



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Proyecto de almacenamiento de energía: Sistemas de baterías para
vehículos y red eléctrica**

JESÚS DAVID MONTES CORREA, MATEO HERRAN MURCIA Y MILLER INFANTE

**JAIME ALEJANDRO VALENCIA VELASQUEZ,
ESTEBAN VELILLA HERNANDEZ**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA

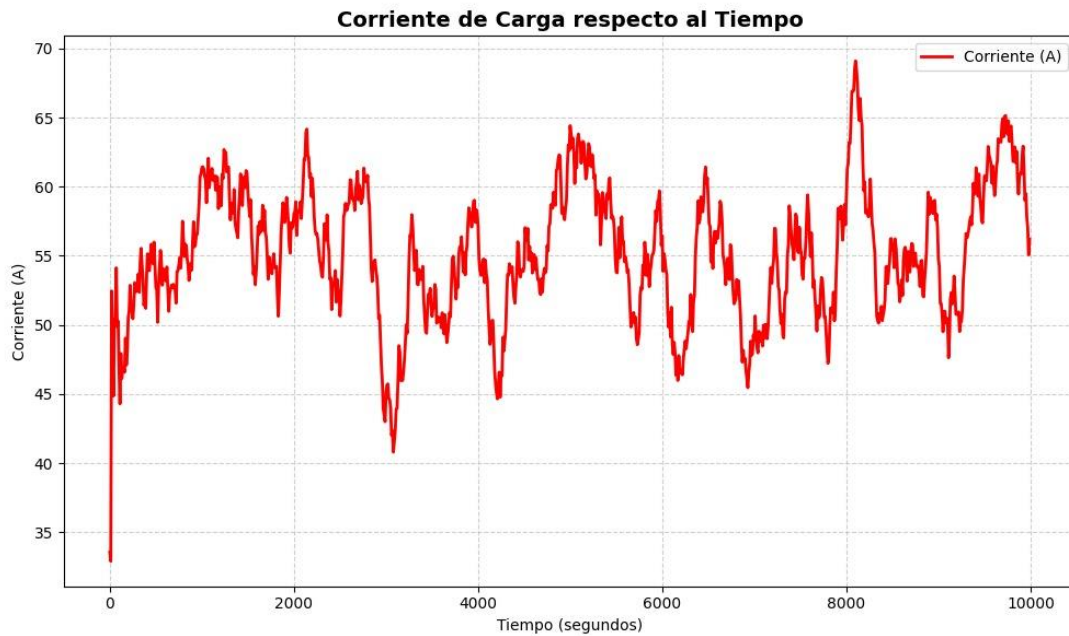
MEDELLÍN, ANTIOQUIA, COLOMBIA

2025

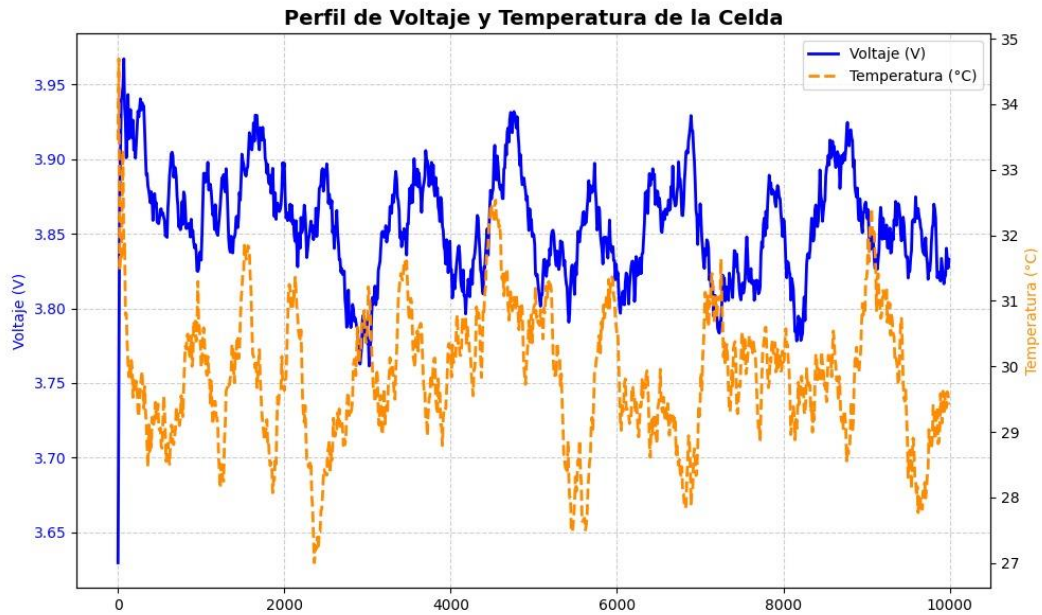
Este informe aborda los principios fundamentales de los Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS), esenciales para comprender su aplicación en vehículos eléctricos (EVs) y sistemas a escala de red.

Las baterías de iones de litio actualmente son el estándar para el almacenamiento de energía, debido a su funcionamiento, que se basa principalmente en la relación reversible de iones de litio entre dos electrodos, lo cual es pertinente para el análisis de la curva de carga y descarga.

- **Proceso de Carga:** Durante la carga, se aplica un voltaje que obliga a los iones de litio a moverse desde el cátodo a través del electrolito hacia el ánodo, y así generar un ciclo donde se alterna la estructura. En la práctica, la batería recibe corriente elevada desde un inicio, por ende, su resistencia interna aumenta a medida que se llena, lo que requiere que el voltaje continúe subiendo mientras la corriente debe disminuir gradualmente.
- **Proceso de Descarga:** Es el proceso de descarga es el inverso al de carga, es decir, los iones de litio migran del ánodo al cátodo, liberando electrones a través del circuito externo, para así generar energía eléctrica.



El gráfico de Corriente de Carga respecto al Tiempo ilustra la demanda dinámica de potencia impuesta a la celda. Se utiliza para identificar el punto de máxima exigencia de potencia y es fundamental para calcular la Tasa de carga Máxima del sistema.



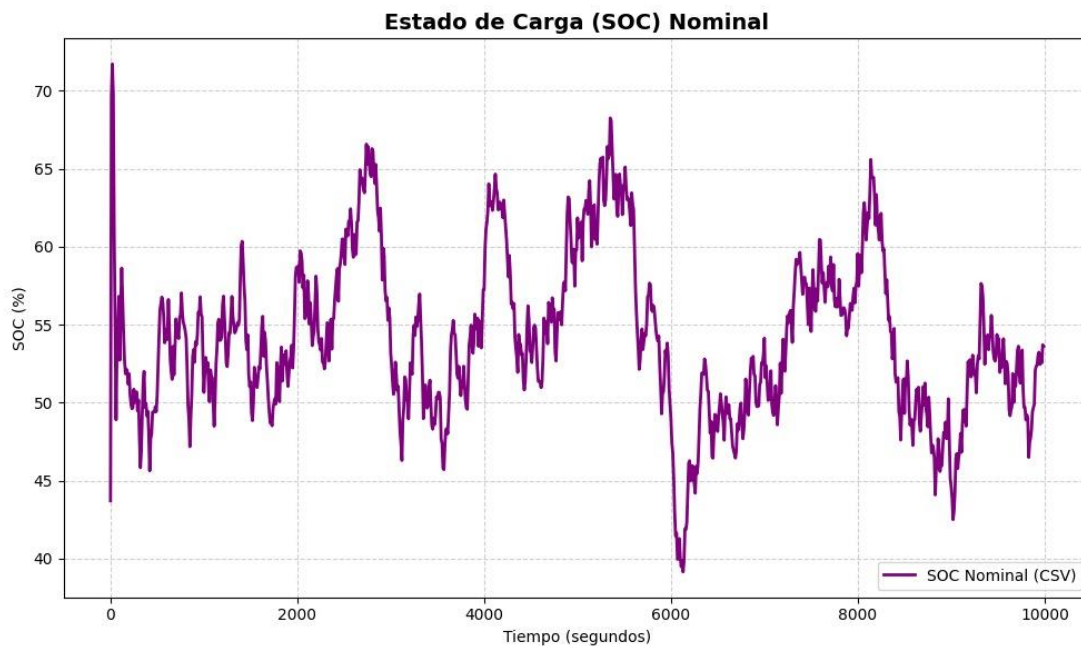
El gráfico de Perfil de Voltaje y Temperatura de la Celda muestra la fluctuación del voltaje en respuesta a los picos de corriente. Esta curva es la base para observar el comportamiento de la batería durante el ciclo.

Existen dos tipos de baterías litio una que se compone con Níquel, Manganeso y Cobalto (NMC), con mayor densidad de energía, lo que permite mayor autonomía y eficiencia con respecto a su tamaño y peso. Sin embargo, suelen ofrecer menos ciclos de vida. La otra está compuesta por Litio, Hierro, Fosfato (LFP), la cual ofrece más ciclos de vida y mayor estabilidad térmica, en cambio la densidad de energía es menor.

Para modelar y evaluar el rendimiento de un BESS (Battery Energy Storage System), se utilizan métricas estandarizadas, el cual hace uso de la clase BatteryDataprocessor y SystemSizer de la aplicación de Python:

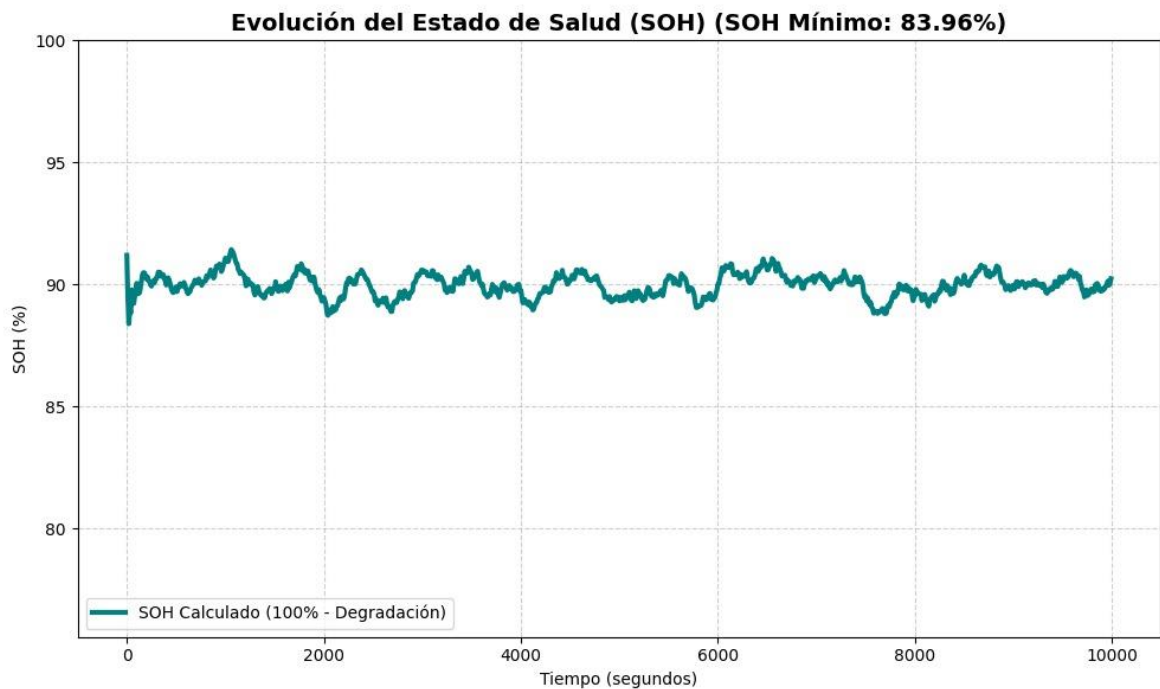
- **Estado de Carga (SOC):** Es el porcentaje de capacidad de carga restante en una batería en un momento dado. Se expresa de 0% (vacía) a 100% (llena). En el código el estado de carga se calcula por medio del método de Current Integration, la cual es una técnica estándar para el control de baterías.

$$\text{SOC}(\%) = \left(\frac{Q_{\text{inicial}} + \int_0^t I(\tau) d\tau}{Q_{\text{nominal}}} \right) \times 1000$$



El gráfico de Estado de Carga (SOC) Nominal se utiliza como referencia para verifica si el cálculo sigue la tendencia esperada de la celda.

- **Estado de Salud (SOH):** Es una medida del estado general de la batería, comparando su rendimiento actual con su capacidad original cuando era nueva. En otros términos, muestra la degradación que tiene la batería.



El gráfico de Evolución del Estado de Salud (SOH) muestra cómo la capacidad de la batería se mantiene o degrada a lo largo del tiempo de operación.

Tasa de carga: Es la velocidad a la que se carga o descarga una batería, variable a su capacidad máxima. Una Tasa alta (carga o descarga rápida) provoca una caída de voltaje más marcada debido a la diferencia en la temperatura, mostrándose en mayor impacto en la resistencia interna.

El BMS (Sistema de Gestión de Baterías) actúa como el cerebro de la batería, siendo vital para el control, el rendimiento y la vida útil del sistema, para ello se tienen en cuenta ciertas características:

- **Balanceo de Celdas:** Valida que todas las celdas dentro de la base de datos tengan la misma capacidad utilizable, prolongando la vida de la batería.
- **Gestión Térmica:** Mantiene la batería dentro de su rango óptimo de temperatura de funcionamiento, ya que, el calor excesivo acelera la degradación.
- **Protección contra Sobretensión:** Previene la sobrecarga, lo que podría dañar la celda o provocar un fallo.
- **Protección contra Subtensión:** Evita la descarga excesiva, que también puede provocar daños irreparables en la celda.

La Batería tiene cierta aplicación, por ende, tiene que cumplir ciertos requisitos de rendimiento que difieren considerablemente entre las aplicaciones vehículos eléctricos y estacionarias o fijas como la de una red de almacenamiento.

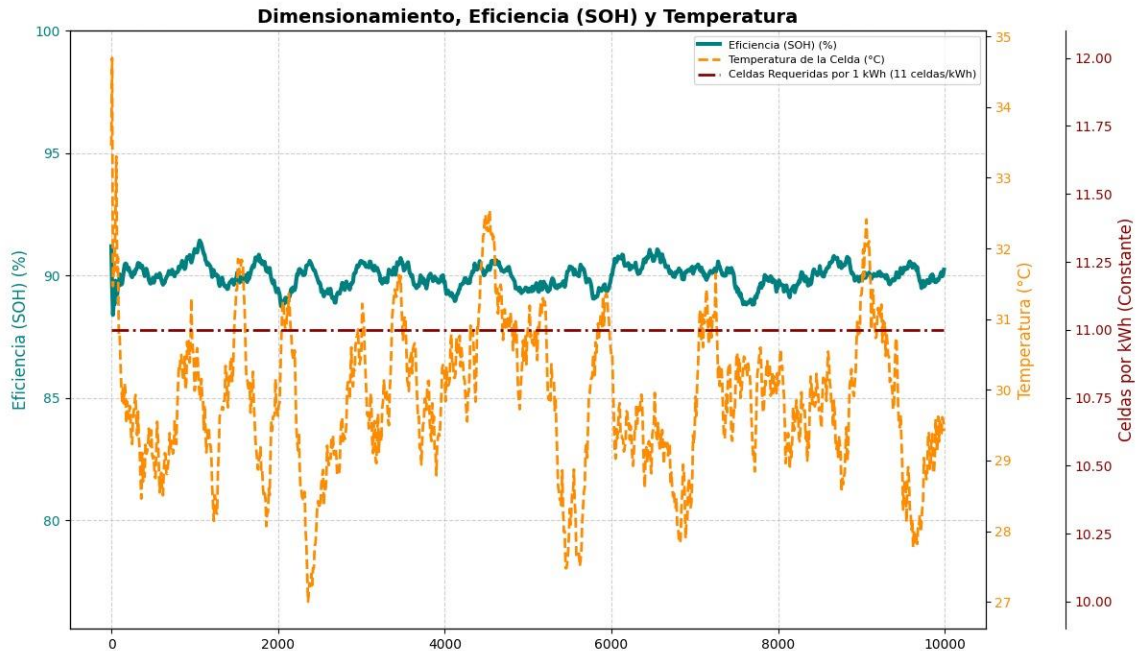
Requisitos para Vehículos Eléctricos:

- **Densidad de Potencia:** Es esencial para la aceleración y la capacidad de regeneración de energía, en vista de que la batería debe ser capaz de entregar y aceptar corrientes muy altas de forma instantánea.

- **Carga Rápida:** Indispensable para acortar el tiempo de espera del usuario y cumplir el ciclo de recarga.
- **Ciclo de Vida:** Vital, debido a que, esto muestra la duración de la batería según el dispositivo, no obstante, a menudo se prioriza la densidad de energía sobre el número máximo de ciclos, lo que altera significativamente el rendimiento y uso del equipo.

Requisitos para Almacenamiento en Red:

- **Densidad de Energía:** Si bien es importante para eficiencia del sistema, se prioriza la capacidad total de almacenamiento, dado que el modelo debe cumplir y estabilizar en casos en ciertos casos.
- **Largo Ciclo de Vida:** Los sistemas BESS se diseñan para operar diariamente o varias veces al día durante 15 a 20 años.
- **Seguridad:** Es total prioridad manejar la estabilidad térmica y la seguridad, puesto que favorece a largo plazo la funcionalidad en las grandes instalaciones.



Este gráfico de Relación Dimensionamiento, SOH y Temperatura combina las necesidades de diseño con el rendimiento operativo. La línea constante ("Celdas Requeridas por 1 kWh") ilustra la Constante de Dimensionamiento del sistema, mientras que el SOH y la Temperatura (líneas dinámicas) muestran cómo el rendimiento y la degradación interactúan, vinculando el diseño estático con la eficiencia dinámica.

La diferencia fundamental radica en la prioridad y en que se decida implementar, a causa de lo que exigen la densidad de potencia y energía para rendimiento y autonomía, monitoreando altas corrientes; mientras que los exigen largo ciclo de vida y seguridad para una operación estable y prolongada con descargas generalmente más moderadas.

El diseño de los **BESS** se basa en la química **Li-ion**, estableciendo un compromiso crucial que selecciona **NMC** para vehículos eléctricos priorizando potencia y autonomía o **LFP**

para sistemas de Red enfocándose en seguridad y longevidad. El rendimiento del sistema es monitoreado por el **BMS** mediante el **SOC** y **SOH**, demostrando que la elección final siempre equilibra y optimiza la densidad energética contra la durabilidad requerida.