

## La seguridad en la carga de vehículos eléctricos

El pasado 6 de Agosto, The Washington Post nos da cuenta de un incendio provocado por la carga de un Tesla modelo S.

(<https://www.washingtonpost.com/technology/2021/08/04/tesla-fire/>).

La reproducción parcial del artículo nos cuenta que “*El suceso ocurrió el año pasado, pero no trascendió hasta hace poco. Los propietarios, Yogi y Carolyn Vindum, estaban ya durmiendo cuando el coche emitió una alerta de que la carga se había interrumpido. La pareja no se despertó hasta doce minutos después, cuando una alarma a todo volumen les avisó de que el vehículo se había incendiado. Las llamas ya se habían extendido a otro Tesla que había en el garaje y a otras partes de la casa. Una de las posibles causas del fuego fue un mal funcionamiento del sistema de gestión térmica del vehículo. El siniestro se suma a otros ejemplos recientes de los peligros que puede entrañar dejar a los coches eléctricos cargándose sin supervisión durante toda la noche*”. Dejando de lado la posibilidad de que este artículo sea uno más de la saga de desprestigio de la movilidad eléctrica, en especial de Tesla Motors, ya que se han dado incendios por siniestros de vehículos en carreteras, son de especial atención los ocurridos durante la carga de los mismos. Lo que amerita realizar una serie de consideraciones al respecto.

A falta de la posibilidad de realizar u obtener una pericia de lo ocurrido, vamos a transitar el camino de lo general a lo particular con el fin aclarar ciertas cuestiones técnicas que sirvan tanto para este caso como para cualquier otro.

### La batería de Litio

Es un dispositivo conformado por celdas diseñado para el almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.

Todas ellas tienen en común su estructura interna, formadas por los siguientes elementos:

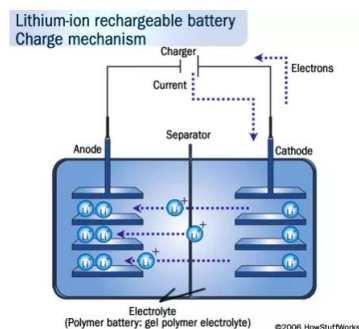
**Ánodo** (electrodo positivo): está fabricado en óxido de litio cobalto (o de litio fosfato,

litio magnesio...).

**Cátodo** (electrodo negativo): está fabricado generalmente de grafito.

**Separador**: es una lámina polímero que separa los electrodos.

**Electrolito**: solvente orgánico en el que se sumergen el ánodo, el cátodo y el separador.



Las diferentes combinaciones de baterías de litio tienen un común denominador, inherente a su conformación y funcionamiento, que es “**la fuga térmica o embalamiento térmico**”. Este fenómeno puede ocurrir tanto en la carga como en la descarga del dispositivo. Por eso la temperatura es un factor crucial ya no solo para un buen desempeño sino también por seguridad.

A modo de ejemplo doméstico, todos hemos experimentado el aumento de temperatura en la parte de atrás del teléfono móvil cuando hemos estado utilizándolo por mucho tiempo. Poniendo en evidencia, tanto en carga como descarga, un proceso exotérmico dentro de la batería. Si ese aumento de temperatura no se controla convenientemente, ocurre lo siguiente:



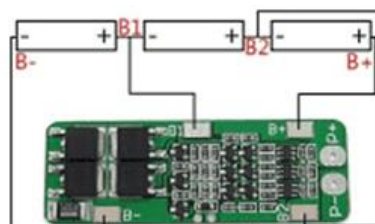
### Sistemas de seguridad de las baterías de litio

Toda batería de litio debe tener un sistema de control y seguridad. La profundidad del sistema aludido depende directamente de la potencia a transferir, ya sea en la carga o descarga, y esa potencia depende del tamaño de la batería. Dicho sistema se trata de un *BMS* o Battery Management System (Sistema de Gestión de Baterías), que es un sistema electrónico generalmente microprocesado.

Sus funciones esenciales de control son, por ejemplo para una batería de fosfato de hierro y litio ( $\text{LiFePO}_4$ ): 1. Desconectar o apagar la carga cuando la tensión de una celda de la batería cae por debajo de 2,5V. 2. Detener el proceso de carga cuando la tensión de una celda de la batería sube por encima de 4,2V. 3. Apagar el sistema si la temperatura de una celda excede los 50°C.

Además de equilibrar las celdas:

- Evitará la subtensión en las celdas desconectando la carga cuando sea necesario.
- Evitará la sobretensión en las celdas reduciendo la corriente de carga o deteniendo el proceso de carga.
- *Desconectará el sistema en caso de sobrecalentamiento.*



Ejemplo de un esquema básico

Además de mostrar a través de un display independiente o incorporado al tablero del vehículo todos los parámetros eléctricos de la batería. Para llevar a cabo dicha tarea deben ser permanentemente monitoreados en tiempo real cada uno de los componentes. El BMS está vinculado con el resto del vehículo y eventualmente con el exterior (en la carga) a través de una red CAN. CAN (Controller Area Network) es un protocolo de comunicaciones desarrollado por la firma alemana Robert Bosch GmbH, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos. La misma ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples CPUs (unidades centrales de proceso).

Cuando el vehículo está funcionando, el BMS monitorea el suministro de energía al sistema eléctrico de tracción y eventualmente ante el freno regenerativo monitorea la energía, que en función del estado de carga y de la energía generada, la batería puede aceptar.

Ahora bien, cuando es necesario cargar la batería, el vehículo ya deja de ser un elemento aislado para vincularse con otro elemento externo (puesto de carga de energía eléctrica). El cual, según el nivel de carga, no solo transfiere energía sino que además mantiene una comunicación de ida y vuelta entre el vehículo y el puesto de carga.

Para que un sistema de carga energice la batería de un vehículo, debe haber no solo un punto de conexión física común sino además un “acuerdo” realizado entre el sistema de gestión de baterías del vehículo y el cargador. Si esa vinculación es exitosa el BMS comunica los parámetros importantes de la batería al cargador, como el estado de carga, la capacidad de energía, las condiciones ambientales y otros datos que son críticos para la seguridad. La conexión y la comunicación entre un vehículo y el cargador se basarán en una entrada-salida común y un idioma que ambos hablan con fluidez, conocido como *protocolo de comunicación*.

Los vehículos eléctricos se pueden cargar de tres maneras:

*Recarga convencional:* se utiliza un enchufe normal de 16 amperios con una potencia desde los 3,6 kW hasta los 7,4 kW de potencia. La batería del coche estará cargada en unas 8 horas o más. Utilizado en el garaje doméstico durante la noche.

*Recarga semi-rápida:* utiliza un enchufe especial de 32 amperios (su potencia varía desde los 11 kW hasta los 22 kW). La batería se recarga en unas 4 horas.

*Recarga rápida:* su potencia puede superar los 50 kW. Se alcanza un 80% de la carga en 30 minutos. Para este tipo de recarga se necesita adaptar la red eléctrica existente, ya que exige un nivel de potencia muy alto.

Los tipos de conectores que tienen los coches eléctricos son:

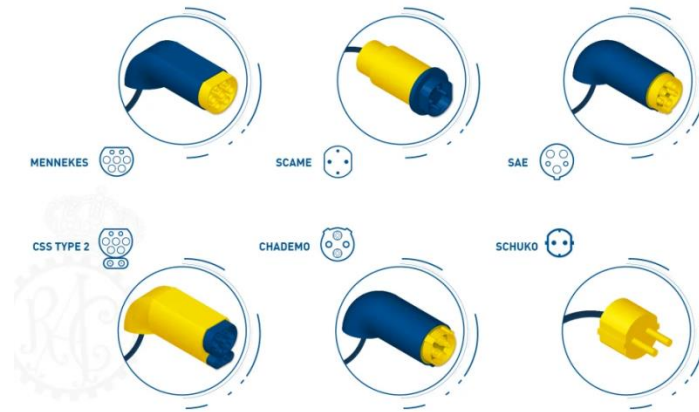
*Schuko* para enchufes domésticos.

*Conector norteamericano SAE J1772* o Yazaki.

*Conector Mennekes:* junto con el Schuko es el que más se ven en los puntos de Europa.

Los *conectores combinados o CCS* utilizados por norteamericanos y alemanes.

*Conector CHAdeMO*, que utilizan los fabricantes japoneses para la recarga rápida en corriente continua.



### Los modos de carga de los coches eléctricos

Los modos de carga sirven para que la infraestructura de recarga y el coche eléctrico estén comunicados. Gracias a este intercambio de información se puede conocer la potencia a la que se va a cargar la batería del auto o cuándo hay que interrumpir la carga si hay algún problema, entre otros parámetros.

*Modo 1:* utiliza el conector Schuko y no hay ningún tipo de comunicación entre la infraestructura de carga y el vehículo. Simplemente, el coche empieza a cargar al conectarse a la red eléctrica y una vez cargada la batería, el BMS del vehículo corta el suministro (como los teléfonos móviles, notebooks, tablets, etc.)

*Modo 2:* también utiliza el enchufe Schuko, con la diferencia de que en este modo ya hay una pequeña comunicación entre la infraestructura y el coche que permite comprobar si el cable está bien conectado para comenzar la carga.

*Modo 3:* Conector más complejo Mennekes. La comunicación entre la red y el coche aumenta y el intercambio de datos es mayor, por lo que se pueden controlar más parámetros del proceso de carga como el tiempo en el que la batería estará al cien por cien.

*Modo 4:* tiene el nivel de comunicación más alto de los cuatro modos. Permite obtener, a través de un conector Mennekes o ChadeMo, cualquier tipo de información sobre cómo se está realizando la carga de la batería. Es sólo en este modo cuando se puede realizar la carga rápida, al convertirse la corriente alterna en corriente continua.

Todo bajo la norma IEC 62196, que es un estándar internacional para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de recarga (en especial, la rápida) para vehículos eléctricos y que se sustenta técnicamente por la Comisión Electrotécnica Internacional. IEC 61851-23 para el sistema de carga y el estándar IEC 61851-24 para la comunicación

### Banco de baterías del Tesla modelo S y niveles de carga

El paquete de baterías es plano y está en el piso del coche, entre los ejes. Proporciona 400 Voltios en corriente continua. Está formado por baterías de iones de litio sumando una capacidad de 70 kWh, 85 kWh, 90 kWh o 100 kWh según versiones. Está refrigerado por líquido para evitar su sobrecalentamiento y para optimizar su funcionamiento.

La energía específica del paquete, incluyendo las celdas, la carcasa, electrónica y refrigeración, es de 156 Wh/kg. El paquete está formado por baterías individuales (celdas) de iones de litio Panasonic NCR18650B, voltaje nominal de 3.6 V y 3.2Ah de capacidad cada una.

La siguiente tabla nos muestra las especificaciones técnicas de la batería Panasonic NCR18650B:

#### Specifications

Rated capacity <sup>(1)</sup>	Min. 3200mAh
Capacity <sup>(2)</sup>	Min. 3250mAh Typ. 3350mAh
Nominal voltage	3.6V
Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs
Weight (max.)	48.5 g
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C
Energy density <sup>(3)</sup>	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg

<sup>(1)</sup> At 20°C <sup>(2)</sup> At 25°C <sup>(3)</sup> Energy density based on bare cell dimensions



La capacidad nominal de la celda es de 3.200 mAh, medida a una temperatura de 20°C. Si se mide a 25°C, esta capacidad aumenta hasta los 3.250 mAh. Un aumento insignificante, que ya nos avisa de cómo afecta la temperatura a este tipo de baterías.

La tensión nominal es de 3,6 V, este es un dato medio, ya que la tensión de la celda varía en función de su estado de carga. Con la celda descargada estará en torno a los 3 V y con ella cargada entorno a los 4,2 V.

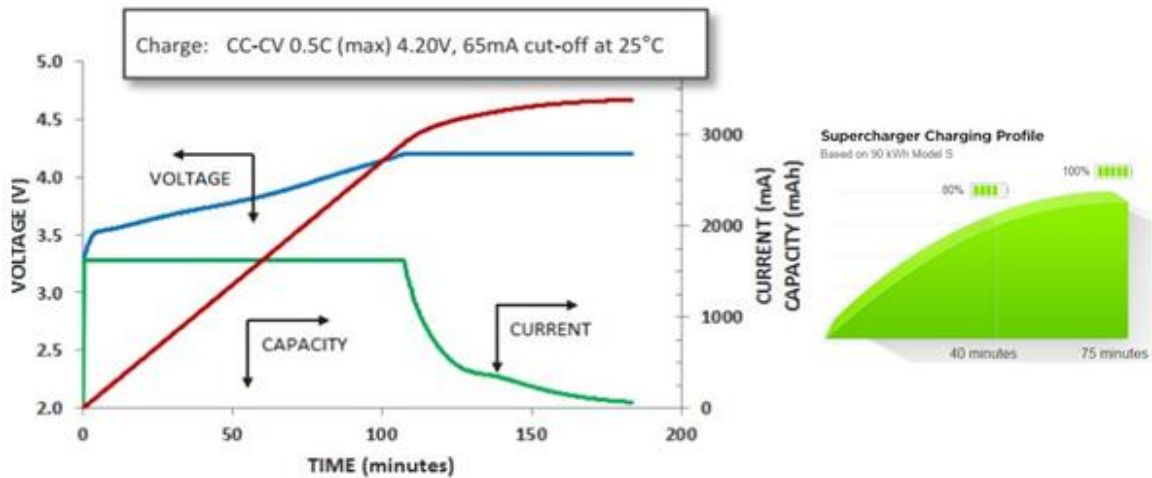
Panasonic recomienda cargar la celda a una intensidad de 1625 mA, lo que nos da una tasa de carga de 0,5 C. Además, a temperaturas por debajo de los 10°C, Panasonic recomienda cargar la batería a 0,25 C. Estos datos nos muestran que, al menos sobre el papel, la recarga rápida no es la mejor forma de cargar las baterías del Modelo S.

Algunos Supercargadores alcanzan los 135 kW de potencia, lo que nos daría una tasa de carga de 1,5 C para la versión de 90 kWh.

C significa que la máxima tasa de carga/descarga a la que puede llegar es a la que se corresponde a su capacidad. Por ejemplo: Una batería de 1000mAh, 1C se descargaría a 1A (amperio) en una hora.

La siguiente figura muestra las características de carga de la batería Panasonic NCR18650B:

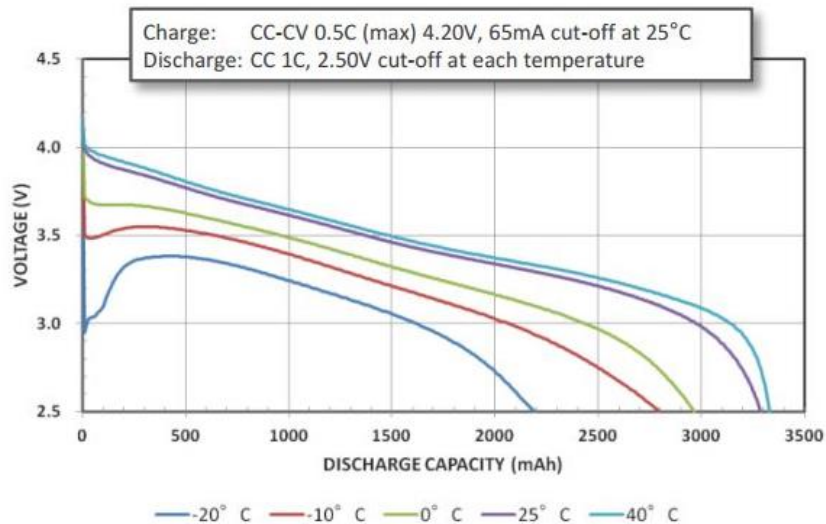
### Charge Characteristics



En este gráfico, lo más relevante es el valor de la corriente, la línea verde. Se puede comprobar cómo según va subiendo la tensión (línea roja) de la celda (es decir, su estado de carga), llega un momento en la que la corriente se reduce drásticamente. Esto explica por qué Tesla anuncia que sus Supercargadores cargan de 0 al 80% en solo 40 minutos, pero necesitan 75 minutos para llegar al 100%.

El siguiente gráfico muestra la capacidad de la batería en función de la temperatura.

### Discharge Characteristics (by temperature)



La temperatura afecta de manera negativa a las baterías. Cuanto más baja es la temperatura, más afectada se ve la capacidad de la batería. Se puede ver claramente como para una temperatura de -20°C, la capacidad de la batería es de apenas 2.200 mAh, mientras que a 40°C la capacidad se eleva hasta los 3.300 mAh.

Por ejemplo: el paquete de 85 kWh contiene 7104 baterías agrupadas en 16 módulos monitoreados por un complejo BMS. El sistema de refrigeración trata de mantener la temperatura del banco de batería siempre por debajo de 35° C para conseguir una temperatura media de 25° C.

Para evitar los estados de carga muy altos o muy bajos el sistema de control no debería permitir superar el 95% de la carga máxima ni bajar del 2%. Si la temperatura exterior está por debajo de 0° C el sistema de control calentará el paquete de baterías antes de proceder a la recarga.

Los tiempos de recarga varían dependiendo del estado de carga, su capacidad total, el voltaje disponible y el amperaje de la corriente de recarga.

El cargador incorporado de 10 kW es compatible con 85-265 V, 45-65 Hz, 1-40 A.

Permite recargar hasta 50 km en una hora de recarga a 40 A. El cargador opcional de 20 kW aumenta la intensidad de la corriente de recarga hasta 80 A, recarga completamente la batería de 85 kWh en 5 horas. Los puntos de recarga rápida (superchargers) permiten recargar en 30 minutos lo suficiente para recorrer otros 257 km con la batería de 85 kWh.

En resumen: Cada nivel de carga ofrece diferentes velocidades de carga. Las diferentes configuraciones de Tesla tienen una potencia de carga máxima que pueden aceptar.

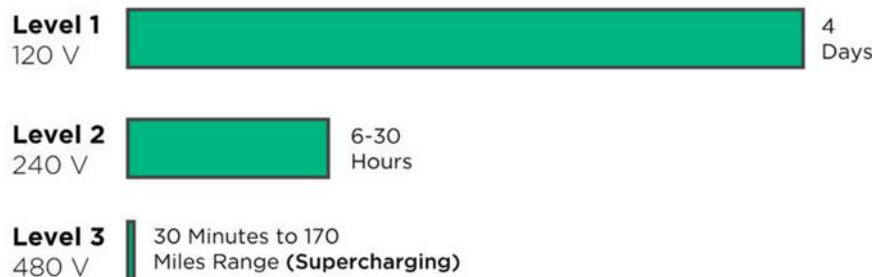
Hay 3 niveles de carga:

Monofásico: Level 1 (120 volt) charging

Trifásico: Level 2 (240 volt) charging

Level 3 (480 volt) Supercharging or DC fast charging

### Model S/X 100D Charge Times from Empty to Full



### Conclusiones

Para llegar a las causas que provocaron este incidente en particular, también es importante verificar los antecedentes de este modelo de coche. Lamentablemente desde que el modelo S salió a la venta en el año 2012, ha protagonizado ciertos hechos en los que el vehículo se ha incendiado de manera espontánea ya sea en carga, circulando o estacionado.

Por ejemplo: Según Tesla, en la investigación del coche estacionado e incendiado en Shanghai (21-04-2019), analizaron la batería, el software, los datos de fabricación y el historial del coche, donde afirman que no encontraron nada fuera de lo normal.

Como medida de seguridad adicional, Tesla envió una actualización de software vía OTA (Over the Air (por el aire)) a los Model S y Model X, la cual hace ajustes en la carga de las baterías y en la gestión térmica de los coches. Lo cierto es que los siniestros de este tipo no son frecuentes, pero no dejan de inquietar en la forma como se producen.

Concretamente en caso que nos ocupa, asumiendo que los dueños de casa, Yogi y Carolyn Vindum, habían hecho colocar un cargador para cada coche y que cada punto de carga se correspondía a las características técnicas del vehículo y a la instalación domiciliaria de acuerdo a todo lo que se desarrolló teóricamente más arriba.

Y considerando que las baterías/celdas Panasonic NCR18650B es una batería muy popular por su gran calidad y capacidad. Se utiliza también en el montaje de packs multibatería, para su uso en bicicletas eléctricas, patinetes eléctricos, segways, unidades de alimentación de altas prestaciones, etc. Sin presentar ningún tipo de inconvenientes.

No queda otra alternativa que considerar que la eventual anomalía se produce en el sistema de control de carga/descarga del pack de batería del vehículo. Daria la impresión que, en pos de obtener y mostrar un excelente rendimiento del vehículo, Tesla, trata de lograr tiempos de carga muy bajo, por lo que se permite que el sistema de monitoreo/detección/desconexión trabaje muy cerca del límite de temperatura de la batería con las consecuencias conocidas. El mismo debe, a través de algoritmos que se ejecutan en tiempo real, prever y desactivar una escalada térmica ya sea con el vehículo en carga, circulando o estacionado.

No hay un caso de un vehículo eléctrico comercial que se haya incendiado durante una carga lenta, por lo tanto, la velocidad de carga, los plazos de entrega de vehículos, los software de los diferentes sistemas de control internos y externos deben ser revisados o redefinidos para lograr la máxima seguridad posible.

Los fabricantes de automóviles y sus proveedores de baterías tendrán que ser extremadamente cuidadosos en la fabricación de vehículos eléctricos, si realmente se quiere transmitir seguridad a un mercado global que aún no se ha decidido a dar el salto a la movilidad cero emisiones. La compra y el uso de un vehículo eléctrico debe ser un motivo de satisfacción, no de preocupación o de pesadilla.

#### Bibliografía:

Electric Vehicle Charging Equipment Installation, The Institution of Engineering and Technology

<https://www.washingtonpost.com/technology/2021/08/04/tesla-fire/>

Electric Vehicle Technology- James Larminie

Ing. Ricardo Berizzo

Cátedra: Movilidad Eléctrica

U.T.N. Regional Rosario

2021.-