MODELADO DE BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS	11
3.2.1 Introducción.....	11
3.2.2 Categorías de modelado.....	12
3.2.3 Modelo Thèvenin:.....	12
3.3 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CARGA	14
3.3.1 Introducción.....	15
3.3.2 Definición del estado de carga.....	15
3.3.3 Métodos para determinar el estado de carga.....	16
3.3.4 Cuantificación Amperios-Hora:.....	18
3.4 PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO	19
3.5 PROCESO DE CARACTERIZACIÓN	21
3.6 FINAL DE CARGA	23
3.6.1 DETERMINACION DEL FINAL DE CARGA.....	23
3.6.2 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FIN CARGA.....	26
3.7 ACEPTACIÓN DE CARGA	30
3.8 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LAS BATERÍAS	31
3.9 RECUPERACIÓN DE LA BATERÍA	35
CAPÍTULO 4 SISTEMA CARGA-DESCARGA DE LA BATERÍA Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	42
4.1 INTRODUCCION	42
4.2 EQUIPO CARGADOR DE BATERÍAS	42
4.3 AUTOMATIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	50

4.4 SOFTWARE E INTERFAZ GRÁFICA _____	54
CAPÍTULO 5 ENSAYOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS ____	58
5.1 ENSAYOS REALIZADOS _____	58
5.2 ENSAYO DE RECUPERACIÓN _____	58
CAPÍTULO 6 IMPLEMENTACION DE LOS RESULTADOS _____	67
CAPÍTULO 7 OFICINA TÉCNICA _____	70
7.1 CRONOGRAMA _____	70
7.2 PRESUPUESTO _____	70
CAPÍTULO 8 CONCLUSIÓN Y SUGERENCIAS FUTUROS PROYECTOS	71
CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA _____	74
CAPÍTULO 10 ANEXOS _____	78

INDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 2.1 Componentes batería electroquímica. [8]</i>	7
<i>Fig. 3.1 Modelo Randle. Circuito equivalente</i>	13
<i>Fig. 3.2 Modelo Thévenin de 2º Orden de una batería. Circuito equivalente [21]</i>	13
<i>Fig. 3.3 Ensayo de acondicionamiento</i>	20
<i>Fig. 3.4 Capacidad descargada [21]</i>	20
<i>Fig. 3.5 Ensayo caracterización: ciclos de relajación [26]</i>	21
<i>Fig. 3.6 Ensayo de caracterización</i>	22
<i>Fig. 3.7 Tensión durante la fase de carga: Puntos de inflexión [28]</i>	25
<i>Fig. 3.8 Evolución de la tensión y temperatura, 2C [29]</i>	25
<i>Fig. 3.9 Evolución de la tensión y temperatura 4C [29]</i>	26
<i>Fig 3.10 Final de carga por temperatura [31]</i>	27
<i>Fig. 3.11 Final de carga por tensión [31]</i>	28
<i>Fig 3.12 Final de carga por detección de hidrógeno [21]</i>	29
<i>Fig. 3.13 Niveles de aceptación de carga</i>	31
<i>Fig. 3.14 Tensión en carga a diferentes temperaturas [33]</i>	32
<i>Fig. 3.15 Tensión en carga a diferentes temperaturas [33]</i>	32
<i>Fig. 3.16 Batería envejecida prematuramente: Ensayo de acondicionamiento</i>	38
<i>Fig 3.17 Carga a tensión constante, disminución de la corriente.</i>	39
<i>Fig. 3.18 Ensayo de aceptación de la carga a tensión constante</i>	39
<i>Fig. 3.19 Ensayo aceptación de la carga a tensión constante</i>	40
<i>Fig. 3.20 Ensayo de aceptación de la carga a tensión constante, corriente real en la batería</i>	40
<i>Fig. 4.1 Circuito del equipo de ensayos</i>	42
<i>Fig. 4.2 Equipo de ensayos: Resistencias</i>	44
<i>Fig. 4.3 Equipo de ensayos: Fuente de alimentación</i>	45
<i>Fig. 4.4 Equipo de ensayos: Osciloscopio</i>	45
<i>Fig 4.5 Equipo de ensayos: Sonda de tensión</i>	46
<i>Fig. 4.6 Sonda de corriente</i>	47
<i>Fig. 4.7 Equipo de ensayos: Cámara Climática</i>	48
<i>Fig. 4.8 Convertidor AC/DC y Elementos de protección.</i>	49
<i>Fig. 4.9 Equipo de ensayos</i>	50
<i>Fig. 4.10 Interfaz gráfica</i>	55
<i>Fig. 4.11 Control Remoto Fig. 4.12 Control remoto: Interfaz gráfica</i>	57
<i>Fig. 5.1 Ensayo acondicionamiento: Sobrecarga</i>	59
<i>Fig. 5.2 Acondicionamiento: Batería en condiciones óptimas</i>	59
<i>Fig. 5.3 Proceso Recuperación: Primer Acondicionamiento</i>	61
<i>Fig. 5.4 Proceso Recuperación: Primer ensayo de aceptación de carga a tensión constante</i>	62
<i>Fig. 5.5 Proceso Recuperación: Segundo Acondicionamiento</i>	63
<i>Fig. 5.6 Proceso Recuperación: Segundo ensayo de aceptación de carga a tensión constante</i>	64

Fig. 5.7 Proceso Recuperación: Tercer Acondicionamiento 65
Fig. 5.8 Proceso Recuperación: Comparativa de los tres Acondicionamientos 66

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Características técnicas Batería Ni Cd SPH 11</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2 Recuperación de materiales tras ensayo “The high temperatura metal recovery process” [37]</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3 Resultados Proceso Recuperación: Primer Acondicionamiento</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4 Resultados Proceso Recuperación: Segundo Acondicionamiento</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5 Resultados Proceso Recuperación: Tercer Acondicionamiento</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 6 Comparación resultados Proceso Recuperación</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 7 Presupuesto</i>	<i>70</i>

RESUMEN

La elaboración y desarrollo del proyecto fueron realizados en el laboratorio perteneciente al Grupo de Control de Sistemas de Potencia (GCSP) del "Parque Científico LEGANÉS tecnológico", propuesto por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Carlos III de Madrid.

Capítulo 1: Se expone un listado con los objetivos a abordar a lo largo de la realización del presente proyecto.

Capítulo 2: Se describe ampliamente toda la información que engloba el concepto de batería electroquímica. Se exponen los fundamentos y características de la batería electroquímica. Se realiza una descripción y comparación de los distintos tipos de baterías de media/alta capacidad, siendo la tecnología de la batería Ni-Cd la escogida para este proyecto. También, se presentan toda la metodología para realizar los procesos de carga y descarga, describiendo los distintos tipos y efectos de estos procesos.

Capítulo 3: A lo largo de este capítulo se han explicado, a través de numerosas referencias, las características principales de una batería electroquímica, los dos ensayos principales a los que se puede someter una batería electroquímica para proceder a su estudio, los conceptos más relevantes para poder entender cuál es el funcionamiento de una batería electroquímica. Se ha implementado un método de carga, recomendado por la norma. Explicación del proceso de Recuperación al que hemos sometido a nuestras baterías para proceder con la mejora de sus propiedades. Presentación del ensayo utilizado para conseguir la recuperación, el método de aceptación de carga a tensión constante.

Capítulo 4: Presentación del Set Up, así como de las mejoras que se han realizado. Desarrollo de nuevos códigos ejecutables para proceder a la realización de nuestros ensayos. Implementación de una interfaz gráfica con la cual somos capaces de conocer en todo momento en que situación se encuentra nuestro ensayo, conociendo la tensión y corriente real por la batería, así como el tiempo de ejecución en que se encuentra el ensayo. Implantación de un software para proceder al control de los ensayos desde cualquier lugar a través de control remoto.

Capítulo 5: Se presenta los ensayos realizados a través del proceso de recuperación con el cuál hemos procedido en la investigación en este proyecto. Se comentan cómo han ido estos ensayos, dejando constancia de cómo hemos ido mejorando las propiedades de capacidad y aceptación de carga, a una celda que se encuentra en condiciones de envejecimiento prematuro.

Capítulo 6: Implementación de los resultados obtenidos. En éste nos damos cuenta como hemos sido capaces de mejorar la capacidad de carga de nuestra celda, aplicando el método de aceptación de carga a tensión constante. Hemos sido capaces de obtener una aceptación de carga de 7,53 Amperios hora, partiendo de 4,18 Amperios hora que presentaba nuestra celda en el primer ensayo de acondicionamiento al que se le ha sometido.

Capítulo 7: Presentación del plan de trabajo realizado a lo largo de la ejecución del proyecto. Se presenta el presupuesto que se ha utilizado en la elaboración..

Capítulo 8: Se enumeran las conclusiones a las que se ha llegado una vez finalizado el presente proyecto.

Capítulo 9: Se expone una lista de la bibliografía referenciada.

Capítulo 10: Anexos. Se adjuntan todos los resultados experimentales y el código empleado en la automatización de los ensayos.

CAPITULO 1 OBJETIVOS Y PLANIFICACIÓN

El presente proyecto se ha llevado a cabo en el laboratorio del Grupo de Control de Sistemas de Potencia del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Carlos III de Madrid

El software utilizado para el desarrollo del trabajo ha sido: Matlab 7.6.0 para la simulación del modelo, automatización de los ensayos y obtención de los resultados experimentales; Microsoft Word para la escritura y redacción del proyecto; Google Chrome para la búsqueda de información; Team Viewer para el control remoto y sistema de vigilancia.

OBJETIVOS

Este proyecto se enfrenta al análisis y estudio de las baterías electroquímicas de Ni-Cd. Como objetivo fundamental del proyecto será la investigación sobre la recuperación de baterías que han perdido sus propiedades óptimas iniciales. El modelo de batería escogido es SPH11, fabricante Saft. Complementario al objetivo principal, ha sido la mejora del Set up del banco de ensayos disponible, optimización de los archivos ejecutables para la realización de los ensayos y desarrollo de nuevos, y explicación, de las principales características para facilitar la comprensión del uso de baterías electroquímicas.

A continuación, se enuncian los objetivos principales del presente proyecto:

- Recopilación de información de las baterías utilizadas, mediante manuales técnicos y normas UNE.
- Documentación mediante referencias fielmente contrastadas, como actas de conferencia o artículos de revista.
- Exposición y explicación, de las principales características de una batería.
- Presentación de los ensayos más representativos aplicables a una batería electroquímica.
- Implementación de distintos métodos de final de carga.
- Realización del código ejecutable para la obtención del fin de carga mediante variación en la primera derivada de la tensión.
- Mejora del Set Up.
- Optimización de los archivos ejecutables anteriores para realizar los distintos ensayos.
- Desarrollo de nuevos archivos, para la realización de nuevos ensayos.
- Implementación de una interfaz gráfica, para permitir el conocimiento de la situación de nuestro ensayo en tiempo real.
- Instalación del control remoto del set-up mediante el software Team Viewer 9.

- Desarrollo de un método de recuperación de baterías, en condiciones muy diferentes a las óptimas.
- Presentación de los ensayos realizados dentro del proceso de recuperación.
- Explicación de los fenómenos encontrados en estos ensayos.
- Análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2 INTRODUCCIÓN

A lo largo de este capítulo se realizará una breve introducción acerca de los distintos sistemas de acumulación energética, centrándonos en las baterías electroquímicas.

2.1. SISTEMAS DE ACUMULACION ENERGÉTICA

Los sistemas de acumulación de energía son de vital importancia en la actualidad, debido al aumento de uso de elementos tecnológicos portátiles entre otros, por eso son estudiados continuamente. El almacenamiento de energía comprende los métodos que se realizan para almacenar una determinada cantidad de energía, para a continuación usarla cuando se requiera en la misma forma en que se almacenó o en otra diferente. [1]

Son muchos los beneficios del almacenamiento de energía a gran escala: soporte a las energías renovables; fiabilidad y calidad de suministro; gestión de energía; reducción del empleo de combustibles fósiles.

A continuación se presentarán algunos de los sistemas de acumulación de energía más conocidos.

- Volante de inercia: Es un sistema de almacenamiento energético. El volante de inercia es principalmente una masa que gira produciéndose el almacenamiento de energía cinética. La inercia mecánica es la base de este método de almacenaje. Esta masa es acelerada por un motor eléctrico, capaz de frenar o acelerar y por tanto, almacenar esta energía eléctrica en energía cinética. (“Flywheel”). [2]
- Superconductores: Almacena energía en forma de campo magnético, en inglés se conoce por sus siglas SMES, Superconducting Magnetic Energy Storage. La energía es almacenada en el campo magnético creado por un flujo de corriente en una bobina superconductora. [3]
- Supercondensadores: Electric Double-Layers Capacitors (EDLC), está basado en la idea de dos electrodos capacitores en paralelo con un dieléctrico entre medias. Comparado con las celdas capacitoras tradicionales, la densidad de energía de los supercondensadores es mayor. Sus aplicaciones más comunes pueden encontrarse en aquellos trabajos en los que se requiera de una rápida demanda de energía almacenada. [4]
- Compresión de aire: Compressed Air Energy Storage, CAES. Tecnología o aplicación técnica que hace uso de aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor. Tiene la ventaja de una larga vida útil, al tratarse de aire, su toxicidad es baja. [5]
- Sales Fundidas: El objetivo que se busca con este sistema de almacenamiento de energía es el intercambio de calor a través de ellas. Ya que tiene un gran poder calórico. La gran ventaja de este tipo de central es que el calor se mantiene en

las sales fundidas, de una manera eficiente, alargando el uso de la energía almacenada, por ejemplo en los ciclos de evaporación del agua en una central solar térmica.

2.2 RAZÓN DEL ESTUDIO DE LAS BATERIAS ELECTROQUÍMICAS

En el presente proyecto se llevará a cabo el estudio del comportamiento de baterías de Ni-Cd. Fue propuesto como mejora de un trabajo fin de grado previo, que se ha desarrollado centrándose como objetivo principal en la mejora del set-up, en la parte de programación y control de los ensayos además de nuevos conceptos, como es la recuperación de baterías.

A continuación se citarán algunas de las aplicaciones que tienen a las baterías electroquímicas como medio de almacenamiento de energía, y por tanto la importancia del estudio y desarrollo de esta tecnología.

- **Microredes:** Es una red de distribución energética a pequeña escala, con los mismos elementos de un sistema convencional, donde además existe la posibilidad de trabajar de forma aislada. Los sistemas de almacenamiento de energía tienen una gran importancia en las microredes, ya que así en caso de fallo en los generadores, se puede requerir de la energía almacenada. Está relacionada con el uso de fuentes de energía renovable en su mayor parte, como la energía eólica, aunque también se usa con sistemas no renovables, como en ciclos diesel. Presentan grandes ventajas como una mejor calidad de potencia y desde el punto de vista medioambiental es óptima. [6]

Smartgrid: Son un paso por delante para un mejor control de las redes. Es un sistema innovador que integra el transporte y distribución de la energía. Consiste en tecnología sofisticada de detección y monitorización, información y comunicaciones que repercute en el mejor rendimiento de la red y para apoyar una amplia gama de servicios adicionales a los consumidores. No está del todo implantada pero es una gran vía de estudio en el presente y futuro cercano.

- **UPS:** Uninterruptible power supplies (UPS), Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI). Están compuestos por baterías además de otros sistemas de acumulación de energía. Son ampliamente usados para suministrar potencia en momentos críticos como ausencia de potencia o requerimiento de un pico de potencia. La energía que es capaz de suministrar es de una alta calidad y fiable. Son generalmente usados para situaciones en las que un corte de suministro pueda ser muy peligroso como en hospitales. [7]
- **Vehículo Eléctrico:** Este es uno de los principales puntos de estudio y aporte de los sistemas de almacenamiento de energía. El Vehículo eléctrico se presenta para sustituir al tradicional de combustión. Este necesita de un sistema de almacenamiento energético que sea capaz de dotar al vehículo de una autonomía suficiente para el usuario. Por ello el desarrollo de los sistemas de almacenamiento es clave para la implantación del vehículo eléctrico y así poder

conseguir autonomía para manejar un vehículo sin necesidad de combustibles fósiles.

2.3 BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

Una batería electroquímica se puede componer de una o varias celdas, es la unidad básica de la batería y el lugar donde tienen lugar las reacciones químicas. Estas celdas se pueden disponer en serie o en paralelo según la tensión, corriente y capacidad deseadas. Son cuatro los elementos de una celda:

- Electrodo: Son dos, el ánodo y el cátodo. Ánodo es el electrodo negativo, por tanto es el elemento que se oxida aportando electrones. Generalmente formado por un metal base. Cátodo es el electrodo positivo, es el elemento que se reduce aceptando electrones del circuito exterior. Formado por un óxido metálico. Los electrodos se componen de la rejilla (soporte del material activo y el conductor eléctrico) y el material activo (elemento donde se desarrollan las reacciones químicas).
- Electrolito: Es un conductor iónico encargado de la transferencia de electrones en el interior de la celda por medio del desplazamiento de iones entre ánodo y cátodo. Generalmente se trata de una solución acuosa de un ácido donde su concentración determinará, en parte, el comportamiento óptimo de una batería.
- Separador: Es el que proporciona el aislamiento eléctrico entre el cátodo y el ánodo, permitiendo la libre circulación de iones por el electrolito.
- Contenedor: Es el recipiente donde se soporta a todos los elementos de una capacidad deseada

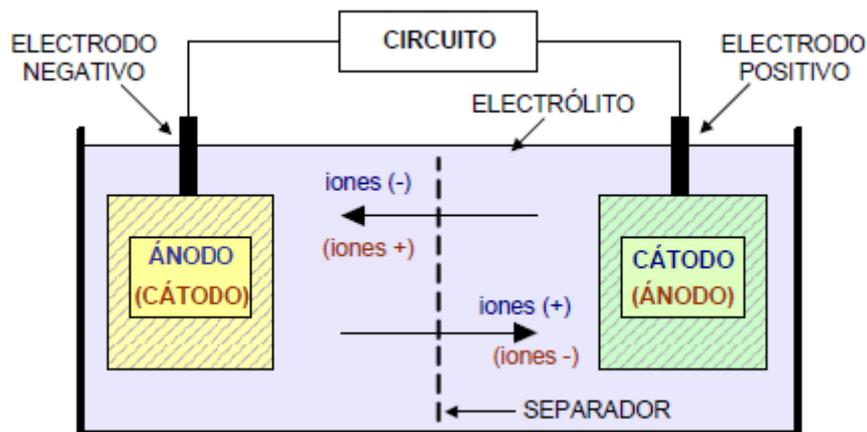


Fig. 2.1– Componentes batería electroquímica. [8]

Existen diferentes tipos de baterías en la actualidad. Se diferencian por su composición, utilizan diferentes electrodos y electrolitos para las reacciones químicas. En función de estos materiales presentan diferentes ventajas o desventajas. Las más comercializadas e importantes son las que a continuación se describen: [9]

- Plomo-ácido: Consiste en una placa de plomo como electrodo negativo y un electrodo positivo de dióxido de plomo, sumergido en un electrolito de ácido sulfúrico diluido. La transformación que se lleva a cabo en los electrodos no puede ser repetida de manera ilimitada.
- Níquel-Cadmio: Esta clase de batería funciona a partir de un ánodo de cadmio y un cátodo compuesto por hidróxido de níquel. Por su parte, el electrolito se conforma de hidróxido de potasio. Pueden ser recargadas una vez gastadas, aunque disponen de baja densidad energética en comparación con otras tecnologías. Desde el punto de vista funcional, las baterías de níquel-cadmio superan en sus prestaciones a la tecnología de plomo-ácido.
- Níquel-Hidruro metálico: Emplean un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo compuesto por una aleación de hidruro metálico. Tienen un mal comportamiento a bajas temperaturas, disminuyendo en gran parte su eficiencia. Similar a las de níquel-cadmio. Debido a que casi la totalidad de estas baterías son selladas no es posible impedir el aumento de la presión interna en la sobrecarga. Además, las reacciones que ocurren durante la carga son de naturaleza exotérmica, provocando un aumento de la temperatura desde el comienzo de la carga
- Ion-Litio: El litio (Li) es el metal más ligero que existe, ya que al tener únicamente tres protones su peso atómico es muy bajo, permitiendo un gran potencial químico para crear baterías de gran densidad energética. Estas baterías disponen de un ánodo de grafito y un cátodo a partir de óxido de cobalto, óxido de manganeso o trifilina. [9]
- Polímero de litio: Cuentan con características análogas a las baterías de iones de litio. Son de tamaño reducido, por lo que suelen utilizarse en pequeños equipos. Todavía se encuentran en desarrollo. Es una variante de las baterías de ion-litio, a las que se ha cambiado el electrolito por un polímero que puede estar en estado sólido o gelatinoso, lo que le permite dar formas a gusto del fabricante. Esta particularidad hace que los fabricantes de móviles estén muy interesados puesto que les permite más libertad a la hora de diseñar el móvil.

Las baterías escogidas para realizar el presente proyecto han sido celdas electroquímicas de Ni-Cd, marca SAFT, modelo SPH 11.

Entre sus principales características destaca su mínima necesidad de mantenimiento, su larga vida útil, y su capacidad para prevenir la pérdida de electrolito en condiciones normales, gracias al mecanismo de recombinación de gases desarrollado para este diseño. [10]

BATERIA		
IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	
 <p>Fig 2.2– Batería SPH11 [10]</p>	<i>Fabricante</i>	<i>Saft</i>
	<i>Modelo</i>	<i>SPH 11</i>
	<i>Designación</i>	<i>KH 11 P</i>
	<i>Capacidad</i>	<i>11 Ah</i>
	<i>Tensión Nominal</i>	<i>1.2 V</i>
	<i>Años de vida (estimación)</i>	<i>20</i>
	<i>Tipo electrolito</i>	<i>E4</i>
	<i>Electrolito sólido (kg)</i>	<i>0.07</i>
	<i>Electrolito líquido (l)</i>	<i>0.25</i>
	<i>Altura correcta electrolito(mm)</i>	<i>15</i>
	<i>Profundidad (mm)</i>	<i>46.5</i>
	<i>Anchura(mm)</i>	<i>86</i>
	<i>Altura(mm)</i>	<i>196</i>
	<i>Peso (kg)</i>	<i>1</i>

Tabla 1 Características técnicas Batería Ni Cd SPH 11

CAPÍTULO 3 ESTUDIO TEÓRICO DE LAS BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

A lo largo de este capítulo se presentará un estudio teórico de las características y conceptos de las baterías electroquímicas, pretendiendo hacer comprensibles las propiedades de las celdas electroquímicas y su influencia en el comportamiento de la misma.

3.1 DEFINICIONES

- Estado de carga, SOC (State of Charge): El estado de carga es comúnmente definido como la relación entre la capacidad nominal de la batería y la carga en la batería. [11]
- Profundidad de descarga, DOD (Depth of Discharge) Relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por una batería durante su descarga y la capacidad nominal de la misma. Se expresa porcentualmente y es el contrario del SOC. [12]
- Tensión en circuito abierto, OCV (Open Circuit Voltage): Tensión en los bornes de la batería cuando el circuito está abierto. [9]
- Tensión en circuito cerrado: Tensión que aparece entre los terminales de una batería cuando está conectada a una carga. Cuando una batería suministra energía a una carga, su tensión disminuye tanto más cuanto mayor sea la corriente de descarga. [9]
- Resistencia interna: Representa la suma de un conjunto de impedancias presentes en la batería, las cuales representan tanto fenómenos electroquímicos, como efectos físicos. Ayuda a modelar el comportamiento eléctrico. Eléctricamente es el cociente entre tensión en los terminales y la corriente suministrada a la batería. [13]
- Capacidad: la capacidad de una batería es la cantidad de energía, medida en amperios-hora (Ah), que puede suministrar o aceptar una batería. [9]
- Autodescarga: Pérdida de capacidad de una batería, cuando se mantiene en circuito abierto. Generalmente, la autodescarga se expresa en términos de porcentaje de pérdida de capacidad, con respecto a la capacidad nominal en un periodo de tiempo de un mes. [9]
- Sobrecarga: Proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando una batería una vez se ha suministrado toda la energía que es capaz de absorber. El funcionamiento en esta zona de la carga es muy perjudicial para la vida y propiedades de la batería. [9]
- Eficiencia energética (%): Nos referimos a ella como la relación entre la energía eléctrica que entrega la batería y la cantidad de energía que ha sido necesaria para cargarla. [14]

- Índice C: Es la razón de carga o descarga de la batería, expresada en amperios y numéricamente proporcional a la capacidad. Por ejemplo, una batería de 11Ah de capacidad se carga a razón de 0,2C (C/5) si la corriente de carga es 2,2A. [8]
- Tiempo de carga normal (h): Es el tiempo necesario para cargar completamente la batería.
- Coste (€/kWh): El coste de la batería por unidad de energía almacenada, esencial para aplicaciones económicas.
- Toxicidad: No es fácil de cuantificar, pero es de vital importancia debido a que muchas tecnologías utilizan productos muy contaminantes. Es por ello que las nuevas tecnologías desechan el uso de metales como el mercurio que ha causado importantes incidentes medioambientales.
- Efectos de la Temperatura: tiene mucha incidencia sobre las baterías debido a los componentes químicos que la componen. Puede variar la tensión, provocar gasificación, pérdida de líquido electrolítico, etc. La temperatura afecta el rendimiento de la batería, capacidad, autodescarga y longevidad. [15]
- Vida útil: Tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. A lo largo de esta las prestaciones de la misma no deben empeorar respecto a las iniciales. Parte del presente proyecto presenta como hito importante de este trabajo, recuperar una batería que ha perdido parte de su vida útil.
- Estado de Salud, SOH (State of Health) Este parámetro cuantifica la degradación y el envejecimiento sufrido por la batería. El SOH afecta muy directamente a la capacidad de la batería de almacenar energía. Para un mismo estado de carga (SOC), una batería deteriorada puede contener menos energía que una recién fabricada, en la que su SOH es del 100 %. [11]

3.2 MODELADO DE BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

3.2.1 Introducción

En el estudio de las baterías electroquímicas es necesario llevar a cabo un modelado de éstas. El objetivo es la implantación y puesta en marcha en los ensayos de modelos matemáticos que permiten modelar el comportamiento de las baterías. Destacar, que el hecho de modelar el comportamiento de nuestra batería electroquímica, hace que obtengamos una aproximación al comportamiento real de las mismas que permiten conocer la evolución del mismo en el tiempo respecto a diferentes acciones aplicadas sobre éste, o en distintos puntos de funcionamiento. Existen modelados que se asemejan más al auténtico comportamiento que otros.

La decisión de elegir uno u otro modelo para su implantación dependerá de diversos aspectos cómo la exactitud que queremos obtener en nuestros resultados, ya

que para un proyecto puede servir una aproximación más liviana que para otros. Para determinar qué modelo implantar hay que tener en cuenta que cuanto más queremos aproximarnos al comportamiento real, más complejo será su implantación. También cabe decir que no siempre se disponen del equipo o herramientas adecuadas para escoger un modelo que pueda ser más exacto que otro.

Dentro de las diferentes formas de categorizar los modelos en este proyecto se divide en dos principales categorías:

3.2.2 Categorías de modelado

3.2.2.1 Modelos electroquímicos:

La intención de estos modelos es simular los procesos electroquímicos de toda célula. La precisión de la simulación del modelo se basa en gran medida en una precisa representación matemática de los mecanismos de reacción y de relación de las propiedades electroquímicas utilizadas como entradas del modelo, que son típicamente difíciles de obtener. [16]

Se basan en los procesos químicos que tienen lugar en la batería. Estos modelos describen los procesos con gran detalle. A pesar de que estos modelos sirven de gran utilidad para determinar el comportamiento de nuestra batería, presentan desventajas si se comparan con los modelos eléctricos. Cabe destacar que el hecho de presentar una descripción tan detallada del comportamiento, hace que sean modelos muy complejos de configurar.

Este proyecto se centra en el estudio dinámico de las celdas electroquímicas mediante elementos eléctricos.

3.2.2.2 Modelos de circuito eléctrico equivalente:

Es el tipo de modelado que hemos usado en el presente proyecto. A pesar de que la batería es un elemento electroquímico, es muy interesante centrarse en obtener un modelo que represente los fenómenos que tienen lugar en la celda. Según varios autores son modelados más simples, y como consecuencia son muy utilizados, además presentan una mayor facilidad a la hora de implementarlos [17]

El objetivo que se busca es reproducir el comportamiento eléctrico de las baterías a través de distintos elementos, que pueden ser pasivos, resistencias, condensadores, bobinas; así como activos, fuentes de tensión y corriente.

Existen múltiples modelos dentro de la categoría de modelaje eléctrico, si bien nosotros nos centraremos en uno de ellos, el Modelo Thèvenin.

3.2.3 Modelo Thèvenin:

El modelo clásico Thèvenin se utiliza con gran frecuencia para simular el rendimiento de la batería. Este modelo, presentado por primera vez en 1947, será el escogido para el modelado de la batería Ni-Cd del presente proyecto. Diversos autores han recurrido a este método.

Existe otro modelo eléctrico muy parecido que se llama modelo Randle aunque este presenta en su modelaje una impedancia dependiente de la frecuencia [18].

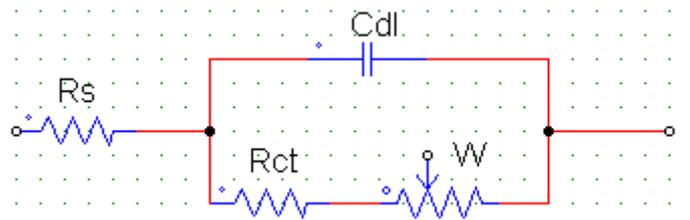


Fig. 3.1– Modelo Randle. Circuito equivalente

En nuestro proyecto se ha optado por el modelo Thèvenin, concretamente modelo Thèvenin de 2º orden, con dos circuitos tanques que nos permitirá realizar una gran aproximación a la realidad de la situación. [19], [20].

Su circuito equivalente se puede observar en la Figura 3.2, y está compuesto por una fuente de tensión variable en función de la carga, una resistencia en serie y dos circuitos tanque RC en paralelo.

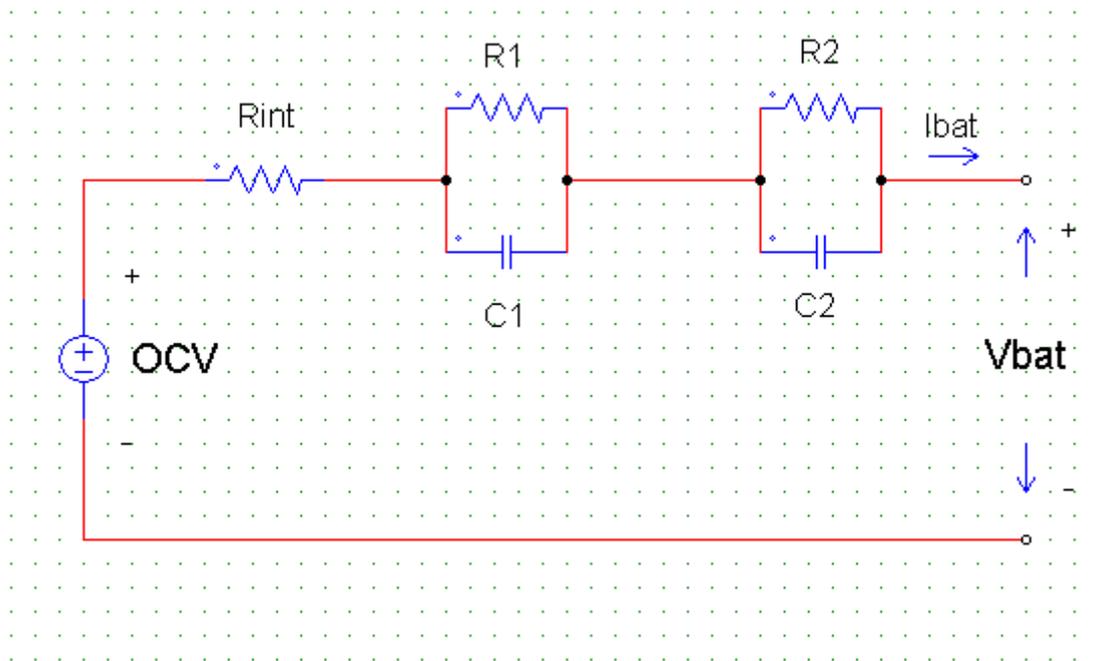


Fig. 3.2- Modelo Thèvenin de 2ºOrden de una batería. Circuito equivalente [21]

Como ya hemos podido observar en la fig. 3.2 los elementos a determinar en este modelo son:

OCV: Es la tensión en circuito abierto de la batería. Dependerá del estado de carga (SOC). Además del estado de carga su valor se verá influenciado por otros parámetros como puede ser la temperatura.

R_i: Es la resistencia interna del modelo. En ella se produce una caída de tensión en el momento del paso de corriente. Este valor de la resistencia dependerá de diversos factores como: Estado de carga (SOC), temperatura y envejecimiento.

Circuitos RC: Son dos circuitos compuestos por una resistencia y un condensador en paralelo. Se les da el nombre de circuitos tanque.

A causa de fenómenos electroquímicos (como la difusión de iones en el electrodo y transferencia de los mismos) ante variaciones de corriente se describen tensiones con relación no lineal, que se puede asemejar a un comportamiento exponencial.

El número de circuitos tanque determina el orden del modelo, en este proyecto se establecerán dos circuitos tanque, ya que se ha comprobado que para la precisión que se busca en la obtención de los parámetros, es suficiente modelarlo con dos circuitos tanque.

La expresión que emplearemos para el cálculo de estos parámetros es:

$$\mathbf{V_{bat} = OCV + V_{ri} + V_{rc1} + V_{rc2}} \quad (3.1)$$

donde:

V_{bat} : Tensión real de la batería.

OCV : Tensión en circuito abierto.

V_{ri} : Tensión en la resistencia interna

V_{rc1} : Tensión en el circuito tanque 1.

V_{rc2} : Tensión en el circuito tanque 2.

Esta expresión la podemos desarrollar de la siguiente manera:

$$\mathbf{V_{bat}(t) = OCV + I_{bat} \cdot R_{int} + I_{bat} \cdot R_1 \left(1 - e^{\frac{-t}{R_1 \cdot C_1}}\right) + I_{bat} \cdot R_2 \left(1 - e^{\frac{-t}{R_2 \cdot C_2}}\right)} \quad (3.2)$$

C₁ : Capacidad del circuito tanque 1

R₁ : Resistencia del circuito tanque 1

C₂ : Capacidad del circuito tanque 2

R₂ : Resistencia del circuito tanque 2

R_{int} : Resistencia interna

I_{bat} : Intensidad que circula por la batería

3.3 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CARGA

Expresión que indica el estado de carga de la batería. Lo indica de manera porcentual, respecto al 100% de la capacidad. A lo largo del proyecto me referiré a él como estado de carga o SOC (“State of Charge”).

3.3.1 Introducción

El estado de carga es un parámetro a estudiar y a considerar dentro del estudio de las baterías electroquímicas.

Es una de las características más importantes a tener en cuenta en este proyecto en el estudio de baterías electroquímicas. El conocimiento del SOC resulta de vital importancia para poder trabajar con ellas.

Antiguos métodos de obtener el estado de carga hicieron uso de límites de voltaje solo para proteger de sobrecargas y descargas profundas, ya que estos fenómenos podrían provocar daños irreparables a la celda. Actualmente, el uso de baterías está cambiando constantemente a lo que podría ser llamado gestión de la batería electroquímica en lugar de buscar simplemente la protección [22]. Mucho trabajo se ha llevado a cabo para mejorar la determinación del estado de carga.

Las condiciones de operación de las baterías difieren mucho en función del uso que se le dé o del rango de trabajo al que se le va a someter, por ejemplo, aplicaciones fotovoltaicas, vehículos híbridos o eléctricos, telecomunicaciones, etc. Por tanto, cada método de cálculo del SOC puede ser más conveniente para una cierta aplicación u otra.

3.2.2 Definición del estado de carga

Una definición para el SOC es, la relación porcentual que existe entre la capacidad disponible de una batería y la capacidad nominal que puede almacenar una batería.

Destacar que la capacidad es cambiante a lo largo de la vida de la batería y por tanto el estado de carga puede llegar a variar su valor para un mismo método realizado al principio de su vida con respecto al final de la misma, ya que las propiedades físicas de la celda pueden no ser las mismas debidas a distintos efectos como sobrecarga o descargas profundas.

Dada la importancia del conocimiento del estado de carga, uno de los aspectos más importante a conocer, antes de realizar algún trabajo con un batería es conocer en qué estado de carga presenta.

El 100% de SOC lo referenciamos nosotros, es decir, somos nosotros los que asignamos dónde se encuentra este nivel de energía al 100%, no que la batería ha llegado a su nivel máximo de absorción de energía. Esto se marca así porque a partir de un cierto nivel de estado de carga se pueden producir inconvenientes para el óptimo uso de la celda como sobrecargas o pérdida del electrolito interno. Por tanto, si se podría llegar a ese 100% pero no se busca, sino que establecemos una frontera en la que decimos que es el 100% de estado de carga.

Esta frontera se puede establecer de muchas maneras, en función de si la cargamos más rápido o más lento, es decir, dependiendo de la magnitud de corriente. El procedimiento para alcanzar el 100% del SOC usado en este proyecto es la que marca la norma UNE-EN 60623 [23] y por las recomendaciones del fabricante que apunta que el 100% de estado de carga se alcanza cuando cargamos durante 7 horas a una velocidad

de 20% de la capacidad. En este proyecto estamos usando celdas SPH11 por lo que 0,2 C son 2,2 Ah. Ahí está nuestro 100% ficticio, pero que a efectos de cálculo y de funcionamiento nosotros usaremos y referenciaremos al 100 %.

El 0% de SOC también es referenciado donde uno ve conveniente. Siempre siguiendo unas normas o reglas establecidas. Al igual que para el 100%, no se alcanzará de la misma manera el nivel mínimo de estado de carga a unos valores de corriente de descarga que a otros. Guiándonos por la norma UNE-EN 60623 y las recomendaciones del fabricante [10], hemos concluido que la manera más óptima para nuestros ensayos y uso que se le va a dar a la celda es establecer el 0% en el nivel de estado de carga conseguido tras haber descargado la celda a 0,2C, por tanto 2,2 Ah, hasta un nivel de tensión de 1 V. Ahí es donde fijamos nuestro 0% de estado de carga.

A pesar de que a lo largo de la vida de la celda usemos siempre la misma norma para establecer los estados de carga, estos no van a permanecer constantes, ya que las propiedades de la celda como se ha dicho con anterioridad no permanecen constantes a lo largo de la vida total de la batería.

Llegamos a la conclusión que trabajaremos en márgenes entre el 0% y 100% ambos inclusive, pero es de vital importancia, para comprender mejor en qué consiste el aspecto que estamos definiendo la siguiente reflexión que no hay un 100% ni un 0% de estado de carga único, sino que se marca un punto como referencia y a partir de este se referencian los distintos estados de carga de la celda. En este caso se ha decidido usar los procedimientos descritos en la norma.

A continuación se indicará diferentes métodos para determinar en qué estado de carga se encuentra nuestra celda.

3.3.3 Métodos para determinar el estado de carga

Como hemos comentado con anterioridad el conocimiento del SOC puede llegar a ser una meta de mayor o menor dificultad en función del tipo de nuestra batería, ya sea Li, Ni-Cd, Ni-Mh o la aplicación que se le quiera dar a esta. Por tanto, existen diferentes métodos, unos más simples que otros, pudiendo optar por aquel que más se adecúe a nuestro objetivo.

3.3.3.1 Test de descarga:

Es el método más fiable, ya que se realiza en unas condiciones controladas. Consiste en fijar una corriente de descarga durante un tiempo determinado en condiciones de tensión constante y temperatura constante. A partir de estas condiciones en función de los niveles de descarga que se obtengan determinaremos el estado de carga.

3.3.3.2 Cuantificación Amperios-Hora:

Es la técnica más común para calcular el estado de carga, ya que la carga y descarga están directamente relacionadas con la corriente aportada o extraída de la

batería. La teoría de realizar un balance de la energía, en función de los amperios introducidos a lo largo de un determinado periodo de tiempo, es bastante idónea. Si conocemos el punto de partida, la integración de los valores de corriente durante un determinado periodo de tiempo, no da una idea del estado de carga de la batería.

3.3.3.3 Medición de las propiedades físicas del electrolito:

Durante el proceso de carga y descarga el electrolito interno de la celda va variando a lo largo de la reacción. La relación lineal entre el cambio de densidad del electrolito y el estado de carga, sirve de gran ayuda para obtener el estado de carga. Este método es muy fiable, pero sólo para baterías ventiladas. Tiene mucha aplicación en baterías estacionarias con electrolito líquido.

La densidad para buscar la relación con el estado de carga se halla a través de la concentración iónica, conductividad, índice de refracción, viscosidad, etc. Si bien es verdad que aunque está demostrado que puede llegar a ser una técnica fiable requiere de un largo tiempo de estabilidad, para obtener valores óptimos. Este método con los instrumentos del laboratorio no se puede realizar, por tanto no se ha tenido en cuenta. [22]

3.3.3.4 Tensión en circuito abierto (OCV):

Por medio del valor OCV medido en la batería, se puede establecer una relación lineal entre el SOC y el nivel de tensión tras un periodo de relajación (OCV). Si bien es cierto, que para obtener unos valores realmente buenos y bastantes fiables, este método requiere de grandes tiempos de relajación tras la carga o descarga, para que llegue a quedarse en un nivel de tensión no variable.

3.3.3.5 Golpe de látigo (Coup de Fouet):

Este método no se usa específica y exclusivamente para establecer el estado de carga, sino para la capacidad que se puede desarrollar, después de una carga completa de la batería, para una descarga a un determinado nivel de corriente y temperatura.

El “golpe de látigo” es la pequeña caída en el principio de la descarga. En este instante se pueden obtener dos parámetros que pueden servir para obtener el SOC. La mínima y la máxima tensión durante este proceso de caída instantánea. [22]

3.3.3.6 Red neuronal artificial:

Las redes artificiales neuronales pueden ser utilizadas para determinar cualquier relación de entrada y salida de datos. Además sirven para cualquier aplicación y modelo de baterías. A dicha red neuronal se le provee de datos de ensayos conocidos y por tanto crea como una base de datos, la cual utiliza para relacionar y determinar cualquier posible parámetro de las baterías entre ellos el SOC.

El problema que presenta este método es que los datos conocidos suelen ser con baterías de pequeña capacidad por lo que a altos SOC suele ocasionar problemas, aunque se ha de decir que la celda con la que trabajamos es de pequeña capacidad. Este método con el equipo disponible en el laboratorio, quedó totalmente descartado. [22]

3.3.3.7.- Resistencia interna:

En función del valor de la resistencia interna se puede llegar a establecer el estado de carga en que se encuentra la celda. La caída de tensión dividida entre la corriente de carga es la resistencia interna, aunque si bien es cierto que no es del todo fiable, porque en ese momento pueden aparecer otros fenómenos que darían lugar a resultados erróneos, ruido en la señal de tensión que haga que no tomemos el valor adecuado de voltaje. El periodo de tiempo en que tiene lugar esta caída y por tanto el cálculo de la resistencia interna, se produce en un intervalo de tiempo muy pequeño, alrededor de 10ms [22].

3.3.3.8.- Filtros Kalman:

Los filtros Kalman es un método estudiado en los últimos años para estimar el estado interno de los procesos dinámicos. La entrada normalmente consiste en la corriente, temperatura, resistencia interna y la salida la tensión. Son útiles para eliminar el ruido no deseado en las señales de entrada y/o salida.

La manera de trabajar es prediciendo el nuevo estado y su incertidumbre, para luego corregirlo con una nueva medida. La exactitud que se llega a alcanzar en la estimación del SOC puede llegar a ser del 1%. Sin embargo es un método muy complejo que requiere de alta complejidad en el modelaje de las baterías y de la programación para su implementación. [24]

3.3.4.- Cuantificación Amperios-Hora:

Una vez presentado los modelos más conocidos y más tratados en artículos de congreso o journals científicos, explicaremos un poco más en profundidad el método escogido en nuestro proyecto para estimar el estado de carga de nuestra celda.

El método escogido es la cuantificación de Amperios hora, ya que una vez considerando los pros y contras es el más óptimo para los niveles de dificultad y variedad de ensayos que vamos a realizar, además de contar con un equipo que como se ha comprobado a través de la lectura por osciloscopio resulta muy fiable en la lectura de la corriente.

La expresión que define este método es la siguiente:

$$\text{SOC} = \text{SOC}_o + \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t (I_{\text{batt}}) d\tau \quad (3.3)$$

SOC_o : Estado de carga inicial.

C_n : Capacidad nominal.

I_{batt} : Corriente por la batería.

La cuantificación de los Amperios hora es un método bastante fiable, pero presenta dos grandes complicaciones, medidas erróneas de corriente pueden llevar a grandes errores en la estimación del SOC.

3.4 PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO

Antes de realizar un ensayo, hay que certificar si la celda con la que vamos a trabajar está en buen estado.

Las celdas pueden dejar de operar en sus condiciones nominales, por el mero hecho de permanecer almacenadas, ya sea por el fabricante o directamente en nuestro laboratorio donde se lleva a cabo el proyecto.

Por tanto, primeramente antes de proceder con un ensayo en nuestra batería hay que realizar un ensayo de acondicionamiento, para recuperar las propiedades originales o contrastar que nos encontramos ante una batería en óptimas condiciones. De esta manera no llegaremos a conclusiones equívocas con los resultados obtenidos.

Hay que destacar que al inicio del uso de una celda electroquímica que se encuentra precintada y sin ningún uso hay que realizar el proceso de acondicionamiento. A nuestras baterías SAFT SPH 11, se le recomienda en el manual técnico propio del fabricante y en la norma UNE-EN 60623, que para alcanzar su condición idónea de trabajo, o bien, contrastar que la celda se encuentra en condiciones óptimas de trabajo, hay que realizar los siguientes procesos: [23], [10]

- Carga lenta a 0.2C durante siete u ocho horas. Al tratarse de baterías SPH 11, de 11 Amperios, se carga la batería a 2,2 Amperios.
- Relajación durante dos horas, para que la batería descanse durante el proceso de carga.
- Descarga a 0.2C hasta 1 V. Al tratarse de baterías SPH 11, se descarga la batería a -2,2 Amperios.

Este proceso de acondicionamiento hay que realizarlo a temperatura ambiente, entre 20-23 ° C. La utilización de esta razón de descarga permite minimizar los efectos que tiene el proceso de descarga en un ciclo completo de carga-descarga. [25]

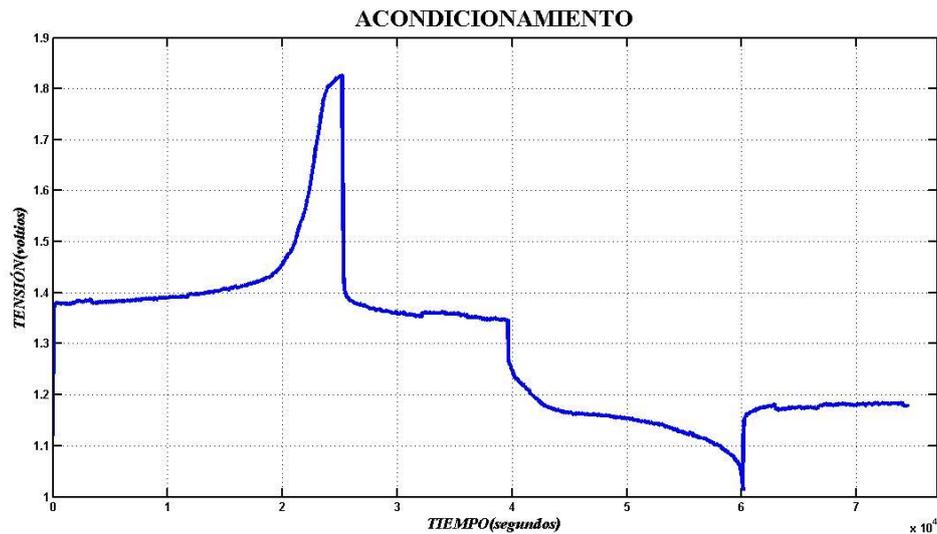


Fig. 3.3 Ensayo de acondicionamiento

También cabe mencionar, que este proceso de acondicionamiento no sólo se realiza al inicio del uso de una celda electroquímica, sino que también hay que realizarlo cuando nuestra batería a lo largo de su vida pierde las propiedades nominales, debido a su uso y a efectos que tienen lugar en su comportamiento como, el efecto memoria producido al realizar ciclos de carga-descarga parciales o haber entrado en su zona de sobrecarga, durante un ciclo de carga. Este aspecto es uno de los hitos que se estudiarán en este proyecto.

A continuación se adjunta una gráfica en la que se observa cómo se mejoran las propiedades al realizar los ciclos de acondicionamiento, en una celda que ha sufrido descargas parciales.

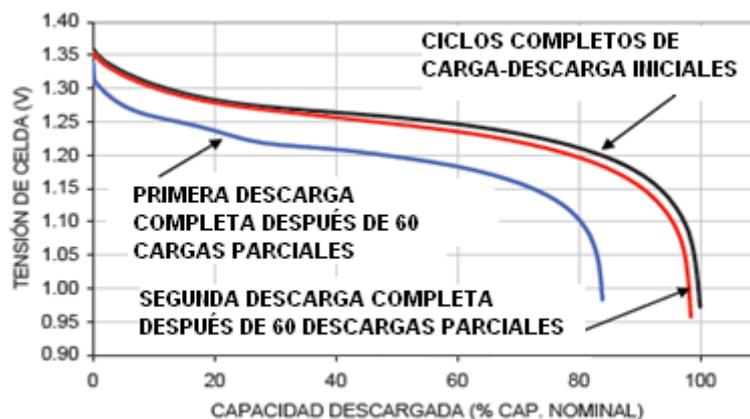


Fig. 3.4– Capacidad descargada [21]

Ante estas situaciones, se recomienda realizar un proceso de acondicionamiento para intentar lograr recuperar las propiedades óptimas de la batería. Dicho proceso, seguramente no sirva sometiendo a nuestra batería una única vez al proceso de acondicionamiento, sino que habrá que realizarlo varias veces hasta que podamos certificar que hemos recuperado las propiedades nominales y en especial la calidad, marcadas en la norma y en el catálogo del fabricante.

3.5 PROCESO DE CARACTERIZACIÓN

En este apartado, se presentará como parte fundamental del conocimiento del arte de las baterías electroquímicas, el ensayo de caracterización. A pesar, de que en el presente proyecto no se ha considerado realizar el estudio en profundidad de la caracterización y del análisis de las propiedades que de él se obtienen.

Aún con ello, dicho trabajo presenta como una de sus partes importantes la documentación y explicación de los aspectos principales en el conocimiento relacionado con las baterías electroquímicas, por lo que el ensayo de caracterización es un aspecto, en el que en todo estudio de baterías debe haber referencia a él.

En el proceso de caracterización, somos capaces de poder determinar los parámetros internos y generales de nuestra batería electroquímica. Cabe decir, que aun no siendo un punto de estudio central en nuestro proyecto, se ha realizado la implementación de un ensayo de programación capaz de realizar dicho ensayo.

Este código de ensayo, consiste en intercalar pulsos de carga y descarga con un periodo de relajación entre medias.

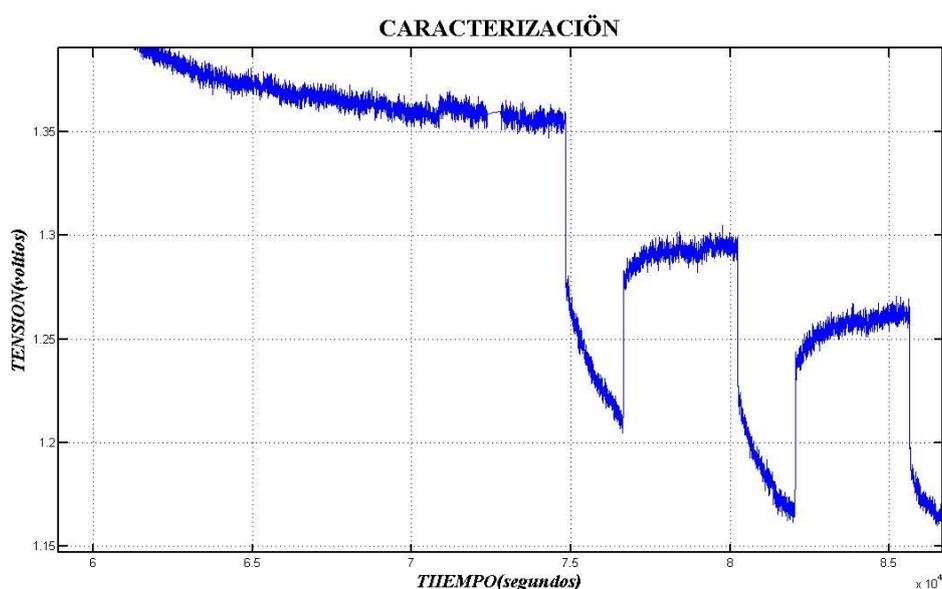


Fig. 3.5 Ensayo caracterización: ciclos de relajación [26]

Siguiendo especificaciones de la norma UNE-EN 60623 [23] y modificándolas en algunos conceptos, para mejorar la obtención de los parámetros, se ha programado un ensayo, de caracterización que consiste en:

- Realizar una descarga a 0,2C, -2,2 Amperios, hasta una tensión de 1V.
- Relajación de dos horas.
- Carga durante siete horas a 0,2 C, 2,2 Amperios.
- Relajación de dos horas.

Hasta aquí no ha empezado todavía el ensayo de caracterización. Esta serie de carga-descarga se realiza por dos motivos en especial.

Primero, para comenzar con la batería cargada al máximo de su capacidad y así realizar el proceso de caracterización en la descarga.

Segundo y más importante, es el hecho de conseguir de esta manera un punto de referencia para establecer el valor del SOC en el 100%. Como se explicó en el apartado donde se estudiaba el Estado de Carga, somos nosotros donde fijamos la referencia del 0% y 100%.

Al saber que nuestra celda está descargada hasta 1 Voltio, si la sometemos a un proceso de carga de 7 horas a 2,2 Amperios, podemos establecer dicho punto como el 100% del SOC. De esta manera, somos capaces de conocer en qué situación de estado de carga a medida que vamos realizando los ciclos de caracterización.

La siguiente parte de nuestro ensayo, es realizar los ciclos de caracterización, una vez hemos fijado nuestro 100% del SOC.

- Se producen ciclos de media hora descarga intercalada con una hora de relajación entre ciclo y ciclo. Al realizar los catorce ciclos de descarga sometemos a nuestra celda a dos horas de relajación antes de cargar, para así dejar a la batería recuperar sus propiedades y perder la inercia de la descarga.

- Al igual que en descarga, sometemos a catorce ciclos de carga de media hora intercalados con ciclos de una hora de relajación.

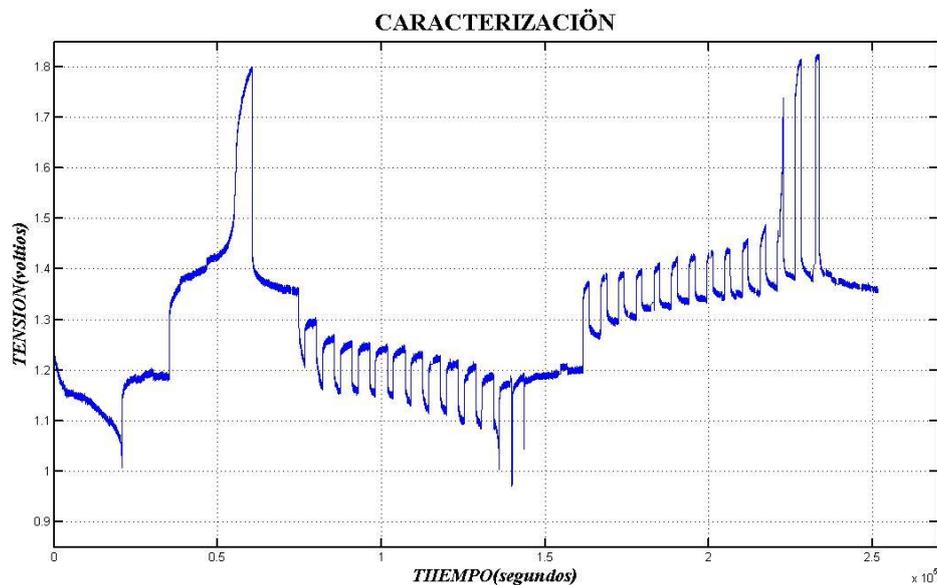


Fig. 3.6 Ensayo de caracterización

A través de este ensayo somos capaces de conocer la capacidad, resistencia interna, OCV, parámetros de los circuitos tanque al que modelamos nuestra batería, aceptación de carga y eficiencia energética. Estos dos últimos parámetros serán explicados en apartados posteriores.

3.6 FINAL DE CARGA

El perfil de uso de la batería junto a otros criterios asociados a la realización del proyecto, marcan el tipo de carga al que se va a someter a nuestra celda electroquímica. La forma en la que se realiza la carga va a influir de manera considerada en los ensayos realizados y por tanto, en los resultados y características obtenidas.

La elección del tipo de carga, dependerá de diferentes aspectos como, los objetivos marcados para la realización del proyecto final de carrera y el equipo del que se disponga para realizar los ensayos, que a su vez, se verá influenciado por los aspectos técnico-económicos asociados a la realización del proyecto mediante el departamento del que depende el presente proyecto.

En este apartado vamos a exponer el concepto, descripción, usos y tipos de detección del final de carga. Este es normalmente implementado en ensayos en los que se realizan a altas corrientes, conocido como carga rápida.

En el presente proyecto, debido en parte, al equipo del que se dispone, ya que como se comentará a continuación estamos limitados por una sonda en corriente de 5 Amperios. También cabe decir que aun estando presente esta barrera, no se consideró en el inicio del proyecto ensayos a carga rápida.

Por tanto en futuros proyectos, podría ser objeto de estudio la eliminación de esta barrera de la sonda de corriente y realizar ensayos en carga y descarga rápida, dando continuación a lo que en este capítulo se va a exponer y que se ha estudiado, documentado y realizado, en este proyecto fin de carrera, la detección del final de carga.

3.6.1 DETERMINACION DEL FINAL DE CARGA

Las baterías de Ni-Cd son baterías con alta densidad y que pueden ser cargadas rápidamente en una o dos horas, fijando corrientes con razones de carga elevadas, 1C, 1,5C, 2C. Sin embargo estas razones de carga han de ser debidamente estudiadas, ya que hay que tener en cuenta las condiciones de funcionamiento de las baterías que estamos usando y las reacciones que en ellas tendría lugar.

No se puede someter a estas corrientes a una batería si el fabricante aconseja no sobrepasar los límites de funcionamiento. Las propiedades de la celda se podrían ver gravemente afectadas y por tanto destruir de manera irreparable las características nominales que nos encontramos con las baterías de uso.

Por tanto, para evitar estos aspectos críticos, es aquí donde nos centraremos en explicar el porqué de la utilidad del método de detección de fin de carga.

En los procesos de carga se pueden diferenciar varias zonas de funcionamiento.

Una inicial en la que se produce una fuerte variación de la tensión respecto del valor OCV en el que se encontraba, hasta que llega un momento en el que el aumento de la tensión se estabiliza.

Después, la tensión continúa creciendo, pero en un ratio de aumento de tensión más lento a medida que la batería va aceptando internamente este proceso de carga. En esta región el oxígeno generado por la reacción electroquímica se recombina en el mismo grado que se acepta el estado de carga. Por tanto, aquí la temperatura interna y la presión remanente bajan.

Durante esta fase, la batería acepta un alto rango de intensidad sin producirse excesiva liberación de gases o producción de calor.

A partir de esta región, cuando la batería está llegando al máximo de capacidad de aceptar carga, es donde surgen los mayores problemas y como consecuencia donde hay que tener un gran control de nuestro ensayo, sabiendo detectar cuando hemos de dejar de cargar nuestra batería, si lo que queremos es continuar dando un uso óptimo y consistente a nuestra celda. En esta región cercana al 100% del estado de carga, hay un cambio en la pendiente causado por el incremento de la impedancia interna, de la misma manera que la presión nominal interna comienza a incrementar rápidamente, porque se está creando más oxígeno del que puede ser absorbido. [27]

El incremento de la presión interna está sumamente relacionado con el valor de corriente al que se está realizando el proceso de carga. Esta relación conlleva a entender, que a mayores corrientes esta región se producirá mucho antes y de manera más repentina que si cargamos a intensidades menores, ya que la tensión de nuestra batería se ve ampliamente aumentada. Aquí es donde surgen los problemas de las cargas rápidas, ya que alcanzamos esta zona en un ligero periodo de tiempo, que si no tenemos bien controlado, podríamos haber dañado de manera irreparable nuestra celda.

La sobrecarga reduce la vida en servicio de nuestra batería y puede producir sobre calentamiento y generar gran cantidad de gases, que si no son ventilados de manera óptima la batería podría llegar a explotar. [27]

Las celdas de Ni-Cd utilizadas a lo largo de nuestro proyecto presentan:

- Un valor nominal de tensión de 1,2 V.
- Se ajustan a una forma de onda a lo largo del proceso de carga y descarga.
- En el proceso de carga aparece un crecimiento de la tensión descritos entre dos puntos de inflexión, después un valor pico y al final se produce la caída en la tensión durante la fase de sobrecarga. [28]

Es esta última fase la que hay que evitar, la fase de sobrecarga.

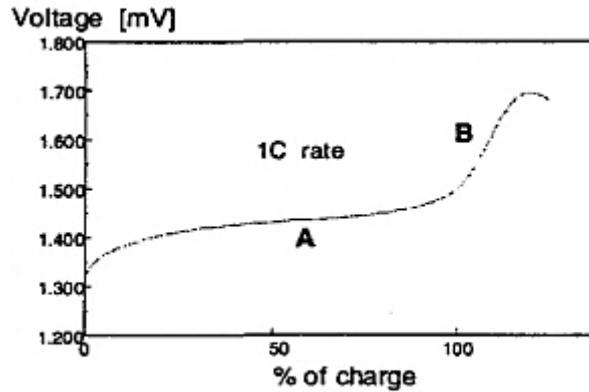


Fig. 3.7 Tensión durante la fase de carga: Puntos de inflexión [28]

En la Fig. 3.7 Tensión durante la fase de carga: Puntos de inflexión se puede observar a lo que hacíamos referencia acerca de los dos puntos de inflexión que marcan la zona en la que se produce la subida de tensión. Esta tiene lugar cuando estamos cercanos al 100% del estado de carga en nuestra batería. Llegando a producirse como se observa en el punto 'B' una caída en la tensión, es ahí donde se está produciendo la sobrecarga.

El final de carga sirve de gran utilidad, ya que, en función de en qué valores de corriente estemos realizando nuestra carga, alcanzará unos valores de tensión máximos en menor periodo de tiempo o no. El aumento de temperatura también incrementará antes y más rápidamente en corrientes más altas.

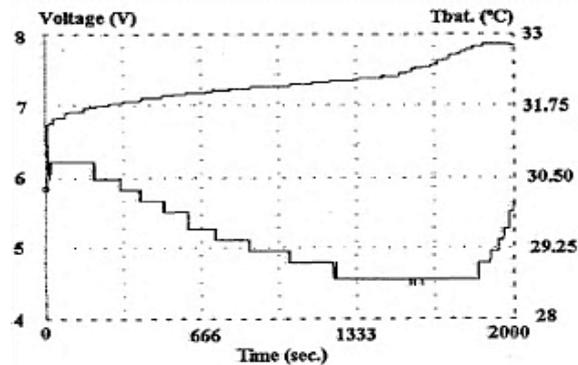


Fig. 3.8 Evolución de la tensión y temperatura, 2C [29]

En la Fig. 3.8 Evolución de la tensión y temperatura, 2C , la intensidad de carga se realiza a una razón de carga de 2C , se puede observar durante la región central la temperatura llega incluso a descender, para más tarde al acercarnos al 100% del SOC la temperatura se dispara y se produce el aumento rápido en la tensión.

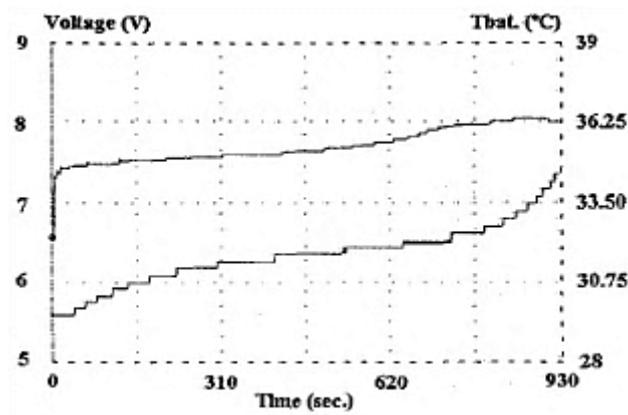


Fig. 3.9 Evolución de la tensión y temperatura 4C [29]

En la Fig. 3.9 Evolución de la tensión y temperatura 4C la intensidad de carga se realiza a una razón de carga de 4C, se observa a primera vista que la temperatura no desciende en ningún momento, y que al igual que en la anterior al final aumenta rápidamente.

Comparando una figura con otra, podemos decir que en la figura 3.9 el tiempo en el que entramos en la región cercana al 100% de SOC se produce mucho antes que en la figura 3.8. Por el contrario, el pico de tensión se observa mejor a una intensidad de carga menor.

A partir de aquí, se podría llegar a la conclusión de establecer como final de carga un método basado en unos valores fijos en función del tiempo de ensayo o de llegada a una tensión máxima.

Por el contrario, en los ensayos experimentales que son presentados en [29], esta idea desaparece rápidamente, ya que para cada ensayo los valores varían de manera excesiva en función de las condiciones en que se realiza cada ensayo, pudiendo dar lugar a errores de precisión con lo que ello conlleva.

3.6.2 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FIN CARGA

Para evitar errores de fin de carga, y por tanto, no dañar nuestra batería existen diferentes métodos de detención de fin de carga (End Of Charge, EOC). Cada uno de ellos se basa en las diferentes propiedades o fenómenos que tienen lugar en una celda electroquímica o en su estudio.

Si bien es cierto, que unos métodos son más precisos que otros y dejan menos lugar a posibles errores a la hora de proceder a su detección. Unos son más precisos que otros y detectan el momento de fin de carga justo en el momento idóneo, mientras que otros presentan un tiempo de latencia entre que detectan el fin de carga y ejecutan el final de la misma.

A continuación presentaremos los diferentes métodos de fin de carga más usados y a la vez más estudiados en diferentes artículos de revista o conferencias en referencia a baterías de Ni Cd:

- Detección de $\frac{dT}{dt}$ o ΔT : A medida que la batería se encamina hacia una carga completa, la batería produce gas sometiendo a la celda a un aumento de la presión interna y a un repentino crecimiento de la temperatura. El aumento de la temperatura se puede considerar en orden de 50° C a 60 ° C. Por lo que cuando se produce este aumento se puede usar para imponer el fin de la carga. La batería cargada con altos ratios de razón de carga, 1C a 1,5C produce un aumento de 1°C/minuto a 2°C/minuto en el final de carga [30]. Lo malo de este método, es que para conocer la temperatura, ha de colocarse un termistor en el interior de la batería, por lo que eso podría hacer variar las propiedades internas de la misma, además de las dificultades que ello conlleva. También se ve influido en gran medida por la temperatura ambiente, ya que a altas temperaturas ambiente puede no llegar a ser cargada lo suficiente y en situaciones más frías se podría sobrecargar. [31]

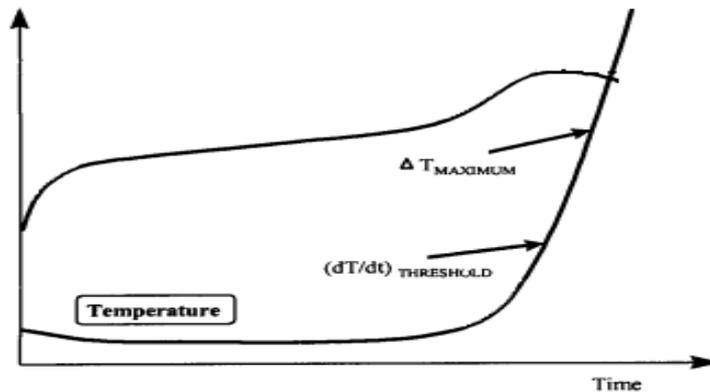


Fig 3.10 Final de carga por temperatura [31]

- Detección de $-\frac{dV}{dt}$ o $-\Delta V$: Las baterías tienen una característica al final de la carga, presenta una pequeña caída en la tensión cuando han alcanzado un alto valor de su capacidad. Este momento en el que se produce la caída de la tensión es lo que conocemos como sobrecarga. La manera de detectarlo es que se produce una variación negativa en la derivada de la curva de tensión.

La tensión sigue aumentando pero de manera más lenta que en los momentos anteriores, de ahí que se produzca ese gradiente negativo. Destacar que este método no detecta cuando la derivada es cero o negativa, si no, que detecta una variación negativa respecto a la del momento anterior. Este fenómeno en baterías de Ni Cd es más pronunciado que en otros tipos de baterías como las de Ni MH. La disminución de tensión al entrar en esta región puede alcanzar entre 10-20mV. [30]

Se podría decir que mediante este método seríamos capaces de implementar nuestro final de carga justo en el momento en el que la tensión ya no aumenta

rápidamente y comienza a crecer más lentamente. Hay que señalar que para no evitar malos entendidos, hay que tener en cuenta esta situación a partir de 1,4 Voltios. [31]

Si comparamos un pequeño intervalo de valores respecto uno inmediatamente anterior, y detectamos que la pendiente de la curva de tensión es menor que la del intervalo más retrasado en tiempo, podemos decir que se ha detectado el fin de carga, es decir, la derivada en tensión es negativa.

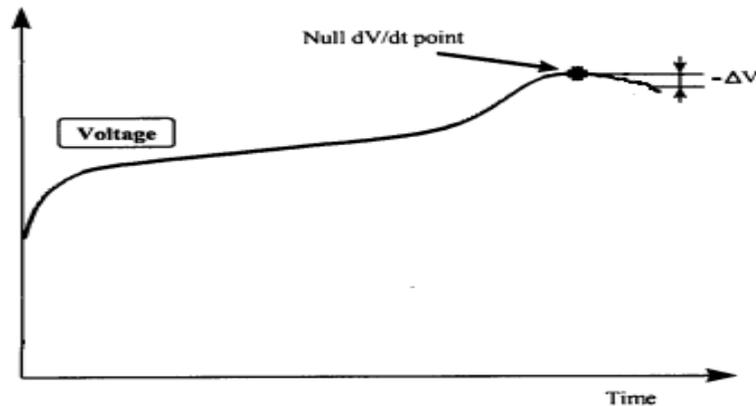


Fig. 3.11 Final de carga por tensión [31]

- Detección de hidrógeno: Está comprobado que independientemente de la batería que tratemos y por tanto de su capacidad nominal se produce hidrógeno cuando el proceso de carga pierde su eficiencia al entrar en estado de sobrecarga. Este hidrógeno emana al exterior de la batería y se detecta mediante un sensor de hidrógeno. Este método es bastante óptimo ya que el hidrógeno se produce independientemente de la velocidad de carga, la temperatura ambiente de trabajo y el estado de carga de batería. Por lo que la implementación de este método para detectar el fin de carga resultaría bastante eficaz. [21]

(A pesar de los beneficios que presenta, este método no se ha utilizado debido a que con las posibilidades con las que se cuenta en el laboratorio y en el departamento, resultaba de gran dificultad contar con uno para la realización del proyecto).

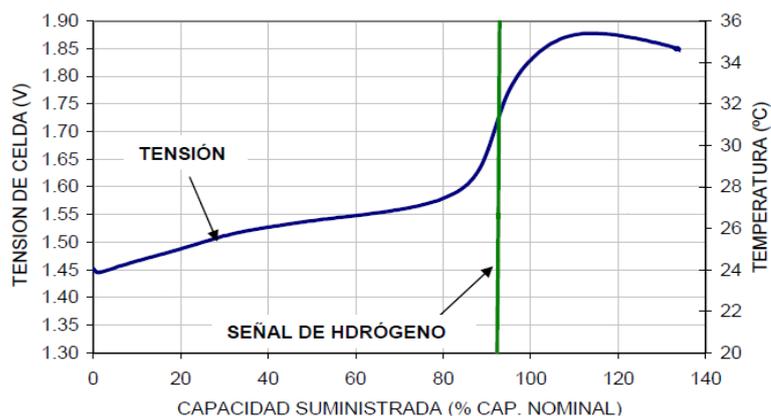


Fig 3.12 Final de carga por detección de hidrógeno [21]

- Detección por límite de tensión: La manera más simple de determinar el fin de carga es detectando que la tensión de la batería ha alcanzado un determinado valor.

Refiriéndonos a cargas lentas 0,1C, 0,2C este método resulta eficaz ya que la tensión va creciendo poco a poco y el tiempo de carga y por tanto el número de electrones introducidos es reseñable, si bien por el contrario para cargas rápidas no resulta eficaz ya que la tensión crece más rápida, por lo que si se tiene en cuenta el mismo valor de tensión que en carga lenta, nuestro ensayo alcanzaría en un pequeño instante de tiempo, comparándolo con bajas razones de carga, y como consecuencia, nuestra celda prácticamente no se habría cargado.

- Detección por límite de tiempo: Es la manera menos restrictiva, ya que dicho límite no es útil para todo tipo de cargas. El límite de tiempo es diferente en función de la intensidad de carga a la que se realiza el ensayo. No sería igual para cargas rápidas que para cargas lentas. En este proyecto al tratarse de cargas lentas a 0,2C, es decir, a 2,2 Amperios, marca la norma que el límite de tiempo puede estar entre las siete u ocho horas de carga.

Aun así resulta eficaz para implementarlo como detector de fin de carga de seguridad, en el caso en el que la programación del ensayo de carga haya aparecido algún error, que haga perder el control del mismo.

Los métodos escogidos en nuestro proyecto para detectar el fin de carga, es derivada negativa $-\frac{dV}{dt}$, límite de tensión y límite de tiempo. Aunque estos tres métodos son fiables, el más exacto sería el de cambio de pendiente en la tensión. Si bien es cierto que el primer método que detecta el fin de carga es el límite por tensión, ya que es el primero que se alcanza. Con este se pierde algo de capacidad, pero nos aseguramos no entrar nunca en sobrecarga. El límite que se ha escogido es de 1,82 Voltios, determinado de manera empírica una vez realizados numerosos ensayos.

La manera en la que se ha realizado la implementación del método de detección de carga por cambio de pendiente se puede ver en el

CAPÍTULO 10 ANEXOS donde se encuentra todos los códigos de programación de ensayos creados para este proyecto.

3.7 ACEPTACIÓN DE CARGA

La estimación de la aceptación de carga, permite conocer en qué estado se encuentra nuestra batería, y determinar la eficiencia entre la energía aportada a la batería y la cantidad energía eléctrica que se almacena.

El método Amperios hora calcula la capacidad restante simplemente mediante la acumulación de carga transferida dentro o fuera de la batería. Para la realización de este método, requerimos inicialmente saber la situación en la que se encuentra nuestra batería. [32]

Una vez conocida la situación inicial, es sencillo establecer una idea del estado de nuestra batería. Simplemente puede ser calculado mediante la integración de la corriente de carga o descarga durante el periodo en el que permanece cargando o descargando. Sin embargo, hay que destacar que la carga liberada es siempre ligeramente menor que la carga o descarga que suponemos mediante el método de la contabilización de Amperios hora, ya que se producen pérdidas durante el proceso.

Una vez explicada una de las maneras de contabilizar la aceptación de carga de nuestra batería, se expondrán las características teóricas de este proceso.

Durante el proceso de carga en baterías Ni Cd, tal y como acabo de mencionar, no toda la energía suministrada por el equipo de carga se convierte en energía almacenada. La aceptación de carga es la relación entre la capacidad descargada y la capacidad suministrada a la batería durante un ciclo completo de carga-descarga.

$$\eta = \frac{\int I_d \cdot dt_d}{\int I_c \cdot dt_c} \quad (3.5)$$

I_d Corriente durante la descarga de la batería

I_c Corriente durante la carga de la batería

A lo largo del proceso de carga, nuestra batería pasa por diferentes niveles de aceptación.



Fig. 3.13 Niveles de aceptación de carga

El nivel de aceptación durante la zona marcada como 2 en la Fig. 3.13, es la zona donde mayor aceptación se produce. En esta, es donde prácticamente toda la energía suministrada se transforma en energía disponible durante la descarga. Por tanto, estos son los niveles de tensión donde nuestra batería debe permanecer el máximo tiempo posible para ganar en aceptación de carga, y obtener el máximo rendimiento de nuestra batería.

Durante la zona siguiente, nuestra batería está cercana al 100% de su capacidad. En esta zona existe una bastante menor cantidad de material activo que convertir en los electrodos de la batería y la corriente de carga comienza a favorecer la producción de gas y aumento de la temperatura.

En la última zona, es donde se produce la sobrecarga, donde prácticamente toda la corriente de carga conduce a la generación de gas y a aumentos de temperatura.

Este sería el comportamiento de nuestra batería, en lo que a niveles de aceptación de carga se refiere.

3.8 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LAS BATERÍAS

En este apartado se comenta la influencia que tiene la temperatura sobre el funcionamiento de las baterías electroquímicas. Tanto la temperatura interna de la celda, así como la temperatura ambiente. Se tratará, dentro de la parte del proyecto que se centra en presentar las principales cuestiones teóricas para comprender el funcionamiento de una batería, de dar una explicación desde un punto de vista teórico, de la influencia en las propiedades de la batería electroquímica, así como en sus parámetros.

La temperatura se puede afirmar que es una de las propiedades más significativas en el funcionamiento de una batería electroquímica. El margen al que pueden ser sometidas es muy amplio, desde temperaturas bajo cero a temperaturas que pueden llegar a superar los 40 grados [21]

Antes de entrar en una explicación más teórica de cómo funciona térmicamente las baterías, expondré un primer ejemplo de una de las propiedades que se influyen por la temperatura a la que trabaja la celda. [33]

Sometiendo a la batería a un proceso de descarga y de carga en tres distintas temperaturas, se puede concluir de cuanta influencia tiene. En esta exposición de resultados experimentales, nos centraremos en cuán rápido descarga y carga una celda Ni-Cd a -20°C , 0°C y $+20^{\circ}\text{C}$. Para una corriente dada de 70 A, se observa que la batería descarga más rápidamente cuanto más baja es la temperatura. El tiempo de descarga aumenta con el aumento del valor de temperatura.

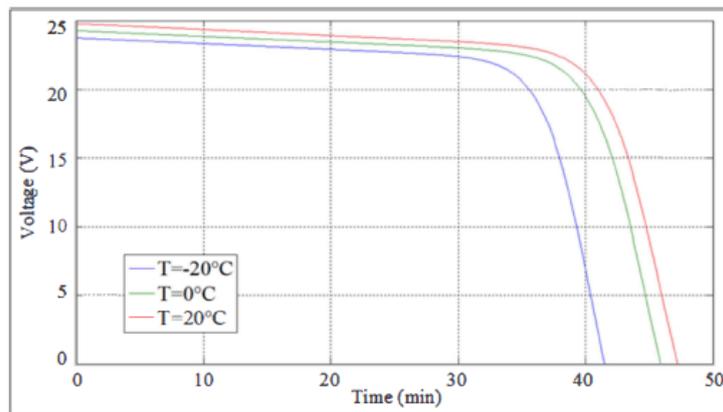


Fig. 3.14 Tensión en carga a diferentes temperaturas [33]

Como se puede observar en la figura 3.12 para una misma corriente la capacidad de descarga es ampliamente mayor en el ensayo a -20°C , comparándolos con los otros dos ensayos.

Por otra parte, se realizó el ensayo para un proceso de carga, a una corriente fija de 10 A y los mismos valores de temperatura anteriores. Se determina que la batería carga más rápida cuando la temperatura es mayor.

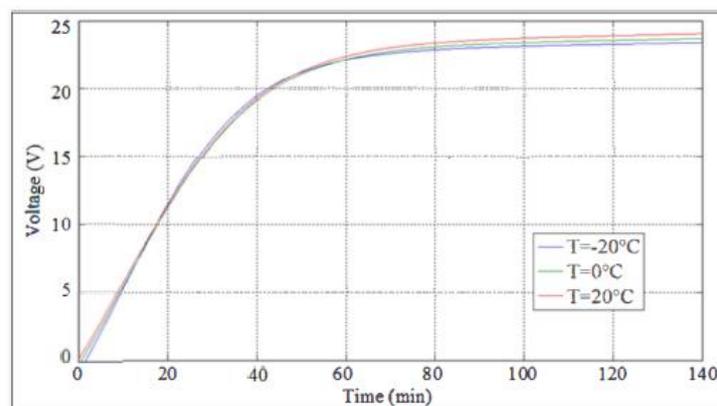


Fig. 3.15 Tensión en carga a diferentes temperaturas [33]

Con esta exposición de estos resultados experimentales, quería introducir la influencia que tiene la temperatura en el comportamiento de las baterías electroquímicas de Ni-Cd.

El comportamiento de la celda electroquímica referida a la temperatura de trabajo y del ambiente, se puede explicar desde aspectos químicos del electrolito y el electrodo, a través de la composición de cada una de las partes de las que están formadas y de cómo éstas reaccionan con la temperatura.

Un análisis térmico empírico se centra en el calor generado en la batería en el proceso de carga o descarga, el calor intercambiado con el ambiente y el calor acumulado dentro de la batería.

El calor que se genera en los procesos es una mezcla de componente eléctrica y otra química. El calor eléctrico se produce siempre ($I^2 \cdot R$), ya que por la celda circula corriente, mientras que la componente que tiene lugar en el proceso químico puede generar calor o absorber dependiendo de si la reacción que se produce en el interior de la celda es exotérmico o endotérmico, esto dependerá del estado de carga.

El calor intercambiado con el ambiente se debe a la diferencia que existe entre la batería y el ambiente de trabajo en el que se encuentra la celda.

Podemos establecer que la acumulación de calor está relacionada con la variación de temperatura que tiene lugar en función del tiempo. [34]

Por tanto, se puede observar que la temperatura ambiente es influyente en el proceso.

A pesar de no ser objeto de investigación la realización de ensayos a distintas temperaturas, la influencia en las características de una celda, se ha considerado que presenta una reseñable importancia su conocimiento, al menos teóricamente. De esta manera se puede poder comprender algunos de los sucesos que se tienen lugar en una batería electroquímica.

En el estudio del funcionamiento de las baterías su valor influirá en todos los parámetros: Capacidad, tensión, resistencia interna, eficiencia, etc.

A continuación presentaré la influencia que tiene en cada una de las distintas características que se pueden estudiar en una batería electroquímica: [21], [35]

- Tensión: La relación que tiene la tensión con la temperatura ambiente es inversamente proporcional, a temperaturas bajas la tensión es superior a la nominal, mientras que a altas el valor que presenta la tensión disminuye. Como se ha presentado al inicio del apartado, en el ensayo experimental, es más influyente en los procesos de carga que de descarga.
- Capacidad: A menor temperatura de ambiente la capacidad disminuye, aunque cabe destacar que esto es realmente aplicable en los procesos de carga al igual que la tensión.

- Aceptación de carga: Durante la carga no toda la capacidad entregada puede ser utilizada en la descarga en un tiempo finito. Pero en función de la temperatura se podrá conseguir entregar más o menos en función de la temperatura a la que se lleve a cabo el intercambio de electrones. En ambientes fríos la aceptación es mayor, que en ambientes más cálidos.

- Eficiencia energética: Se puede explicar de la misma manera que la aceptación. No toda la energía entregada se convierte en energía almacenada disponible para la descarga, Parte de esta energía se pierde en forma de gases en la reacción y en la generación de calor que tiene lugar, como se ha explicado anteriormente. Generalmente, cuando las temperaturas de trabajo está lejos de la temperatura idónea de trabajo $\approx 20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, la eficiencia disminuye.

- Temperatura interna: Tras lo comentado con anterioridad acerca de las reacciones exotérmicas que se produce en la carga de la batería, es fácil, declarar que con el aumento de la temperatura de trabajo la temperatura interna aumentará más lentamente , además este aspecto también está relacionado con la razón de carga a la que la sometamos, incrementará más o menos.

- Resistencia equivalente: La temperatura es un factor muy influyente sobre el valor de la resistencia interna equivalente. La resistencia interna equivalente representa parte del comportamiento químico de las reacciones que tienen lugar en la batería, como se aprecia en la expresión.

- Auto descarga: es sabido que la auto descarga se produce cuando no se realiza uso de la batería y las condiciones de temperatura en las que esta almacenadas las baterías. Hay una pérdida de capacidad de la batería a diferentes temperaturas, una mayor autodescarga a temperaturas elevadas.

También existen otros numerosos efectos que se producen relacionados con la tensión, como sobrecargas en la batería que lleva a la pérdida de electrolito y puede causar pérdidas de las propiedades.

El componente electrolítico interno también hay que tenerlo en cuenta ya que a temperaturas bajas se vuelve muy denso con lo que la transferencia de electrones entre los platos positivos del Ni y los elementos alcalinos del Cd se dificulta, produciéndose así el aumento en la resistencia interna. En cambio, a temperaturas altas el electrolito puede llegar a evaporarse parte de él con la consiguiente pérdida de material y el aumento excesivo de la temperatura interna en el proceso exotérmico que se llevaría a cabo.

3.9 RECUPERACIÓN DE LA BATERÍA

A lo largo del presente proyecto se ha llevado a cabo una exposición teórica, acerca de distintas definiciones teóricas de los conceptos de una celda electroquímica, así como de los dos ensayos fundamentales a los que se puede someter a una batería, como son el de acondicionamiento y caracterización.

A continuación, se llevará a cabo una explicación teórica del objetivo fundamental de este proyecto, que se trata de la recuperación de las propiedades de una celda cuando esta se encuentra envejecida prematuramente. Durante éste, nos centraremos en observar y analizar el efecto en la capacidad que presenta una batería, antes de envejecer prematuramente, envejecida prematuramente y una vez se le ha efectuado el método de recuperación de capacidad escogido. Los ensayos y análisis de los resultados de los procesos que se han llevado a cabo durante este proyecto que se presenta, serán comentados, analizados más adelante en los capítulos 5 y 6. Ahí es donde se citarán las conclusiones que se obtienen de este proyecto fin de carrera de investigación y se explicará si hemos sido capaces de recuperar parte de la capacidad de nuestra celda.

Hoy en día, la demanda de baterías secundarias ha crecido incesantemente. El uso de teléfonos móviles, ordenadores portátiles u otros tipos de aparatos electrónicos ha conllevado a un desarrollo de este tipo de servicio y consecuentemente una mejora en las baterías. El referirnos a una mejora, conlleva centrarse en aquellas baterías secundarias usadas que por cualquier razón su funcionamiento ya no es el óptimo por lo que ligado al crecimiento de estas va el aumento de desperdicio. A través de esta introducción se quiere dejar constancia, que las baterías una vez que no realiza la función requerida hay que deshacerse de ellas y para ello se puede realizar de dos maneras, bien reciclándolas de tal manera que suponga un mínimo impacto ambiental o bien recuperando en parte las propiedades iniciales. [36]

Uno de los objetivos del presente proyecto es la recuperación de la batería (“*battery recovery*”), es decir, conseguir en una batería usada o estropeada, volver a obtener de ella las propiedades iniciales que de una celda electroquímica se suponen. El término estropeado, hace mención a todas aquellas baterías que al haber realizado diferentes ensayos, con mejores o peores resultados, ha conllevado a pérdida en las propiedades iniciales como, capacidad de carga y descarga, valores nominales de parámetros internos, resistencia interna, resistencias de los circuitos tanque al que se modela el comportamiento, tensión obtenida en circuito abierto, estado de carga., etc.

A parte de este caso, también se da el caso con baterías no usadas. Las celdas que se encuentran almacenadas durante mucho tiempo, pierden el óptimo comportamiento de la misma, debido al largo periodo de relajación en el que se encuentra, a pesar de encontrarse en condiciones de temperatura ambiente como 23°C.

Por tanto, a lo largo de este apartado, se ha tratado de hablar del reciclaje de baterías usadas, así como de la recuperación de las mismas.

El reciclaje no se puede tratar como una cuestión sin importancia, ya que estas contienen numerosos materiales contaminantes, además, estos se pueden encontrar en

gran cantidad. En las baterías de Ni-Cd nos podemos encontrar con materiales como Níquel, Cadmio, Cobre, Cobalto, Platino, Rodio, Oro Hierro, ácido sulfúrico. [37]

Uno de los métodos más usados para el reciclaje es el “Proceso a alta temperatura de recuperación del metal” (*The high temperatura metal recovery process*). A través de este proceso, se es capaz de reutilizar el Níquel u otros metales, logrando su reutilización.

El proceso se desarrolla de la siguiente manera. Lo primero de todo es añadir una serie de aditivos a nuestros metales, ya se encuentren en estado sólido o líquido, que hacen la función de agentes reductores, como podría ser el carbón. A continuación, la mezcla de este conjunto es calentado a más de 1000°C. A lo largo de este calentamiento, el agente aditivo reacciona con el oxígeno en el metal de desperdicio, ayudando a reducir los desechos metálicos. El gas producido en este proceso que es descargado a un depurador húmedo, será sometido a tratamiento en una planta de tratamiento de agua. De esta manera lo desprendido a la atmosfera se trata de vapor de agua a lo largo de todo este proceso de combustión.

Una vez reducido la cantidad de desperdicio metálico, tiene lugar la fundición del Níquel o cualquier otro metal, que una vez fundido es depositado en moldes donde se dejan enfriar y se da forma al nuevo metal recuperado. A través de este proceso se consigue un gran tanto por ciento de recuperación de nuestros metales. Tabla 2

Ni	Cr	Co	Cr	Fe	Mn
98	92	97	89	96	60

Tabla 2 Recuperación de materiales tras ensayo “The high temperatura metal recovery process” [37]

Este método presentado, no deja de ser uno más de los muchos que existen para el reciclaje o recuperación de los metales presentes en una celda electroquímica que ha dejado de dar las prestaciones que se le requieren. A través de él se ha querido dar a entender que existen maneras para de volver a dar uso a parte de la batería. Mediante la manera de reciclado, recuperación de los metales. [38]

Una vez se ha comentado el reciclaje, nos vamos a centrar en explicar la manera de recuperar, no los metales, sino el uso de la batería.

A lo largo de los ensayos, se va sometiendo a la batería a procesos de carga y descarga que pueden hacer perder las propiedades nominales como se ha comentado anteriormente. Uno de los sucesos más recurrentes es la entrada a lo largo de un ensayo en la zona de sobrecarga, hecho que conlleva a la pérdida de las condiciones óptimas de uso de la batería

A continuación, se citan alguna de soluciones planteadas para lograr recuperar la batería:

Reemplazar el agua del interior de una celda electroquímica, es una recuperación momentánea, ya que no se recupera la totalidad de la capacidad, sino que simplemente una parte de ella, esto no es una solución ya que no aborda el problema en sí.

La instalación de un catalizador en una celda usada sólo ayuda a recuperar una cierta cantidad de la pérdida de capacidad, a pesar de que ayudará en la restauración de los potenciales apropiados a las placas negativas.

Aplicar una carga con tensiones recomendadas por el fabricante solamente, indica la norma y el fabricante [23], [10] puede recuperar una cierta cantidad de la capacidad perdida.

La unión entre ellas es lo que puede llevar a conseguir la recuperación de nuestra celda electroquímica. Reemplazar el agua que se haya podido perder a lo largo del uso que se haya dado a nuestra batería a lo largo de su vida y la instalación de un catalizador en el espacio interior de nuestra batería somos capaces de recuperar y mantener la mayor cantidad de capacidad útil, además de esta manera nos dirigimos a la raíz de la causa de que es la pérdida prematura de la capacidad [40].

Para la instalación de un catalizador nos encontramos que en el laboratorio donde se realiza el proyecto no se tienen los medios ni los conocimientos como para manipular internamente una celda electroquímica. Además de lo peligroso que podría resultar manipular los metales interiores.

Una vez expuesto diferentes métodos estudiados, se va a exponer cuál ha sido el método utilizado y cómo se ha implementado en el presente proyecto para recuperar las propiedades, como la capacidad en las baterías disponible en el laboratorio.

Para realizar nuestro proceso de recuperación, nos hemos basado en algunos métodos estudiados cómo los que se han expuesto con anterioridad, en especial, el ensayo a una tensión constante impuesta por el fabricante y la norma UNE 60623.

Por tanto, al proceder con este ensayo no se tenía constancia de los resultados a obtener, ya que, está comprobado que se puede recuperar una parte de la capacidad. Pero ello se desconocía el tiempo de carga al que hay que someter a la celda, o el número de ensayos a realizar.

En la figura adjuntada a continuación, Fig. 3.16, se aprecia que los valores nominales no son los teóricamente correctos para una celda SPH11. Se observa a simple vista, que la capacidad y aceptación de carga están muy por debajo de lo que se obtiene en los ensayos de acondicionamiento, recomendados por el fabricante y norma [23].

En los ensayos realizados siguiendo estas recomendaciones somos capaces de cargar nuestra batería durante un periodo de siete horas con una razón de carga de 0,2C, lo que significa una aceptación de carga de 15,4 Amperios.

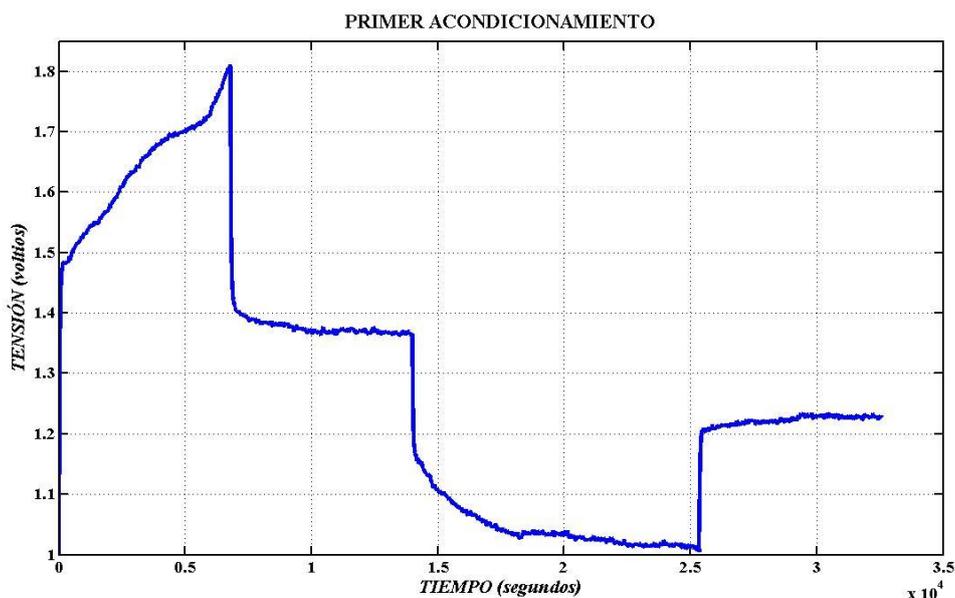


Fig. 3.16 Batería envejecida prematuramente: Ensayo de acondicionamiento

Se ha desarrollado un programa que permitiera hacer una carga a tensión constante durante un tiempo dado. A este proceso de carga constante se le llama aceptación de la carga a tensión constante. [23]

El objetivo de este ensayo, y en lo que nos hemos basado para conseguir a través de él la recuperación de nuestra batería, es hacer permanecer a nuestra batería en los niveles de tensión donde se existe menor pérdida de carga. De esta manera, sometemos a nuestra batería a presentar unos valores de tensión durante los cuales no se produce generación de gas por aumento de la temperatura.

El valor de la tensión al que se ha sometido a carga nuestra batería es de 1,455 Voltios, dicho valor fue tomado de lo recomendado por la norma UNE-EN 60623 [23].

El ensayo experimental de este proceso consiste en forzar a nuestra celda empobrecida a estar recibiendo electrones a la tensión constante dada.

Debido al equipo de ensayos que se dispone, esto se ha conseguido gracias a la integración de una ganancia. Esta ganancia, es un valor constante, que en el momento en que el valor de la tensión supera el nivel marcado en la norma para este modelo de baterías UNE-EN 60623, hace reducir nuestra corriente en la batería, con lo que ello conlleva un descenso en el valor de tensión y así cíclicamente.

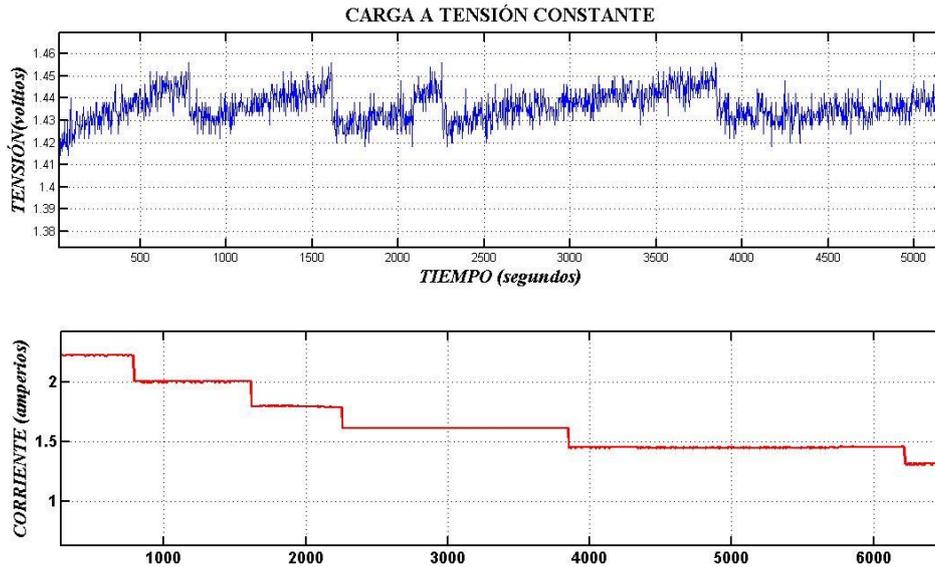


Fig 3.17 Carga a tensión constante, disminución de la corriente.

De esta manera conseguimos forzar a nuestra batería a ser cargada en unos valores de aceptación de la carga que podemos suponer como constantes.

$$I_{bat} = I_{bat} * G \tag{3.6}$$

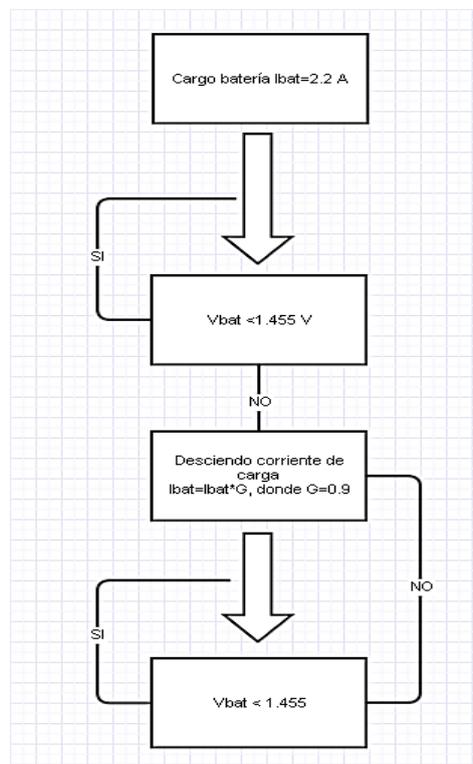


Fig. 3.18 Ensayo de aceptación de la carga a tensión constante

Inicialmente se somete a una carga de 2,2 A, 0,2C de razón de carga, hasta que la tensión toma valores de 1,455 Voltios, el cual comienza a desarrollarse un bucle en el cual se va descendiendo nuestro corriente de carga, en valores de una ganancia (valor obtenido a través de la práctica y prueba del ensayo) siempre que la tensión alcance el valor de tensión fijado.

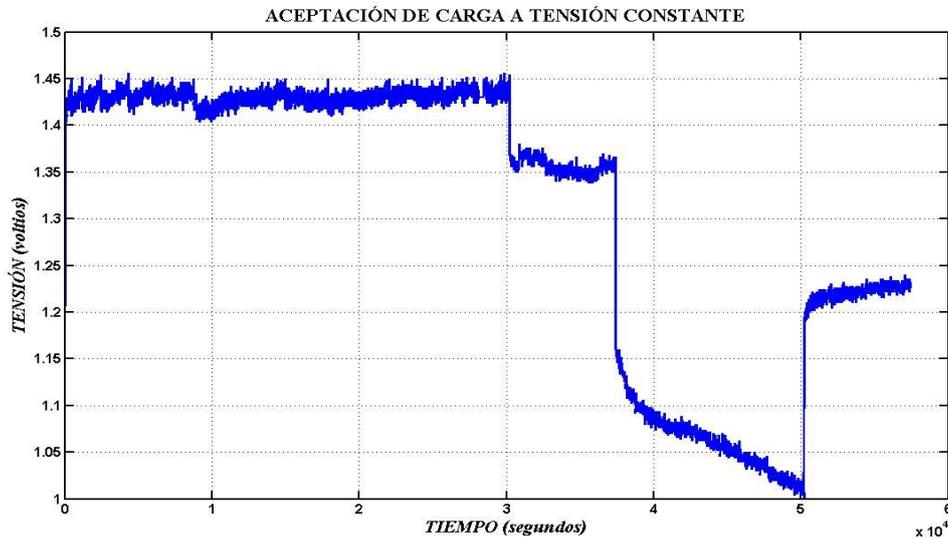


Fig. 3.19 Ensayo aceptación de la carga a tensión constante

Si nos damos cuenta, nunca llegamos a entrar en estado de relajación, sino que vamos forzando a la corriente de carga, disminuyendo su valor. De esa manera estamos consiguiendo que al disminuir la corriente Fig. 3.20, el comportamiento de la batería se asemeja a un estado de relajación.

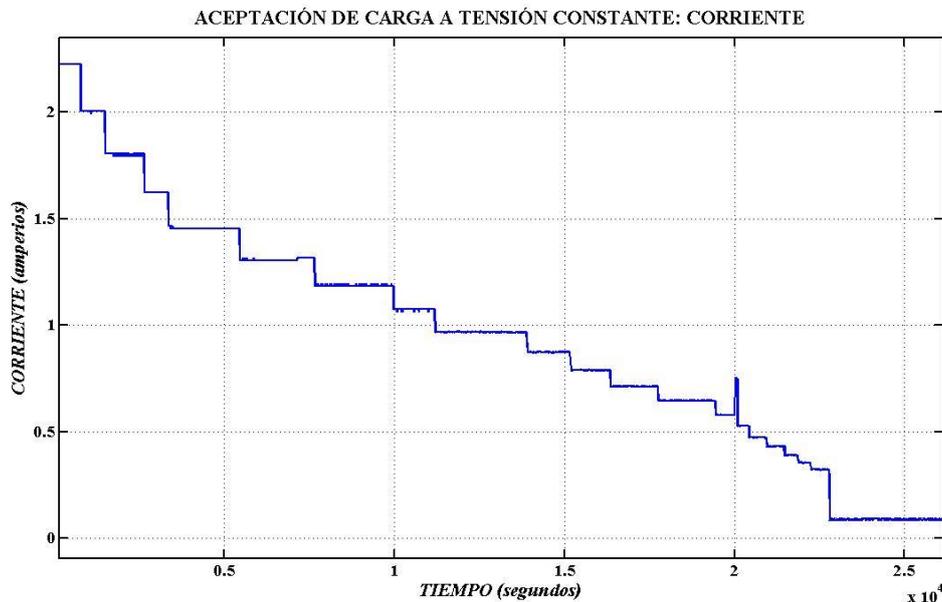


Fig. 3.20 Ensayo de aceptación de la carga a tensión constante, corriente real en la batería

Los resultados de lo conseguido a través de este proceso serán expuestos y comentados más adelante, junto al resto de ensayos llevados a cabo en el presente proyecto CAPITULOS 5 y CAPITULO 6.

CAPÍTULO 4 SISTEMA CARGA-DESCARGA DE LA BATERÍA Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

4.1 INTRODUCCION

En el laboratorio de GSCP donde se realiza el presente proyecto, existe un banco de ensayos de anteriores proyectos fin de carrera o tesis doctorales. A lo largo del presente proyecto se han realizado algunas series de mejoras. Estas principalmente consisten en la automatización de los ensayos, el control y seguridad de los mismos. Así mismo se han depurado, mejorado y optimizado la programación y código de los ensayos.

Además se ha implantado una interfaz gráfica, que permite conocer la evolución de nuestro ensayo en tiempo real.

4.2 EQUIPO CARGADOR DE BATERÍAS

Los instrumentos más importantes con los cuales se estudia las posibles opciones de montaje son 2 fuentes de alimentación que pueden dar una tensión o intensidad constante, según se requiera.

El circuito del equipo cargador de las baterías es el siguiente:

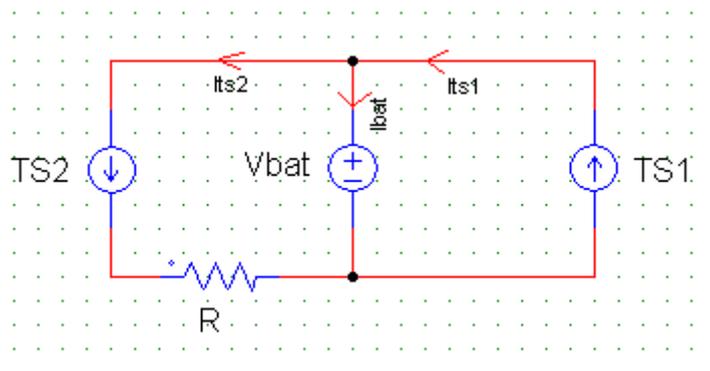


Fig. 4.1 Circuito del equipo de ensayos

La ecuación que rige este circuito es la ley de nudos, ley de Kirchhoff:

$$I_{bat} = I_{ts1} - I_{ts2} \quad (4.1)$$

En el circuito podemos diferenciar 2 mallas, cada una de las cuales cumple una función:

La malla de la derecha, fuente de alimentación TS1, se encarga de cargar la batería. Es un circuito bastante simple, la intensidad proporcionada por la fuente de alimentación se entregará completamente a la batería por su polo positivo para que esta pueda ser cargada, salvo por la intensidad que pida la malla de la izquierda.

La malla de la izquierda, fuente de alimentación TS2, se encarga de descargar la batería. El polo positivo de la fuente de alimentación está en sentido contrario al de la batería para que la intensidad proporcionada por la fuente haga que la batería tenga que actuar en modo de descarga. En este circuito existe una resistencia 'R' encargada de disipar la potencia entregada por la batería.

Esto es el esquema y explicación eléctrica del circuito para la carga o descarga de la batería. A pesar de ser la parte más importante del banco de ensayos no es lo único, ya que este está formado por elementos de seguridad y hardware de automatización.

A continuación se explicará más detenidamente cada una de las partes del equipo de carga-descarga de nuestras baterías.

4.2.1 Resistencia:

La principal función de la resistencia en el circuito es la de disipar potencia. El valor de dicha resistencia se ha sobredimensionado para evitar cualquier tipo de problemas.

$$P_R = (I_{TS2})^2 \quad (4.2)$$

donde:

PR : Potencia absorbida por la resistencia.

ITS2: Intensidad entregada por la fuente de alimentación de la malla de descarga, TS2.

R : Valor en ohmios de la resistencia.

Su valor en ohmios es $4,7\Omega$ (debido a tolerancias u otras causas el valor de cada resistencia es aproximadamente de 5Ω) con una potencia máxima de 200W. La intensidad máxima a la que se va a trabajar en descarga es a 1C, lo que equivale a 11A.

Siendo así una sola resistencia la potencia sería muy grande para dicha resistencia, por tanto se ha elegido montar 3 resistencias en paralelo para disminuir la resistencia equivalente y así poder soportar más potencia, y como consecuencia a la menor Req la potencia a disipar será menor también.

$$Req = \frac{R}{3} = 1,67 \Omega \quad (4.3)$$

Por tanto la potencia máxima a disipar en nuestras baterías SPH 11, suponiendo que no superaremos los 11 A es de:

$$P_R = (11)^2 \cdot 1,67 = 202,07W \quad (4.4)$$

Por lo que esta potencia es menor que la que puede soportar entre las tres por separado $3 \cdot 200W = 600W$, por tanto está bien dimensionado.



Fig. 4.2 Equipo de ensayos: Resistencias

Hay que destacar que se ha incorporado un ventilador reciclado de una CPU para dar ventilación constante a las resistencias durante los ensayos, y de esta manera evitar sobrecalentamientos en ellas.

Este ventilador requiere de una fuente de corriente continua de 12V. Para ello hemos utilizado un convertidor reciclado de una CPU que se detallará más adelante.

4.2.2 Fuentes de alimentación:

Son los elementos clave en este proyecto. Se encargan de dar unas intensidades constantes (donde su valor dependerá del índice de carga impuesto) para la carga y descarga de las celdas.

Las fuentes de alimentación utilizadas transforman la tensión de la red, corriente alterna trifásica de 400v, a una corriente continua donde el valor será el que se le imponga en cada momento. Se trabaja a intensidad constante ya que es el método de carga más eficiente según se puede ver en apartados anteriores, además de ser el método de carga impuesto por el fabricante de las baterías.

Las fuentes de alimentación utilizadas son Magna-Power Electronics Serie III, TSD500-20, donde su tensión máxima es 500v y su intensidad máxima es 20A, suficiente para la realización de los ensayos previstos.

Estas fuentes de alimentación pueden ser controladas a distancia, desde un ordenador mediante un software de programación utilizando la comunicación GPIB.

Las fuentes de alimentación utilizadas están diseñadas para proporcionar corriente y tensión, dan una determinada potencia, pero no para absorber potencia. Las tensiones de las fuentes han de ser positivas en todo momento. De esta manera la disposición en anti paralelo de las mismas, proporciona la intensidad deseada por la batería.



Fig. 4.3 Equipo de ensayos: Fuente de alimentación

4.2.3 Osciloscopio:

Es necesaria la implementación de un instrumento de medida de voltaje en el proyecto para la toma de datos. La recogida de los valores de tensión en cada momento es la prioridad de los ensayos a realizar, por lo que se necesita de un aparato que recoja esos datos de la forma más precisa posible. Como ya vimos en el apartado anterior, las fuentes de alimentación no recogen los valores de tensión con suficiente exactitud por lo que la integración de un osciloscopio es obligatoria. En el presente proyecto además de la lectura de dato de tensión se ha incluido la toma de datos de corriente real por la batería, a través del canal 2 del osciloscopio.

El osciloscopio utilizado finalmente es el Rigol DS1022C



Fig. 4.4 Equipo de ensayos: Osciloscopio

Para la lectura de los datos aparte del osciloscopio hay que acoplar una sonda para lectura de tensión y otra para la lectura de corriente.

La sonda utilizada para la lectura de tensión es la TESTES TT-SI9002 disponible en el laboratorio.

Para poder alimentarla hay 2 opciones: Batería o conexión a una fuente de corriente continua de 6v. Debido a los largos periodos a los que se va a someter los instrumentos, no es aconsejable el depender de unas baterías, por lo que se opta por conectar la sonda a la corriente continua proporcionada por el convertidor disponible en el circuito.

La sonda utilizada para la lectura de corriente es una sonda de corriente limitada a 5 Amperios, lo cual no afecta, ya que nuestros ensayos presentan una intensidad máxima de 2,2 Amperios.



Fig 4.5 Equipo de ensayos: Sonda de tensión

- Sonda de Corriente:

Una de las grandes mejoras en el presente proyecto, es la incorporación al set up de una sonda de corriente.

La sonda elegida, ha sido una de las que había en el laboratorio, más concretamente, una sonda efecto hall, con posibilidad para transformar la señal de tensión y corriente, aunque en este caso sólo se ha utilizado para la corriente.

Esta sonda elegida, incorporada en serie en el circuito, tiene la función de abrir el circuito y ser capaz de transformar la corriente que circula por ella para poder ser registrada y leída por el osciloscopio. De esta manera somos capaces de medir la corriente real que circula por la batería.

En proyectos anteriores a este, se obtenía la corriente realizando un balance a través de las fuentes de alimentación, pero como se ha comprobado al instalar la sonda de corriente, esta, aun no siendo una mala referencia, no podríamos haberla usado en este proyecto, que se centra en la recuperación de baterías, fijándonos entre otras propiedades en la eficiencia Amperios Hora que acepta nuestra batería.

Al principio del proyecto se referenciaba la corriente que circula por la batería a la corriente de consigna que nosotros transmitíamos a las fuentes de alimentación. Pero, al igual que en lo realizado en trabajos anteriores, esto no era real, por lo que se buscó una solución, que fue la de instalar una sonda de corriente.

La implementación de esta, trajo consigo varios inconvenientes.

Primero de todo, esta está acotada a 5 Amperios. Sin embargo, esto no nos supone ningún problema, ya que nuestro proyecto no tiene como objetivo, la realización de ningún ensayo a carga rápida, ya que todos presentan como intensidad más elevada 2,2 Amperios. Por lo que, en futuros proyectos, debe ser tenido en cuenta este aspecto, si se desea realizar ensayos con intensidad superiores a 5 Amperios.

Segundo y más importante, era el problema que esto supondría a nuestro set up acerca del conflicto de comunicación entre el osciloscopio y nuestro ordenador. No podíamos conocer, si la lectura de datos podría tener conflictos a la hora de transmitirse

remotamente a través del el cable de comunicación RS232. Al inicio de la implementación, nos encontrábamos que cuando los ensayos llevaban un largo periodo de tiempo, la lectura de datos entraba en conflicto produciéndose errores de lecturas durante un ligero periodo de tiempo. Esta cuestión, era un gran problema, ya que cuando nuestro software pedía la lectura de un dato, este no era recibido, dando lugar a constantes errores con lo que ello conllevaba una pérdida de comunicación y salida del programa, finalizando el ensayo sin haber concluido.

Tras varios ensayos de prueba, y varias idea, se terminó decidiendo la incorporación de un “delay” entre cada solicitud de lectura de datos. De esta manera, permitíamos a la comunicación el tiempo suficiente para que solicitara el dato, se transmitiera remotamente y fuera interpretado por Matlab. La duración del “delay”, con el cual nos aseguramos que difícilmente tendremos conflictos de lectura, es de 1 segundo. Aunque este es programable y lo variaremos en función de la frecuencia de muestreo que deseemos.

Con delays superiores a un segundo podemos asegurar que es realmente complicado, aun siendo ensayos de duración de hasta una semana, que nos encontremos con problemas de comunicación e interpretación de datos, cuando solicitamos la lectura de la tensión y corriente.

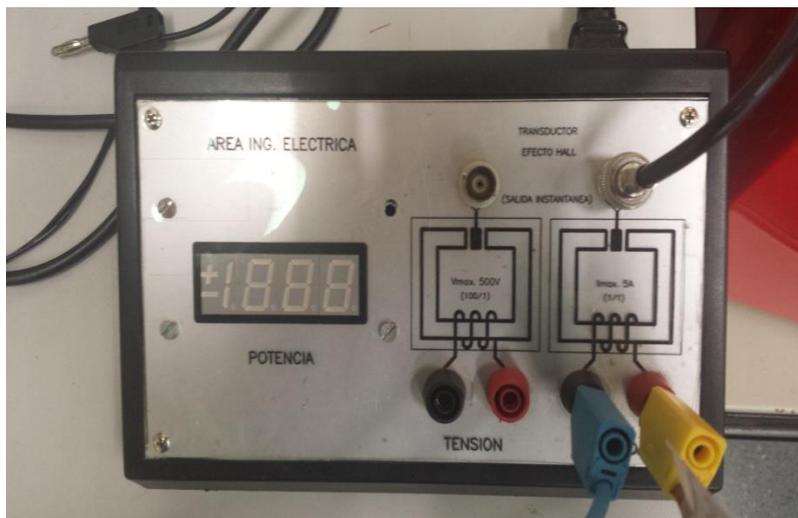


Fig. 4.6 Sonda de corriente

En el presente proyecto se ha optimizado el banco de ensayos de tal manera, que somos capaces de obtener la tensión y corriente real en todo momento que circula por nuestra batería. De esta manera, todo cálculo que realicemos para determinar cualquiera de las propiedades de materia de estudio, son realmente más precisas que todo lo que se había realizado, con el set up con el que se contaba.

4.2.4 Cámara Climática:

Para realizar los ensayos programados es necesaria una nevera. La nevera seleccionada para el proyecto ha de ser económica, con un display donde poder fijar el valor de la temperatura en el interior y compacta debido a que solo se utilizará una celda por ensayo.

La nevera seleccionada es la nevera iBOX EC-0318 la cual puede calentar y enfriar. Su temperatura puede llegar a dar una temperatura máxima de 65°C, aunque para los ensayos programados no es necesario llegar a tal temperatura, y su temperatura mínima es de 20°C por debajo de la temperatura ambiente, pudiendo llegar a alcanzar 4°C en condiciones óptimas.

Para poder introducir la batería se han practicado 2 agujeros a la puerta de la nevera y de esta manera poder introducir los cables necesarios para conectar la batería al circuito.



Fig. 4.7 Equipo de ensayos: Cámara Climática

4.2.5 Elementos de protección:

Debido a la automatización de los ensayos y su larga duración es necesario de dicha protección en caso de fallo en algún tramo del circuito. Se debe estar seguro que en caso de un fallo, la instalación quede completamente aislada y evitar así cualquier tipo de accidente.

Como elementos de seguridad se ha implementado los siguientes:

- Seta/pulsador: Es el primer elemento de protección a tener en cuenta. En caso de cualquier emergencia o si se requiere aislar el circuito por diversos motivos, el pulsador es el elemento principal. Su localización será cerca del puesto de trabajo, lejos del circuito de carga y descarga. El pulsador gobierna al contactor utilizado en el circuito. La seta es la encargada de cortar la señal de tensión que llega al contactor y así aislar las fuentes de alimentación del circuito. La seta

utilizada es un pulsador Telemecanique ZB2-BE 10* con un circuito normalmente abierto NA y otro normalmente cerrado NC, donde su tensión máxima es 400v y su intensidad máxima es 10A.

- Contactor: La señal de activación del contactor es la propia alimentación de las fuentes de alimentación. De esta forma, en caso de una caída de la tensión, por la causa que sea, las fuentes dejarían de funcionar y gracias al contactor se abriría el circuito, aislando las fuentes de la batería. En caso contrario, si no dispusiéramos del contactor las fuentes seguirían conectadas a la batería, y sin estar en marcha intentarían absorber potencia suministrada por la batería, cosa que queremos evitar a toda costa. El contactor utilizado es el Allen-Bradley 100-C12 01, se alimenta a 400v, por lo que se utiliza la tensión entre 2 de las 3 fases que alimentan las fuentes. Dentro de los circuitos que se puede utilizar del contactor sólo se necesitan 2 de ellos, normalmente cerrados, uno para cada malla del circuito.
- Interruptor magnetotérmico: Para una mayor protección a la hora de manipular las celdas, ya sea para la sustitución de ellas o por cualquier otra causa donde haya que entrar en contacto con los bornes de la batería, es aconsejable el proveer de un interruptor para aislar completamente la celda del circuito. El interruptor utilizado para dicho objetivo es un interruptor magnetotérmico Merlin Gerin multi9 C60N C16, con 3 polos y capaz de soportar intensidades de 16A.
- Elementos de control remoto: Esto se desarrollará más adelante, ya que ha sido una de las grandes aportaciones al equipo de ensayos. Gracias a la nueva implantación se consigue un control en cualquier momento en el que se esté realizando un ensayo.
- Convertido AC/DC: Con el convertidor se ha podido alimentar al ventilador con una de sus salidas, 12v, y a la sonda del osciloscopio con otra, 6v.

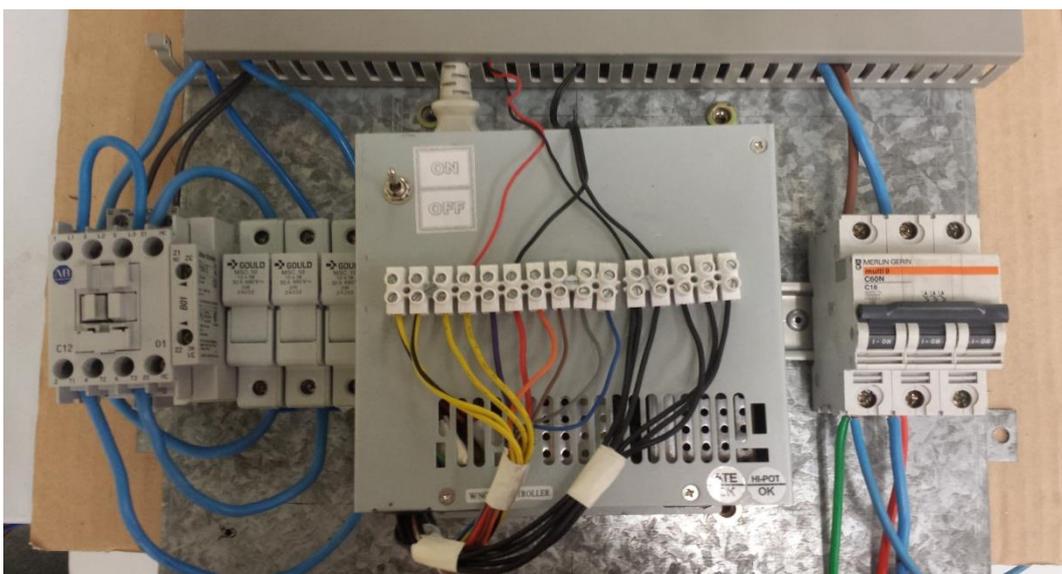


Fig. 4.8 Convertidor AC/DC y Elementos de protección.

- Cable de comunicación: Para la comunicación con los instrumentos de medida y generación, fuentes y osciloscopio, se ha utilizado cables RS-232, de 10 metros de distancia debido a que el puesto de trabajo está alejado del circuito por precaución. Aparte del cable RS-232 se han utilizado adaptadores USB/RS-232 para su conexión en el ordenador.

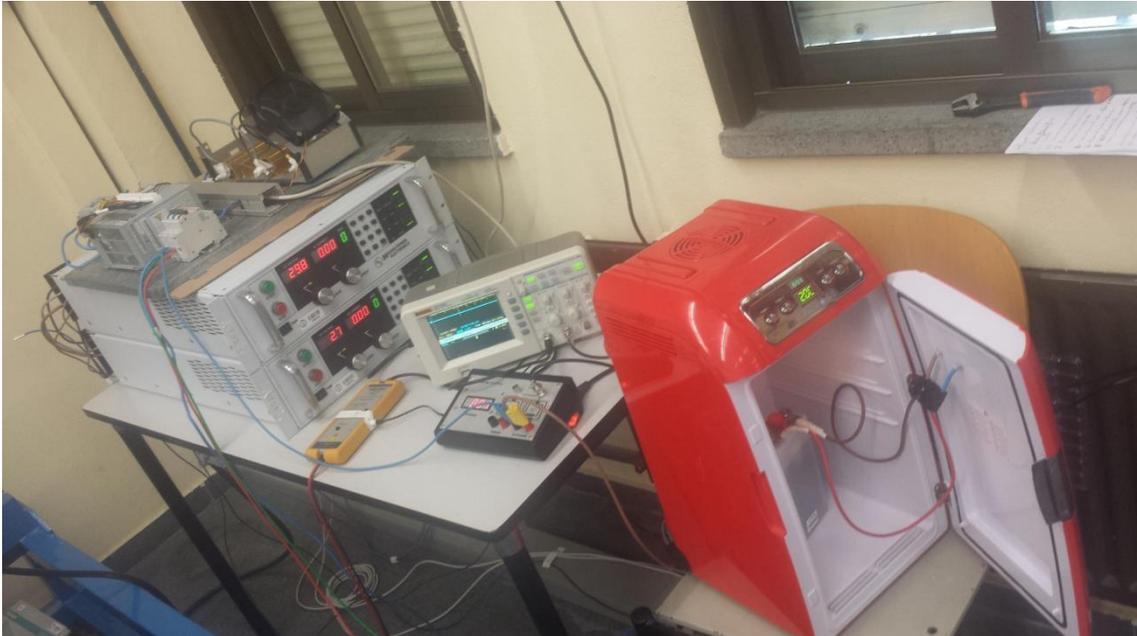


Fig. 4.9 Equipo de ensayos

4.3 AUTOMATIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

A la hora de comunicarse con las fuentes de alimentación y osciloscopio se necesita de un software y un tipo de comunicación para poder realizarse. El tipo de comunicación utilizado es la conexión GPIB y el software para llevarlo a cabo es el programa Matlab.

4.3.1 Configuración de los instrumentos:

Antes de la posibilidad de comunicarse con los instrumentos hace falta configurarlos de forma que no haya ningún problema en la comunicación y los datos recibidos sean los que se espera.

- Fuente de alimentación: Para habilitar el control remoto a través del cable RS232 de la fuente de alimentación, esta debe estar configurada para el modo de programación externa (EXT PGM). Para establecer el modo de programación externa se debe configurar utilizando el panel frontal, siguiendo los siguientes pasos:

Mientras está en standby, pulsar “menú”. De esta manera se podrá observar que “Conf” parpadea en la pantalla de voltaje.

Pulsar “Intro” mientras se muestra “Conf”. El led “REM SEN” ahora parpadeará en la parte derecha de la fuente de alimentación.

Pulsar el botón “Item” hasta que el led “REMOTE” parpadee.

Pulsa Intro mientras que el LED “REMOTE” parpadea para permitir la programación.

- Osciloscopio: Antes de configurar el control remoto del osciloscopio por medio del cable RS-232, este se debe configurar para poder adquirir unos buenos resultados sin que los valores de tensión obtenidos sean un problema a la hora de poder visualizarlos.

En el canal donde esté conectada la sonda poner que trabaja con corriente continua y su escala (en este caso la sonda trabaja con una escala de 1=20). Debido a que la sonda trabaja con una escala de 1=20 y el osciloscopio solo se puede configurar en 1=10 habrá que introducir en la línea de código un multiplicador x2 para obtener el valor real de la tensión.

Se introduce 500mV=div en el canal y un offset de -500mV para que se mantenga siempre en el centro de la pantalla del osciloscopio aun cuando la batería de sus valores más elevados.

Se introduce una base de tiempo de 100ms/div.

Dentro de Utility/Ajuste E/S, colocar 9600 Baudios y actualizar la conexión GPIB.

4.3.2 GPIB

GPIB (General Purpose Interface Bus) es un estándar de conexión el cual permite la comunicación entre unos instrumentos electrónicos de medida y un ordenador mediante los comandos SCPI.

Tanto las fuentes de alimentación como el osciloscopio son gobernados por control remoto a través de comunicación GPIB utilizando la lista de comandos SCPI.

Hay una amplia lista de comandos en ambos instrumentos, aunque para el presente proyecto son muy pocos los que se han utilizado. Para cada instrumento hay una un manual donde se especifican los comandos SCPI: [41]

- *IDN? Comando para reconocer el instrumento. Sirve para poder visualizar la marca y modelo del instrumento comunicado. Este comando es necesario para comenzar el control remoto en el osciloscopio.
- OUTP: START Comando para iniciar el funcionamiento de las fuentes de alimentación.
- OUTP: STOP Comando para parar el funcionamiento de las fuentes de alimentación.

- CURR X Comando para dar un valor de intensidad a la que se desea que trabaje las fuentes de alimentación.
- VOLT X Comando para dar un valor de voltaje a la que se desea que trabaje las fuentes de alimentación. Con este valor se puede fijar la tensión máxima de trabajo de las fuentes. Por ejemplo, si se desea una intensidad de 11A, pero llega un momento que la tensión de la fuente da un voltaje elevado para poder llegar a esos 11A (debido a una sobrecarga de la batería), entonces al fijar un voltaje máximo se asegura que la fuente no seguirá cargando y se mantendrá con una tensión flotante.
- MEAS: VOLT? Comando para recibir el valor de la tensión a la que está trabajando la fuente de alimentación.
- MEAS: CURR? Comando para recibir el valor de la intensidad a la que está trabajando la fuente de alimentación.
- : MEAS: VRMS? Comando para recibir el valor de la tensión que está visualizando el osciloscopio.
- : KEY: FORC Comando para interrumpir el control remoto con el osciloscopio.

“X” es un valor numérico cualquiera, en este caso indica el valor de la tensión o intensidad que queremos implementar a las fuentes de alimentación.

4.3.3 MATLAB

El software utilizado para la comunicación con los instrumentos principales del circuito es el programa Matlab. Dentro de este programa son dos las alternativas que se pueden tomar para llevar a cabo la comunicación con los instrumentos. Una de ellas es el uso de la herramienta *Instrument Control Toolbox*, donde de manera más gráfica e intuitiva se puede realizar una conexión con los instrumentos. Para utilizar esta herramienta es necesario instalar los drivers IVI de cada instrumento a manejar.

Otra alternativa para la comunicación es a través de línea de código con comandos SCPI. Es una forma más abstracta de realizar el control remoto pero no por ello difícil de ejecutarse. Esta manera ha sido la seleccionada para realizar la comunicación con las fuentes de alimentación y el osciloscopio.

- **Comunicación con los instrumentos:**

Para iniciar la conexión con los instrumentos es necesaria una lista de comandos a introducir en la línea de código de Matlab. Los comandos básicos de dicha comunicación son los siguientes:

Para iniciar su comunicación primero ha de crearse un objeto referido al instrumento a controlar. En dicho objeto se debe poner el puerto serie donde se ubica y la velocidad de transmisión de datos entre otras cosas. Más tarde se abre el objeto con el comando fopen para poder implementar acciones al instrumento. Ejemplo:

```
obj= serial ('COM1', BaudRate, '19800')
fopen (obj)
```

Para introducir acciones al instrumento el cual se ha creado la comunicación se debe introducir el comando fprintf junto con la acción que se desea enviar en comando SCPI. Ejemplo:

```
fprintf (obj, '*IDN?')
```

Para la lectura de datos se introduce el comando fscanf. Ejemplo:

```
Idn=fscanf (obj)
```

En este caso en particular idn sería la identificación del instrumento ya que el último comando introducido al objeto sería el *IDN?

Para cerrar la comunicación con el instrumento basta con introducir el comando

```
fclose. Ejemplo:
fclose (obj)
```

- Código:

Una vez conocido el software a utilizar y el tipo de comunicación con el que se comanda a los instrumentos ya solo falta implementar el código, para la automatización de los ensayos.

En este apartado se explica brevemente los archivos creados para la realización de los ensayos, así como las funciones donde tienen lugar la lectura de datos, y cálculo de parámetros. (*En los Anexos se puede encontrar el código de cada archivo.*)

- Comienzo.m: Este archivo es necesario antes del comienzo de cualquier tipo de ensayo. Las líneas de código impuestas en este archivo son obligatorias para abrir los puertos de comunicación con los instrumentos, identificación de los mismos, valores máximos de tensión en las fuentes y arranque de ellas.
- Cerrar_puertos.m: Archivo necesario para la finalización de los ensayos. En el se cierran los puertos, se apagan las fuentes y se corta la comunicación con los instrumentos.
- Acondicionamiento.m: Este es el archivo creado para realizar los acondicionamientos a las celdas. A través de él, obtendremos la capacidad de nuestra batería, la aceptación de carga que presenta así como la relación entre capacidad descargada y cargada.
- Aceptación_de_la_carga_constante.m: Este es el archivo creado para realizar el ensayo de aceptación de la carga a tensión constante, a través del cual mantenemos a nuestra batería durante un largo periodo de tiempo en carga. En él se desarrolla el método empleado para la recuperación de baterías.

- **Caracterización.m:** Este es el archivo, creado para la realización del ensayo de caracterización, a través del cual se pueden obtener los parámetros de los circuitos tanque a los que se modela el comportamiento eléctrico de nuestra batería.
- **Parámetros:** Este es el archivo, creado para la obtención de los parámetros en los que nos vamos a basar para poder detectar la recuperación de nuestra batería. Capacidad, Aceptación de carga, Tiempo de ejecución.

Las funciones creadas para la realización de los ensayos son:

- **Muestrea_todo:** Esta es una de las principales evoluciones de la programación de nuestros ensayos. Es la más importante, ya que a través de la llamada a esta función, se realiza la lectura de los datos, tanto de tensión, corriente y actualización del tiempo de ensayo. En el código de esta función, también está implementado el desarrollo del código de la interfaz gráfica. Esto último será más explicado a continuación. A través de la creación de esta función, hemos sido capaces de disminuir las líneas de código en más de la mitad, haciendo posible una mejor compresión de los programas de ensayos.
- **Fin_de_carga:** En esta función se realiza el bucle de comparación de la derivada de la tensión, para detectar donde se produce el cambio de pendiente negativo.

Estos son los archivos utilizados en el presente proyecto. Han sido totalmente desarrollados en el presente proyecto.

En la realización de los mismos, ha habido numerosas mejoras desde el inicio de la realización de los ensayos hasta el final de los mismos, siempre optimizando su funcionamiento y facilitando su comprensión.

4.4 SOFTWARE E INTERFAZ GRÁFICA

A pesar que el sistema evaluador de efectos térmicos es un equipo muy consistente, bastante robusto desde el punto de vista de su funcionalidad y seguro si se ve desde un punto de vista de posibles fallos eléctricos o de conexiones, se ha querido realizar en el presente proyecto un modo de seguridad y optimización del equipo de trabajo.

Un hito importante de mejora es la creación de una interfaz gráfica para manejar la seguridad del ensayo y un sistema software para mejorar el control u optimización de los tiempos de trabajo.

La interfaz está desarrollada con la idea de saber en todo momento cómo está llevándose a cabo nuestro ensayo. Mediante MATLAB, a través de la función PLOT se ha programado de una manera sencilla y efectiva, un código, que ejecuta la pantalla gráfica consiguiendo así ver en todo momento esta interfaz.

En el momento en el que se ejecuta un ensayo, se crea una ventana en la que se dibuja la Tensión VS Tiempo y Corriente Real VS Tiempo. Esta se actualiza instantáneamente con cada valor leído por el equipo, es decir, representa en cada instante de tiempo la curva con los valores obtenidos en el ensayo. En dicha ventana se va pintando la curva que sigue nuestro ensayo.

La interfaz gráfica está dividida en dos partes. En la parte de arriba se representa la tensión en Voltios respecto del tiempo en Horas. En la gráfica de abajo se representa por tanto la intensidad real que circula por la batería en Amperios respecto del tiempo en Horas. Estos valores que aparecen son los que está leyendo el osciloscopio a través de las respectivas sondas de la celda electroquímica y mandando al ordenador a través del cable RS232. Con cada nuevo dato, se actualiza estos valores, es decir, son valores en directo, actuales.

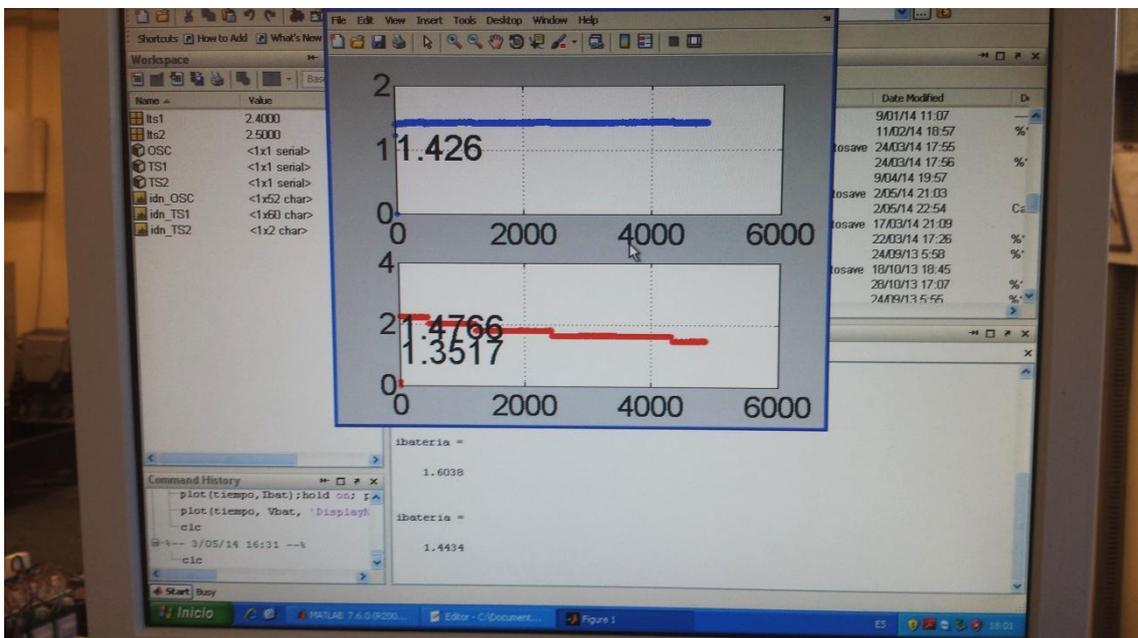


Fig. 4.10 Interfaz gráfica

Como podemos observar en esta imagen Fig. 4.10, se representa en la parte de arriba en color azul, la evolución de la tensión (Voltios), así como el valor actual que recibe el ordenador a través de la conexión con el osciloscopio, y como ya se ha comentado, es el valor real de la tensión en la batería.

En la parte de debajo de la imagen, se representa la corriente real que circula por la batería en color rojo, además de mostrar dos valores, que pertenecen a la corriente (Amperios) y al tiempo (Horas) que lleva de ejecución nuestro ensayo.

Por tanto, esto sirve de gran ayuda para controlar el proceso o ensayo al que estemos sometiendo a nuestra celda electroquímica, ya que tenemos un control gráfico de lo que está sucediendo con la tensión e intensidad en la batería como se ha dicho anteriormente. Con él podemos detectar posibles fallos en el control del ensayo, pudiendo llegar a someter a la batería a sobrecargas en tensión y por tanto empobrecer las propiedades de nuestra celda o bien a intercambios de polaridad en el proceso de descarga si falla el control y el equipo, por consiguiente, sigue descargando nuestra

celda y sacando electrones de su interior. Esto si nos referimos única y exclusivamente a la celda, ya sean sus propiedades interna, vida útil de uso, parámetros internos, etc.

Pero si más allá nos fijamos en el resto del equipo, gracias a este control podemos aumentar la seguridad del centro de trabajo y por ende las personas que lo realizan.

Expuestos, los posibles peligros a los que nos encontramos en nuestro ensayo, toma vital importancia ser capaz de detectar instantánea y eficazmente de manera inmediata cómo se encuentra el ensayo, es decir, ver si todo va bien o algo empieza a fallar. La comprensión de esta interfaz es muy sencilla y cualquier persona sería capaz de entender que aparece. Simplemente dos curvas una encima de la otra, en azul y la de debajo en rojo, con los valores actuales en negro.

La segunda mejora que se ha hecho para conseguir un mejor control de nuestros ensayos es instalar en el ordenador donde se llevan a cabo los trabajos, el software TEAM VIEWER 9 para poder controlar remotamente el ordenador desde otro Pc o dispositivo móvil. Esto sirve de complemento a la interfaz gráfica, ya que a través de esta logramos un claro conocimiento de nuestro ensayo, pero siempre y cuando estemos delante del dispositivo desde el cual manejamos el equipo y por tanto, Pc de control. El problema viene, cuando no se está presente en el laboratorio en medio de un ensayo en nuestra batería, ya que no somos capaces de observar dicha gráfica.

Para ello y con esta idea se utiliza un software de control remoto, de esta manera si estamos llevando a cabo un proceso y nos encontramos, somos capaces fuera del laboratorio de conectarnos remotamente. Así lo primero que veremos será la interfaz gráfica con nuestro ensayo y su evolución, o bien si el ensayo ha terminado y queremos lanzar uno nuevo podemos hacerlo directamente a través de otro Pc o del dispositivo móvil. Este último, aprovechando la nueva generación de Smartphones permite acceder en cualquier lugar del mundo.

A pesar de que los ensayos requieren mucha memoria RAM del ordenador, ya que son ensayos muy largos en tiempo, pueden llegar a ser ensayos de 5 días, y que están constantemente pidiendo y recibiendo datos del osciloscopio a través de la conexión RS232, el hecho de conectarnos a través del control remoto, Team Viewer, no satura a nuestro ordenador y por tanto, no supone un problema para la consistencia de nuestro set-up. Se ha demostrado que el hecho de instalar un soporte web al ordenador así como el software TEAM VIEWER 9, no supone un consumo excesivo de la memoria RAM como para saturar la automatización de nuestros ensayos y así poder tener un control en directo y real de nuestros ensayos.

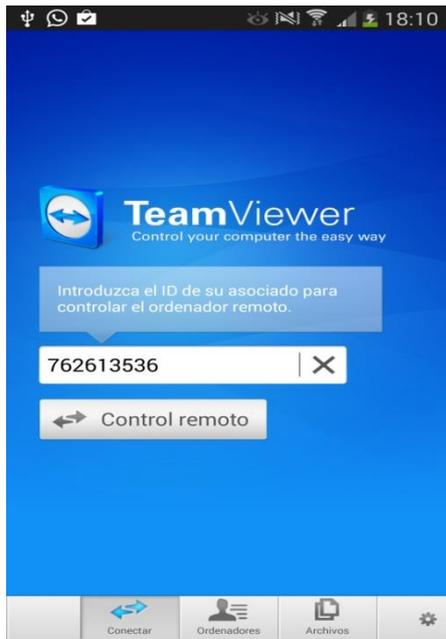


Fig. 4.11 Control Remoto

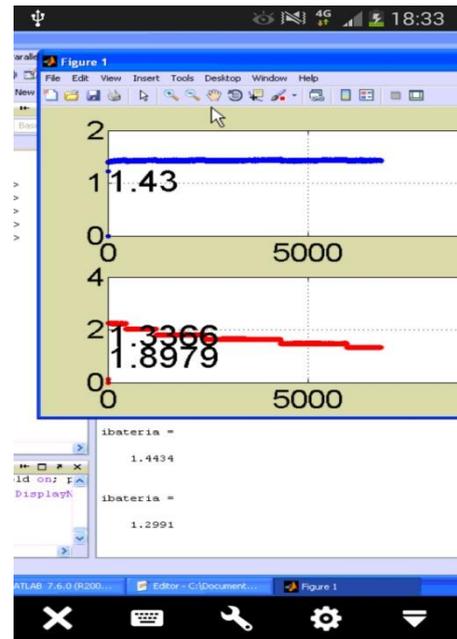


Fig. 4.12 Control remoto: Interfaz gráfica

A través de este software, podemos optimizar mucho, no solo en el control y conocimiento de la realización del ensayo, si no, que para cualquier consulta de datos obtenidos anteriormente o manejo del equipo, somos capaces de acceder a ello sin necesidad de desplazarnos al laboratorio.

CAPÍTULO 5 ENSAYOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se describen los diferentes ensayos a realizar, así como la manera de llevarlos a cabo y la manera con la que se estudia cada ensayo y se obtienen los parámetros que interesan.

5.1 ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos llevados a cabo a lo largo de este proyecto, han sido muy diversos, teniendo siempre como principal objetivo la obtención de los parámetros que pudieran afirmar si hemos podido llevar a cabo la recuperación de una batería en condiciones de envejecimiento prematuro.

Para poder determinar si una batería se encuentra en las condiciones óptimas de funcionamiento, hay que comparar los parámetros internos y generales de la misma, he aquí el por qué, de presentar dicho proyecto el análisis de los datos como principal objetivo.

A partir de ellos, seremos capaces de ver si una batería trabaja en las condiciones idóneas que se le suponen a una batería de Ni Cd, o si por el contrario esta se encuentra deteriorada. Principalmente nos hemos centrado en tratar de recuperar una batería sobrecargada, que como ya hemos explicado con anterioridad, pierde gran parte de sus propiedades.

5.2 ENSAYO DE RECUPERACIÓN

Los ensayos llevados a cabo en el presente proyecto para conseguir recuperar una parte de la capacidad perdida por nuestra celda, al entrar ,durante varios ensayos, en la zona de sobrecarga, y por tanto, envejecer prematuramente, van a ser expuestos y explicados a continuación.

Se investigaron y leyeron numerosos artículos de conferencia y de revistas [36], [37], [38], [39], [40] para centrar nuestro proyecto en este objetivo y por diversos motivos, como puede ser la falta de recursos y de obtención de documentación, nos llevó a acordar, el realizar el ensayo que recomienda la norma UNE 60623 [23] sin saber si detectaríamos una recuperación en nuestra batería.

En el ensayo en el que se aprecia una disminución en la capacidad de nuestra batería, Fig. 3.16, no deja de ser otro que en un acondicionamiento

La siguiente imagen Fig. 5.1, pertenece a un ensayo en el que nuestra celda permanece durante tiempo en sobre carga. No solamente con un ensayo en el que entremos en la zona de sobrecarga, nuestra batería ya libera gases debido al aumento de la temperatura del electrolito, sino, que una acumulación de ellos, además de un mal uso

de la batería, hace que al final nuestra batería haya perdido parte de sus propiedades nominales y por tanto, podamos asegurar que se encuentra en situación de envejecimiento prematuro.

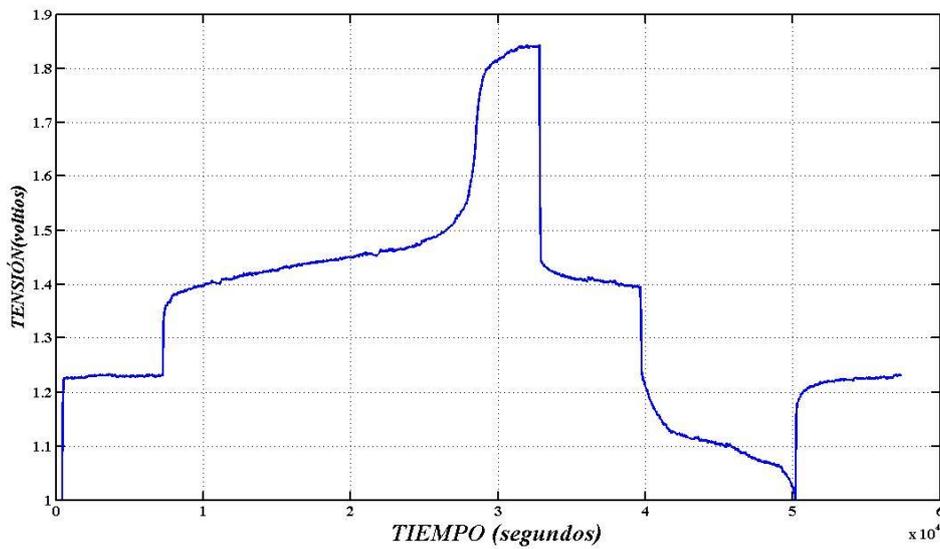


Fig. 5.1 Ensayo acondicionamiento: Sobrecarga

Antes de presentar los ensayos en los que se detecta pérdida de capacidad, presentamos un ensayo de acondicionamiento a una celda en condiciones óptimas. Como se puede apreciar, esta permanece en carga durante 7 horas con una razón de carga de 0,2 C, como se observa en la gráfica Fig. 2.1

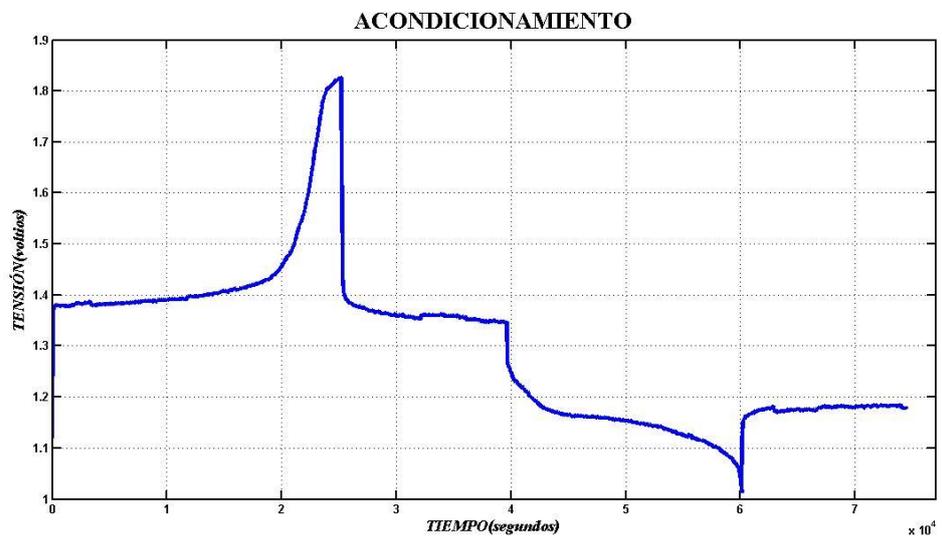


Fig. 5.2 Acondionamiento: Batería en condiciones óptimas

Este ensayo precisamente se realizó durante un tiempo de carga de 7 horas. Por lo que podemos establecer de manera aproximada que se trata de una cantidad de amperios hora aceptados por nuestra celda de 15,4 Amperios hora.

- **Proceso de Recuperación:**

Antes de explicar el proceso realizado, se quiere aclarar, que a pesar de haberse realizado el avance, de ser capaces de detectar el fin de carga a través del cambio negativo en la derivada de la tensión, no se ha implementado en los ensayos realizados en este proceso por dos razones:

Al tratarse esta, de una batería envejecida prematuramente y que por tanto, no se encontraba en condiciones nominales, se desconocía cual iba a ser el comportamiento de la misma durante su periodo de tiempo de carga. Esto podría conllevar problemas, ya que sobre una celda óptima, se sabe que a partir de unos valores de tensión aproximados a 1,45 voltios, la dinámica que coge la curva de tensión es con su derivada creciente, hasta que esta deja de aumentar y se produce el cambio de pendiente. Ese comportamiento, antes esta celda no se podía asegurar, por lo que se desestimó su implementación.

Se consideró que podría ser útil para obtener conclusiones, fijar el valor de tensión como único método de detección final de carga. Al ser este un valor fijo, se podrían comparar los valores obtenidos en cada acondicionamiento de comprobación.

A continuación se expone los ensayos realizados en el desarrollo del proceso de recuperación:

- 1^{er} Acondicionamiento: Un primer acondicionamiento, antes de someter a nuestra celda al proceso de aceptación de carga a tensión constante. En este primer ensayo, podremos saber la situación inicial de nuestra batería dañada.
- 1^a Aceptación de carga a tensión constante: Una primera carga a tensión constante, para iniciar el proceso de recuperación, sometiendo a nuestra celda, a permanecer durante la zona en la que más aceptación de carga se produce, ya que como se explicó en el CAPITULO 3, es en estos niveles de tensión, donde prácticamente no se producen pérdidas, por liberación de gases por aumento de temperatura por ejemplo.
- 2^o Acondicionamiento: Un segundo acondicionamiento, el primero tras una primera carga a tensión constante. En este se espera observar, algo de recuperación.
- 2^a Aceptación de carga a tensión constante: Una segunda carga a tensión constante, para seguir sometiendo a nuestra celda a que sea capaz de mejorar sus propiedades y por tanto, aumentar su capacidad y aceptación de carga.

- 3^{er} Acondicionamiento: Un tercer acondicionamiento, para contrastar, que en caso de haberse producido una mejora en el segundo acondicionamiento, este no se ha debido a otras razones que no sean las del proceso de carga a tensión constante.

Este ha sido el proceso de recuperación que se ha llevado a cabo para poder determinar si a través de este camino, se detecta aumento en la capacidad, aceptación de carga y rendimiento entre la capacidad descargada y la carga.

El hecho de realizar tres acondicionamientos y no más ha sido, debido a que ya de por sí el acondicionamiento es un ensayo útil para hacer volver a una batería a sus condiciones nominales de funcionamiento. Por lo que se estimó que si sometíamos a nuestra batería a más ciclos de aceptación de carga a tensión constante y acondicionamiento, podríamos llegar a confundir la mejora en las propiedades, entre la realización de numerosos acondicionamientos y el proceso de carga a tensión constante.

Destacar, que tampoco se ha realizado únicamente dos acondicionamientos, ya que resultan escasos para cerciorar si en efecto conseguimos mejorar las propiedades.

A continuación, se adjuntan las gráficas de los resultados obtenidos de cada ensayo, para más tarde comentar cada una de ellas de manera individual.

Primer Acondicionamiento:

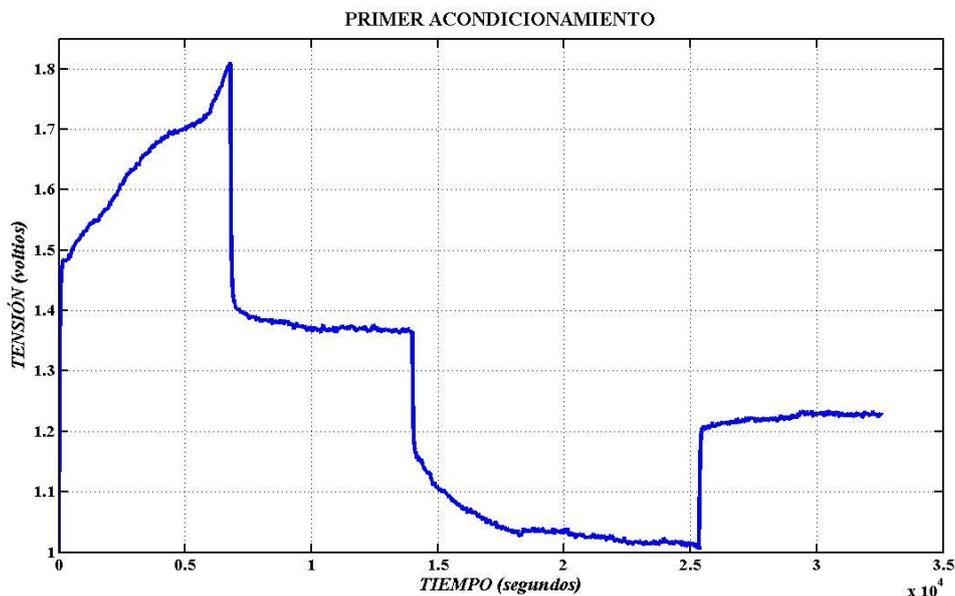


Fig. 5.3 Proceso Recuperación: Primer Acondicionamiento

En este primer acondicionamiento se observa, que el tiempo de carga es muy escaso, apenas 1,89 horas. Además la evolución de la tensión es muy ascendente, presentando una derivada en la tensión muy elevada. En este ensayo podemos observar, que haber aplicado el método de detección de carga por variación en la derivada de la tensión, hubiera resultado infructuoso, ya que se observa un cambio negativo en la evolución de la derivada, lo que hubiera hecho que nuestra carga hubiera durado incluso

menos tiempo. No se puede decir que ese es el punto de fin de carga, ya que a continuación la derivada vuelve a tomar dinámica creciente.

Primera Aceptación de carga a tensión constante:

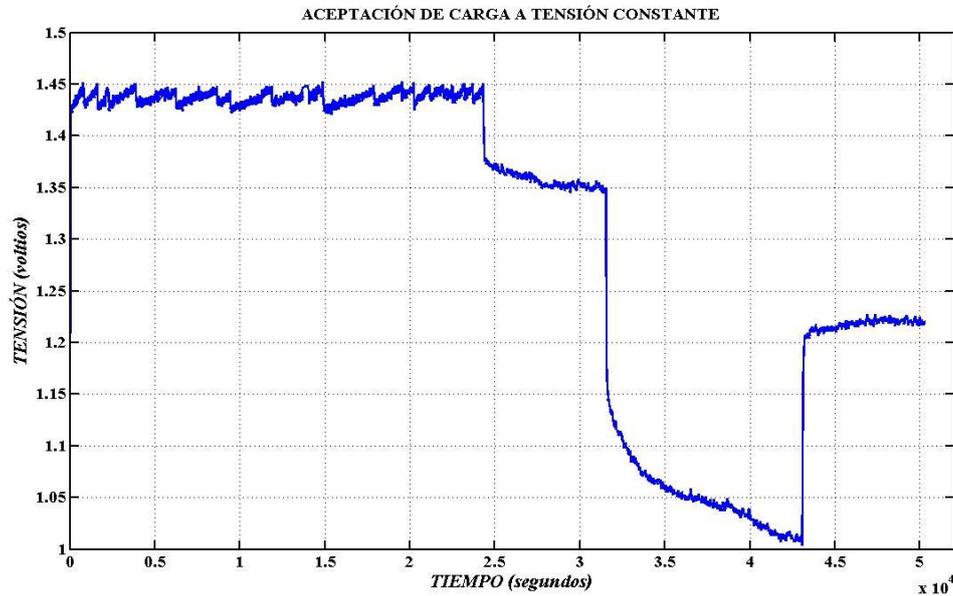


Fig. 5.4 Proceso Recuperación: Primer ensayo de aceptación de carga a tensión constante

Durante este primer ensayo de carga constante, se puede apreciar a simple vista, como sometemos a nuestra batería durante un periodo bastante mayor de carga, respecto al primer acondicionamiento, a nuestra batería en una zona de plena aceptación de carga.

Con el uso de nuestro archivo de parámetros determinamos lo siguiente:

La cantidad de Amperios hora que introducimos a nuestra batería durante la carga a tensión constante es de 6,94 Amperios hora y los amperios hora que extraemos de nuestra batería es de 7,01 Amperios hora.

Segundo Acondicionamiento:

En este segundo acondicionamiento Fig. 5.5, el primero tras la primera carga a tensión constante observamos, un aumento en la duración del periodo de carga, exactamente el tiempo de duración de la carga ha sido de 2,95 horas, por lo que podemos afirmar que habremos ganado en capacidad y aceptación de carga.

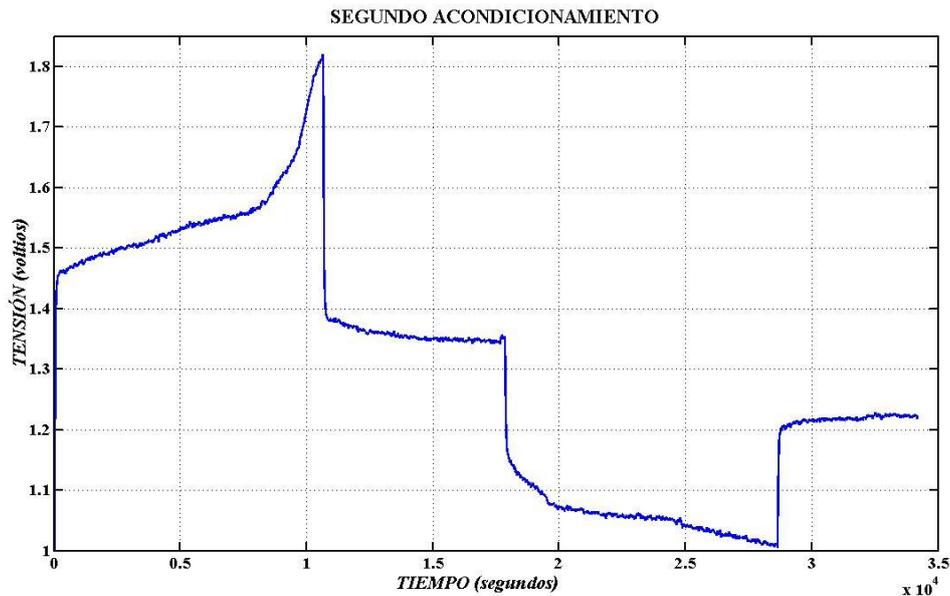


Fig. 5.5 Proceso Recuperación: Segundo Acondicionamiento

Podemos observar que comparando con el primer acondicionamiento, la variación de tensión que tiene lugar tras el primer periodo de relajación es prácticamente la misma por lo que podemos afirmar, que la mejora en capacidad no se debe a que la situación de nuestra batería inicialmente presentara un SOC aproximado al 100%

A continuación expondré la razón por la que se ha realizado la afirmación anterior.

Como es bien sabido nuestra batería presenta un modelo eléctrico que al inicio de carga, sin tener en cuenta los circuitos tanque, es:

$$V_{bat}(t) = OCV + I_{bat} \cdot R_{int} \quad 5.1$$

A través de esta expresión, llegamos a la siguiente conclusión:

Si nuestra batería inicialmente estaba muy cargada, podríamos observar que, tras realizar el proceso de descarga en el primer acondicionamiento durante 3,15 horas, para a continuación someter a la celda a un ensayo de aceptación de la carga a tensión constante en el cual podemos decir que, se produce un equilibrio entre los amperios hora introducidos y extraídos de nuestra batería, se podría llegar a la conclusión que efectivamente, nuestra batería no es que estuviera en malas condiciones, sino que estaría en unos valores de estado de carga muy elevados, ya que tras estos dos ensayos, en la contabilización de Amperios hora carga en carga y Amperios hora en descarga, hemos descargado nuestra batería.

Esta teoría se puede seguir defendiendo, al comprobar que nuestra batería presenta un aumento en la capacidad.

Sin embargo, podemos afirmar que esto no es así de la siguiente manera:

Basándonos en la ecuación anterior, los valores de tensión de nuestra batería para un mismo valor de intensidad (consigna de 2,2 Amperios), dependen del OCV y del valor de la resistencia interna.

El OCV de la batería en la situación inicial es de 1,361, mientras que en el segundo acondicionamiento es de 1,353, los cuales se podrían considerar una diferencia nula, debido al ruido que presenta la señal en el osciloscopio. Por tanto, el valor de la resistencia interna en cada proceso es muy similar, ya que los valores de la tensión justo en el momento en que se produce el cambio de estado (Relajación-Descarga) son al igual que el OCV prácticamente iguales.

Con esto se puede afirmar, que tras los tres ensayos a los que se ha sometido a nuestra batería hasta este punto, deberíamos haber observado un descenso bien del OCV, o bien, de la resistencia interna.

Por tanto, esta hipótesis, queda descartada, pudiendo decir, que efectivamente la batería presentaba un SOC elevado, pero que nuestra batería inicialmente presenta síntomas de envejecimiento prematuro.

Segunda Aceptación de carga a tensión constante:

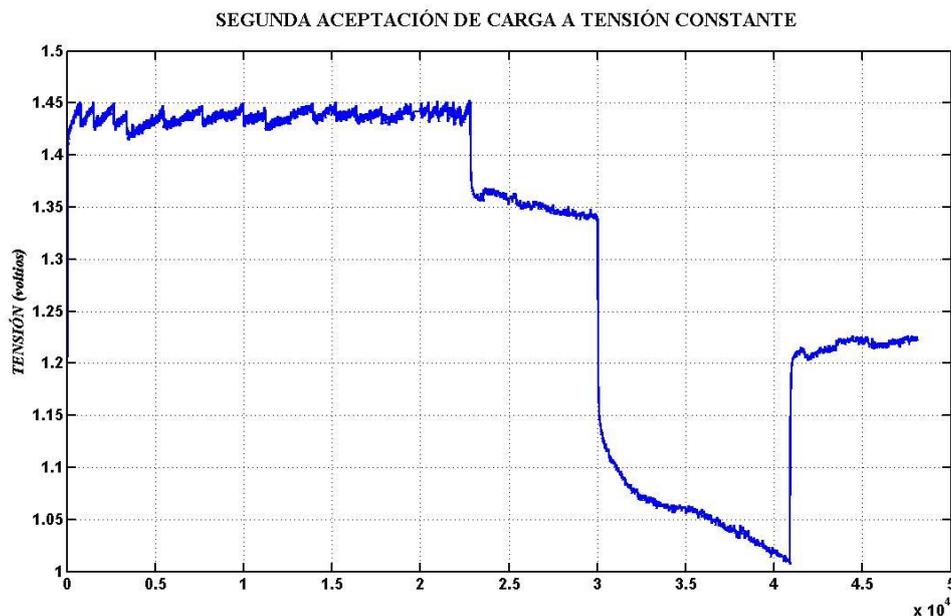


Fig. 5.6 Proceso Recuperación: Segundo ensayo de aceptación de carga a tensión constante

Durante este segundo ensayo de carga constante, se puede apreciar a simple vista, que la situación es prácticamente idéntica en cuanto a los tiempos de carga y descarga, que el primer ensayo a tensión constante.

La cantidad de Amperios hora que introducimos a nuestra batería durante la carga a tensión constante es de 6,63 Amperios hora y los amperios hora que extraemos de nuestra batería es de 6,84 Amperios hora.

Tercer Acondicionamiento:

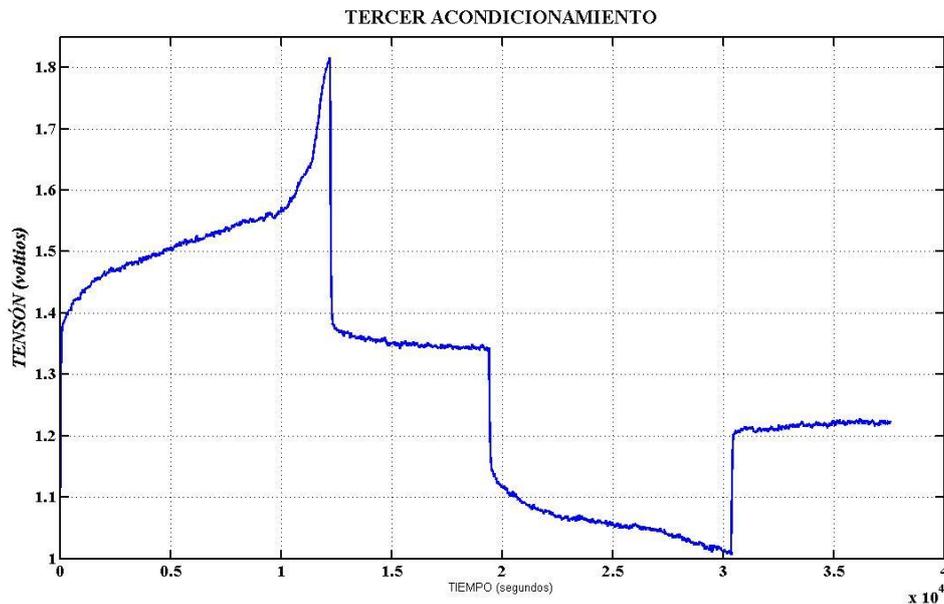


Fig. 5.7 Proceso Recuperación: Tercer Acondicionamiento

En este tercer y último acondicionamiento realizado, en este proceso de investigación acerca de la recuperación de baterías, no se observa tanta diferencia con respecto al segundo acondicionamiento, pero aun así, seguimos mejorando la capacidad y aceptación de carga. El tiempo de carga ha sido de 3,4 horas y la cantidad de Amperios Hora aceptados es de 7,53.

Como añadido a lo anterior, acerca de desechar la posible teoría de trabajar con una batería inicialmente en un estado de carga elevado, es que, nuestra batería sigue presentando unos valores de OCV y de caída de tensión en el momento en que sometemos a descarga, muy similares a los anteriores.

Tras la presentación de los resultados obtenidos en el proceso de recuperación al que hemos sometido a nuestra batería, podemos afirmar que, a pesar de no ser valores los obtenidos muy óptimos si los comparamos con los nominales, se ha ganado en capacidad y aceptación de carga en nuestra celda electroquímica, como se observa en la siguiente gráfica en la que comparamos los tres ensayos de acondicionamiento.

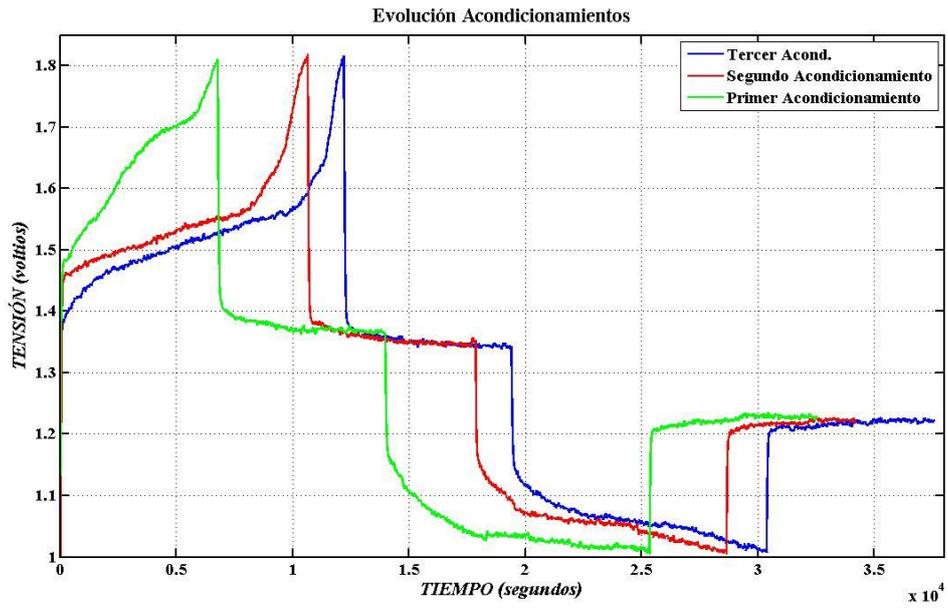


Fig. 5.8 Proceso Recuperación: Comparativa de los tres Acondicionamientos

CAPÍTULO 6 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A lo largo de este capítulo se presentarán los resultados obtenidos durante el proceso de recuperación.

Los resultados que se exponen corresponden a los ensayos realizados de acondicionamiento durante el proceso de recuperación. Han sido definidos como primer acondicionamiento, segundo acondicionamiento y tercer acondicionamiento. Como se ha explicado en el capítulo anterior, el primer acondicionamiento se ha realizado al inicio del proceso de recuperación, para conocer cómo se encontraban los parámetros en los que nos hemos centrado para determinar si hemos sido capaces de recuperar parte de sus propiedades.

El segundo acondicionamiento se realiza tras un primer ensayo de aceptación de carga a tensión constante.

El tercer acondicionamiento, es el último ensayo realizado en este proceso de recuperación, y en él es dónde podemos sacar las conclusiones acerca de dicho proceso.

Los parámetros en los que nos vamos a detener para determinar si hemos sido capaces de recuperar en parte nuestra batería, serán:

- Amperios-hora aceptados durante el proceso de carga, que determinará la aceptación de carga que presenta nuestra batería
- El rendimiento de aceptación de carga
- La relación de la capacidad de carga entre una celda en condiciones óptimas y nuestra celda, tras la realización tras cada uno de los acondicionamientos del proceso.

Los valores que se exponen en las tablas a continuación, han sido obtenidos en los ensayos realizados de acondicionamiento correspondientes con las figuras 5.3, 5.5, 5.7.

- **Primer Acondicionamiento:**

	TIEMPO EJECUCIÓN	Amperios Hora	$\eta = \frac{Ah_{descarga}}{Ah_{carga}}$
CARGA	1.88	4.18	141%
DESCARGA	3.15	6.84	

Tabla 3 Resultados Proceso Recuperación: Primer Acondicionamiento

En este primer acondicionamiento, podemos observar cómo nuestra batería dispone de una capacidad de carga muy pequeña. Presenta una aceptación de carga de tan solo 4.18 Amperios hora, muy lejos, de los niveles óptimos [23] de una batería electroquímica. Cabe destacar que hemos sido capaces de descargar nuestra batería durante un periodo de tiempo mayor que en la carga. Aquí se observa tal y como se ha explicado en el capítulo cinco, que nuestra batería efectivamente no estaba en condiciones óptimas de funcionamiento, ya que una batería en dichas condiciones no

presenta nunca tiempos de descarga mayores a los tiempos de carga, si se realiza el ensayo de tal manera a como aconseja la norma.

Este ha sido uno de los fenómenos llamativos que nos hemos encontrado en la realización del proceso de recuperación, y que puede deberse a las condiciones en que se encuentra nuestra Resistencia interna además de encontrarse en valores elevados de SOC. Podemos llegar a la conclusión de que presenta unos valores elevados, que podrían hacernos dudar de si nuestra batería se encuentra excesivamente cargada y no sobrecargada. Hecho, que ya se ha explicado su desestimación en el capítulo cinco, basándonos en los parámetros como el OCV, Ibat y la ΔV en el momento de cambio de corriente.

Llegamos a la conclusión de que nuestra batería se encontraba en condiciones de elevado nivel de SOC. Esto es sencillo apreciar ya que difícilmente una batería puede estar más tiempo descargando que cargando si realizamos el ensayo dentro de las recomendaciones que marca la norma [23] en la que nos hemos basado para la realización de los ensayos en este proyecto.

Por tanto, esto se puede deber a que nuestra batería efectivamente tenía un elevado nivel de SOC.

Sin embargo, a pesar de presentar un 61% más de aceptación de descarga respecto en carga, no hemos sido capaces de descargar una elevada cantidad de Amperios hora, solamente 6,84 Amperios hora, muy por debajo de lo que se espera de una batería que presenta un elevado nivel de SOC y que puede llegar a presentar una aceptación de descarga de aproximadamente 13,2 Amperios hora, según Norma UNE 600623. Con esto queda claro que la celda no se encuentra en condiciones óptimas.

- **Segundo Acondicionamiento:**

	TIEMPO EJECUCIÓN	Amperios Hora	$\eta = \frac{Ah_{descarga}}{Ah_{carga}}$
CARGA	2,95	6,46	85 %
DESCARGA	3,01	5,5	

Tabla 4 Resultados Proceso Recuperación: Segundo Acondicionamiento

Podemos observar como nuestra batería ha mejorado ampliamente la aceptación de carga pasando de 4.18 Ah a 6.46 Ah. Por tanto, podemos destacar que nuestra batería ha mejorado en parte sus propiedades.

- **Tercer Acondicionamiento:**

	TIEMPO EJECUCIÓN	Amperios Hora	$\eta = \frac{Ah_{descarga}}{Ah_{carga}}$
CARGA	3,4	7,53	87.5 %
DESCARGA	3,05	6,59	

Tabla 5 Resultados Proceso Recuperación: Tercer Acondicionamiento

En este último ensayo seguimos observando como nuestra batería va mejorando su capacidad de carga y el rendimiento de aceptación de carga. De este último ensayo podemos defender nuestra conclusión acerca de que efectivamente nuestra batería estaba sobrecargada y no en valores elevados de SOC. Ya que en ese caso, nuestra batería difícilmente mejoraría la cantidad de Amperios hora aceptados, y por el contrario, hemos sido capaces de mejorar su aceptación en aproximadamente un 8% respecto al segundo acondicionamiento, como se muestra en la tabla siguiente.

Comparando estos resultados con los esperados de una batería en condiciones ideales durante el proceso de carga a 2.2 Amperios de consigna, aplicando lo recomendado en la norma UNE 60023, se obtienen los siguientes datos resumidos en esta tabla:

	TIEMPO DE EJECUCIÓN	AMPERIOS-HORA	RELACIÓN PORCENTUAL
CONDICIONES ÓPTIMAS	7 horas	15,4	100%
Primer Acondicionamiento	1,88 horas	4,18	27.1%
Segundo Acondicionamiento	2,95 horas	6,46	41.9%
Tercer Acondicionamiento	3,39 horas	7,53	48.9%

Tabla 6 Comparación resultados Proceso Recuperación

Tras la presentación de los resultados podemos afirmar que:

Nuestra batería estaba sobrecargada, desconociendo el grado de esta situación, y que tras el proceso de recuperación a la que se le ha sometido durante esta investigación, en la cual, se desconocían por completos los resultados que se podían obtener, hemos sido capaces de mejorar la capacidad de carga de nuestra batería, así como la aceptación de carga de la misma.

Basándonos en los datos obtenidos en una batería en condiciones óptimas, estamos muy lejos de recuperar para un uso fructífero, la calidad de funcionamiento que de este tipo de baterías se espera.

Pero, al menos, se puede afirmar que quizá, sin ser este el mejor método para conseguir lo que se ha propuesto en el proyecto, hemos sido capaces de mejorar en gran medida las propiedades que han sido objeto de estudio empírico en el presente proyecto.

CAPÍTULO 7 OFICINA TÉCNICA

7.1 CRONOGRAMA

El presente proyecto se ha realizado durante el periodo Octubre 2013- Mayo 2014.

Octubre: Primera toma de contacto con el proyecto, se definen los objetivos que se quieren alcanzar. Aprendizaje en el software con el que se va a trabajar. Inicio en la búsqueda de información.

Noviembre: Búsqueda de información teórica y realización de los primeros ensayos.

Diciembre, Enero, Febrero: Realización de las mejoras en el Set UP, optimización de los códigos ejecutables del software Matlab. Implantación interfaz gráfica y control remoto.

Marzo: Realización de la memoria, parte explicación conceptos más importantes de las baterías electroquímicas.

Abril: Realización de la memoria y ensayos finales.

Mayo: Finalización de la memoria.

7.2 PRESUPUESTO

La mayor parte de los elementos del banco de ensayos han estado disponibles en el laboratorio donde se ha desarrollado el trabajo (fuentes de alimentación, elementos de protección, cableado, software y licencias, osciloscopio, etc)

Los elementos que se han comprado exclusivamente para este trabajo son los que se definen en el presupuesto:

Elemento	Descripción	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Batería	Batería de Niquel-Cadmio, modelo SPH11 de Saft	4	30€	120€
Sonda de Corriente	Sonda corriente y tensión, efecto hall	1	36,49€	36,49€
TOTAL				156,49 €

Tabla 7 Presupuesto

CAPÍTULO 8 CONCLUSIÓN Y SUGERENCIAS FUTUROS PROYECTOS

A continuación se exponen las principales conclusiones a las que se ha llegado gracias al trabajo desarrollado en este proyecto y las sugerencias para poder mejorar dicho estudio.

Capítulo 2: Los sistemas de almacenamiento son muy importantes en la actualidad, es mucha la tecnología que necesita de acumuladores de energía para su uso y desarrollo. Cabe destacar la integración de los sistemas de almacenamiento de energía en la red, es muy beneficioso a cualquier nivel pero su implantación a gran escala está limitada.

Capítulo 3: A lo largo de este capítulo hemos sido capaces de exponer teóricamente cada uno de los aspectos esenciales para el conocimiento de las baterías electroquímicas. A través de la explicación de los ensayos de acondicionamiento y caracterización, cada uno de ellos con su gráfica del ensayo realizado, se deja constancia de que estos dos son los ensayos fundamentales para conocer el régimen de funcionamiento de nuestra batería y si la batería con la que trabajamos se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento. Hemos sido capaces de realizar una función en Matlab capaz de detectar la variación negativa de la primera derivada de la tensión. A través de la documentación sobre recuperación de baterías, queda constancia que estas se pueden recuperar en gran parte mediante el reciclaje de las mismas, mediante procesos químicos de recuperación de los metales interiores de lo que se forma la celda. Así hemos optado por realizar un proceso de recuperación como el que sugiere la norma [23], para lo que hemos creado un código ejecutable capaz de mantener a nuestra batería en carga a tensión constante, y por tanto de esta manera somos capaces de forzar a nuestra batería a ser cargada en niveles de tensión en lo que prácticamente no se producen pérdidas.

Capítulo 4: Hemos sido capaces de implantar una sonda de corriente para poder conocer la corriente real por la batería, y de esta manera no trabajar en lazo abierto y suponer que nuestra corriente por la batería es la que indico yo por consigna. Por tanto, así cada cálculo que hagamos para conocer la aceptación amperios hora, es prácticamente exacta, ya que el osciloscopio apenas presenta ruido en los valores de corriente. Tras la implantación de una interfaz gráfica en los ensayos, somos capaces de controlar y conocer en tiempo real la evolución de nuestro ensayo. A través del control remoto podemos manejar la automatización desde cualquier lugar.

Capítulo 5: Tras el proceso de recuperación al que hemos sometido nuestra celda envejecida prematuramente, hemos observado que tras el ensayo de aceptación de la carga a tensión constante, somos capaces de conseguir un aumento en la aceptación de carga y capacidad de nuestra batería.

Capítulo 6: Estudiando los resultados obtenidos, somos capaces de corroborar que hemos mejorado la capacidad y aceptación de carga de nuestra batería, aunque no en unos valores como para certificar que nuestra batería está recuperada, o bien, que mediante este método podremos volver a obtener las condiciones óptimas que de una batería no envejecida se suponen.

- **Futuros Proyectos:**

Partiendo del trabajo expuesto, se puede seguir desarrollando y continuar con el estudio para llegar a unas conclusiones más detalladas.

En el desarrollo de los ejecutables, siempre se pueden seguir optimizando, además del desarrollo de nuevos archivos.

En referencia al Set Up existente, si se desea realizar ensayos a carga/descarga rápida, hay que tener en cuenta que la sonda de corriente implantada indica que no es capaz de transformar señales por encima de 5 Amperios. Un buen avance para futuros proyectos, sería comprobar si esto en efecto es así, con el uso de un osciloscopio, observando si a corrientes mayores de 5 Amperios somos capaces de observar la señal real. En caso, que efectivamente estuviera limitada, se podría proceder a la variación en la placa electrónica interior de la sonda, cambiando algunos de los elementos interiores que hacen la función de limitador.

En cuanto a diferentes caminos que investigar en futuros trabajos pueden destacar:

- Realización de cargas y descargas rápidas, apoyándose en el método de fin de carga implantado en este proyecto.
- Obtención de los parámetros de nuestro modelo eléctrico, mediante el proceso de caracterización.
- Optimización del método para obtener los parámetros en la caracterización, ayudándose de la detección de la pequeña latencia que se produce entre la orden de variar la corriente, hasta que esta se implanta en el circuito.
- Introducirse en la investigación de ensayos de envejecimiento, para estudiar las propiedades a medida que avanza su vida útil.

CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Sc, Ph.D., I. Glendenning, R.D. Harma B.J. Davidson, "Large-scale electrical energy storage," *IEEE Proceedings*, vol. 127, pp. 345-385, July 1980.
- [2] Jr., Guilherme G. Sotelo, Antonio C. Ferreira, Luis G. B. Rolim, José L. da Silva Neto Rubens de Andrade, "Flywheel Energy Storage System Description and Test," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol. 17, pp. 2154-2157, Junio 2007.
- [3] L.A. Plotnikova, V.A.Afanasev, M.I. Kharinov and A.K. Kondratenco E.P. Polulyakh, "Development of toroidal superconducting magnetic supplies energy storage for high-current pulsed power," in *Russia Pulsed Power Conference, Digest of technical papers, 12th IEEE International*, Monterrey, CA, USA, Junio 1999, pp. 27-30.
- [4] Jih-Sheng Lai and Stephen Levy, "High energy Density Double Layer- Capacitors," *IEEE Aerospace and Electronic system*, vol. 7, pp. 14-19, Abril 1992.
- [5] R.B. Schainker, Eneray Storage Electric Power Research Inst., and M. Nakhmkin, "Compressed -Air Energy Storage (CAES): Overview, Performance and Cost Data for 25MW to 220MW Plants," *Power Apparatus and Systems*, pp. 790 - 795, 26 febrero 2007.
- [6] B.S ,Budiyanto, Y. y Setiabudy, R. Hartono, "Review of Microgrid," in *QiR (Quality in Research), 2013 International Conference on*, Yogyakarta, June 2013, pp. 127-132.
- [7] I. Gunes, Istanbul, Turkey ENEL Energy Electron. Co., B. Ustuntepe, and A.M. Hava, "Modern transformerless uninterruptable power supply (UPS) systems," in *Electrical and Electronics Engineering, 2009. ELECO 2009*, Bursa, Noviembre 2009, pp. 316-320.
- [8] Juan Ruiz Cordobés, "Efectos de la temperatura y el envejecimiento," Universidad Carlos III, Leganés, 2013.
- [9] Carlos Peña Ordóñez, "Estudio de baterías para vehículos eléctricos," Universidad Carlos III, Leganés, 2011.
- [10] SAFT, "Baterías de Ni-Cd para redes de telecomunicación: Manual Técnico," Francia, Manual Técnico 2001.
- [11] F. Baronti, Università di Pisa, Italy Dip. di Ingegneria dell'Informazione, W. Zamboni, N. Femia, and H Rahimi-Eichi, "Parameter identification of Li-Po batteries in electric vehicles: A comparative study," in *Industrial Electronics (ISIE), 2013*, Taipei, Taiwan, 28-31 Mayo 2013, pp. 1-7.
- [12] T. Guena and P. Leblanc, "How Depth of Discharge Affects the Cycle Life of Lithium-Metal-Polymer Batteries," in *Telecommunications Energy Conference, 2006*, Providence, RI, Septiembre 2006, pp. 1-8.
- [13] Yin Cheng-que, North China Electr. Power Univ., Baoding, China Dept of Electr. Eng., Sun Yue, and Huang Yi-ran, "Internal impedance of battery detection based on theory of

chaotic Oscillator," in *Intelligent System and Knowledge Engineering, 2008. ISKE 2008*, Xiamen, 17-19 Nov. 2008, pp. 220 - 223.

- [14] Chin-Sien Mooa, 1, Yi-Ping Chenb, Yao-Ching Hsiehc Kong Soon Nga, "Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries," *Applied Energy, Science Direct*, vol. 86, pp. 1506–1511, Septiembre 2009.
- [15] Manuel García Plaza, "Sistemas de Almacenamiento Energético," Universidad Carlos III, Legane, 2011.
- [16] M. Sarvi, Imam Khomeini Int. Univ., Qazvin Dept. of Tech. & Eng., and M.A.S. Masoum, "A neural network model for Ni-Cd batteries," in *Universities Power Engineering Conference, 2008. UPEC 2008. 43rd International*, Padova, 1-4 Septiembre 2008, pp. 1-5.
- [17] R.D. Anderson, Ford Motor Co., Dearborn, MI, USA Vehicle & Battery Controls Dept., Yanan Zhao, Xu Wang, and Xiao Guang Yang, "Real time battery power capability estimation," in *American Control Conference (ACC), 2012*, Montreal, QC, 27-29 Junio 2012, pp. 592 - 597.
- [18] Min Chen, Georgia Inst. of Technol., Atlanta, GA, USA Sch. of Electr. & Comput. Eng., and G.A. Rincon-Mora, "Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance," *Energy Conversion*, vol. 21, pp. 504 - 511, Junio 2006.
- [19] Dennis Doerffel, "Testing and characterisation of large high-energy lithium-ion batteries for electric and hybrid electric vehicles," University of Southampton, Southampton, Doctoral Thesis 2007.
- [20] Corresponding author contact information, E-mail the corresponding author, Ken Nozakia, Yoshiyasu Saitoa, Akira Negishia, Ken Katoa, Yoshio Yamaguchib Kiyonami Takanoa, "Simulation study of electrical dynamic characteristics of lithium-ion battery," *Journal of Power Sources*, vol. 90, pp. 214-223, Octubre 2000.
- [21] Juan Carlos Viera Pérez, *Carga rápida de baterías Ni-Cd y Ni-Mh de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de resultados*. Universidad de Oviedo: Tesis Doctoral, Abril 2003.
- [22] Marion Perrin, Andreas Josen Sabine Piller, "Methods for State of Sharge Determination and their Applications," *Journal of Power Sources*, vol. 96, pp. 113-120, Junio 2001.
- [23] AENOR, "Acumuladores alcalinos y otros acumuladores con electrolito no ácido," Asociación Española de Normalización y Certificación, Norma 2002.
- [24] Zhihang Chen, Univ. of Michigan-Dearborn, Dearborn, MI, USA Dept. of Electr. & Comput. Eng., Shiqi Qiu, M.A. Masrur, and Y.L. Murphey, "Battery state of charge estimation based on a combined model of Extended Kalman Filter and neural networks," in *Neural Networks (IJCNN), The 2011 International Joint Conference*, San Jose, CA, Julio 31, 2011-Agosto 5, 2011, pp. 2156 - 2163.

- [25] B. Le Gorreca, C. Montella J.-P. Diarda, "EIS study of electrochemical battery discharge on constant load," *Journal of Power Sources, Elsevier*, vol. 70, pp. 78-84, Enero 1998.
- [26] M. Coleman, Radford Semele Ricardo UK Ltd., W.G. Hurley, and Chin Kwan Lee, "An Improved Battery Characterization Method Using a Two-Pulse Load Test," *Energy Conversion, IEEE*, vol. 23, pp. 708-713, Junio 2008.
- [27] M. Gonzalez, Electron. de Comput. y de Sistemas, Oviedo Univ., Spain Dept. de Ingenieria Electr., J. Lopez, E. Lopez, and M.A. Perez, "Universal test-bench for charging/discharging of Ni-Cd and Ni-MH batteries," in *Power Electronics Congress, 1994. Technical Proceedings. CIEP '94*, Puebla, 21-25 Agosto 1994, pp. 131 - 137.
- [28] G. Danese, Pavia Univ., Italy Dipt. di Inf. e Sistemistica, F. Leporati, R. Lombardi, and M. Nucita, "An instrument for the characterization of voltage and temperature profile in NiCd and NiMH batteries," in *EUROMICRO 97. New Frontiers of Information Technology*, Budapest, 1-4 Septiembre 1997, pp. 178 - 183.
- [29] M. Gonzalez, Oviedo Univ., Spain Dept. de Ingenieria Electr. y Electron., M.A. Perez, J. Diaz, and F.J. Ferrero, "Ni-Cd and Ni-MH battery optimized fast-charge method for portable telecommunication applications," in *Telecommunications Energy Conference, 1996. INTELEC '96.*, Boston, MA, 06 -10 Octubre 1996, pp. 522 - 529.
- [30] T. Mundra, New Delhi Indian Inst. of Technol., and A. Kumar, "An Innovative Battery Charger for Safe Charging of NiMH/NiCd Batteries," *Consumer Electronics, IEEE Transactions*, vol. 53, pp. 1044 - 1052, Agosto 2007.
- [31] M. Gonzalez, Oviedo Univ., Spain Area de Technol. Electron., F.J. Ferrero, J.C. Anton, and M.A. Perez, "Considerations to improve the practical design of universal and full-effective NiCd/NiMH battery fast-chargers," in *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1999. APEC '99*, Dallas, TX, 14-18 Marzo 1999, pp. 167 - 173.
- [32] Kong-Soon Ng, Nat. Sun Yat-Sen Univ., Kaohsiung, Taiwan Dept. of Electr. Eng., Yao-Feng Huang, Chin-Sien Moo, and Yao-Ching Hsieh, "An enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lead-acid batteries," in *Telecommunications Energy Conference, 2009. INTELEC 2009.*, Incheon, Octubre 2009, pp. 1-5.
- [33] Eliane Semaan, Nazih Moubayed Hind Chit Dirani, "Impact of the current and the temperature variation on the Ni-Cd battery functioning," in *Technological Advances in Electrical, electronics and computer Engineering (TAEECE) International Conference*, Konya, Mayo 2013, pp. 339-343.
- [34] Francis M. Donahue, "Thermal Characteristics of batteries," in *conference on Applications and Advances*, Long Beach, CA, Enero 1999, pp. 1-122.
- [35] Víctor Díaz Rodríguez, "Efectos de la temperatura en baterías de Ni-Cd," Universidad Carlos III, Leganes, Proyecto Fin de Grado Octubre 2013.

- [36] Nak Hyoung Kima, Jeong Soo Sohna, Dong Hyo Yanga, Young Han Kim Shun Myung Shina, "Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes," *Hydrometallurgy*, vol. 79, pp. 172-181, Octubre 2005.
- [37] J.J. Liotta, Ellwood City, PA, USA INMETCO, J.C. Onuska, and R.H. Hanewald, "Nickel-cadmium battery recycling through the INMETCO high temperature metals recovery process," in *Battery Conference on Applications and Advances, 1995.*, Long Beach, CA, Enero 1995, pp. 83-88.
- [38] R.H. anewald, Ellwood City, PA, USA INMETCO, M.E. Schweers, and J.J. Liotta, "Recycling nickel-cadmium batteries through the high temperature metal recovery process and NEW cadmium recovery facility," in *Battery Conference on Applications and Advances, 1996*, Long Beach, CA, Enero 1996, pp. 207-2012.
- [39] C.F. Chiasserini, Politecnico di Torino, Italy Dipartimento di Elettronica, and R.R. Rao, "A model for battery pulsed discharge with recovery effect," in *Wireless Communications and Networking Conference, 1999.*, New Orleans, LA, Septiembre 1999, pp. 636-639.
- [40] P.J. DeMar and Inc., Oswego, NY Battery Res. & Testing, "Recovering lost capacity in 2 volt VRLA cells by way of the IOVR™ process and the duration of that recovered capacity," in *Telecommunications Energy Conference, 2008. INTELEC 2008*, San Diego, CA, Septiembre 2008, pp. 1-8.
- [41] RIGOL, "Programming Guide," Rigol Technoloies, Inc, Guía de programación 2013.
- [42] Hari Vaidyanthan, "Electrode properties and heat generation rate in Ni-Cd. Ni-H2 and Ni-Mh cells," , Agosto 1997, pp. 83-86.

CAPÍTULO 10 ANEXOS

PROGRAMAS DE MATLAB:

- **Comienzo.m**

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
% COMIENZO  
  
% Línea de código para comenzar cualquier ensayo.  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
% --> Interruptor abierto (Seta pulsada).  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
% Se crean y se abren los puertos de comunicación con los instrumentos.  
  
OSC = serial('COM7', 'BaudRate', 9600) % Se crea puerto del  
Osciloscopio.  
pause(3)  
TS1 = serial('COM3', 'BaudRate', 19200) % Se crea puerto del TS1,  
carga.  
pause(3)  
TS2 = serial('COM4', 'BaudRate', 19200) % Se crea puerto del TS2,  
descarga.  
pause(3)  
fopen(OSC)  
pause(3)  
fopen(TS1)  
pause(3)  
fopen(TS2)  
pause(10)  
  
% Se reconocen y comprueba la comunicación con los instrumentos.  
  
fprintf(OSC, '*IDN?') % Comando para reconocer el Osciloscopio.  
pause(10)  
fprintf(OSC, '*IDN?') % Se realiza (problemas de comunicación).  
pause(10)  
idn_OSC=fscanf(OSC) % Se muestran los datos y se comprueba  
comunicación.  
pause(3)  
  
fprintf(TS1, '*IDN?') % Comando para reconocer el TS1.  
pause(3)  
idn_TS1=fscanf(TS1) % Se muestran los datos y se comprueba  
comunicación.  
pause(3)  
  
fprintf(TS2, '*IDN?') % Comando para reconocer el TS2.  
pause(3)  
idn_TS2=fscanf(TS2) % Se muestran los datos y se comprueba  
comunicación.  
pause(3)
```

```

% Se establecen unos límites de voltaje calculados para que las
fuentes no
% puedan suministrar mayor intensidad de la requerida, para todo el
rango
% de razón de carga elegido.

fprintf(TS1, 'VOLT 3') % Comando para fijar voltaje máx. TS1.
pause(3)
fprintf(TS2, 'VOLT 30') % Comando para fijar voltaje máx. TS2.
pause(3)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Comienzo. Sin corriente por la batería, 0 amperios (razón de carga
0C).

% Se establece una intensidad en la batería de 0 amperios, a través de
% parámetros fijados para la función intensidad_TS1 y intensidad_TS2.
% Para ello, fijamos una intensidad en TS2 anteriormente calculada
% (por diferentes motivos, ver memoria).

fprintf(TS2, 'CURR 2.5') % Comando para fijar intensidad en TS2.

% Se establecen los parámetros Its2 y razón de carga dispuestos para
que la
% intensidad por la batería sea 0 amperios. Se establece el mismo
valor en
% Its2 que el establecio en el comando anterior. Y en razón de carga
se
% establece el valor 0.

Its2=2.5;
razon_carga=0;

% Se realiza la llamada a la función intensidad_TS1, obteniendo 0
amperios
% de corriente por la batería.

[Its1]=intensidad_TS1(razon_carga,Its2,TS1); % Función intensidad para
TS1.

% Arrancamos las fuentes de alimentación.

fprintf(TS1, 'OUTP:START') % Comando para arrancar el TS2.
pause(3)
fprintf(TS2, 'OUTP:START') % Comando para arrancar el TS2.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% --> Cerrar el interruptor (Seta levantada)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ATENCION: Si la comunicación con el osciloscopio no se produjera,
habría
% que seguir los siguientes pasos:
% 1) fclose(OSC)
% 2) delete(OSC)
% 3) clear OSC

```

```

% 4) Realizar AutoCalibración manualmente en el osciloscopio:
%   4.1) Utility/AutoCal/RUN
%   4.2) Esperar
%   4.3) Una vez finalizado la AutoCalibración, pulsar RUN.
% 5) Configurar osciloscopio de nuevo (ver memoria).
% 6) OSC = serial('COM8', 'BaudRate', 9600)
% 7) fopen(OSC)
% 8) fprintf(OSC, '*IDN?')
% 9) Si no aparece en la pantalla, esquina superior derecha, del
%   osciloscopio 'Rmt'; repetir comando "fprintf(OSC, '*IDN?')".
% 10) idn_OSC=fscanf(TS1)
% 11) Si no ha habido éxito, repetir estos pasos de nuevo.

- Cerrarpuertos.m
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% CERRAR PUERTOS

% Línea de código para terminar cualquier ensayo.

% Se cierran los puertos de comunicación con los instrumentos y se
% eliminan
% los objetos.

fprintf(OSC, ':KEY:FORC') % Comando para desconectar el Osciloscopio.
fprintf(TS1, 'OUTP:STOP') % Comando para detener TS1.
fprintf(TS2, 'OUTP:STOP') % Comando para detener TS2.

fclose(OSC) % Se cierra puerto del Osciloscopio.
fclose(TS1) % Se cierra puerto del TS1, carga.
fclose(TS2) % Se cierra puerto del TS2, descarga.

delete(OSC) % Se elimina el objeto del Osciloscopio.
delete(TS1) % Se elimina el objeto del TS1, carga.
delete(TS2) % Se elimina el objeto del TS2, descarga.

clear ('OSC','TS1','TS2') % Se borran todos los objetos indicados.

% FIN DE ENSAYO
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

- Acondicionamiento.m

%-----A-----

clear tiempo icon Vbat Ibat

display('Empieza el ensayo')
Ibat(1,1)=0;
%ibat(1,1)=0;
Vbat(1,1)=0;
tiempo(1,1)=0;
ibateria=0;
icon(1,1)=0; %inicializo variables

```

```

hora_inicial=clock; % Dato para determinar el tiempo_transcurrido.
i=2; % Valor inicial del contador.

try % Intentar. En caso de algún error se suprime el ensayo y pasa la
    % corriente en la batería pasa a ser nula.
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,1); %Tomo una primera lectura de los valores
i=i+1;

ibateria=2.2;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2); % Asigno una corriente por
consigna.

[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,1);
i=i+1;

comienzo=tiempo(i-1,1); %Carga durante 7 horas o tensión que llgue a
1.82 V
while (tiempo(i-1,1)<(comienzo+25200)) && (Vbat(i-1,1)<1.82)
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,10);
i=i+1;
end
save('C:\DATOS\Acondicionamiento_9_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','
icon')

ibateria= 0; % Estado de relajación durante
dos horas
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

comienzo=tiempo(i-1,1);
while (tiempo(i-1,1)<(comienzo+7200))

[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,10);
i=i+1;

end
save('C:\DATOS\Acondicionamiento_9_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','
icon')

ibateria=-2.2;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

```

```

                                %DesCarga durante 7 horas
o
                                %tensión que llgue a 1 V

comienzo=tiempo(i-1,1);
while (tiempo(i-1,1)<(comienzo+25200))&& (Vbat(i-1,1)>1)
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,10);
i=i+1;
end
save('C:\DATOS\Acondicionamiento_9_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','
icon')

ibateria= 0;                                % Estado de relajación
durante dos horas
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

comienzo=tiempo(i-1,1);
while (tiempo(i-1,1)<(comienzo+7200))

[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,10);
i=i+1;

end
save('C:\DATOS\Acondicionamiento_9_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','
icon') % Voy guardando cada vez que cambio de estado de
funcionamiento.

display('Fin de la muestra')
ibateria=0
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

catch
display('Error')
ibateria=0
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);
save('C:\DATOS\Acondicionamiento_9_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','
icon')

end

- Aceptaciondelacargaatensionconstante.m
-
%-----ACEPTACION DE LA CARGA A TENSION CONSTANTE-----
-----

clear tiempo icon Vbat Ibat

display('Empieza el ensayo recuperacion')

Imin=0.3; % Fijamos el valor para Imin con el que vamos a realizar
el lazo de disminución corriente descarga.
Vbat(1,1)=0;

```

```

Ibat(1,1)=0;%Tension real
tiempo(1,1)=0;
ibateria=0;
icon(1,1)=0;%Corriente real
G=0.9;
Vmax=1.455;

hora_inicial=clock; % Dato para determinar el tiempo_transcurrido.
i=2; % Valor inicial del contador.

try
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,0);
i=i+1;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Descarga 5 cinco horas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ibateria=2.2
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,5);
i=i+1;

[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,1);
i=i+1;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Carga de 24 horas ->1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

comienzo=tiempo(i-1,1);
while (Ibat(i-1,1)>=Imin) %REALIZO EL BUCLE DEL DESCENSO
DE CORRIENTE CADA VEZ QUE LLEGO A 1.455
    if (Vbat(i-1,1)<Vmax) && (Ibat(i-1,1)>Imin)
        [Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,3);
        i=i+1;
    end

    if Vbat(i-1,1)>=Vmax

        ibateria=ibateria*G; % EN CUANTO SUPERO 1.455, MULTIPlico LA
CORRIENTE POR LA GANANCIA G
        intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);
        display(ibateria)
    end
end

```

```

[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,3);
i=i+1;
end

end

save('C:\DATOS\Recuperación_04_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_04(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')
display('Descanso')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Descanso de 2 horas ->1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);          %DESCANSO DURANTE DOS
HORAS

comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+7200))
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,10);
i=i+1;
end
save('C:\DATOS\Recuperación_04_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_04(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Descarga hasta Vbat=1 ->1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ibateria=-2.2;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

display('Comienzo descarga')
display(i)                                     %DESCARGO HASTA QUE EL
VALOR DE LA TENSIÓN ES 1 VOLTIO O UN MÁXMO DE 6 HORAS.
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+21600))&& (Vbat(i-1,1)>1)
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,10);
i=i+1;
end
display('Fin descarga')
display(i)
save('C:\DATOS\Recuperación_04_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_04(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Descanso de 2 horas ->2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

comienzo=tiempo(i-1,1);
%RELAJO DOS HORAS AL FINAL DEL ENSAYO
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+7200))
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,10);
i=i+1;
end
save('C:\DATOS\Recuperación_04_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_04(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Descarga hasta Vbat<=Vmin decrementando la corriente ->2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
display('Fin del ensayo de recuperación')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Entrada al catch ante un error
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
catch
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);
save('C:\DATOS\Recuperación_04_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_04(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')
display('Error entrada al catch')
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Abrir el interruptor
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

- **Caracterizacion.m**

```

%-----Caracterización-----
display('Empieza el ensayo caracterizacion')
Vbat(1,1)=0;
tiempo(1,1)=0;
ibateria=0;
icon(1,1)=0;%corriente de consigna
%ibat(1,1)=0;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Datos auxiliares para la caracterización
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ciclo=0;
j=1;
%carac(j,1)->caracterización de carga=1 o descarga=0
%carac(j,2)->ciclo de caracterización de 1 a 14
%carac(j,3)->el valor de i
%Dos valores del array carc por ciclo, el impar para inicio par fin.
%Inicialización (se sobrescribirá el dato con el primer valor).
carac(j,1:3)=[0 0 0];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Datos auxiliares para etapa de carga y descarga
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%etapa(1)-> Inicio carga
%etapa(2)-> Fin carga
%etapa(3)-> Inicio descarga
%etapa(4)-> Fin descarga
%Inicialización (se sobrescribirá el dato con el primer valor).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

hora_inicial=clock; % Dato para determinar el tiempo_transcurrido.
i=2; % Valor inicial del contador, el puntero apunta al siguiente
espacio en blanco
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibater
ia,0);
i=i+1;

try
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibater
ia,0);
i=i+1;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Carga de 7 horas ->2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ibateria=2.2;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+25200)) && (Vbat(i-1,1)<1.8)
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibater
ia,10);
i=i+1;
end

```

```

save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria
','icon','carac')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Descanso de 2 horas ->4
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+7200))
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibater
ia,10);
i=i+1;
end
save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria
','icon','carac')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Caracterización en descarga 21 horas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
while(ciclo<=14)

ibateria=-2.2;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

carac(j,1:3)=[0 ciclo i]
j=j+1;
%Durante un tiempo cojo valores muy rapido para ver el transitorio
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(1*60))) && (Vbat(i-1,1)>1)
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibater
ia,0);
i=i+1;
ciclo
end
%Despues cojo valores más lentamente para no saturar las peticiones
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(29*60))) && (Vbat(i-1,1)>1)
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibater
ia,2);
i=i+1;
ciclo
end

save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria
','icon','carac')

ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

carac(j,1:3)=[0 ciclo i]
j=j+1;
%Durante un tiempo cojo valores muy rapido para ver el transitorio
comienzo=tiempo(i-1,1);

```

```

while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(1*60)))
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,0);
i=i+1;
ciclo
end
%Despues cojo valores más lentamente para no saturar las peticiones
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(29*60)))
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,2);
i=i+1;
ciclo
end
save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria','icon','carac')

ciclo=ciclo+1;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Descanso de 2 horas ->5
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+7200))
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,10);
i=i+1;
end
save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria','icon','carac')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Caracterización en carga 21 horas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ciclo=1;

while(ciclo<=14)

ibateria=2.2;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

carac(j,1:3)=[1 ciclo i]
j=j+1;
%Durante un tiempo cojo valores muy rapido para ver el transitorio
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(1*60))) && (Vbat(i-1,1)<1.8)
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,0);
i=i+1;
ciclo

```

```

end
%Despues cojo valores más lentamente para no saturar las peticiones
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(29*60)))&&(Vbat(i-1,1)<1.8)
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,2);
i=i+1;
ciclo
end
save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria','icon','carac')

ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

carac(j,1:3)=[1 ciclo i]
j=j+1;
%Durante un tiempo cojo valores muy rapido para ver el transitorio
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(1*60)))
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,0);
i=i+1;
ciclo
end
%Despues cojo valores más lentamente para no saturar las peticiones
comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+(29*60)))
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,2);
i=i+1;
ciclo
end
save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria','icon','carac')

ciclo=ciclo+1;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Descanso de 2 horas ->6
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);

comienzo=tiempo(i-1,1);
while(tiempo(i-1,1)<(comienzo+7200))
[Vbat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,ibateria,10);
i=i+1;
end
save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria','icon','carac')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
display('Fin del ensayo de caracterización')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Entrada al catch ante un error
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
catch
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);
save('C:\DATOS\Caracterizacion_28_04_14.mat','Vbat','tiempo','ibateria',
'icon','carac')
display('Error entrada al catch')
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Abrir el interruptor
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

- Derivada_pendiente_tensión:

```

%----- Código detección variación de la derivada de
%tensión-----

display('Empieza el ensayo')
Vbat(1,1)=0;
tiempo(1,1)=0;
ibateria=0;
icon(1,1)=0;%corriente de consigna
Ibat(1,1)=0;%Corriente real
Var_pendiente=1;

hora_inicial=clock; % Dato para determinar el tiempo_transcurrido.
i=2; % Valor inicial del contador.

try
%Carga
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,0);
i=i+1;

ibateria=2.2;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,0);
i=i+1;

```

```

display('Comienzo carga')

while (Vbat(i-1,1)<1.45)%Así tomo la tensión hasta 1.45 de la manera
normal, ya que de esta manera evito posibles errores(comprobado con
algunos ensayos realizados),
    %ya que si la celda está muy descargada
    %al inicio de la carga puede haber picos de
tensión
    %que lleven lugar a conflictos
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,1);
i=i+1;
save('C:\DATOS\fin_de_carga_06_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_06(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')
end

comienzo=tiempo(i-1,1);
while (Var_pendiente>0)&&(tiempo(i-1,1)<(comienzo+25200))&& (Vbat(i-
1,1)<1.82) %Siempre que este valor de Var_pendiente sea > 0 tomare
datos de tensión y sigo cargando.
    %cuando sea <= 0 estaremos en la región
sobrecarga.
[Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,1);
[Var_pendiente]=fin_de_carga(Vbat,tiempo,i);
i=i+1;

save('C:\DATOS\fin_de_carga_06_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_06(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')
end

ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);
display('Fin del ensayo de AC igual al')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Entrada al catch ante un error
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
catch
ibateria=0;
intensidad_bateria(ibateria,TS1,TS2);
save('C:\DATOS\fin_de_carga_06_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat','icon
')
save('C:\ENSAYOS\Recuperación_06(2)_05_14.mat','Vbat','tiempo','Ibat',
'icon')
display('Error entrada al catch')
end

```

Una vez implementados los códigos de los archivos ejecutables de los programas, adjunto el código de las funciones programadas para la toma de datos, cálculo de la derivada de la curva de tensión y cálculo de parámetros.

- **Muestrea_todo**

```

%function [Vbat Ibat tiempo
icon]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,Ibat,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,i
bateria)
function [Vbat tiempo icon
Ibat]=muestrea_todo(Vbat,OSC,i,TS1,TS2,tiempo,hora_inicial,icon,Ibat,i
bateria,delay)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
%%Muestreo de tensión
try

    fprintf(OSC,':MEAS:VRMS? CHAN1'); % Comando para leer voltaje.
    a=str2num(fscanf(OSC)); % Lectura del valor.

    % Si 'a' es un valor numérico el valor se guardará en la matriz.
    if 0<a
        Vbat(i,1)=2*a; % Se multiplica por 2 debido a la sonda.

    % Si 'a' es un dato erróneo (fallo en comunicación) el nuevo dato
    % de la matriz será valor de voltaje inmediatamente anterior.
    else
        Vbat(i,1)=Vbat(i-1,1);
    end
catch
    Vbat(i,1)=Vbat(i-1,1);
    display('Ha entrado en el catch del muestrea todo tension')
end

try
    fprintf(OSC,':MEAS:VRMS? CHAN2'); % Comando para leer voltaje.

    if (ibateria<0)
        b=-str2num(fscanf(OSC))+ 0.0244;

        Ibat(i,1)=b;
    end
    if (ibateria>=0)

        b=str2num(fscanf(OSC))+ 0.0244;
        Ibat(i,1)=b;

    end

    icon(i,1)=ibateria;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
%%Muestreo de corriente
    fprintf(TS2,'MEAS:CURR?');%Pedimos dato a la fuente para ver si
es 2.5

```

```

        %Its2=str2num(fscanf(TS2));
        %fprintf(TS1,'MEAS:CURR?');%Pedimos dato a la fuente para ver si
es 2.4
        %Its1=str2num(fscanf(TS1));
        %Ibat(i,1)=Its1-Its2+0.1;%Guardamos el valor de la corriente por
la bateria.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
        %Corriente de consigna

catch
    Ibat(i,1)=Ibat(i-1,1);
    icon(i,1)=icon(i-1,1);
    display('Ha entrado en el catch del muestrea todo corriente')

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
%tiempo transcurrido

% A seguir, se estudia los días del mes cuando se empezó el ensayo.
switch hora_inicial(1,2)
case 2
    dias_mes=28;
case 4 ; dias_mes=30; case 6 ; dias_mes=30;
case 9 ; dias_mes=30; case 11 ; dias_mes=30;
otherwise
    dias_mes=31;
end

% Se crea una variable que resolverá el tiempo transcurrido, con la
resta
% de los valores de la fecha-hora actual y la fecha-hora inicial.
t=clock-hora_inicial;

% Se resuelven meses y años a días (impide que haya errores cuando se
% producen cambios de mes y año).

t(1,2)=t(1,2)+(t(1,1)*12);
t(1,3)=t(1,3)+(t(1,2)*dias_mes);

% Se resuelve el tiempo transcurrido, en segundos.

tiempo(i,1)=(t(1,6))+(t(1,5))*60+(t(1,4))*60*60+(t(1,3))*24*60*60;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
%display(i)
%display([Vbat(i,1) icon(i,1) Ibat(i,1)])
%display([Vbat(i,1) icon(i,1)])

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%

```

```

%h=figure('Name','Vbat','NumberTitle','off')

h1=subplot(2,1,1);
plot(tiempo, Vbat, '.', 'MarkerSize', 15);
tension=num2str(Vbat(i,1));
text(0,Vbat(i,1)-0.40,tension,'FontSize',30)
grid;

h2=subplot(2,1,2);
plot(tiempo, Ibat, '.', 'MarkerEdgeColor','r', 'MarkerSize', 15);
corriente=num2str(Ibat(i,1));
%text(0,icon(i,1)-0.20,corriente,'FontSize',30)
text(0,Ibat(i,1)+0.4,corriente,'FontSize',30)
horas=num2str(tiempo(i,1)/3600);
%text(0,icon(i,1)-0.70,horas,'FontSize',30)
text(0,Ibat(i,1)-0.4,horas,'FontSize',30)
grid;

set(h1,'FontSize',25)
set(h2,'FontSize',25)

pause(delay)

end

```

- Parametros:

```

clc
display('Calculo de Ah y Wh')

i_inicio=2039;
i_fin=3108;

Ah_charge=0;
Wh_charge=0;
i=1;

display('En carga')
i=i_inicio;
while i<i_fin
    Ah_charge=Ah_charge + (Ibat(i)*(tiempo(i)-tiempo(i-1)))/3600;
%Calculo por cada muestra de datos el valor de los Amperios hora,
    Wh_charge=Wh_charge + (Ibat(i)*Vbat(i)*(tiempo(i)-tiempo(i-
1)))/3600; %multiplicado la diferencia de tiempo entre el dato
anterior y el actual,
    i=i+1;
%con el valor de la corriente real de la bateria
end

Ah_charge
Wh_charge
tiempo_ejecucion=(tiempo(i_fin)-tiempo(i_inicio))/3600

i_inicio=0;
i_fin=0;

```

```

Ah_discharge=0;
Wh_discharge=0;
i=1;
display('En descarga')

i=i_inicio; %Calculo por cada muestra de datos el valor de los Amperios hora,
while i<i_fin
%multiplicado la diferencia de tiempo entre el dato anterior y el actual,
    Ah_discharge=Ah_discharge + (icon(i)*(tiempo(i)-tiempo(i-1)))/3600; %con el valor de la corriente real de la bateria
    Wh_discharge=Wh_discharge + (icon(i)*Vbat(i)*(tiempo(i)-tiempo(i-1)))/3600;
    i=i+1;
end

Ah_discharge
Wh_discharge
tiempo_ejecucion=(tiempo(i_fin)-tiempo(i_inicio))/3600
display('Rendimientos')
Aceptacion_carga=Ah_discharge/Ah_charge
Rendimiento_energetico=Wh_discharge/Wh_charge

```

- Findecarga

```

function [Var_pendiente]=fin_de_carga(Vbat,tiempo,i)

a=0;
V1=0;
t_actual=tiempo(i,1);

while tiempo(i-a,1)>(t_actual-10) %Comparo el valor de tiempo actual con t_actual menos 10 segundos
% mientras que esté en este intervalo
% sumo los valores de tensión correspondientes
    tiempo(i-a,1)-(tiempo(i,1)-10); %
    V1=V1+Vbat(i-a,1);
    a=a+1;
end
t1=t_actual-tiempo(i-a,1);
j1=a;
V2=0;
t_actual=tiempo(i,1)-10;
while tiempo(i-a,1)>(t_actual-10) %Comparo el valor de tiempo donde ha acabado el primer intervalo con tase valor de tiempo menos 10 segundos
% mientras que esté en este intervalo
% sumo los valores de tensión correspondientes

```

```

    tiempo(i-a,1)-(tiempo(i,1)-10);
    V2=V2+Vbat(i-a,1);
    a=a+1;
end
t2=t_actual-tiempo(i-a,1);
j2=a-j1;
V3=0;
t_actual=tiempo(i,1)-20;
while tiempo(i-a,1)>(t_actual-10)%Comparo el valor de tiempo donde ha
acabado el segundo intervalo con t ese valor de tiempo menos 10
segundos
                                %mientras que esté en este
intervalo
                                %sumo los valores de tensión
                                %correspondientes

    tiempo(i-a,1)-(tiempo(i,1)-10);
    V3=V3+Vbat(i-a,1);
    a=a+1;
end
t3=t_actual-tiempo(i-a,1);
j3=a-j2-j1;
t1
t2
t3
tp1=(t1+t2)/2      %Hallo el valor el periodo de tiempo que ha estado
entre el primer y segundo intervalo
tp2=(t2+t3)/2      %Hallo el valor el periodo de tiempo que ha estado
entre el segundo y tercer intervalo

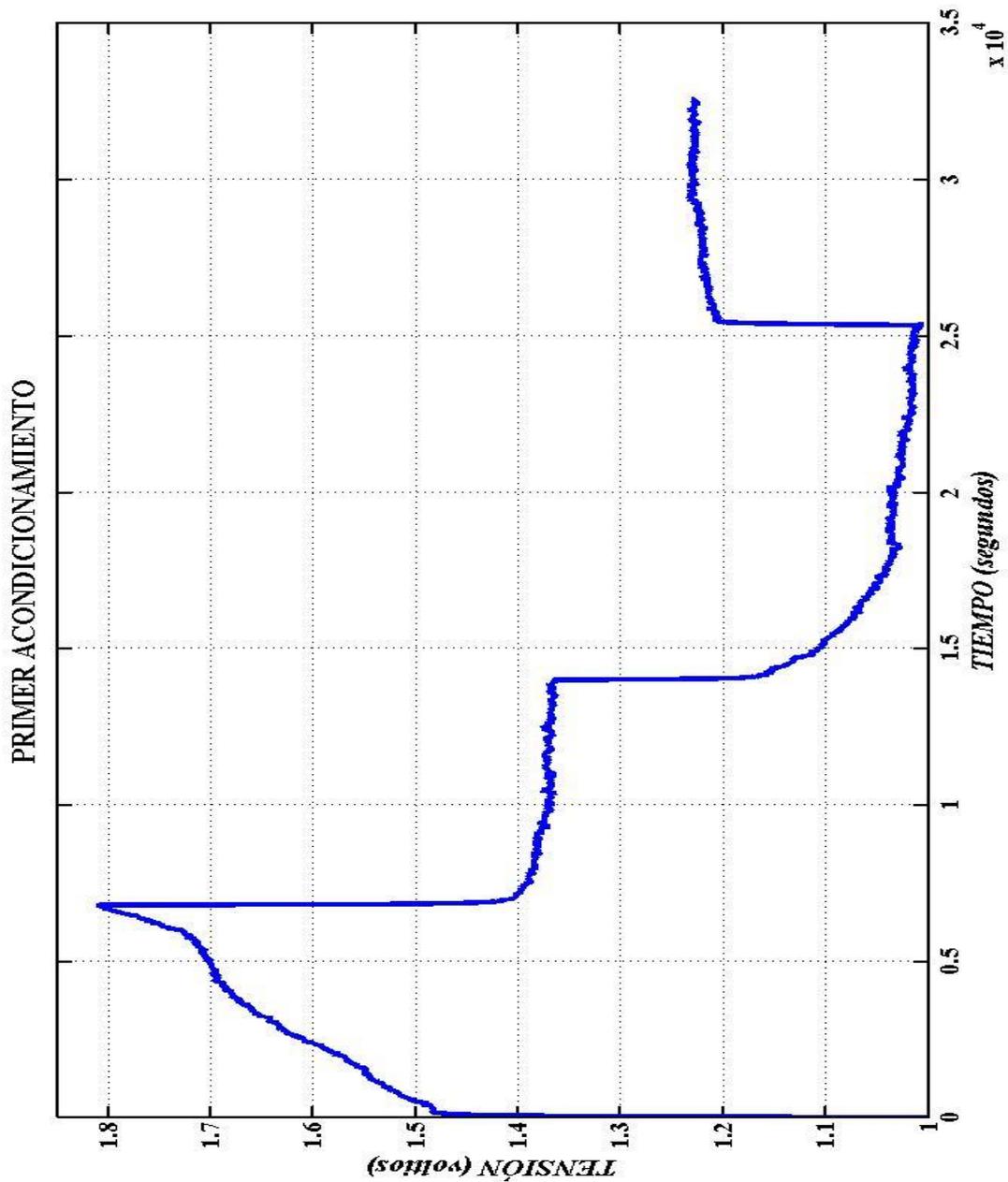
V1=V1/j1      %Calculo el valor medio de tensión de cada intervalo,
haciendo al sumatorio que habiamos hallado entre el numero de muestras
detectadas en cada intervalo
V2=V2/j2
V3=V3/j3
pendiente1=(V1-V2)/tp1
pendiente2=(V2-V3)/tp2

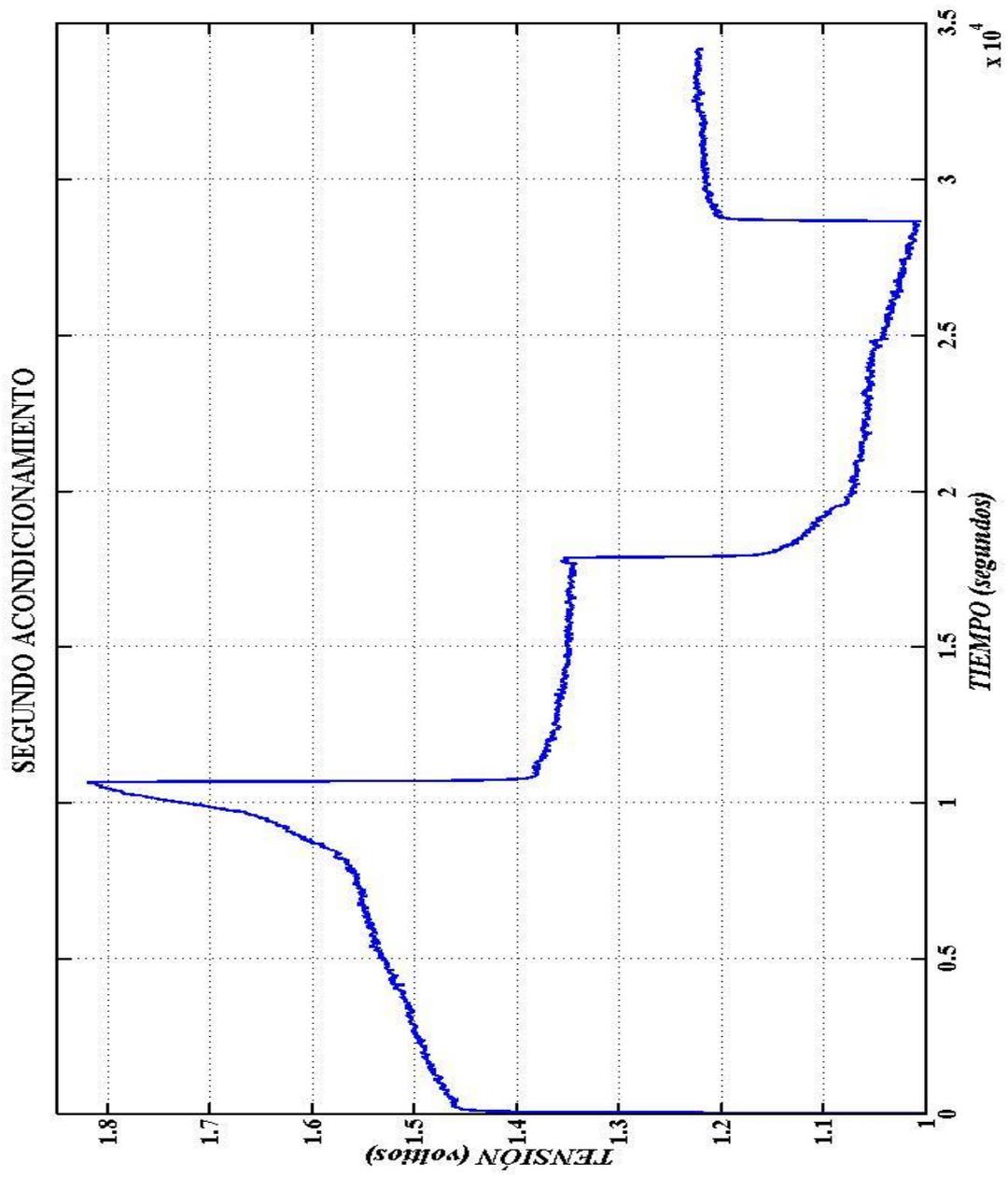
if pendiente2>pendiente1      %Comprueba la variación de pendiente
    Var_pendiente=-1
else
    Var_pendiente=1
end
end

```

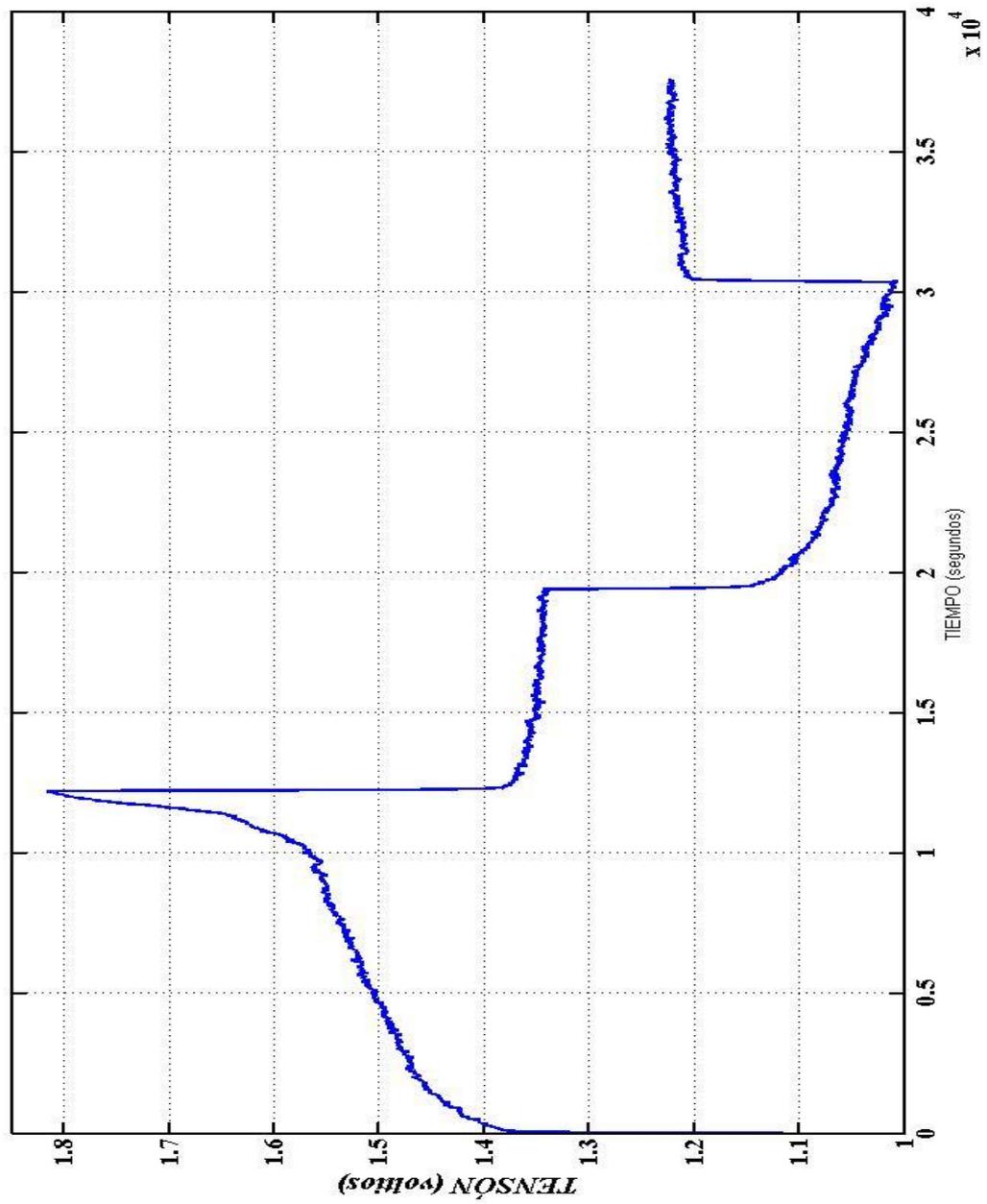
- GRÁFICAS

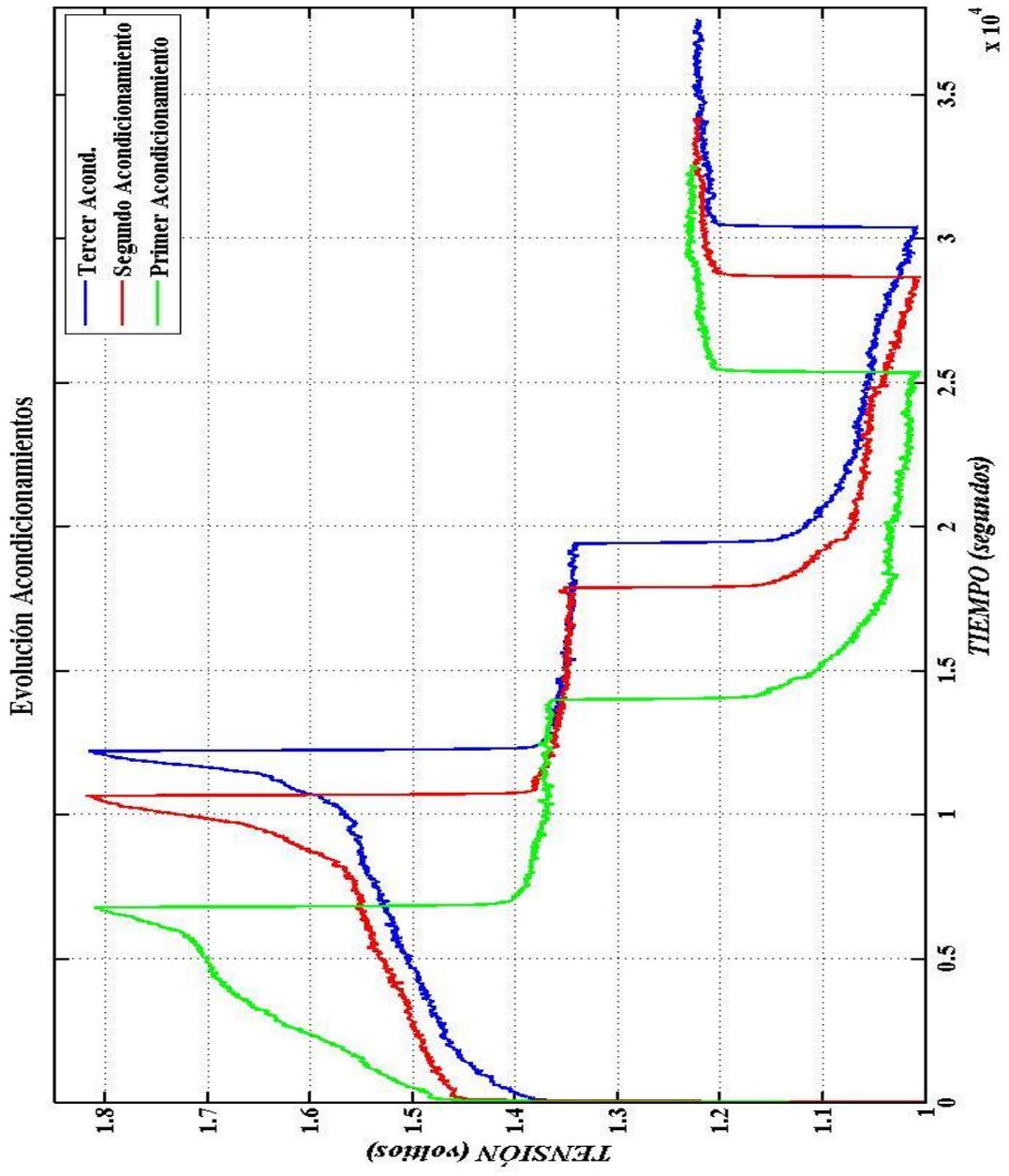
A continuación adjunto cada una de las gráficas que se han realizado en el presente proyecto, y que han servido para la elaboración del mismo. Son las gráficas que aparecen en la memoria pero a tamaño grande.

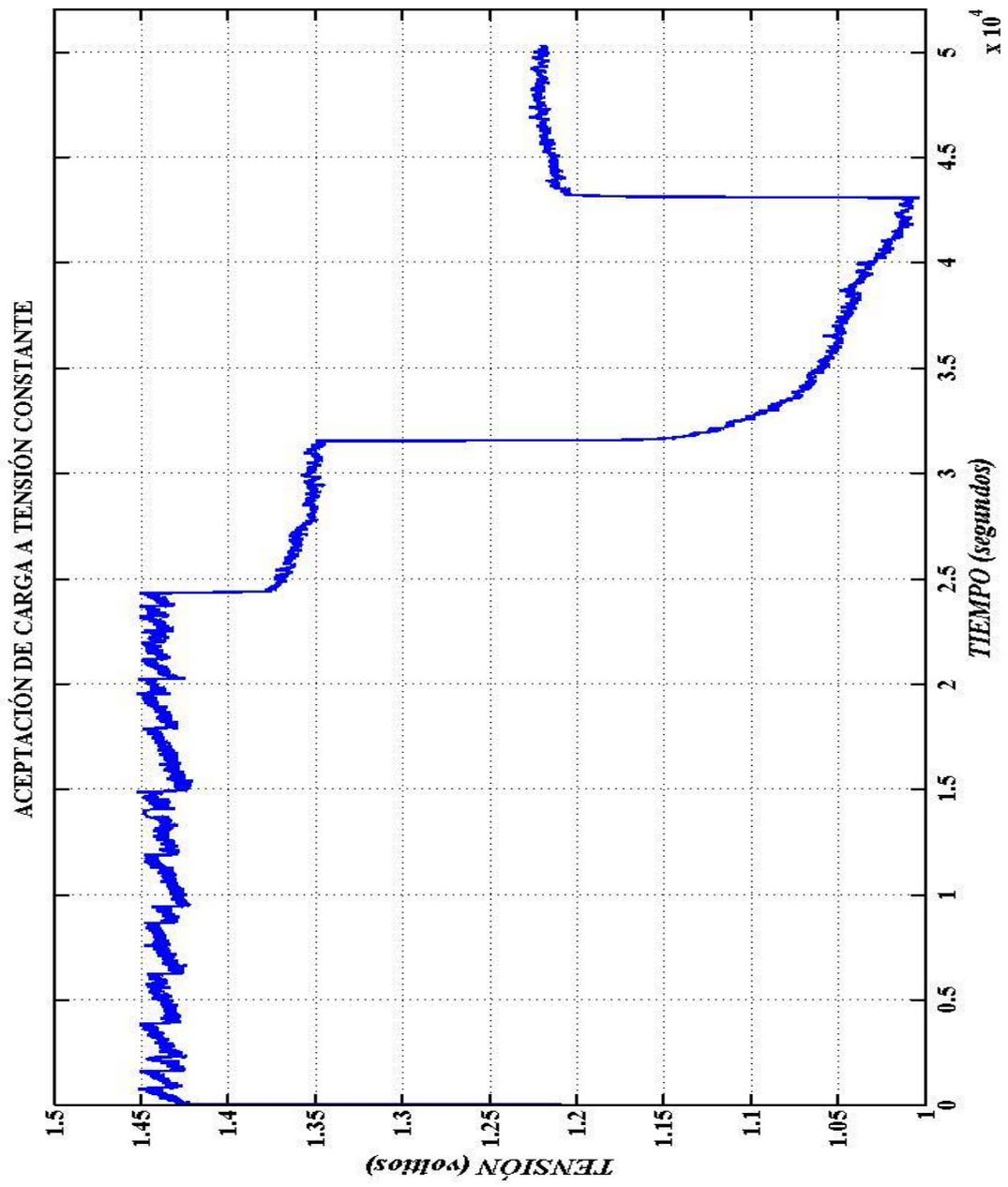




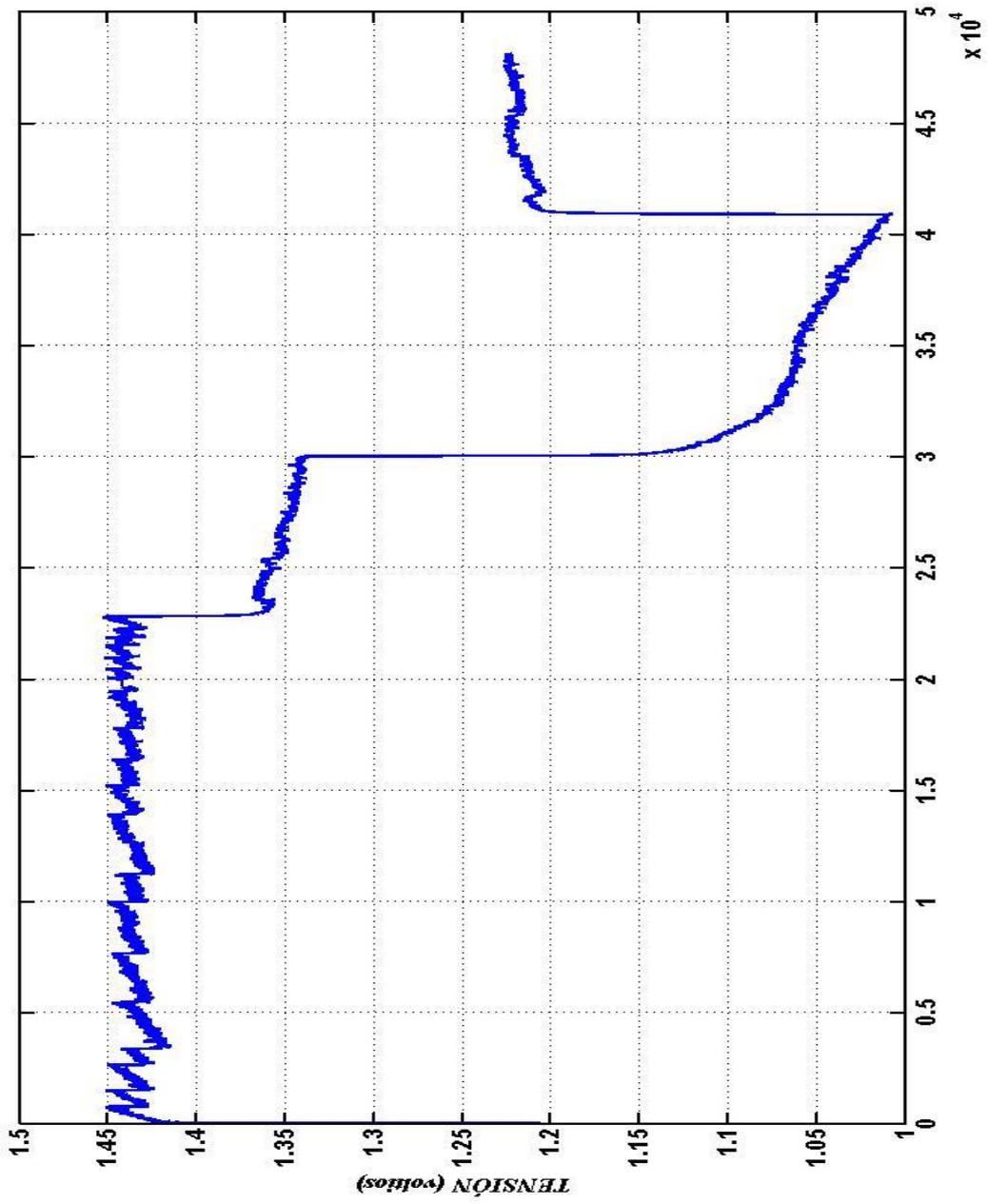
TERCER ACONDICIONAMIENTO



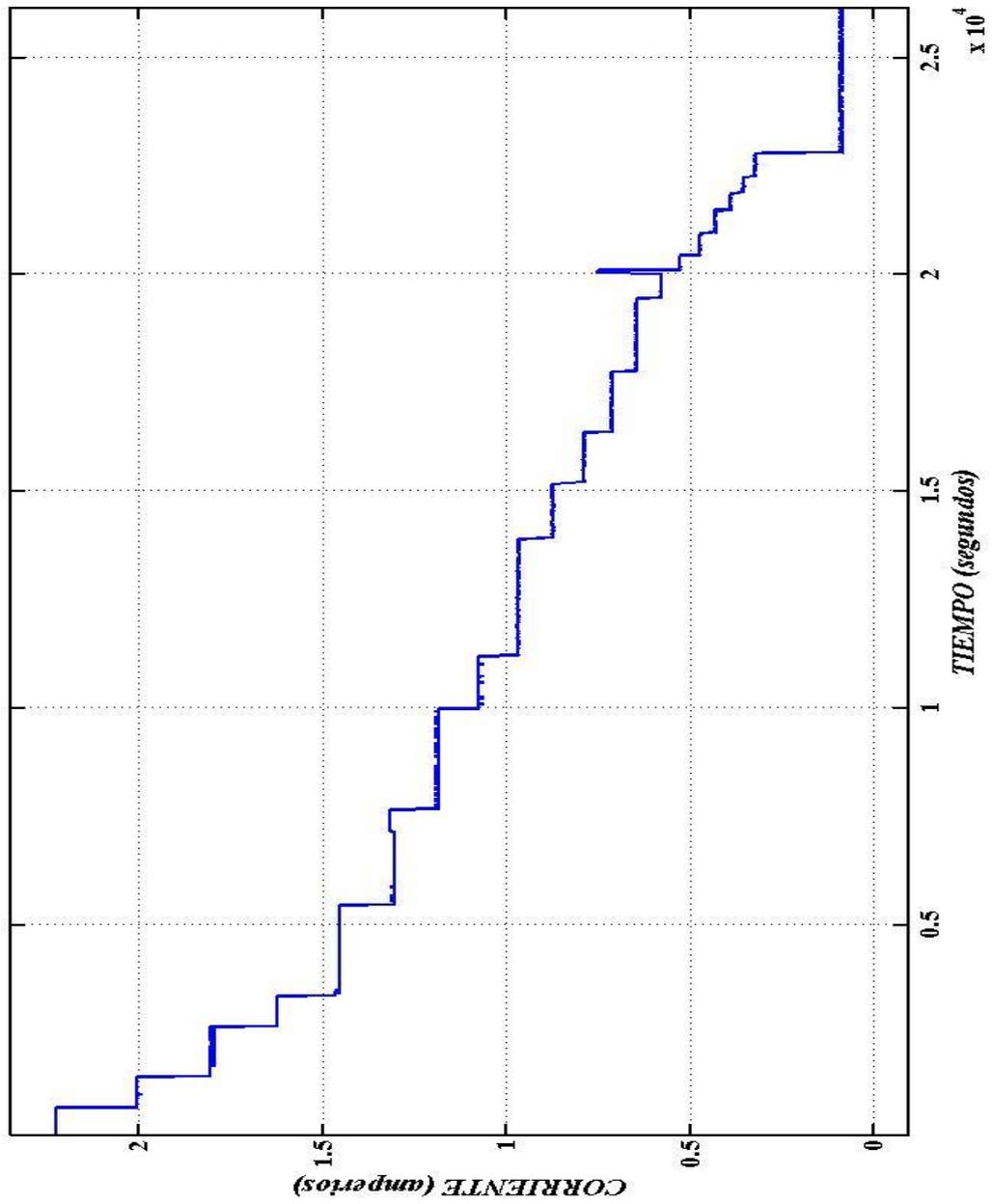




SEGUNDA ACEPTACIÓN DE CARGA A TENSION CONSTANTE



ACEPTACIÓN DE CARGA A TENSÓN CONSTANTE: CORRIENTE



CARACTERIZACIÓN

