

## **BANCO DE SUPERCONDENSADORES COMO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DE CARGA**

### **SUPERCAPACITOR BANK AS A CARGO STORAGE AND SUPPLY SYSTEM**

**Cristian Harvey Bonilla Valbuena.\* Ingrid Julianny Cubillos Alonso.\*\*  
Aldemar Fonseca Velásquez.\*\*\***

**Resumen:** En el presente documento se presentará el proceso y los resultados de la implementación de un banco de supercondensadores como sistema de almacenamiento y suministro de energía a una carga. Para la realización del proyecto se implementó como sistema de almacenamiento un módulo de banco de supercondensadores, el cual está conformado por 6 supercondensadores en serie, la energía entregada por el banco será dirigida a un convertidor DC/DC tipo elevador el cual tiene como finalidad entregar la energía requerida por la carga, se establece que los valores máximos entregados por el convertidor serán de 40V y 1A.

---

\* Estudiante de Tecnología en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Correo electrónico: [crhbonillav@udistrital.edu.co](mailto:crhbonillav@udistrital.edu.co)

\*\* Estudiante de Tecnología en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Correo electrónico: [ijcubillosa@udistrital.edu.co](mailto:ijcubillosa@udistrital.edu.co)

\*\*\* Magister en Ingeniería Biomédica. Especialización En Teleinformática. Ingeniero en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. Correo electrónico e-mail: [afonseca@udistital.edu.com](mailto:afonseca@udistital.edu.com)

El prototipo consiste en un módulo de supercondensadores seguido de un convertidor DC/DC elevador y el sistema de entrega de energía, el cual cuenta con una retroalimentación que tiene como finalidad mantener estable el voltaje requerido por la carga. Sin embargo, para poder realizar las pruebas de entrega de energía es necesario cargar el módulo de supercondensadores, por tanto se diseñó un modelo el cual proporciona la corriente y el voltaje necesario, es importante aclarar que este sistema de carga no hace parte del prototipo.

Se evaluó la eficiencia del módulo con diferentes cargas, en donde se garantizaba un valor de voltaje en cada uno de los casos y se cambiaba la carga, obteniendo una energía entregada de aproximadamente 1.9 Wh aproximadamente obteniendo mejor eficiencia que con las baterías de Li-ion las cuales entregaron una energía de aproximadamente 0.9 Wh, determinando de esta forma que el módulo de supercondensadores a escala es una opción más favorable que las baterías de Li-ion con las que se comparó.

**Palabras clave:** Supercondensadores, almacenamiento, convertidor DC/DC, retroalimentación, energía.

**Abstract:** This paper will present the process and results of the implementation of a supercapacitor bank as a storage system and energy supply to a load. For the realization of the project, a supercapacitor bank module was implemented as a storage system, which consists of 6 supercapacitors in series, the energy delivered by the bank will be directed to an elevator type DC/DC converter whose purpose is to deliver the energy required by the load, it is established that the maximum values delivered by the converter will be 40V and 1A.

The prototype consists of a supercapacitor module followed by a step-up DC/DC converter and the power delivery system, which has a feedback that aims to maintain stable the voltage required by the load. However, in order to perform the power delivery tests it is necessary to charge the supercapacitor module, therefore a model was designed which provides the necessary current and voltage, it is important to clarify that this charging system is not part of the prototype.

The efficiency of the module was evaluated with different loads, where a voltage value was guaranteed in each of the cases and the load was changed, obtaining a delivered energy of approximately 1.9 Wh, obtaining better efficiency than with the Li-ion batteries which delivered an energy of approximately 0.9 Wh, thus determining that the scaled supercapacitor module is a more favorable option than the Li-ion batteries with which it was compared.

**Key Words:** Supercapacitors, storage, DC/DC converter, feedback, energy

## **1. Introducción**

En los últimos años el uso de vehículos eléctricos ha aumentado exponencialmente, sin embargo, las baterías convencionales que son usadas requieren carga y descarga profunda ocasionando su reducción de vida útil a aproximadamente de dos a tres años; al tener una vida útil más corta conforme el uso y el paso de los años el tiempo de carga aumenta para obtener el mismo recorrido de los vehículos, según Volkswagen [1]. KIA plantea una serie de factores que afectan la velocidad de carga de las baterías [2], uno de estos factores es el peso de las baterías información que confirma el artículo de RACE [3]. Debido a esta problemática los

dueños de los vehículos se ven obligados a comprar baterías con frecuencia, lo cual desincentiva la adquisición de vehículos eléctricos.

En la actualidad la adquisición de vehículos eléctricos se ve afectada por el costo que conlleva el uso de las baterías, aspectos como la vida útil, el tiempo de carga y la autonomía del vehículo, cuando hace uso de las baterías, son características limitantes a la hora de optar por los vehículos eléctricos, por tanto, se ve la necesidad de mejorar el aumento de la vida útil y la disminución en el tiempo de carga en el sistema de almacenamiento de energía de los vehículos.

Las ventajas que ofrecen los bancos de supercondensadores dan cabida al uso de estos como medios energéticos alternativos más eficientes que las baterías convencionales, por sus propiedades de carga y descarga.

En base a lo anterior un banco de supercondensadores cuenta con las características necesarias para ser un sistema de almacenamiento y suministro de energía a una carga. Teóricamente los supercondensadores mejoran características como la disminución del tiempo de carga y la vida útil frente a las baterías convencionales y con ello la relación costo-beneficio. En la actualidad, las baterías aplicadas a los vehículos eléctricos tienen muy poca capacidad de carga, es decir, su almacenamiento es limitado por lo que afectan la autonomía de los vehículos eléctricos lo que fue el centro de la investigación de Paillacho Javier y Tequis Xavier [4].

Se planteó un sistema híbrido entre baterías y supercondensadores, como lo demuestra Cristina Ramos, en su trabajo de grado, en donde se puede observar el seguimiento continuo al sistema híbrido, se concluye que el sistema es exitoso en simulación y cálculos matemáticos [5]. Carlos Romero empieza a estudiar la implementación de los supercondensadores como sistemas de carga ultrarrápida pues si bien los sistemas híbridos son una solución a la baja

autonomía de las baterías, el tiempo de carga que requieren es muy extenso lo que representa otro problema [6].

Se observa gracias a Escribano Reyes un sistema simulado en donde se controla la carga de los supercondensadores y su respectivo convertidor, por medio de un lazo de control y programación para que el banco entregue 12 voltios estables [7]. En base a esto Fornaro Pedro en su diseño y construcción de un banco de supercondensadores [8] empieza a tener en cuenta la carga en la que se va a aplicar los sistemas planteados para su energía, teniendo en cuenta variables como tamaño y potencia.

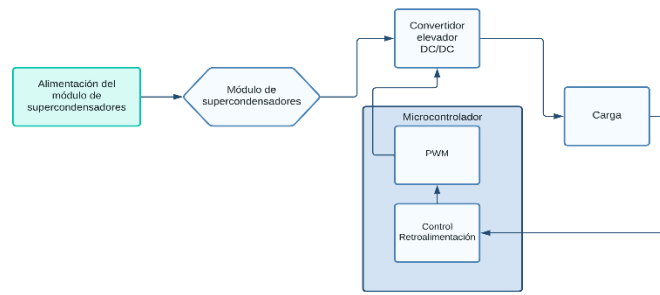
Siendo la carga un factor fundamental para el sistema de suministro de energía Oviedo Silva y Carlos Arturo plantean entonces un controlador PID [9] y un controlador de tipo PWM [10] para aumentar las tensiones del banco de supercondensadores el cual permite una mejor eficiencia.

El diseño e implementación del banco de supercondensadores tiene como propósito ser una alternativa de las baterías de los vehículos eléctricos, por sus características los supercondensadores se pueden implementar como sistema de almacenamiento y suministro de energía a una carga, en este caso el banco cumplirá con una entrega de voltaje máximo de 40V y una corriente máxima de 1A.

## **2. Desarrollo de prototipo**

El modelo a escala se comprende en 5 bloques importantes: la alimentación, el módulo de supercondensadores, el convertidor DC/DC, la generación del pulso de tipo PWM, el control retroalimentado y la carga, como se puede ver en la siguiente figura.

**Figura 1.** Diagrama de bloques del prototipo



Fuente: elaboración propia

## 2.1 Módulo de supercondensadores

Los ultra capacitores o supercondensadores están formados por pares de placas conductoras separadas por un medio dieléctrico, funcionan de forma similar a un condensador la diferencia es que el supercondensador tiene mayor capacitancia, miles de veces mayor al de un condensador, además se puede cargar y descargar en cortos periodos de tiempo.[11]

Este módulo consta de 6 supercondensadores de 500F a 2.7 V, conectados en serie, para obtener un total de 83.33F a 16.2 V, se escogió estos valores de capacitancia y voltaje por medio de pruebas físicas con supercondensadores individuales de 500 F a 2.7V, las pruebas consistieron en probar el tiempo de carga y descarga de los supercondensadores e ir sumando uno a uno hasta obtener una energía de 2 W/h dando como resultado el módulo mencionado anteriormente.

**Figura 2.** módulo de supercondensadores cargados



Fuente: elaboración propia

El módulo de supercondensadores tiene una función de alarma automática de temperatura y tensión, lo que puede proteger mejor la carga y garantizar el funcionamiento normal, además cada uno de los supercondensadores cuenta con un led cuyo fin es indicar cuando este cargado completamente.

Para conocer la energía que almacena el módulo de supercondensadores se conectó una resistencia de  $5.9\Omega$  en paralelo al módulo, se inició un cronometro una vez se conectó la resistencia y se tomaron los datos del valor de voltaje en el módulo con respecto al tiempo obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 1.** Datos potencia contra tiempo en descarga del módulo de supercondensadores

tiempo en segundos	potencia
0	48,23676271
60	36,62542373
120	23,20169492
180	16,07925424
240	10,98347458
300	7,227271186
360	4,869423729
420	3,104813559
480	2,100067797
540	1,347864407
600	0,896610169
660	0,592694915
720	0,40720339
780	0,277694915
840	0,194050847
900	0,134254237
960	0,097898305
1020	0,071610169
1080	0,053152542
1140	0,040694915

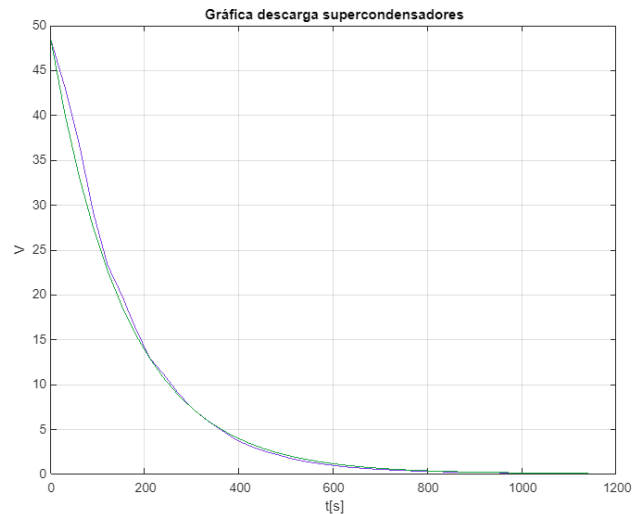
**Fuente:** elaboración propia

Una vez obtenidos estos datos se calcula la ecuación exponencial.

$$y = \frac{1206}{25} \cdot \left(\frac{749}{5000}\right)^{\frac{x}{300}} \quad (1)$$

Para verificar que la ecuación y los datos sean concordantes se realiza la gráfica y se compara por medio del programa Matlab.

**Figura 3.** Gráfica comparación de ecuación y datos de descarga del módulo de supercondensadores.



**Fuente:** elaboración propia

Donde la gráfica de color morado corresponde a los datos de Excel y la gráfica de color verde corresponde a la ecuación, de esta manera se corrobora que ambos son concordantes.

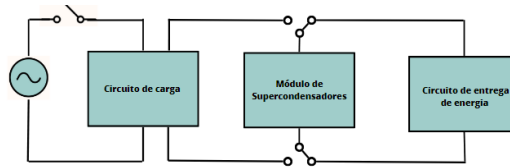
Una vez se obtiene la ecuación y se confirma que es la correspondiente a los datos, se resuelve, dando como resultado una energía de 2.12 Wh.

## 2.2 Sistema de carga y entrega de energía del módulo de supercondensadores

El módulo de supercondensadores cuenta con un circuito que permite cargarlos y otro circuito que permite entregar la energía del módulo supercondensadores a una carga, en la imagen (figura 4) se puede observar que dichos circuitos se establecieron en dos bloques, para la activación de los bloques se implementaron interruptores conmutados que permiten hacer el cambio de forma segura y eficiente.



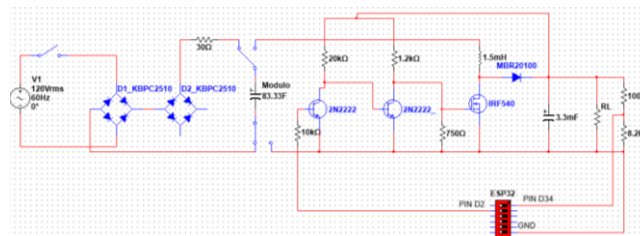
**Figura 4.** Diagrama de bloques de sistema de carga y entrega de energía del módulo de supercondensadores



Fuente: elaboración propia

Haciendo uso del software de simulación Multisim se desarrolló un primer diseño del circuito, a lo largo del desarrollo del prototipo se fue modificando para obtener una mayor eficiencia y cumplir con las necesidades requeridas, como conclusión se obtuvo el circuito observado en la figura 5.

**Figura 5.** Esquemático circuito completo, sistema de carga y de entrega de energía del módulo de supercondensadores



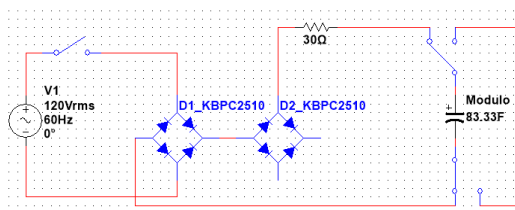
Fuente: elaboración propia

### 2.2.1 Circuito de carga

El circuito de carga se planteó de forma tal que se usa energía directamente de la red eléctrica, está constituido por el voltaje alterno, el cual pasa por un puente rectificador en configuración P2 obteniendo un voltaje DC de 102v con una corriente de carga de 3.4A, la salida de este puente va a otro puente rectificador, en donde se hace uso de un

solo diodo, el cual garantiza que la corriente sea unidireccional, seguido de este va una resistencia de  $30\Omega$  con una potencia de disipación suficiente, en este caso se usó la resistencia de una estufa eléctrica, se finaliza el circuito con un interruptor conmutado en el positivo y negativo, que garantiza el aislamiento completo del circuito de carga, este circuito proporciona al módulo de supercondensadores una carga completa en un tiempo de 5 minutos aproximadamente.

**Figura 6.** Esquemático del Circuito de carga



Fuente: elaboración propia

### 2.2.2 Circuito de entrega de energía

Un convertidor DC/DC elevador obtiene una salida mayor de voltaje que en la entrada, maneja dos interruptores semiconductores que son el diodo y el transistor MOSFET y un condensador que tiene la carga en paralelo.[12]

Para determinar el tipo de convertidor DC/DC necesario para el prototipo se realizó un planteamiento base el cual a lo largo del desarrollo se fue modificando los elementos que lo constituían; se modificó el transistor Mosfet para conseguir un tiempo de conmutación mas corto y eficiente, además se modificó la bobina para soportar la corriente que exige el circuito por ultimo se modificó el diodo para soportar la corriente.

Este convertidor tiene dos estados, estos estados lo define el PWM. Cuando el PWM está en alto (1 lógico) la bobina almacena energía de la fuente, y a su vez la carga es alimentada por un condensador en paralelo. Cuando el pulso del PWM es bajo (0

lógico) el único camino para la corriente es por medio del diodo el cual conduce por medio del transistor en condición ON y la bobina cargada circulando por el condensador para cargarlo y a su vez energizando la carga. La bobina cuenta con un fusible de protección sobrecorriente al igual que el transistor, los cuales garantizan que si hay picos de corriente el circuito se abra correctamente y ningún elemento sufra afectaciones. Para el caso de la bobina se usó un fusible de 3A y para el caso del transistor se uso un fusible de 5A, ya que es el pico de corriente máxima en el drenador.

Estos sistemas se utilizan para alimentar elementos que necesiten un alto voltaje con referencia al de alimentación del convertidor, los supercondensadores dan un voltaje de 16,7v y en la carga se requiere un voltaje de 40v, por tanto, el convertidor DC/DC elevador fue implementado en el circuito.

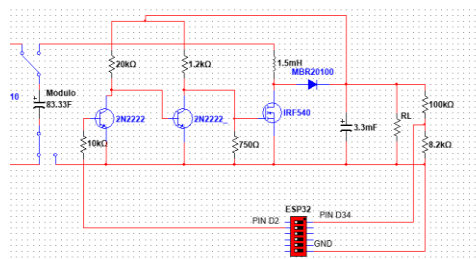
El circuito esta diseñado para funcionar a temperaturas que superen los 30°C debido a que cuenta con un sistema de ventilación ambiente, sin embargo es recomendado no superar las especificaciones técnicas del fabricante del módulo de supercondensadores si la temperatura es superada a la recomendada el módulo activara una alarma.

El microcontrolador ESP32 proporciona un procesador integrado con interfaces para conectarse con varios periféricos. El procesador en realidad tiene dos núcleos de procesamiento cuyas frecuencias operativas pueden controlarse independientemente entre 80 MHz y 240 MHz, el módulo cuenta con pines ADC, pines I2C, salidas PWM, entre otros pines que en conjunto hacen del

microcontrolador un dispositivo apto para una gran variedad de proyectos en el mercado [13].

El circuito de entrega de energía se planteó de la siguiente forma, cuenta con un interruptor el cual energiza el convertidor DC/DC entregando un voltaje en la carga, este mismo voltaje energiza el circuito de amplificación del PWM aumentando la salida de la ESP32 de 3.3v a 7v, por medio de los supercondensadores y un regulador de voltaje LM2596 [14], con salida regulada de 5V, se alimenta el microcontrolador ESP32, de esta forma se garantiza la independencia del prototipo a fuentes externas; en paralelo a la carga se realizó un divisor de voltaje el cual nos permite reducir el voltaje que ingresa en la ESP32 (3.3v) obteniendo valores aceptables para el pin, este valor analógico ingresa por medio de un pin ADC, el cual convierte este dato a digital, una vez se obtiene, se establece un valor digital de referencia (según el voltaje se necesite en la carga) para realizar la comparación entre lo medido y lo requerido, por medio de esta comparación se determina el valor de ciclo útil del PWM a una frecuencia de 50kHz, el ciclo útil aumenta o disminuye dependiendo que voltaje hay en la carga, los límites del PWM son de 30% como mínimo y 88% como máximo, cada 9 milisegundos se toma la muestra en el pin ADC para realizar la comparación.

**Figura 7.** Esquemático circuito entrega de energía del módulo de supercondensadores



Fuente: elaboración propia

## 2.3 Código PWM y retroalimentación

El código se planteó en el entorno de desarrollo Thonny con lenguaje microPython [14], su programación es estructurada lo que mejora la claridad, calidad y tiempo de desarrollo del código, por medio de secuencias se estableció el orden en el que se ejecuta y las diferentes selecciones que existen dentro del código como los 'if', además se implementó un 'while' para evaluar constantemente la variable a controlar.

**Figura 8.** Código en lenguaje micropython PWM y retroalimentación

```
if a==0:
    while True:
        display.invert(0)
        valor_referencia = 960
        valor_analogico = adc.read()
        valor_digital = valor_analogico // 4
        voltaje=round((valor_digital*42.3)//1023)
        display.text('Voltaje: ',10,35)
        display.text(str(voltaje),100,35)
        display.text('V',115,35)
        display.text('DERIVE', 40,5)
        time.sleep(0.02)
        print(valor_digital)
        if ciclo_actual>88:
            ciclo_actual=88
        if ciclo_actual<30:
            ciclo_actual=30
        if valor_digital > valor_referencia:
            ciclo_actual -=porcentaje
        elif valor_digital < valor_referencia:
            ciclo_actual +=porcentaje
        else:
            print("El valor digital es igual al valor de referencia.")

        ciclo_util_absoluto = int(ciclo_actual * 1023 / 100)
        led.duty(ciclo_util_absoluto)
```

Fuente: elaboración propia

## 3. Pruebas y resultados

Se realizaron diferentes pruebas para comprobar la eficiencia del circuito, la primera prueba que se realizó fue poner la misma carga y someter el MOSFET a diferentes frecuencias para comparar en que frecuencia se obtiene la mayor eficiencia posible, como se puede observar en la tabla 2 los mejores resultados se obtuvieron con una frecuencia de 50KHz, por tanto, se definió esta frecuencia para el prototipo.

**Tabla 2.** Datos de resultado del circuito con distintas frecuencias.

DATOS (RETROALIMENTACION 13/07/2023 - alimentacion del pwm con carga)							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje condensador (modulo)	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
10 KHz	7	14,8	40,5	40	0,99	0,40	
10 KHz	7	7,5	40,5	40	0,99	1,85	1,22
DATOS (RETROALIMENTACION 13/07/2023 - alimentacion del pwm con carga)							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje condensador (modulo)	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
20 KHz	7	16,6	40,5	40	0,99	0,00	
20 KHz	7	16	40,5	40	0,99	0,26	
20 KHz	7	6,3	40,5	40	0,99	2,05	1,35
DATOS (RETROALIMENTACION 13/07/2023 - alimentacion del pwm con carga)							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje condensador (modulo)	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
30 KHz	7	16,6	40,5	27	0,67	0,00	
30 KHz	7	15,9	40,5	40	0,99	0,25	
30 KHz	7	5,7	40,5	40	0,99	2,15	1,42
DATOS (RETROALIMENTACION 13/07/2023 - alimentacion del pwm con carga)							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje condensador (modulo)	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
50 KHz	7	16,6	40,5	28	0,69	0,00	
50 KHz	7	15,9	40,5	40	0,99	0,20	
50 KHz	7	5,8	40,5	40	0,99	2,15	1,42

Fuente: elaboración propia

Una vez se obtuvieron estos datos, la segunda prueba que se realizo fue cambiar la carga, estableciendo diferentes valores para la misma y de esta manera observar el comportamiento del circuito ante diferentes escenarios, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.** Datos de resultados del circuito con distintos valores de carga.

DATOS							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje condensador (modulo)	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
50 KHz	7	16,6	182	26	0,14	0,00	
50 KHz	7	16,4	182	40,3	0,22	0,18	
50 KHz	7	3,3	182	40,3	0,22	13,15	1,96
50 KHz	7	16,7	150	26	0,17	0,00	
50 KHz	7	16,3	150	40,3	0,27	0,24	
50 KHz	7	3	150	40,3	0,27	10,30	1,86
50 KHz	7	16,7	39	26	0,67	0,00	
50 KHz	7	15,9	39	40,3	1,03	0,25	
50 KHz	7	7,3	39	40,3	1,03	2,10	1,46
50 KHz	7	16,6	90	26	0,29	0,00	
50 KHz	7	16,3	90	40,3	0,45	0,17	
50 KHz	7	4,5	90	40,3	0,45	5,85	1,76
50 KHz	7	16,7	260	26	0,10	0,00	
50 KHz	7	16,5	260	40,3	0,16	0,18	
50 KHz	7	2,7	260	40,3	0,16	18,85	1,96

Fuente: elaboración propia

Una vez se tiene la eficiencia del banco de supercondensadores se realiza comparaciones con baterías Li-ion [15] con las siguientes características:

- Capacidad: 2200 mAh
- Voltaje nominal: 3.6 V
- Corriente de carga estándar: 1075mA (0.5C)
- Máxima corriente de carga: 2150mAh (1.0C)
- Corriente de descarga estándar: 430mA
- Máxima corriente de descarga: 3225mA

Para realizar una comparación precisa se sometieron las baterías a las mismas pruebas que los supercondensadores, se hizo uso de 4 baterías conectadas en serie para obtener un voltaje de 14.4V en total y 3.6V por batería, las baterías se descargaron hasta aproximadamente 10 voltios en total y 2.5V por cada batería, este voltaje es el recomendado por el fabricante [15] para garantizar que no ocurra una descarga profunda causando una afectación en las baterías.

**Figura 9.** Baterías de li-ion



Fuente: [15]

Se evaluaron características de las baterías y el módulo de supercondensadores; la primera característica a evaluar fue el tiempo de carga de ambos elementos; para cargar las baterías se hizo uso del módulo TP4056 [16] el cual garantiza la entrega de energía,

es decir voltaje y corriente, especificadas por el fabricante para garantizar que las baterías no tengan una carga irregular, las baterías se cargaron en un tiempo aproximado de 20 minutos por cada batería, en total se usaron 4 baterías por tanto se demoró un tiempo de 1 hora y 30 minutos aproximadamente. Para el módulo de supercondensadores la carga se realizó con el circuito de la figura 5, en donde para cargar de 0v a 16.5v tomo tiempo de aproximadamente 5 minutos.

La segunda característica por comparar fue el proceso de entrega de energía, en la cual se usó el convertidor DC/DC, los mismos valores de frecuencia, amplitud y voltaje de salida, se usaron dos valores de carga para obtener diferentes corrientes, como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Datos comparaciones módulo de supercondensadores y baterías.

DATOS							
baterías							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje baterías	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
50 KHz	7	15	85	26	0,31	0,00	
50 KHz	7	14,5	85	40,3	0,47	0,23	
50 KHz	7	5	85	40,3	0,47	1,30	0,41
supercondensadores							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje condensador (modulo)	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
50 KHz	7	16,7	85	26	0,31	0,00	
50 KHz	7	16,3	85	40,3	0,47	0,20	
50 KHz	7	4	85	40,3	0,47	5,40	1,72
baterías							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje baterías	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
50 KHz	7	15,7	246	26	0,11	0,00	
50 KHz	7	15,5	246	40,3	0,16	0,22	
50 KHz	7	13,2	246	40,3	0,16	5,10	0,56
supercondensadores							
Frecuencia	Amplitud	Voltaje condensador (modulo)	RL	Vout	Iout	Tiempo (min)	Eficiencia (Wh)
50 KHz	7	16,7	246	26	0,11	0,00	
50 KHz	7	16,6	246	40,3	0,16	0,17	
50 KHz	7	2,6	246	40,3	0,16	18,40	2,02

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la comparación con baterías de plomo, la primera característica a tener en cuenta es la contaminación, actualmente las baterías de plomo representan una problemática en el medio ambiente pues el 94% entran en desuso cada año, al año se producen cerca de 2.500.000 toneladas de baterías de plomo en el mundo [17], de las cuales solo se recicla el



6% de y el 94% restante se comercializa informalmente extrayendo el plomo y vertiendo el ácido electrolito a drenajes y tierra, lo que deriva en contaminación del suelo y por tanto una contaminación del medio ambiente, por otro lado los supercondensadores están constituidos a base de carbón activo lo que no representa un contaminante para el medio ambiente.

La segunda característica es el peso de las baterías de plomo, las cuales tienen un peso en promedio de 20 Kg por ejemplo una batería de un vehículo a combustión interna [18] mientras que los supercondensadores tienen en promedio un peso de 70 g por supercondensador, en este caso se usaron 6 entonces da en total un peso de 420 g [19].

La tercera característica es la vida útil, las baterías tienen en promedio una vida útil de 3.000 ciclos de carga [1] mientras que los supercondensadores tiene en promedio una vida útil de 1.000.000 ciclos de carga [20].

La cuarta característica es el tiempo de carga, las baterías duran en promedio 4 o 5 horas, dependiendo de la capacidad de la batería [21], mientras que los supercondensadores cargan en promedio 5 o 10 minutos dependiendo la capacidad de los supercondensadores.

**Figura 10.** Modelo a escala, módulo de supercondensadores



Fuente: Elaboración propia

Una vez se obtiene los resultados del modulo de supercondensadores se define el modelo a escala del banco de supercondensadores como sistema de almacenamiento y entrega de energia, dando como resultado un modelo compacto y completamente funcional, como se observa en la figura 10.

El prototipo esta diseñado para cargas que exijan las características mencionadas a lo largo del documento, como plan a mejorar se considera implementar mas módulos de supercondensadores mejorando las especificaciones del prototipo y por consiguiente su rendimiento en distintas cargas.

#### **4. conclusiones**

- Los tiempos de carga y la vida útil son un factor fundamental en los dispositivos de almacenamiento de energía, los supercondensadores muestran una forma más eficiente que las baterías convencionales, llegando a cargar hasta 30 veces más rápido que las baterías y con una vida útil de 1.000.000 ciclos de carga, mientras que las baterías solo tienen 3.000 ciclos de carga, dando paso al uso de supercondensadores en diferentes aplicaciones en el mercado.
- Comparando el módulo de los supercondensadores con las baterías de Li-ion se evidencia que la eficiencia del módulo es 3 veces mayor que las baterías de Lin-ion, lo que representa una ventaja considerable a la hora de elegir el dispositivo de almacenamiento.
- El módulo de supercondensadores es amigable con el medio ambiente debido a que está constituido a base de carbón activo, mientras que las baterías representan un porcentaje alto en la contaminación del medio ambiente debido a que están compuestas con plomo y acido electrolito siendo toxico para la vida humana y también para el medio ambiente.

## Referencias

- [1] «Cuánto dura la batería de un coche eléctrico - Volkswagen Canarias». <https://www.vwcanarias.com/es/blog/duracion-bateria-coches-electricos.html> (accedido 7 de noviembre de 2022).
- [2] «¿Cuánto tiempo lleva cargar un automóvil eléctrico?», *Kia Motors Colombia*. <https://www.kia.com/co/discover-kia/ask/how-long-does-it-take-to-charge-an-electric-car.html> (accedido 7 de noviembre de 2022).
- [3] RACE, «¿Cómo son las baterías de los coches eléctricos? | RACE», 2 de septiembre de 2022. <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos> (accedido 7 de noviembre de 2022).
- [4] P. P. E. Javier y T. I. A. Xavier, «TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ», p. 178.
- [5] C. Ramos Flores, «Análisis de un convertidor DC/DC destinado al almacenamiento híbrido de energía», julio de 2017. <https://oa.upm.es/48060/> (accedido 7 de noviembre de 2022).
- [6] J. M. Bello Ruiz y J. M. Diaz Romero, «Diseño y desarrollo de un prototipo de medición de presión plantar portátil», abr. 2020, Accedido: 7 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/25595>
- [7] M. Escribano Reyes, «Modelo y Control de un Banco de Supercapacitores con Convertidor», ene. 2020, Accedido: 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/2941>
- [8] P. Fornaro, P. E. Battaiotto, P. F. Puleston, D. A. Riva, J. Moré, y J. I. Talpone, «Diseño y construcción integral de un banco de supercapacitores: del modelado a la estimación del estado de carga», presentado en V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (La Plata, 2019), abr. 2019. Accedido: 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75324>
- [9] «¿Qué es el control PID? Comprenda cómo funciona y vea ejemplos», *Blog da Controladores WEST: Especialista em controle de temperatura – West Control Solutions: Especialista mundial em instrumentação de controle de processo e temperatura*, 12 de marzo de 2017. <https://www.west-cs.com.br/blog/es/2017/03/12/o-que-e-controle-pid/> (accedido 21 de noviembre de 2022).
- [10] «¿Qué es PWM y cómo usarlo?» <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-pwm-y-como-usarlo--n38> (accedido 21 de noviembre de 2022).
- [11] Twenergy, «Supercondensadores: ¿qué son y cuáles son sus aplicaciones?», *Twenergy*, 3 de diciembre de 2019. <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/almacenamiento-de-energia/supercondensadores-que-son-aplicaciones/> (accedido 7 de noviembre de 2022).
- [12] «Convertor DC-DC elevador - Convertor DC-DC elevador Johan Higueta, Sebastián Hincapié Medellín, - Studocu». <https://www.studocu.com/co/document/instituto-tecnologico-metropolitano/electronica-industrial/convertor-dc-dc-elevador/6515555> (accedido 12 de agosto de 2023).

- [13] «Cómo seleccionar y usar el módulo ESP32 con Wi-Fi/Bluetooth adecuado para una aplicación de IoT industrial», *DigiKey*. <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module> (accedido 31 de julio de 2023).
- [14] M. Merino, «Qué es MicroPython, el lenguaje de programación que ya puedes usar en tu Arduino (y probar desde tu navegador)», *Genbeta*, 14 de noviembre de 2022. <https://www.genbeta.com/desarrollo/que-micropython-lenguaje-programacion-que-puedes-usar-tu-arduino-probar-tu-navegador> (accedido 12 de agosto de 2023).
- [15] «Test of LG 18650 S3 2200mAh (Blue)». <https://lygte-info.dk/review/batteries2012/LG%2018650%20S3%202200mAh%20%28Blue%29%20UK.html> (accedido 2 de septiembre de 2023).
- [16] «Modulo Cargador Baterías Litio TP4056 con Proteccion», *Ferretrónica*. <https://ferretronica.com/products/modulo-cargador-baterias-litio-tp4056-con-proteccion> (accedido 2 de septiembre de 2023).
- [17] «Crece la preocupación por la contaminación de las baterías de plomo», *infobae*. <https://www.infobae.com/2010/03/23/507256-crece-la-preocupacion-la-contaminacion-las-baterias-plomo/> (accedido 2 de septiembre de 2023).
- [18] «🔋 ¿Cuánto pesan las baterías de los coches? (20 ejemplos del mundo real) 【 2023 】 | Seguro vehicular», 12 de enero de 2022. <https://segurovehicular.net/cuanto-pesan-las-baterias-de-los-coches-20-ejemplos-del-mundo-real/> (accedido 2 de septiembre de 2023).
- [19] «Supercondensador 500f 2.7V Compatible con Fuente de Alimentación, Paquete de , Proyectos de Bricolaj Macarena Condensador de Faradios 500F | Bodega Aurrera en línea», *Walmart | Tu tienda en línea*. <https://www.bodegaurrera.com.mx/ip/electricidad/supercondensador-500f-2-7v-compatible-con-fuente-de-alimentacion-paquete-de-proyectos-de-bricolaj-macarena-condensador-de-faradios-500f/00061772021149> (accedido 2 de septiembre de 2023).
- [20] «Baterías y supercondensadores: ¿cuál es la diferencia?», *Phi4tech*, 25 de abril de 2022. [https://www.phi4tech.com/es/blog\\_es/baterias-y-supercondensadores-cual-es-la-diferencia/](https://www.phi4tech.com/es/blog_es/baterias-y-supercondensadores-cual-es-la-diferencia/) (accedido 2 de septiembre de 2023).
- [21] «Como cargar la batería de tu coche | 3 formas sencillas | FlexFuel», *Flexfuel España · Descarbonización de motores*, 20 de abril de 2021. <https://www.flexfuel-company.es/cargar-bateria-coche/> (accedido 2 de septiembre de 2023).