



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny

# Estudio experimental sobre el uso de supercondensadores como baterías de carga ultrarrápida.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**Grado en ingeniería electrónica industrial y automática.**

Alumno: Carlos Romero Morte

Tutor: Enrique Berjano Zanón

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fin de grado no podría haberlo realizado sin las personas que me han estado acompañando durante todo este proceso, como en el resto mi vida.

En primer lugar, quiero agradecer a las personas que me han ayudado a llevar a cabo este proyecto.

A *Enrique Berjano*, mi tutor, todo el esfuerzo que ha dedicado en ayudarme, proporcionarme todo el material que he necesitado y resolverme todas las dudas a lo largo de este proyecto.

En segundo lugar, a las personas que me han ayudado en mi día a día.

A mi familia. A mis padres, *Ángel y Aurora*, por su amor y apoyo incondicional en todo lo que he hecho desde el primer momento. A mi hermana *Sara*, quien ha sido mi ejemplo a seguir desde el principio. A mi primo *Ángel* que ha sido un gran apoyo cuando lo he necesitado. A mi abuela *Aurora* quien ha sido mi segunda madre, a mi abuelo *Ángel Morte Carrasco* y a mi tete *Ángel*, que sé que se sienten orgullosos de mi desde algún lugar del cielo.

A mis amigos de siempre, *Chinchi, Adrian, Mounir y Javier* por todo lo que hemos vivido y nos queda por vivir.

A mis compañeros de clase que han pasado a ser amigos, en especial a *Vicent, Javi, Paula y Santi*.



## RESUMEN

El principal problema de los coches eléctricos e híbridos en la actualidad son los largos tiempos de recarga de sus baterías eléctricas, ya que las baterías eléctricas actuales presentan gran tiempo de recarga en comparación a los escasos minutos que lleva el repostar un coche de combustible convencional. Una de las posibles soluciones a este problema es la utilización de baterías hechas a partir de supercondensadores. Este método presenta una gran ventaja con respecto a las tecnologías actuales, puesto que no presenta un deterioro de la batería durante su vida útil y además no demora en cargarse más de unos minutos, por lo que su utilización supondría una gran mejora en las prestaciones de este tipo de vehículos. El objetivo del TFG es explorar de forma experimental el comportamiento eléctrico de los supercondensadores al funcionar como baterías. Se diseñará a escala reducida el montaje de una batería hecha a partir de Supercondensadores, con el objeto de evaluar esta alternativa como una más dentro del mercado.



## RESUM

El principal problema dels cotxes elèctrics i híbrids en l'actualitat són els llargs temps de càrrega de les seues bateries elèctriques, ja que les bateries elèctriques actuals duren massa temps en carregar-se en comparació amb el poc temps que es tarda quan es reposta un cotxe de combustible convencional. Una de les possibles solucions a aquest problema és l'utilització de bateries mitjançant els supercondensadors. Aquest mètode presenta un gran avantatge respecte a les tecnologies actuals, ja que no presenta un deteriorament de la bateria durant la seua vida útil i a més a soles tarda a carregar-se uns quants minuts, per això l'utilització d'aquest tipus de bateries suposaria una millora molt notable a les prestacions d'aquest tipus de vehicles. L'objectiu d'aquest TFG és analitzar experimentalment el comportament elèctric dels supercondensadors al treballar com bateries. Es dissenyarà a escala reduïda el muntatge d'una bateria fabricada utilitzant supercondensadors, amb l'objectiu d'evaluar aquesta alternativa com una més dins del mercat dels cotxes elèctric i híbrids.



## ABSTRACT

Currently, the main problem of electric and hybrid cars is the long recharging times of their electric batteries, since current electric batteries take a long time to recharge compared to the few minutes it takes to refuel a conventional fuel car. One of the possible solutions to this problem is the use of batteries made from supercapacitors. This method has a great advantage over current technologies, since it does not present a deterioration of the battery during its useful life and furthermore does not take more than a few minutes to charge, thus its use would be a great improvement in the performance of this type of vehicles. The main goal of this TFG is to explore experimentally the electrical behavior of supercapacitors when working as batteries. The assembly of a battery made from supercapacitors will be designed on a reduced scale, in order to evaluate this alternative as one more in the market of electric and hybrid cars.



# ÍNDICE GENERAL

- I. Memoria Descriptiva
- II. Pliego de Condiciones
- III. Presupuesto
- IV. Planos





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny

# I. MEMORIA DESCRIPTIVA

**TRABAJO FIN DE GRADO**



## ÍNDICE MEMORIA DESCRIPTIVA

|   |    |
|---|----|
| 1. Justificación.....   | 1  |
| 2. Objetivo.....  | 1  |
| 3. Motivación .....   | 1  |
| 4. Estado del arte .....  | 2  |
| 4.1. Introducción .....   | 2  |
| 4.2. Tipos de baterías .....  | 4  |
| 4.3. Normativa aplicae a las baterías .....   | 9  |
| 4.4. Métodos de recarga .....   | 9  |
| 4.5. Supercondensadores.....  | 14 |
| 5. Materiales y métodos .....   | 16 |
| 5.1. Introducción al montaje .....  | 16 |
| 5.2. Función de la placa balanceadora .....   | 16 |
| 5.3. Equipos de medida.....   | 19 |
| 5.4. Circuito teórico .....   | 22 |
| 5.5. Medidas realizadas.....  | 23 |
| 5.6. Parámetros Característicos.....  | 26 |
| 6. Resultados .....   | 30 |
| 6.1. Resistencia de carga.....  | 30 |
| 6.2. El tiempo de carga .....   | 30 |
| 6.3. El tiempo de descarga .....  | 31 |
| 6.4. Potencia.....  | 32 |
| 6.5. Densidad energética.....   | 33 |
| 6.6. Capacidad.....   | 34 |
| 6.7. Descripción detallada de la solución adoptada .....  | 35 |
| 6.8. Justificación detallada de los elementos o componentes de la solución<br>adoptada (cálculo y dimensionamiento) ..... | 36 |
| 7. Conclusiones y Trabajo futuro. ....  | 39 |

## 1. Justificación

Los vehículos tienen una gran importancia en la sociedad de hoy en día ya que suponen un medio de transporte muy utilizado.[1] hoy en día hay más de mil millones de vehículos en el mundo y dentro de 20 años el número se duplicará, en gran parte como consecuencia del crecimiento explosivo de China e India. Gran parte de los vehículos utilizados son de combustión interna, lo que supone un impacto ambiental y perjudica el bienestar del ecosistema. Según John Heywood, profesor de ingeniería mecánica en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en una entrevista para del New York Times realizada por Mayersohn [1], en 2050 el 60% de los vehículos livianos todavía tendrán motores de combustión que a menudo trabajarán con sistemas híbridos y estarán equipados con un turbocompresor. Adicionalmente, Heywood estima que los vehículos eléctricos a baterías representarán el 15% de las ventas.

Actualmente en el mercado predominan los vehículos con motores de combustión interna. También coexisten junto a vehículos eléctricos con baterías e híbridos, pero estos últimos son mucho menos populares. A su vez, los de combustión interna funcionan mediante combustibles de diésel o gasolina.

El vehículo híbrido posee dos motores, uno de combustión y otro eléctrico a batería, que se recarga con el movimiento del vehículo, a diferencia del 100% eléctrico que lo hace a través de estaciones de carga, las cuales van en aumento en España, ya que este tipo de energías propone ser el futuro de los vehículos particulares. Las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros efectos ambientales han impulsado la tendencia en el desarrollo y uso de tecnologías de vehículos eléctricos e híbridos sobre los de combustión. La tendencia del uso de vehículos que incluyan motores eléctricos sobre el tradicional de combustión se ve reflejada en los estudios que se están realizando actualmente. Es en este contexto en el que el presente TFG busca explorar de forma teórica y experimental el comportamiento de baterías basadas en supercondensadores con la idea de que puedan ser empleadas en vehículos híbridos [1].

## 2. Objetivo

El objetivo de este TFG es estudiar experimentalmente una batería a escala reducida basada en supercondensadores, valorando la capacidad de carga ultrarrápida. Posteriormente se analizan los resultados con vistas a ser utilizada como batería de un coche eléctrico y se discute su viabilidad para los próximos años.

## 3. Motivación

La creciente contaminación del planeta es atribuida en parte a la emisión CO<sub>2</sub> producido por los motores de los coches de combustibles derivados del petróleo. Por ello se debe potenciar la adquisición de vehículos eléctricos. Uno de los grandes problemas de estos vehículos es el tiempo de carga de su batería. Es por ello muy relevante y necesario

explorar opciones de baterías de carga rápida. En este sentido, los supercondensadores, puede suponer una opción pues se pueden cargar de forma muy rápida.

Este TFG comienza analizando los tipos de cargadores que existen y las distintas baterías, tanto las convencionales más tradicionales y usadas actualmente por coches eléctricos e híbridos, hasta las más modernas, como es el caso de la batería de SC. El objetivo a largo plazo es encontrar la forma más eficiente y óptima de tener una batería que suministre la potencia máxima, la mayor autonomía posible y la carga en el menor tiempo posible.

Para el caso de la batería basada en supercondensadores, en este TFG se realizará un estudio teórico y experimental para conocer el potencial a pequeña escala de estas baterías y así apuntar soluciones de cara al principal problema que presentan los coches eléctricos que es la larga espera hasta que el coche se carga por completo.

Finalmente se estudiará y analizará el impacto que esto podría tener en el medio ambiente, en la sociedad y en el sector de los coches eléctricos y sus puntos de carga.

## 4. Estado del arte

### 4.1. Introducción

En este apartado se explican los tipos de baterías, los tipos de carga, el funcionamiento de los supercondensadores funcionando como baterías y la combinación de éstos con otras baterías eléctricas, así como el rendimiento de estos mediante las medidas y cálculos.

El avance de la tecnología en los sectores electrónicos y en la industria del automóvil ha favorecido la variedad de vehículos eléctricos e híbridos impulsados por baterías y motores de combustión. La evolución de la tecnología en las ramas automotriz, plásticos, química y eléctrica-electrónica han dado lugar a vehículos cada vez más complejos que exigen una mayor interacción entre las partes que lo componen. Asimismo, está suponiendo la transición de vehículos cuya base de energía es la gasolina o el diesel hacia otros más complejos tales como los eléctricos o híbridos como se ha comentado anteriormente. Los vehículos híbridos que existen en la actualidad se han creado en torno a diferentes diseños y son en general tres: vehículos eléctricos (VE), los cuales poseen un solo motor eléctrico, vehículos híbridos eléctricos (VHE) que utilizan tanto un motor de combustión interna y uno eléctrico, y vehículos híbridos eléctricos de tipo “Plug in” (VHPE). Este último también utiliza los dos motores que los VHE, pero se pueden enchufar a una fuente de energía para cargar las baterías [2]. La fabricación de vehículos híbridos requiere contar con capacidades en el diseño de sistemas eléctrico-electrónicos, particularmente en el diseño y desarrollo de sistemas de acumulación de energía. La evolución de las baterías eléctricas avanzadas es hoy uno de los factores que limita y guía el desarrollo de los vehículos eléctricos e híbridos en la industria del automóvil.

Cabe mencionar que el primer vehículo híbrido (denominado Prius) fue lanzado al mercado por Toyota en 1997 y que posteriormente Honda lanzó en 1999 su propio modelo (Insight). A partir de ese momento, no solamente Toyota y Honda comenzaron a diseñar

nuevos modelos de vehículos híbridos para el mercado, sino que también sus principales competidores (Nissan, Hyundai Motors, Ford, General Motors, Daimler Chrysler, Volkswagen y BMW) hicieron sus propios esfuerzos por sacar sus modelos de energías alternativas. A pesar de la gran competencia, Toyota sigue siendo líder en el mercado mundial. En el año 2019 produjo 22 vehículos híbridos que se vendieron en 80 países, al mismo tiempo que disminuyó los costos de los sistemas híbridos combinados en dos tercios, reduciendo el consumo de combustible un 25% y disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> de 114 g/km a tan solo 89 g/km para el caso de este modelo, lo cual es un gran avance. Pero todavía no es suficiente, ya que los coches de combustión continúan teniendo un mejor rendimiento [2].

Por otra parte, se encuentran una gran multitud de opciones de baterías para los vehículos eléctricos e híbridos, las cuales varían en función de sus características, como la cantidad de energía generada, el ciclo de vida y la capacidad de auto descarga. Hay por lo menos siete tipos diferentes de baterías, las cuales varían en función de sus principales componentes: plomo, níquel, hierro, zinc, vanadio, sodio y litio. También han surgido diversas combinaciones para un mayor rendimiento, como níquel con zinc, hierro, cadmio y metal hidruro, entre otras siendo éstas las combinaciones más comunes. Varios son los criterios que se han considerado para seleccionar el buen desempeño de las baterías, entre ellos se pueden citar los siguientes: 1) la energía específica contenida, definida como la cantidad de W·h de electricidad que la batería almacena por kilómetro de masa dado un índice de descarga (W·h/kg); 2) la potencia específica, definida como la cantidad de vatios por kilogramo que la batería ofrece dado un estado de carga previamente definido; y 3) el ciclo de vida, el cual se asocia a la cantidad de veces que puede ser recargada la batería. Otros aspectos a considerar en las baterías son el peso, el precio y los años de vida.

Es por ello que se va a proponer explorar las prestaciones de una batería basada en SC, ya que puede ofrecer ventajas con respecto a las baterías típicas mencionadas anteriormente. Al tratarse de una tecnología novedosa, se comenzará explicando cómo se va a llevar a cabo el estudio experimental basado en pruebas de carga y descarga. A partir de los resultados, se compararán los factores más relevantes de las baterías y posteriormente se llegará a la conclusión de qué batería es más adecuada dependiendo el tipo de vehículo. Además, se propondrán posibles combinaciones para una mayor optimización.

Este estudio se ubica geográficamente en la Península Ibérica, la cual de manera natural presenta gran potencial de obtención de energía solar, eólica e hidráulica, ayudando esto a que la energía necesaria para cargar las baterías provenga de fuentes renovables.

## 4.2. Tipos de baterías

La batería es un elemento básico en un coche eléctrico e híbrido. Tanto es así que se han desarrollado diferentes tipos, cada una con sus características y prestaciones. Los avances en este campo marcan el devenir de los vehículos enchufables. Cabe destacar que gran parte del proceso de desarrollo del coche eléctrico y las prestaciones atribuidas a éste giran en torno a la batería que contiene. A continuación, se describen los diferentes tipos de batería para coche eléctrico más usadas hasta el momento, y las que todavía están en fase de desarrollo experimental.

### 4.2.1. Baterías Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH)

Estas baterías utilizan un ánodo de oxihidróxido de níquel (NiOOH) y un cátodo de una aleación de hidruro metálico. De forma similar a las de níquel-cadmio, mejoran la capacidad de éstas y reducen el efecto memoria, además de ser menos agresivas con el medio ambiente. Como desventaja, requieren de un constante mantenimiento y muestran un deterioro frente a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecargas. Además, estas baterías generan demasiado calor y se recargan lentamente.

Entre las baterías de coches eléctricos, este tipo de batería es el más usado por los fabricantes de vehículos híbridos. Entre sus características, destacan el ciclo de vida limitado que tienen, entre los 300 y los 500 ciclos de carga y descarga y la densidad energética, que oscila entre 30 y 80 W·h/kg. También cabe destacar que requieren de un intenso mantenimiento.

Entre las ventajas de esta batería se encuentra la reducción del efecto memoria en relación con las baterías de níquel-cadmio, además de eliminar el cadmio que es un metal tóxico. Las desventajas de estas baterías son la poca fiabilidad que presentan, ya que no resisten bien frente a grandes descargas, tienen poca resistencia frente a altas temperaturas y menor resistencia a altas corrientes de carga.

Debido a estas características, como se ha dicho anteriormente, su uso se ha restringido a coches híbridos, pues tienen una longevidad muy alta, pero no son tan eficientes como otros tipos [3].

### 4.2.2. Baterías Ion-Litio (LiCoO<sub>2</sub>)

Este es el tipo de batería más utilizado, puesto que poseen un mínimo de peso y volumen. No solo son utilizadas en vehículos eléctricos e híbridos, sino también en otro tipo de dispositivos electrónicos, como ordenadores portátiles, teléfonos móviles, televisores y tablets.

Las baterías de Ion Litio apenas requieren de mantenimiento y son muy respetuosas con el medio ambiente. En coches eléctricos, cuando se apuesta por esta batería, se

renuncia a densidad energética a cambio de conseguir mayor durabilidad, mayor velocidad de carga y mayor cuidado sobre el medio ambiente.

El uso de nuevos materiales como en este caso el litio se han conseguido altas energías específicas, alta eficiencia, la eliminación del efecto memoria. En las baterías de Ion-Litio se encuentran ventajas como la ausencia de mantenimiento y facilidad a la hora de reciclar los desechos de Ion-litio que estas baterías producen. Estas baterías ofrecen el doble de densidad energética que las baterías níquel-cadmio con un tamaño considerablemente reducido, del orden de un tercio más pequeñas.

Entre sus características destacan el ciclo de vida que tiene, entre las 400 y 1200 cargas y descargas, así como una densidad energética de 100-250 W·h/Kg y como se ha comentado anteriormente, carecen de mantenimiento.

Entre las ventajas de este tipo de batería Ion-Litio encontramos la alta densidad energética, el reducido tamaño, el peso ligero debido a su reducido tamaño, la alta eficiencia y sin efecto memoria.

La principal desventaja es el alto coste de producción, aunque poco a poco esto se va reduciendo. Además, son frágiles, precisan de un circuito de seguridad y de un almacenaje muy cuidadoso tanto por necesitar un ambiente frío como porque deben estar parcialmente cargadas. También tienen el riesgo de explotar por sobrecalentamiento. Aun así, este tipo de baterías siguen siendo la mejor opción a la hora de montar un vehículo eléctrico. Puesto que, al ser una tecnología relativamente nueva, está en continuo desarrollo y permiten todavía un gran margen de mejora en cuanto a prestaciones y características [4].

#### 4.2.3. Ion-litio con cátodo de (LiFePO<sub>4</sub>)

Es un tipo de batería de la familia de ion-Litio con la diferencia de que no usa cobalto. Es por ello que es una batería más estable y con mayor seguridad ofreciendo una mayor estabilidad por su alta cantidad de hierro.

Entre sus características principales están, el ciclo de vida oscila en torno a las 2000 cargas y descargas y la densidad energética entre 90-100 Wh/Kg y no requiere mantenimiento.

Las ventajas más destacables de este tipo de baterías son que tienen el ciclo de vida mayor, son más seguras, más estables y tienen más potencia que las de ion-Litio.

Asimismo, sus principales desventajas son, la poca densidad energética y el alto coste de producción [5].

#### 4.2.4. Batería de polímero de litio (LiPo)

Esta es otra variación de las baterías de ión-Litio que cuenta con algunas mejoras respecto a las de ión-Litio como una densidad energética mayor y una potencia más elevada.

Las características principales de estas baterías son su ciclo de vida que se mantiene alrededor de las 1000 cargas y descargas, densidad energética de 300 Wh/Kg y no requieren de mantenimiento.

Las principales ventajas son su eficiencia, son muy ligeras y que carecen de efecto memoria

No obstante, las desventajas más considerables de este tipo de baterías son su alto coste de producción y el escaso ciclo de vida que tienen debido a sus componentes de litio y polímero, lo que hacen que no sean una opción muy extendida en la actualidad y queden en desuso.

#### 4.2.5. Batería de Plomo-Ácido (PB-ácido)

Este tipo de baterías son las más antiguas y también han sido las más usadas en la historia de los coches eléctricos convencionales. Permaneciendo inalteradas desde su invención en el siglo XIX. Suelen estar entre los 6 y 12 voltios y tienen una autonomía de 100km. Siendo utilizadas principalmente para las funciones de arranque del vehículo, iluminación o soporte eléctrico.

Las características principales de estas baterías son que el ciclo de vida está muy limitado entre 500 y los 800 ciclos de carga y descarga, densidad baja de 30-40 Wh/Kg y necesitan de un mantenimiento periódico.

Las principales ventajas de estas baterías son su bajo coste y la buena respuesta que tienen a los ambientes de frío.

Dentro de sus desventajas, destacan, su toxicidad debido al plomo que poseen, lo pesadas que son y capacidad de lenta recarga.

Hoy en día, no se emplean este tipo de baterías, debido a la baja densidad energética y su pobre eficiencia. Sus desventajas son las que no la hacen que sea la batería ideal para un coche eléctrico.

#### 4.2.6. Batería de Níquel-cadmio (NiCd).

Este tipo de batería es muy usada en el mundo del automóvil. Este tipo de batería utiliza un ánodo de oxihidróxido de níquel (NiOOH) y un cátodo de una aleación de hidruro metálico.

Las características principales son, su ciclo de vida entre 1500 y 2000 cargas y descargas, densidad de 40-60 Wh/Kg y la necesidad de revisiones y un mantenimiento específico.

Las principales ventajas de este tipo de baterías son la gran fiabilidad que tienen y la posibilidad de ser reciclada en su totalidad.

En cuanto a sus desventajas podemos destacar, el alto coste de adquisición, así como el efecto memoria que poseen, el envejecimiento prematuro debido al calor y aunque pueden ser totalmente recicladas, son unas baterías muy contaminantes durante su uso, lo que hace que el balance de sostenibilidad del medio ambiente sea negativo.

Aunque son bastante utilizadas en la industria del automóvil, el alto coste de sus elementos hace que no sea la solución escogida por los fabricantes, así pues, está destinada su utilización en aviones, helicópteros o vehículos militares. Debido a su efecto memoria, su capacidad se ve reducida con cada recarga. Por ello aun siendo una batería con grandes prestaciones debido a su coste y el desarrollo de nuevas tecnologías los fabricantes apuestan menos por ella.

#### 4.2.7. Baterías En fase de desarrollo.

Mejorar las baterías es el gran reto de todos los fabricantes que apuestan por la movilidad mediante vehículos eléctricos e híbridos. Son muchas las ideas y productos en desarrollo, pero en concreto se conocen distintas baterías en la que su estudio está más avanzado y proponen ser el futuro de movilidad en cuanto a baterías, debido a las características y prestaciones que presentan.

##### 4.2.7.1. Batería de Aluminio-aire.

Consideradas como “Pilas de combustible” puesto que se necesitan sustituir los electrodos de metal gastados por unos nuevos. Este tipo de batería, pueden multiplicar por 10 la capacidad de almacenamiento de las baterías de ión-Litio y tienen una densidad energética fuera del alcance de las demás. Este tipo de batería ha tenido muy mala aceptación comercial debido a sus problemas de recarga, puesto que no se pueden recargar, habría que sustituirla por otra nueva una vez agotada la reserva de energía, esto prometería hasta 1600 kms de autonomía, pero debido a estos inconvenientes, es una batería que todavía está por desarrollar y por lo tanto en fase experimental, pero que promete ser una de las punteras debido a sus ventajas.

##### 4.2.7.2. Batería Zinc-Aire.

Estas baterías presentan un desarrollo mayor con respecto a las de Aluminio-aire, Una de las principales características es que se necesita obtener oxígeno de la atmosfera para generar una corriente. Así pues, tienen un gran potencial energético, fiabilidad y son capaces de almacenar el triple de energía más que las baterías de Ion-Litio con mismo volumen y mitad de precio. Aunque todavía se encuentra en fase experimental, esto

convierte a la batería de Zinc-aire en una gran promesa de futuro en cuanto a baterías y posiciona el zinc como el combustible eléctrico del futuro. [6]

La Tabla 1 muestra las características de los diferentes tipos de baterías a modo de comparación [3-6].

**Tabla 1.** Tipos de baterías usadas en los automóviles eléctricos e híbridos en la actualidad

| <b>Tipo</b>   | <b>Características</b>  | <b>Ventajas</b>  | <b>Desventajas</b>  |
|---|---|--|---|
| <b>Niquel-Hidruro Metálico (NI-MH)</b>              | -Ciclo de vida 300-500 cargas y descargas.<br>-Densidad de 30-80 Wh/kg.<br>-Elevado mantenimiento.  | -Reducción del efecto memoria.<br>-Elimina el Cadmio (Tóxico).   | -Menor fiabilidad.<br>-Poca resistencia a altas temperaturas.<br>-Reducida resistencia a altas corrientes de carga. |
| <b>Ion-Litio (LiCoO<sub>2</sub>)</b>                | -Ciclo de vida 400-1200 cargas y descargas.<br>-Densidad de 100-250 Wh/kg.<br>-Sin necesidad de mantenimiento.                                      | -Alta densidad energética.<br>-Menor tamaño.<br>-Peso ligero.<br>-Alta eficiencia.<br>-Sin efecto memoria. | -Alto coste de producción.<br>-Fragilidad.<br>-Precisan de un circuito de seguridad.<br>-Almacenaje muy cuidadoso.  |
| <b>Ion-Litio con cátodo de (LiFePO<sub>4</sub>)</b> | -Ciclo de vida entorno a las 2000 cargas y descargas.<br>-Densidad de 90-100 Wh/kg.<br>-Sin mantenimiento.  | -Seguras<br>-Estables<br>-Muy potentes   | -Menor densidad energética<br>-Mayor coste  |
| <b>Polímero de Litio (LiPo)</b>                     | -Ciclo de vida por debajo de las 1000 cargas y descargas.<br>-Densidad energética de 300 Wh/kg.<br>-Sin mantenimiento.                              | -Ligeras<br>-Eficientes  | -Alto precio<br>-Ciclo de vida menor.   |
| <b>Plomo-Ácido (PB-Ácido)</b>                       | -Ciclo de vida entre 500 y 800 ciclos de carga y descarga.<br>-Densidad de 30-40 Wh/kg.<br>-Necesidad de mantenimiento periódico.                   | -Bajo coste<br>-Buena respuesta en frío  | -Son pesadas.<br>-Toxicidad del plomo.<br>-Capacidad de recarga lenta.  |
| <b>Niquel-Cadmio (Ni-Cd)</b>                        | -Ciclo de vida entre 1500 y 2000 ciclos de carga y descarga.<br>-Densidad de 40-60 Wh/kg.<br>-Necesidad de cuidado específico.                      | -Gran fiabilidad.<br>-Técnicas de reciclado total.   | -Alto coste de adquisición.<br>-Efecto memoria.<br>-Contaminante.<br>-Envejecimiento prematuro con el calor.        |
| <b>Aluminio-Aire</b>                                | -Fase experimental<br>-Se necesitan sustituir los electrodos gastados por nuevos<br>-Densidad energética mucho mayor que las baterías de Ion-Litio. | -Gran capacidad de almacenamiento.   | -Problemas en la recarga.   |
| <b>Zinc-Aire</b>                                    | -Fase experimental.<br>-Necesita obtener Oxígeno de la atmósfera para generar corriente   | -Gran potencial energético.<br>-Fiable.<br>-Gran capacidad de almacenar                                    | -----   |

### 4.3. Normativa aplicable a las baterías

Según la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 09 de PROTECCIONES dictamina que las baterías de condensadores estarán diseñadas para evitar que la avería de un elemento de lugar a su propagación a otros elementos de la batería. Además, se dispondrá de un relé de desequilibrio que provocará la desconexión de la batería a través del interruptor principal. En baterías con varios escalones se analizará el desequilibrio en cada uno de los escalones de forma independiente. Todas las baterías de condensadores estarán dotadas de dispositivos para detectar las sobreintensidades, las sobretensiones y los defectos a tierra, cuyos relés a su vez provocarán la desconexión del interruptor principal antes citado. Cada elemento condensador tendrá un sistema de descarga que reduzca la tensión entre bornes a un valor inferior o igual a 75 V desde su desconexión al cabo de 10 minutos para baterías de condensadores de tensión asignada superior a 1 kV y al cabo de 3 minutos para baterías de condensadores de tensión asignada inferior o igual a 1 kV.

### 4.4. Métodos de recarga

Los vehículos eléctricos e híbridos enchufables necesitan una fuente de alimentación externa para poder recargar sus baterías eléctricas. Además, la venta de vehículos en España ha aumentado significativamente en los últimos meses, por ello a la hora de comprar un coche eléctrico es fundamental tener en cuenta uno de los puntos más importantes como es la carga. Esta necesidad ha dado lugar a la creación de 5 modos de carga para coches eléctricos, diferenciados en características y prestaciones [7] [8].

- Actualmente se pueden diferenciar varios tipos de recarga dependiendo de estos diferentes factores: La potencia e intensidad demandada y, por lo tanto, el tiempo de recarga. Siendo uno de los factores más determinantes, cuando se plantea la posibilidad de adquirir un coche de estas características
- El conector físico que utilice el vehículo, es decir, el tipo de conexión que este tenga con la fuente de alimentación.

En las siguientes secciones se describen los diferentes tipos de recarga que se encuentran en función de los puntos comentados anteriormente.

#### 4.4.1. Modo de recarga Schuko

El modo de recarga que tenemos en primer lugar es el que se realiza en un enchufe clásico doméstico (tipo SCHUKO) (Figura 1) como el que se usa en los electrodomésticos cotidianos como puede ser una lavadora. El tiempo de carga aproximado son de 6-8

horas y este sistema es de los más sencillos puesto que de todos los sistemas de carga es el único que consiste en llevar el cable desde la clavija tipo “SHUCKO” de 230 V hasta el coche eléctrico. Normalmente este sistema de carga es más bien utilizado para pequeñas motos o bicis eléctricas u otro tipo de vehículos movidos por electricidad como patinetes o skates eléctricos. El problema de este tipo de carga es que la toma no incluye seguridad, es decir, hay una conexión directa entre el coche y la red, sin elementos de protección como intermediarios por lo que no se aconseja para otro tipo de coche o motos que tengan una gran potencia.



Figura 1: Enchufe del tipo SCHUKO

#### 4.4.2. Modo de recarga Lenta

La carga lenta al igual que el modo de recarga Schuko está pensado para una recarga doméstica, por ejemplo, un garaje particular. El tipo de recarga es monofásica y se realiza con un voltaje de 230 V a un máximo de 3.7 kW de potencia. Este método de recarga consiste en un enchufe de tipo SCHUKO conectado a un piloto de control para así mantener la seguridad ya que este piloto contiene sistemas de protección adecuado para este circuito. Del piloto de control saldrá un cable que se conecta al coche. Este método de carga nos interesa si tenemos un tipo de coche híbrido enchufable o sobretodo un vehículo eléctrico de pequeñas dimensiones.

Además del sistema de recarga has otras diferencias como el motor de propulsión o autonomía que debemos tener en cuenta a la hora de elegir un coche eléctrico o híbrido. Un ejemplo de un punto de recarga apto para el modo de recarga LugKey (ver Fig. 2).



Figura 2: Punto de recarga del tipo LugKey.

#### 4.4.3. Modo de recarga Semi-Rápida

Este modo de carga requiere de un dispositivo llamado SAVE o Wallbox, es decir un punto de recarga destinado exclusivamente a vehículos eléctricos. Este punto de recarga o Wallbox incorpora distintos sistemas de seguridad y de protección necesarios para la instalación eléctrica del vehículo. Según la legislación española (ITC-BT 52), este modo de recarga es obligatorio para los puntos de recarga de uso público. La Figura 3 muestra el punto de recarga UP V2C.



Figura 3: punto de recarga del tipo UP V2C

La conexión del vehículo eléctrico a la red de corriente alterna se realiza mediante equipamiento especializado y dedicado en exclusiva a la recarga del vehículo eléctrico. Este modo 3 nos interesa exclusivamente en el uso doméstico si tenemos un híbrido

enchufable con una autonomía alta o un coche 100% eléctrico. Este tipo de recarga permite una recarga monofásica o trifásica, es decir si nuestro vehículo lo soportara, podría recargar hasta 32 A a más de 7.2 kWh y a unos 400 V. Por lo que el tiempo necesario para cargar el vehículo completamente sería alrededor de 4 horas. Este modo permite realizar una carga de forma más rápida que con el modo de carga lenta sin necesidad de una instalación trifásica.

Para este modo necesitaremos un conector específico dependiendo de las características de nuestro vehículo necesitaremos el Tipo 1 (SAE J1772) o Tipo 2 (IEC 62196-2), según cual de adecue mejor (Figura 3). Progresivamente, este modo de carga está dejando atrás al modo lento ya que presenta avances muy significativos en cuanto a potencia y capacidad de batería, puesto que se llega a la conclusión de que el modo 3 es más seguro, más fiable y mucho más rápido. Además, este tipo de recarga se utiliza generalmente en supermercados, oficinas, empresas de flotas de vehículos o que utilizan vehículos de empresa para su desplazamiento, parkings, centros comerciales etc.

#### 4.4.4. Modo de recarga rápida

La recarga rápida se realiza en una estación especializada, fuera de la vivienda particular y permite recargar como mínimo un 70% de la batería en menos de 30 minutos. El conector usado en este tipo de cargas es el japonés CHAdeMO ( Fig. 4). Es decir, por el lado del vehículo tenemos un conector de Tipo 1 (SAE J1772 o Yazaki) o de Tipo 2 (IEC, Mennekes) y, a su vez, un conector CHAdeMo o CCS según nuestro tipo de vehículo. Por el lado del punto de recarga la extensión del cable deberá ser CHAdeMO. El modo 4 es considerado como ese modo a partir de los 50 kWh.

Además, una característica del modo de recarga 4 es que se realiza en corriente continua a diferencia de los métodos anteriores, que se realizan en corriente alterna. Los puntos de recarga del modo 4 son de hecho electrolinerías especializadas que no están diseñadas ni son recomendables para garajes particulares, ya que no sería viable debido al gran coste del equipo y de la instalación.



Figura 4: Punto de recarga del tipo CHAdeMO.

#### 4.4.5. Modo de recarga super rápida

Este tipo de carga demanda el doble de potencia que la carga rápida, lo que supone una importante reducción de tiempo de carga. En la actualidad lo utilizan vehículos como los Tesla. No obstante, si el vehículo eléctrico no está preparado para recibir este tipo de carga a diferencia de los vehículos Tesla, no es aconsejable usarlo para carga diaria, puesto que puede dañar la batería en caso de que se haga un uso habitual. Este tipo de recargas está pensado para estaciones de uso público exteriores como las electrolineras, donde se puede recargar el vehículo durante trayectos largos o situaciones concretas en la que no se disponga de mucho tiempo para su recarga.

#### 4.4.6. Modo de recarga Ultra rápida.

Este tipo de carga se encuentra en fase experimental. Está pensada para coches eléctricos con acumuladores del tipo supercondensadores, que son los que se van a desarrollar y estudiar en el presente trabajo. Este tipo de acumuladores están pensados para todo tipo de vehículos, como coches, camiones eléctricos, autobuses eléctricos. La potencia de carga se eleva hasta 130-150 kW, lo que significa una gran ventaja frente a los diferentes tipos de recarga presentes. Este tipo de carga se encuentra en desarrollo y se va a tratar de llegar a una simulación real en la que se calculen las características de este tipo de cargas. Pero que prometen ser la carga más rápida jamás fabricada.

## 4.5. Supercondensadores

Los supercondensadores, son elementos electrónicos con un funcionamiento muy similar al de un condensador a gran escala, sin embargo, el nombre de supercondensador quiere decir que su capacidad es mucho mayor a la de un condensador electrolítico, pudiéndose cargar y descargar en instantes muy breves de tiempo. Los supercondensadores más potentes del mercado llegan hasta los 5.000 F de capacidad. La ventaja principal entre de los supercondensadores es que son capaces de almacenar energía sin necesidad de reacciones químicas, lo que hace que la carga y descarga sea mucho más rápida que las baterías [4]. Al no tener reacciones químicas en su interior, también producirá que el desgaste sea mucho menor, por lo que el tiempo de duración de un supercondensador sea mucho mayor al de una batería, además de tener alrededor de 1 millón de ciclos de carga y descarga. Por lo tanto, se puede encontrar una gran mejora cuando se habla de prestaciones.

La diferencia entre los supercondensadores y los condensadores tradicionales que usamos en la electrónica es que los condensadores tradicionales, suelen tener una capacidad del orden microfaradios y manejar un voltaje de unos 300 V, en cambio un supercondensador con un tamaño similar tiene una capacidad del orden de faradios y el voltaje que soporta es mucho más reducido, entorno a los 1V – 5 V.

Sin embargo, teóricamente el SC tiene una capacidad de almacenar energía 1500 millones de veces superior a los condensadores tradicionales, pero no es posible aprovechar todo el potencial del supercondensador debido a que estos solo pueden manejar voltajes de 2,7 V, ya que si se usara un voltaje superior, el electrolito que está en el interior, podría descomponerse e incluso destruirse, es por eso que la capacidad real de almacenamiento de energía del supercondensador es 1500 veces superior a la de un condensador tradicional de un tamaño equivalente.

### 4.5.1. Estructura y funcionamiento

La estructura de los condensadores electroquímicos de doble capa (EDLC), se basan en la denominada doble capa eléctrica. Los electrodos están hechos de algún material poroso, como puede ser el carbón activado o el grafeno. Entre las dos capas eléctricas, se sitúa un separador que actúa como aislante y es una membrana que permite el paso de iones pero que impide el contacto de los dos electrodos (Figura 5). Entre ambos hay un electrolito, una solución de iones positivos y negativos. Cuando se somete a una diferencia de potencial es cuando se forma la doble capa. En ese momento los iones se trasladan hacia

los electrodos de signo de la carga contraria, quedándose en la superficie de este. Además, la primera capa de iones que se han atraído al electrodo puede atraer a otros iones de sentido opuesto debido a su carga. Mientras que la primera capa está unida al electrodo por las fuerzas electromagnéticas, la segunda se une a la primera por fuerzas mucho más débiles, pero en ningún momento de su funcionamiento se producen ningún tipo de reacciones químicas, solo se producen fenómenos electrostáticos en el interior del condensador.

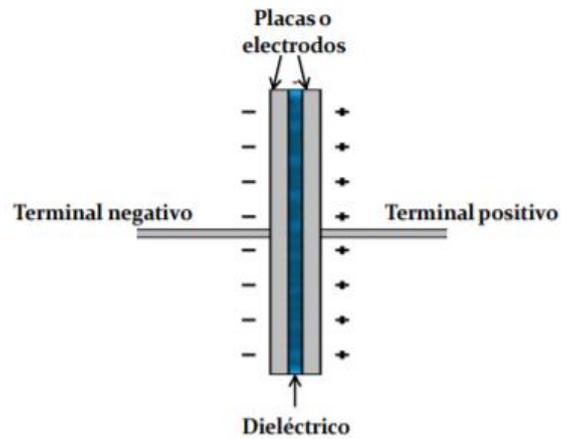


Figura 5: Esquema de un condensador electrostático

## 5. Materiales y métodos

### 5.1. Introducción al montaje

En el laboratorio, se ha montado y analizado de forma experimental la batería formada por supercondensadores (SC) (Figura 6), se obtendrán los parámetros más significativos, posteriormente los compararemos con los valores de las baterías tradicionales que se han comentado anteriormente.

Los Materiales que conforman el circuito son, una fila de seis condensadores de 500 F y 2.7 V de la marca SAMWHA (S. Corea), una placa balanceadora del mismo fabricante y dos resistencias de 100  $\Omega$  de 8 W.



Figura 6: Montaje de la placa balanceadora y los Supercondensadores

### 5.2. Función de la placa balanceadora

La función principal de la placa balanceadora o placa protectora es la de limitar el voltaje que va a pasar por cada uno de los condensadores a los que está conectado, de esta manera

se repartirá de manera equitativa en cada uno de los condensadores y no se producirán sobretensiones en ninguno de ellos. Esto es precisamente lo que podría llevar a destruirlos y dejar que funcionen correctamente. En el caso del circuito presentado, limitará la corriente a 2.7V en cada uno de los supercondensadores, de esta manera trabajarán de manera correcta y atenderán a las características especificaciones que marca el fabricante, como se puede observar en la figura 7, el circuito tiene una alimentación de 5V y el reparto del voltaje no es equitativo, por lo que podría llegar más de 2,7 V a alguno de los supercondensadores y esto podría llevar a la destrucción del mismo [13].

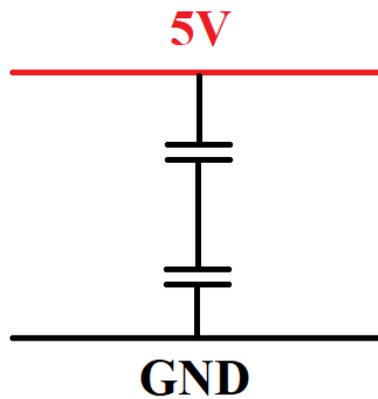


Figura 7: Circuito de dos condensadores puestos en serie

Para evitar que a un supercondensador llegue más corriente que a otro, se puede conectar una resistencia y un interruptor en paralelo a los supercondensadores. En el caso que el interruptor este cerrado, parte de la corriente fluirá por las resistencias y el voltaje permanecerá por debajo de los 2.7 V que soporta el supercondensador. (Figura 8)

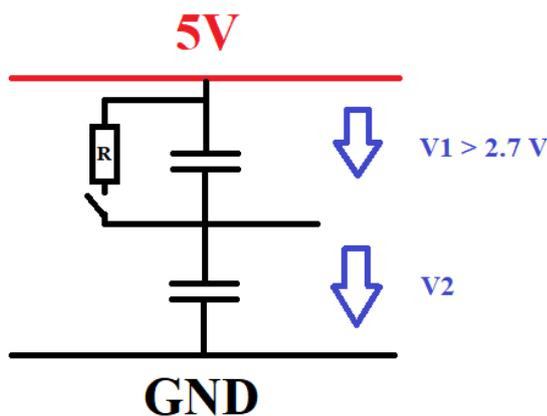


Figura 8: Circuito con resistencia e interruptor en paralelo

Este mismo proceso y por el mismo motivo, se podría poner un diodo Zener de 2.7 V (Figura 9).

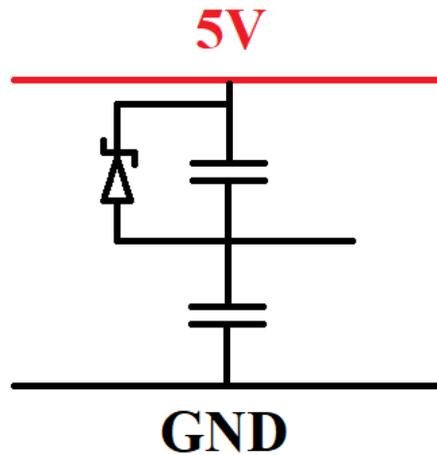


Figura 9: Circuito de diodo Zener en paralelo con supercondensador

Esta es una solución apropiada para muy pequeñas corrientes. Pero una mejor solución y más económica es reemplazar el diodo Zener por un Transistor. Esta parte, se comporta como un diodo Zener con un voltaje Zener variable.

Un transistor del tipo TL431 puede manejar hasta 150 mA por lo que se usa un TL431, pero agrega un transistor NPN grande (8A) para manejar corrientes más grandes que son con las que se trabaja [13], además para disipar el calor y funcione correctamente la placa protectora, cada circuito llevará incorporado 4 resistencias de 4.7  $\Omega$ . Por lo que el diagrama queda de la siguiente manera (Figura 10).

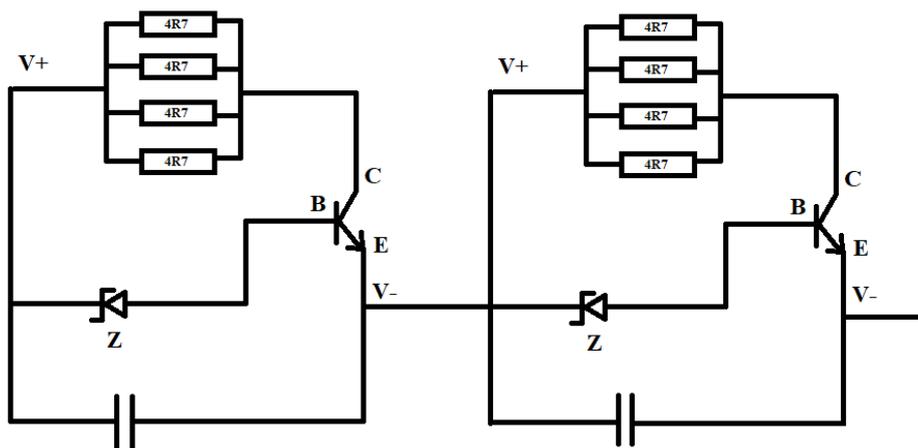


Figura 10: Circuito de funcionamiento de placa balanceadora

Esto sería la representación de la placa balanceadora de dos de los seis supercondensadores que se usan en el circuito experimental, por lo que el circuito total de la placa sería el presentado, pero con seis circuitos en serie idénticos.

### 5.3. Equipos de medida

Los equipos utilizados para realizar las pruebas experimentales y medidas van a ser los siguientes. Un osciloscopio para comprobar las medidas, una pinza amperimétrica, fuente de tensión para suministrar el voltaje e intensidad necesario, amperímetro y voltímetro para las medidas, una placa protoboard para mayor fijación del circuito y sondas de voltaje que ayudarán a medir con mayor precisión.

#### 5.3.1. Osciloscopio

osciloscopio es un instrumento que sirve para la medición en la electrónica, en este caso se ha utilizado el Osciloscopio marca TEKTRONIX (WashingtonEEUU) modelo TBS 10528-EDU (Fig 11). En la pantalla que lleva incorporada, representa una gráfica de la amplitud en el eje vertical y el tiempo en el eje horizontal. En el presente proyecto se usará para visualizar la amplitud de la señal de voltaje y así observar las variaciones de voltaje en la carga y descargar de la batería. Además, el osciloscopio está hecho para adaptarle una sonda que será la que nos ayude a representar gráficamente en la pantalla el voltaje. También conectaremos a este la pinza amperimétrica para hallar la Intensidad durante las cargas y descargas. El osciloscopio está dotado de diferentes recursos de medida para hacerla más exacta, así como cursores para hacer una medida precisa.



Figura 11: Osciloscopio marca TEKTRONIX (WashingtonEEUU) modelo TBS 10528-EDU

### 5.3.2. Pinza amperimétrica

El modelo de pinza amperimétrica que se va a usar es el E3N del fabricante CHAUVIN ARNOUX (Barcelona, España) (Figura 12). Se trata de una sonda de corriente tipo pinza para ser conectada a la entrada del osciloscopio, basada en una célula de efecto Hall, lo que permite la medida de corriente continua o alterna de baja frecuencia sin intervenir sobre la instalación sin la necesidad de abrir el circuito. El rango de medida es de 50 mA hasta 100 A pico. Además, dispone de 2 LED's para indicar la alimentación correcta de la pinza "ON" y el rebasamiento del calibre si lo hubiera "OL". También, lleva incorporada una rueda que permite realizar el cero para una mejor adaptación de la pinza en condiciones de uso y medida. Este modelo de pinza adapta a todos los equipos de medida que dispongan de una entrada tipo BNC y una impedancia de entre  $1M\Omega < 100$  pF.

En el caso de las medidas para este montaje, pondremos el conmutador en la posición 100 mV/A, ya que es la que mejor se adapta a las medidas que se van a realizar por la sensibilidad de medición. Para el calibre que se ha escogido se tienen las siguientes características proporcionadas por el fabricante

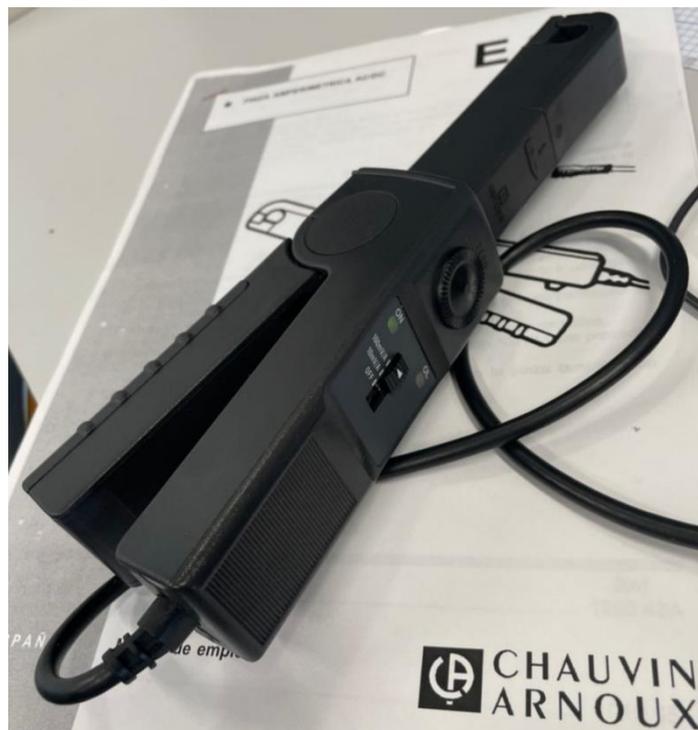


Figura 12: Pinza amperimétrica modelo E3N del fabricante CHAUVIN ARNOUX (Barcelona, España)

### 5.3.3. Fuente de tensión.

La fuente de alimentación que se utilizará será la Power Supply FAC-6628 de PROMAX (Valencia, España), con diferentes salidas de voltaje, una de ellas capaz de llegar a proporcionar 15 V y otra de 5 V (Figura 13). Estos parámetros son regulables mediante ruletas que incorpora en su panel, además en las pantallas que tiene, podemos ver la intensidad y corriente que estamos suministrando en todo momento. En este caso, se usará la salida regulable de 0-15 V. Además de incorporar una salida de corriente regulable de 0-1 A. Estos parámetros se irán regulando para ir calculando con los valores de corriente e intensidad que interese en cada caso.



Figura 13: Fuente de alimentación modelo Power Supply FAC-6628 de PROMAX (Valencia, España).

### 5.3.4. Amperímetro y voltímetro.

Instrumento para medir la intensidad (Figura 14), corriente y resistencia modelo MY64 de la marca KAYSE (Valencia, España). Incorpora un display en el que se pueden ver las medidas que estamos haciendo en todo momento. Además de esto, contiene una ruleta que es la que indica que parámetros está midiendo y a que escala, por lo que es capaz de medir los parámetros anteriormente comentados en diferentes ordenes de magnitud.

En el trabajo que vamos a realizar se utiliza para medir el voltaje, ya que la intensidad se medirá mediante la pinza amperimétrica, puesto que es un instrumento más preciso y muestra más facilidades a la hora de usarlo. El voltaje se debe de medir con el instrumento en paralelo, debido a que esta es la forma de medir el voltaje en todo momento que se requiera.



Figura 14: Voltímetro y Amperímetro modelo MY64 de la marca KAYSE (Valencia, España)

#### 5.4. Circuito teórico

Este será el circuito a montar del que vamos a determinar sus parámetros característicos y compararlos con el de otras baterías convencionales (Figura 15).

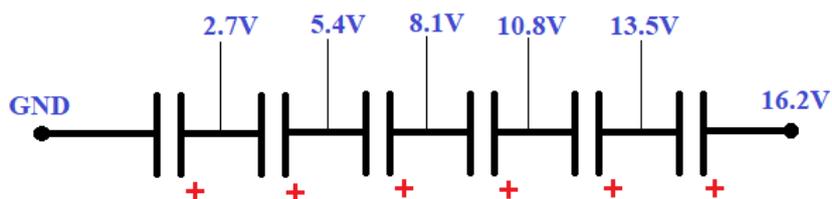


Figura 15: Circuito teórico con valores de Tensión en cada punto del montaje de la batería de supercondensadores

En el caso del circuito que se ha montado, la capacidad resultante es de 83.33 F y la tensión se mantendría como en el dibujo anterior a 16.2 V. Así pues, podemos decir que tenemos una capacidad de  $As = 83.33 F \cdot 16.2 V = 1350 \frac{A}{s}$ . Si lo midiéramos en horas, serían 0.375 A·h

Esta es una simplificación de lo que se puede llegar a montar. Así pues, si conectáramos 40 filas de 5 supercondensadores conectados en serie, se podría tener una capacidad resultante de 15 AH y para ello sería necesario 200 supercondensadores de 500 F. Pero

como hemos se ha dicho anteriormente, este es el montaje experimental y se hará a escala reducida.

Para realizar las mediciones de la batería formada por Supercondensadores, se debe soldar cada supercondensador a la placa balanceadora, aunque conectemos 5 supercondensadores en serie a 12 V, se deben de mantener en la zona segura de funcionamiento. Esto es debido a que el voltaje cuando se colocan en serie no se divide por igual entre los diferentes terminales de los seis supercondensadores y es por ello que usamos la placa protectora. Este proceso se podría hacer sin necesidad de una placa balanceadora, pero sería un proceso muy laborioso, ya que deberíamos de calcular en todo momento la corriente para que no superara el umbral.

Una vez montado el circuito con los 6 supercondensadores en serie, con ayuda de un multímetro, se procederá a medir el voltaje y la intensidad que llega a cada uno de los Supercondensadores, de esta manera, se asegurará que la placa balanceadora está trabajando como debe y que los supercondensadores están en su zona segura de funcionamiento.

## 5.5. Medidas realizadas

Primero de todo, se explicarán las medidas que se van a realizar, así como los instrumentos que intervienen en cada una de estas medidas. Seguidamente se obtendrán los cálculos teóricos de estas medidas, para su posterior interpretación y por último se obtendrán de manera experimental los resultados, comparando los valores teóricos y experimentales y comentando sus diferencias si las hubiese.

En primer lugar, se debe de definir a cuanta corriente e intensidad se quiere cargar, en este caso, se cargará al voltaje de 2,5 V-5 V-10 V-12 V. Puesto que la batería soporta un voltaje máximo de 16.2 V, estas corrientes ya nos dan unos resultados de cómo será el comportamiento y rendimiento de la batería. Las corrientes a las que se cargará la batería serán de 0.5 A y 1 A, cuanto mayor sea la intensidad de carga, menor será el tiempo de cargado completo, posteriormente, se razonará estas afirmaciones mediante los cálculos teóricos.

Para fijar la corriente e intensidad que se requiere para cada una de las medidas, primero se configurará la intensidad cortocircuitando la fuente de voltaje.

De esta manera, tendremos una resistencia nula, ya que es un cable lo que cortocircuita y nuestra fuente de alimentación es ideal. Ajustaremos la intensidad a 0.5 A y posteriormente a 1 A. Cuando se haya ajustado la Corriente que se desea, se dejará fija la

manivela de corriente y entonces, retiraremos el cable para que deje de cortocircuitar, en ese momento, ajustaremos medida de voltaje y se fijará en el que vayamos a hacer la medida en cada uno de los casos.

Una vez ajustados estos dos parámetros, voltaje e intensidad, se procederá a la carga de la batería de supercondensadores. Se conecta el terminal positivo y negativo de la fuente de alimentación a la batería (Figura 16).

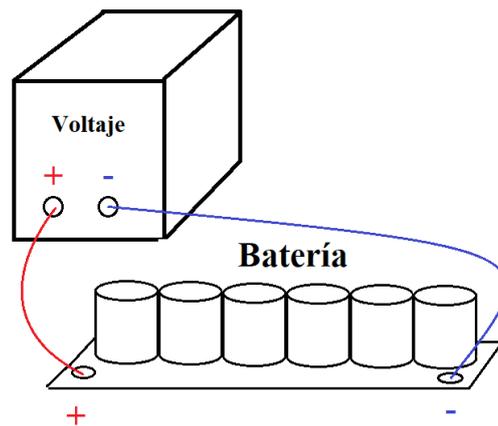


Figura 16: Montaje para la carga de la batería de supercondensadores

Para que no haya problemas de corriente ni de sobretensión con los supercondensadores, se tendrá en cuenta la siguiente tabla (tabla 2), prestando principal atención a los condensadores de 2.7 V y 500 F que son los utilizados para el presente proyecto. Esta tabla, se usará para tener en cuenta los valores límite de corriente e intensidades que nos determina el fabricante y no sobrepasarlos en ningún momento.

Tabla 2: Características y dimensiones de los supercondensadores empleados en el estudio

● CHARACTERISTIC LIST & DIMENSIONS

| Rated Voltage | Capacitance (F) | ESR, 1KHz (mΩ) | ESR, DC (mΩ) | LC (72hr) (mA) | Max Continuous Current(A) |         | Max Peak Current(A) | Specific Energy |        | Weight (g) | Volume (ml) | Dimension ØD×L(mm) |
|---------------|-----------------|----------------|--------------|----------------|---------------------------|---------|---------------------|-----------------|--------|------------|-------------|--------------------|
|               |                 |                |              |                | ΔT=15°C                   | ΔT=40°C |                     | (Wh/kg)         | (Wh/L) |            |             |                    |
| 2.5           | 100             | 15.0           | 35.0         | 0.25           | 6.0                       | 10.0    | 27.7                | 3.62            | 5.07   | 24         | 17          | 22 × 45            |
|               | 200             | 10.0           | 20.0         | 0.50           | 8.0                       | 130     | 50.0                | 4.13            | 5.46   | 42         | 32          | 30 × 45            |
|               | 300             | 6.0            | 15.0         | 0.75           | 9.5                       | 15.5    | 68.2                | 4.20            | 5.41   | 62         | 48          | 35 × 50            |
|               | 360             | 6.0            | 12.0         | 0.90           | 12.0                      | 19.5    | 84.6                | 4.17            | 5.41   | 75         | 58          | 35 × 60            |
|               | 400             | 6.0            | 10.0         | 1.00           | 13.0                      | 21.0    | 100.0               | 4.63            | 6.01   | 75         | 58          | 35 × 60            |
| 2.7           | 100             | 7.0            | 9.0          | 0.26           | 12.5                      | 20.0    | 71.1                | 4.82            | 5.92   | 21         | 17          | 22 × 45            |
|               | 120             | 7.0            | 9.0          | 0.32           | 12.5                      | 20.0    | 77.9                | 5.28            | 6.80   | 23         | 18          | 22 × 47            |
|               | 200             | 6.0            | 8.0          | 0.54           | 13.0                      | 21.0    | 103.8               | 5.33            | 6.37   | 38         | 32          | 30 × 45            |
|               | 300             | 3.5            | 5.0          | 0.81           | 16.0                      | 26.5    | 162.0               | 5.33            | 6.31   | 57         | 48          | 35 × 50            |
|               | 360             | 3.0            | 3.2          | 0.75           | 23.0                      | 38.0    | 225.8               | 5.13            | 6.31   | 71         | 58          | 35 × 60            |
|               | 400             | 3.0            | 3.2          | 0.83           | 23.0                      | 38.0    | 236.8               | 5.70            | 7.02   | 71         | 58          | 35 × 60            |
|               | 400             | 2.8            | 3.0          | 1.00           | 25.0                      | 40.0    | 245.5               | 5.06            | 6.48   | 80         | 63          | 35 × 65            |
|               | 450             | 2.8            | 3.0          | 1.00           | 25.0                      | 40.0    | 258.5               | 5.18            | 6.77   | 88         | 67          | 35 × 70            |
|               | 500             | 2.9            | 3.1          | 1.10           | 25.0                      | 40.0    | 264.7               | 5.69            | 7.52   | 89         | 67          | 35 × 70            |
|               | 600             | 3.0            | 3.2          | 1.30           | 25.0                      | 40.0    | 277.4               | 6.75            | 9.02   | 90         | 67          | 35 × 70            |
|               | 600             | 2.8            | 3.0          | 1.30           | 25.0                      | 40.0    | 289.3               | 6.08            | 7.43   | 100        | 82          | 35 × 85            |

Dependiendo de la intensidad y al voltaje que se cargue, tardará más o menos tiempo, con ayuda del Osciloscopio se irá dibujando la gráfica resultante de la carga. Cuando ya esté cargado, veremos la recta que dibuja el osciloscopio cuando la batería está totalmente cargada.

A continuación, se procederá a la fase de descarga. Desconectaremos la fuente de alimentación y conectaremos una resistencia de carga. Una vez se conecte al circuito la resistencia de carga, se conectará de nuevo el osciloscopio y veremos cómo se va descargando la batería a medida que le suministra corriente a la resistencia y esta se disipa en forma de calor. La velocidad de descarga no dependerá de la corriente a la que se haya cargado, únicamente de la resistencia de carga y de la carga de los Supercondensadores.

Esto sería el proceso de medidas que se lleva a cabo en este experimento, durante la realización de todo este montaje. Posteriormente, pasaremos a calcular los parámetros característicos. En primer lugar, se explicarán cuáles son y porque son relevantes en las características de la batería. Posteriormente, se calcularán de forma teórica según las características de nuestra batería y finalmente se harán medidas de manera experimental para comprobar lo que distan los cálculos teóricos de los experimentales.

## 5.6. Parámetros Característicos

A continuación, explicaremos y calcularemos cada uno de los parámetros característicos para cada una de las corrientes y voltaje. Se hará para una corriente de 0.5 A y 1 A y para voltajes variables.

### 5.6.1. Resistencia de carga

Es la resistencia que se coloca en el circuito de descarga para poder agotar la batería, en el momento que conectemos la batería a esta resistencia, comenzará la descarga y se realizarán las medidas. La resistencia de carga es elegida teniendo en cuenta los picos de corriente y de potencia que se pueden llegar a tener. Primero, teniendo en cuenta la ley de Ohm y posteriormente calculando el pico de potencia que se liberará el primer instante de la descarga de los condensadores que vendrá dado por la siguiente formula:

$$P = \frac{E^2}{R} \quad (1)$$

También aparte de estos parámetros se deberá tener en cuenta que de manera experimental con las resistencias que contamos en el laboratorio, no tienen más de 8 W de potencia, por lo que la cantidad de la potencia no podrá exceder este valor.

### 5.6.2. El tiempo de carga

Es el tiempo que tarda el circuito en cargarse totalmente (Figura 17). Mediante la fuente de alimentación, el osciloscopio y un cronómetro, se calculará este parámetro. Se colocará el circuito montado de supercondensadores y la placa balanceadora, la entrada de corriente y la carga y se alimenta a los diferentes voltajes que se han comentado anteriormente. El circuito de carga será el siguiente:

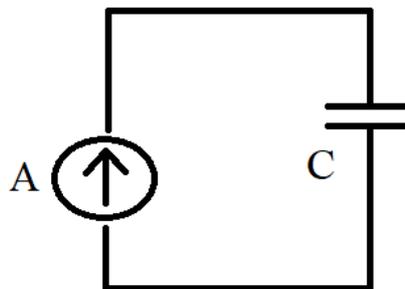


Figura 17: Circuito de carga de batería de supercondensadores

Al tratarse de una fuente ideal de tensión la que tenemos en el laboratorio, la resistencia interna es prácticamente cero, por lo que  $R=0$ .

Esto hace que la fuente se comporte como una fuente de corriente y por lo tanto tengamos la siguiente fórmula con la que se calculará el tiempo de carga.

$$I_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt} \quad (1)$$

$$\int I_c = C \cdot V_c(t) \quad (2)$$

$$V_c = \frac{1}{C} \cdot \int I_c dt \quad (3)$$

$$V_c = \frac{1}{C} \cdot I_c \cdot t + V_c(0) \quad (4)$$

$$t_{carga} = \frac{V_c \cdot C}{I_c} \quad (5)$$

De esta manera, el tiempo de carga vendrá dado por la ecuación anterior. Sustituyendo los valores se tenga de corriente constante, de intensidad y de carga en cada caso. Además de esta ecuación, tendremos la representación gráfica que vemos a continuación (Figura 14):

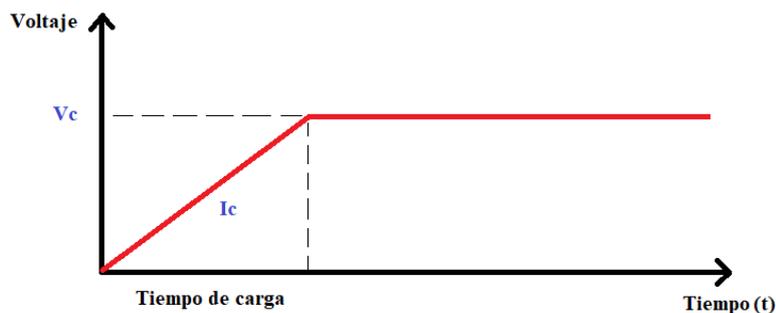


Figura 18: Gráfica de carga teórica de la batería de supercondensadores

### 5.6.3. El tiempo de descarga

Es el tiempo que tarda en descargarse la batería, mediante la resistencia que se ha comentado anteriormente, se realizará este cálculo. Para calcularlo, se colocará el circuito montado de SC, la placa balanceadora y los supercondensadores totalmente cargados.

Comprobaremos con el multímetro que la batería de SC está totalmente cargada y entonces, se conectará la resistencia de carga al circuito, para que este se descargue poco a poco (Figura 18), iniciaremos el cronómetro cuando se conecte la resistencia que va a ser alimentada y esperaremos hasta que la batería se descarga a la mitad del voltaje asignado y posteriormente en su totalidad, el circuito de descarga será el siguiente.

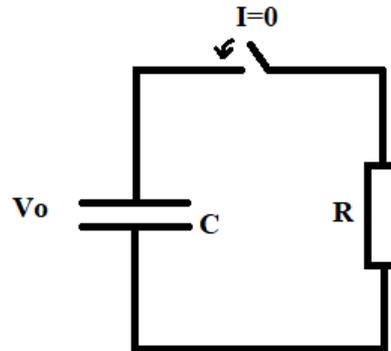


Figura 19: Circuito teórico de descarga de la batería de Supercondensadores

La manera teoría de calcular el tiempo de descarga, será mediante las siguientes formulas:

$$V_c(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1)$$

$$\tau = 5 \cdot R \cdot C \quad (2)$$

En el caso de que se quiera calcular la  $V_c$  se dividirá entre dos. De esta manera, el tiempo de descarga vendrá dado por la ecuación anterior. Sustituyendo los valores se tenga de corriente, de intensidad y de carga en cada caso. Además de esta ecuación, tendremos la representación gráfica que vemos a continuación (Figura 16).

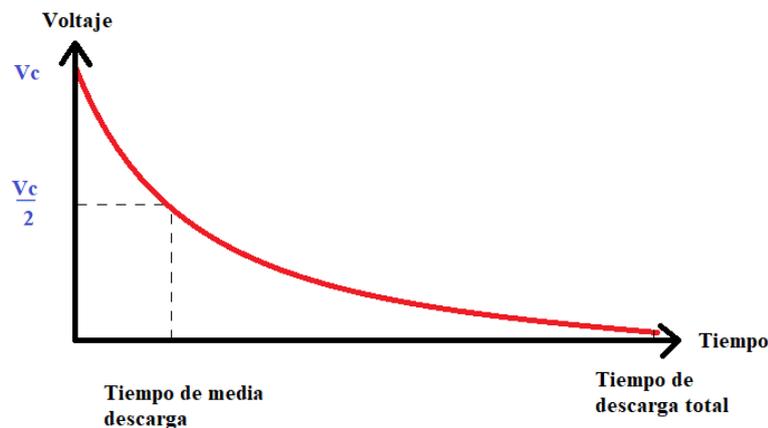


Figura 20: Gráfica de descarga de la batería de supercondensadores en relación voltaje y tiempo

#### 5.6.4. Potencia

Es la capacidad de proporcionar potencia en el proceso de descarga y se mide en W/kg, pero para ello, debemos de tener en cuenta en los diferentes valores de voltaje que se le aplicarán a la batería, así como saber la resistencia de carga, de esa manera, podremos calcular el pico de potencia que dará esta batería en el momento inicial que empiece a descargarse, después de este pico de potencia, a medida que vaya pasando el tiempo y se vaya descargando, la potencia irá bajando de acuerdo a la formula. Para calcularla experimentalmente, se medirá la Intensidad y el voltaje del circuito de batería de SC con ayuda de un multímetro. Se recogerán estos datos en el periodo de descargar y se apuntarán, para posteriormente hacer el cálculo de la Potencia que será

$$P = \frac{E^2}{R} \quad (1)$$

#### 5.6.5. Densidad energética

Es la energía que puede suministrar la batería expresada en Wh/kg. Para calcular este parámetro de la batería, primero deberemos calcular la potencia que tiene, ya anteriormente explicada. Seguidamente se deberá multiplicar, esta potencia por las horas que este tarda en descargarse, también recogido anteriormente, con todo esto se obtendrá la Densidad energética. En el caso de nuestra batería, la formula será la siguiente.

$$\text{Densidad energética} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right) = \text{Potencia} \cdot \text{horas} \quad (1)$$

#### 5.6.6. Capacidad

Se define como [9], Intensidad que puede suministrar en un tiempo determinado medida en Amperios/hora. Para realizar el cálculo de esta variable, con ayuda del multímetro en el laboratorio, se medirá el voltaje que es capaz de transmitir la batería en un tiempo determinado. En el caso del circuito que se ha montado, la capacidad resultante es de 83.33F y la tensión se mantendría como en el dibujo anterior a 16.2V. Así pues, la fórmula que se utiliza para calcular este parámetro es la siguiente:

$$As = C \cdot V \quad (1)$$

## 6. Resultados

### 6.1. Resistencia de carga

La resistencia de carga con la que trabajamos será con una resultante de  $50 \Omega$ , como consecuencia de poner 2 resistencias de  $100 \Omega$  en paralelo con una potencia máxima de 8W.

La tabla 4 muestra los valores de Potencia e intensidad de pico, que tendrá que soportar la resistencia en cada una de las pruebas que se harán con las diferentes corrientes y voltajes.

Tabla 3: resultados teóricos Resistencia de carga

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Intensidad pico (A) | Potencia pico (W) |
|-------------|----------------|---------------------|-------------------|
| 12.0        | 1.0            | 0.24                | 2.88              |
| 12.0        | 0.5            | 0.24                | 2.88              |
| 10.0        | 1.0            | 0.20                | 2.00              |
| 10.0        | 0.5            | 0.20                | 2.00              |
| 5.0         | 1.0            | 0.10                | 0.50              |
| 5.0         | 0.5            | 0.10                | 0.50              |
| 2.5         | 1.0            | 0.05                | 0.12              |
| 2.5         | 0.5            | 0.05                | 0.12              |

Como se puede observar, se asegura que las resistencias que se van a usar son compatibles con nuestro circuito, ya que soportan la corriente y la potencia pico que va a suministrar la batería en los puntos más altos. Los picos de intensidad no son muy altos y la potencia está por debajo de los 8 W, por lo que las resistencias que actúan como carga nos sirven para este montaje.

### 6.2. El tiempo de carga

De manera experimental y en el laboratorio, la forma de calcular este tiempo será, con el multímetro conectado en los terminales de nuestro circuito, veremos que el voltaje va subiendo y subiendo debido a la carga. Habrá un momento que deje de subir y se estanque, ya que la batería formada por Supercondensadores habrá llegado a su límite. En ese momento pararemos el cronómetro que anteriormente hemos iniciado y se apuntará la medida del tiempo que ha tardado en cargarse de manera completa para posteriores análisis de datos.

De manera teórica y mediante las fórmulas que se han explicado anteriormente, se puede calcular el tiempo de carga para cada uno de los valores de intensidad y de corriente que vamos a medir posteriormente.

Tabla 4: Resultados teóricos Tiempo de carga

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Tiempo de carga teórico (minutos) |
|-------------|----------------|-----------------------------------|
| 12.0        | 1.0            | 16.66                             |
| 12.0        | 0.5            | 33.33                             |
| 10.0        | 1.0            | 13.88                             |
| 10.0        | 0.5            | 27.77                             |
| 5.0         | 1.0            | 6.94                              |
| 5.0         | 0.5            | 13.88                             |
| 2.5         | 1.0            | 3.47                              |
| 2.5         | 0.5            | 6.94                              |

Después de hacer las medidas experimentales, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 5: Resultados experimentales Tiempo de carga

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Tiempo de carga experimental (minutos) |
|-------------|----------------|--|
| 12.0        | 1.0            | 13.20                                  |
| 12.0        | 0.5            | 28.90                                  |
| 10.0        | 1.0            | 10.25                                  |
| 10.0        | 0.5            | 21.16                                  |
| 5.0         | 1.0            | 4.40                                   |
| 5.0         | 0.5            | 9.23                                   |
| 2.5         | 1.0            | 2.14                                   |
| 2.5         | 0.5            | 4.30                                   |

### 6.3. El tiempo de descarga

De manera experimental y en el laboratorio, la forma de calcular este tiempo será, Con el multímetro conectado en los terminales de nuestro circuito, veremos que el voltaje va bajando debido a la carga. Habrá un momento que llegue a cero, ya que la batería se ha descargado totalmente. En ese momento se apuntará el tiempo que ha tardado en descargar, para posteriores cálculos y análisis de datos.

De manera teórica y mediante las fórmulas que se han explicado anteriormente, se puede calcular el tiempo de carga para cada uno de los valores de intensidad y de corriente que vamos a medir posteriormente.

Tabla 6: Resultados teóricos tiempo de descarga

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Tiempo de descarga teórico total (horas) | Tiempo de descarga a la mitad teórico (minutos) |
|-------------|----------------|--|---|
| 12.0        | 1.0            | 5.78                                     | 39.27   |
| 12.0        | 0.5            | 5.78                                     | 39.27   |
| 10.0        | 1.0            | 5.78                                     | 39.27   |
| 10.0        | 0.5            | 5.78                                     | 39.27   |
| 5.0         | 1.0            | 5.78                                     | 39.27   |
| 5.0         | 0.5            | 5.78                                     | 39.27   |
| 2.5         | 1.0            | 5.78                                     | 39.27   |
| 2.5         | 0.5            | 5.78                                     | 39.27   |

Como era de esperar, al tener en la fórmula de tiempo de descarga únicamente como variables la resistencia y la carga de los condensadores, para todas las medidas tendremos el mismo tiempo de descarga, ya que este no depende ni de la intensidad ni del voltaje. Después de hacer las medidas experimentales, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 7: Resultados experimentales Tiempo de descarga

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Tiempo de descarga total experimental (horas) | Tiempo de descarga a la mitad experimental (minutos) |
|-------------|----------------|---|--|
| 12.0        | 1.0            | 5.47  | 40.34  |
| 12.0        | 0.5            | 5.47  | 40.34  |
| 10.0        | 1.0            | 5.36  | 37.29  |
| 10.0        | 0.5            | 5.36  | 37.29  |
| 5.0         | 1.0            | 5.40  | 40.24  |
| 5.0         | 0.5            | 5.40  | 40.24  |
| 2.5         | 1.0            | 5.78  | 42.23  |
| 2.5         | 0.5            | 5.78  | 42.23  |

#### 6.4. Potencia

De manera teórica y mediante las fórmulas que se han explicado anteriormente, se puede calcular la potencia pico para cada uno de los valores de intensidad y de corriente que vamos a medir posteriormente, teniendo en cuenta que la resistencia de carga tiene un valor resultante de 50 ohm y la potencia máxima que resistirá será de 8W.

Tabla 8: Resultados teóricos Potencia

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Potencia Pico (W) |
|-------------|----------------|-------------------|
| 12.0        | 1.0            | 2.88              |
| 12.0        | 0.5            | 2.88              |
| 10.0        | 1.0            | 2.00              |
| 10.0        | 0.5            | 2.00              |
| 5.0         | 1.0            | 0.50              |
| 5.0         | 0.5            | 0.50              |
| 2.5         | 1.0            | 0.12              |
| 2.5         | 0.5            | 0.12              |

Después de hacer las medidas experimentales, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 9: Resultados experimentales Potencia

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Potencia Pico (W) |
|-------------|----------------|-------------------|
| 12.0        | 1.0            | 2.83              |
| 12.0        | 0.5            | 2.83              |
| 10.0        | 1.0            | 2.04              |
| 10.0        | 0.5            | 2.04              |
| 5.0         | 1.0            | 0.54              |
| 5.0         | 0.5            | 0.54              |
| 2.5         | 1.0            | 0.12              |
| 2.5         | 0.5            | 0.12              |

## 6.5. Densidad energética

De manera teórica y mediante las formula expuesta, se puede calcular la densidad energética para cada uno de los valores de intensidad y de corriente.

Tabla 10: Resultados teóricos Densidad Energética

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Potencia (W) | Tiempo descarga (horas) | Densidad Energética teórica ( $\frac{Wh}{kg}$ ) |
|-------------|----------------|--------------|-------------------------|---|
| 12.0        | 1.0            | 2.88         | 5.78                    | 16.64   |
| 12.0        | 0.5            | 2.88         | 5.78                    | 16.64   |
| 10.0        | 1.0            | 2.00         | 5.78                    | 11.56   |
| 10.0        | 0.5            | 2.00         | 5.78                    | 11.56   |
| 5.0         | 1.0            | 0.50         | 5.78                    | 2.89  |
| 5.0         | 0.5            | 0.50         | 5.78                    | 2.89  |
| 2.5         | 1.0            | 0.12         | 5.78                    | 0.72  |
| 2.5         | 0.5            | 0.12         | 5.78                    | 0.72  |

Después de hacer las medidas experimentales, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 11: resultados experimentales Densidad Energética

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Potencia (W) | Tiempo descarga (horas) | Densidad Energética experimental ( $\frac{Wh}{kg}$ ) |
|-------------|----------------|--------------|-------------------------|--|
| 12.0        | 1.0            | 2.83         | 5.47                    | 15.5   |
| 12.0        | 0.5            | 2.83         | 5.47                    | 15.5   |
| 10.0        | 1.0            | 2.04         | 5.36                    | 10.93  |
| 10.0        | 0.5            | 2.04         | 5.36                    | 10.93  |
| 5.0         | 1.0            | 0.54         | 5.40                    | 2.90   |
| 5.0         | 0.5            | 0.54         | 5.40                    | 2.90   |
| 2.5         | 1.0            | 0.12         | 5.78                    | 0.69   |
| 2.5         | 0.5            | 0.12         | 5.78                    | 0.69   |

## 6.6. Capacidad

En el punto de máxima carga y máximo voltaje, se puede decir que tenemos una capacidad resultante de

$$As = 83.33F \cdot 16.2V = 1350 \frac{Amp}{seg}. \quad (1)$$

Si lo midiéramos en horas, serían 0.375 A/horas. Esta es la capacidad máxima que es capaz de almacenar la batería. No obstante, para cada voltaje, tendrá una diferente:

Tabla 12: Resultados teóricos Capacidad

| Voltaje (V) | Intensidad (A) | Capacidad (A/horas) |
|-------------|----------------|---------------------|
| 12.0        | 1.0            | 0.278               |
| 12.0        | 0.5            | 0.278               |
| 10.0        | 1.0            | 0.231               |
| 10.0        | 0.5            | 0.231               |
| 5.0         | 1.0            | 0.116               |
| 5.0         | 0.5            | 0.116               |
| 2.5         | 1.0            | 0.060               |
| 2.5         | 0.5            | 0.060               |

## 6.7. Descripción detallada de la solución adoptada

Como se ha podido observar en los resultados experimentales. No difieren significativamente de los teóricos, teniendo en cuenta que experimentalmente se obtienen pequeños errores en las medidas, puesto que no son fuentes ideales ni equipos que funcionan de manera ideal. No obstante, los resultados que nos muestra la batería hecha con supercondensadores es que, es capaz de entregar grandes picos de potencia y voltaje en un instante muy pequeño de tiempo, esto en cambio es algo muy costoso para las baterías convencionales como puede ser la de iones de Litio (Li-ion), puesto que, al producirse reacciones químicas en su interior, no son capaces de proporcionar tanta cantidad de energía en un lapso tan limitado de tiempo. Y si son capaces de proporcionarlo, la batería se ve dañada. La batería de Supercondensadores es muy buena al principio de la descarga, cuando es capaz de llevar mucha energía en poco tiempo.

El problema principal que se ha visto en la batería hecha a partir de Supercondensadores es que, aunque son capaces de proporcionar picos de energía en lapsos pequeños de tiempo sin sufrir desgaste, su voltaje cae significativamente cuando realiza estas acciones, quedando casi sin valor de carga o quedando con un valor de carga muy pequeño como para alimentar un dispositivo. En el estudio de sus magnitudes, se observa que la batería hecha con supercondensadores es muy interesante en las primeras fases de la descarga, en cambio en las siguientes no es tan buena como se ha comentado anteriormente. En cambio, las baterías convencionales, son capaces de tener una mejor respuesta al cabo de un rato, pero no son tan buenas en la respuesta más inmediata, siendo los dos tipos de baterías, mejor o peor, según en la fase de descarga que se encuentre.

Por ello, la solución propuesta para mejorar la batería de coche eléctricos e híbridos y que tuviera un menor tiempo de carga sería la combinación de los dos métodos. En la primera fase de la demanda de energía y en los picos de potencia y voltaje demandados, entraría en juego la batería hecha con supercondensadores, que ni se daña y aguanta a la perfección esta demanda. Por otro lado, para la fase en la que el motor del coche demanda una cantidad fija de electricidad sin sobresaltos y de manera paulatina, en ese momento, trabajaría la batería eléctrica convencional. De esta forma, se implementaría la batería de condensadores a los coches eléctricos y las prestaciones en estos mejoraría significativamente, porque no haría falta que las baterías convencionales fueran tan grandes y en cambio el tiempo de carga por esto y por el poco tiempo que cuestan de cargar los Supercondensadores, sería muy significativo.

## 6.8. Justificación detallada de los elementos o componentes de la solución adoptada (cálculo y dimensionamiento)

Al tratarse de una batería de coche eléctrico, el voltaje de la batería debe estar comprendido entre los 12.5 y 12.9 Voltios, no obstante, estos valores se conseguirán con 5 Supercondensadores de 2.7 puestos en serie los que darán un voltaje resultante de 13.5 V. Pero no es recomendable que el valor máximo de voltaje sea tan próximo al que se requiere, ya que se necesitan unos voltios adicionales para asegurar la cantidad de voltaje que hay en la batería, por lo que los Supercondensadores que se pondrán en serie serán 6. De esta manera se tendrá un voltaje resultante de 16.2 V. Esto es debido a que la mayoría de los automóviles tienen algunos componentes electrónicos que merman la capacidad de la batería como puede ser, la alarma del coche, las luces. Por lo que, si se dejará alguno de estos componentes encendidos, podrían gastar mínimamente la batería y en consecuencia no ser capaces de arrancar el coche. Es por ello que se ha decidido poner 6 Supercondensadores en serie en lugar de 5.

Hay características de las baterías de supercondensadores que son claramente superiores a las baterías convencionales, como son los ciclos de carga casi infinitos de los Supercondensadores, pues al producirse reacciones físicas en su interior, el desgaste de estos es casi imperceptible. Otras como la necesidad de muy poco mantenimiento es un factor importante. Además, la densidad energética es uno de los inconvenientes de este circuito, pero es un parámetro que podemos aumentar de manera significativa si colocamos más filas de Supercondensadores en paralelo y por consiguiente, aumentaremos la densidad energética y también su capacidad.

Actualmente, las baterías con mayor densidad energética son las baterías de Polímero de Litio (LiPo), contienen alrededor de 300 Wh/kg. Por lo que para que la batería de supercondensadores pase a ser una de las mejores en cuanto a estas prestaciones, se necesita superar este valor y para marcar una diferencia significativa, se diseñará la batería para que contenga al alrededor de 350 Wh/kg. Esto, sumado a la eficiencia de los Supercondensadores, su durabilidad y su rápido tiempo de carga y descarga, lo convertirá en una de las mejores opciones del mercado.

Para conseguir estos valores de densidad energética, se tendrán que colocar 18 filas de 6 Supercondensadores en serie, de esta manera tendremos la densidad energética que se pretende, se realizarán los siguientes cálculos para justificar las filas que se han puesto.

La densidad energética tiene esta fórmula:

$$\text{Densidad energética} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right) = \text{Potencia} \cdot \text{horas} \quad (1)$$

- Para calcular la potencia máxima se utilizará la siguiente fórmula anteriormente usada.

$$P = \frac{E^2}{R} \quad (1)$$

- Para calcular las horas de duración se aplicará la siguiente fórmula anteriormente usada.

$$V_c(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad (1)$$

$$\tau = 5 \cdot R \cdot C \quad (2)$$

- Horas pasadas a segundos

$$\tau = \frac{5 \cdot R \cdot C}{3600} \quad (1)$$

- Por lo tanto, la fórmula de la densidad energética después se sustituir los valores con las fórmulas anteriormente expuestas, quedara de esta forma:

$$\text{Densidad energética} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right) = \frac{E^2}{R} \cdot \frac{5 \cdot R \cdot C}{3600} \quad (1)$$

$$\text{Densidad energética} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right) = E^2 \cdot \frac{5 \cdot C}{3600} \quad (2)$$

- Sustituyendo valores numéricos:

$$350 = 12^2 \cdot \frac{5 \cdot C}{3600} \quad (1)$$

- Por lo que la capacidad resultante es de

$$C = 1750 \text{ F} \quad (1)$$

- Esto traducido a módulos o filas de 6 supercondensadores en paralelo tendrá el número resultante.

$$\text{Filas Supercondensadores} = \frac{1750}{83.33} = 18 \quad (1)$$

Con las pruebas y los cálculos que se han realizado con anterioridad a escala reducida. Se ha obtenido que la batería hecha a partir de supercondensadores es muy buena en los puntos que se demanda picos de energía, ya que es capaz de suministrarlos al instante y además de no presentar degradación en estos instantes de gran demanda [10].

No obstante, hay que comentar que son buenas en la entrega, pero malas cuando la demanda de energía es constante, por ejemplo, cuando un coche se mueve a velocidad constante y la energía que requiere se mantiene en el tiempo con el mismo valor. Esto no ocurre con las baterías convencionales, puesto que, al producirse reacciones químicas en su interior, la demanda de energía a voltajes no muy altos es duradera y constante, en cambio, los picos de energía no es capaz de suministrarlos con tanta rapidez debido al interior químico, así como la degradación que se produce después de estos intervalos de gran demanda de energía. Por lo tanto, se puede decir que las baterías convencionales y en concreto las de litio que son las más usadas en el mercado, son malas en la entrega instantánea ya que se degradan como se ha explicado anteriormente. Por ello se ha llegado a la conclusión de que la solución más recomendable va a ser la fusión de los dos métodos. La batería de Supercondensadores y las baterías convencionales (baterías de litio).

### 6.8.1. Sistemas combinados.

La combinación de batería convencional de litio y supercondensadores puede hacer que un coche eléctrico tenga una autonomía aceptable además de una gran aceleración. Se ha elegido la batería de litio, porque es la más usada en el panorama automovilístico y es la que mejor resultados da en el día a día. Además, el uso de supercondensadores hará que las baterías de litio se conserven mejor y por lo tanto que duren más, puesto que estas no serán las encargadas de entregar los picos de potencia, evitando de esta manera el sobrecalentamiento y una degradación prematura [11].

Por otra parte, también se podrían hacer unas mejoras en la frenada regenerativa. Recuperando gran cantidad de energía que se ha gastado para volver a cargar, esto hará que el coche tenga mayor autonomía y eficiencia. También se reducirá el tamaño de las baterías de Litio puesto que ya no necesitan entregar grandes picos de energía, con entregar la energía de manera constante, ya sería suficiente, puesto que de los picos de energía encargaran los supercondensadores. Por lo que esto contribuirá a reducir el tamaño de la batería de litio, el peso y también su coste, al mismo tiempo que la entrega de energía en los picos de demanda será prácticamente inmediata.

La combinación de estos dos métodos nos ofrecerá lo bueno de los dos métodos de batería, proporcionará una carga rápida, una vida de la batería que durará toda la vida del coche, lo que va a permitir ahorrar en mantenimiento, dinero y ser más beneficiosas para el medio ambiente [12].

## 7. Conclusiones y Trabajo futuro.

Como se ha podido comprobar, cada una de las baterías son buenas en un proceso de descarga determinado. Las baterías con supercondensadores son muy buenas en la demanda de mucha potencia en corto instantes de tiempo y en cambio, las baterías de Litio que son las más comunes en el mercado son buenas a demanda de potencia constante. Por lo que se ha determinado que lo óptimo para un coche eléctrico e híbrido sería el de incorporar un sistema híbrido, en el que se use la batería de supercondensadores y la de Litio, cada una desempeñando la función para la que más beneficiosas resultan.

### REFERENCIAS:

1. [file:///C:/Users/carlo.LAPTOP-QNIG41B1/Downloads/4203-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8414-1-10-20200127%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/carlo.LAPTOP-QNIG41B1/Downloads/4203-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8414-1-10-20200127%20(1).pdf)  
Fecha de consulta (25/04/2021)
2. Urbina 2010
3. <https://emovili.com/blog/2018/12/17/las-baterias-de-los-coches-electricos/> Fecha de consulta (27/04/2021)
4. <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/almacenamiento-de-energia/almacenamiento-de-energia/energia/supercondensadores-que-son-aplicaciones/>  
Fecha de consulta (20/05/2021)
5. <https://movilidadelectrica.com/tipos-de-baterias-para-coches-electricos-presente-y-futuro/>  
Fecha de consulta (24/05/2021)
6. <https://www.lovesharing.com/tipos-de-bateria-de-un-coche-electrico/>  
Fecha de consulta (25/05/2021)
7. <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>  
Fecha de consulta (27/05/2021)
8. <https://www.creara.es/post/tipos-recarga-coche-electrico>  
Fecha de consulta (29/05/2021)
9. <https://www.lugenergy.com/modos-de-recarga-vehiculos-electricos/>  
Fecha de consulta (02/06/2021)

10. [https://tempelgrouplatam.com/como-calculat-la-capacidad-de-las-baterias/#:~:text=Ya%20que%20vatio%20%3D%20amperio%20\\*%20vatio,12%20%3D%20122.5%20amperio%20hora.](https://tempelgrouplatam.com/como-calculat-la-capacidad-de-las-baterias/#:~:text=Ya%20que%20vatio%20%3D%20amperio%20*%20vatio,12%20%3D%20122.5%20amperio%20hora.)  
Fecha de consulta (03/06/2021)
11. <https://forocheselectricos.com/2016/12/sistemas-hibridos-de-supercondensadores-y-baterias-como-afectaran-la-movilidad-electrica-y-almacenamiento.html>  
Fecha de consulta (04/06/2021)
12. <https://forocheselectricos.com/2014/07/los-supercondensadores-acabaran-con-las-baterias-de-ion-litio.html>  
Fecha de consulta (04/06/2021)
13. <https://www.sensorsiot.org/simple-and-cheap-way-to-protect-your-super-caps-video-139/>  
Fecha de consulta (05/06/2021)



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny

## II. PLIEGO DE CONDICIONES

**TRABAJO FIN DE GRADO**



# ÍNDICE

|        |   |   |
|--------|---|---|
| 1.     | Definición y objeto del pliego.....           | 1 |
| 2.     | Condiciones y normas de carácter general..... | 1 |
| 2.1.   | Vigencia.....                                 | 1 |
| 3.2.2. | Placa balanceadora: .....                     | 3 |
| 3.2.3. | Osciloscopio: .....                           | 3 |
| 3.2.4. | Pinza amperimétrica: .....                    | 3 |
| 3.2.5. | Fuente de tensión:.....                       | 3 |
| 3.2.6. | Amperímetro y voltímetro.....                 | 3 |
| 3.2.7. | Placa Protoboard.....                         | 3 |
| 3.2.8. | Sondas de voltaje.....                        | 3 |
| 3.3.   | Control de calidad .....                      | 4 |
| 3.3.1. | Supercondensadores: .....                     | 4 |
| 3.3.2. | Placa balanceadora/Protectora:.....           | 4 |
| 3.3.3. | Osciloscopio: .....                           | 4 |
| 3.3.4. | Pinza amperimétrica: .....                    | 4 |
| 3.3.5. | Fuente de tensión:.....                       | 4 |
| 3.3.6. | Amperímetro y voltímetro.....                 | 4 |
| 3.3.7. | Placa Protoboard.....                         | 5 |
| 3.3.8. | Sondas de voltaje.....                        | 5 |
| 4.     | Condiciones de la ejecución.....              | 5 |
| 4.1.   | Descripción .....                             | 5 |
| 4.2.   | Control de calidad.....                       | 5 |
| 5.     | Pruebas y ajustes finales o de servicio ..... | 5 |

## 1. Definición y objeto del pliego

Condiciones técnicas mínimas que debe cumplir la instalación de baterías hecha con Supercondensadores:

El montaje de este prototipo de batería, tendrá como garantía un periodo de tiempo de 2 años, excepto para los supercondensadores que la garantía será de 10 años tal y como especifica el fabricante en los que todos los sistemas de protección, elementos electrónicos y eléctricos que forman parte de la instalación deberán funcionar a la perfección, siendo el fabricante del proyecto, el responsable del manteniendo y reparación, así como las responsabilidades que por incumplimiento del correcto mantenimiento y conservación pudieran llegar a derivarse, en los elementos, servicios y funcionamiento del montaje.

En caso de no cumplirse, el fabricante del proyecto se encargará de adoptar las soluciones necesarias, para el correcto funcionamiento, por la propia naturaleza de este o del desarrollo tecnológico, soluciones diferentes a las exigidas, siempre que quede suficientemente justificada su necesidad y que no impliquen una disminución en las exigencias mínimas de calidad especificadas en el mismo

## 2. Condiciones y normas de carácter general

El presente proyecto tiene carácter de obligado cumplimiento una vez sellado y legalizado, debiendo ser objeto de aprobación previa todas aquellas modificaciones de este durante su montaje y su ejecución.

### 2.1. Vigencia

Este Pliego de Condiciones, con todos sus articulados, estará en vigor durante la ejecución del montaje y hasta la finalización de este, entendiéndose que las partes a que hace referencia éste, se aceptarán en todos sus puntos por el adjudicatario de la instalación. Frente a posibles discrepancias, el orden de prioridad de los documentos básicos del Proyecto será el siguiente:

- 1) Planos.
- 2) Pliego de Condiciones.
- 3) Presupuesto.
- 4) Memoria.

## 2.2. Modificaciones.

Durante la ejecución del proyecto, se podrán realizar cuantas modificaciones se estimen oportunas, siempre que las mismas sean aprobadas por el responsable de la Dirección del Proyecto, y en todo momento, de acuerdo con la universidad.

## 2.3. Dirección e inspección.

La dirección del montaje estará a cargo del responsable de la dirección del proyecto, siendo este el alumno responsable del proyecto, pudiendo éste delegar en personal a cargo de la ejecución práctica del montaje.

# 3. Condiciones de los materiales

## 3.1. Descripción

A continuación, se detallan los equipos utilizados para el desarrollo del proyecto, así como las características físicas de cada elemento y sus normativas.

Normativa relativa a los Supercondensadores:

Según la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 09 de PROTECCIONES (1) dictamina que las baterías de condensadores estarán diseñadas para evitar que la avería de un elemento de lugar a su propagación a otros elementos de la batería. Además, se dispondrá de un relé de desequilibrio que provocará la desconexión de la batería a través del interruptor principal. En baterías con varios escalones se analizará el desequilibrio en cada uno de los escalones de forma independiente. Todas las baterías de condensadores estarán dotadas de dispositivos para detectar las sobreintensidades, las sobretensiones y los defectos a tierra, cuyos relés a su vez provocarán la desconexión del interruptor principal antes citado. Cada elemento condensador tendrá un sistema de descarga que reduzca la tensión entre bornes a un valor inferior o igual a 75 V desde su desconexión al cabo de 10 minutos para baterías de condensadores de tensión asignada superior a 1 kV y al cabo de 3 minutos para baterías de condensadores de tensión asignada inferior o igual a 1 kV.

## 3.2. Condiciones Técnicas

A continuación, se expondrán los materiales e instrumentos que se van a utilizar.

### 3.2.1. Supercondensadores:

Se utilizarán condensadores de 500 F y 2.7 V de 7 cm de alto y 4 cm de diámetro. Se ubicarán encima de la placa balanceadora para que esta realice su función.

### 3.2.2. Placa balanceadora:

Tablero electrónico fabricado para proporcionar a cada uno de los condensadores que se usan, una tensión inferior a 2.7 V. Elemento destinado mayormente para la seguridad de los Supercondensadores que están interconectados entre sí en serie.

### 3.2.3. Osciloscopio:

El osciloscopio es un instrumento que sirve para la medición en la electrónica. En la pantalla que lleva incorporada, representa una gráfica de la amplitud en el eje vertical y el tiempo en el eje horizontal. La marca de Osciloscopio que se utilizará en el presente proyecto será TEKTRONIX (USA) modelo TBS 10528-EDU.

### 3.2.4. Pinza amperimétrica:

El modelo de pinza amperimétrica que se va a usar es el E3N. Sonda de corriente para el osciloscopio equipada de una célula de efecto Hall que permite la medida de corriente continua o alterna sin intervenir sobre la instalación sin la necesidad de abrir el circuito. El rango de medida es de 50mA hasta 100 A pico.

### 3.2.5. Fuente de tensión:

La fuente de alimentación que se utilizará será el modelo FAC-6628 de PROMAX (Barcelona, España) capaz de llegar a proporcionar 15 V y 1 A. La fuente de tensión lleva incorporadas distintas salidas, dos de las cuales son fijas de 5 V y 15 V y otra variable. En el caso del presente proyecto se ha usado la salida variable que nos permite modificar la tensión de salida según se necesite. Esto se utilizará para dar diferentes valores de voltaje y así hacer mediciones a diferente tensión.

### 3.2.6. Amperímetro y voltímetro.

Instrumento para medir la intensidad, corriente y resistencia. Incorpora un display en el que se pueden ver las medidas que se están haciendo en todo momento. La marca del instrumento es KAISE (Valencia, España) y su modelo MY64.

### 3.2.7. Placa Protoboard.

Instrumento que sirve para realizar las pruebas de circuitos eléctricos. Consiste en una placa con orificios conectados eléctricamente de manera horizontal y vertical.

### 3.2.8. Sondas de voltaje.

Instrumentos que sirven para medir el voltaje, en el proyecto serán acopladas en el osciloscopio y de esa manera se verá representada la función de voltaje en tiempo real.

### 3.3. Control de calidad

#### 3.3.1. Supercondensadores:

el control de calidad que se llevará a cabo en estos dispositivos será el de comprobar que cada uno por separado, para ellos se cargará cada uno a 2V, al hacerlo, presentan una curva de voltaje e intensidad esperada, en la que es progresiva y sin sobresaltos. De esta manera, se concluye que son aptos para el montaje. Además de tener, la garantía del propio fabricante, ya que los elementos son nuevos y no han tenido uso previo.

#### 3.3.2. Placa balanceadora/Protectora:

El control de calidad en este apartado se realizará, aplicando a la placa un voltaje de 10 V, de esta manera, el voltaje total de la placa deberá ser de 10 V, pero al actuar como una placa protectora, en cada uno de los terminales de los condensadores deberán de caer 2.7 V como máximo. Al hacerlo, se comprueba que así es y que funciona correctamente. Además de esto, tenemos la garantía del fabricante, y que el producto ha sido comprado recientemente.

#### 3.3.3. Osciloscopio:

Para controlar la calidad del osciloscopio TEKTRONIX modelo TBS 10528-EDU, se procederá mediante controles rutinarios en el buen estado de sus componentes y su resolución de la pantalla.

#### 3.3.4. Pinza amperimétrica:

El control de calidad que le realizados a la pinza amperimétrica modelo E3N, será mediante la comprobación de sus componentes, estos deben estar en buen estado y comprobando la intensidad que hay en un punto que ya se sabe y viendo si la pinza refleja dicho valor.

#### 3.3.5. Fuente de tensión:

La forma de comprobar el buen estado de la fuente de alimentación será el de controles rutinarios de sus componentes y, además, se medirá la corriente e intensidad que proporciona con el osciloscopio o voltímetro y ver si se corresponde con la que marca la fuente de tensión.

#### 3.3.6. Amperímetro y voltímetro.

El Amperímetro y voltímetro marca KAISE y su modelo MY64 será comprobado mediante la mediación en puntos que sepamos el voltaje y corriente, de esta manera, sabemos si marca lo que debería y el aparato está en correcto funcionamiento.

### 3.3.7. Placa Protoboard.

La forma de comprobar si la protoboard funciona correctamente será comprobar en distintos puntos de la placa, si existe continuidad, en caso de que se cumpla, el funcionamiento será el esperado.

### 3.3.8. Sondas de voltaje.

Al igual que la pinza amperimétrica, la forma de comprobar la sonda será midiendo el voltaje en un punto que sepamos cuál es su valor y ver si se corresponde con el de la realidad.

## 4. Condiciones de la ejecución

### 4.1. Descripción

Para la ejecución se tendrá en cuenta que todos los elementos que se van a usar durante ejecución del montaje están en correcto estado y que se cumplen las normas de seguridad. Por ejemplo, la fuente de corriente e intensidad que estamos usando, tiene nivel de peligro y por ello se debe de tener cuidado durante su uso, así como los elementos que utilizamos, deben de estar en lugar aislado con poca humedad.

### 4.2. Control de calidad.

Tanto los supercondensadores, la placa balanceadora, sondas y conectores e instrumentos que usamos, no deben estar dañados ni tienen que dar sensación de gastados o estropeados, lo que podría llevar a unas malas medidas y por lo tanto a un mal desarrollo y conclusión del experimento.

## 5. Pruebas y ajustes finales o de servicio

La placa y los Condensadores funcionan como teóricamente se esperaba, relativamente parecidos los cálculos a lo que se obtiene de forma experimental. Por lo que no se necesitará ningún ajuste adicional a los comentados anteriormente.

### Referencias

1. <https://www.boe.es/boe/dias/2014/06/09/pdfs/BOE-A-2014-6084.pdf>

Fecha de consulta el 28/05/2021



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny

## III. PRESUPUESTO

**TRABAJO FIN DE GRADO**



## ÍNDICE

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 1.  | Presupuesto análisis de la batería de supercondensadores ..... | 1 |
| 1.1 | Coste de precios unitarios .....                               | 1 |
| 1.2 | Precios descompuestos .....                                    | 3 |
| 1.3 | Presupuesto parcial .....                                      | 3 |
| 1.4 | Presupuesto de base de licitación.....                         | 4 |

El presupuesto de este TFG se divide en dos partes diferenciadas, ya que se trata de partes independientes. Por un lado, se encuentra el presupuesto que ha conllevado realizar la parte experimental del trabajo en la Universidad Politécnica de Valencia y por otro lado, se realiza el estudio económico de la inversión necesaria que habría que desembolsar en el caso de que se pretendiera llevar a cabo la fabricación de una batería hecha a partir de supercondensadores.

## 1. Presupuesto análisis de la batería de supercondensadores

### 1.1 Coste de precios unitarios

#### 1.1.1 Coste de mano de obra

Tabla 2: Justificación de precios. Precio de mano de obra

| Unidad | Descripción       | Precio (€) |
|--------|-------------------|------------|
|        | Mano de obra      |            |
| hr     | Ingeniero Técnico | 12         |

#### 1.1.2 Coste de materiales

Tabla 3: Justificación de precios. Precios de los materiales

| Unidad | Descripción                      | Precio (€) |
|--------|----------------------------------|------------|
|        | Materiales                       |            |
| ud     | Supercondensadores 500 F y 2.7 V | 2.65       |
| ud     | Placa balanceadora               | 13.91      |
| ud     | Cables                           | 7.95       |
| ud     | Resistencias de potencia 100 Ω   | 28.95      |

#### 1.1.3 Coste maquinaria.

El cálculo de la amortización de equipos y herramientas informáticas se calcula mediante la ecuación (1).

$$Amortización = precio (\text{€}) \cdot \frac{1}{periodo amortización} \quad (1)$$

Los periodos de amortización son los indicados en la tabla (3) y cada año tiene 200 días laborables, de los cuales se pueden utilizar los equipos durante 8 horas al día.

Tabla 4: Cálculo de precio unitario de maquinaria

|                           | Periodo de amortización (años) | Periodo de amortización (hr) | Precio (€) | Subtotal (€/hr) |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------|-----------------|
| Fuente alimentación       | 5                              | 8000                         | 192.74     | 0.02            |
| Sondas                    | 1                              | 1600                         | 16.86      | 0.01            |
| Osciloscopio              | 5                              | 8000                         | 2070       | 0.26            |
| Pinza amperimétrica       | 2                              | 3200                         | 493.68     | 0.15            |
| Amperímetro y voltímetro  | 2                              | 3200                         | 30.18      | 0.01            |
| Resistencias 100 $\Omega$ | 1                              | 1600                         | 28.95      | 0.02            |

## 1.2 Precios descompuestos

Tabla 4: Precio descompuesto carga batería

| Código | Ud | Descripción                      | Cantidad | Precio (€/u) | Subtotal      | N        | Total (€)      |
|--------|----|----------------------------------|----------|--------------|---------------|----------|----------------|
| 01     |    | <b>Carga batería</b>             |          |              |               |          |                |
|        | hr | Ingeniero Técnico                | 15       | 12.00        | 180           |          |                |
|        | hr | Fuente alimentación              | 1        | 0.02         | 0.02          |          |                |
|        | hr | Sondas                           | 1        | 0.01         | 0.01          |          |                |
|        | hr | Cables                           | 4        | 0.01         | 0.04          |          |                |
|        | hr | Osciloscopio                     | 1        | 0.26         | 0.26          |          |                |
|        | hr | Pinza amperimétrica              | 1        | 0.15         | 0.15          |          |                |
|        | hr | Amperímetro y voltímetro         | 1        | 0.01         | 0.01          |          |                |
|        | ud | Supercondensadores 500 F y 2.7 V | 6        | 2.65         | 15.90         |          |                |
|        | ud | Placa balanceadora               | 1        | 13.91        | 13.91         |          |                |
|        | %  | Medios auxiliares                | 2        | 210.29       | 4.20          |          |                |
|        |    |                                  |          |              | <b>214.50</b> | <b>8</b> | <b>1715.96</b> |
| 02     |    | <b>Descarga batería</b>          |          |              |               |          |                |
|        | hr | Ingeniero Técnico                | 20       | 12.00        | 240           |          |                |
|        | hr | Sondas                           | 1        | 0.01         | 0.01          |          |                |
|        | hr | Cables                           | 4        | 0.01         | 0.04          |          |                |
|        | hr | Osciloscopio                     | 1        | 0.26         | 0.26          |          |                |
|        | hr | Pinza amperimétrica              | 1        | 0.15         | 0.15          |          |                |
|        | hr | Amperímetro y voltímetro         | 1        | 0.01         | 0.01          |          |                |
|        | ud | Supercondensadores 500 F y 2.7 V | 6        | 2.65         | 2.65          |          |                |
|        | ud | Placa balanceadora               | 1        | 13.91        | 13.91         |          |                |
|        | ud | Resistencias 100 Ω               | 2        | 0.02         | 0.04          |          |                |
|        | %  | Medios auxiliares                | 2        | 257.07       | 5.15          |          |                |
|        |    |                                  |          |              | <b>262.21</b> | <b>8</b> | <b>2097.70</b> |

## 1.3 Presupuesto parcial

Tabla 5: Tabla de precios parciales

| Código  | Unidad | Descripción      | Medición | Precio (€/u) | Subtotal (€) | Total (€)      |
|---|--------|------------------|----------|--------------|--------------|----------------|
| 01  | ud     | Carga batería    | 8        | 214.50       | 1715.96      |                |
| 02  | ud     | Descarga batería | 8        | 262.21       | 2097.70      |                |
| <b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)</b> |        |                  |          |              |              | <b>3813.66</b> |

Por tanto, el presupuesto de ejecución de material será la suma de los presupuestos parciales y asciende hasta la cantidad de 3813.66 €.

#### 1.4 Presupuesto de base de licitación.

En este caso el beneficio industrial no se considera ya que se trata de un ejercicio académico. Además, no se ha trabajado para ninguna industria. Por otro lado, el IVA es 0 porque tanto los equipos como los materiales como la maquinaria, ya ha sido previamente considerado el impuesto IVA. Se consideran los gastos generales un 6% sobre el presupuesto de ejecución de material (PEM).

$$\text{Gastos generales} = 0.06 \cdot 3813.66\text{€} = 228.82\text{€} \quad (1)$$

$$\text{Beneficio Industrial} = 0.04 \cdot 3813.66\text{€} = 152.54\text{€} \quad (2)$$

$$\text{Presupuesto base licitación} = GG + BI + PEM = 5541.17 \text{€} \quad (3)$$

Tabla 6: Cálculo del presupuesto base de licitación.

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Gastos generales                          | 6%                               |
| Beneficio industrial                      | 4%                               |
| IVA                                       | Ya incluido en todos los precios |
| <b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)</b> | <b>4195.02</b>                   |

Por tanto, el presupuesto total asciende a cuatro mil ciento noventa y cinco euros y dos céntimos de euro (4195.02 €).



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny

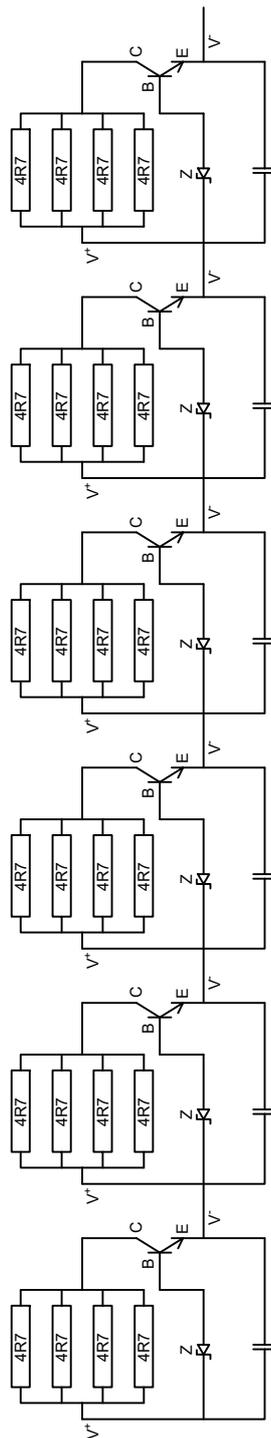
# IV. PLANOS

**TRABAJO FIN DE GRADO**



## ÍNDICE

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1. Plano placa balanceadora ..... | 1 |
| 2. Plano circuito.....            | 2 |



Proyecto:  
Estudio experimental sobre el uso de supercondensadores

Fecha: 13/06/2021

Escala:  
**1:2**

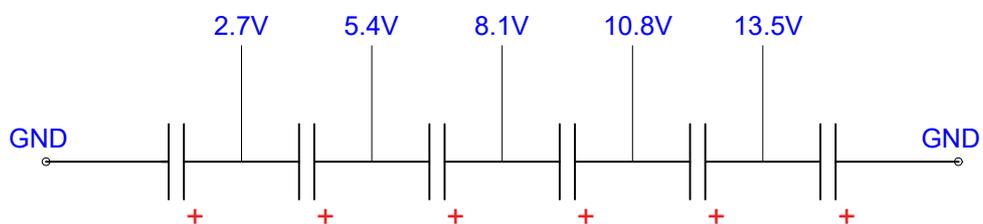
Autor: Carlos Romero Morte

Plano:  
**Plano Circuito**

Plano N°

**01**

I.T.I. colegiado n° 212



|  |  |                       |
|--|--|-----------------------|
| Proyecto:<br>Estudio experimental sobre el uso de supercondensadores |  | Fecha: 13/06/2021     |
|  |  | Escala:<br><b>1:1</b> |
| Autor: Carlos Romero Morte<br><br>I.T.I. colegiado nº 212            | Plano:<br><b>Plano Circuito Supercondensadores</b> | Plano N°<br><b>02</b> |