

Diseño de batería reciclable-recargable para el almacenamiento de energía de solución solar fotovoltaica con celdas Li-ion

Pablo E. Carreño H., F. Blanco Garrido, F. A. Simanca

Abstract— The Davincis research group, of the Free University - Bogota Section, within the framework of its research projects, has worked on the design and implementation of a battery model with recyclable Li ion batteries, for the storage of energy produced by a photovoltaic solar solution, but complying with the requirements of decreasing the size and increasing the storage capacity.

In the present article, an alternative solution is elaborated, taking as reference the model of Tesla Inc., where the battery of a Tesla, in fact, is made up of dozens of smaller 'batteries'. So, then following the model and always looking for the right alternative, the maximum in terms of capacity and size, design and testing was carried out, taking into account the technical and economic factors.

At the end, the design, development and testing of the battery with recyclable Li-ion batteries is presented, following the solution of Tesla Inc.

Palabras Claves— Baterías, Li-ion, Conexión serie, Conexión paralelo, voltios, amperios, vatios.

I. INTRODUCCIÓN

El término batería tiene diversos usos y significados muy diferentes entre sí. La batería eléctrica, por ejemplo, es un artefacto que acumula energía a través de procesos electroquímicos. Este tipo de baterías, también conocidas como acumuladores, trabajan como generadores secundarios de electricidad ya que su funcionamiento depende de una carga eléctrica previa [1], es el dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces.

La unión de muchas baterías se le conoce como banco de baterías, se puede realizar a través de las conexiones en serie y en paralelo, con el fin de aumentar tanto en voltaje como el amperaje del banco.

En el presente artículo se mostrará el diseño de un banco de baterías utilizando celdas de Li-ion de 3.7 voltios cuya referencia en el mercado es 18650. Que permita la mayor acumulación de energía y que su tamaño este en un gran porcentaje reducido en comparación a las existentes en el mercado.

II. MATERIALES Y METODOS

En la actualidad las baterías de Litio recargables son las más usadas en los dispositivos portátiles, ya que proporcionan una mayor densidad de carga siendo mucho más ligeras y pequeñas, no poseen efecto memoria y proporcionan un elevado número de ciclos de carga. Es por ello, que se ha trabajado en el diseño de un banco de baterías de Litio.

Las baterías de litio funcionan según el principio de intercalación de iones de litio a partir de un material de electrodo positivo y un material de electrodo negativo, con el electrolito líquido que proporciona un medio conductor. Para evitar que los electrodos se toquen entre sí directamente, se coloca un separador micro-poroso entre ambos, lo que permite que sólo los iones y no las partículas de electrodos puedan migrar de un lado a otro. [2]. El medio conductor, en el caso de las baterías de Li-Ion se emplea un electrolito de sal de litio, en un disolvente orgánico.

2.1 Antecedentes

Tesla Energy: así funcionan las baterías para el hogar de Tesla, Tesla, Inc. (formerly Tesla Motors).

Tesla presentó las baterías para el hogar de las que tanto se ha especulado durante las últimas semanas. Es su plan para ofrecer energía a nivel residencial y abaratar los costos de la factura de la energía eléctrica, basándose en energía renovable.

Como se esperaba, las baterías de Tesla Energy serán de Ion Litio, y su versión residencial, llamada Powewall Home Battery, llegará en dos modelos. La idea de esta batería no es hacer a tu hogar completamente autónomo de la red de energía eléctrica tradicional, sino ofrecer algunas horas en momentos clave de autonomía, ya sea durante apagones o, sobre todo, en los momentos en la que la energía es más costosa, lo que al final spondrá una diferencia considerable en tu factura.

Básicamente, sus características claves son las siguientes:

- Se puede montar dentro o fuera del hogar, en una pared.
- Ofrecerá energía de 10 kWh (para reserva energética) o 7 kWh (para su uso diario), dependiendo del modelo.
- Sus dimensiones son de 130 x 86 x 18 centímetros
- Puede almacenar energía solar durante el día para utilizarla en la noche

Pablo E. Carreño H., Docente Investigador Universidad Libre, Bogotá – Colombia. Pabloe.carrenoh@unilibre.edu.co

F. Blanco Garrido. Docente Investigador Universidad Libre, Bogotá – Colombia Fabian.blancog@unilibre.edu.co

F.A. Simanca. Docente Investigador Universidad Libre, Bogotá – Colombia. Fredysa.simancah@unilibre.edu.co

Corresponding author: Pablo E. Carreño

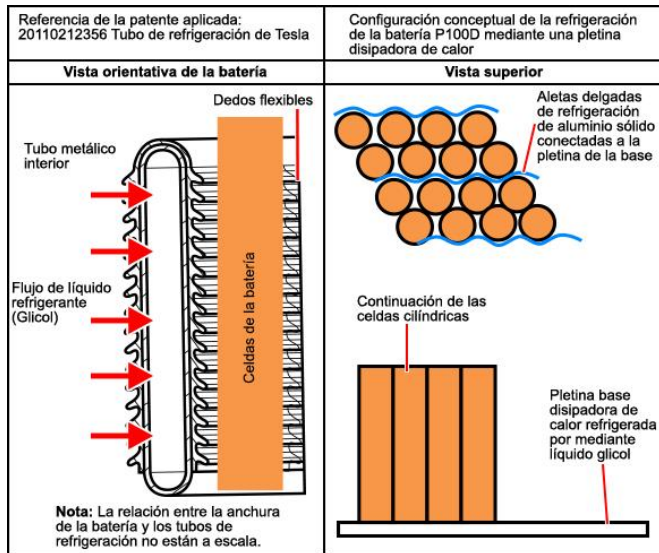


Figura 1. Referencia de la patente aplicada: 20110212356 tubo de refrigeración de Testa. Fuente: <https://www.tesla.com/powerwall>

Cada uno de los 16 módulos que componen la batería de 100 kWh consta de un sistema de gestión de temperatura propio.



Figura 2. Batería Tesla - capacidad. Fuente: <https://www.tesla.com/powerwall>

2.2. Las baterías de Tesla

La batería de un Tesla, en realidad, está conformada por decenas de ‘pilas’ más pequeñas. La compañía utiliza baterías 18650 –que se pueden comprar fácilmente-, pero que están encajadas en una estructura en las que están dispuestas por parejas en un gran conjunto y rodeadas por un circuito de refrigeración que hace ‘eses’ en torno a toda la estructura de ‘pilas’ 18650 [3].

Fig 1 Ribbon Shaped Tesla patent cooling tube

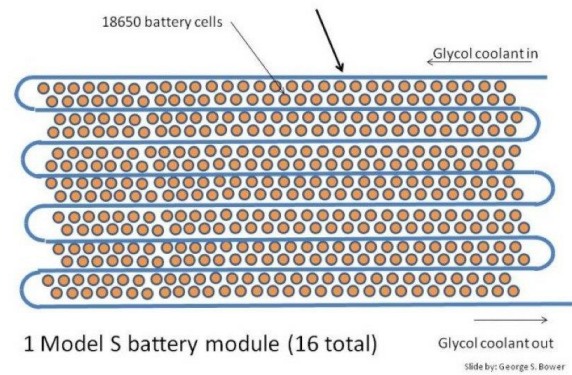


Figura 3. Tubo de enfriamiento de la patente Tesla en forma de cinta. Fuente: <https://www.tesla.com/powerwall>

Todas las células van unidas por un ‘cordón’ de refrigeración que recorre el módulo completo. En una batería de Tesla hay 16 módulos como el de este esquema de diseño. Un sistema estrenado en el Tesla Model 3.

Este esquema lo hemos podido ver gracias a un dossier de financiación de Tesla para los equipos de automatización en la fabricación de sus baterías. Es un proyecto que la compañía tenía planteado para el Tesla Model S, pero que finalmente se ha estrenado con el Model 3. Y es lo que seguramente justifique el retraso en la producción de su pequeña berlina eléctrica.

Ahora bien, aunque esto ha producido un importante retraso, es lo que ahora les permite fabricar a un ritmo muy superior. La clave en el ‘cambio’, respecto al sistema empleado en vehículos anteriores, está en el sistema de refrigeración tubular que recorre toda la estructura de baterías 18650.

Las pilas van ‘pegadas’ a esta estructura tubular, de tal modo que se logra una mejor refrigeración de las células de la batería. Pero además simplifica la metodología para el montaje de estas células.

En el esquema de diseño se puede ver un único módulo de batería con decenas de baterías 18650 que conforman las células. Sin embargo, en un vehículo de Tesla se emplean 16 de estos módulos para nutrir su sistema de propulsión. [4]

2.3 Otros proyectos similares

Pero no sólo Tesla ha trabajado en este tipo de iniciativas.

- Hay que mencionar otras alternativas como la de Toyota, que con su batería de combustible de hidrógeno del Toyota Mirai, podremos sacarla de su habitáculo para usarla en el hogar. De hecho, con una carga completa sería posible aguantar hasta una semana con un consumo normal del hogar.
- La propuesta de Nissan, que con su batería del modelo Leaf cargada previamente en estaciones especiales que tardan aproximadamente 4 horas, será posible tener energía durante 2 horas en el hogar, ideal para casos de emergencia.

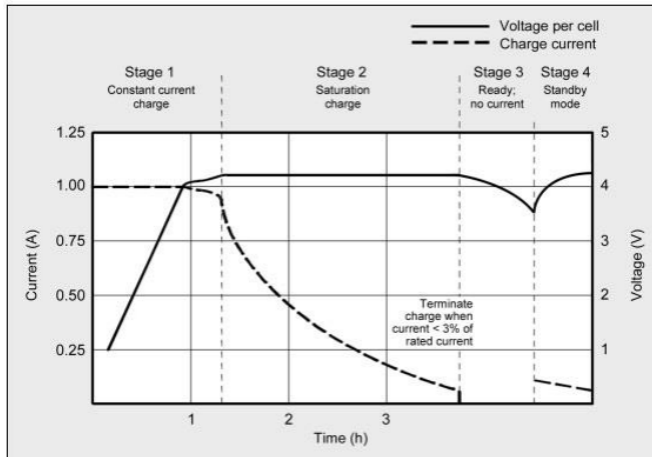


Figura 4. Curva de carga de una batería de Litio. Fuente: Run Rider RC[6]

- Profundidad de descarga: La profundidad de descarga de una batería es el ratio de energía descargada en relación a la cantidad de energía que puede almacenar.

Durabilidad:

Ciclos: Se denomina ciclo al periodo de carga y descarga. Los ciclos reales dependen de la profundidad de descarga que se use, siendo mayor a menor DOD. DOD – Profundidad de descarga: La profundidad de descarga de una batería es el ratio de energía descargada en relación a la cantidad de energía que puede almacenar.

Auto descarga: Caracteriza la descarga de la batería, aunque no se use. Valor indicado por el fabricante, siendo dependiente de la tecnología. Aumenta proporcionalmente a la temperatura y al envejecimiento.

2.4 Procedimientos

En el desarrollo del proyecto se definieron las siguientes actividades, tanto para los diagramas eléctricos de conexiones y el ensamble de las celdas, teniendo claro el objetivo del diseño, el aumento de almacenamiento y la reducción del tamaño de la batería resultante:

Equipos y componentes:

- Descripción y cantidades: (celdas 18650, 39 unidades, soldadura, cable No. 14, cautín, digital multimeter DT-830B, cargador de pared AC100-240w 47-63Hz, 3.7v/500mAh. soporte de plástico Soporte 18. H7H6.

Especificaciones celda:

Modelo:18650
 Capacidad:5800mAh
 Voltage:3.7V
 Química: Li-ion
 Color: Amarillo
 Tamaño: 65mm(Largo) x 17mm(Diámetro)
 Peso: 49 gramos

- Medición de las cargas y voltajes de cada una de las celdas, y estandarizándolas a 3.7 v.

Características de celdas y conexiones:

- Hay baterías de muy diversos tamaños, desde una sola celda hasta multiceldas de gran tamaño. La capacidad y tensión de cualquier batería dependerá de la capacidad de cada celda, y de cómo están conectadas entre sí. [5]
- Serie: Colocando celdas en serie, la tensión del conjunto aumentará como la tensión nominal de cada célula (3,7V) por el número de celdas. La capacidad de la asociación no se verá incrementada al añadir celdas en serie.
- Paralelo: En este caso, será la capacidad la que se verá incrementada de forma proporcional al número de celdas añadidas; manteniéndose el voltaje sin modificar.
- Packs: Es posible construir packs de baterías combinando serie y paralelo para obtener la capacidad y tensión deseada. Hay que tener en cuenta que la tensión nominal de cada célula será siempre de 3.7V, siendo variable la capacidad.

Características Funcionales:

- Tensión: Toda celda posee una tensión nominal de 3,7V. La tensión a carga completa es de 4,2V. Es muy importante que la tensión de descarga no baje de los 3,0V; tampoco deben superarse los 4,2V durante la carga, ya que en tal caso se dañaría la batería. En el caso de asociaciones en serie, la tensión mínima de descarga será proporcional al número de celdas.
- Capacidad: Indica la cantidad de energía que puede llegar a almacenar nuestra batería, medida en miliamperios hora (mAh). A mayor valor, mayor duración, aunque también habrá que tener en cuenta que, a mayor valor, mayor peso.
- Coeficiente de carga: No confundir con el anterior. También se expresa como múltiplo de la capacidad, para ver a la intensidad máxima a la que podremos cargar nuestra batería bastará con multiplicar el coeficiente de carga por la capacidad.

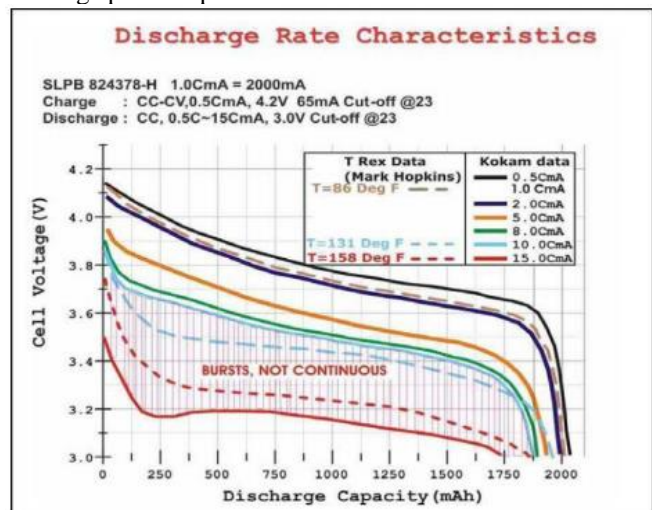


Figura 4. Curva de descarga de una batería de litio de varias celdas. Fuente: Run Rider RC[5]

Ventajas Li-ion:

- Presentan aproximadamente el doble de capacidad con la mitad de peso que otras baterías como la de NiCd o la de NiMH.
- Mantienen la carga durante un periodo de tiempo mayor que las anteriores cuando no se está usando.
- No presentan efecto memoria como las baterías de NiCd.
- El coste de fabricación es mucho menor que las anteriores.
- Funcionan bien en aplicaciones de elevada demanda de corriente.

2.3 Diagramas y Ensamble

Conexión - Las baterías se conectaron en bloques de tres (3) celdas en serie 3.7 voltios, 5800mA. Max Voltaje 4.2v.

Un circuito serie es aquel en el que el terminal de salida de un dispositivo se conecta a la terminal de entrada del dispositivo siguiente.

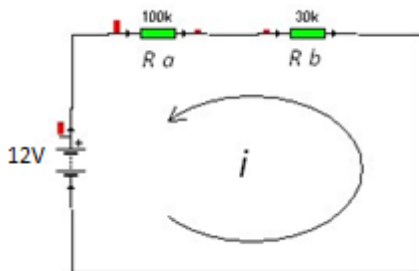


Diagrama No. 1, Conexión en serie. Fuente: <https://sites.google.com/site/electronicadesdecero/tutoriales/circuitos-serie-y-paralelo>

$$V_{Total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

La tensión total = a la suma de todas las fuentes conectadas en serie.

Conexión en serie:



Imagen 1. Conexión en serie de tres (3) celdas. Fuente: Autores.

El total de bloques en series es de trece (13).

Conexión en paralelo:

Un circuito paralelo es aquel en el que los terminales de entrada de sus componentes están conectados entre sí, lo mismo ocurre con los terminales de salida.

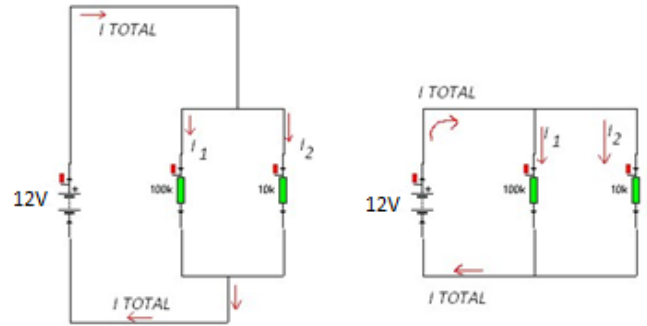


Diagrama No. 2, Conexión en paralelo. Fuente: <https://sites.google.com/site/electronicadesdecero/tutoriales/circuitos-serie-y-paralelo>

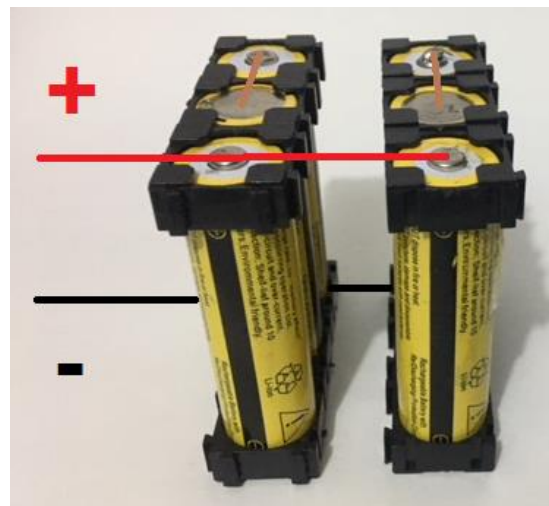


Imagen 2. Conexión en paralelo. Fuente: Autores. Conexión: Los bloques en serie (13), se conectaron en paralelo.

Conexión mixta: [7]

Un circuito mixto es lo que nos encontraremos en la realidad, y se trata de una mezcla de circuito serie y paralelo.

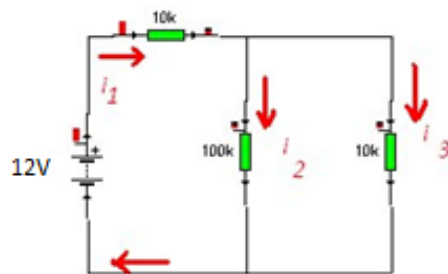


Diagrama No. 3, Conexión mixta. Fuente: <https://sites.google.com/site/electronicadesdecero/tutoriales/circuitos-serie-y-paralelo>



Imagen 3. Bloque de 13 celdas, 3 en serie. Fuente: Autores.

Resultado real: Voltaje 11.76 v, Amperaje 5800mAh. Vatios 68.20Wh

3. RESULTADOS

En el diagrama 4, se muestra la conexión mixta serie-paralelo del paquete de baterías. La conexión está conformada por (3) tres pilas, conectadas en serie para aumentar el voltaje y 1 paquete de 13 pilas, para aumentar la corriente.

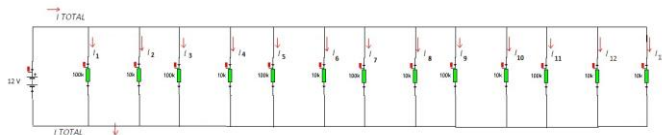


Diagrama No. 4, Conexión 13 celdas. Fuente: Autores

Se han tomado tres resultados parciales del ensamble propuesto obteniendo los resultados finales así:

$$\text{Potencia} = \text{voltaje} * \text{corriente}$$

$$\text{Potencia} = 11.76\text{V} * 75.4\text{Ah}$$

$$\text{Potencia} = 886.70 \text{ Wh}$$

Resultado 1: Voltaje 11.1 v, Amperaje 75.4 Ah. Vatios totales 836.94Wh

Resultado 2: Voltaje 11.76 v, Amperaje 75.4Ah. Vatios totales 886.70Wh - real.

Resultado 3: Voltaje 12.6 v, Amperaje 75,4Ah. Vatios totales 950.04Wh

Especificaciones de la Batería resultante (Resultado 2):

Capacidad:75400mAh/75.4Ah

Voltage:11.76V

Química: Li-ion

Tamaño: 26cm(Largo) x 9cm(Alto)

Peso total: 2350 gramos

Almacenamiento total en vatios: 886.70Wh

Prueba y Resultado

Prueba 1: Se conectó y se puso en funcionamiento un televisor de 51 pulgadas con las siguientes características:

Plasma Display, Type No.: PL51F4500, AC 100 – 240 V – 50/60Hz 216Wh.

Model code: PL51F4500AKXZL, Version No. US02.

El inversor utilizado POWER INVERTER, model:JP:500W, input:12VDC, output:110VAC.



Imagen 4. Power inverter 500W. Fuente: Autores.

Resultados Obtenidos: El televisor duro 3 horas y 30 minutos funcionando. El inversor con la proyección de voltaje bajo, cerro el circuito en 10.5V.

$$\text{Consumo} = \text{potencia} * \text{tiempo}$$

$$\text{Consumo} = 216\text{Wh} * 3.3 \text{ h}$$

$$\text{Consumo} = 712.8 \text{ wh} = 0.7128 \text{ KWh}$$

4. CONCLUSIONES

Una vez terminado y probado el proyecto - Diseño de baterías reciclables-recargables para el almacenamiento de energía de solución solar fotovoltaica con celdas Li-ion, se concluye lo siguiente:

- El diseño y ensamble de las celdas recargables fue exitoso, ya que el uso de las 39 celdas de Li-ion 18650, conectadas en forma mixta arrojó los voltajes y amperajes esperados.
- El peso total de la batería, celdas, soldadura, alambre, cinta, empaque, cables estuvo en 2300 gramos.
- Se obtuvo para su tamaño y peso un almacenamiento de 886.70 Wh real.
- El voltaje máximo utilizado en las pruebas de funcionamiento fue de 12,6V el mismo que disminuyó a 10.5V cuando el inversor cerró el circuito.
- Se logró el objetivo de tamaño y peso en comparación a una batería sellada Fuli Battery 12V-100AH Dimensiones 12v 100ah: 330 x 172 x 222 mm Peso: 31.5 Kg, de vatios totales 1200Wh.

Referencias

- [1] Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2008. Actualizado: 2012. Definición. De: Definición de batería (<https://definicion.de/bateria/>).

- [2] «Wikipedia,» [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery#Working_principle.
- [3] "Tesla Motors - Premium Electric Vehicles". Tesla Motors. Retrieved 2015-04-12
- [4] Tesla © 2018 - Meet Powerwall, your home battery.". Tesla Motors. Retrieved 2018-04-02.
- [5] «Hooked on RC airplanes,» [En línea]. Available: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/what-is-alipo-battery.html>. [ultimo acceso: 04/03/2017].
- [6] «Run Rider RC,» [En línea]. Available: <http://rc.runryder.com/helicopter/t438903p1/>. [ultimo acceso: 04/03/2017].
- [7] www.mpptsolar.com, Conexión en serie y en paralelo de varias baterías, 2011 [En línea]. Available: <http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>, [ultimo acceso: 02/03/2017].