



universidad
de león



**Escuela de Ingenierías
Industrial, Informática y Aeroespacial**

**GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

Trabajo de Fin de Grado

**ANÁLISIS DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE
ALIMENTACIÓN CONCURRENTES.**

**ANALYSIS OF ENERGY SUPPLY IN CONCURRENT POWER
SUPPLY SYSTEMS.**

Autor: Jesús Giganto Fernández
Tutor: Natalia Prieto Fernández

(Septiembre, 2022)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA

Trabajo de Fin de Grado

ALUMNO: Jesús Giganto Fernández

TUTOR: Natalia Prieto Fernández

TÍTULO: Análisis del suministro de energía en sistemas de alimentación concurrentes

TITLE: Analysis of energy supply in concurrent feeding systems

CONVOCATORIA: Julio, 2022

RESUMEN:

En los sistemas de alimentación ininterrumpida puede haber diversos tipos de alimentación que entregan energía de forma concurrente a la Salida. Por esta razón se precisa establecer lazos de control en función de las características de estos sistemas de almacenamiento para prolongar la vida útil de estos sistemas. La idea es seleccionar 2 bancos de almacenamiento de energía distintos. De manera paralela se hace un repaso de la evolución de las baterías a lo largo de la historia. Se introducen los conceptos oportunos y la historia de los sistemas de alimentación ininterrumpida. La puesta en marcha del proyecto comienza con un ensayo previo al proyecto para ver la viabilidad del mismo. Se realiza también el estudio de mercado de las baterías existentes y se busca cual es la más adecuada para el proyecto que nos ocupa. Después de elegir los dispositivos más oportunos, se realiza el montaje y se hacen pruebas para ver si se obtienen los resultados esperados.

ABSTRACT:

In uninterruptible power supplies, there may be several types of power supplies that deliver power concurrently to the Output. For this reason, it is necessary to establish control loops based on the characteristics of these storage systems to prolong the useful life of these systems. The idea is to select 2 different energy storage banks. In parallel, a review of the evolution of batteries throughout history is made and the appropriate concepts and the history of uninterruptible power supplies are introduced. The implementation of the project begins with a test prior to the project to see its viability. A market study of existing batteries is also carried out and it is sought which is the most suitable for the project at hand. After choosing the most appropriate devices, the

assembly is carried out and tests are carried out to see if the expected results are obtained.

Palabras clave: SAI, almacenamiento, baterías, energía, banco de almacenamiento, sistemas concurrentes, supercondensadores, litio.

Firma del alumno:

VºBº Tutor/es:

RESUMEN

En los sistemas de alimentación ininterrumpida puede haber diversos tipos de alimentación que entregan energía de forma concurrente a la salida. Por esta razón se precisa establecer lazos de control en función de las características de estos sistemas de almacenamiento para prolongar la vida útil de estos sistemas. La idea es seleccionar dos bancos de almacenamiento de energía distintos que consistirán en un banco de supercondensadores y otro de baterías. De manera paralela se hace un repaso de la evolución de las baterías a lo largo de la historia. Se describe brevemente cada tipología de baterías para más tarde realizar la elección de las baterías que más se adecuan al uso que para el que se van a destinar y se introducen los conceptos oportunos y la historia de los sistemas de alimentación ininterrumpida. Para ello se hace una clasificación de las distintas tipologías de SAIs según su forma de conexión y de trabajo. La puesta en marcha del proyecto comienza con un ensayo previo para ver si resulta conveniente seguir con el proyecto adelante o por el contrario sería mejor tomar otras direcciones en el mismo. Se realiza también el estudio de mercado de las baterías existentes y se busca cual es la más adecuada para el Proyecto que nos ocupa dado que se trata de un momento complicado por la situación vivida en los últimos tiempos en los que hay cierta carencia de material electrónico. Después de elegir los dispositivos más oportunos, se realiza el montaje y se hacen realizan pruebas con el software BatteryView viendo la manera de trabajar de las baterías para ver si se obtienen los resultados esperados y se contrastan con los del montaje previo.

ABSTRACT

In uninterruptible power supplies, there may be several types of power supplies that deliver power concurrently to the output. For this reason, it is necessary to establish control loops based on the characteristics of these storage systems to prolong the useful life of these systems. The idea is to select two different energy storage banks that will consist of a bank of supercapacitors and another of batteries. In parallel, a review of the evolution of batteries throughout history is made. Each type of battery is briefly described in order to later choose the batteries that are most suitable for the use for which they are going to be used, and the appropriate concepts and the history of uninterruptible power supplies are introduced. For this, a classification of the different types of UPSs is made according to their way of connection and work. The implementation of the project begins with a preliminary test to see if it is convenient to continue with the project or, on the contrary, it would be better to take other directions in it. A market study of the existing batteries is also carried out and it is sought which is the most suitable for the Project at hand, given that it is a complicated moment due to the situation experienced in recent times in which there is a certain lack of electronic material. After choosing the most appropriate devices, the assembly is carried out and tests are carried out with the BatteryView software, observing the way the batteries work to see if the expected results are obtained and they are contrasted with those of the previous assembly.

Índices.

INDICE DE CONTENIDO

Índices.....	6
Índice de figuras	9
Índice de cuadros y tablas.....	11
Glosario de signos, símbolos, unidades, abreviaturas, acrónimos o términos.....	12
1. Introducción.....	14
1.1 IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y DE LAS BATERÍAS.....	14
1.2 ANTECEDENTES	15
2 Objetivos.....	16
3 Estado del arte	17
3.1 HISTORIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU ALMACENAMIENTO... ..	17
3.2 TIPOS DE BATERÍAS	19
3.2.1 PILAS PRIMARIAS.....	19
3.2.1.1 PILAS DE ZINC-CARBONO O LECLANCHE.....	19
3.2.1.2 PILAS DE CLORURO DE ZINC-CARBONO	19
3.2.1.3 PILAS ALCALINAS	20
3.2.2 BATERÍAS SECUNDARIAS.....	20
3.2.2.1 BATERÍAS DE PLOMO-ACIDO	20
3.2.2.2 BATERÍAS DE NÍQUEL	21
3.2.2.2.1 BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO.....	21
3.2.2.2.2 BATERÍAS DE NÍQUEL-HIERRO	22
3.2.2.2.3 BATERÍAS DE NÍQUEL-METAL HIDRURO.....	23
3.2.2.2.4 BATERÍAS DE NÍQUEL-ZINC.....	24
3.2.2.2.5 BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRÓGENO	25

3.2.2.3	BATERÍAS DE LITIO	26
3.2.2.3.1	BATERÍA DE LITIO-DISULFURO DE TITANIO.....	27
3.2.2.3.2	BATERÍA DE LITIO-ÓXIDO DE COBALTO.....	27
3.2.2.3.3	BATERÍA DE LITIO-FERRO FOSFATO	28
3.2.2.3.4	BATERÍA DE LITIO-NÍQUEL-MANGANESO-ÓXIDO DE COBALTO	29
3.2.2.3.5	BATERÍA DE LITIO-TITANIO	29
3.2.2.3.6	BATERÍA DE LITIO POLÍMERO.....	30
3.2.3	BATERÍAS DE SUPERCONDENSADORES	31
3.3	HISTORIA DE LOS S.A.I.	33
3.4	UTILIDADES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA.	37
3.4.1	HOGARES Y OFICINAS DE PEQUEÑO TAMAÑO.	38
3.4.2	PYMES.....	39
3.4.3	CORPORATIVO.....	39
3.4.4	AREA INDUSTRIAL.	39
3.4.5	CENTROS SANITARIOS	39
3.4.6	CENTROS DE RECOGIDA DE DATOS O INVESTIGACION.	40
3.5	SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN CONCURRENTES.	40
4	Desarrollo	43
4.1	FASES DE DESARROLLO	43
4.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	44
4.3	TECNOLOGÍAS EMPLEADAS	44
4.3.1	BATERÍA DE LITIO	45
4.3.2	BANCO DE SUPERCONDENSADORES	47
4.3.3	FUENTE DE ALIMENTACIÓN RIGOL DP 832	49
4.3.4	CARGA ELECTRÓNICA RIGOL DL3021A	50

4.3.5	SOFTWARE PARA LA SUPERVISIÓN DEL MÓDULO DE BATERÍAS.	
	51	
4.4	ENSAYOS REALIZADOS.....	52
4.4.1	ESTUDIO 1	54
4.4.2	ESTUDIO 2	55
4.4.3	PUESTA A PUNTO DE LAS BATERÍAS.	56
4.4.4	PRESUPUESTO.....	61
5	Resultados obtenidos	63
6	Conclusiones y líneas futuras	67
7	Agradecimientos.....	68
8	Referencias	69
9	Anexos.....	75
9.1	DATASHEET PYLONTECH US3000C	75
9.2	DATASHEET SM0006-170-NB_DS	75
9.3	EXCEL_18_08_22_19_57_57	75
9.4	EXCEL_31_08_22_18_42_18	75
9.5	HISTORICO_223017C32231609_history_20220818200153	75
9.6	HISTORICO_223017C32231611_history_20220831185229	75
9.7	HISTORICO_EVENTOS_223017C32231609_event_20220818200216	75
9.8	HISTORICO_EVENTOS_223017C32231611_event_20220831185423	75

Índice de figuras

Figura 3.1 Pila de Volta (Fuente:[10])	18
Figura 3.2 Batería de 35 botellas (Fuente:[12]).....	18
Figura 3.3 Curvas de descarga de distintos tipos de pilas (Fuente:[14]).....	20
Figura 3.4 Batería de 9 celdas de Planté (Fuente: [19])	21
Figura 3.5 Batería de níquel-cadmio (Fuente:[20]).....	22
Figura 3.6 Batería de Jungner de NiFe (Fuente:[24]).....	23
Figura 3.7 Apariencia de una batería NiMH (Fuente:[26]).....	24
Figura 3.8 Curvas de carga/descarga de baterías de Ni-Zn en función de los ciclos (Fuente:[29]).....	25
Figura 3.9 Esquema de una batería de Níquel-Hidrógeno (Fuente:[32])	26
Figura 3.10 Esquema de la batería desarrollada por Whittingham. (Fuente:[35])	27
Figura 3.11 Esquema de una batería de Litio-Oxido de Cobalto (Fuente:[37]).....	28
Figura 3.12 Esquema de batería LiFePo4 (Fuente:[39])	28
Figura 3.13 Batería de LiNiMnCo (Fuente:[33])	29
Figura 3.14 Batería de Litio-Titanio (Fuente:[42])	30
Figura 3.15 Batería de Litio-Titanio (Fuente:[42])	30
Figura 3.16 Esquema carga descarga baterías Litio (Fuente:[45]).....	31
Figura 3.17 Construcción de un supercondensador (Fuente:[45])	32
Figura 3.18 Resumen gráfico batería vs Condensador (Fuente:[45]).....	32
Figura 3.19 Esquema del circuito de un S.A.I. Off-line. (Fuente:[53]).....	34
Figura 3.20 Esquema del circuito de un S.A.I. In-line. (Fuente:[53]).....	35
Figura 3.21 Esquema del circuito de un S.A.I. On-line. (Fuente:[53])	35
Figura 3.22 Esquema del circuito de un S.A.I. On-line Delta. (Fuente:[57])	36
Figura 4.1 Fotografía de las baterías seleccionadas (Fuente: Elaboración propia)	46
Figura 4.2 Banco de supercondensadores (Fuente: Elaboración propia)	48
Figura 4.3 Esquema detallado de la fuente de alimentación. (Fuente:[57]).....	50
Figura 4.4 Esquema detallado de la carga electrónica (Fuente:[59])	51
Figura 4.5 Esquema del circuito para los ensayos (Fuente: Elaboración propia).....	52
Figura 4.6 Fuente de tensión RIGOL DP832	53
Figura 4.7 RIGOL DL3021A	53
Figura 4.8 Montaje para la realización pruebas.....	53

Figura 4.9 Pantalla de inicio del programa BatteryView (Fuente: Elaboración propia)	57
Figura 4.10 Comprobación del puerto que hay que utilizar (Fuente: Elaboración propia) .	58
Figura 4.11 Pantalla de inicio del programa BatteryView (Fuente: Elaboración propia) ...	58
Figura 4.12 pantalla de inicio con cargas desconectadas. (Fuente: Elaboración propia)	59
Figura 4.13 Datos de la batería y firmware (Fuente: Elaboración propia)	59
Figura 4.14 Pantalla de parámetros en tiempo real de la batería (Fuente: Elaboración propia)	60
Figura 4.15 Curvas de trabajo de la batería (Fuente: Elaboración propia).....	60
Figura 4.16 Vista parcial del informe generado del histórico de la batería (Fuente: Elaboración propia)	61
Figura 5.1 Diagrama de bloques simplificado del montaje (Fuente: Elaboración propia)..	63
Figura 5.2 Pantalla principal del programa BatteryView con las cargas conectadas (Fuente: Elaboración propia)	64
Figura 5.3 Curva de descarga de la batería (Fuente: Elaboración propia)	65
Figura 5.4 Curvas de descarga de la batería (Fuente: Elaboración propia).....	65
Figura 5.5 Pantalla principal del programa BatteryView con las cargas conectadas (Fuente: Elaboración propia)	66
Figura 5.6 Evolución de la temperatura en el tiempo (Fuente: Elaboración propia).....	66

Índice de cuadros y tablas

Tabla 3.1 Cuadro comparativo distintas tipologías SAI (Fuente: Elaboración propia)	36
Tabla 4.1 Diagrama de Gantt (Fuente: Elaboración propia)	43
Tabla 4.2 Tabla comparativa baterías contempladas (Fuente: elaboración propia)	47
Tabla 4.3 Tabla comparativa de supercondensadores (Fuente: Elaboración propia)	49
Tabla 4.4 Datos obtenidos en el estudio 1 (Fuente: Elaboración propia)	54
Tabla 4.5 Datos obtenidos en el estudio 2 (Fuente: Elaboración propia)	55
Tabla 4.7 Presupuesto inicial para almacenamiento de energía (Fuente: Elaboración propia)	62
Tabla 4.8 Inversión final en el almacenamiento de energía (Fuente: Elaboración propia).	62
Tabla 5.1 Excel generado por el programa del proceso (Fuente: Elaboración propia)	66

Glosario de signos, símbolos, unidades, abreviaturas, acrónimos o términos

Ah:	Amperios-hora
Al:	Aluminio
Cd:	Cadmio
Co:	Cobalto
F:	Flúor
Fe:	Hierro
K:	Potasio
kg:	Kilogramo
KOH:	Hidróxido de potasio
Li:	Litio
LiFePo ₄ :	Litio-Ferfosato
LiNiMnCo:	Litio-Níquel-Manganeso-Cobalto
Li-TiS ₂ :	Litio-disulfuro de titanio
Mh:	Metal-hidruro
Mm:	Metal de misch
Mn:	Manganeso
MnO ₂ :	Dióxido de manganeso
Na:	Sodio
NH ₄ Cl:	Cloruro de amonio
Ni:	Níquel
Ni-Cd:	Níquel- Cadmio
Ni-Fe:	Níquel- Hierro
Ni-MH:	Níquel metal hídrico
NiOOH:	Oxo-hidroxido de níquel
Ni-Zn:	Níquel-Zinc
O:	Oxígeno
P:	Fosforo
Pb:	Plomo

Pb-Cn:	Plata-Zinc
S.A.I.:	Sistema Alimentación Ininterrumpida
S:	Azufre
Ti:	Titanio
TiS2:	Disulfuro de titanio
U.P.S:	Uninterruptable Power Supply
V:	Voltios
W:	Wattios
Wh:	Wattios hora
Zn:	Zinc

1. Introducción

1.1 IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y DE LAS BATERÍAS.

Debido al gran avance tecnológico que estamos viviendo en los últimos años, dependemos cada vez más de la energía eléctrica en nuestro día a día. Ya no solo precisamos de la electricidad por las noches como ocurría en la mayoría de casos hasta hace poco, sino que, ahora nos valemos de esta energía para todo tipo de funciones como pueden ser la domótica e inmótica, gestión de procesos de fabricación, hospitales, telecomunicaciones, etc. [1]

A consecuencia de esta gran demanda energética en la actualidad, en empresas e instituciones, debemos garantizar del buen funcionamiento de los aparatos electrónicos. Por ello, es necesario proporcionar un sistema que asegure la continuidad de la alimentación evitando así los temidos “apagones” aun que se produzca un corte en el suministro eléctrico. Además de los cortes en el suministro eléctrico, la mala calidad de la energía eléctrica puede ocasionar fallos irreversibles en los dispositivos haciendo que se pueda perder la información de los mismos o llegando a parar el proceso de producción de una fábrica durante días. Los fallos que podemos encontrarnos por mala calidad son, por ejemplo, fluctuaciones de voltaje, micro cortes, variaciones de frecuencia, distorsión armónica, etc. [2]

Además, a la problemática anterior le tenemos que sumar el alto precio de la electricidad y las políticas verdes, fomentando la no utilización de combustibles fósiles para la generación de electricidad, que nos llevan a implantar el uso de fuentes de energía renovables con el fin de abaratar los costos del suministro y de contribuir de manera positiva con el medio ambiente, pero con el inconveniente de que estas fuentes producen energía de manera intermitente por lo que conviene almacenar la energía para poder hacer uso de ella cuando nos convenga [3].

Para llevar a cabo el almacenamiento de la energía utilizamos baterías, estas, tienen una historia de más de 200 años. La energía de una batería viene de la tendencia de las cargas eléctricas a pasar de una sustancia a otra en unas determinadas circunstancias [4].

En los últimos años debido al continuo desarrollo tecnológico las baterías han sufrido una gran evolución ya que han sido parte fundamental para hacer posible la utilización de muchos de los dispositivos que utilizamos en el día a día como pueden ser smartphones, ordenadores portátiles, relojes inteligentes o pulseras deportivas, etc. A nivel industrial también han sido

de gran importancia ya que las baterías hoy día son las protagonistas en muchos sistemas de alimentación de fábricas en un camino hacia el futuro sostenible en la incorporación de instalaciones fotovoltaicas de empresas, equipamiento de sistemas de alimentación ininterrumpida (S.A.I) o en el mundo automovilístico en el que actualmente el vehículo eléctrico está evolucionando a pasos agigantados como consecuencia de la continua investigación y mejora de las baterías.

Para dar solución a este tipo de problemas en este trabajo plantearemos como solución un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (S.A.I.). este se instala entre la línea y las cargas que debemos proteger, entregando en la salida un voltaje libre de perturbaciones.

1.2 ANTECEDENTES

El proyecto se desarrolla para su implantación en el laboratorio de Electrónica de Potencia que se encuentra en la Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial del campus de Vegazana de la Universidad de León.

Se llevará a cabo en este laboratorio con el fin de poder utilizar la maqueta resultante en diversas actividades formativas para los estudiantes de ingeniería y mostrar el funcionamiento de este tipo de sistemas que cada día son más comunes en el ámbito industrial.

2 Objetivos

Como objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado se contempla el análisis y evaluación de diferentes sistemas de alimentación ininterrumpida. Como se comentó con anterioridad este trabajo forma parte de un proyecto más amplio, vinculado a una empresa, los sistemas en estudio dependen de las necesidades del proyecto global y de la empresa.

- Estudio de los diferentes sistemas de alimentación ininterrumpida y su trabajo de forma concurrente.
- Realizar una comparación de los dispositivos disponibles en el mercado para ver cuáles se adecúan más a la maqueta.
- Incorporar en la maqueta las baterías y los supercondensadores seleccionados.
- Participar activamente en el montaje de la maqueta.
- Analizar el comportamiento de los mismos en conjunto con la maqueta.

3 Estado del arte

3.1 HISTORIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU ALMACENAMIENTO.

Los primeros fenómenos eléctricos se encuentran en textos egipcios que datan de año 2750 a.C. en estos textos se hablan de peces eléctricos conocidos como “atronadores del Nilo” por lo que el primer descubrimiento eléctrico lo podemos catalogar como bio-electricidad[5].

as tarde, en el año 600 a.C. los griegos descubrieron que la fricción de la lana, la piel u otros objetos como plumas con el ámbar hacían que estos generasen una fuerza de atracción entre ellos y, por lo tanto, lo que se descubrió ahí fue la electricidad estática.

Por aquel entonces, un filósofo llamado Tales de Mileto fue quien realizo por primera vez este experimento e investigo el efecto de la electricidad estática del ámbar clasificándolo erróneamente como un efecto magnético resultante de la fricción[6].

Fue después en el año 1600, cuando el medico ingles William Gilbert utiliza por primera vez el término “electricus” para describir la fuerza que ejercen ciertas sustancias cuando se someten a fricción. El término “electricus” proviene de la palabra griega ELEKTRON que significa ámbar[7].

En el 1752 Benjamín Franklin realizo un experimento con una cometa, una llave y una tormenta. Con ello dio a conocer que el rayo y las pequeñas chispas eléctricas, eran la misma cosa.

En el año 1800 el físico italiano Alessandro Volta demostró que no eran los cuerpos de los animales sino el contacto de dos metales lo que producía una corriente eléctrica, algo que por aquel entonces era revolucionario ya que desmontaba las teoría anteriores y provocaba controversia entre los científicos de la época [8]. El nombre que Volta le dio a su invento fue “pila voltaica de columna” y consistía en apilar placas de cobre y zinc separadas entre ellas con textiles empapados en ácidos (agua o salmuera) como se muestra en la figura 3.1 [9].



Figura 3.1 Pila de Volta (Fuente:[10])

A mediados del siglo XVIII el científico, político, e inventor Benjamin Franklin experimento con las botellas de Leiden y formó lo que el denominó como “batería” ya que en esa disposición se asemejaba mucho con una batería de cañones de artillería. Esta estaba compuesta por 35 botellas de Leiden como se muestra en la figura 3.2 y en la actualidad es lo que conocemos por condensadores que son dispositivos con la capacidad de almacenar cargas eléctricas pero diferente a lo que conocemos actualmente como batería. Estas últimas son capaces de transformar la energía eléctrica que reciben en energía química a partir de la reacción que se produce cuando dos sustancias diferentes como los de las placas positiva y negativa se sumergen en el electrolito, una solución de ácido sulfúrico y agua.[10]



Figura 3.2 Batería de 35 botellas (Fuente:[12])

3.2 TIPOS DE BATERÍAS

Como se ha podido comprobar en los párrafos anteriores la humanidad ha querido aprovechar al máximo la electricidad desde que se descubrió buscando la manera de poder almacenar este tipo de energía. Para ello a lo largo de la historia se han desarrollado diferentes tipos de baterías hasta llegar a la actualidad. Es evidente que unas han tenido más aceptación que otras ya sea por rendimiento, costes, calidad o el tipo de uso que se las va a dar. A continuación, haremos un listado y resumen de los tipos de baterías más relevantes. Cabe recordar que el funcionamiento de una batería se basa en procesos químicos que transforman la energía química en eléctrica. Esos procesos pueden ser reversibles o irreversibles y en función de esto se distinguen 2 principales tipos de baterías: primarias o secundarias.[11]

3.2.1 PILAS PRIMARIAS.

Las baterías primarias son aquellas que, una vez que se produce la reacción, no pueden volver a su estado original, agotando así su capacidad de almacenar energía. Este tipo de baterías se conocen comúnmente como pilas no recargables y son las que se utilizan a diario para alimentar dispositivos electrónicos como mandos de tv, relojes domésticos, linternas, etc. Fundamentalmente existen 3 tipos.

3.2.1.1 PILAS DE ZINC-CARBONO O LECLANCHE

Son las pilas más baratas y comunes, pero de muy baja capacidad. Además tiene un mal comportamiento a bajas temperaturas no siendo capaces de suministrar corrientes elevadas.[12]

3.2.1.2 PILAS DE CLORURO DE ZINC-CARBONO

Su precio es intermedio, se comportan bien a bajas temperaturas y tienen la ventaja frente a las anteriores de que pueden suministrar corrientes elevadas, aunque comparten la desventaja de la capacidad reducida.[13]

3.2.1.3 PILAS ALCALINAS

Son unas de las más populares del mercado por su versatilidad ya que existen en muchos tamaños y además tienen una durabilidad de 4 a 9 veces más que las de otros tipos, se puede ver esto en la figura 3.3. Está fabricada de zinc (Zn) y dióxido de manganeso (MnO_2) y el electrolito es de hidróxido de potasio (KOH).[14]

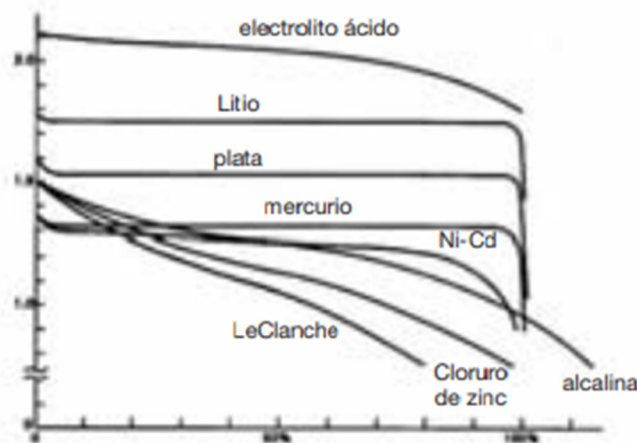


Figura 3.3 Curvas de descarga de distintos tipos de pilas (Fuente:[14])

3.2.2 BATERÍAS SECUNDARIAS.

Por otro lado, tenemos las baterías secundarias que son las que nos interesan en el trabajo que nos ocupa y son aquellas en las que el proceso químico si es reversible. Es decir, es capaz de transformar energía química en eléctrica y además si reciben energía eléctrica, son capaces de restaurar su composición química original haciendo que puedan ser reutilizadas un número de veces limitado hasta que se agota del todo. A este tipo de baterías las denominamos pilas o baterías recargables. Dependiendo de la naturaleza interna de las baterías y sus características electroquímicas, podemos hacer una clasificación de las baterías de la siguiente manera.[15]

3.2.2.1 BATERÍAS DE PLOMO-ACIDO

A mediados del siglo XIX el científico francés Gastón Planté estableció la base de la batería recargable de plomo y ácido. Este sistema era por aquel entonces el más exitoso de todos los tiempos. Este experimento constaba de 9 celdas conectadas en paralelo (ver figura 3.4). Cada

celda consistía en dos placas de plomo separadas por tiras de goma. Todo el conjunto de enrollaba en forma de espiral y se sumergían en ácido sulfúrico diluido al 10% en agua. Unos años más tarde el ingeniero francés Camille Alphonse Fauré realizó algunas mejoras que consistían en cubrir ambas superficies del plomo plano (Pb_3O_4) con una pasta de plomo rojo. La primera carga generaba PbO_2 en el electrodo positivo mientras que el electrodo negativo se reduce al electrodo de esponja. Este sistema se ha ido mejorando con las diferentes tecnologías hasta la actualidad. Este tipo de baterías lo vemos con frecuencia en instalaciones solares o en vehículos eléctricos.[16] [17]



Figura 3.4 Batería de 9 celdas de Planté (Fuente: [19])

3.2.2.2 BATERÍAS DE NÍQUEL

3.2.2.2.1 BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO

Las baterías de níquel-cadmio (NiCd) fueron creadas en el año 1899 por el sueco Waldemar Jungner. Jungner, introdujo un sistema basado en hidróxido de níquel como material catódico, una mezcla de cadmio y hierro en el ánodo y una disolución de hidróxido potásico en agua que actuaba como electrolito que se conoce como batería de níquel-cadmio, su constitución se puede ver en la figura 3.5.

El voltaje para una batería de este tipo ronda los 1.5 voltios (V) pudiendo conectar las celdas en serie o en paralelo para obtener el voltaje deseado. Aparte del voltaje también es interesante la energía que en este caso ronda los 50-60 Wh por Kg, como veremos en los siguientes apartados, estas baterías se encuentran entre las baterías de níquel- hierro y níquel-zinc.[18]

Tiene ventajas como la capacidad de ofrecer una salida de alta corriente o tolerar la sobrecarga y además soporta del orden de hasta 500 ciclos de carga. Por el contrario, presenta desventajas como pueden ser la disminución del rendimiento por las temperaturas o que el cadmio no es un material ecológico.

Al igual que las baterías de plomo ácido, las de Ni-Cd se utilizan para el arranque de vehículos, de motores, u otros dispositivos eléctricos, además de aparatos que necesiten un alto potencial para la puesta en funcionamiento así como aparatos que trabajen en lugares y condiciones extremas como puede ser por ejemplo alta montaña o zonas remotas.[19]

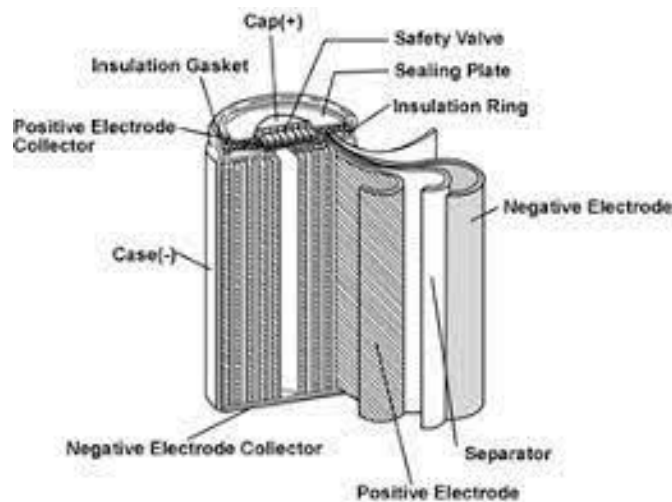


Figura 3.5 Batería de níquel-cadmio (Fuente:[20])

3.2.2.2 BATERÍAS DE NÍQUEL-HIERRO

Aunque esta batería fue desarrollada de manera paralela a la de Ni-Cd por Jungner, ver ilustración 3.6, fue Thomas Alba Edison quien a principios del siglo XX patentó las baterías de Níquel-hierro como una alternativa barata de las baterías de ácido y plomo con el fin de alimentar vehículos eléctricos, aunque con el avance de las tecnologías, a día de hoy no se utilizan con ese fin y se restringe su utilización a acumular energía de molinos de viento o de instalaciones fotovoltaicas. [20]

El funcionamiento de estas baterías consiste en un electrodo de níquel y otro de hierro sumergidos ambos en una solución alcalina.

Este tipo de baterías son seguras, pero presentan algunos inconvenientes como la baja acumulación de energía en el mismo espacio que otras y también son muy lentas en la carga y descarga.

Un grupo de investigadores de la universidad de Stanford, ha trabajado con el grafeno en estas baterías fabricando los electrodos con este material (una capa fina de átomos de carbono en forma de panal de abeja) y han conseguido multiplicar por 1000 su velocidad de carga y descarga.

La introducción del grafeno en estas baterías ha hecho que estas baterías tengan nuevos fines como su uso en ámbitos militares si es necesario cargar algo muy rápido o en definitiva de respaldo de otras baterías o de cualquier aparato eléctrico que pueda requerir una carga rápida en espacio corto del tiempo. El prototipo creado es de 1 voltio, pero el modelo es escalable y se pueden producir modelos mucho más grandes. Tiene el inconveniente de que pierden en torno a un 20% de su capacidad tras 800 ciclos de carga y descarga.[21]



Figura 3.6 Batería de Jungner de NiFe (Fuente:[24])

3.2.2.2.3 BATERÍAS DE NÍQUEL-METAL HIDRURO

Las baterías de níquel metal hídrico (Ni-MH) que tienen la particularidad de usar hidrógeno en su proceso de producción de energía, fueron desarrolladas por en el año 1970 por el químico Stanford Ovshinky aunque no se ha utilizado hasta la actualidad en dispositivos electrónicos de pequeño tamaño como teléfonos móviles.

El funcionamiento se basa en la utilización de un ánodo de oxidación de níquel (NiOOH) y su cátodo es de una aleación de hidruro metálico.

Este tipo de baterías tiene la gran ventaja de ser capaz de almacenar hasta un 30% más de energía en el mismo espacio que las de Ni-Cd.

En cuanto a prestaciones, estas, son capaces de generar 1,2 Voltios y una capacidad de entre 0.8 y 2.9 Ah (Amperios-hora) y su densidad energética llega hasta los 100 Wh/Kg soportando una media de 500 a 2000 ciclos de carga y además no se ven muy afectadas en cuando a degradación haciendo imposible el uso de toda su energía.

Otra de las ventajas es que estas baterías se fabrican con metales como el titanio, el zirconio, vanadio, níquel o cromo y se ha experimentado con la utilización del lantano. En conclusión, al tratarse estos metales de materiales no perjudiciales para el medio ambiente estas baterías resultan de gran interés. El aspecto de este tipo de baterías se ve en la siguiente figura [22].



Figura 3.7 Apariencia de una batería NiMH (Fuente:[26])

3.2.2.2.4 BATERÍAS DE NÍQUEL-ZINC

Similar a las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) las baterías de níquel-zinc (Ni-Zn) son un tipo de batería recargable con un voltaje de 1.6 V.

Fue patentada en estados unidos por Thomas Alva Edison en el año 1901 pero se llegó a comercializar. Mas tarde el químico irlandés James J. Drumm realizo una serie de mejoras en la química de las baterías y estas fueron instaladas en cuatro conjuntos de vagones Drumm de 2 vagones en la línea Bublin-Bray entre los años 1932 y 1949. Estas tuvieron un gran éxito, pero fueron retiradas cuando se agotaron debido a que tenían una vida de pocos ciclos de carga y descarga. En la década de los 60 se volvió a estudiar e investigar este tipo de baterías como alternativa a las de plata-Zinc (Pb-Zn) en el área militar y más tarde, ya en la década de los 70, se vio una gran oportunidad en ellas para su utilización en vehículos eléctricos. Una de las empresas que más investigo con este tipo de baterías fue Evercel Inc

que realizo varias mejoras y patentó en las baterías de Ni-Zn pero se retiró de esta área en el año 2004.[23]

Como ventajas de estas baterías podemos resaltar la tensión aumentada entre 0.1 V más que en las baterías convencionales y 0.4 V más que las de hidruro de níquel metal como se aprecia en la figura 3.8. También destaca su excelente rendimiento de corriente de descarga, su baja resistencia interna, su ligereza y su bajo precio.

Por el contrario tienen dos desventajas que son el numero pequeño de ciclos de carga y descarga (no siempre se puede garantizar más de 300 ciclos) y las falsificaciones que suelen faltar en el primer mes de uso.[24]

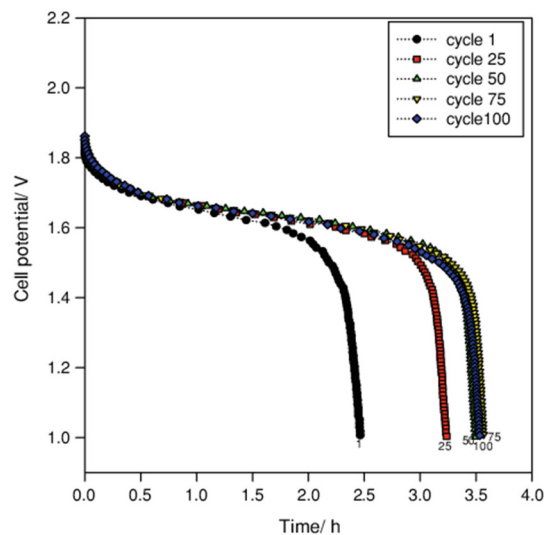


Figura 3.8 Curvas de carga/descarga de baterías de Ni-Zn en función de los ciclos (Fuente:[29])

3.2.2.2.5 BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRÓGENO

El desarrollo de estas baterías se inició en 1970 en Cosmat y patentada en 1971 por Alexandr Llich Kloss y por Boris Loselevich Tsenter. Fue utilizada por primera vez en el año 1977 a bordo del satélite de tecnología de navegación 2 de la marina de los estados unidos. El funcionamiento de esta se distingue de las baterías de hidruro metálico de níquel (NiMH) por el uso de hidrogeno en forma gaseosa almacenado en una celda presurizada a una presión de hasta 1200 psi. [25]

Es cierto que en comparación con una batería de litio la densidad de energía de una batería de níquel- hidrogeno es solo de un tercio, pero tienen la virtud de tener una larga vida con una media de 20000 ciclos de carga y un 85% de eficiencia energética.

Estas baterías tienen propiedades que las hicieron atractivas para el almacenamiento de energía en satélites y sondas espaciales como la ISS aunque actualmente han sido sustituidas por unas de Litio. A continuación, se muestra en la figura 3.9 de manera esquemática el aspecto de una batería de este tipo. [26]

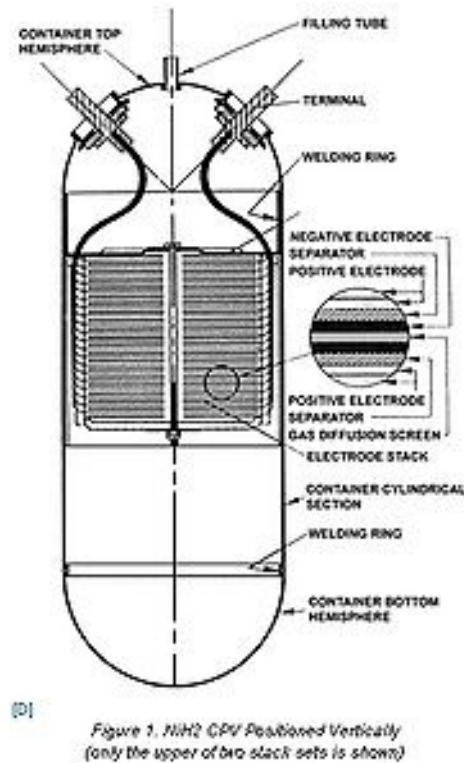


Figura 3.9 Esquema de una batería de Níquel-Hidrógeno (Fuente:[32])

3.2.2.3 BATERÍAS DE LITIO

Las baterías de iones de litio resultan esenciales para la tecnología en la actualidad, pues suministran toda clase de dispositivos como teléfonos móviles, dispositivos médicos, vehículos eléctricos o como vimos en el apartado anterior, se utilizan incluso a nivel espacial debido a su gran potencial.

Los fabricantes acostumbran a utilizar carbonato de litio o hidróxido de litio en este tipo de baterías en lugar de metal de litio. Si bien es cierto que el litio es un ingrediente estratégico en las baterías de litio, también añaden otros metales como son el grafito, el níquel y el cobalto.

A continuación expondremos algunas tipologías de baterías de iones de litio.[27]

3.2.2.3.1 BATERÍA DE LITIO-DISULFURO DE TITANIO

Cuando el mundo occidental comenzó a recuperarse de los efectos devastadores de la Segunda Guerra Mundial, la industria automovilística comenzó a aumentar de manera significativa y con ello la contaminación ambiental y demás problemas derivados de este tipo de industrias.

Todo este panorama llevo a que la compañía petrolera líder Exxon comenzara a invertir en investigación básica dentro del campo de la energía contratando a investigadores de primer nivel como Stanley Whittingham que llevo a Exxon en el 1972. Este descubrió que el disulfuro de tantalio (TaS_2) cambiaba su conductividad eléctrica al intercalarle iones. Decidió probar con el tántalo y no le fue mal pero este material es muy pesado por lo que decidió probar con el disulfuro de titanio (TiS_2) que presenta propiedades similares, pero con mucho menos peso. En la figura 3.10 se ve el esquema de esta batería [28].

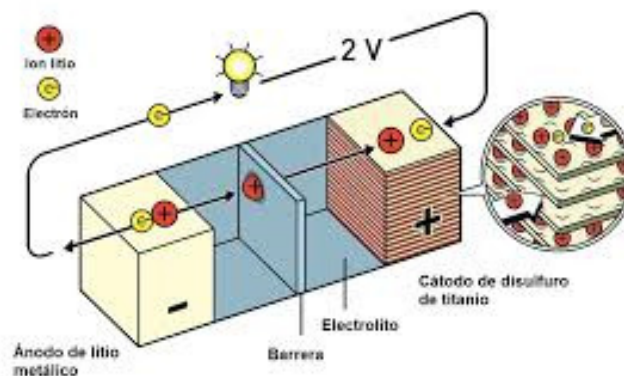


Figura 3.10 Esquema de la batería desarrollada por Whittingham. (Fuente:[35])

3.2.2.3.2 BATERÍA DE LITIO-ÓXIDO DE COBALTO

la utilidad del óxido de litio como un electrodo de intercalación fue descubierto en el año 1980 en una investigación de la universidad de Oxford dirigida por el Jonhn B. Goodenough. En las baterías producidas con litio-óxido de cobalto $LiCoO_2$ los cátodos tienen capacidades muy estables, pero tienen menores capacidades y potencia que aquellos basados en óxidos de níquel-cobalto-aluminio. Estas baterías presentan el problema de que si se exceden temperaturas de $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ son susceptibles de fuga térmica. A estas temperaturas la descomposición del $LiCoO_2$ genera oxígeno y más tarde reacciona con el electrolito orgánico de la celda. En la figura 3.11 se ve de manera esquemática el funcionamiento de

estas baterías. De esta manera se ve comprometida la seguridad debido a la magnitud de esta reacción que puede extenderse a las celdas adyacentes o encender el combustible cercano. [29]

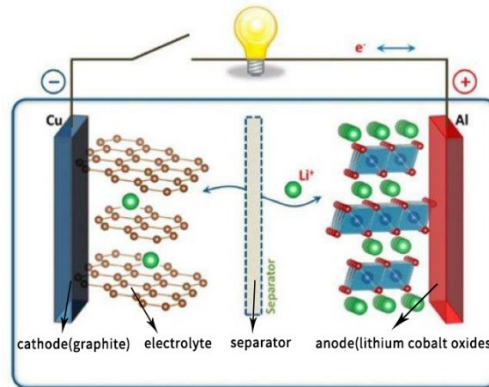


Figura 3.11 Esquema de una batería de Litio-Oxido de Cobalto (Fuente:[37])

3.2.2.3.3 BATERÍA DE LITIO-FERRO FOSFATO

La batería de fosfato de hierro y litio (LiFePo_4) o batería LFP es un tipo de batería de iones de litio que utiliza fosfato de hierro y litio como material del cátodo y un electrodo de carbono grafitico con respaldo metálico como ánodo. El principal inconveniente de estas baterías es su baja conductividad eléctrica. Debido a su bajo costo, baja toxicidad, desempeño bien definido, estabilidad a largo plazo, etc. El LiFePo_4 ha encontrado una serie de funciones en el uso de vehículos, aplicaciones estacionarias o como es el tema que nos ocupa en este Trabajo Fin de Grado, la energía de respaldo.

el fosfato de hierro y litio (LiFePo_4) es un mineral natural de la familia del olivino. Arumugam Manthiram y John B. Goodenough lo identificaron por primera vez allá por el año 1970 y se usó por primera vez en baterías en el año 1996. En la figura 3.12 se ve como están constituidas estas baterías.[30]

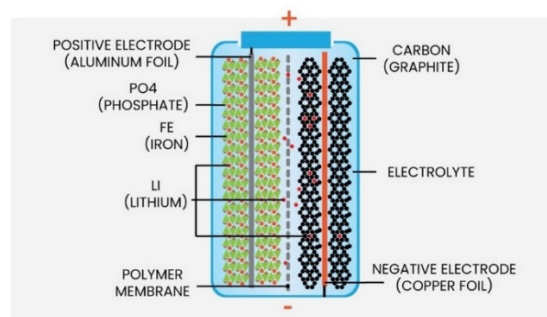


Figura 3.12 Esquema de batería LiFePo_4 (Fuente:[39])

3.2.2.3.4 BATERÍA DE LITIO-NÍQUEL-MANGANESO-ÓXIDO DE COBALTO

Derivadas del trabajo de Jhon B. Goodenough de la década de 1980 sobre la tecnología LiCoO_2 , el trabajo de Tsutomu Ohzuku sobre el $\text{Li}(\text{NiMn})\text{O}_2$ y estudios relacionados sobre los materiales de tipo NaFeO_2 . El voltaje de las baterías LiNiMnCo va de los 3.6V a los 3.7V. El aspecto de estas baterías se muestra en la siguiente figura.

Fue en 2001 cuando Christopher Johnson, Michael Thackeray, Khalil Amine y Jaekook Kim presentaron una patente para cátodos ricos en litio, níquel, manganeso y óxido de cobalto.

También conocidas como baterías de óxido de cobalto de manganeso y litio o NMC, estas son fabricadas con varios materiales típicos en los tipos de baterías de iones de litio. Estas baterías tienen un cátodo formado por una mezcla de níquel, manganeso y cobalto.

Pueden tener una alta densidad de energía específica o alta potencia específica, pero no ambas a la vez. Se utilizan mucho en trenes de potencia de vehículos eléctricos.[31]



Figura 3.13 Batería de LiNiMnCo (Fuente:[33])

3.2.2.3.5 BATERÍA DE LITIO-TITANIO

El titanato de litio, también denominado litio-titanato y su fórmula química es Li_2TiO_3 se abrevia como LTO. En la figura 3.14 se ve el aspecto de estas baterías.

Es un compuesto formado por litio y titanio y emplea materiales nanoestructurados para mejorar su rendimiento. Estas baterías son una alteración de las baterías de iones de litio y usan monocristales de titanio de litio en la superficie del ánodo, lo que hace que incremente considerablemente la superficie de contacto. Se utilizan en algunos vehículos eléctricos,

electrónica de consumo e incluso en instalaciones de almacenamiento energético para el autoconsumo. [32]



Figura 3.14 Batería de Litio-Titanio (Fuente:[42])

3.2.2.3.6 BATERÍA DE LITIO POLÍMERO

Conocidas como baterías LiPo es un tipo de batería recargable muy habitual en el mundo de los multirrotores. Uno de los pioneros en el desarrollo de electrolitos de polímero basados en óxido de polietileno fue Michel Armand.

Cuando se añade este tipo de electrolitos a las baterías que hemos visto hasta el momento en esta memoria vemos que sus características se ven mejoradas.

Estas baterías proporcionan energías específicas más altas que otras baterías de litio. Como curiosidad cabe destacar que el separador de estas baterías funciona como “apagador” que son capaces de apagar la batería si esta se calienta en exceso durante la carga o descarga. En la figura 3.15 se ve como es el aspecto de una de estas baterías.[33]



Figura 3.15 Batería de Litio-Titanio (Fuente:[42])

3.2.3 BATERÍAS DE SUPERCONDENSADORES

Hasta ahora hemos hablado y clasificado los diferentes tipos de baterías que existen. De manera paralela a las baterías comunes, hoy día se utilizan también los supercondensadores. Si recordamos, las baterías se basan en reacciones químicas para su funcionamiento de manera que tenemos el lado positivo y el negativo (ánodo y cátodo). Estos dos lados se encuentran sumergidos en un electrolito líquido y separados por un separador microperforado que solo permite el paso de iones en los procesos de carga y descarga. Durante los procesos de carga y descarga (ver figura 3.16) las baterías se calientan, expanden y después se contraen haciendo que se degraden y que la vida de estas se reduzca. Sin embargo, la gran ventaja de estas es que poseen una energía específica o densidad de energía muy alta para almacenar energía en su uso posterior.

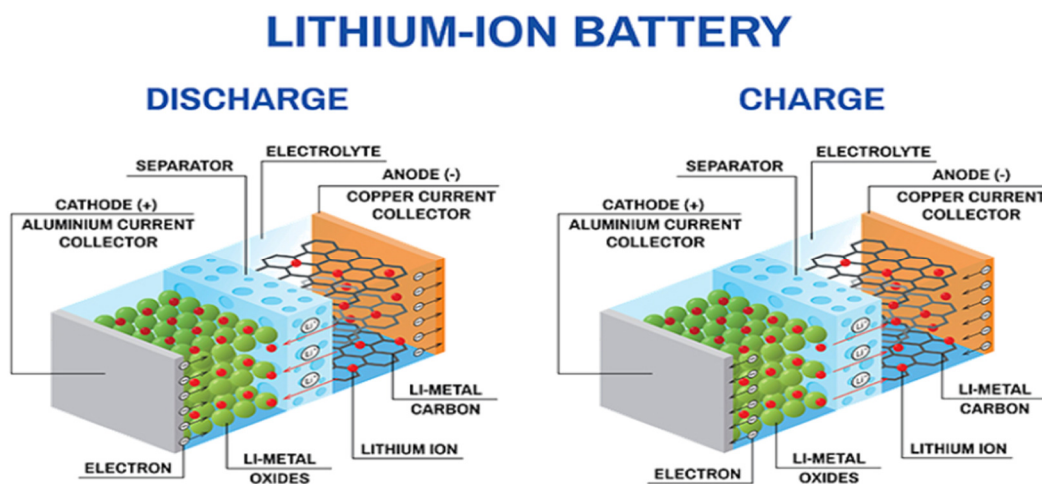


Figura 3.16 Esquema carga descarga baterías Litio (Fuente:[45])

Los supercondensadores a diferencia de las baterías no dependen de reacciones químicas para su funcionamiento. Estos almacenan energía potencial electrostáticamente dentro de ellos. Para separar las cargas utilizan un dieléctrico o aislante y esta separación la que hace posible que el dispositivo almacene y libere energía rápidamente como se ve en la figura 3.17. Tiene la ventaja de que un condensador de 3 V de capacidad mantiene su capacidad a lo largo de su vida, es decir, no tiene pérdida de la capacidad como las baterías.[35]

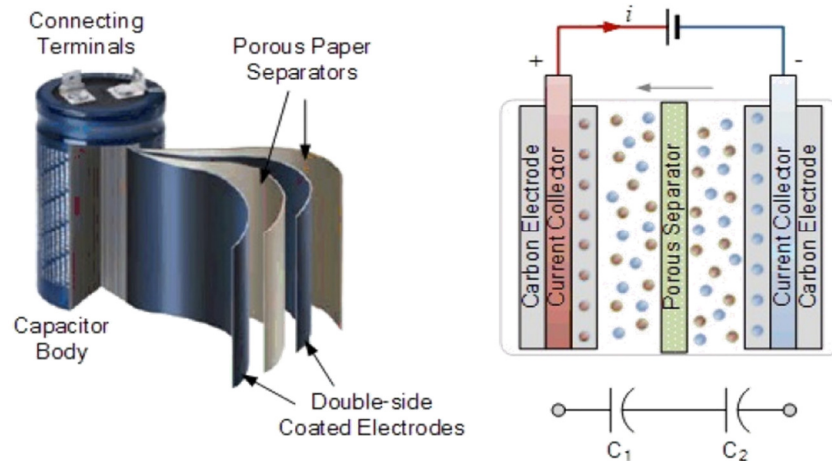


Figura 3.17 Construcción de un supercondensador (Fuente:[45])

Los supercondensadores fueron inventados en el año 1957 por General Electric y en 1966 se descubrió de manera accidental el condensador de doble capa, pero no fue hasta 1970 cuando la empresa japonesa NEC comenzó a comercializar el primer supercondensador.

Actualmente las aplicaciones de los supercondensadores están empezando a ser exploradas y tienen el mayor potencial de uso en el transporte híbrido.

Un ejemplo claro de aplicación de supercondensadores se ve en Suiza. Allí una flota de autobuses está expuesta a estaciones de carga en varias paradas a lo largo de su ruta. Pueden cargar en 15 segundos en unos minutos podrían tener una carga completa. La falta de densidad y almacenamiento se suple con cargas frecuentes y debido a que esta tecnología consume una corriente baja, hace que la red no se encuentre tan saturada. [36]

Como hemos visto cada tecnología tiene sus ventajas (ver figura 3.18) y desventajas por lo que ahora pasaremos a profundizar un poco más en cada una de ellas.[45]

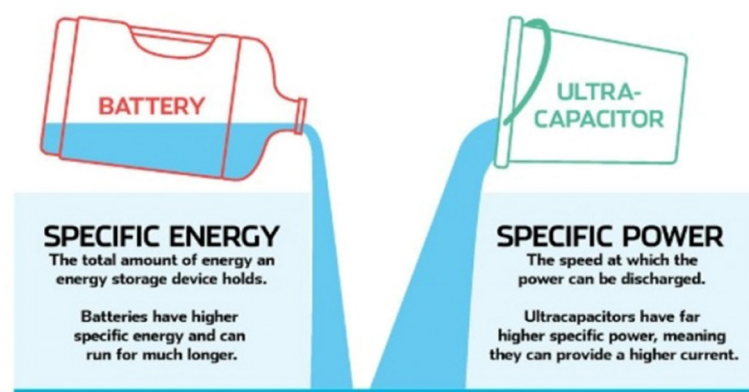


Figura 3.18 Resumen gráfico batería vs Condensador (Fuente:[45])

Los supercondensadores tienen una vida útil mucho más larga que las baterías ya que una batería normal puede oscilar entre los 8000 o 10000 ciclos y un supercondensador soporta más de 1.000.000 de ciclos.

Los supercondensadores pueden cargarse en segundos y a diferencia de las baterías no se degradan con el tiempo a diferencia de las baterías debido a las reacciones químicas.[37]

3.3 HISTORIA DE LOS S.A.I.

No hay una fuente fiable que nos indique cuando y donde se creó el primer S.A.I. los expertos de la industria dicen que nadie puede afirmar haber creado un dispositivo U.P.S. varios científicos tenían teorías y realizaron investigaciones sobre el tema. La idea había existido en la comunidad durante bastante tiempo antes de que se le diera forma.

El primer S.A.I fue patentado por un científico llamado John Hanley. Este le dio al dispositivo el nombre de “aparato de mantener un suministro ininterrumpido de energía eléctrica”[38]

Un Sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I) o un U.P.S del inglés Uninterruptable Power Supply, es un dispositivo eléctrico que suministra energía eléctrica ante una situación de emergencia por corte de suministro eléctrico. Se diferencia de un sistema de alimentación auxiliar o de emergencia o de un generador de reserva en que proporciona una protección casi instantánea frente a interrupciones de alimentación de entrada mediante el suministro de energía almacenada en baterías o supercondensadores. El tiempo de funcionamiento de este tipo de sistemas es relativamente corto (dependiendo de las baterías) pero suficiente para iniciar una fuente de alimentación de reserva o apagar correctamente el equipo protegido.[39]

Una fuente de alimentación ininterrumpida puede variar desde una batería de 9V hasta un sistema extremadamente grande y costoso. Esta tecnología se sitúa entre una fuente de alimentación como puede ser la red eléctrica, y un dispositivo o conjunto de ellos que se pretenden proteger de cortes en el suministro eléctrico.[40]

Existen varios tipos de sistemas S.A.I. pero me centraré en las topologías principales que existen para adaptarse a una gama completa de aplicaciones, satisfaciendo las necesidades de las empresas y los consumidores. De esta manera podemos distinguir los SAIs Standby,

line interactive, Double conversion on-line y Delta conversión on-line (ver figuras 3.19-3.22).

-S.A.I Standby: también conocido por el nombre off line, es el sistema más utilizado para ordenadores personales, estaciones de trabajo, TPVs y servidores de baja gama. En general son recomendables para zonas que disponen de una red estable ya que no realiza ningún filtrado de la corriente y solo nos protege al producirse una interrupción brusca del suministro [41]. Este tipo de SAI solo empieza a funcionar cuando detecte un fallo de corriente eléctrica y en ese momento conmuta para hacer uso de las baterías. Para la conmutación estos sistemas necesitan un tiempo aproximado de entre 2 y 10 ms por lo que no es muy recomendable utilizarlos para dispositivos que sean sensibles y que puedan verse afectados en este proceso.

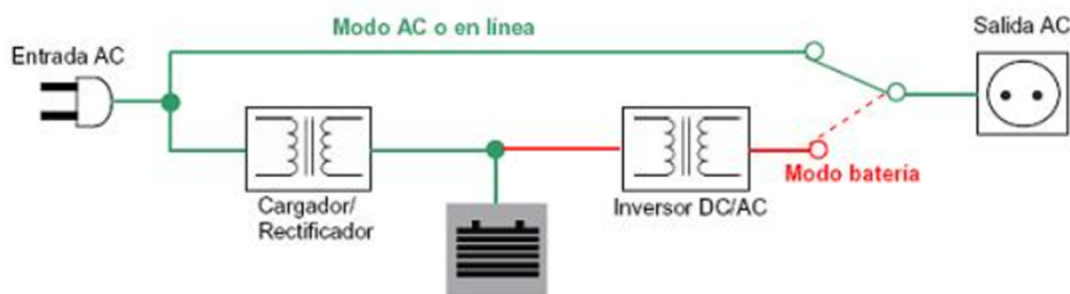


Figura 3.19 Esquema del circuito de un S.A.I. Off-line. (Fuente:[53])

-Interactiva o In-Line: esta arquitectura es la más utilizada por empresas pequeñas, internet o servidores de departamentos, así como para ordenadores de gama media y baja, consolas de juegos, pequeños servidores de redes, equipos de oficina. Ofrecen una protección eléctrica intermedia, su tecnología es similar a las de los Off-Line, pero a diferencia de estos los In-line, llevan instalados una serie de filtros activos como un microprocesador que controla las fluctuaciones de la red con un margen de un 15%. Estos sistemas entregan a la salida una onda pseudo-sinusoidal o sinusoidal pura dependiendo del modelo. Al igual que los off line también tienen un tiempo de conmutación de entre 2 y 10 ms[42].

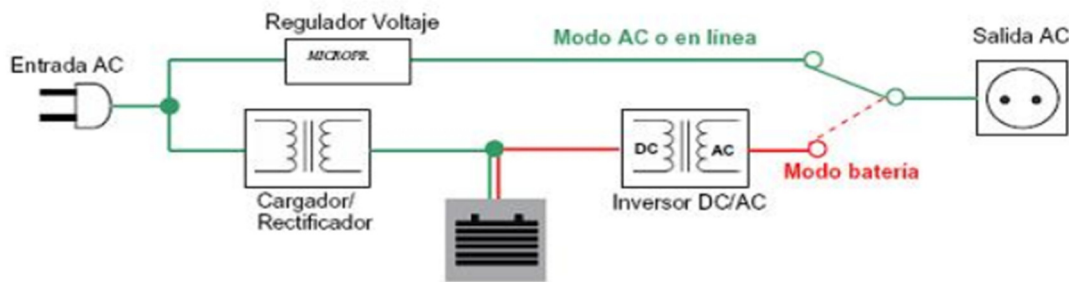


Figura 3.20 Esquema del circuito de un S.A.I. In-line. (Fuente:[53])

-On-Line: muy válidos para servidores, clusters de equipos, y en general instalaciones informáticas críticas o imprescindible (redes de datos, servidores, telecomunicaciones, industria etc.), esta tipología realiza una doble conversión de la energía eléctrica que recibe, transformándola en continua para más tarde transformarla a alterna de nuevo. De esta manera lo que se consigue es eliminar todos los problemas que pueda tener. Estos siempre proporcionan energía eléctrica directamente desde sus baterías mientras estas se van cargando de la red, y esto es lo que garantiza que la protección contra cualquier problema de la red sea total. Esta arquitectura es la que más se utiliza en el ámbito industrial dada la seguridad que ofrece de no verse afectado por los problemas de la red[43].

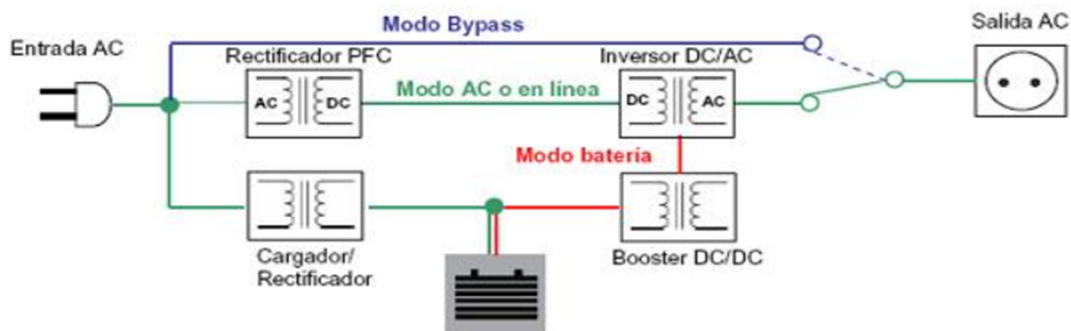


Figura 3.21 Esquema del circuito de un S.A.I. On-line. (Fuente:[53])

-On-Line de conversión delta: está basado en una tecnología nueva (10 años de antigüedad) introducida para eliminar los inconvenientes del diseño On-Line de doble conversión y está disponible para tamaños que van desde los 5 Kva hasta los 1,6 MW. Este también está suministrando energía continuamente a la carga. Además, el convertidor delta adicional también suministra energía a la salida del inversor y de esta manera lo que se consigue es que en caso de producirse fallos o alteraciones en la CA, este diseño muestra un

comportamiento idéntico al del sistema On-Line de doble de conversión visto anteriormente[44].

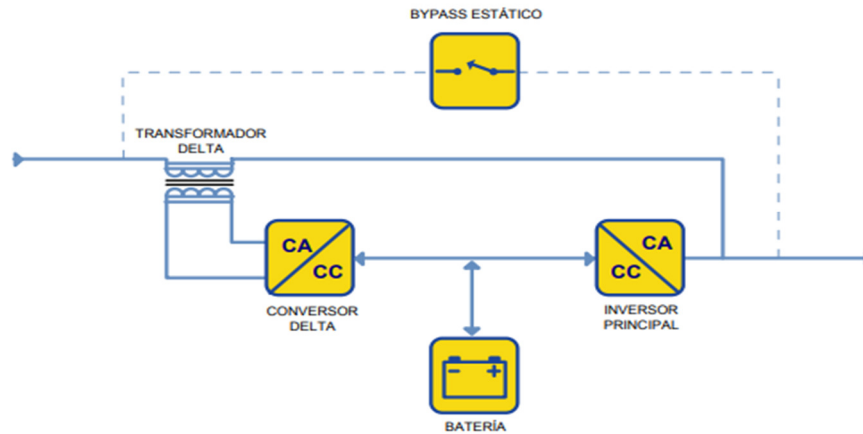


Figura 3.22 Esquema del circuito de un S.A.I. On-line Delta. (Fuente:[57])

A continuación, en la tabla 3.1, se realiza un cuadro a modo resumen con las características de los distintos tipos de sistemas SAI. Algunas características del SAI, como la eficacia, dependen del tipo de sistema SAI elegido. Puesto que la calidad de implementación y fabricación afectan más a características como la fiabilidad, estos factores también deberán evaluarse además de los siguientes atributos de diseño.

Tabla 3.1 Cuadro comparativo distintas tipologías SAI (Fuente: Elaboración propia)

	RANGO DE POTENCIA (KVA)	REGULACION DE LA TENSION	COSTE POR VA	EFICACIA	INVERSOR SIEMPRE ACTIVO
STAND-BY	0-0.5	BAJA	BAJO	MUY ALTO	NO
INTERACTIVO	0.5—5	DEPENDE DISEÑO	MEDIO	MUY ALTO	DEPENDE DEL DISEÑO
ON-LINE DE DOBLE CONVERSION	5-5000	ALTA	MEDIO	BAJA-MEDIA	SI
ON-LINE DE CONVERSIÓN DELTA	5-5000	ALTA	MEDIO	ALTA	SI

3.4 UTILIDADES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA.

Como ya se ha hablado en otros apartados, un SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), es un dispositivo capaz de mantener constante durante un tiempo limitado el suministro eléctrico en caso de corte en la red. Con esto se consigue una protección instantánea de las cargas conectadas [45].

Para conseguir esto, estos sistemas cuentan con unas baterías que son las encargadas de hacer el acopio de energía para más tarde suministrarla a la red cuando se detecta una falla por corte o reducción del voltaje.

Además de suministrar energía cuando falla la red principal, un gran porcentaje de los SAIs son capaces de corregir otras anomalías que pueden surgir en la red como pueden ser:

- Corte en el suministro eléctrico.
- Sobretensiones transitorias o permanentes.
- Caída de tensión.
- Reducción de la tensión momentánea o permanente en la entrada.
- Distorsión armónica.
- Inestabilidad de la frecuencia de red.
- Ruido eléctrico inyectado en la línea producido por equipos cercanos.

En cuanto a los campos en los que se suelen utilizar estos tipos de soporte, se suelen colocar en áreas de vital importancia y de uso crítico en los cuales no se pueden tolerar fallos en el suministro por mínimos o cortos que sean ya que de su correcto funcionamiento depende la actividad de una empresa si hablamos del ámbito industrial o de un quirófano si nos referíamos al área de la salud.

Como se adelanta en el apartado anterior el uso que se le da a los SAI no son exclusivos del ámbito industrial, sino que también se pueden ver en todo tipo de áreas como pueden ser desde una vivienda particular, una oficina, corporaciones, hospitales, centros bancarios, centros escolares o de investigación o en definitiva cualquier sitio que requiera una fuente de energía continua para mantener activos sus equipos en todo momento.

En conclusión, un SAI otorga la seguridad al usuario de mantener en funcionamiento equipos de misión crítica de manera constante, pero ¿Por qué es tan importante disponer de esa energía continuamente?

Resulta lógico pensar que, si una persona sufre un corte del suministro energético en su vivienda particular, no tendrá consecuencias graves más allá de la molestia de no poder realizar ciertas actividades cotidianas, pero no tendría otro tipo de consecuencias como pueden ser económicas en un proceso de fabricación, pérdida de datos en un centro de control o de investigación o en el peor de los casos que una intervención quirúrgica se vea afectada por una falla en el suministro.

A raíz de la continua evolución tecnológica de la que estamos siendo partícipes en los últimos años, la disponibilidad de la energía continua se ha convertido en un requisito para todo usuario por lo que se ha tenido que implementar soluciones de este tipo para poder satisfacer las necesidades de todos los usuarios y tener una solución en un caso de emergencia para proteger los equipos, sistemas o ciertas acciones que requieren actividades como puede ser el caso que se comentaba anteriormente de un quirófano [46].

A continuación, haremos un listado por áreas de los aparatos que son más comunes de proteger con un sistema de alimentación ininterrumpida.

3.4.1 HOGARES Y OFICINAS DE PEQUEÑO TAMAÑO.

Quizás este sea el campo en el que menos importancia tendría la utilización de un SAI, pero cada vez es más común la utilización de estos aparatos a nivel usuario y es que las pantallas planas, equipos utilizados para el entretenimiento o por ejemplo algo de moda en los últimos años como son las actividades de minado de criptomonedas necesitan tener un respaldo ante sobrecargas en la red o cortes eléctricos.

En el caso de las oficinas o pequeños locales, el uso de estos equipos va destinado a respaldar sistemas de seguridad como cámaras o alarmas y también elementos de conexión a internet que hacen que los sistemas de seguridad se mantengan conectados con las centrales de las empresas aseguradoras o policía. También para terminales de venta ya que sin ellos la actividad económica de esas pequeñas empresas se vería afectadas [47].

3.4.2 PYMES.

Para el entorno de las pequeñas y medianas empresas es de vital importancia conseguir no parar la actividad ya que de ella depende en su totalidad la productividad y de esa manera poder seguir desarrollándose y crecer.

A modo de ejemplo, si en un comercio deja de estar operativo el terminal de cobro, esta se queda sin ventas. O si un despacho de abogados o gestorías se queda sin conmutador haría que la experiencia de sus clientes fuera nefasta. Por ello es muy importante identificar cuáles son las áreas vitales de los negocios para poder asegurar la integridad de la actividad económica, así como su continuidad [48].

3.4.3 CORPORATIVO.

El área corporativa es una de las que más respaldo y cuidado necesita de su energía eléctrica ya que sus procesos de trabajo están más ligados a equipos de cómputo, información importante que se distribuye por medio de la red o servidores.

i por ejemplo un corporativo se queda sin electricidad o pierde un equipo a causa de una sobrecarga eléctrica, su productividad, ganancias y clientes se verían afectados. Hablando de horas enteras de trabajo perdido, mermando su calidad y objetivos. Esto es evitable si se utiliza un sistema apropiado.

3.4.4 AREA INDUSTRIAL.

Se sabe que la continuidad y el control de procesos es crítica en una amplia gama de ramas de la industria, como el agua potable, aguas residuales, sector farmacéutico, transporte, alimentos y bebidas; semiconductores, energías renovables y un largo etc.

Los equipos utilizados en estas ramas se ven sometidos a condiciones poco favorables, como pueden ser oscilaciones térmicas muy amplias o aire con alto contenido de humedad o sal. Por lo que además de que es necesario proteger sus equipos más críticos, es de vital importancia elegir el SAI que mejor se adapte a esas condiciones.

3.4.5 CENTROS SANITARIOS

En cada centro sanitario, los equipos electrónicos son indispensables para poder dar a los pacientes la atención y servicio que necesitan. Desde las salas de atención a pacientes hasta

el laboratorio los equipos electrónicos son partes esenciales de la operación normal de un hospital.

El hecho de que estos equipos sean electrónicos quiere decir que son vulnerables a todos los problemas eléctricos por mínimos que sean que existan en la red eléctrica. Estos problemas pueden ser una sobretensión, o un apagón por ejemplo que podría causar daños en los equipos, pérdida de datos importantes o interrumpir el servicio en toda una instalación como podría ser un quirófano y se pondría en riesgo la vida de los pacientes [49].

3.4.6 CENTROS DE RECOGIDA DE DATOS O INVESTIGACION.

En los últimos años se ha llevado a cabo una digitalización en todo el ámbito empresarial. Por esta razón las compañías que han apostado por la nube son conscientes de lo importante que es invertir en un sistema que garantice el suministro de energía de manera ininterrumpida. Un fallo en la red eléctrica provocado por alguna inestabilidad en la red puede ocasionar pérdidas de información y daños graves en los equipos.

Además de identificar las necesidades de cada uno de los sectores de una empresa o establecimiento, es de vital importancia conocer que equipo es el que mejor se adapta a los requerimientos de cada aplicación. Por eso existen distintos tipos de SAI, cada uno con características únicas que se adaptan a los usos que se necesitan [50].

3.5 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN CONCURRENTES.

Cómo se ha adelantado ya en párrafos anteriores, el incremento del uso de las baterías en la electrónica de consumo como a nivel industrial ha hecho que, en el presente, estas despierten un gran interés en las personas.

Si bien es cierto que el precio de las baterías tiende a disminuir, aún siguen siendo caras. Esto hace que su implantación en algunos domicilios o empresas se retrase o directamente no se baraje siquiera la posibilidad de su instalación. Uno de los mercados que más presión puede hacer para que los precios disminuyan es el de los vehículos eléctricos.

Debido a este factor que hemos comentado, surge la necesidad de buscar alternativas que ofrezcan resultados similares o la manera de abaratar estos tipos de sistemas. Es aquí donde entran en acción los supercondensadores.

Actualmente es complicado adelantar que ocurrirá en el futuro con las baterías, pero no parece fácil que estas se vean reemplazadas por los supercondensadores. De un tiempo a esta parte se está implantando el uso de sistemas híbridos. Estos sistemas combinan la utilización de baterías de litio y de supercondensadores con el propósito no solo de abaratar los costes sino también mejorara el rendimiento.

Si se hace un repaso de las características de cada tipo de sistema de almacenamiento se ve que tanto las baterías de litio como los supercondensadores son complementarios. Las baterías dan más densidad de energía, lo cual es esencial para almacenar más cantidad de energía y de esta manera incrementar los intervalos de trabajo ya sea por ejemplo tiempo de uso de un dispositivo o distancia recorrida por un vehículo eléctrico.

Por otra parte, las baterías tienen el inconveniente de que la densidad de energía no es acorde a la densidad de potencia. Esto es, las baterías no tienen la capacidad de entregar picos grandes de potencia en un intervalo corto de tiempo. Esto tiene como consecuencia el sobrecalentamiento de los módulos que se traduce en una reducción de la vida útil de las baterías. Como conclusión, las baterías son duraderas si se mantienen entregando una potencia constante.

En la otra línea están los supercondensadores, estos al contrario que las baterías, son capaces de entregar la energía almacenada de manera instantánea, es decir, tienen una gran densidad de potencia. Además, esto es igual tanto en la carga como en la descarga. El inconveniente de los supercondensadores es que no tienen una densidad de energía grande de tal manera que solo pueden entregar la energía durante algunos segundos. Y es aquí donde entra en juego la utilización de ambos sistemas para utilizar las características totalmente complementarias.

Un campo en el que todo el mundo puede ver de manera clara el uso de estos dos sistemas trabajando en conjunto es en los vehículos eléctricos. Para todo conductor de un vehículo, resulta esencial que este sea capaz de poder circular sin repostar durante la mayor distancia posible. Además, también se espera que en un momento dado tenga una buena capacidad de aceleración para realizar un adelantamiento o una incorporación, por ejemplo.

Dentro de los vehículos eléctricos, los supercondensadores también tienen el papel de almacenar la energía generada por ejemplo en la frenada para después utilizarla en el arranque del motor de combustión si se trata de un vehículo que combina un motor de combustión y uno eléctrico.

Pues bien, si planteamos el uso exclusivo de baterías de litio, tendríamos la posibilidad de recorrer distancias largas, pero no podríamos hablar en este caso de grandes aceleraciones. Por el contrario, si el vehículo tuviera solo baterías de supercondensadores, tendríamos todo lo contrario, es decir, grandes aceleraciones, pero mínimas distancias. En cambio, si se combinan los dos sistemas, se consigue recorrer grandes distancias por la gran densidad de energía de las baterías y además aprovechando la virtud de la densidad de potencia de los supercondensadores, se obtendría una gran aceleración ya que cuando el conductor demande potencia de manera puntual, entrarían en juego los dos sistemas y de esta manera tendríamos un vehículo con una gran autonomía y buena aceleración.[51]

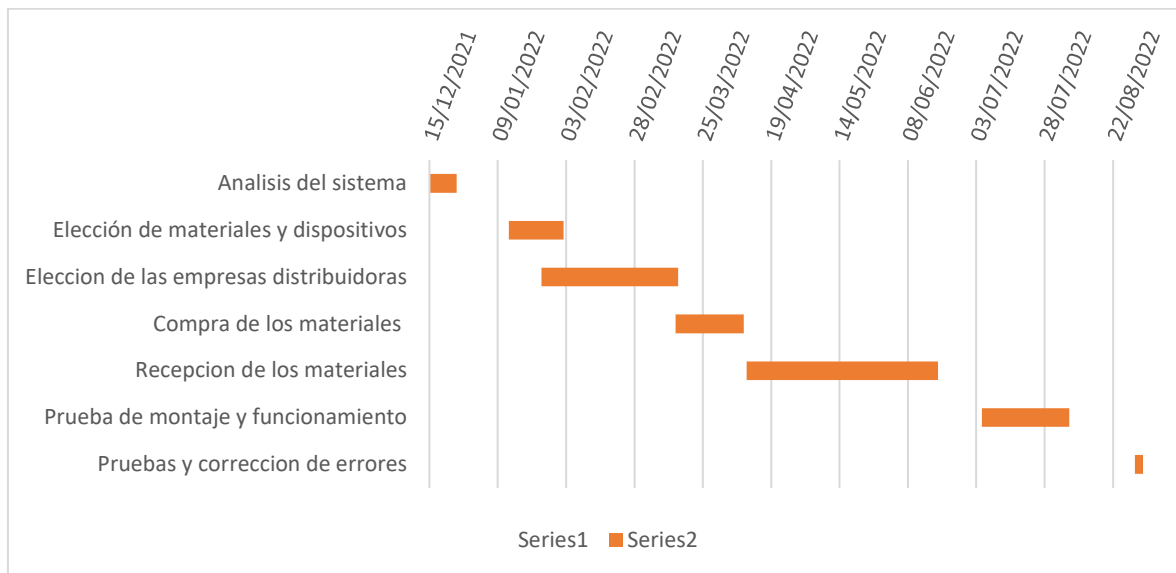
Si esto se lleva al campo del almacenamiento de energía para instalaciones, el funcionamiento sería el mismo pero aplicado a las necesidades de cada instalación. Es decir, en una empresa que tenga por los motivos que sean una actividad intermitente y requiera que su sistema de almacenamiento sea capaz de suministrar en momento puntuales un pico de potencia para por ejemplo poner en marcha algún determinado proceso y así garantizar que su sistema de almacenamiento responde bien ante cambios bruscos del flujo de potencia, y de esta manera se pueda asegurar la calidad de la energía en la red y además garantizar la entrega de energía que las cargas demanden en todo momento.[52]

4 Desarrollo

4.1 FASES DE DESARROLLO

Este proyecto se ha desarrollado de manera intermitente, de esta forma, se realiza de manera aproximada la estimación del tiempo empleado en cada fase del trabajo con un diagrama de Gantt como se ve en la tabla 4.1. Cada día se han empleado aproximadamente 6 horas de trabajo para la ejecución del mismo:

Tabla 4.1 Diagrama de Gantt (Fuente: Elaboración propia)



La realización del trabajo tiene una duración aproximada de 153 días. Que se fraccionan en varias etapas:

- ✦ Análisis del sistema: este es el paso en el cual se procuran las soluciones, para el problema al que queremos dar solución.
- ✦ Elección de materiales y dispositivos: un proceso en el cual se realiza un estudio comparativo de las opciones existentes de los tipos de baterías que cubren las necesidades del proyecto y se da preferencia a la mejor elección.
- ✦ Elección empresa distribuidora: Aquí se debe decidir cuál es la empresa que mejor servicio nos proporciona teniendo en cuenta garantías de producto, así como valor económico.

- ✦ Compra del material seleccionado para la puesta en marcha del montaje: Se realiza la compra o el pedido de los materiales que fueron elegidos para el montaje de la maqueta funcional.
- ✦ Recogida del material: periodo en el que se hace efectiva la recepción del material comprado.
- ✦ Pruebas de montaje y funcionamiento: posiblemente la parte que más tiempo lleva del proyecto, ya que hay que adaptarse a los tiempos de entrega del material que se ven condicionados por distintas causas como pueden ser la escasez de recursos para la fabricación de dichos dispositivos o el transporte. Se realiza el montaje de los equipos, se comprueba que todo funciona correctamente y cumple con lo esperado para dar solución al problema inicial.
- ✦ Ensayos y subsanación de errores: puesta en funcionamiento y subsanación de los posibles errores efectuados durante el montaje.

4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema a solucionar trata de la elección de dispositivos para el almacenamiento de energía proveniente de la red del edificio. Para ello se proponen dos tipos diferenciados de baterías, una batería de litio y otra de supercondensadores. El problema que surge aquí es que cada tipo de batería funciona de una manera y tendremos que buscar la manera de compaginar las ventajas de cada uno para obtener el mejor rendimiento del conjunto y así ofrecer un mejor servicio sin dejar de lado la fiabilidad y de esta manera ofrecer garantías del correcto funcionamiento por un largo tiempo.

4.3 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

Para la realización de este proyecto se hizo un estudio de mercado para ver las tecnologías existentes y ver los dispositivos que estas tecnologías llevaban integrados. Se hizo un listado de empresas dedicadas a ofertar este tipo de dispositivos para más tarde comparar los servicios que se nos ofrecían, garantías, así como tiempos de entrega de los aparatos para el posterior montaje de la maqueta.

En base a esto, para el banco de baterías se opta por las baterías de litio dadas sus características. En cuanto al banco de supercondensadores se ha optado por la utilización de dos bancos de supercondensadores de 170 V, aunque como se detallará más adelante inicialmente se barajó otra opción.

4.3.1 BATERÍA DE LITIO

Para la elección del banco de baterías se ha decidió utilizar las baterías de litio por sus características. En concreto se decidió que las baterías utilizadas fueran de baterías de litio-ferro-fosfato (LiFePO₄).

Estas baterías utilizan una química derivada de la tecnología ion-litio por lo que comparten muchas de las ventajas, pero presentan unas diferencias sustanciales.

En concreto las baterías LiFePO₄ tienen la característica de que mantienen un voltaje de descarga muy constante situándose cerca de los 3.2 V hasta que la batería se descarga. Esto es de gran importancia a la hora de realizar un estudio para la elección de las baterías porque significa que se puede minimizar o en algunos casos incluso eliminar la circuitería secundaria utilizada para la regulación del voltaje.

Además, la utilización de fosfatos en el proceso de fabricación de las mismas hace que el coste sea menor y de esta manera se evitan también riesgos medioambientales debido a una mala gestión de reciclaje cuando llega el momento de deshacerse de las baterías. De manera simultánea, las baterías LiFePO₄ tienen corrientes o potencias instantáneas más altas que las de tipo LiCoO.

Cabe destacar también que una batería LiFePO₄ de mala calidad de algunos fabricantes tienen menores ratios de descarga que las de plomo-acido o incluso que las de LiCoO₂. Esto quiere decir que, si se van a utilizar pilas de poca capacidad, como la ratio de descarga es un porcentaje de la capacidad de la batería, se puede conseguir una mayor ratio de descarga usando una batería más grande.[53]

Si se hace un balance con las ventajas que presentan las baterías de tipo LiFePO₄ tenemos:

- Alto rendimiento de seguridad y ciclo de vida prolongado.
- Protección activa BMS.
- Sin efecto memoria.
- Baja “autodescarga”.
- Refrigeración pasiva.
- Compatible con otros modelos de la marca como son: US2000C, US3000 o US2000.

Por último, pero no menos importante, estas baterías utilizan unas celdas que experimentan una ratio de pérdida de capacidad menor que otras baterías que utilizan otras químicas. Esto se traduce en una mayor longevidad por lo que para nuestro proyecto resulta de gran interés. Teniendo en cuenta las características de estas baterías en los párrafos anteriores nos decantamos por baterías que utilizan esta tecnología y además se profundizó en la búsqueda de baterías con un BMS (battery management system) con interfaz de comunicaciones CAN-BUS o RS485 para el control de las mismas.

Después de realizar una búsqueda exhaustiva por varias vías, a través de la web o de manera presencial en tiendas físicas de distribuidores de la zona, nos decantamos por la utilización de dos baterías en paralelo de la marca Pylontech de 48 V [54] con capacidad de 3,1 kWh que corresponde al modelo US3000C (ver anexo 9.1) como se puede ver en la figura 4.1 teniendo en cuenta la relación calidad-precio, ser un modelo común y de una marca bastante reconocida por lo que hay mucha información relativa a las baterías y además esto facilitaba los tiempos de entrega dado que la mayoría de distribuidores consultados la tenían en stock.



Figura 4.1 Fotografía de las baterías seleccionadas (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4.2 Tabla comparativa baterías contempladas (Fuente: elaboración propia)

Batería	Energía almacenada (kWh)	Precio	€/kWh	Wh/€
US2000C	2,4	899,00 €	374,583	2,66963
US2000C PLUS	4,8	1.798,00 €	374,583	2,66963
US3000C	3,5	1.258,40 €	359,543	2,78131
Narada 48NPFC100	4,8	2.388,25 €	497,552	2,00984
DYNESS B4850	2,4	900,00 €	375,000	2,66667
DYNESS B3	3,6	1.159,00 €	321,944	3,10613
U-POWER ECOLINE	4,8	2.290,00 €	477,083	2,09607
U-POWER ECOLINE	7,2	2.990,00 €	415,278	2,40803
TURBOENERGY	2,4	1.003,00 €	417,917	2,39282
TURBOENERGY	3,6	1.341,00 €	372,500	2,68456
TURBOENERGY	5,1	1.950,00 €	382,353	2,61538
PlusEnergy TS2400	2,4	795,00 €	331,250	3,01887
PlusEnergy TS2401	2,2	795,00 €	361,364	2,76730
Batería Litio Dyness BX51100	5,1	1.699,00 €	333,137	3,00177

En la tabla 4.2 se representa toda la información que se tuvo en cuenta en cuanto a capacidades de la batería. Como aclaración decir que las 2 últimas columnas hay que destacar que el precio por kWh conviene que sea lo menor posible y por el contrario los Wh por euro conviene que sea lo más mayor posible.

Como se ve resaltado en la tabla anterior, había una alternativa mejor que el modelo seleccionado, la batería del fabricante DYNESS modelo B3 [55] pero los distribuidores no aseguraban los plazos de entrega en tiempo y forma y no había tanta información sobre ella en foros como ocurría con la Pylontech US3000C.

4.3.2 BANCO DE SUPERCONDENSADORES

Como se ha adelantado anteriormente, inicialmente se barajó la implantación de un banco de supercondensadores con tensión nominal de 54 V, que es la máxima tensión de carga de las baterías de litio.

Posteriormente la propuesta de conectar la batería de supercondensadores en paralelo con la batería de litio fue descartada en beneficio de una batería de supercondensadores de mayor

tensión nominal ya que en este caso se haría uso de la entrada de paneles fotovoltaicos que tiene el inversor.

Dicho esto, se realiza una búsqueda de supercondensadores como se ve en la tabla 4-3 que satisfagan estas necesidades y se concreta en la búsqueda de supercondensadores de 170 V nominales que serán conectados en serie. Esto quiere decir que se cuenta con una tensión de 340 V nominales.

Al hacer uso de esta entrada y estas tensiones, queda simplificada la fuente de alimentación encargada de la recarga del banco de baterías a un sencillo rectificador y filtro sin ser necesaria la implantación de un transformador y electrónica complementaria.

Una vez realizado el estudio, se decidió optar por el modelo SM0006-170-NB del fabricante LICAP que se trata de un banco de supercondensadores de 170 V 6 F 24,1 Wh (ver figura 4.2 y anexo 9.2) dado que al igual que con las baterías era el mejor en cuanto a la relación calidad-precio y además se encontraba en stock en los almacenes de los distribuidores por lo que los plazos de entrega serían los más rápidos debido a que no se depende de plazos de fabricación.



Figura 4.2 Banco de supercondensadores (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4.3 Tabla comparativa de supercondensadores (Fuente: Elaboración propia)

Número de pieza distribuidor	Número de referencia Mfr	Fabr.	Precio
581-SCMZ1EP167SRBBO	SCMZ1EP167SRBBO	AVX	1.316,24 €
704-XLR-16R2507-R	XLR-16R2507-R	Coiltronics / Eaton	552,64 €
704-XTM-18R0626-R	XTM-18R0626-R	Coiltronics / Eaton	116,46 €
723-BMOD0006E160C02	BMOD0006 E160 C02	Maxwell Technologies	784,68 €
770-SKELMOD170V	SkelMod170V	Skeleton Technologies	6.050,15 €
770-SKELMOD102V	SkelMod102V	Skeleton Technologies	2.839,75 €
770-SKELSTART12V	SkelStart12V	Skeleton Technologies	1.016,24 €
504-XVM-16R2656-R	XVM-16R2656-R	PowerStor / Eaton	143,00 €
723-BMOD0058E016C02	BMOD0058 E016 C02	Maxwell Technologies	145,85 €
504-XLR-51R3187-R	XLR-51R3187-R	Coiltronics / Eaton	1.422,51 €
770-SKELSTART24V	SkelStart24V	Skeleton Technologies	1.016,24 €
770-SKELMOD51V	SkelMod51V	Skeleton Technologies	1.401,94 €
80-FS1B505ZF	FS1B505ZF	KEMET	52,85 €
581-SCMZ1EK507SRBBO	SCMZ1EK507SRBBO	AVX	686,01 €
504-XLR-48R6167-R	XLR-48R6167-R	PowerStor / Eaton	1.238,68 €
704-XVM-259R2635-R	XVM-259R2635-R	PowerStor / Eaton	2.045,56 €
704-XVM-259R2425-R	XVM-259R2425-R	PowerStor / Eaton	1.470,05 €
723-BMOD0036P075B02	BMOD0036 P075 B02	Maxwell / Nesscap	991,16 €
504-XLM-62R1137A-R	XLM-62R1137A-R	PowerStor / Eaton	1.334,03 €
SM0006-170-NB	LICAP 170V 6F 24,1Wh	LICAP	964,52€

4.3.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN RIGOL DP 832

Para la realización de las pruebas hasta la llegada de los dispositivos seleccionados, se utilizan los equipos existentes en el laboratorio de electrónica de potencia de la universidad de León. En concreto en este apartado se hablará de la fuente de tensión. Se trata de un dispositivo de la serie DP800 del del fabricante RIGOL, en concreto del modelo DP832 ver

figura 4.3. Tiene un diseño de ruido ultra bajo para hacer que la alimentación sea pura que hace que el trabajo con ella sea más liviano y facilite mucho los trabajos [56].

Esta fuente cuenta con unas características determinadas como son:

- 3 salidas, la potencia máxima es de hasta 195W.
- Voltaje / Corriente CH1: 30 V / 3 A.
- Voltaje / Corriente CH2: 30 V / 3 A.
- Voltaje / Corriente CH3: 5 V / 3 A.
- Resolución estándar de 10 mV en los 3 canales.
- Puertos LAN, RS232 y digital IO.

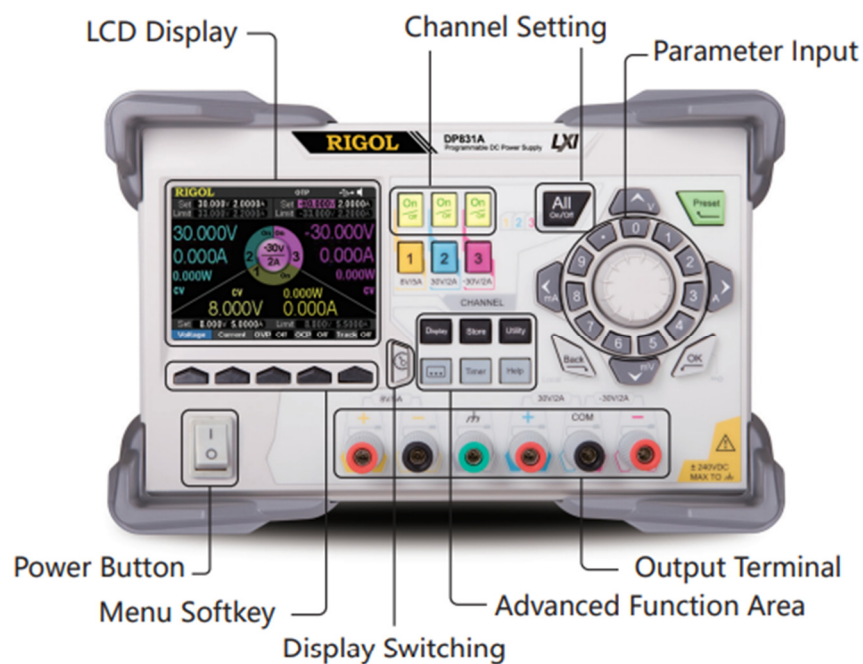


Figura 4.3 Esquema detallado de la fuente de alimentación. (Fuente:[57])

4.3.4 CARGA ELECTRÓNICA RIGOL DL3021A

De manera paralela se utiliza también una carga electrónica para hacer las simulaciones del ensayo, en esta ocasión se utiliza el dispositivo de la serie DL3000 del fabricante RIGOL y en concreto del modelo DL3021 ver figura 4.4.

Esta carga electrónica tiene la característica de que la visualización y el manejo son muy intuitivos haciendo que su uso e interpretación de datos sean mucho más fáciles. Además, cuenta con un software UltraLoad gratuito accesible mediante USB o cable Ethernet. Para nuestro caso en concreto es de gran utilidad la alta resolución y la precisión en las condiciones de carga y de voltaje.

Entre las especificaciones del dispositivo cabe destacar [58]:

- Tiene un único canal DC 150 V 40 A con una potencia total de hasta 200W.
- Resolución mínima de 0,1 mV y 0,1 mA.
- Interfaz de comunicación RS232/ USB/ LAN integrada.
- Función de prueba de baterías.

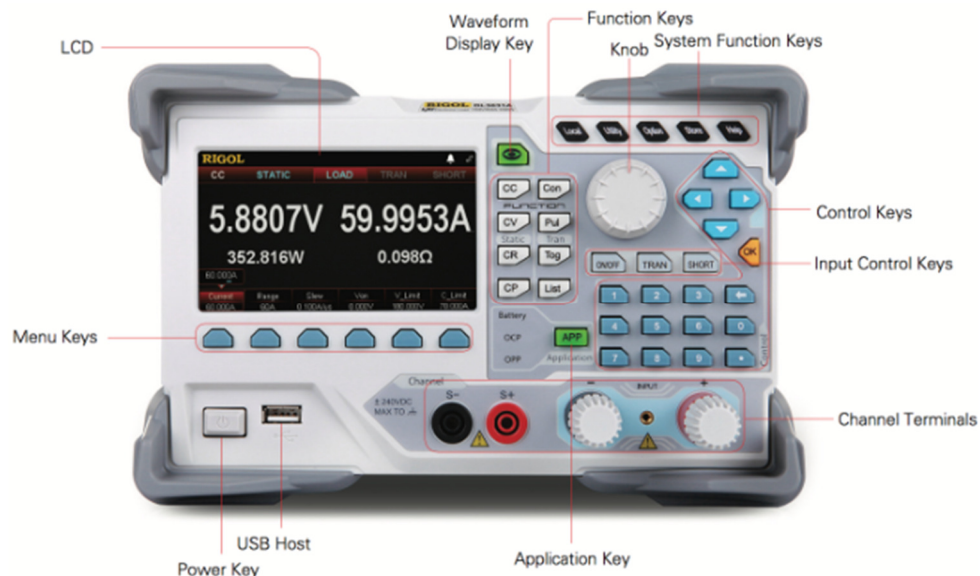


Figura 4.4 Esquema detallado de la carga electrónica (Fuente:[59])

4.3.5 SOFTWARE PARA LA SUPERVISIÓN DEL MÓDULO DE BATERÍAS.

Para poder comunicarnos con el BMS de la batería y de esta manera poder tomar datos y supervisar como actúa la batería, se ha utilizado el software que recomienda el fabricante Pulontech para sus dispositivos. Se trata del programa BatteryView en su versión 3.0.28. con este programa se puede trabajar con baterías de la serie US2000, US3000 que es la que se ha utilizado para este proyecto y también para la serie superior US5000.

4.4 ENSAYOS REALIZADOS

Para la realización de este proyecto fin de grado se procedió con la realización de una serie de casuísticas en un mismo ensayo previo para hacernos una idea de la manera de actuar de los distintos dispositivos cuando trabajaran en conjunto.

Los ensayos se hicieron en primera instancia con las fuentes de alimentación del laboratorio de electrónica de potencia porque se quería hacer una aproximación de lo que pasaría más tarde si se conectaban dos tipos de sistemas de almacenamiento de energía distintos, es decir, simular con dos fuentes de alimentación que una era el banco de supercondensadores y otra las baterías de litio. De esta forma haríamos una prueba de un sistema de alimentación concurrente. Lo que se hizo fue limitar la potencia de una de ellas simulando la desventaja de las baterías de litio de no poder entregar un gran pico de potencia de manera puntual para ver que ocurría, y se vio que en ese momento entraba la otra fuente para respaldar esa necesidad que demandaba la primera.

A mayores de estos estudios que se han descrito en los párrafos previos, se llevó a cabo un tercer ensayo que consistió en la puesta a punto de las baterías siguiendo una serie de procedimientos que tanto el fabricante como el distribuidor hicieron hincapié en que se realizaran para poder garantizar el buen funcionamiento de las baterías. Este proceso se describe con mayor detalle en un apartado dedicado exclusivamente a este tema más adelante.

Para los primeros ensayos se emplearon dos fuentes de alimentación y una carga electrónica del laboratorio de electrónica de potencia de la universidad de León. Estos dispositivos se conectaron siguiendo el esquema que se muestra en la figura 4.5.

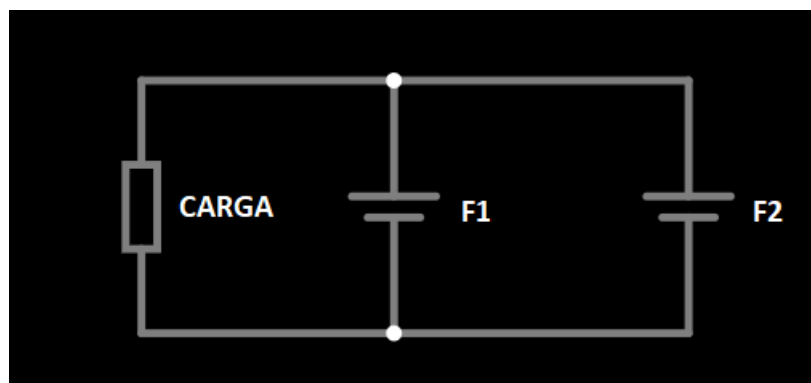


Figura 4.5 Esquema del circuito para los ensayos (Fuente: Elaboración propia)

Los dispositivos utilizados para el ensayo fueron los siguientes de las figuras 4.6 y 4.7:

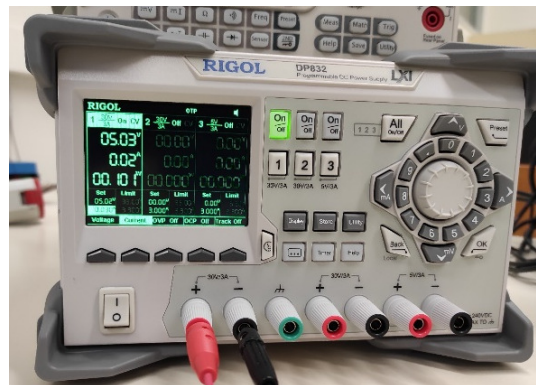


Figura 4.6 Fuente de tensión RIGOL DP832



Figura 4.7 RIGOL DL3021A

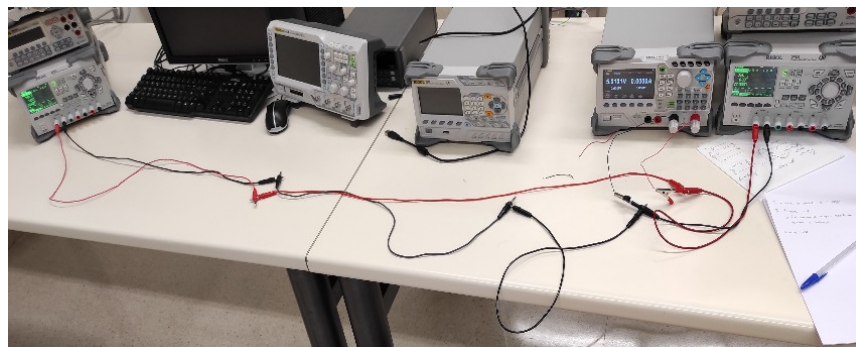


Figura 4.8 Montaje para la realización pruebas

Las pruebas se basan en el estudio del comportamiento de ambas fuentes de alimentación cuando se las hace trabajar con una carga variable. Se pondrán también distintos casos en la carga y se definen límites en corriente, tensión y potencia. Para ello se realizó el montaje que se ve en la figura 4.8.

Lo que esperamos previamente de manera teórica es que, estableciendo un límite en los valores de las fuentes, estas se repartan los valores para sumar entre las dos el valor máximo que definimos en la carga.

En la carga se van a definir 3 límites que se mantendrán invariables durante el estudio y después iremos probando de manera aleatoria distintos límites en cada una de las fuentes para ver el comportamiento al mismo tiempo los voltajes de las fuentes se mantendrán de igual manera invariables y fijos durante las pruebas, es decir, solo variaremos los límites de las fuentes.

Los valores fijos de la carga de los tres estudios que vamos a realizar para la carga serán de:

ESTUDIO 1: las fuentes proporcionaran 5V cada una y la carga se limita a 50mA.

ESTUDIO 2: las fuentes proporcionaran 5V cada una y la carga se limita a 50Ω.

4.4.1 ESTUDIO 1

Tabla 4.4 Datos obtenidos en el estudio 1 (Fuente: Elaboración propia)

Fuentes a 5V y carga limitada a 50mA				
Lim	In	Fuente 1	Fuente 2	Total
F1=15 mA		0,02 A	0,03 A	0,05 A
F2=40 mA				
F1=60 mA		0,05 A	0,00 A	0,05 A
F2=40 mA				
F1=15 mA		0,02 A	0,03 A	0,05 A
F2=60 mA				
F1=40 mA		0,04 A	0,01 A	0,05 A
F2=60 mA				
F1=30 mA		0,03 A	0,02 A	0,05 A
F2=60 mA				
F1=60 mA		0,05 A	0,00 A	0,05 A
F2=60 mA				

En la tabla 4.4 tenemos recogidos los resultados obtenidos del primer estudio donde cada fuente entrega 5 V y la carga se encuentra limitada a 5 mA. En la primera columna de la izquierda se apuntan los límites prefijados en las fuentes y en las columnas dos y tres del centro se recogen los valores de tensión que entrega cada fuente. Por último, en la columna de la derecha se apunta la suma total de ambos valores y vemos que como era de esperar, todos los valores finales son de 0.05 A, que es el límite que se estableció en la carga y que no se debería sobrepasar.

Como se ve en la tabla, en este estudio vemos que sucede algo en principio extraño con dos de las pruebas y es que la fuente 2 no entrega nada y se queda a 0 a pesar de que por ejemplo en el último caso se esperaba que las dos entregaran 2.5 mA. Esto es debido a que la fuente 1 tiene ligeramente más potencia que la fuente 2 y hace que la primera asuma toda la carga. Por ese mismo motivo la fuente 1 siempre entrega el valor límite que se le ha definido.

4.4.2 ESTUDIO 2

Tabla 4.5 Datos obtenidos en el estudio 2 (Fuente: Elaboración propia)

Fuentes a 5V y carga limitada a 50Ω				
Lim	In	Fuente 1	Fuente 2	Total
F1=40 mA		4.12 V	4.17 V	50 Ω
F2=40 mA				0,082 A
F1=50 mA		4,64 V	4.64 V	50 Ω
F2=40 mA				0,0919 A
F1=60 mA		5,01 V	5,08 V	49,9 Ω
F2=60 mA				0,10 A
F1=40 mA		4,60 V	4,67 V	50 Ω
F2=50 mA				0,092 A

De igual manera que en el primer estudio, establecemos los límites de las fuentes y fijamos en 50 Ω el límite de la carga. Utilizando la ley de ohm resulta sencillo ver que si tenemos 5 V en las fuentes y un límite de 50 Ω en la carga la intensidad medida debería ser de 10 mA.

Ley de ohm: $V = R * I$

De este modo se ve en la tabla 4.5 que tan solo en el caso en el que el límite de las fuentes se fijó en 60mA el valor de la intensidad llegó a 0,10 A ya que las fuentes entregaron sus 5 V cada una. También se observa que en esta ocasión los valores entregados por las fuentes fueron muy similares en todo el abanico de casos que fueron probados.

Como conclusiones de estos estudios se ve que cuando limitamos la corriente en alguna de las fuentes la otra se encarga de compensar/entregar a la carga el resto de energía faltante. Si una de las fuentes tiene más potencia que la otra, esta es la encargada principal de suministrar esa energía a la carga como se ve en el primer estudio. En este proyecto, la carga serán una batería de litio y otra de supercondensadores por lo que la manera de controlar los picos de corriente en la batería de litio es esencial para poder ofrecer garantías y prolongar su vida evitando un deterioro prematuro. Como en este caso la fuente va a ser la red, tenemos que poner inversores que transformen la corriente alterna en continua y controlar que los picos se los lleve el supercondensador ya que como vimos en el apartado introductorio de los mismos, no tienen ningún tipo de pega con los picos.

4.4.3 PUESTA A PUNTO DE LAS BATERÍAS.

La primera acción que se debe realizar después de recibir las baterías según el fabricante es hacer un equilibrado de las baterías. Pylontech realiza la entrega de los dispositivos con una carga del 50%. Se supone que todas las baterías poseen la misma carga, pero aun así se recomienda realizar el equilibrado por seguridad.

Se procede a conectar los 2 módulos en paralelo, se ponen en marcha y se pulsa el botón SW de la primera batería y con esto basta para que la otra la siga. Si una de las baterías tuviera más carga que la otra, esta le pasaría carga a la que tiene menos carga para que las 2 queden compensadas. Esto nos lo muestra porque los leds de la de menos carga parpadean. Habría que dejarlas así hasta que entren en reposo y eso se ve cuando los leds se quedan fijos. Después de un rato los leds se apagan y solo se sabe que están funcionando por las pulsaciones del led RUN.

Una vez realizada esta acción se mantiene pulsado durante un segundo el botón SW en cada batería hasta que el led run se apaga por completo. Ahora se procede a desconectar los puentes de conexión en paralelo. Ahora si se hace la prueba con un multímetro, deberíamos

ver que ambas tienen la misma carga. De manera alternativa a este proceso, se pueden cargar las baterías al 100% de su capacidad por separado y después conectarlas hasta que todas se equilibren.

Para poder monitorizar las baterías y ver los informes desde un ordenador personal y actualizar el firmware. Para ello se necesita un adaptador que pase de USB a conector RS232 y adaptarlo al puerto RJ45 que es el puerto que trae la batería para realizar el control.

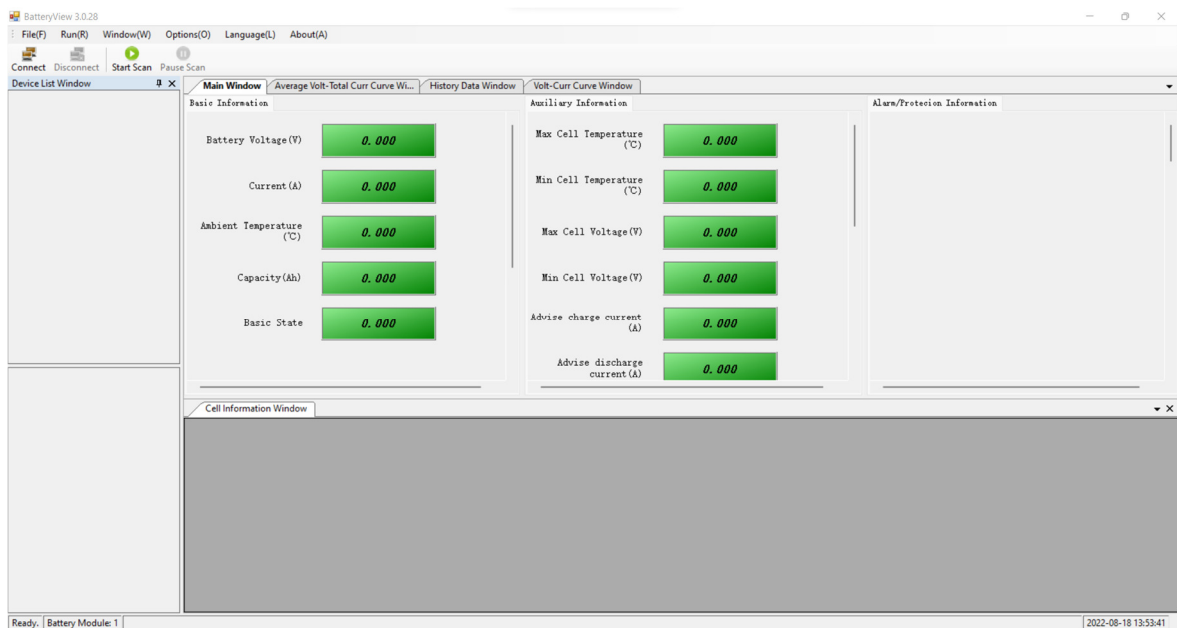


Figura 4.9 Pantalla de inicio del programa BatteryView (Fuente: Elaboración propia)

Al conectarlo hay que ir al panel de administrador de dispositivos como se ve en la figura 4.10 para ver cuál es el puerto que se debe seleccionar más tarde en el programa que se va a utilizar.

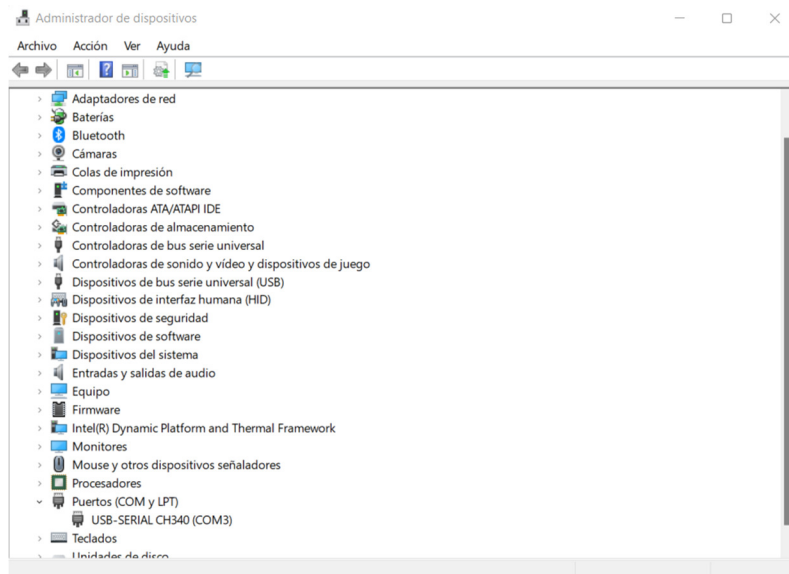


Figura 4.10 Comprobación del puerto que hay que utilizar (Fuente: Elaboración propia)

Al pulsar en el programa en la pestaña de conectar (ver figura 4.11), el programa pide que se introduzca el puerto de conexión que se ha comprobado antes y al aceptar se ve como entra en funcionamiento el programa y sale la opción de desconectar.

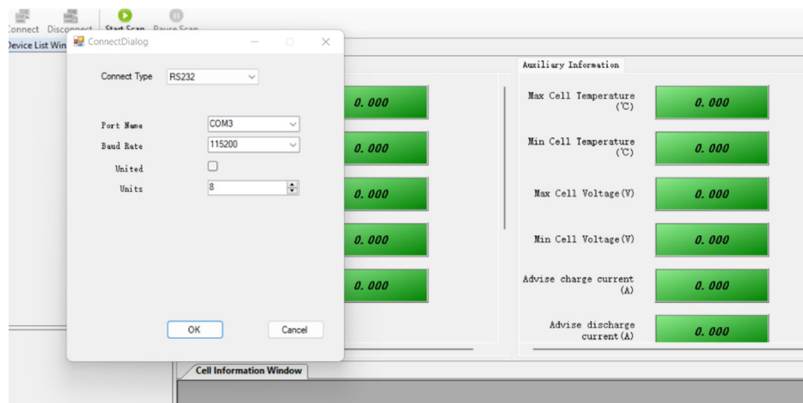


Figura 4.11 Pantalla de inicio del programa BatteryView (Fuente: Elaboración propia)

Una vez realizada la conexión con la batería de manera satisfactoria, se tiene acceso a los distintos menús del programa y en la pantalla principal se pueden ver distintos valores como se muestran en la siguiente figura 4.12.

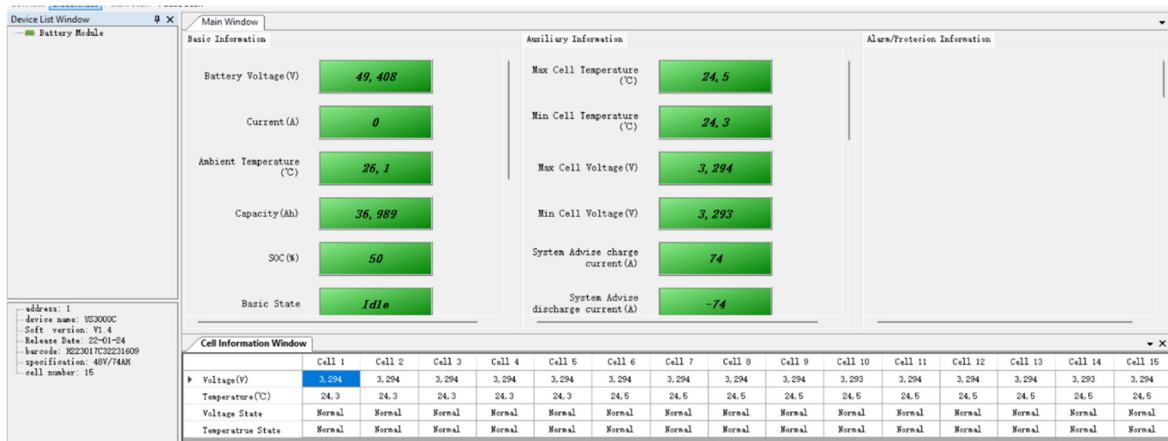


Figura 4.12 pantalla de inicio con cargas desconectadas. (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver, el programa muestra parámetros en tiempo real de la batería. En la primera ventana se ve que la batería cuenta con 49.408 V, la corriente que en este caso es 0 porque en el momento de realización de esta prueba no estaba conectada con el inversor, la temperatura de 26.1 °C la capacidad restante que como se ve es de 36.989 Ah al tratarse de una batería de la serie US3000C cuenta con 74 Ah de capacidad. También se ve el SOC (state of charge) que nos muestra que está al 50%.

En la columna de la derecha se muestran datos como la temperatura de la celda con más temperatura de todas, o la de menor en el segundo caso y lo mismo con los voltajes para el caso del tercero y cuarto panel. En la parte inferior se muestra toda la información de las celdas de la batería que en este caso se trata de una batería de 15 celdas conectadas en serie. Por último, en la parte inferior izquierda como se muestra en la figura 4.13 de la pantalla se muestra toda la información de la batería con la versión de firmware y más datos de la batería.

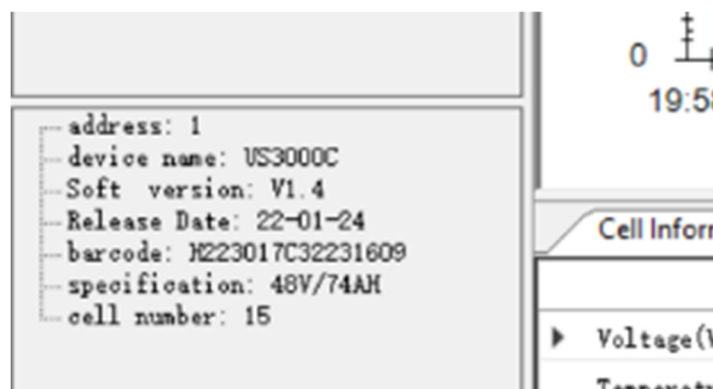


Figura 4.13 Datos de la batería y firmware (Fuente: Elaboración propia)

En ultima instancia, para mostrar todos los parametros de cada celda hay que abrir en la pestaña “Window” y hacer click en el partado “Scan Window” y asi monitorizar en tiempo real el estado de la batería como se muestra a continuación en la figura 4.14.

index	scan time	voltage	current	temperature	capacity	basic state	voltage state	current state	temperature state	lowest cell voltage index	highest cell voltage index	lowest cell voltage	highest cell voltage	lowest cell temperature	highest cell temperature	error code	cycle count
1	22-08-1...	49.408	0	25.9	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
2	22-08-1...	49.408	0	25.9	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
3	22-08-1...	49.409	0	25.9	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
4	22-08-1...	49.408	0	25.9	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
5	22-08-1...	49.409	0	25.9	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
6	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
7	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
8	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
9	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
10	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
11	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
12	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
13	22-08-1...	49.409	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
14	22-08-1...	49.409	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
15	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
16	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
17	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
18	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0
19	22-08-1...	49.408	0	26	36.989	Idle	Normal	Normal	Normal	9 13	0 1 2 3 ...	3.293	3.294	24.3	24.5	0	0

Figura 4.14 Pantalla de parámetros en tiempo real de la batería (Fuente: Elaboración propia)

Existe tambien la posibilidad de mostrar la curva de voltaje y corriente de la batería. En este caso en concreto como e a la hora de realizar esta prueba se hizo sin estar conectada a las cargas, como se ve en la figura 4.15, el voltaje se muestra constante en azul con un valor de 50 V y la corriente se muestra en rojo a 0 A tambien por la misma razón.

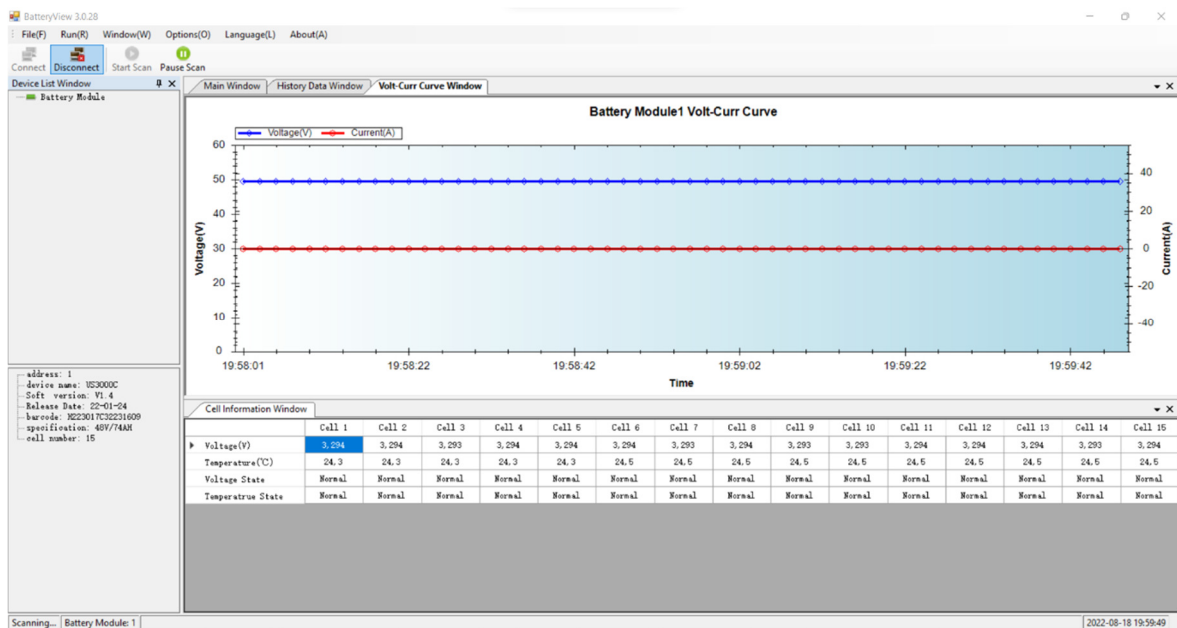


Figura 4.15 Curvas de trabajo de la batería (Fuente: Elaboración propia)

Este programa nos otorga la posibilidad de descargar los historiales (ver figura 4.16 y anexos 9.5 al 9.8) de la batería y poder enviarlos por ejemplo al distribuidor en caso de la existencia de algún problema.

```

H223017C32231609_history_20220818200153: Bloc de notas
Archivo  Editar  Ver

Pwr Protect ENA : POV PHV PLV PUV PSLP POT PHT COC2 COC COCA DOCA DOC DOC2 SC LCOUL
System Fault   : 0x0
-----
Battery Volt    Curr    Tempr   Base State Volt. State Curr. State Temp. State Coulomb
0         3294    0       24300   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
1         3294    0       24300   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
2         3294    0       24300   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
3         3294    0       24300   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
4         3294    0       24300   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
5         3294    0       24400   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
6         3294    0       24400   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
7         3294    0       24400   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
8         3294    0       24400   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
9         3294    0       24400   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
10        3294    0       24500   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
11        3294    0       24500   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
12        3294    0       24500   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
13        3293    0       24500   Idle      Normal    Normal    Normal    49%
14        3294    0       24500   Idle      Normal    Normal    Normal    49%

Command completed successfully
    
```

Figura 4.16 Vista parcial del informe generado del histórico de la batería (Fuente: Elaboración propia)

4.4.4 PRESUPUESTO

En la parte que ocupa este proyecto sobre la maqueta, es decir, los módulos de baterías de litio y los bancos de supercondensadores, se hizo una inversión primaria de 4726.94 €, tal y como se puede ver en la tabla 4.7. Debido al excedente monetario, después esa cantidad se vio incrementada al comprar un módulo más de baterías de litio. Esta compra a posteriori se realiza porque el inversor tiene un pico de 210 Ah y con solo 2 baterías llegaríamos tan solo a 200 Ah pues cada una da 100 Ah. Si se le añade una tercera batería, llegaría a los 300 Ah y de esta manera se prolongará la durabilidad de las baterías.

Tabla 4.6 Presupuesto inicial para almacenamiento de energía (Fuente: Elaboración propia)

COMPONENTE	REFERENCIA	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Batería de Litio Pylontech 48V 3,1kWh	US3000C	2	1.383,95 €	2.767,90 €
Cables Pylontech LV Batería-Inversor	5504074	1	30,00 €	30,00 €
LICAP 170V 6F 24,1Wh	LICAP 170V 6F 24,1Wh	2	964,52 €	1.929,04 €
TOTAL				4.726,94 €

De esta forma, y como resultado final a falta de la prueba de la maqueta con este último módulo de baterías adicional, se puede garantizar la duración prolongada de las baterías de litio. La inversión final para esta parte del proyecto fue de 6.110,89 € como se muestra en la siguiente tabla 4.8, sin contar el cableado para los bancos de supercondensadores.

Tabla 4.7 Inversión final en el almacenamiento de energía (Fuente: Elaboración propia)

COMPONENTE	REFERENCIA	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Batería de Litio Pylontech 48V 3,1kWh	US3000C	3	1.383,95 €	4.151,85 €
Cables Pylontech LV Batería-Inversor	5504074	1	30,00 €	30,00 €
LICAP 170V 6F 24,1Wh	LICAP 170V 6F 24,1Wh	2	964,52 €	1.929,04 €
TOTAL				6.110,89 €

Destacar que este trabajo estaba condicionado por los requisitos de un proyecto empresarial, por ello, todos los estudios realizados sobre los diferentes sistemas de alimentación ininterrumpida están enfocados a cumplir con las necesidades del proyecto. Además, la selección de los dispositivos se vio afectada por los plazos de distribución.

5 Resultados obtenidos

Después de recibir todo el material necesario y realizar todas las comprobaciones oportunas en el proyecto se procede con el montaje de la maqueta funcional para poder llevar a cabo los estudios y pruebas finales. A continuación, en la figura 5.1, se muestra un diagrama de bloques simplificado con la disposición final de los dispositivos en la maqueta.

En la esquina superior izquierda se encuentra la entrada de red. Después de esta se coloca un puente rectificador para pasar de corriente alterna a continua y así poder almacenarla en los supercondensadores que se encuentran en la parte inferior izquierda conectados en serie. Desde aquí la energía pasa al inversor que es el dispositivo que se encuentra en el centro de la maqueta y es el encargado de enviar la energía a los módulos de baterías US3000C que se encuentran en la parte inferior derecha conectados en paralelo. Por último, si el inversor demanda esa energía de las baterías, este es el encargado de recoger esa energía y enviarla a la salida de red que se encuentra en la parte superior derecha

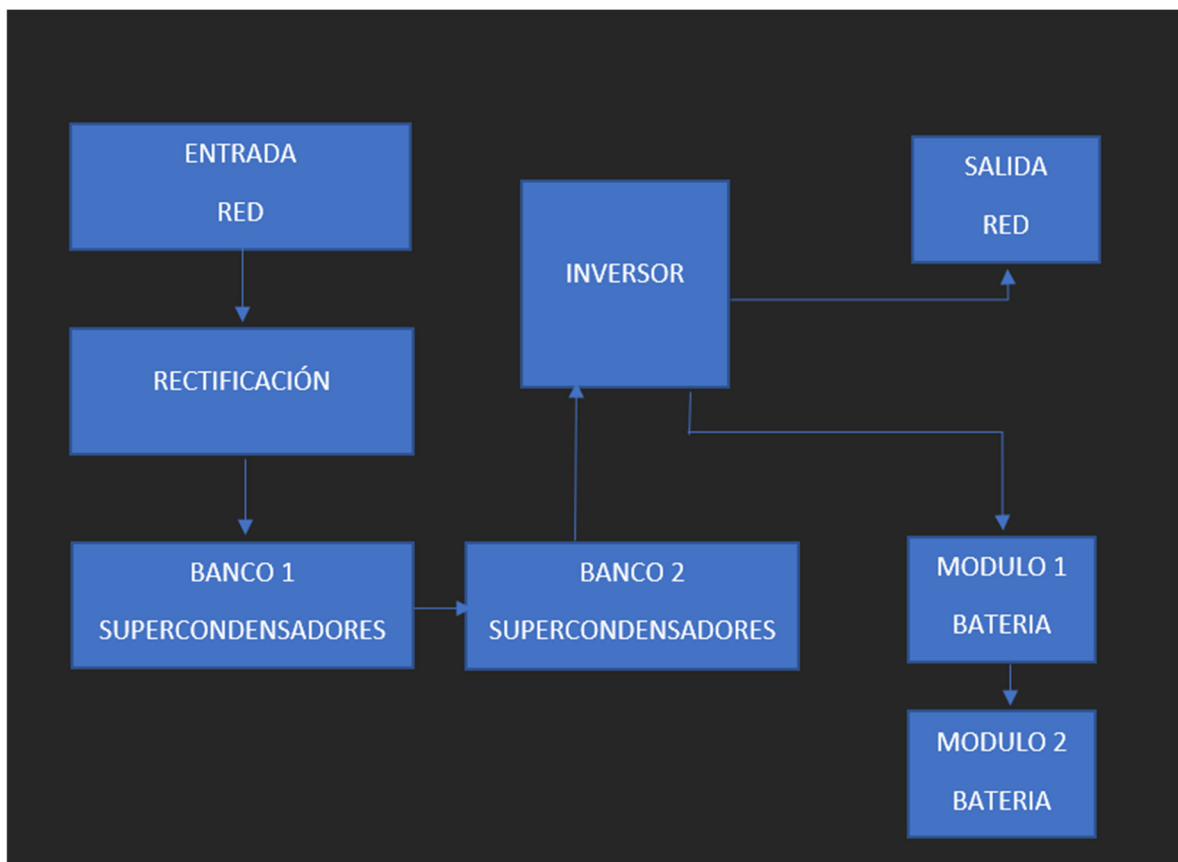


Figura 5.1 Diagrama de bloques simplificado del montaje (Fuente: Elaboración propia)

Después de comprobar que el montaje se ha realizado de manera exitosa y sin errores se procede a poner en marcha una vez más el sistema contando esta vez las cargas. Como se vio con anterioridad, en la pantalla principal del programa se ve entre otros datos, el voltaje actual de la batería. En este caso se ve que después de varios días, la batería perdió algo de voltaje hasta llegar a los 48.975 V, es decir después de aproximadamente una semana y media el voltaje ha disminuido 0.433 V. Esto nos muestra una de las ventajas que habíamos destacado anteriormente de este tipo de baterías.

Se ve también que en este caso como ya hay una carga conectada al sistema, en concreto 3 resistencias que en conjunto consumen 3 kW en el apartado de corriente se muestra un consumo de 34.193 A diferencia de los 0 que se mostraban en la prueba sin conectar nada.

Si se centra la atención en el máximo voltaje de las celdas se ve también que el voltaje va a disminuir.

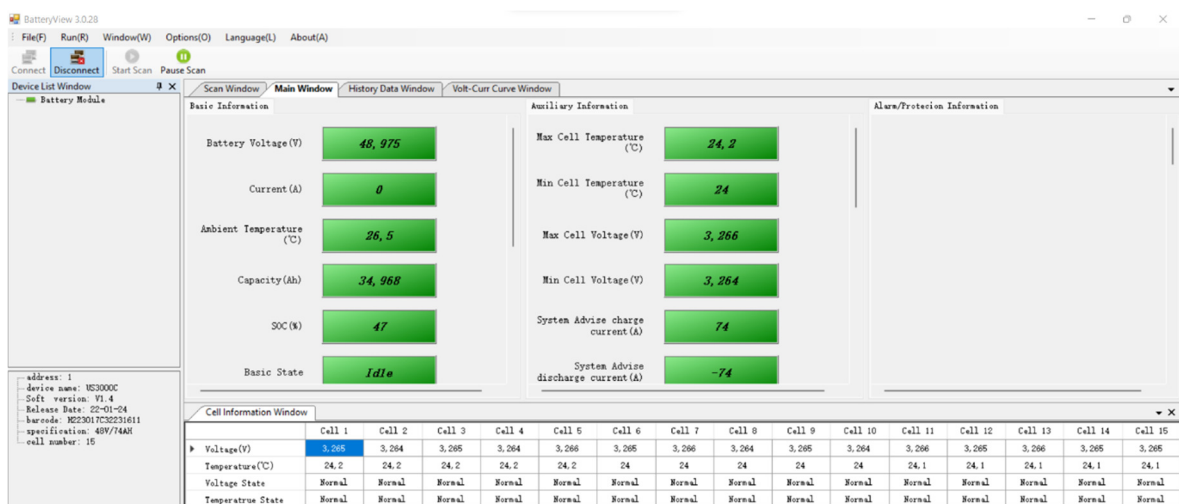


Figura 5.2 Pantalla principal del programa BatteryView con las cargas conectadas (Fuente: Elaboración propia)

En el momento de conectar las cargas si se va al apartado en el que se muestran las curvas de descarga de corriente y voltaje de la figura 5.3, se ve cómo va fluctuando. En la siguiente figura se observa como el voltaje pasa de las 48.975 V iniciales a los 48.402 V finales y de manera paralela se ve también los momentos en los que se han encendido y apagado las cargas en el consumo de corriente.

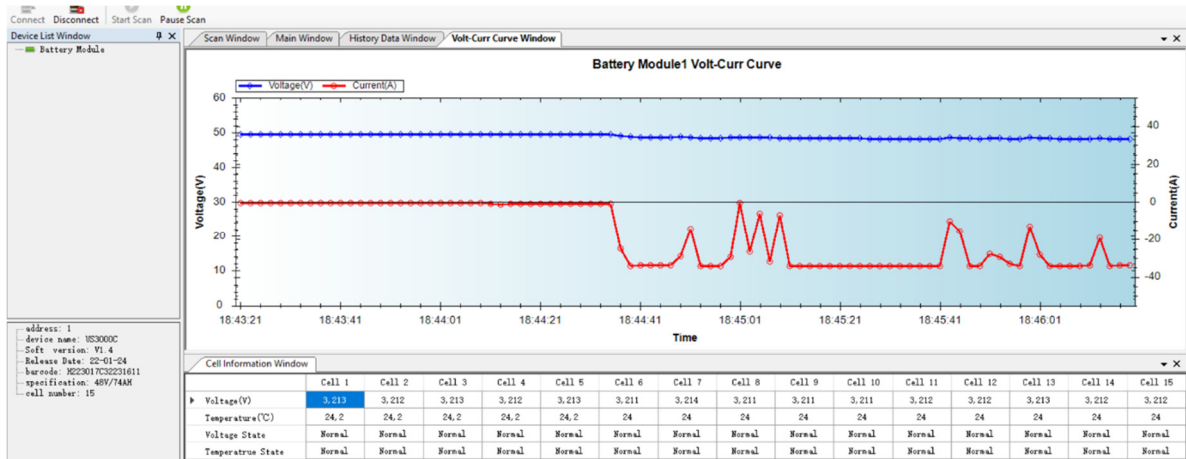


Figura 5.3 Curva de descarga de la batería (Fuente: Elaboración propia)

El programa da la opción de ajustar las escalas de ambas curvas de manera que, como se muestra en la figura 5.4 a continuación, resulta más evidente ver las fluctuaciones de tensión y corriente al conectar y desconectar las cargas.

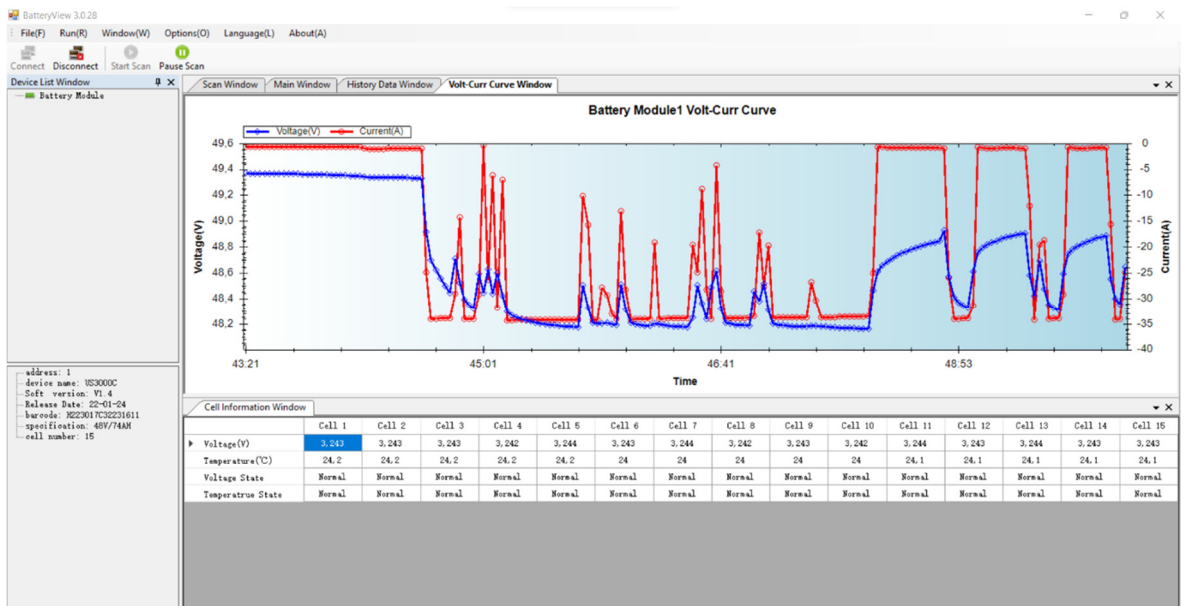


Figura 5.4 Curvas de descarga de la batería (Fuente: Elaboración propia)

Por último, después de terminar con la prueba de la batería conectando y desconectando las cargas, se aprecia en la figura 5.5 que evidentemente el voltaje ha disminuido y de igual forma, el voltaje máximo de las celdas se ha visto reducido también

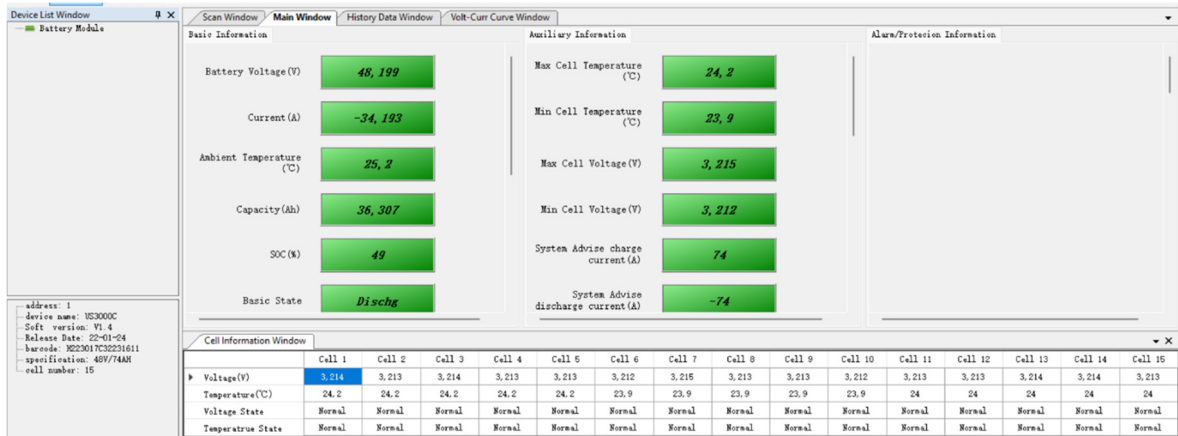


Figura 5.5 Pantalla principal del programa BatteryView con las cargas conectadas (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5.1 Excel generado por el programa del proceso (Fuente: Elaboración propia)

index	scan time	voltage	current	temperature	capacity	basic sta	voltage	stacurrent	sta temperatu	lowest cell voltage	highest cell voltage	lowest cell temperat	highest cell temperature
1	22-08-31 18:43:20:958	49,37	-0,728	24,6	36,928	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,292	23,9	24,1
2	22-08-31 18:43:22:960	49,367	-0,724	24,6	36,928	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,292	23,9	24,1
3	22-08-31 18:43:24:915	49,366	-0,731	24,6	36,927	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,292	23,9	24,1
4	22-08-31 18:43:26:900	49,365	-0,74	24,7	36,927	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,291	23,9	24,1
5	22-08-31 18:43:28:903	49,365	-0,715	24,7	36,926	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,291	23,9	24,1
6	22-08-31 18:43:30:907	49,365	-0,725	24,7	36,926	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,291	23,9	24,1
7	22-08-31 18:43:33:064	49,365	-0,707	24,7	36,925	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,291	23,9	24,1
8	22-08-31 18:43:34:924	49,365	-0,721	24,7	36,925	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,291	23,9	24,1
9	22-08-31 18:43:36:911	49,365	-0,705	24,7	36,925	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,291	23,9	24,1
10	22-08-31 18:43:38:913	49,365	-0,696	24,7	36,924	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,291	3,291	23,9	24,1
11	22-08-31 18:43:41:072	49,363	-0,702	24,7	36,924	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
12	22-08-31 18:43:42:917	49,363	-0,691	24,7	36,923	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
13	22-08-31 18:43:45:060	49,362	-0,686	24,7	36,923	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
14	22-08-31 18:43:47:077	49,361	-0,683	24,7	36,923	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
15	22-08-31 18:43:48:939	49,361	-0,666	24,8	36,922	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
16	22-08-31 18:43:51:081	49,36	-0,683	24,8	36,922	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
17	22-08-31 18:43:52:941	49,357	-0,67	24,8	36,921	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
18	22-08-31 18:43:55:086	49,357	-0,687	24,8	36,921	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
19	22-08-31 18:43:56:930	49,354	-0,683	24,8	36,921	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
20	22-08-31 18:43:59:089	49,354	-0,665	24,8	36,92	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
21	22-08-31 18:44:00:952	49,352	-0,666	24,8	36,92	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
22	22-08-31 18:44:02:954	49,352	-0,661	24,8	36,919	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,291	23,9	24,1
23	22-08-31 18:44:05:081	49,35	-0,697	24,8	36,919	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,29	23,9	24,1
24	22-08-31 18:44:06:943	49,35	-0,715	24,8	36,919	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,29	23,9	24,1
25	22-08-31 18:44:09:102	49,35	-0,722	24,8	36,918	Dischg	Normal	Normal	Normal	3,29	3,29	23,9	24,1

Si se cogen los datos de la tabla 5.1 (ver anexos 9.3 y 9.4) anterior se puede realizar un gráfico de la evolución de la temperatura durante el proceso, como el siguiente mostrado en la figura 5.6.

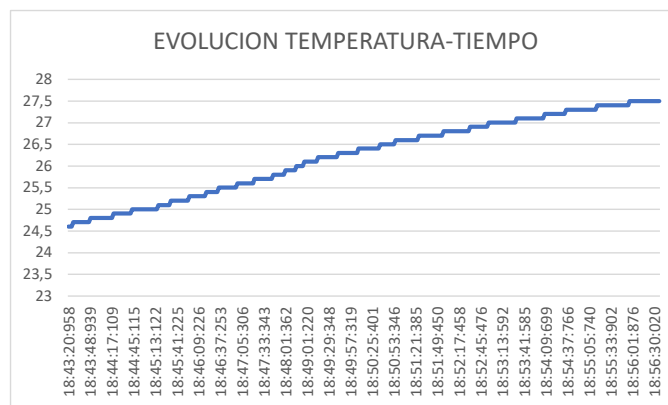


Figura 5.6 Evolución de la temperatura en el tiempo (Fuente: Elaboración propia)

6 Conclusiones y líneas futuras

Como conclusiones se puede resaltar que se ha logrado llegar a los resultados esperados de manera parcial. Los bancos de baterías de supercondensadores, así como los módulos de baterías de litio funcionaron a la perfección desde el primer momento. A pesar de las dificultades con las que hubo que lidiar por la situación que se vive actualmente en cuanto a la escasez de material electrónico, huelgas de transportistas debido a los altos precios de los combustibles y también los duraderos plazos de entrega que la mayoría de distribuidores ofrecían.

El proyecto se vio retrasado, en parte, por un fallo del distribuidor al enviar material erróneo, lo cual retrasó en gran medida la finalización de la maqueta y de esta manera la realización de las pruebas oportunas.

Como consecuencia de lo anterior se pudieron hacer pruebas de funcionamiento con las baterías de litio, pero el retraso en la entrega de ciertos elementos hizo imposible poder probar las baterías de litio y los supercondensadores trabajando en conjunto en la hora de realizar el depósito de este trabajo.

Como ya se adelantó en apartados anteriores, las baterías no son las que mejor se adaptaban en cuanto al dimensionamiento de la maqueta, pero por motivos de distribución y existencias en el mercado hubo que adaptarse a este modelo de baterías de litio. Las baterías que mejor se adaptaban a este proyecto eran las de 7.2 kWh, también del fabricante pylontech pero en el momento de la compra no había disponibilidad de ella y los plazos de entrega se estimaban en fechas que no eran acordes a los plazos de entrega del proyecto.

Una posible ampliación de este trabajo a futuro sería la comprobación del funcionamiento de manera concurrente de la batería de supercondensadores y de las baterías de litio. Analizar la estabilidad del sistema y plantear diferentes ensayos ante cargas variables.

7 Agradecimientos

A mi entorno, familia, sobre todo a mis padres y mi hermano, gracias por el ánimo y gran apoyo que me han otorgado siempre. Por no soltarme nunca de la mano ni desconfiar de mí. Si hoy estoy aquí es gracias a vosotros. No olvidéis nunca que sois el motor que me mueve. A la gente que he podido conocer durante todo este tiempo y que han conformado la familia que cada uno elegimos. Gracias por formar parte de esta etapa de mi vida y como siempre os digo, vamos a por todo lo que nos propongamos y si no sale bien, que no sea porque no lo hemos intentado todo.

A mi tutora Natalia Prieto, por guiarme y acompañarme y en este último tramo. Gracias por estar ahí siempre que lo he necesitado e implicarte tanto, aun teniendo en cuenta la situación por la que hemos pasado durante estos últimos meses y todo el trabajo y responsabilidad que tiene a su cargo.

En última instancia, me gustaría agradecer a los profesionales del sector, ya sean fabricantes o distribuidores y familias que han sacado tiempo y han permitido que fuera posible conseguir información y conocer más acerca de la realidad de las baterías y el almacenamiento de energía.

8 Referencias

- [1] «Balance del Consumo de energía final». <https://sieweb.idae.es/consumofinal/bal.asp?txt=Energ%EDa%20el%E9ctrica&tipbal=f&rep=1> (accedido 10 de junio de 2022).
- [2] «Problemas de Energía Eléctrica», *Prolyt*, 30 de enero de 2020. <https://www.prolyt.com/problemas-de-energia-electrica/> (accedido 10 de junio de 2022).
- [3] «El crecimiento de las energías renovables se acelera en todo el mundo tras la COP26 - Más renovables», *Energética XXI, revista de noticias de energía, biomasa, eólica, fotovoltaica, solar, autoconsumo*. <https://energetica21.com/noticia/el-crecimiento-de-las-energias-renovables-se-acelera-en-todo-el-mundo-tras-la-cop26> (accedido 10 de junio de 2022).
- [4] «El origen de las baterías», *Investigación y Ciencia*. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/floracin-526/el-origen-de-las-bateras-8869> (accedido 13 de junio de 2022).
- [5] <https://www.areatecnologia.com>, «Descubrimiento de la Electricidad». <https://www.areatecnologia.com/electricidad/descubrimiento-de-la-electricidad.html> (accedido 13 de junio de 2022).
- [6] «HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD». http://recursostic.educacion.es/eda/web/tic_2_0/informes/perez_freire_carlos/temas/personajes.htm (accedido 13 de junio de 2022).
- [7] «Breve historia de la electricidad», *Visual Led*, 20 de enero de 2020. <https://visualled.com/pantallas-led-info/breve-historia-de-la-electricidad/> (accedido 13 de junio de 2022).
- [8] R. Herce, «CAPÍTULO VIII ALESSANDRO VOLTA, DE LA ELECTRICIDAD ANIMAL A LA PILA ELÉCTRICA», p. 11.
- [9] «Alessandro Volta, el hombre que inventó la pila... y posiblemente el mechero», 14 de enero de 2019. <https://elretohistorico.com/pila-volta-biografia-aportaciones-electricidad/> (accedido 13 de junio de 2022).
- [10] «¿Cómo funciona una batería? VARTA® describe con detalle el funcionamiento de las baterías de coches». <https://www.varta-automotive.es/es-es/soporte-para-baterias->

- varta/conceptos-basicos-sobre-baterias/como-funciona-una-bateria (accedido 14 de junio de 2022).
- [11] «Batería - Concepto, tipos de baterías y cómo funcionan», *Concepto*. <https://concepto.de/bateria/> (accedido 14 de junio de 2022).
- [12] E. Fácil, «Batería de zinc-carbón | Tipos de batería de zinc-carbón | Ventajas y desventajas - Electrónica Fácil Top», 17 de abril de 2020. <https://www.electronicafacil.top/bateria/bateria-de-zinc-carbon-tipos-de-bateria-de-zinc-carbon-ventajas-y-desventajas/> (accedido 15 de junio de 2022).
- [13] hmong.wiki, «Batería de zinc-carbono HistoriayConstrucción». https://hmong.es/wiki/Zinc%E2%80%93carbon_battery (accedido 15 de junio de 2022).
- [14] «De qué están hechas las baterías de los aparatos en tu casa y cuáles son las mejores para cada cosa», *BBC News Mundo*. Accedido: 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-36804386>
- [15] «Baterías - tipos y usos 2022 - todosai». <https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html> (accedido 15 de junio de 2022).
- [16] «Historia de la batería de Plomo Ácido». http://bateriasindustrialesytraccion.es/es/Blogbaterias/6_Historia-de-la-bater%C3%ADa-de-Plomo-acido.html (accedido 15 de junio de 2022).
- [17] E. S. | Granada, «Regenbat - Especialista en regeneración de baterías >> Baterías >> Historia de la batería de plomo ácido.» <https://regenbat.com/historia-regenbat-regeneracion-baterias.php> (accedido 15 de junio de 2022).
- [18] «<https://es.jf-paredes.pt/what-is-nickel-cadmium-battery>». <https://es.jf-paredes.pt/what-is-nickel-cadmium-battery> (accedido 17 de junio de 2022).
- [19] hmong.wiki, «Batería de níquel-cadmio HistoriayCaracterísticas». https://hmong.es/wiki/Nickel-cadmium_battery (accedido 17 de junio de 2022).
- [20] «La increíble batería inventada hace 120 años que puede revolucionar la producción de energía», *BBC News Mundo*. Accedido: 17 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-56342143>
- [21] «Una batería inventada por Edison vuelve a la vida con grafeno», *abc*, 27 de junio de 2012. https://www.abc.es/ciencia/abci-grafeno-mejora-bateria-edison-201206270000_noticia.html (accedido 17 de junio de 2022).

- [22] «Baterías de Ni-MH - EcuRed». https://www.ecured.cu/index.php/Bater%C3%ADas_de_Ni-MH (accedido 17 de junio de 2022).
- [23] hmong.wiki, «Batería de níquel-zinc HistoriayAplicaciones». https://hmong.es/wiki/Nickel-zinc_battery (accedido 18 de junio de 2022).
- [24] «Baterías Ni Zn: características y cómo cargar». <https://technoluxpro.com/es/akkumulatory/batarei/nizn.html> (accedido 18 de junio de 2022).
- [25] hmong.wiki, «Batería de níquel-hidrógeno HistoriayCaracterísticas». https://hmong.es/wiki/Nickel%E2%80%93hydrogen_battery (accedido 21 de junio de 2022).
- [26] «Instalan Nuevas Baterías Más Potentes en el Exterior de la ISS :: NASANET». <https://www.lanasa.net/iss/instalan-nuevas-baterias-mas-potentes-en-el-exterior-de-la-iss> (accedido 21 de junio de 2022).
- [27] admin, «Tipos de baterías de iones de litio», *FH SOLAR LED IBÉRICA*, 20 de mayo de 2020. <https://fhsolarled.com/tipos-de-baterias-de-iones-de-litio/> (accedido 21 de junio de 2022).
- [28] «Los creadores de las baterías de litio, Premio Nobel de Química», *El Español*, 9 de octubre de 2019. https://www.elespanol.com/el-cultural/ciencia/20191009/creadores-baterias-litio-premio-nobel-quimica/435458316_0.html (accedido 21 de junio de 2022).
- [29] hmong.wiki, «Óxido de litio y cobalto EstructurayPreparación». https://hmong.es/wiki/Lithium_cobalt_oxide (accedido 21 de junio de 2022).
- [30] hmong.wiki, «Batería de fosfato de hierro y litio HistoriayVentajas y desventajas». https://hmong.es/wiki/Lithium_iron_phosphate_batteries (accedido 21 de junio de 2022).
- [31] hmong.wiki, «Óxidos de litio, níquel, manganeso y cobalto HistoriayRelaciones de metal». https://hmong.es/wiki/Lithium_nickel_manganese_cobalt_oxide (accedido 21 de junio de 2022).
- [32] «Qué son y cómo funcionan las baterías de litio», *EcoInventos*, 2 de enero de 2022. <https://ecoinventos.com/baterias-de-litio/> (accedido 21 de junio de 2022).
- [33] «The difference between lithium ion and lithium polymer batteries», *Battery Power Tips*, 30 de junio de 2021. <https://www.batterypowertips.com/difference-between-lithium-ion-lithium-polymer-batteries-faq/> (accedido 21 de junio de 2022).

- [34] «Li-Polymer de la batería 3.7V 240mAh tipo Plantronics 65358-01», *Vlad*. <https://www.vlad.fr/es/casque/5100-li-polymer-de-la-bater3fa-3-7v-240mah-tipo-plantronics-65358-01.html> (accedido 21 de junio de 2022).
- [35] «Could Ultracapacitors Replace Batteries in Future Electric Vehicles?» <https://interestingengineering.com/could-ultracapacitors-replace-batteries-in-future-electric-vehicles> (accedido 21 de junio de 2022).
- [36] «Un autobús eléctrico suizo puede recargar su batería en tan solo 15 segundos», *El Periódico de la Energía*, 3 de agosto de 2016. <https://elperiodicodelaenergia.com/un-autobus-electrico-suizo-puede-recargar-su-bateria-en-tan-solo-15-segundos/> (accedido 21 de junio de 2022).
- [37] «What's the Difference Between Batteries and Capacitors? | Machine Design». <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/batteries-power-supplies/article/21831866/whats-the-difference-between-batteries-and-capacitors> (accedido 21 de junio de 2022).
- [38] «The History and Facts of Uninterruptible Power Supply», *Karatec*, 11 de abril de 2016. <https://karatec.com.au/history-and-facts-uninterruptible-power-supply/> (accedido 21 de junio de 2022).
- [39] «Historia de la fuente de alimentación ininterrumpida». <https://environment.data.gov.uk/asset-management/drl-app/revision/current/categories/BuildingsAndCompounds/asset-types/LabBuilding/elements/LabBuilding-uninterruptible-power-supply/history> (accedido 21 de junio de 2022).
- [40] M. S. Racine, J. D. Parham, y M. H. Rashid, «An overview of uninterruptible power supplies», en *Proceedings of the 37th Annual North American Power Symposium, 2005.*, oct. 2005, pp. 159-164. doi: 10.1109/NAPS.2005.1560518.
- [41] Belen, «El SAI. ⚡ Tipos. Diferencias entre offline, interactivo y online.», *tecnozero Soluciones Informaticas*, 10 de enero de 2017. <https://www.tecnozero.com/blog/el-sai-offline-interactivo-online/> (accedido 2 de agosto de 2022).
- [42] «Types of UPS (Uninterruptible Power Supply)». <https://www.thomasnet.com/articles/electrical-power-generation/types-of-ups-uninterruptible-power-supply/> (accedido 2 de agosto de 2022).
- [43] «Tipos de SAI», *Endata*, 20 de enero de 2022. <https://www.endata.es/tipos-de-sai/> (accedido 2 de agosto de 2022).

- [44] «DELTA CONVERSION ONLINE UPS | Power Quality In Electrical Systems». <http://www.powerqualityworld.com/2011/11/delta-conversion-online-ups.html> (accedido 2 de agosto de 2022).
- [45] R. C. Martínez, «▷ Qué es un SAI y qué tipos existen», *IngenieroEléctrico.NET*, 19 de octubre de 2021. <https://ingenieroelectrico.net/sai/> (accedido 19 de agosto de 2022).
- [46] «Protección Eléctrica. Tipos de SAIs: Características y Aplicaciones - Grumar Trading», 14 de noviembre de 2018. <https://grumartrading.com/2018/11/proteccion-electrica-tipos-de-sais-caracteristicas-y-aplicaciones/> (accedido 19 de agosto de 2022).
- [47] admin, «¿Por qué es necesario tener un SAI en casa o el trabajo?», *Lapara - Sistemas de Alimentación Ininterrumpida*, 12 de mayo de 2021. <https://www.laparaups.com/sai-en-casa-y-trabajo/> (accedido 27 de agosto de 2022).
- [48] I. Ros, «Descubre todo lo que un SAI puede hacer por tu pyme - MuyPymes», 22 de agosto de 2019. <https://www.muypymes.com/2019/08/22/descubre-todo-lo-que-un-sai-puede-hacer-por-tu-pyme> (accedido 27 de agosto de 2022).
- [49] «SAI. Un componente básico en la protección de los hospitales», 19 de abril de 2022. <https://v-valley.es/sai-componente-basico-de-proteccion-en-hospitales/> (accedido 27 de agosto de 2022).
- [50] P. D. Comment, «El SAI como elemento clave para la sostenibilidad del data center». <https://www.datacenterdynamics.com/es/opinion/el-sai-como-elemento-clave-para-la-sostenibilidad-del-data-center/> (accedido 27 de agosto de 2022).
- [51] «Sistemas híbridos de supercondensadores y baterías. Cómo afectarán a la movilidad eléctrica y almacenamiento», *forococheselectricos*, 26 de diciembre de 2016. <https://forococheselectricos.com/2016/12/sistemas-hibridos-de-supercondensadores-y-baterias-como-afectaran-la-movilidad-electrica-y-almacenamiento.html> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [52] «El amanecer de los supercondensadores, ¿el final de las baterías de iones de litio? - Autofácil». <https://www.autofacil.es/tecnologia/lamborghini-sian-supercondensadores/261040.html> (accedido 3 de septiembre de 2022).
- [53] «Ventajas y desventajas baterías Litio-ferroso (LiFePO4)». <https://www.bateriadelitiorecargable.com/es/content/26-ventajas-y-desventajas-baterias-litio-ferroso-lifepo4> (accedido 17 de agosto de 2022).

- [54] «Batería de litio Pylontech US3000C 3,5kWh - Nueva versión 48V». <https://suministrosdelsol.com/es/baterias-de-litio-pylontech/563-bateria-de-litio-pylontech-us3000c-35kwh-nueva-version-48v.html> (accedido 17 de agosto de 2022).
- [55] «Batería de Litio Dyness B3 (48V) LiFePO4 3,6kWh», *El Almacén Fotovoltaico*. <https://elalmacenfotovoltaico.com/baterias-de-litio/388-bateria-de-litio-dyness-b3-48v-lifepo4-36kwh.html> (accedido 17 de agosto de 2022).
- [56] «DC Power Supply DP832». <https://rigolshop.eu/products/power-supply/dp800/dp832.html> (accedido 18 de agosto de 2022).
- [57] «DP832 Rigol Technologies | Prueba y medición | DigiKey Marketplace». <https://www.digikey.com/es/products/detail/rigol-technologies/DP832/10468135> (accedido 18 de agosto de 2022).
- [58] «DC Load DL3021A». <https://rigolshop.eu/products/dc-load/dl3021a.html> (accedido 18 de agosto de 2022).
- [59] «RIGOL DL3021 DC Electronic Load single output 150V, 40A, 200W», *BatterFly.com*. <https://www.batterfly.com/shop/es/rigol-dl3021> (accedido 18 de agosto de 2022).

9 Anexos

9.1 DATASHEET PYLONTECH US3000C

9.2 DATASHEET SM0006-170-NB_DS

9.3 EXCEL_18_08_22_19_57_57

9.4 EXCEL_31_08_22_18_42_18

9.5 HISTORICO_223017C32231609_history_20220818200153

9.6 HISTORICO_223017C32231611_history_20220831185229

**9.7 HISTORICO_EVENTOS_223017C32231609_event_2022081820
0216**

**9.8 HISTORICO_EVENTOS_223017C32231611_event_2022083118
5423**