

Baterías de los vehículos eléctricos Tesla

para estudiantes



Funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



STEP AHEAD II

The support of Professional development of VET teachers and
trainers in following of New trends in Automotive Industry
Automotive Innovation & Teacher training Academy
2018-1-SK01-KA202-046334

Baterías de los vehículos eléctricos Tesla

Objetivo de la Unidad Didáctica:

Adquirir conocimientos sobre la constitución y funciones de las celdas de las baterías de los vehículos eléctricos

ANEXO 1



Esta imagen está disponible bajo la licencia [Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (Procedencia 2019-11-15 [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tesla_Model_S_\(Facelift_ab_04-2016\)_trimmed.jpg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tesla_Model_S_(Facelift_ab_04-2016)_trimmed.jpg))

Baterías Tesla

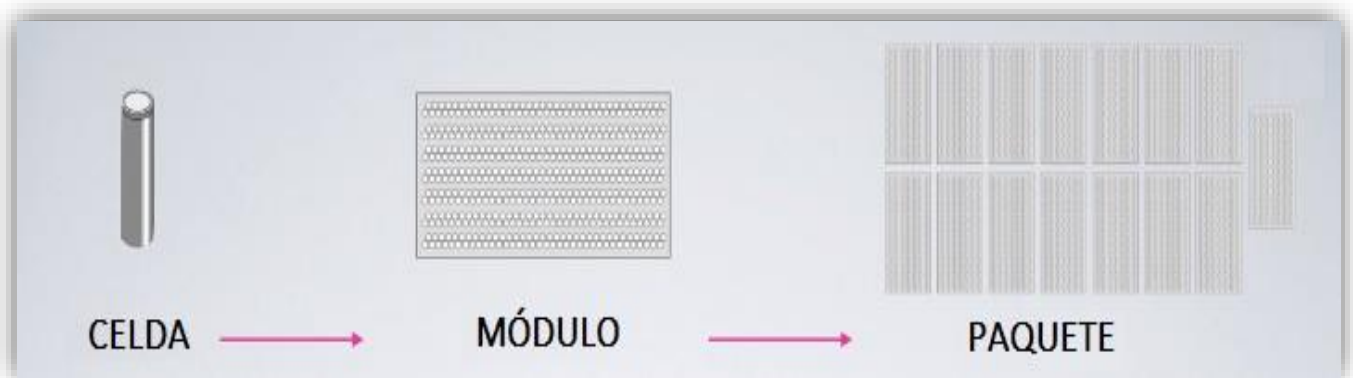
Introducción

Tesla es una compañía estadounidense ubicada en Silicon Valley (California), liderada por Elon Musk que diseña, fabrica y vende coches eléctricos.

Tesla se fundó para acelerar la transición hacia el transporte sostenible con el objetivo de combatir el calentamiento global y reducir las muertes por contaminación.

El núcleo de la compañía está en la ingeniería del sistema de propulsión del vehículo eléctrico, el cual incluye: paquete de baterías, motor, electrónica de potencia, y software de control.

En esta Unidad de Aprendizaje nos vamos a centrar en el paquete de baterías, desarrollando las tres partes que lo componen. Exploraremos la química y el formato de las celdas. También examinaremos la eficiencia de empaquetado en módulos, así como su diseño. Y para terminar nos adentraremos en cómo se integran estos en paquetes de baterías.



Tesla afirma tener la batería con mayor densidad de energía del mercado, así como el menor costo por kilovatio/hora (en adelante, kWh).

Para comprobar hasta qué punto es cierta esta afirmación, a continuación explicaremos las distintas partes de una batería Tesla, así como sus características y funcionamiento.

Celdas

Para comenzar hablaremos de las celdas, principal componente de estas baterías.

Tipos

Las celdas vienen en tres formatos diferentes: celdas cilíndricas, prismáticas y de cartucho.



Celdas cilíndricas Tesla Model S

Cilíndricas: Estas celdas se fabrican enrollando los materiales de los electrodos e insertándolos en una cápsula cilíndrica de aluminio.

Las celdas cilíndricas son la opción de menor coste, porque se producen en cantidades enormes con tamaños estandarizados, por lo que su fabricación es más barata que las celdas prismáticas o las de cartucho.

Al existir varias compañías diferentes produciendo este tipo de celda con tamaño estándar desde la primera aplicación comercial de las baterías Ion-litio (en 1991 por parte de la empresa Sony) el proceso de fabricación y el diseño interno de las celdas están muy optimizados. Este diseño altamente mejorado reduce los componentes no activos, es decir, aquellos que no combinan directamente el almacenamiento de energía con la minimización del espacio que no se utiliza para almacenarla. Por tanto, las celdas cilíndricas suelen tener la mayor densidad de energía volumétrica.

Sin embargo, no todo es positivo, pues estas celdas son difíciles de enfriar y este problema significa una reducción del rendimiento o un acortamiento de la vida de la celda. Además, las celdas cilíndricas presentan otro inconveniente, y es que, geoméricamente hablando, las celdas cilíndricas no se empaquetan idealmente en módulos de baterías con forma de cuboides.

Prismáticas: Vienen en varias configuraciones. Sin embargo, las celdas prismáticas automotrices tienen forma de cuboides para encajar mejor en un módulo.



Celdas prismáticas Samsung de 94Ah y 37Ah.

Internamente contienen una cantidad de devanados similar a los de las celdas cilíndricas que posteriormente se comprimen para ajustarse al volumen interno de la celda.

Las celdas prismáticas, transfieren cierta complejidad de diseño al fabricante de las mismas, pero facilitan las cosas para el constructor de automóviles ya que se adaptan fácilmente en módulos, y son relativamente fáciles de refrigerar gracias a su geometría tanto interna como externa, que ayuda a la transferencia de calor. Fabricantes como BMW las monta en las baterías altamente automatizadas de modelos como el i3.

Aunque los terminales de celdas de mayor tamaño ayudan a reducir la resistencia y permiten más transferencia de calor, ambas agregan humedad, lo que a su vez reduce la densidad de energía a nivel de celda. Además, como estamos comprimiendo los múltiples cilindros alrededor de dos electrodos, la compresión no es igual en todos los puntos, lo que conlleva algunos problemas con la vida útil después de ciclos repetidos de carga y descarga.

Las celdas prismáticas también tienden a ser de alta capacidad para mantener el material inactivo al mínimo, de ahí que el BMW i3 de 2016 use celdas prismáticas de 94Ah o que el Volkswagen eGolf de 2017 monte de 37Ah, datos que resaltan al compararlos con los 3,4Ah de las celdas que utiliza Tesla. Esto limita la capacidad final de los fabricantes para ofrecer paquetes de baterías de múltiples tamaños.

Cartucho: Estas celdas utilizan electrodos apilados y separadores que luego se insertan en un laminado de y polímero.



Celda de cartucho

Las celdas de cartucho ofrecen un alto grado de flexibilidad de diseño, ya que a menudo se pueden escalar a múltiples tamaños y el fabricante puede modificar fácilmente la capacidad, agregando o quitando capas.

Muchos fabricantes de baterías ofrecen este tipo de celdas porque su densidad de energía gravimétrica es competitiva comparada con la de las celdas cilíndricas. La energía gravimétrica es la cantidad de energía que almacena la batería por cada kilo que pesa, esto es, cuanto más alto es su valor significa que tenemos, en una batería con un determinado peso, más capacidad, autonomía y por tanto potencia; o bien en una batería de la misma capacidad conseguimos un menor peso y esto también es muy importante

La principal desventaja de estas celdas es que son mucho más complejas de integrarse en módulos. También su refrigeración necesita un control muy cuidadoso.

FORMATO DE LAS CELDAS

Cilíndricas



- ✓ Opción de menor coste
- ✓ Proceso de fabricación altamente optimizado
- ✓ Máximo nivel de eficiencia
- ✗ Difícil de refrigerar
- ✗ Eficiencia de empaquetado en módulos

Usadas por:

Tesla, Lucid, Faraday

Prismáticas



- ✓ Proceso de fabricación simple y de menor costo
- ✓ Fácil de refrigerar
- ✗ Densidad de energía pobre
- ✗ Retos en el ciclo de vida
- ✗ Tamaños limitados y con poca flexibilidad

Usadas por:

BMW, Volkswagen

Cartucho



- ✓ Mayor flexibilidad de diseño
- ✓ Mayor flexibilidad en la capacidad
- ✓ Amplia selección de proveedores
- ✗ Pobre contención mecánica
- ✗ Buen control de compresión requerido

Usadas por:

Chevrolet, Nissan, Renault

¿Qué celdas utiliza Tesla?



Tesla Model S.

Tesla utiliza celdas cilíndricas, y contestando a la pregunta de por qué decidió montarlas en el paquete de baterías del *Model S*, la respuesta es sencilla.

Las celdas cilíndricas ofrecían la mayor densidad de energía por celda. También cabe destacar que por aquel entonces las celdas cilíndricas se producían ya en grandes cantidades para la electrónica portátil. Esto significaba que las celdas tenían el menor coste por kWh, lo que se traducía en una reducción en la inversión de capital inicial, lo cual es de vital importancia para una empresa joven con capital limitado a su disposición.

Como el coste de estas celdas sigue siendo el más bajo de los tres formatos, éstas siguen siendo el foco de modelos nuevos de Tesla como el Model 3 o de la mega-factoría de hoy en día.

Antes del ***Model S*** se necesitaron paquetes de baterías grandes que generaban gran cantidad de potencia. Sin embargo, estos eran muy caros y era necesario que el automóvil eléctrico fuese más accesible para la mayoría de clientes.

Para hacer que un paquete de baterías sea extensible a múltiples capacidades, es necesario tener celdas de pequeña capacidad, donde un gran número de ellas estén conectadas en paralelo.

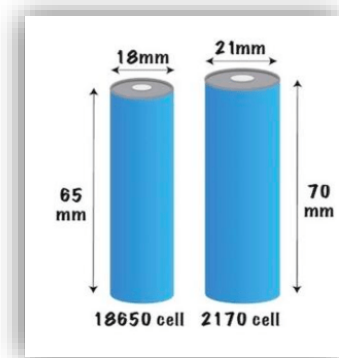


BMW i3 con celdas de 94Ah prismáticas.

Consideremos por un momento el BMW i3. Este vehículo usa celdas prismáticas muy grandes de Samsung, de 94Ah, todas conectadas en serie para formar un paquete de baterías de 33kWh. Para ofrecer un paquete de por ejemplo, 45 kWh, no podemos simplemente agregar celdas en serie, el voltaje cambiaría, por lo que el BMS (Sistema de Administración de Baterías, por sus siglas en Inglés) y el inversor deberían modificarse. Si por el contrario agregamos una cadena de celdas en paralelo, duplicaríamos el número de celdas, que aumentaría la capacidad del paquete a 66 kWh pero este no cabría dentro del chasis del vehículo.

Al usar celdas de pequeña capacidad y cambiar el número de celdas en paralelo, Tesla tiene mayor flexibilidad, el paquete de baterías de 100kWh es de 96 celdas en serie y 86 en paralelo, la batería de 75kWh tiene 86 celdas en serie y 63 en paralelo.

Dentro de las celdas cilíndricas que utiliza Tesla, hay dos tipos: las 18 650, que monta en modelos como el *Model S* y el *Model X*; y las 21 700 que usa en el *Model 3*. Ambos tipos fabricados por Panasonic.



Tamaño de las celdas 18 650 y 21 700.

Las celdas 18 650 tienen esta nomenclatura por tener un diámetro de 18mm y una longitud de 65mm. De igual modo, las 21 700 tienen un diámetro de 21mm y 70mm de largo. Esta longitud adicional, además del mayor diámetro, da como resultado un incremento del 33% de material activo para almacenar energía dentro de la celda.

Una celda 18 650 tiene una capacidad de 3,4Ah o 12,4Wh y una tensión nominal de 3,66V. La resistencia varía con el estado de la carga y con la temperatura, pero generalmente es de alrededor de 30mΩ.

Dando un volumen a la celda de 16mL y una masa de 49gr, la celda tiene una impresionante densidad de energía de 254Wh por Kg o 755Wh por L.



Composición de una celda NCA

Si miramos dentro de una celda 18 650, a la vista quedan las diferentes capas de la batería, la cual tiene el cátodo compuesto por un 80% de níquel (Ni), un 15% de cobalto (Co), un 4% aproximado de aluminio (Al) y menos de un 1% de litio (Li). El ánodo, por su parte, está compuesto por grafito

aunque hay una fuerte tendencia a sustituirlo por silicio, de lo que hablaremos más adelante. El electrolito es una solución de Li y el resto de componentes son de Al y cobre (en adelante Cu). Ambos, ánodo y cátodo son dos láminas enrolladas entre sí para ocupar el mínimo volumen posible. A este rollo, Tesla lo llama *Jelly Roll*.

Por la parte del terminal positivo, hay un compuesto de fibra de carbono que mantiene el *Jelly Roll* en su lugar, que sea de fibra de carbono no es por otro motivo que el de reducir el peso de la celda en una pequeña cantidad, lo que al considerar un número muy elevado de celdas, como ocurre en un paquete completo, se traduce en una reducción de peso considerable ayudando así a la densidad de energía de la batería.

El terminal positivo también dispone de tres orificios de ventilación, que ayudan a liberar presión en caso de un cambio de altitud o de un fallo interno de la celda. También dispone de una junta tórica para dar estanqueidad a la celda.

Al desenrollar el *Jelly Roll*, podemos ver las láminas del ánodo y cátodo anteriormente mencionadas, separadas por otra lámina de plástico que sirve de aislante entre ellas. Miden aproximadamente 1m de largo por 60mm de ancho.

Cabe destacar que en la lámina de Li es en la que está el potencial de estas baterías, pero también guarda un problema, y es que es altamente inflamable. Para solucionar este problema, algunos fabricantes aplican un retardante de llama entre las capas. Esto provoca otro inconveniente, y es que aumenta el material inactivo dentro de la celda, lo cual es contrario a lo que busca Tesla, junto con Panasonic, que centran su investigación en fabricar estas láminas mucho más finas manteniendo su capacidad de almacenar energía con materiales como el grafeno.

Continuando con la química de la celda, los principales fabricantes de vehículos eléctricos utilizan actualmente cátodos de óxido de Co y níquel-manganeso o NMC.

Sin embargo Tesla utiliza como anteriormente hemos dicho, celdas $\text{LiNi}_x\text{Co}_x\text{Al}_x\text{O}_2$ también denominadas NCA. Estas son similares a las NMC pero usan Al en lugar de manganeso para estabilizar la estructura cristalina del óxido de Li.

Las NCA tienen una capacidad de energía mayor, sin embargo, éstas entrarán en escape térmico a una temperatura más baja. Por eso solo se consideran apropiadas para celdas pequeñas de máximo 6A de potencia. Por ello vehículos como el Nissan Leaf, Renault Zoe o el BMW i3 usan NMC.

Como hemos mencionado anteriormente, el ánodo de casi todas las baterías de Ion-Li está formado de grafito, pero hay un fuerte deseo de transición al Si ya que tiene mayor capacidad de almacenamiento.

En cada generación de celda, Tesla ha aumentado la cantidad de Si en el ánodo, por lo que es casi seguro que la celda 21 700 en el *Model 3* tenga más cantidad aun de Si que la actual 18 650.

APUNTES:



Las opiniones e informaciones vertidas en este documento son responsabilidad de los socios del proyecto 'Un paso adelante II y en ningún caso representan aquellas de la UE.