

# Las baterías

La clave del futuro del vehículo eléctrico es la batería recargable, a la que se ha dedicado un esfuerzo muy pequeño de investigación, en relación con otras tecnologías.

La capacidad de almacenamiento se ha duplicado cada diez años, cifra que palidece ante el desarrollo de la informática u otras tecnologías. Sólo en los últimos años, con el desarrollo de la telefonía móvil, se ha empezado a realizar inversiones importantes, aceleradas con la prevista generalización del automóvil eléctrico.

El coste de un vehículo eléctrico o de un híbrido enchufable depende de la batería en un porcentaje determinante. El tipo y la capacidad de la batería condicionan la velocidad máxima, la autonomía entre recargas, el tiempo de recarga y la duración de la batería. Los precios de las baterías se han reducido en los últimos años, y lo harán aún más a medida que aumente la demanda y se produzcan en grandes series.

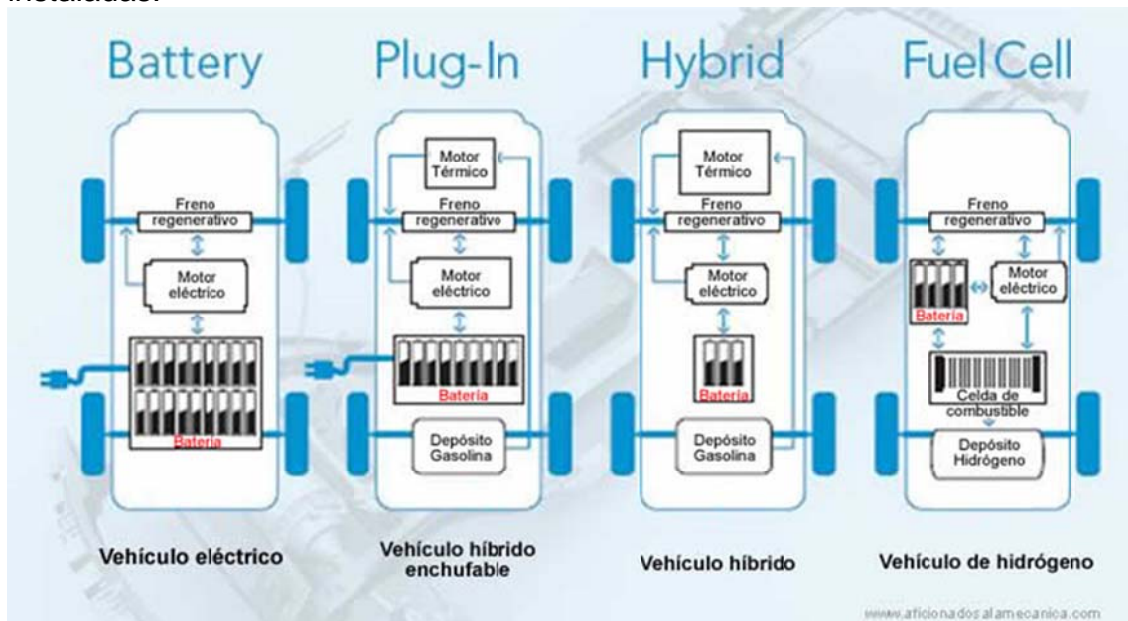
Desde los primeros automóviles eléctricos, en algo más de 100 años hemos visto una evolución de las baterías notable: desde las vetustas de plomo-ácido o níquel-hierro, hasta las actuales de iones de litio, se ha conseguido aumentar más de 12 veces la autonomía de un coche eléctrico.

Gracias al importante salto tecnológico que han dado las baterías en los últimos años, cada vez más fabricantes de automóviles se han animado a desarrollar nuevos modelos de coches eléctricos, con promesas bastante atractivas para los próximos años, con autonomías que se moverán entre los 400 y los 600 km.



Las baterías son las encargadas de almacenar, mediante reacciones electroquímicas de oxidación/reducción, y suministrar la energía eléctrica que este tipo de vehículo necesita para su funcionamiento.

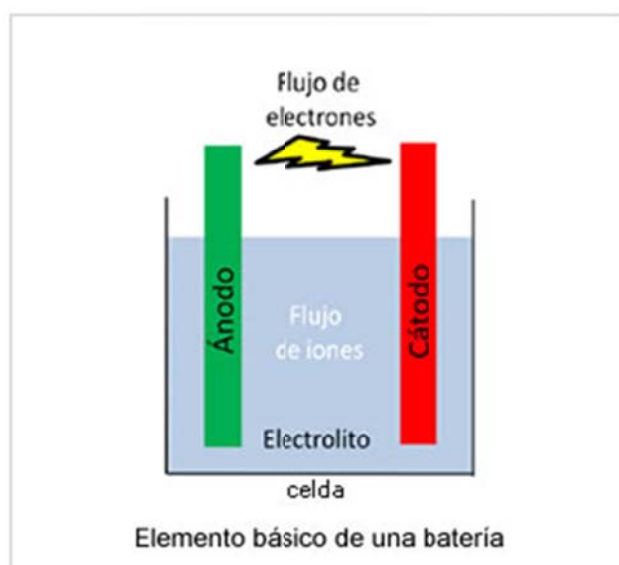
El tamaño de la batería dependerá del tipo del vehículo en el que están instaladas.



Las funciones principales de una batería de un vehículo eléctrico son:

- Almacenar electricidad, suministrada por la red eléctrica, a través del cargador de baterías.
- Suministrar al motor de tracción, la potencia y energía necesarias para el correcto movimiento del vehículo.
- Recibir energía del motor de tracción cuando se esté produciendo una frenada regenerativa.
- Mantener la estabilidad, garantizando la seguridad del vehículo, incluso en caso de accidente.

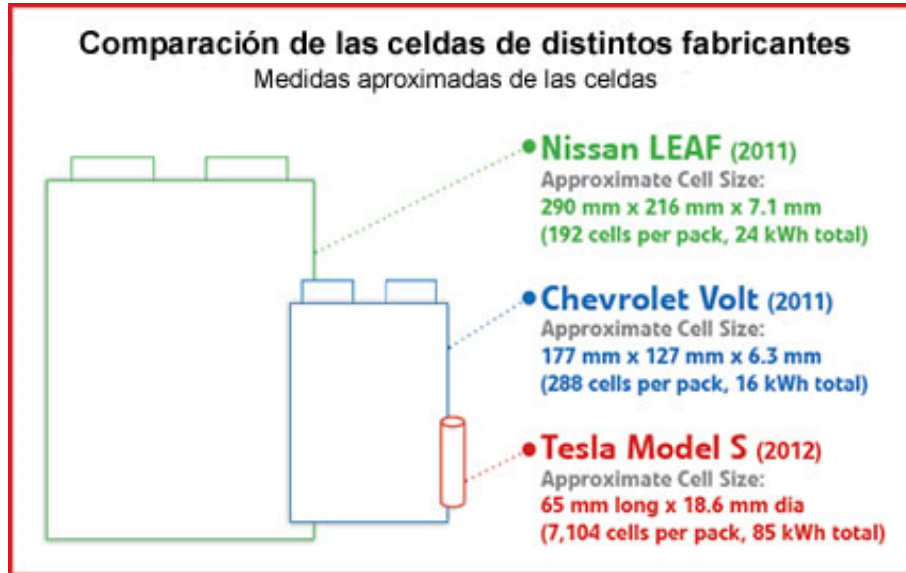
En general, una batería electroquímica es un dispositivo capaz de convertir energía eléctrica en energía química durante el proceso de carga, y convertir la energía química en energía eléctrica durante la descarga. Una batería se compone de un conjunto de celdas. Cada celda está compuesta por tres elementos: 2 electrodos (positivo o ánodo y negativo o cátodo) inmersos en un electrolito.



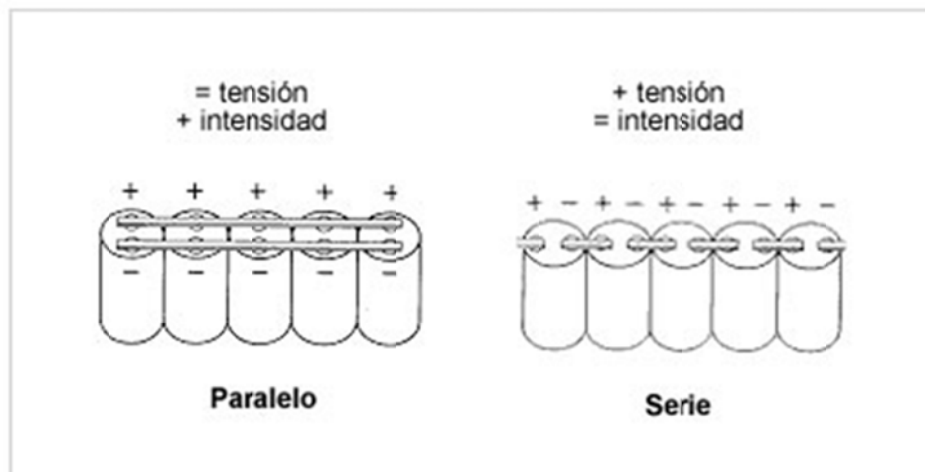
Las prestaciones de una batería van a depender en gran medida de las características que tengan las celdas o elementos utilizados para su fabricación.

Hay dos formas de diseñar una batería:

- Con muchas celdas de pequeño tamaño y poca capacidad (como hace Tesla).
- Con pocas celdas de gran tamaño y mucha capacidad (como hacen el resto de fabricantes).



Las celdas se unirán en serie y paralelo para conseguir la tensión total e intensidad final de la batería.



Las características básicas de una batería son:

- **Fuerza electromotriz, voltaje o potencial (E):** El voltaje de una celda electroquímica viene dado por la diferencia entre los bornes del cátodo y del ánodo. Es muy importante disponer de celdas con alto potencial, ya que permite disminuir el número de elementos que se deben conectar en serie para aumentar el voltaje nominal de la batería. La fuerza electromotriz de las celdas y las baterías se mide en voltios.

- **Capacidad específica (Q):** La capacidad es la cantidad de electricidad que puede entregar la celda/batería antes de que su tensión disminuya por debajo de un valor mínimo. La capacidad se representa con el símbolo "C" y se expresa en "Ah" (Amperio-hora) y también en wh o Kwh (vatios-hora; Kilovatios-hora)
- **Densidad energética:** Cantidad de energía que es capaz de almacenar una batería en relación a su peso. Se trata del parámetro más importante cuando hablamos de impulsar un vehículo pues es el que más influye en autonomía y prestaciones. Se expresa en wh/kg (vatios-hora por kilogramo), o lo que es lo mismo, energía almacenada por cada kg de batería. Las baterías para coche eléctrico de última generación tienen una densidad de 100 a 150 wh/Kg.
- **Potencia específica:** Potencia que puede proporcionar cada Kg de peso de la batería. Se expresa en w/kg. Cada batería tiene un límite característico de potencia a entregar, a partir del cual la temperatura y pérdidas energéticas aumentan de forma excesiva.
- **Eficiencia de carga/descarga:** Es la relación entre la energía introducida durante la recarga y la que realmente entrega. Una batería moderna suele tener una eficiencia de alrededor del 90%. El resto se pierde en calor producido por las reacciones químicas.
- **Ciclos de vida:** Las baterías recargables suelen perder capacidad paulatinamente con la cantidad de recargas. Varían mucho con el tipo de tecnología y pueden ir desde varios cientos a varios miles de recargas. Para paliar este hecho, fabricantes como Renault ofrecen diferentes opciones de reemplazo, según se compre o se alquile la batería.
- **Velocidad de recarga:** Tiempo necesario para la carga de la batería. Es más representativo y práctico el tiempo de recarga hasta el 80% de capacidad.

## Tecnologías de las baterías recargables

- **Plomo-ácido:** Los acumuladores de plomo-ácido son las más antiguas y tienen una baja relación entre la electricidad acumulada con el peso y el volumen. Ocupan mucho espacio y pesan mucho, pero son duraderas y de bajo coste, y su tasa de reciclaje supera el 90%. Para conseguir una autonomía de 50 km con una velocidad punta de 70 km/h se necesiten más de 400 kg de baterías de plomo-ácido. El periodo de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas.  
Se utilizan fundamentalmente para funciones de arranque del vehículo, iluminación o soporte eléctrico.  
Actualmente se están dejando de utilizar para suministrar energía al motor eléctrico.
  - + Bajo coste
  - + Buena respuesta en frío
  - – Son pesadas
  - – El plomo es tóxico
  - – Capacidad de recarga lenta

- Ciclo de vida: Limitado entre 500 y 800 ciclos de carga-descarga
  - Densidad: Baja (entre 30-40 Wh/Kg)
  - Mantenimiento: Necesidad de mantenimiento periódico
- **Níquel Cadmio (NiCd):** Utilizan un ánodo de níquel y un cátodo de cadmio. El cadmio es un metal pesado muy tóxico, por lo que han sido prohibidas por la Unión Europea. Tienen una gran duración (más de 1.500 recargas) pero una baja densidad energética (50 wh/kg), además de verse afectadas por el efecto memoria. Bastante utilizadas en la industria del automóvil, pero su alto coste de adquisición y su efecto memoria no las convierte en la mejor solución como batería de un coche eléctrico.
    - + Mayor fiabilidad (no fallan de forma repentina como las baterías de plomo-ácido)
    - + Existen técnicas de reciclado total de la batería
    - – Alto coste de adquisición
    - – Efecto memoria
    - – Contaminante
    - – Envejecimiento prematuro con el calor
    - Ciclo de vida: Su ciclo de vida está entre las 1.500 y 2.000 cargas y descargas
    - Densidad: Entre 40-60 wh/kg
    - Mantenimiento: Necesidad de cuidado específico aunque menor que la batería anterior
- **Baterías de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH):** La batería recargable de níquel hidruro metálico es muy similar a la de níquel cadmio, pero sin el metal tóxico, por lo que su impacto ambiental es muy inferior. Las baterías recargables de níquel hidruro metálico almacenan de 2 a 3 veces más electricidad que sus equivalentes en peso de níquel cadmio, aunque también se ven afectadas por el efecto memoria, aunque en una proporción menor. Su densidad energética asciende a unos 80 wh/kg. Las baterías de alto voltaje de NiMH están diseñadas para funcionar continuamente dentro de un rango del 20% al 80% de estado de carga (State of Charge - SOC). Generalmente el Estado de Carga estará entre el 40% y el 70%. Los fabricantes de híbridos suelen recurrir a estas baterías con frecuencia. Un ejemplo de estas baterías son las utilizadas por Toyota en sus vehículos híbridos, como el Prius, Auris, etc.
    - + Reducción del efecto memoria respecto las baterías de níquel-cadmio
    - + Eliminan el cadmio
    - – Menor fiabilidad que las baterías de níquel-cadmio
    - – No soporta fuertes descargas

- – Menos resistencia a altas temperaturas
  - – Menos resistencia a altas corrientes de carga
  - Ciclo de vida: Más limitado, entre 300-500 ciclos de carga, según el fabricante
  - Densidad: Entre 30-80 wh/kg
  - Mantenimiento: Elevado mantenimiento
- **Iones de litio (Li-ion) ( $\text{LiCoO}_2$ ):** Las baterías de iones de litio deben su desarrollo a la telefonía móvil y su desarrollo es muy reciente. Su densidad energética asciende a unos 115 wh/kg, y no sufren el efecto memoria. Las baterías de iones de litio se usan en teléfonos móviles, ordenadores portátiles, reproductores de MP3 y cámaras, y probablemente alimentarán la siguiente generación de vehículos híbridos y eléctricos puros conectados a la red. A pesar de sus indudables ventajas, también presentan inconvenientes: sobrecalentamiento, alto coste y, sobre todo, las reservas de litio, sujetas a una gran controversia. Este tipo de baterías es el más se utiliza actualmente en los vehículos eléctricos.
    - + Alta densidad energética
    - + Menor tamaño y peso ligero
    - + Alta eficiencia
    - + No tienen efecto memoria
    - – Alto coste de producción
    - – Fragilidad
    - – Necesitan un circuito de seguridad
    - – Precisan de almacenaje cuidadoso
    - Ciclo de vida: Entre 400 y 1.200 cargas y descargas
    - Densidad: Entre 100-250 wh/kg
    - Mantenimiento: No requiere mantenimiento
- **Ion-litio con cátodo de  $\text{LiFePO}_4$ :** Se diferencia de la anterior en que no usa el cobalto, por lo que es más segura y ofrece mayor estabilidad por su elevada cantidad de hierro.
    - + Seguridad
    - + Estabilidad (elevada cantidad de hierro)
    - + Potencia
    - – Menor densidad energética
    - – Mayor coste
    - Ciclo de vida: Es mayor (unas 2.000 cargas)
    - Densidad: Entre 90-100 wh/kg
    - Mantenimiento: No requiere mantenimiento

- **Baterías de polímero de litio:** Es una tecnología similar a la de iones de litio, pero con una mayor densidad de energía, diseño ultraligero y una tasa de descarga superior. Entre sus desventajas está la alta inestabilidad de las baterías si se sobrecargan y si la descarga se produce por debajo de cierto voltaje.
  - + Ligeras
  - + Eficientes
  - – Alto precio
  - – Ciclo de vida corto
  - Ciclo de vida: Por debajo de 1.000 cargas y descargas
  - Densidad: Mayor densidad energética (300 wh/kg)
  - Mantenimiento: No requiere mantenimiento
  
- **Baterías Zebra (NaNiCl):** Estas baterías, también llamadas de sal fundida, trabajan a temperaturas que va de 270°C a 350°C, lo que requiere un aislamiento. Tienen como electrolito cloro aluminato de sodio triturado. Es una batería compleja, de mayor contenido químico, pero que consigue unas características de energía y potencia interesantes. En desuso, el electrolito se solidifica, por lo que necesita un tiempo de fundición que puede llegar a ser de dos días para que alcance la temperatura óptima y ofrezca plenamente su carga. Tienen el mejor ciclo de vida de todas las baterías, pero requieren ocupar mucho espacio y su potencia es baja. Son apropiadas en autobuses. El automóvil eléctrico Think City va equipado con baterías Zebra Na-NiCl de 17,5 Kwh.
  - – la temperatura de trabajo
  - – las pérdidas térmicas cuando no se usa la batería
  
- **Batería de Aluminio-aire:** Consideradas “pilas de combustible” por la necesidad de sustituir los electrodos de metal gastados por unos nuevos. Con una capacidad de almacenamiento de hasta diez veces más que las de tipo Ion-litio y una densidad energética fuera del alcance del resto, este tipo de batería no ha tenido una buena aceptación comercial debido a sus problemas de recarga y de fiabilidad. Se encuentran en fase experimental.
  
- **Batería Zinc-Aire:** Desarrolladas por una compañía suiza, y en fase experimental, pero más avanzada que las de Aluminio-Aire, estas baterías necesitan obtener el oxígeno de la atmosfera para generar una corriente. Tiene un alto potencial energético, fiabilidad y son capaces de almacenar el triple de energía que las de Ion-litio en el mismo volumen y con la mitad del coste. Según algunos expertos, el zinc se posiciona como el combustible eléctrico del futuro.

En la tabla inferior podemos ver una comparativa de los valores característicos de cada tipo de batería.

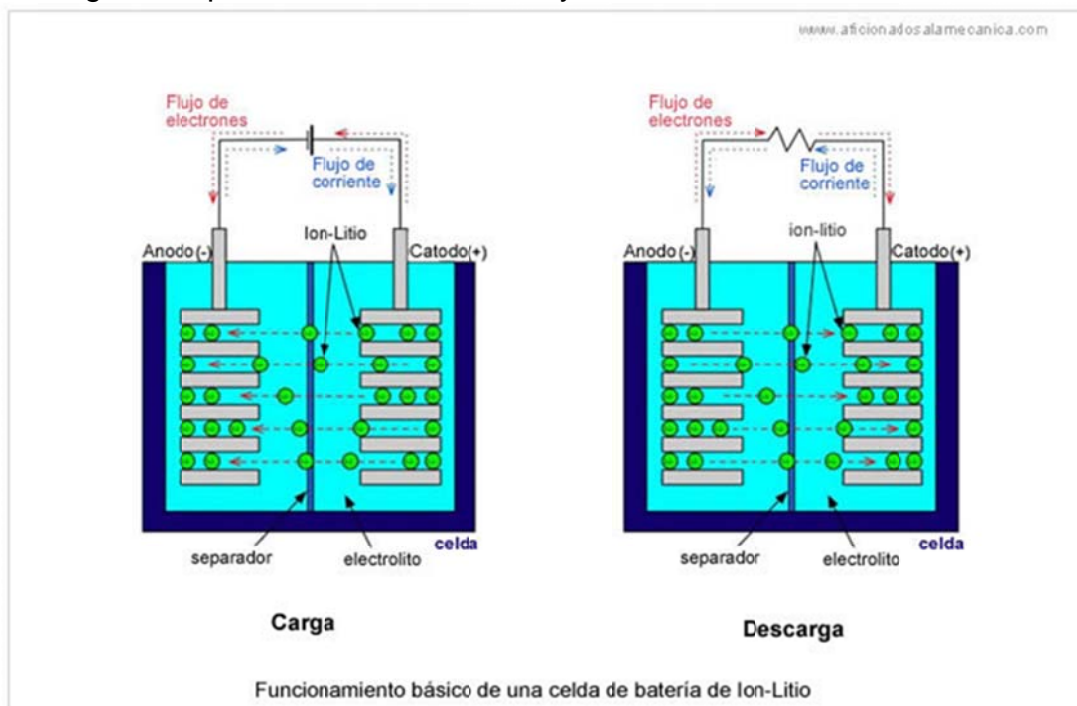
Tipo de baterías recargables	Energía (Wh/kg)	Energía/volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética-%
Zebra (NaNiCl)	125	300		1.000	92,5
Polímero de litio	200	300	>3.000	1.000	90,0
Iones de litio	125	270	1.800	1.000	90,0
Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)	70	140-300	250-1.000	1.350	70,0
Níquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1.350	72,5
Plomo-ácido	40	60-75	150	500	82,5

## Baterías de Ion-Litio

Actualmente la mayoría de los coches eléctricos que se comercializan recurren a baterías de iones de litio con electrólito líquido, esto es: el material que se encuentra entre el cátodo (electrodo negativo) y el ánodo (electrodo positivo), y que permite la transferencia de electrones, es una solución líquida.

Dentro de las baterías de iones de litio hay a su vez diferentes subtipos de estas, con pequeñas diferencias químicas, al emplear diferentes elementos en el cátodo y el ánodo, o diferentes proporciones entre estos (por ejemplo las baterías de litio-hierro-fosfato son las más económicas, aunque tienen también menos capacidad por unidad de volumen y masa).

En la figura se puede ver la estructura y funcionamiento básico de una celda





de baterías de Ion-Litio. La tensión que proporcionan es de 3,6V, aunque este valor depende mucho de la temperatura ambiente y de la carga.

El salto más importante que estamos viviendo ahora mismo, para pasar de autonomías homologadas de unos 150 a 200 km, hasta los actuales 400 a 500 km, ha sido gracias al empleo de nuevas celdas de batería de iones de litio con níquel y cobalto (aunque también ha ayudado una distribución de las celdas y componentes internos de la batería más compacta, que aprovecha mejor el volumen del paquete de batería).

Normalmente se emplean ánodos de grafito, o grafito y silicio, y cátodos de litio, níquel, cobalto y aluminio, por ejemplo Panasonic, para Tesla, o de litio, níquel, manganeso y cobalto, por ejemplo LG Chem, para Renault, Chevrolet, Opel, Volkswagen y otros fabricantes.

Estas últimas tienen además la ventaja de que tienen también una mayor vida útil (aproximadamente el doble) que las batería de iones de litio "antiguas", mientras que mantienen o mejoran ligeramente la velocidad de recarga y apenas aumentan el peso de la batería (algo menos de un 10 %). Eso sí, son algo más caras, aunque el impacto en el precio final de venta del coche se quede entre un 5 y un 10 % aproximadamente.

Hemos pasado por tanto de una densidad energética de algo más de 100 wh/kg de las primeras baterías de iones de litio, hasta aproximadamente entre 180 wh/kg 250 wh/kg. Esta es la realidad presente en la que se basan la mayoría de los fabricantes para proponer nuevos modelos de coches eléctricos con una autonomía bastante digna, alrededor de los 500 km.

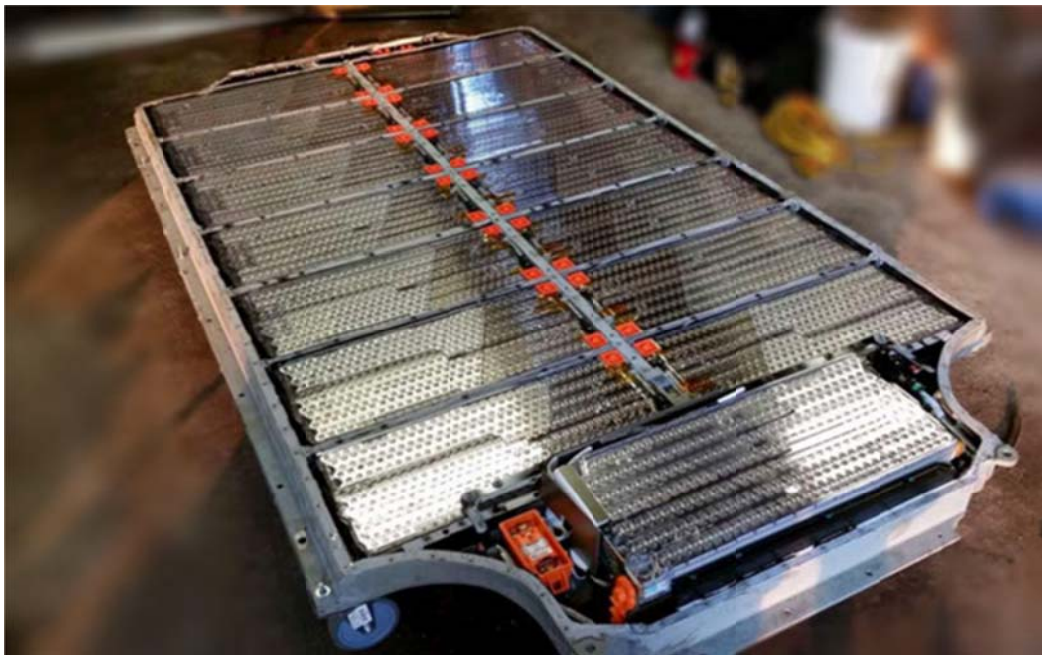
Los avances en la tecnología Li-ion presentan una oportunidad de duplicar la densidad energética desde 100wh/kg a 250wh/kg a través del uso de nuevos cátodos de alta capacidad, electrolitos de alto voltaje y el uso de nuevos materiales anódicos. Actualmente, está claro que casi se ha logrado el objetivo... por Tesla con baterías de densidad energética de 233 wh/kg. El Nissan Leaf se conforma con 155 wh/kg y el Renault Zoe 157 wh/kg.

## Ejemplos de baterías utilizadas por los distintos fabricantes de coches

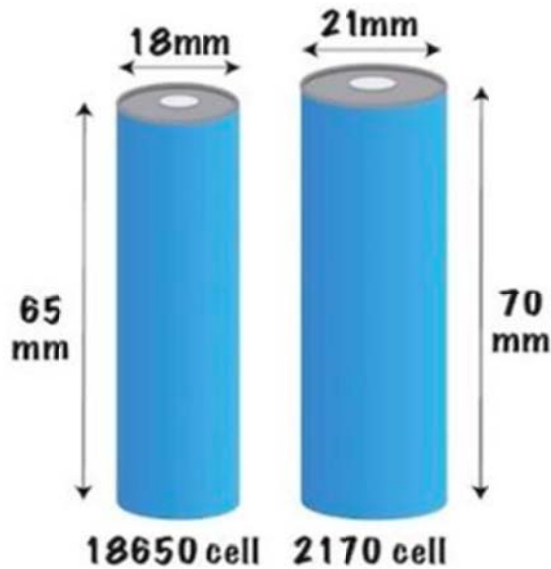
El diseño actual P90D de Tesla utiliza un bloque de baterías situado bajo el suelo de su chasis "monopatín". Esto hace que el vehículo pueda almacenar un gran volumen de células de baterías maximizando el espacio interior del vehículo, aunque deja la batería indefensa en caso de accidente.



El nuevo pack de baterías P100D tiene la misma apariencia exterior y a primera vista también utiliza dos filas de células de iones de litio y, sin embargo, consigue almacenar 100kwh de densidad energética en el mismo modelo de batería que anteriormente contaba con 90kwh y pesaba solo un 4 % menos.



Hasta el momento, Tesla ha estado usando un paquete de celdas identificado por el número de modelo "18650". Estas baterías se fabrican en Panasonic-Asia y se utilizan en los Tesla Model S y Model X desde 2013. Estas son celdas de batería pequeñas, un poco más grandes que las pilas AA estándar. Las celdas cilíndricas de Tesla tienen 18 mm de diámetro y 65 mm de alto. El diseño de Panasonic, tal vez con la contribución de Tesla, es uno de los más sólidos disponibles en la actualidad, ofreciendo un rendimiento fiable y de larga duración.



Comparativa de dimensiones entre distintos tipos de celdas.

La batería suministrada por Tesla, 18650, contiene 7.104 celdas en 16 módulos de 444 celdas cada uno, capaces de almacenar hasta 85 Kwh de energía. En 2015, Panasonic modificó el diseño del ánodo, aumentando la capacidad de la celda en aproximadamente un 6%, permitiendo que los paquetes de batería almacenaran hasta 90 Kwh de energía. Después, los ingenieros de Tesla reconfiguraron las partes internas del paquete de baterías para albergar 516 celdas en cada módulo para un total de 8.256 celdas capaces de almacenar un poco más de 100 Kwh de energía, lo que permite a los coches disfrutar de un alcance superior a los 480 kilómetros.

Para mejorar aún más la eficiencia de la celda y reducir los costes, Tesla construyó la fábrica Gigafactory, ubicada en Nevada, que produce un diseño de celda llamado "2170", porque tiene 21 mm de diámetro y 70 mm de altura. Esta batería se utilizó inicialmente en el producto de almacenamiento doméstico



Tesla Powerwall, y en el Powerpack, y después fue aplicada en el Model 3. El diseño 2170 es un 46% más grande en volumen que el 18650 y entre 10% y 15% más eficiente.



Un paquete de baterías Tesla formado por celdas 2170.

### Batería de Ion-Litio utilizada por el Mitsubishi i-MiEV.

Partimos de la célula Yuasa LEV50. Cada célula de Litio-ion (más exactamente Lithium Manganese Oxide,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), proporciona una tensión nominal de 3,7V, 50 Ah, todo ello empaquetado en un recipiente rectangular de 17 cm de largo, 11 de ancho y 4,5 de grueso, de algo menos de 2 kgs.

Se ponen 88 de estas células en serie. Estas células se agrupan en módulos de 4 unidades conectadas en serie (LEV50-4), de modo que cada uno tiene unos 14,8 V. y 50 Ah y módulos de 8 unidades, de modo que cada uno tiene unos 29,6 V. y 50 Ah.



La batería se distribuye por los bajos de los asientos como se puede ver en la figura.



En junio de 2011 el fabricante original del vehículo, Mitsubishi, anunció que instalará baterías de Toshiba con tecnología SCIB, basada en un ánodo de titanato de litio ( $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  o LTO). Dicha tecnología permite una intensidad de carga/descarga 2.5 veces superior a una batería típica de litio-ion y proporciona hasta 1.7 veces más autonomía, con un menor calentamiento que elimina la necesidad de refrigerarlas cuando la potencia consumida o aportada es alta.

Además, es más resistente a un cortocircuito interno y mantiene los niveles de rendimiento incluso en temperaturas de hasta  $-30\text{ }^\circ\text{C}$ . Con esta tecnología el i-MiEV será capaz de realizar una carga rápida bajo estándar CHAdeMO hasta el 80% en 15 minutos, 50% en 10 minutos y 25% en 5 minutos, lo cual acercará al pequeño coche eléctrico japonés a la rapidez de un repostaje convencional. El Mitsubishi i-MiEV comparte estética y tecnología con sus hermanos, el Citroën C-Zero y Peugeot iOn. Es decir utiliza la misma batería, motor eléctrico y la parte electrónica para la gestión del funcionamiento del vehículo.



- |   |            |   |                  |
|---|------------|---|------------------|
| 1 | Motor      | 3 | Cargador interno |
| 2 | Batería HV | 4 | Inversor         |

## Batería Ion-litio del Nissan Leaf

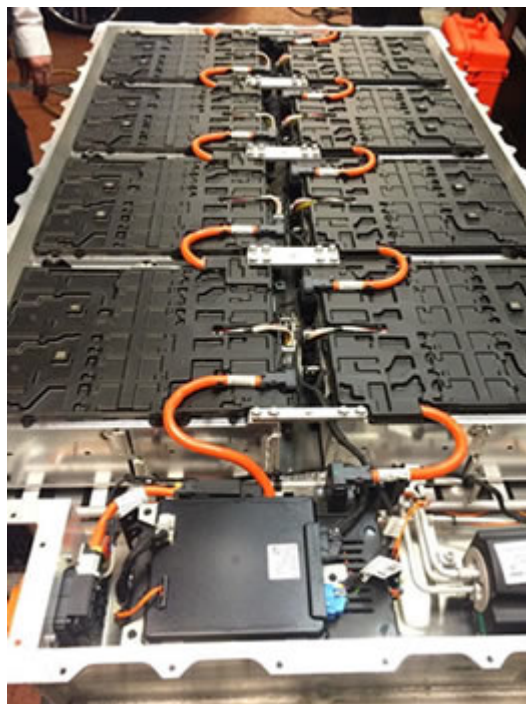
El Nissan Leaf, tiene una batería de 48 módulos conectados en serie, y cada uno de esos módulos lleva cuatro celdas y es de 7,6 V (2 celdas en serie de 3,8V) y 66,2 Ah (dos grupos en paralelo de 33,1 Ah). Su nomenclatura es 48S 2P 2S. En resumen, obviando los módulos el Leaf lleva dos grupos paralelos de 33,1 Ah y cada uno de esos grupos lleva 96 celdas de 3,8 V en serie. En total  $3,8 \text{ V} \times 96 \text{ celdas}$  son los 364,8 V del pack y  $364,8 \text{ V} \times 33,1 \text{ Ah} \times 2$  son los 24 Kwh de capacidad del pack (24.150 wh). En total esta batería lleva 192 celdas.



### Batería de Ion-Litio del BMW i3

Dispone de una batería de iones de litio de 22 Kwh y 204 kgs situada en la parte baja del vehículo, haciendo así más bajo su centro de gravedad. La capacidad útil es de 18,8 Kwh.

El sistema de refrigeración es un gas, que mantiene la batería a la temperatura ideal de funcionamiento, para aumentar las prestaciones y la vida de la batería. Los 22 Kwh de la batería del i3 le permiten recorrer entre 130 y 160 kilómetros.



## Baterías Zebra (NaNiCl)

El THINK City coche eléctrico pequeño de fabricación en Noruega, tiene una batería de cloruro de sodio y níquel (NaNiCl), también conocidas como Zebra. En algunos países se vende este coche también con una batería de iones de litio, del mismo tipo que usan otros automóviles eléctricos, como el Mitsubishi i-MiEV.



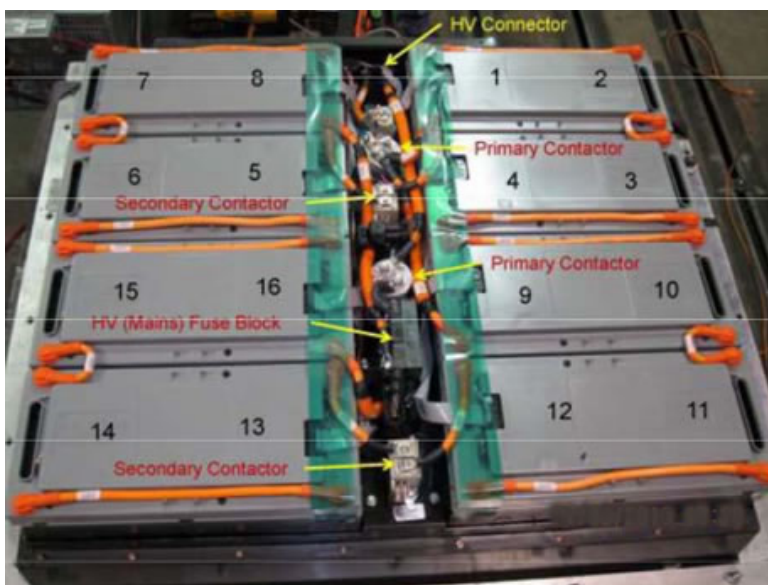
La batería del THINK City está ubicada en la zona inferior del habitáculo, debajo de los asientos. El motor está delante, junto con el resto de los elementos mecánicos, y la tracción es delantera.

La batería de este coche, cuya identificación completa es ZEBRA Z36-371-ML3X-76 (habitualmente abreviada como ZEBRA Z36), tiene un voltaje nominal de 371 voltios, su capacidad total son 28,2 Kwh y su energía aprovechable 23 Kwh. Pesa 243 kg. Es decir, tiene una densidad energética de 116 wh/Kg. La batería de un Mitsubishi i-MiEV, que es de iones de litio, pesa 230 kg y almacena 16 Kwh; esto es, tiene una densidad energética de 70 wh/Kg.

Esta batería de cloruro de sodio y níquel tiene algunas ventajas con respecto a las de iones de litio: es más robusta, puede funcionar en un rango de temperatura ambiente más amplio y su fabricación es más económica. Además,

—al contrario de lo que sucede con las de iones de litio— la temperatura ambiente no afecta apenas a su rendimiento. Esto se debe a que este tipo de baterías funcionan a una temperatura interna de entre 260 y 350° C.

Por eso, tiene un gran aislamiento térmico y, cuando no se usa una



Vista interior de un batería Zebra



parte de la energía que almacena, se destina constantemente a mantenerla caliente. Una vez que la batería ya está caliente, se utilizan constantemente 100 w para mantener la temperatura de funcionamiento. Cuando está en funcionamiento, la propia reacción química de la batería desprende el calor necesario para mantener esa temperatura.

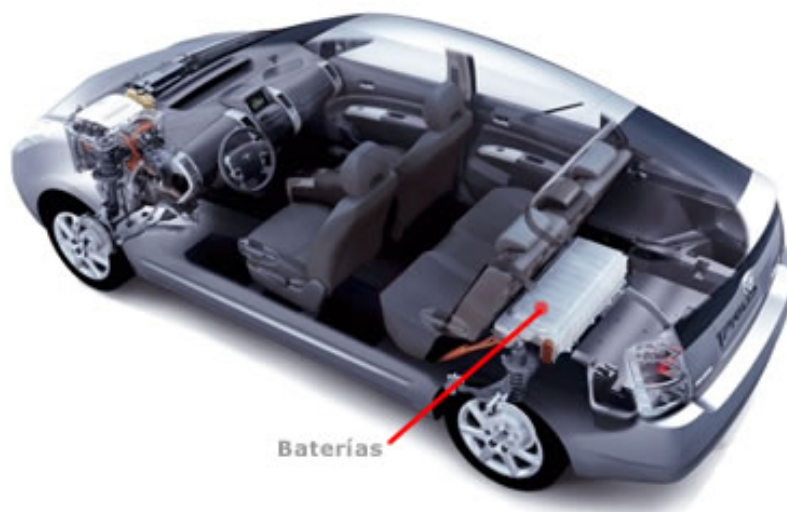
Esto hace que, si no se usa el THINK City y se tiene sin enchufar, la batería se vaya descargando. El manual especifica que en estas condiciones la batería dura «más de una semana» y aconseja que se tenga enchufado siempre que no se utilice.

En caso de que no se vaya a usar durante un tiempo y no se pueda (o no se quiera) dejarlo enchufado, el auto-calentamiento y el consumo de energía se puede desconectar mediante un interruptor en la caja de fusibles. Esto hace que la batería poco a poco llegue a la temperatura ambiente. El manual advierte de que es mejor evitar este ciclo térmico, aunque la batería lo tolera. Cuando se quiera volver a utilizar el coche, habrá que enchufarlo previamente para que la batería vuelva a alcanzar la temperatura de funcionamiento.

El cargador que viene con el coche puede ajustarse mediante un selector para que cargue con 10 ó 16 A de intensidad. Así, la batería del THINK City puede cargarse aunque se tenga poca potencia disponible (se necesita una potencia disponible de 2.200 w como mínimo). Partiendo de una batería totalmente descargada, con 16 A de corriente tarda 11 horas en cargarse totalmente; en 7 horas se carga a un 80% de su capacidad. Si se carga a 10 A, los tiempos aumentan alrededor de un 30% (14,3 y 9,1 horas, respectivamente).

### **Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)**

Esta batería ampliamente utilizada por Toyota en sus modelos híbridos como el Prius, Auris, etc, no es una batería comparable con las de Ion-litio que hemos visto, en cuanto a tamaño y capacidad, pero nos sirve para conocerla.



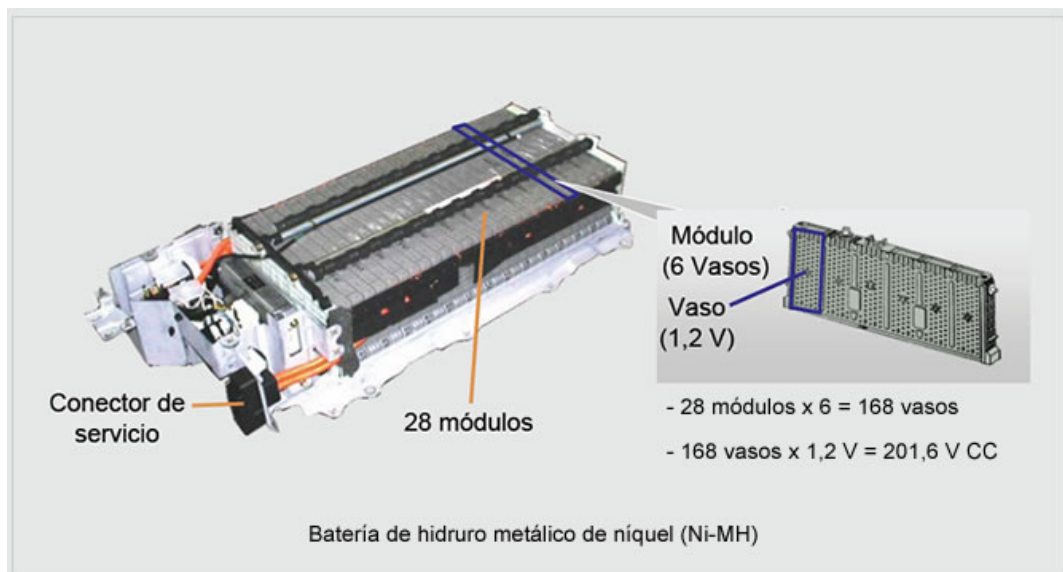
Una batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de oxihidróxido de níquel (NiOOH), como la batería de

níquel cadmio, pero su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medio ambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Por el contrario, presentan una mayor tasa de auto descarga que las de NiCd (un 30% mensual frente a un 20%), lo cual relega a estas últimas a usos caracterizados por largos periodos entre consumos (como los mandos a distancia, las luces de emergencia, etc.), mientras que son desplazadas por las de NiMH en el de consumo continuo.



Cada celda de Ni-MH puede proporcionar un voltaje de 1,2 voltios y una capacidad entre 0,8 y 2,9 amperio-hora. Su densidad de energía llega a los 80 wh/kg. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un

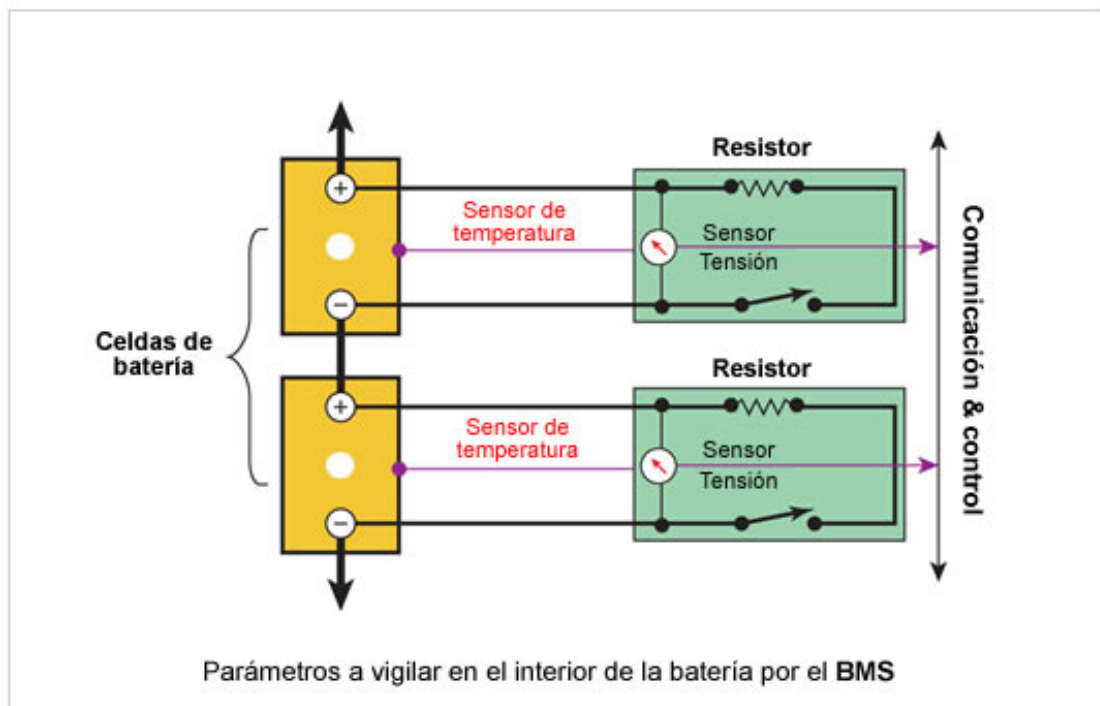
tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía. Algunos de sus inconvenientes son las “altas” temperaturas que alcanzan durante la carga o el uso. Para alargar la vida de la batería y aumentar sus ciclos de carga, la batería se mantiene entre un 20% y un 80% de la carga para optimizar su vida útil.



Modelo	Potencia	Capacidad de la batería	Autonomía
Smart Electric Drive	82 CV	18 Kwh	160 km
Volkswagen eGolf	136 CV	33 Kwh	300 km
Nissan Leaf 2	150 CV	40 Kwh	380 km
Hyundai Kona Eléctrico / Nissan Leaf 2	204 CV	60 / 65 Kwh	500 km
Tesla Model 3 Long Range	262 CV	75 Kwh	600 km
Tesla Model S P100D	> 300 CV	100 Kwh	600 km

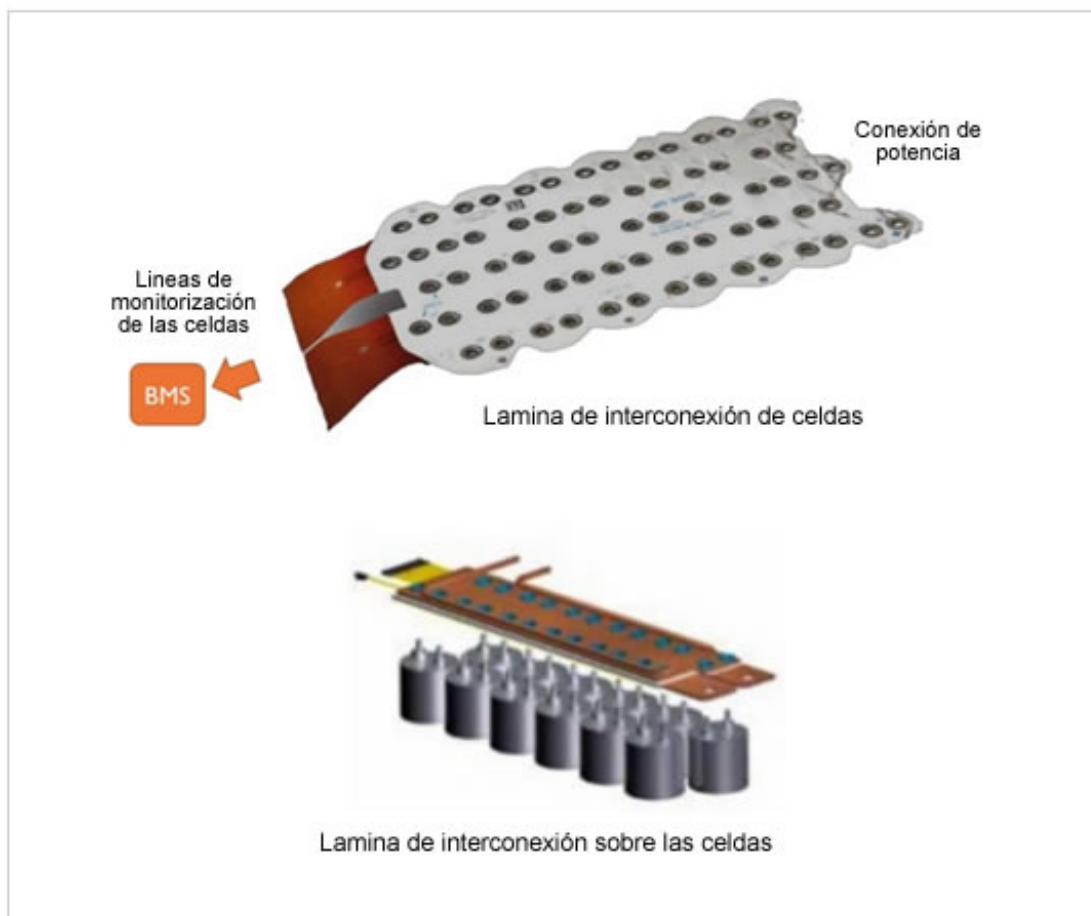
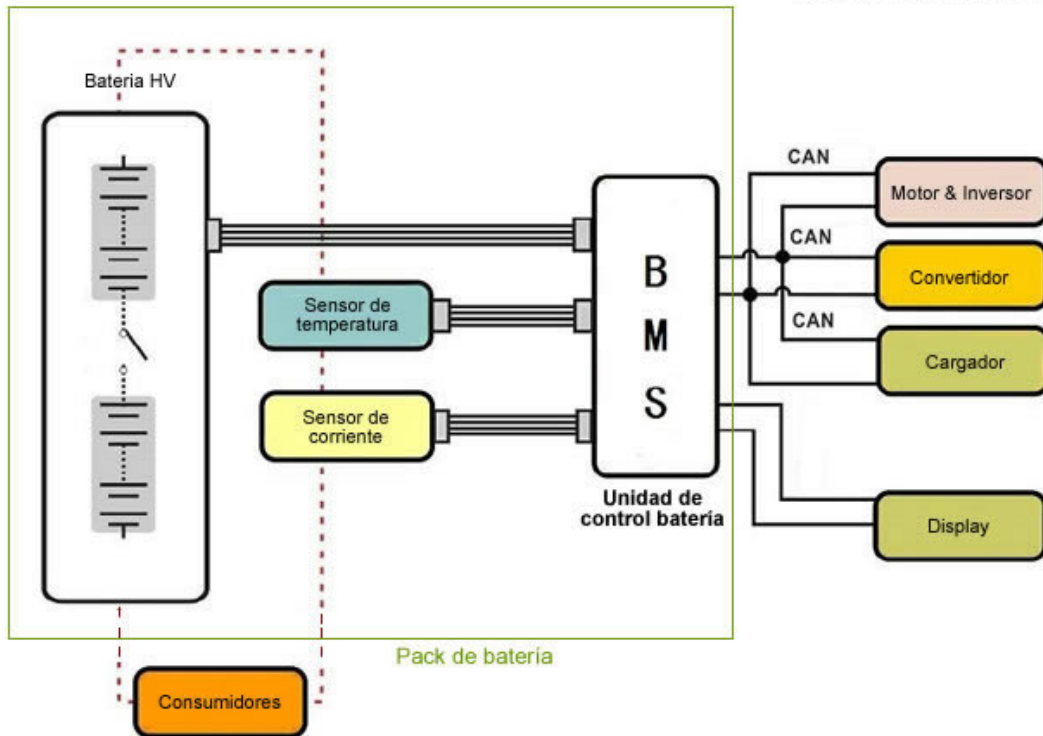
## Control de la batería HV (BMS)

Las baterías de alta tensión (HV) no solo son un recipiente que almacena la tensión, además cuenta con una gestión electrónica que sirve para controlar la batería en su trabajo de carga y descarga de tensión, teniendo en cuenta parámetros importantes como son la temperatura, intensidad de carga/descarga y la tensión de las celdas o conjunto de celdas que forman un módulo. Para hacer este control, una unidad denominada BMS (Battery Management System), se encarga de esta función, además sirve para comunicarse con otras unidades de control fuera de la batería, como la que controla el motor eléctrico y por lo tanto la velocidad del automóvil, la recuperación de energía en las frenadas, etc.



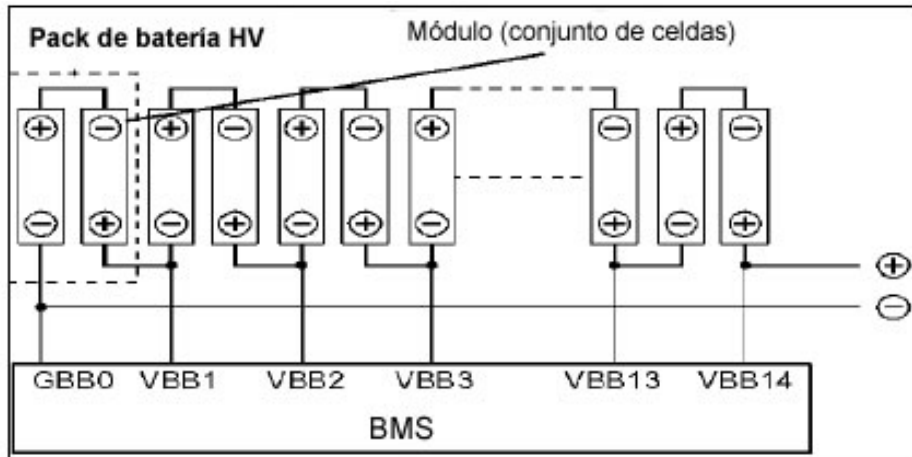
El funcionamiento del BMS consiste en medir la tensión de cada celda individualmente, y cortar la carga cuando está completa. Por tanto, hay que llevar un cable a cada celda desde el BMS. Asimismo, ecualiza o equilibra todo el paquete de celdas. ¿Qué es ecualizar o equilibrar? Pues simplemente igualar la carga entre ellas. Es evidente que las celdas no son perfectas, y por las tolerancias de fabricación, unas aceptan mayor carga que otras, o simplemente unas se degradan antes. Este sistema también está en estrecha comunicación con la ECU del sistema eléctrico.

En el interior de la batería, la interconexión entre las celdas que la forman se puede hacer como se ve en la figura. Una lámina hace de conexión entre las distintas celdas que forman la batería. Esta lámina, por una parte, une eléctricamente los polos de cada celda, para proporcionar la tensión final de la batería o módulo de batería. Por otra parte, la lámina sirve para controlar las celdas o grupos de celdas, trasladando dicha información al BMS.

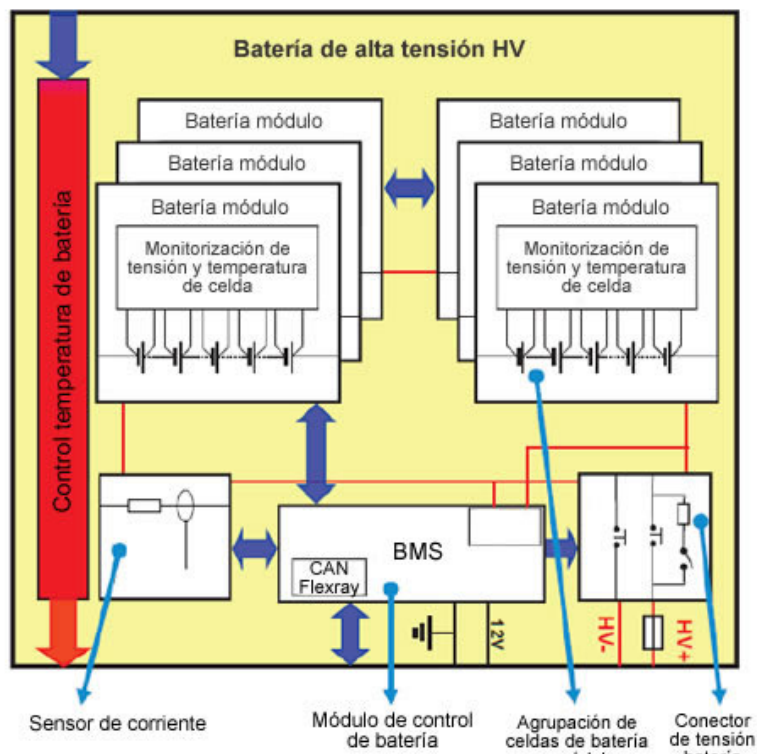


Como ejemplo se puede ver como se hace la monitorización dentro de una batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) utilizada por Toyota en sus modelos

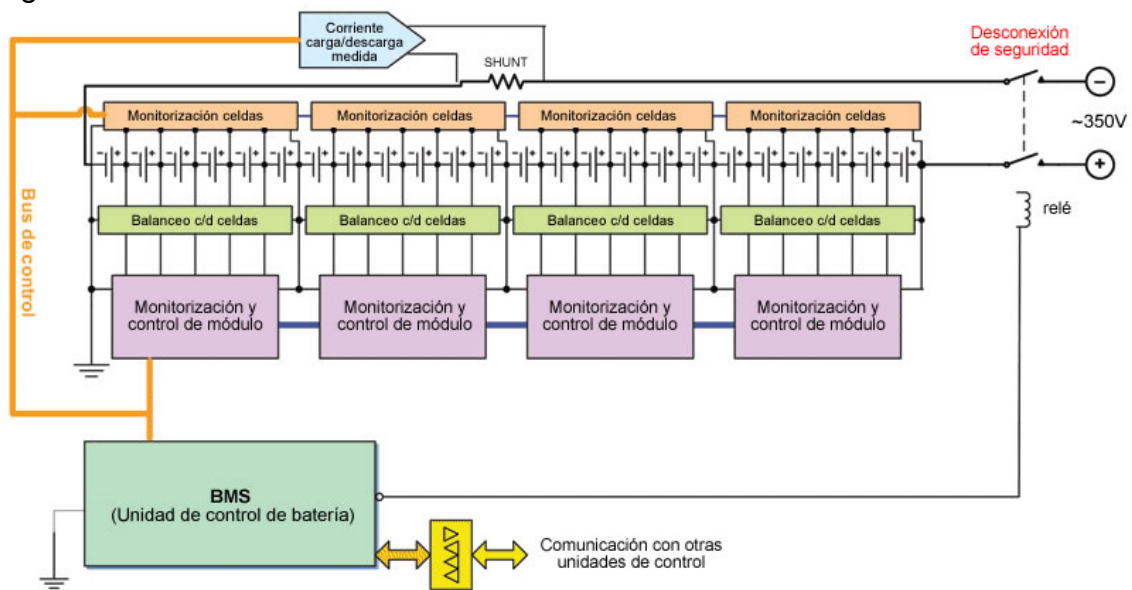
híbridos. Cada módulo de 15,78 V tiene un control de voltaje que va a la BMS de la Batería. Cada control toma progresivamente la suma de los módulos, de tal forma que el control del paquete 1 (VBB1) deberá medir 15,78 V y ser luego progresivos así: VBB1= 15,78V, VBB2=31,42V; VBB3=47,20V;...VBB14= 220V. De esta forma si por algún motivo, se interrumpe alguna serie o una serie está en corto, la BMS de la Batería no verá el incremento de voltaje deseado y generará el respectivo código de error.



Los cables de control salen de los diferentes puntos de medida, dispuestos después de cada serie de dos o sea después de cada uno de los 14 módulos, y llevan este valor a la BMS de la batería como se puede apreciar en el diagrama eléctrico. Adicionalmente en la BMS de la batería tenemos conexión a la red CAN, también tenemos el control del electro-ventilador para enfriamiento de la batería, los sensores de temperatura que informan la temperatura de las baterías y los relés, que son los que posibilitan que la tensión de estas baterías salga hacia afuera para alimentar los distintos sistemas del automóvil.



Otro ejemplo de monitorización de la batería HV lo tenemos en la siguiente figura:



## Refrigeración de las baterías

Para que las baterías trabajen siempre en su rango térmico ideal, todos los coches eléctricos incluyen un sistema de refrigeración que mantiene las baterías a temperatura constante. Pero el sistema consume energía eléctrica al tratar de compensar el exceso de frío o calor ambiental, por lo que la autonomía se reduce, y es un dato a tener en cuenta.

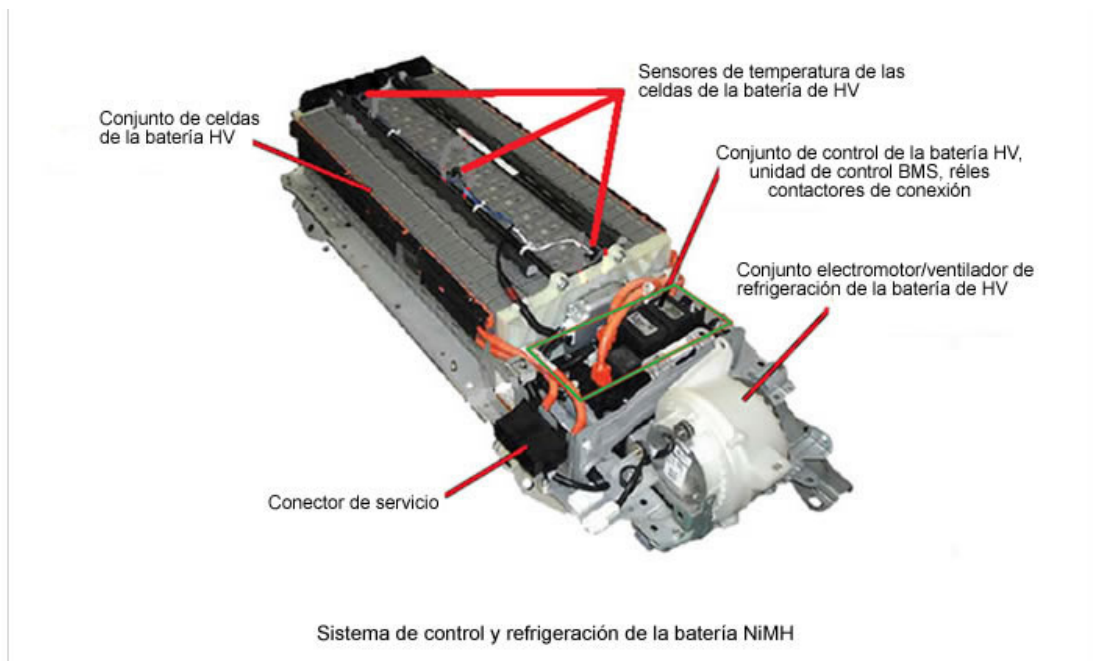
Durante la carga/descarga el calor interior aumenta y estas baterías para su correcto funcionamiento deben operar dentro de unos rangos de temperatura determinados. Así por ejemplo, las baterías NiMH son capaces de operar en descarga con temperaturas desde 20 °C hasta 50 °C y en carga desde 0 °C hasta 45 °C aproximadamente. Si nos encontramos fuera de estos límites, tendremos que o bien calentar o bien refrigerarlas para así mantenerlas en las condiciones óptimas de funcionamiento.

Decir que la temperatura ambiente también influye en el rendimiento de la batería. Con temperaturas bajo cero se pierde densidad energética. A -10° C, la autonomía cae casi un 25%, pero la potencia o aceleración hasta un 60%. Con calor extremo las pérdidas no son tan dramáticas como con frío, aunque sí notorias.

Decir que mientras las temperaturas frías disminuyen la capacidad de la batería, la vida útil de está no se ve afectada. Las temperaturas muy altas, además de afectar a la capacidad de la batería, también afectan a su vida útil. El calor extremo puede degradar la electroquímica interior de la batería.

Una cosa que habrá llamado la atención de aquellos usuarios, que dispongan de vehículos híbridos o cien por cien eléctricos, es la existencia de tomas de ventilación en la cercanía de los asientos traseros. Los fabricantes anuncian que sirven para la refrigeración del sistema de baterías y que nunca deben encontrarse obstruidas (por ejemplo con una chaqueta, un paraguas, una bolsa, etc.).

Como se puede ver en la figura, Toyota en sus híbridos, monta en su batería HV, un sistema de refrigeración de aire forzado. La BMS de la batería supervisa el estado de la batería HV y controla el ventilador de refrigeración para mantener la batería a una temperatura predeterminada. Para controlar la temperatura utiliza una serie de sensores distribuidos por las celdas de la batería.



En la figura se puede apreciar el funcionamiento del electroventilador y como distribuye el aire por el interior de la batería



## Reciclaje de baterías

El momento en que una batería es más contaminante es, sobre todo, en su fase de producción y en el final de su vida útil. Mientras que en la primera fase se podrá mejorar con nuevas técnicas de fabricación y materiales, la segunda puede retrasarse reutilizando las unidades que queden liberadas de los coches. De hecho, es una medida muy a tener en cuenta ya que, en 2025, según pronósticos de la agencia *Bloomberg*, habrá cerca de 3,4 millones de baterías listas para ser desechadas si no se les busca otro trabajo, en comparación con las 55.000 actuales.

Ya hay países que están revisando qué pueden hacer para evitar un problema que solo irá a más a medida que los vehículos eléctricos se hagan con el control del mercado global de automóviles. China, donde se venden la mitad de los eléctricos e híbridos enchufables (PHEV) del mundo, ya está implementando medidas para hacer que sean los propios fabricantes los que se hagan cargo de las baterías que dejen sus coches y evitar que terminen en un vertedero. La Unión Europea tiene sus propias regulaciones y Estados Unidos se espera que sea el siguiente país en revisar este asunto.

Las marcas más previsoras ya se han puesto manos a la obra. General Motors, BMW, Toyota o BYD, además de muchos proveedores de baterías, están buscando la manera de crear un mercado de accesorios en el que dar salida a las baterías que retiren de sus vehículos. De este modo, los fabricantes ven una oportunidad de conseguir beneficio dos veces por un producto, un hecho que ayudaría a bajar los precios de los automóviles eléctricos en un futuro.

Hay empresas que incluso creen que las baterías podrían reutilizarse varias veces, cada vez para tareas que demandaran menos rendimiento, por lo que podrían suponer nuevos ingresos por cada reutilización. Finalmente, el fabricante debería reciclar las materias primas.

Durante las próximas décadas el número de baterías se disparará de un modo desmedido. En 2030, según datos de la empresa Avicenne Energy, se espera que haya 25 veces más demanda de baterías para vehículos eléctricos. Además, para entonces los coches sostenibles serán los mayores usuarios de baterías de iones de litio del mundo, por delante de la industria tecnológica. En 2040, más de la mitad de los coches vendidos en el mundo serán eléctricos y su total ya supondrá un tercio de la flota mundial, una cifra que rondará los 560 millones de vehículos con batería.

Tesla, por su parte, no sigue la línea de las otras marcas y creen que sus baterías no podrán trabajar después de haberse usado durante 10 o 15 años en sus coches. La empresa de Elon Musk se está centrando, a diferencia de las demás, en recuperar las materias primas para reciclarlas y producir nuevas unidades para sus vehículos.

El problema en todo el proceso sería que extraer cobalto y fabricar nuevas baterías se convirtiera en algo más rentable que reutilizar y revender las baterías usadas, que ya no podrán volver a la carretera. En ese caso, expertos



advierten que los esfuerzos por reutilizarlas serían menores y la industria se enfrentaría a nuevos problemas.

La generalización de las baterías recargables debe evitar los errores del pasado, y para ello se debe considerar todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas al reciclaje o eliminación, pasando por la fabricación y la operación, evitando o minimizando en todas las fases la contaminación y el vertido, y muy especialmente de metales pesados. Las tasas actuales de reciclaje de baterías de vehículos alcanzan o superan el 90%, tasas mucho más elevadas que las pequeñas baterías empleadas en usos domésticos (menos del 10%), y que en gran parte acaban en los vertederos. Dado que el litio es totalmente reciclable, cabe esperar que las tasas del 90% se mantengan e incluso aumenten ligeramente.

**Renault ofrece diferentes contratos de alquiler de batería en función del tipo de batería, del tipo de cliente y de la cantidad de kilómetros a realizar.**

El hecho de optar por el alquiler de batería hace que el precio de adquisición de compra del Renault ZOE sea más bajo, ya que la batería es el componente más caro del vehículo. Esto hace la adquisición de un coche eléctrico más atractiva, ya que el desembolso inicial es 7.500 euros menos. Después, el propio ahorro conseguido gracias a los menores costes operativos del coche eléctrico permitirá, entre otras cosas, pagar el alquiler de la batería sin ningún problema.

### Cuánto cuesta el alquiler de la batería del Renault ZOE

Renault ofrece diferentes contratos de alquiler de batería en función del tipo de batería, del tipo de cliente y de la cantidad de kilómetros a realizar. Están resumidos en la siguiente tabla:

	ZOE 22 kWh	ZOE 40 kWh
Z.E. FLEX	59 €/mes - 7.500 km/año + 10 €/mes por cada 2.500 km/año adicionales	69 €/mes - 7.500 km/año + 10 €/mes por cada 2.500 km/año
Z.E. RELAX		119 €/mes kilometraje ilimitado*

\*Solo para particulares

Como se puede comprobar, están contempladas todas las necesidades que puede tener un cliente. En el caso de la opción Z.E. FLEX, con la batería de 22

Kwh, se parte de una opción de 7.500 kilómetros al año por 59 euros mensuales. En caso de superar esa cantidad, se van sumando tramos de 2.500 kilómetros que a su vez añaden al alquiler mensual 10 euros más. De esta forma siempre tendrás el contrato que mejor se adapte a tus características.

En el caso de la opción Z.E. FLEX, con la batería de 40 Kwh, se sigue el mismo sistema pero con un alquiler mensual que parte desde los 69 euros mensuales para 7.500 kilómetros anuales.

Por otro lado, está la opción Z.E. RELAX, que incluye kilómetros ilimitados para aquellos clientes que hagan un uso intensivo del coche por una cuota mensual de 119 euros. Sin embargo, es una opción que solo está disponible para clientes particulares.

Si al final resulta que has realizado menos kilómetros de los que esperabas, tu contrato se cambiará automáticamente al rango que mejor se adapte, de tal forma que siempre pagarás el que te corresponde.

Pongamos un ejemplo para ver las cosas más claras:

Una persona que realiza un trayecto diario de 120 kilómetros para ir a trabajar, realizará unos 27.000 kilómetros anuales solo para ir al trabajo. Sumando las salidas de ocio y otro tipo de trayectos, fácilmente podría alcanzar los 30.000 kilómetros anuales. Por lo tanto, su contrato ideal sería el Z.E. RELAX, el cual permite realizar un número ilimitado de kilómetros anuales, con un coste mensual de 119 euros para el Renault ZOE 40.

En este caso, el coste de combustible podría irse hasta los 2.057 euros anuales para un coche que tenga un consumo de diésel de 6 l/100 km y a un precio de 1,143 euros el litro. En cambio, el coste de un año de alquiler de batería se quedaría en 1.428 euros a los que había que sumar unos 360 euros de electricidad gracias a la tarifa de discriminación horaria para hacer un total de 1.798.

Qué incluye el precio la batería

Optar por el sistema de alquiler de batería no solo permite reducir el precio de adquisición, sino que también incluye otra serie de beneficios. Junto con el sistema de alquiler de batería Renault ofrece una garantía ilimitada para la misma. De esta forma, si la capacidad de la batería disminuye por debajo del 75% o hay algún otro problema con ella, se cambia de forma totalmente gratuita. Teniendo en cuenta que la batería es uno de los componentes más caros y delicados del coche, el sistema de alquiler permite dejar de lado la preocupación por cuidar al máximo este componente. Además, el contrato de alquiler también incluye asistencia gratuita en carretera en caso de avería, incluso si se detiene el coche por descarga total de la batería.