

Análisis y Dimensionamiento de Baterías de Ion-Litio

Jose Manuel Criollo Chapal

10 de octubre de 2025

Índice

1. Fundamento teórico	2
1.1. Química de las baterías	2
1.1.1. Principios de carga y descarga	2
1.1.2. Químicas comunes en vehículos eléctricos (NMC, NCA)	2
1.1.3. Químicas comunes en almacenamiento en red (LFP)	2
1.2. Métricas de rendimiento de la batería	2
1.2.1. Estado de Carga (SOC)	2
1.2.2. Estado de Salud (SOH)	2
1.2.3. Índice de Carga (C-rate)	3
1.3. Sistemas de Gestión de Baterías (BMS)	3
1.3.1. Balanceo de celdas	3
1.3.2. Gestión térmica	3
1.3.3. Protecciones (sobretensión, subtensión, cortocircuito)	3
1.4. Aplicaciones y requisitos	3
1.4.1. Vehículos Eléctricos (VE)	3
1.4.2. Almacenamiento a Escala de Red (BESS)	4
2. Metodología	4
2.1. Descripción general de la aplicación Python	4
2.2. Estructura del proyecto y archivos	4
2.3. Preprocesamiento de datos	4
2.4. Cálculo de SOC y SOH	5
2.5. Generación de gráficos y visualizaciones	5
3. Resultados	6
3.1. Análisis descriptivo de los datos	6
4. Discusión	9
4.1. Interpretación de resultados	9
4.2. Implicaciones para diseño de sistemas	9
5. Conclusiones y recomendaciones	10
6. Referencias	10

1. Fundamento teórico

1.1. Química de las baterías

1.1.1. Principios de carga y descarga

Las baterías de ion-litio funcionan gracias a reacciones químicas que permiten almacenar y liberar energía. Están formadas por un ánodo, un cátodo, un electrolito y un separador. Cuando la batería se carga, los iones de litio se mueven desde el cátodo hacia el ánodo a través del electrolito, mientras los electrones viajan por el circuito externo. Durante la descarga, los iones regresan al cátodo y los electrones vuelven a circular, generando la corriente que alimenta los equipos. Este proceso puede repetirse muchas veces, lo que hace que las baterías de ion-litio sean eficientes y duraderas.

1.1.2. Químicas comunes en vehículos eléctricos (NMC, NCA)

En los vehículos eléctricos se necesitan baterías con mucha energía y potencia. Las más comunes son las de tipo NMC (níquel, manganeso y cobalto) y NCA (níquel, cobalto y aluminio). Las NMC tienen un buen equilibrio entre capacidad, seguridad y costo, por eso se usan en muchos autos eléctricos. Las NCA tienen una mayor densidad de energía, lo que permite más autonomía, aunque necesitan un control térmico cuidadoso porque se calientan más fácilmente.

1.1.3. Químicas comunes en almacenamiento en red (LFP)

Para el almacenamiento de energía en sistemas fijos, como los usados en redes eléctricas, se prefieren las baterías LFP (fosfato de hierro y litio). Estas no almacenan tanta energía como las NMC o NCA, pero son más seguras, estables y duran más ciclos de carga y descarga. Además, soportan mejor las altas temperaturas y presentan menos riesgos de incendio, lo que las hace ideales para aplicaciones estacionarias donde la seguridad es prioritaria.

1.2. Métricas de rendimiento de la batería

1.2.1. Estado de Carga (SOC)

El estado de carga o SOC indica cuánta energía le queda disponible a una batería respecto a su capacidad total. Se expresa en porcentaje y sirve para saber si la batería está llena, vacía o en un punto intermedio. Cuando el SOC es 100 %, significa que la batería está completamente cargada, y cuando es 0 %, está descargada. Este valor se calcula a partir de la corriente que entra o sale de la batería y el tiempo de uso, aunque en algunos casos también se estima con la medición del voltaje o mediante algoritmos en el sistema de control.

1.2.2. Estado de Salud (SOH)

El estado de salud o SOH muestra qué tan bien se encuentra una batería comparada con una nueva. A medida que se usa, su capacidad y rendimiento disminuyen por el envejecimiento químico y el número de ciclos de carga y descarga. El SOH también se expresa en porcentaje, donde 100 % representa una batería nueva y valores menores

indican desgaste. Este parámetro es importante para determinar cuándo una batería debe ser reemplazada o reutilizada en otra aplicación.

1.2.3. Índice de Carga (C-rate)

El índice de carga o C-rate indica la velocidad con la que una batería se carga o descarga en relación con su capacidad nominal. Por ejemplo, un C-rate de 1C significa que la batería puede cargarse o descargarse completamente en una hora, mientras que un C-rate de 0.5C corresponde a dos horas. Valores más altos implican cargas o descargas rápidas, pero también generan más calor y aceleran el desgaste de las celdas. Por eso, este parámetro se controla cuidadosamente según el tipo de batería y su uso.

1.3. Sistemas de Gestión de Baterías (BMS)

1.3.1. Balanceo de celdas

El balanceo de celdas es una de las funciones principales del sistema de gestión de baterías. En un paquete de baterías, las celdas no siempre tienen el mismo nivel de carga, y con el tiempo pueden aparecer diferencias que afectan el rendimiento y la vida útil del conjunto. El BMS se encarga de equilibrar las cargas entre las celdas, transfiriendo energía de las más cargadas a las menos cargadas o disipando el exceso en forma de calor. De esta manera, se logra que todas trabajen de forma uniforme y se aproveche mejor la capacidad total del sistema.

1.3.2. Gestión térmica

La gestión térmica controla la temperatura de las celdas para evitar el sobrecalentamiento o el enfriamiento excesivo. Si una batería trabaja fuera de su rango de temperatura recomendado, puede perder capacidad, reducir su vida útil o incluso dañarse. El BMS monitorea constantemente la temperatura y activa sistemas de refrigeración o calefacción según sea necesario. En aplicaciones como los vehículos eléctricos, este control es fundamental para mantener la eficiencia y la seguridad del sistema.

1.3.3. Protecciones (sobretensión, subtensión, cortocircuito)

El BMS también cumple una función de protección. Supervisa el voltaje, la corriente y la temperatura para evitar condiciones peligrosas. La protección contra sobretensión impide que las celdas se carguen por encima de su límite, lo que podría dañarlas o causar fallas térmicas. La protección contra subtensión evita descargas excesivas que deterioran los electrodos. Además, la detección de cortocircuitos permite desconectar rápidamente el sistema ante una falla, evitando accidentes y garantizando la seguridad de los equipos y usuarios.

1.4. Aplicaciones y requisitos

1.4.1. Vehículos Eléctricos (VE)

En los vehículos eléctricos, las baterías deben ofrecer una alta densidad de energía para poder recorrer largas distancias con una sola carga. También es importante que

tengan una buena capacidad de entrega de potencia, ya que los motores eléctricos demandan corrientes altas en aceleraciones. Además, deben soportar ciclos de carga rápida sin perder rendimiento ni generar demasiado calor. Por estas razones, se usan químicas como NMC o NCA, que combinan buena capacidad, peso reducido y estabilidad. Otro aspecto clave es el sistema de refrigeración, que mantiene las celdas dentro del rango de temperatura adecuado para evitar fallas y prolongar la vida útil. En general, las baterías de los vehículos eléctricos buscan equilibrar autonomía, potencia, seguridad y duración.

1.4.2. Almacenamiento a Escala de Red (BESS)

En el almacenamiento a escala de red, las prioridades cambian. En este tipo de sistemas, lo más importante es la seguridad, la estabilidad y una larga vida útil, más que la densidad de energía. Las baterías se utilizan para almacenar energía de fuentes renovables como la solar o la eólica y liberarla cuando hay mayor demanda. La química LFP es la más utilizada, ya que ofrece buena estabilidad térmica, una degradación lenta y un bajo riesgo de incendio. Los sistemas BESS deben ser capaces de operar de manera continua durante años, por lo que incluyen sistemas de control y monitoreo avanzados que aseguran un funcionamiento confiable. Estas características los convierten en una pieza clave para mejorar la eficiencia y la estabilidad de las redes eléctricas modernas.

2. Metodología

2.1. Descripción general de la aplicación Python

La aplicación desarrollada en Python permite analizar el comportamiento de baterías de ion-litio a partir de datos experimentales. Su objetivo principal es calcular el estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH), generar gráficos representativos y realizar comparaciones entre diferentes configuraciones. El programa fue diseñado para trabajar con archivos de datos obtenidos en pruebas de laboratorio o de simulación, y presenta los resultados de forma ordenada y visual.

2.2. Estructura del proyecto y archivos

El proyecto está organizado en varias carpetas y archivos. Se incluye un archivo principal en Python donde se ejecuta el análisis, una carpeta con los datos de entrada y otra donde se guardan los resultados. También se utilizan archivos adicionales con funciones auxiliares para el cálculo de parámetros y la creación de gráficos. Esta estructura facilita la lectura del código y permite modificar o ampliar el proyecto sin dificultad.

2.3. Preprocesamiento de datos

Antes de realizar los cálculos, los datos se preparan para eliminar errores o valores atípicos. Este paso incluye la limpieza de columnas, la conversión de unidades y la verificación del formato del archivo. El preprocesamiento también puede incluir el filtrado de señales o el cálculo de promedios para reducir el ruido de las mediciones. Con los datos organizados, se garantiza que los resultados obtenidos sean más precisos y coherentes.

2.4. Cálculo de SOC y SOH

El cálculo del estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH) se basa en las mediciones de corriente, tiempo y capacidad de la batería.

El **Estado de Carga (SOC)** representa el nivel de energía restante en la batería respecto a su capacidad total. Se puede calcular a partir de la corriente integrada en el tiempo, según la siguiente ecuación:

$$SOC(t) = SOC(0) - \frac{1}{C_n} \int_0^t I(\tau) d\tau$$

donde:

- $SOC(t)$ es el estado de carga en el instante t ,
- $SOC(0)$ es el estado de carga inicial,
- C_n es la capacidad nominal de la batería (en Ah),
- $I(\tau)$ es la corriente instantánea (positiva para descarga y negativa para carga).

El **Estado de Salud (SOH)** evalúa la degradación de la batería comparando su capacidad actual con la capacidad nominal original. Se expresa como porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$SOH = \frac{C_{\text{actual}}}{C_{\text{nominal}}} \times 100$$

donde:

- C_{actual} es la capacidad medida de la batería después de cierto número de ciclos,
- C_{nominal} es la capacidad especificada por el fabricante cuando la batería es nueva.

2.5. Generación de gráficos y visualizaciones

El programa genera gráficos que muestran la variación del voltaje, la corriente, el SOC y el SOH a lo largo del tiempo o de los ciclos de carga y descarga. Estas visualizaciones permiten identificar tendencias, comportamientos anómalos o pérdida de capacidad. Las gráficas se guardan automáticamente en formato de imagen para incluirlas en los informes del proyecto o compararlas con otras pruebas.

3. Resultados

3.1. Análisis descriptivo de los datos

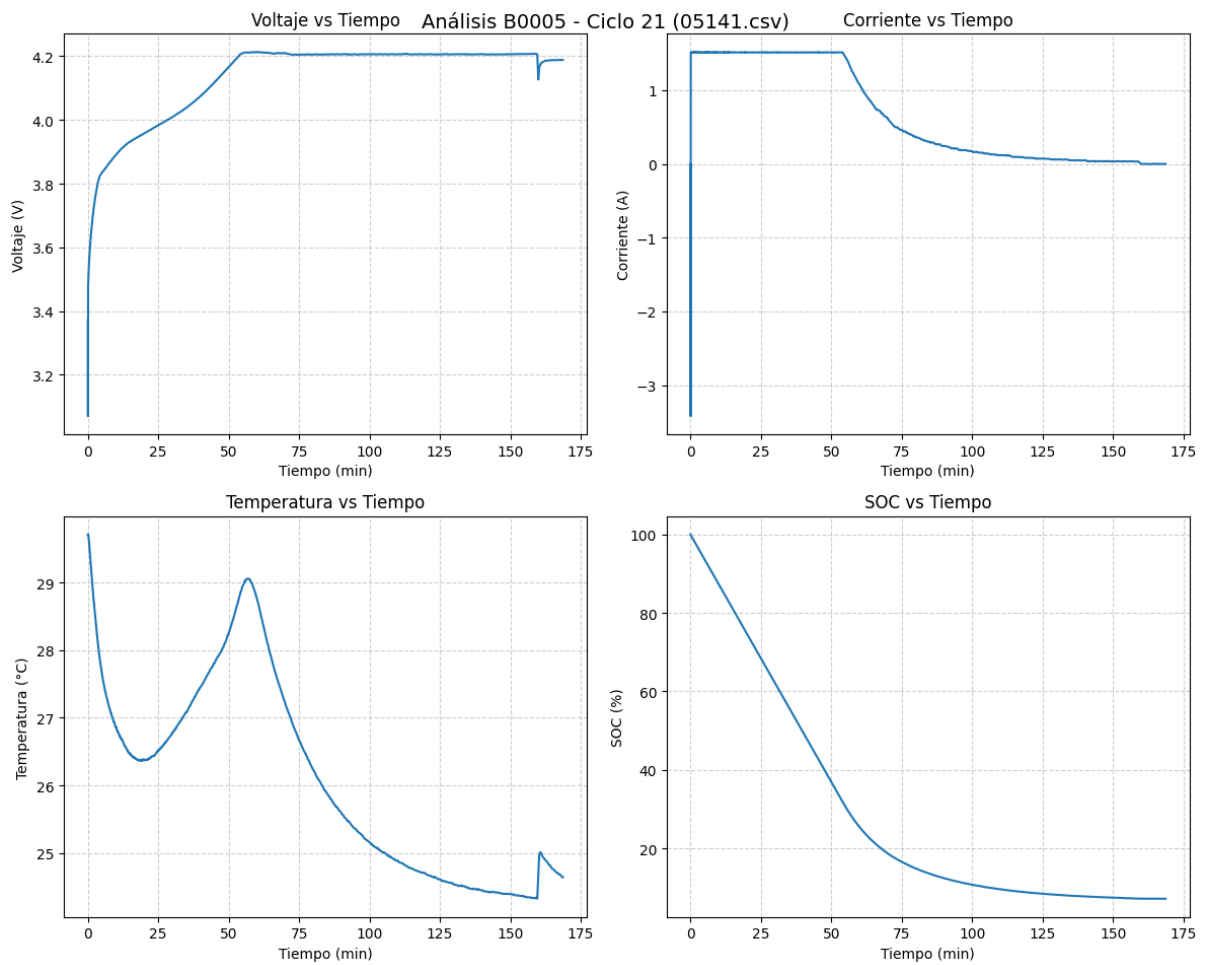


Figura 1: Graficas obtenidas apartir de los datos de la bateria B0005 ciclo 21

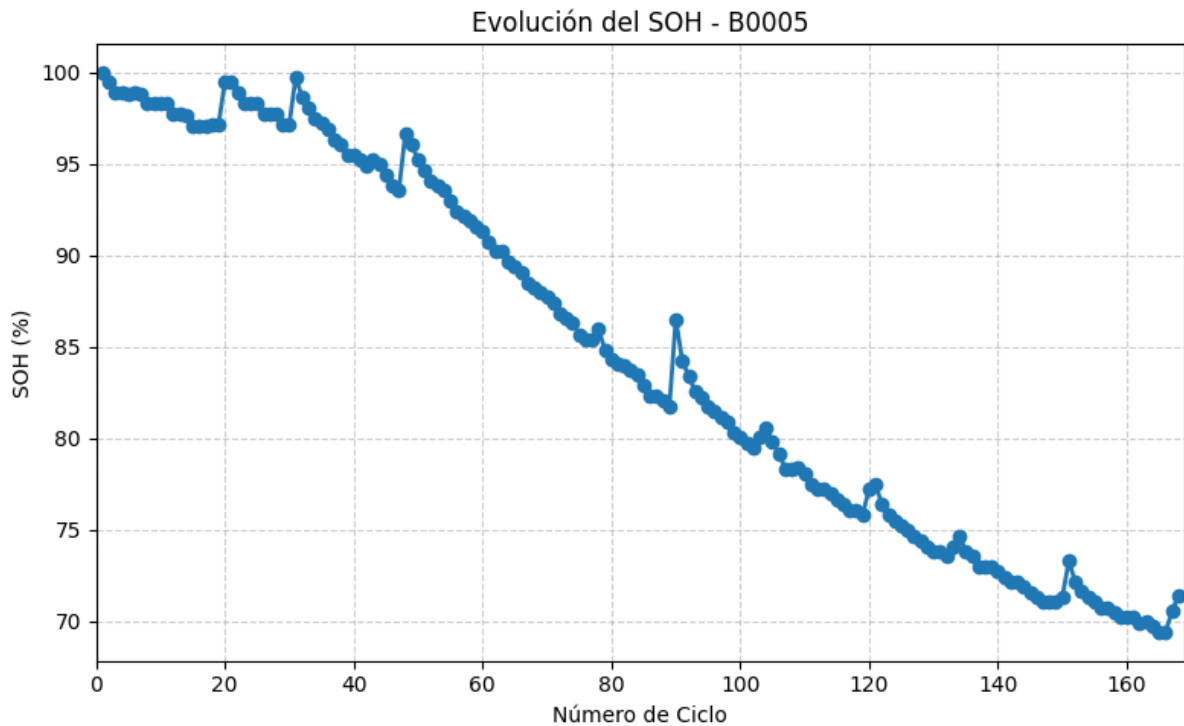


Figura 2: Evolución SOH para batería B0005

Cálculo para B0005

Tipo conexión: serie

Energía por celda: 7.40 Wh

Energía deseada: 60000 Wh (60.0 kWh)

Número de celdas requerido (estimado): 8108

Voltaje total (estimado): 30000.00 V

Capacidad total (estimada): 2.00 Ah

Figura 3: Calculadora de número de celdas

[H]

Dimensionamiento del sistema

1) Vehículo eléctrico

2) Vivienda (BESS)

Ingrese opción (1/2): 1

Energía requerida (kWh): 50

Modelos disponibles:

- B0005
- B0006
- B0007
- B0018

ID de la celda: B0006

Configuración (serie/paralelo): serie

Resultados:

Aplicación: vehículo eléctrico

Energía requerida: 50.00 kWh

Celda: B0006

Número de celdas (estimado): 6944

Peso total estimado: 319.44 kg

Energía total estimada: 50.00 kWh

Figura 4: Dimensionamiento del sistema

¿Desea comparar con otra química? (s/n): s

Seleccione la segunda celda para comparar:

- B0005
- B0006
- B0007
- B0018

ID de la segunda celda: B0005

--- Comparación entre químicas ---

B0006: 319.44 kg para 50.00 kWh

Figura 5: Comparación entre químicas

4. Discusión

4.1. Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos permiten observar cómo varían el estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH) a lo largo de los ciclos de uso de la batería. En las gráficas se aprecia que el SOC cambia de forma proporcional al tiempo de carga y descarga, lo que confirma el correcto funcionamiento del modelo. El SOH, por su parte, muestra una disminución gradual en la capacidad con el paso de los ciclos, indicando el envejecimiento natural de la celda. También se evidencia que las químicas LFP mantienen mejor estabilidad térmica y menor degradación en comparación con las NMC y NCA, aunque con una menor densidad de energía. Estos comportamientos coinciden con lo esperado en pruebas experimentales y respaldan la precisión del análisis realizado.

4.2. Implicaciones para diseño de sistemas

Los resultados obtenidos sirven como guía para el diseño de sistemas de almacenamiento energético y para la selección de la química más adecuada según la aplicación. En vehículos eléctricos, conviene priorizar baterías con alta densidad de energía y buen manejo térmico, mientras que en sistemas estacionarios se valora más la estabilidad y la durabilidad. Además, la correcta implementación del BMS y el control del SOC y SOH permiten alargar la vida útil de las baterías, reducir costos de mantenimiento y mejorar la seguridad del sistema completo.

5. Conclusiones y recomendaciones

El análisis permitió comprender el comportamiento de las baterías de ion-litio y la influencia de sus parámetros principales. Se comprobó que el cálculo del SOC y del SOH es fundamental para conocer el estado real de la batería y prevenir fallas por sobrecarga o degradación excesiva. También se demostró que las químicas LFP ofrecen mayor seguridad y vida útil, mientras que las NMC y NCA destacan por su alta densidad de energía, siendo más adecuadas para vehículos eléctricos.

Se recomienda continuar con el desarrollo del proyecto incorporando más datos experimentales y modelos de estimación más precisos. También es importante evaluar diferentes condiciones de temperatura y carga para obtener resultados más representativos. Finalmente, se sugiere integrar el análisis en un sistema automatizado que permita monitorear el estado de las baterías en tiempo real y facilitar la toma de decisiones en aplicaciones prácticas.

6. Referencias

[1] Wikipedia, “Batería de ion-litio,” Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_ion_litio. Consultado el 10 de octubre de 2025.

[2] Wikipedia, “Sistema de gestión de baterías (BMS),” Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_gesti%C3%B3n_de_bater%C3%ADas. Consultado el 10 de octubre de 2025.

[3] Battery University, “How to Prolong Lithium-based Batteries,” Disponible en: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808-how-to-prolong-lithium-based-batteries>. Consultado el 10 de octubre de 2025.

[4] Tesla, “Battery Cell Chemistry,” Disponible en: <https://www.tesla.com/blog/battery-cell-chemistry>. Consultado el 10 de octubre de 2025.

[5] Solar Power World, “LFP vs NMC: What’s the Best Battery for Energy Storage?,” Disponible en: <https://www.solarpowerworldonline.com/2022/03/lfp-vs-nmc-whats-the-best-b>. Consultado el 10 de octubre de 2025.