

THE LEAP INSTITUTE PRESENTS

Electric Vehicle Maintenance Training Workbook

Visit our site for more information:
www.theleapinstitute.org



CHAPTER 4 / CAPÍTULO 4

TYPES OF EV BATTERIES

TIPOS DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Introduction / Introducción

The success of electric vehicles (EVs) depends on how effectively electrical energy can be stored and used. Today's EVs rely primarily on battery-based Electrical Energy Storage Systems (EESS). As a technician, understanding how batteries function will be essential to your work.

El éxito de los vehículos eléctricos (VE) depende de la eficacia con la que se pueda almacenar y utilizar la energía eléctrica. Los VE actuales se basan principalmente en sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (EESS) basados en baterías. Como técnico, comprender el funcionamiento de las baterías será esencial para su trabajo.

Understanding Battery Basics / Conceptos Básicos De La Batería

In vehicle technology, a battery refers to a collection of multiple cells that are electrically connected. A cell is an electrochemical energy storage device that produces electrical energy through a chemical reaction. Each cell consists of two electrical conductors called an anode and a cathode. These electrodes are separated by an electrolyte. The electrolyte allows the flow of electric charge between the electrodes when the battery is connected to a circuit.

En tecnología automotriz, una batería se refiere a un conjunto de múltiples celdas conectadas eléctricamente. Una celda es un dispositivo de almacenamiento de energía electroquímica que produce energía eléctrica mediante una reacción química. Cada celda consta de dos conductores eléctricos llamados ánodo y cátodo. Estos electrodos están separados por un electrolito. El electrolito permite el flujo de carga eléctrica entre los electrodos cuando la batería está conectada a un circuito.

Since the voltage output of a single cell is relatively low, multiple cells are connected together to increase the overall voltage and current output. There are two main ways to connect battery cells: in series and in parallel.

Dado que el voltaje de salida de una sola celda es relativamente bajo, se conectan varias celdas para aumentar el voltaje y la corriente de salida totales. Hay dos maneras principales de conectar las celdas de la batería: en serie y en paralelo.

Series Connection / Conexión en Serie

When cells are connected in series, the positive terminal of one cell is connected to the negative terminal of the next cell, forming a single electrical path. This configuration increases the total voltage of the battery system while keeping the current the same as that produced by a single cell.

Cuando las celdas se conectan en serie, el terminal positivo de una celda se conecta al terminal negativo de la celda contigua, formando una única ruta eléctrica. Esta configuración aumenta el voltaje total del sistema de batería, manteniendo la corriente igual que la producida por una sola celda.

For example, if you connect three cells in series, each with a voltage of 3.7 volts, the total output voltage would be 11.1 volts ($3.7\text{ V} + 3.7\text{ V} + 3.7\text{ V}$). However, the total current available would remain the same as that of a single cell.

Por ejemplo, si se conectan tres celdas en serie, cada una con un voltaje de 3,7 voltios, el voltaje de salida total sería de 11,1 voltios ($3,7\text{ V} + 3,7\text{ V} + 3,7\text{ V}$). Sin embargo, la corriente total disponible sería la misma que la de una sola celda.

Series connections are useful when a higher voltage is required to power the motor and other electrical components in an EV.

Las conexiones en serie son útiles cuando se requiere un voltaje más alto para alimentar el motor y otros componentes eléctricos en un EV.

Parallel Connection / Conexión en Paralelo

In a parallel connection, the positive terminals of all the cells are connected together, and the negative terminals are connected together, forming multiple electrical paths. This configuration increases the total current output while maintaining the same voltage as a single cell.

En una conexión en paralelo, los terminales positivos y negativos de todas las celdas se conectan entre sí, formando múltiples rutas eléctricas. Esta configuración aumenta la corriente total de salida manteniendo el mismo voltaje que una sola celda.

For example, if you connect three cells in parallel, each with a voltage of 3.7 volts and a current capacity of 3 amps, the total output voltage would remain 3.7 volts, but the total current would increase to 9 amps (3 A + 3 A + 3 A).

Por ejemplo, si conectas tres celdas en paralelo, cada una con un voltaje de 3,7 voltios y una capacidad de corriente de 3 amperios, el voltaje de salida total seguiría siendo 3,7 voltios, pero la corriente total aumentaría a 9 amperios (3 A + 3 A + 3 A).

Parallel connections are useful when more current is needed to support high power output or when the battery needs to sustain longer periods of operation. Increasing the current capacity can enhance vehicle acceleration and performance.

Las conexiones en paralelo son útiles cuando se necesita más corriente para soportar una alta potencia de salida o cuando la batería necesita mantener periodos de funcionamiento más largos. Aumentar la capacidad de corriente puede mejorar la aceleración y el rendimiento del vehículo.

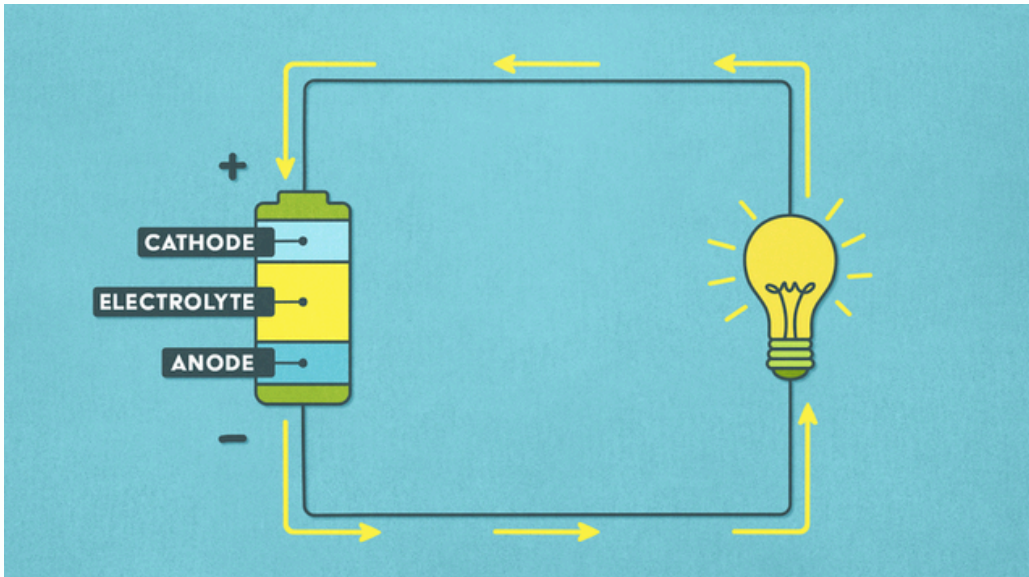
Combining Series and Parallel Connections / Combinando Conexiones en Serie y en Paralelo

Most EV batteries are designed using a combination of series and parallel connections to balance voltage and current output.

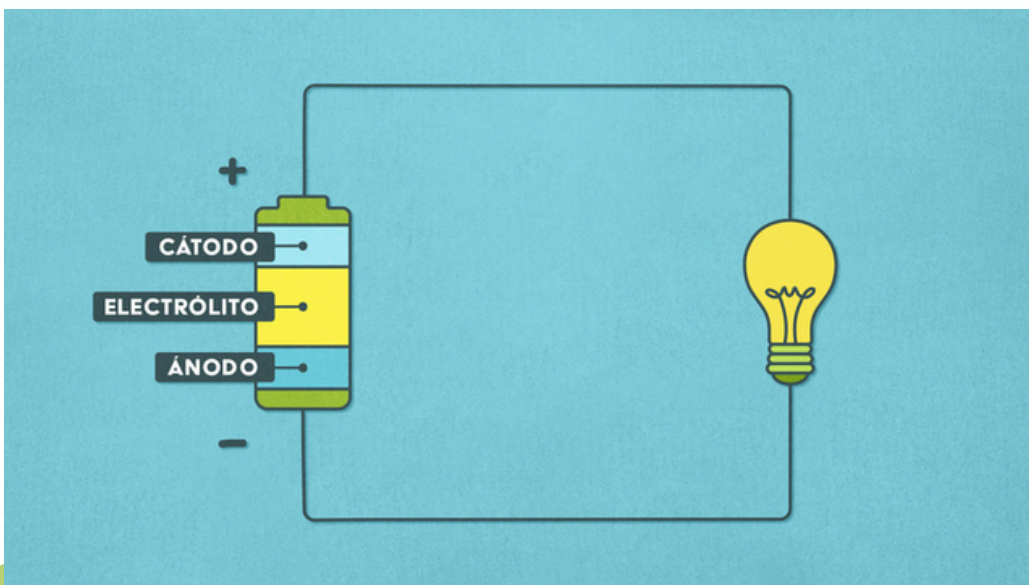
La mayoría de las baterías de vehículos eléctricos están diseñadas utilizando una combinación de conexiones en serie y en paralelo para equilibrar el voltaje y la corriente de salida.

Galvanic Cells / Celdas Galvánicas

A **galvanic cell** produces electrical current from a spontaneous chemical reaction. When the electrodes of a galvanic cell are connected to a load in a closed circuit, electrons flow from the anode to the cathode through the circuit, generating an electric current. Galvanic cells are the foundation of all batteries used in EVs. In an electric vehicle, multiple galvanic cells are combined into modules and battery packs to provide the required voltage and current for the motor and other electrical systems.



Una celda galvánica produce corriente eléctrica a partir de una reacción química espontánea. Cuando los electrodos de una celda galvánica se conectan a una carga en un circuito cerrado, los electrones fluyen del ánodo al cátodo a través del circuito, generando una corriente eléctrica. Las celdas galvánicas son la base de todas las baterías utilizadas en vehículos eléctricos. En un vehículo eléctrico, múltiples celdas galvánicas se combinan en módulos y paquetes de baterías para proporcionar el voltaje y la corriente necesarios para el motor y otros sistemas eléctricos.



Electrical Energy Storage System (EESS) / Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica (EESS)

The **Electrical Energy Storage System (EESS)** in an EV consists of modules grouping of cells made up of series and parallel cell configurations. The purpose of the EESS is to supply the necessary voltage and current to meet the power and energy demands of the vehicle's electric motor and electronic systems. Most EV manufacturers have focused their efforts on improving EESS technology in recent years to increase driving distances between charges.

El Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica (EESS) de un vehículo eléctrico (VE) consta de módulos que agrupan celdas en configuraciones en serie y en paralelo. Su propósito es suministrar el voltaje y la corriente necesarios para satisfacer las demandas de potencia y energía del motor eléctrico y los sistemas electrónicos del vehículo. En los últimos años, la mayoría de los fabricantes de VE han centrado sus esfuerzos en mejorar la tecnología EESS para aumentar la distancia recorrida entre cargas.

There are four key performance factors that affect the design and operation of an EESS:

1. **Power** refers to the rate at which a battery can supply electrical energy to the motor. A battery with high power output allows the vehicle to accelerate quickly and perform well under load.
 2. **Energy density** measures how much energy can be stored in a specific volume of battery material. A higher energy density means the vehicle can travel further on a single charge without increasing the size or weight of the battery pack.
 3. **Longevity** refers to the lifespan of the battery. A battery with high longevity will maintain its performance and capacity over many charge and discharge cycles, making them more sustainable and cost effective.
 4. **Safety** relates to how well the battery handles stress during operation, including overcharging, extreme temperatures, and physical impact. A well-designed battery system includes protection features to prevent overheating, short circuits, and other potential hazards.
-

Electrical Energy Storage System (EESS) / Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica (EESS)

Hay cuatro factores clave de rendimiento que afectan el diseño y el funcionamiento de un EESS:

1. **La potencia** se refiere a la velocidad a la que una batería puede suministrar energía eléctrica al motor. Una batería con alta potencia de salida permite que el vehículo acelere rápidamente y tenga un buen rendimiento bajo carga.
 2. **La densidad energética** mide la cantidad de energía que se puede almacenar en un volumen específico de material de la batería. Una mayor densidad energética significa que el vehículo puede recorrer mayores distancias con una sola carga sin aumentar el tamaño ni el peso de la batería.
 3. **La longevidad** se refiere a la vida útil de la batería. Una batería con alta longevidad mantendrá su rendimiento y capacidad durante muchos ciclos de carga y descarga, lo que la hace más sostenible y rentable.
 4. **La seguridad** se relaciona con la capacidad de la batería para manejar el estrés durante su funcionamiento, incluyendo sobrecarga, temperaturas extremas e impactos físicos. Un sistema de batería bien diseñado incluye funciones de protección para prevenir el sobrecalentamiento, los cortocircuitos y otros peligros potenciales.
-

Lithium-Ion Batteries – Lithium-ion batteries are by far the most widely used battery type in the US due to their high energy density, long lifespan, and relatively low weight. Advances in technology have allowed for lithium-ion batteries to have a similar driving range to a tank of gas and fully charge within minutes. While lithium-ion batteries are sensitive to heating, modern manufacturing has given them a high safety profile.

Baterías de iones de litio – Las baterías de iones de litio son, con diferencia, el tipo de batería más utilizado en EE. UU. debido a su alta densidad energética, larga vida útil y peso relativamente bajo. Los avances tecnológicos han permitido que las baterías de iones de litio tengan una autonomía similar a la de un depósito de gasolina y se carguen completamente en cuestión de minutos. Si bien son sensibles al calor, la fabricación moderna les ha conferido un alto perfil de seguridad.

There are several variants of lithium-ion batteries:

- **Lithium Cobalt Oxide (LCO):** LCO batteries are commonly used in portable electronics but are less common in EVs due to their relatively short lifespan and thermal instability.
- **Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC):** NMC batteries offer a balance of power, energy density, and lifespan. They are widely used in EVs because they provide good overall performance and are relatively stable under stress.
- **Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA):** NCA batteries deliver high energy density and power output but are more sensitive to overheating and require advanced thermal management systems. Tesla uses NCA batteries in many of its vehicles.
- **Lithium Titanate (LTO):** LTO batteries are known for their fast charging capabilities and long lifespan. Their lower energy density makes them less suitable for long-range EVs.

Types of Battery Technologies / Tipos de Tecnologías de Baterías

Existen diversas variantes de baterías de iones de litio:

- **Óxido de litio y cobalto (LCO):** Las baterías LCO se utilizan comúnmente en dispositivos electrónicos portátiles, pero son menos comunes en vehículos eléctricos debido a su corta vida útil y a su inestabilidad térmica.
- **Óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto (NMC):** Las baterías NMC ofrecen un equilibrio perfecto entre potencia, densidad energética y vida útil. Se utilizan ampliamente en vehículos eléctricos porque ofrecen un buen rendimiento general y son relativamente estables bajo tensión.
- **Óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio (NCA):** Las baterías NCA ofrecen una alta densidad energética y una alta potencia de salida, pero son más sensibles al sobrecalentamiento y requieren sistemas avanzados de gestión térmica. Tesla utiliza baterías NCA en muchos de sus vehículos.
- **Titanato de litio (LTO):** Las baterías LTO son conocidas por su rápida capacidad de carga y su larga vida útil. Su menor densidad energética las hace menos adecuadas para vehículos eléctricos de largo alcance.

Solid-State Batteries – Solid-state batteries use solid electrodes and electrolytes rather than liquid or gel-based electrolytes. They are less common in the US, but are starting to appear in Hyundai, Toyota, and Volkswagen EV's. With development progress, Solid-State Batteries are expected to have driving ranges equivalent to a full gasoline tank with one charge in the near future.

Baterías de estado sólido – Las baterías de estado sólido utilizan electrodos y electrolitos sólidos en lugar de electrolitos líquidos o de gel. Son menos comunes en EE. UU., pero están empezando a aparecer en los vehículos eléctricos de Hyundai, Toyota y Volkswagen. Con el avance del desarrollo, se espera que las baterías de estado sólido alcancen una autonomía equivalente a la de un tanque de gasolina lleno con una sola carga en un futuro próximo.

Types of Battery Technologies / Tipos de Tecnologías de Baterías

Nickel-Metal Hydride (NiMH) Batteries – Nickel-metal hydride (NiMH) batteries were widely used in early hybrid electric vehicles (HEVs) and are still found in some hybrid models today. One of the key advantages of NiMH batteries is their high tolerance for overcharging and complete discharge. This makes them highly reliable and less prone to damage from improper charging. NiMH batteries also have a relatively low environmental impact because they contain fewer toxic materials than other battery types, making them easier to recycle.

Baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) – Las baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) se usaron ampliamente en los primeros vehículos eléctricos híbridos (VEH) y aún se encuentran en algunos modelos híbridos en la actualidad. Una de las principales ventajas de las baterías de NiMH es su alta tolerancia a la sobrecarga y la descarga completa. Esto las hace muy fiables y menos propensas a sufrir daños por una carga incorrecta. Además, tienen un impacto ambiental relativamente bajo, ya que contienen menos materiales tóxicos que otros tipos de baterías, lo que facilita su reciclaje.

However, NiMH batteries have a lower energy density than lithium-ion and solid-state batteries, which limits their use in full-electric vehicles. Their higher weight and lower efficiency result in reduced driving range and slower acceleration compared to lithium-ion-powered EVs.

Sin embargo, las baterías de NiMH tienen una densidad energética menor que las de iones de litio y las de estado sólido, lo que limita su uso en vehículos totalmente eléctricos. Su mayor peso y menor eficiencia resultan en una autonomía reducida y una aceleración más lenta en comparación con los vehículos eléctricos de iones de litio.

While you might find some NiMH batteries, it is unlikely that you will encounter them with new models of EV's. With advances in lithium-ion and solid state technology, NiMH batteries may become less and less common as time goes on.

Aunque es posible encontrar baterías de NiMH, es poco probable que las encuentre en los nuevos modelos de vehículos eléctricos. Con los avances en la tecnología de iones de litio y estado sólido, las baterías de NiMH podrían volverse cada vez menos comunes con el tiempo.



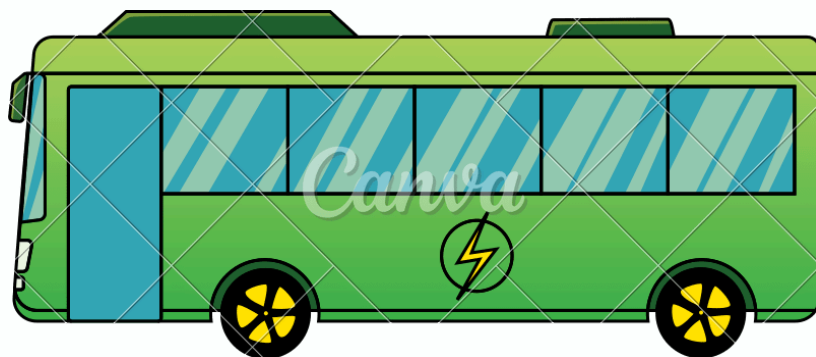
Theoretically, the **EESS** can be single or multiple modules on EVs. Due to the weight and space occupied by the batteries, **EESS** design is critical in both automobile and commercial EVs. Typical locations for the EESS in automobiles include:

*En teoría, el **EESS** puede constar de uno o varios módulos en los vehículos eléctricos. Debido al peso y al espacio que ocupan las baterías, el diseño del **EESS** es crucial tanto en automóviles como en vehículos eléctricos comerciales. Las ubicaciones típicas del EESS en automóviles incluyen:*

- Undercarriage, below the passenger compartment / *Tren de aterrizaje, debajo del habitáculo*
- Under the rear passenger seat / *Debajo del asiento trasero del pasajero*
- Vehicle trunk / *Cajuela del vehículo*

In commercial EVs, such as transit buses with multiple **EESS** modules, some of the weight can be put on the roof. But this raises the vehicle center of gravity and alters the crash impact dynamics of the vehicle. Another option for transit buses is to locate the **EESS** under the passenger floor. In transport trucks, removal of the mass of the diesel engine means that the **EESS** may be located in what used to be termed the engine compartment.

*En los vehículos eléctricos comerciales, como los autobuses de tránsito con múltiples módulos **EESS**, parte del peso se puede colocar en el techo. Pero esto eleva el centro de gravedad del vehículo y altera la dinámica de impacto. Otra opción para los autobuses es ubicar el **EESS** bajo el piso del pasajero. En los camiones de transporte, la eliminación de la masa del motor diésel permite que el **EESS** se ubique en lo que antes se denominaba el compartimento del motor.*



QUIZ / PRUEBA

1. What is a battery in the context of electric vehicles (EVs)?

- a) A single cell that produces electrical energy
- b) A collection of cells that are electrically connected
- c) A device that converts electrical energy into mechanical energy
- d) A system that stores fuel for combustion

1. ¿Qué es una batería en el contexto de los vehículos eléctricos (VE)?

- a) Una sola celda que produce energía eléctrica
- b) Un conjunto de celdas conectadas eléctricamente
- c) Un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica
- d) Un sistema que almacena combustible para la combustión

2. What is the primary function of the electrolyte in a battery cell?

- a) To separate the anode and cathode
- b) To allow the flow of electric charge between electrodes
- c) To produce chemical energy
- d) To prevent overcharging

2. ¿Cuál es la función principal del electrolito en una celda de batería?

- a) Separar el ánodo del cátodo
- b) Permitir el flujo de carga eléctrica entre los electrodos
- c) Producir energía química
- d) Evitar la sobrecarga

3. In a parallel connection, how does the total voltage and current change?

- a) Voltage increases, current remains the same
- b) Both voltage and current remain the same
- c) Both voltage and current increase
- d) Current increases, voltage remains the same

QUIZ / PRUEBA

3. **En una conexión en paralelo, ¿cómo varían el voltaje y la corriente totales?**

- a) El voltaje aumenta, la corriente se mantiene constante.
- b) Tanto el voltaje como la corriente se mantienen constantes.
- c) Tanto el voltaje como la corriente aumentan.
- d) La corriente aumenta, el voltaje se mantiene constante.

4. **Why are series connections useful for EV batteries?**

- a) To increase voltage output
- b) To increase current capacity
- c) To reduce overheating
- d) To improve safety

4. **¿Por qué son útiles las conexiones en serie para las baterías de vehículos eléctricos?**

- a) Para aumentar la tensión de salida
- b) Para aumentar la capacidad de corriente
- c) Para reducir el sobrecalentamiento
- d) Para mejorar la seguridad

5. **What is a galvanic cell?**

- a) A cell that produces an electrical current from a spontaneous reaction
- b) A device that stores fuel for combustion
- c) A component that regulates current in an EV
- d) A system that generates mechanical energy

5. **¿Qué es una celda galvánica?**

- a) Una celda que produce una corriente eléctrica a partir de una reacción espontánea.
- b) Un dispositivo que almacena combustible para la combustión.
- c) Un componente que regula la corriente en un vehículo eléctrico.
- d) Un sistema que genera energía mecánica.

QUIZ / PRUEBA

6. **What is the primary purpose of an Electrical Energy Storage System (EESS) in an EV?**

- a) To regulate tire pressure
- b) To supply voltage and current to the motor and electronic systems
- c) To convert mechanical energy into electrical energy
- d) To store fuel for combustion

6. **¿Cuál es el propósito principal de un Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica (SEAE) en un VE?**

- a) Regular la presión de los neumáticos
- b) Suministrar voltaje y corriente al motor y a los sistemas electrónicos
- c) Convertir energía mecánica en energía eléctrica
- d) Almacenar combustible para la combustión

7. **Which factor determines how fast a vehicle can accelerate?**

- a) Energy density
- b) Longevity
- c) Power output
- d) Safety

7. **¿Qué factor determina la velocidad de aceleración de un vehículo?**

- a) Densidad energética
- b) Longevidad
- c) Potencia de salida
- d) Seguridad

QUIZ / PRUEBA

Canva

8. **Why are lithium-ion batteries the most widely used battery type in EVs?**

- a) High energy density and fast recharge time
- b) Low energy density but high current output
- c) Low environmental impact
- d) Long lifespan

8. **¿Por qué las baterías de iones de litio son el tipo de batería más utilizado en los VE?**

- a) Alta densidad energética y rápido tiempo de recarga
- b) Baja densidad energética pero alta salida de corriente
- c) Bajo impacto ambiental
- d) Larga vida útil

9. **Why are NiMH batteries still used in hybrid vehicles despite their lower energy density?**

- a) They have a low environmental impact and tolerate overcharging well
- b) They have a high energy density and recharge quickly
- c) They are cheaper to produce than lithium-ion batteries
- d) They offer better acceleration and range

9. **¿Por qué se siguen utilizando baterías de NiMH en vehículos híbridos a pesar de su menor densidad energética?**

- a) Tienen un bajo impacto ambiental y toleran bien la sobrecarga
- b) Tienen una alta densidad energética y se recargan rápidamente
- c) Son más económicas de producir que las baterías de iones de litio
- d) Ofrecen mejor aceleración y autonomía

BIBLIOGRAPHY

Bennett, S. (2024). Electric Vehicles: A Systems Approach [Online textbook]. Tinley Park, IL: The Goodheart-Willcox Company, Inc. Retrieved from <https://www.g-w.com>

Forbes Advisor. (n.d.). Car ownership statistics. Forbes. Retrieved August 18, 2025, from <https://www.forbes.com/advisor/car-insurance/car-ownership-statistics/>

McKibben, B. (2022, June 9). Wrong turn: America's car culture and the road not taken. Yale Environment 360. Retrieved from <https://e360.yale.edu/features/wrong-turn-americas-car-culture-and-the-road-not-taken>

Tiseo, I. (2024, September 16). Global transportation sector GHG emissions 2023, by country. Statista. Retrieved August 18, 2025, from <https://www.statista.com/statistics/1084166/ghg-emissions-transportation-sector-globally-by-country/>

Wood, E., Borlaug, B., Moniot, M., Lee, D.-Y., Ge, Y., Yang, F., & Liu, Z. (2023). The 2030 National Charging Network: Estimating U.S. Light-Duty Demand for Electric Vehicle Charging Infrastructure (NREL Report No. OSTI-85654). National Renewable Energy Laboratory. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/85654.pdf>

California Air Resources Board. (2025). Advanced Clean Cars II. Retrieved August 18, 2025, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/advanced-clean-cars-program/advanced-clean-cars-ii>

Dlouhy, J. (2024, March 21). Jennifer Dlouhy on new tailpipe mandate and its impact on middle American voters [Video]. Bloomberg Radio, via YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=N98CtwsWrr8>

Wood, E., Borlaug, B., Moniot, M., Lee, D.-Y., Ge, Y., Yang, F., & Liu, Z. (2023, June). The 2030 National Charging Network: Estimating U.S. Light-Duty Demand for Electric Vehicle Charging Infrastructure (NREL Report No. TP-5400-85654). National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/85654.pdf>



Visit our site for more information:
www.theleapinstitute.org

