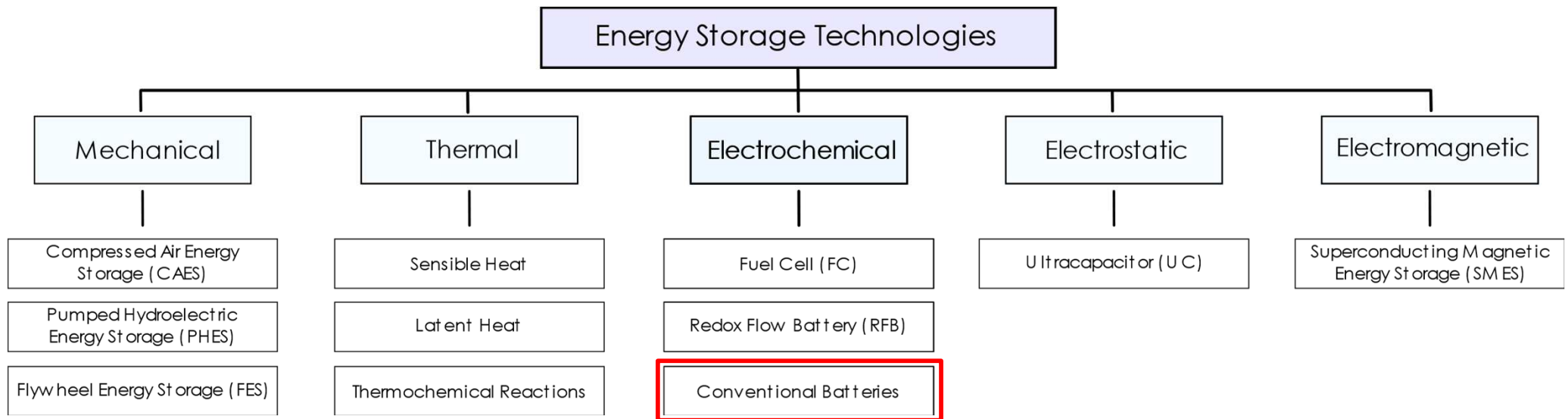


Tecnologías ESS basadas en baterías

Tecnologías de almacenamiento de energía.



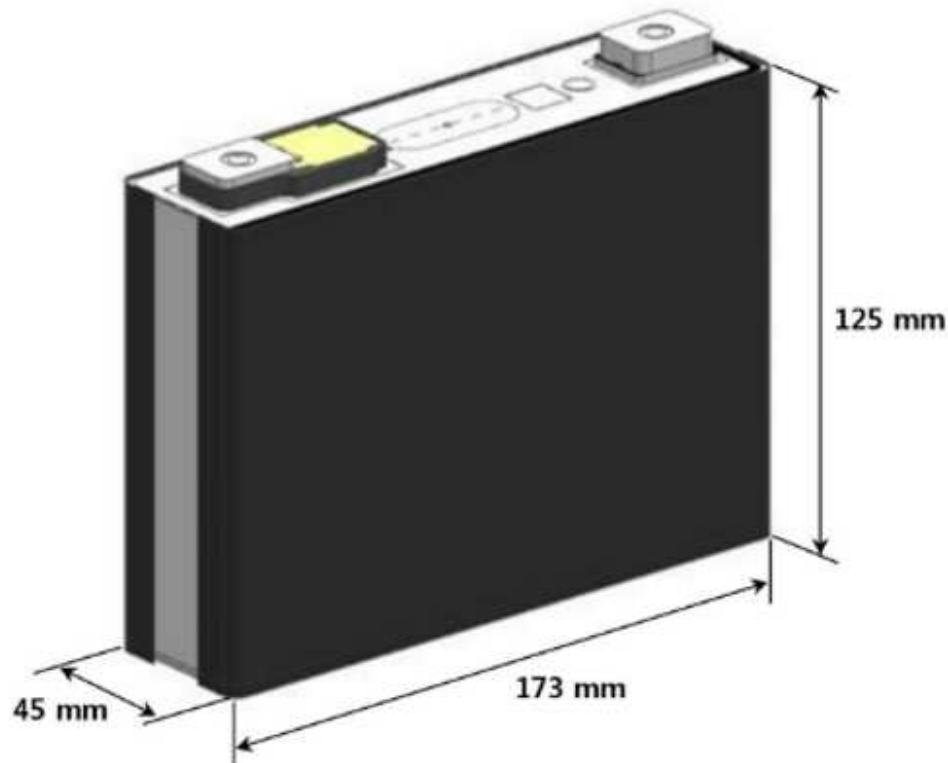
E. Garayalde, *Sistemas híbridos de almacenamiento de energía mediante convertidores electrónicos de potencia*

- Baterías en general
 - Nomenclatura básica
 - Tecnologías de batería
 - ¿Cómo funciona una batería?
 - Métricas clave
 - Relación entre voltaje y estado de carga.
 - La tasa C y los amperios-hora (Ah)
 - Curvas de descarga
 - ¿Qué hay de la energía?
 - Resistencia interna y pérdidas.
- Baterías de iones de litio – Aplicaciones
- Empresas en todo el mundo
- Resumen
- Bibliografía

Nomenclatura básica

Concepto	Unidad	Descripción
$q(t)$	ah	Capacidad instantánea
Q_{nom}	ah	Capacidad nominal
SoC	%	Estado de carga
Sol	%	Estado de salud
C - tasa	-	Tasa de corriente
$v(t)$	V	Tensión instantánea
V_{nom}	V	Tensión nominal
E_{nom}	Wh	Energía nominal
$p(t)$	W.	Potencia instantánea

Introduction of 94Ah cell



Specification		
Nominal Capacity	min. 94 Ah ave. 95.6 Ah	
Nominal Voltage	3.68 V	
Energy (ave.)	350Wh	
Voltage (max. charge)	4.15 V	
Discharge power (ave.)	5s at 25 °C, SOC 90%	1546 W
	30s at 25 °C, SOC 90%	1102 W
	30s at 25 °C, SOC 20%	966 W
	30s at -25 °C, SOC20%.	155 W
Dimension (L x W x H, mm)	173 x 125 x 45	
Weight	max. 2.06 kg ave. 2.01 kg	

Nomenclatura básica

Celda

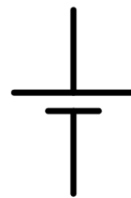
Definición: la unidad electroquímica individual más pequeña, que entrega un voltaje determinado dependiendo de la química.

- Hay baterías primarias (de un solo uso) y secundarias (recargables).
- Una celda es diferente de una batería.

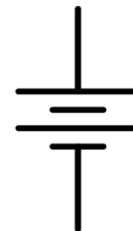
Celda y paquete de baterías

Definición: formado por grupos de celdas.

Celúla



Batería



Nomenclatura básica

Capacidad instantánea $q(t)$

Definición: cantidad instantánea de carga representada en amperios-hora (Ah)

Cálculo: integración de la corriente en el tiempo (corriente positiva significa carga)

$$q(t) = \int i(t) dt$$

Capacidad nominal Q_{nom}

Definición : cantidad de carga que la celda puede almacenar, puede representarse en amperios hora (Ah) o en culombios. 1 culombio es la cantidad de carga transportada en un segundo (1 segundo) por una corriente eléctrica de un amperio (1 amperio).

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ amperio} \times 1 \text{ segundo}$$

Si durante 1 hora (3600 seg) una batería se descarga a una corriente constante de 1 amperio, la cantidad de carga extraída es de 3600 culombios.

$$3600 \text{ Coulomb} = 1 \text{ amperio} \times 3600 \text{ seg} = 1 \text{ amperio} \times 1 \text{ hora} = 1 \text{ Ah}$$

Nomenclatura básica

Estado de carga (SoC)

Definición: carga instantánea con respecto a la capacidad máxima de la celda (%)

$$SOC[\%] = \frac{Q_0 + \frac{1}{3600} \int_0^t I(t) dt}{Q_N} \times 100$$

Estado de salud (SoH)

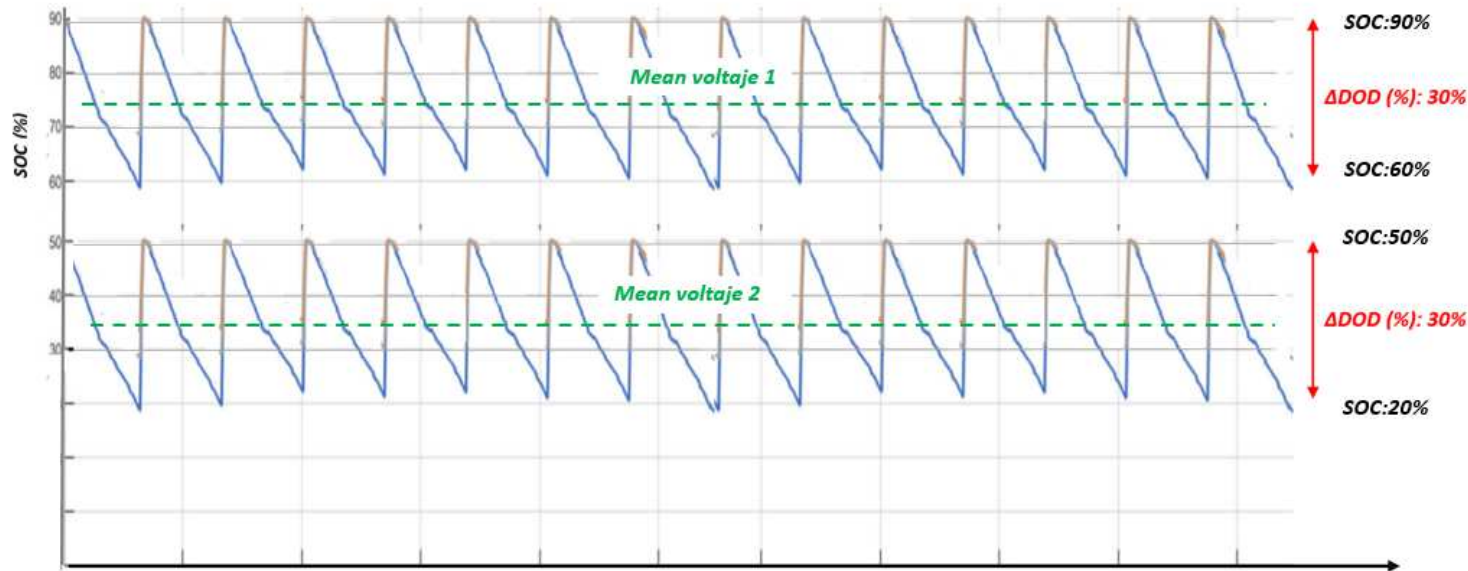
Definición : degradación con respecto a la capacidad nominal inicial (Q_{nom0}) en porcentaje . En electromovilidad cuando el SoH llega a un 80% es generalmente considerado como el fin de vida (EoL) de una batería .

$$SOH[\%] = \frac{Q_{nom1}}{Q_{nom0}} \times 100$$

Nomenclatura básica

Profundidad de descarga (DoD)

Definición: el porcentaje de variación del SoC durante un ciclo de descarga/carga (%)



Comienzo de vida (BoL) y final de vida (EoL)

Definición : BoL es considerado el momento cuando la celda o batería es nueva y EoL cuando la celda o batería no puede suministrar la energía o potencia que solicita su aplicación. En electromovilidad el fin de vida de el batería es situado cuando el SoH es 80%.

Nomenclatura básica

Crate

Definición: medición de la corriente relativa a la capacidad de la celda.

Cálculo: para una celda de 20 Ah, la corriente 1C significa 20 A, mientras que C/10 significa 2 A

La celda debe poder entregar corriente de 1C durante 1 h y C/10 durante 10 h.

Tensión nominal V_{nom}

Definición : La tensión nominal de la celda, se mide al 50% de estado de carga. Para celdas con base níquel es de 1,2 V, para celdas con base litio de alrededor de 3V.

Tensión instantánea $v(t)$

Definición : Tensión instantánea en bornas de la celda

Nomenclatura básica

Energía

Definición: es la capacidad de almacenamiento de una celda en forma electroquímica (Wh o kWh)

Cálculo: la energía total de almacenamiento es aproximadamente su tensión nominal multiplicada por su capacidad nominal

Potencia instantánea $p(t) = v(t) i(t)$

Densidad de energía (densidad de energía volumétrica) y energía específica (densidad de energía gravimétrica)

Definición: cantidad máxima de energía almacenada por unidad de peso (energía específica en Wh /kg) o volumen (densidad de energía en Wh /L)

Potencia específica o densidad de potencia

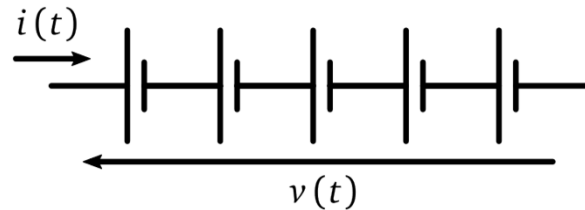
Definición: Capacidad de dar potencia por unidad de peso (W/kg) o volumen (W/L)

Nomenclatura básica

Interconexión de baterías

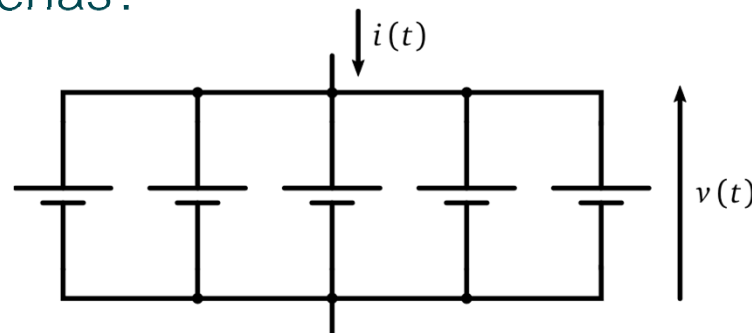
Conexión en serie

Si una sola celda tiene 3 V y 20 Ah, ¿cuánto voltaje, capacidad y energía tiene el siguiente paquete de baterías?



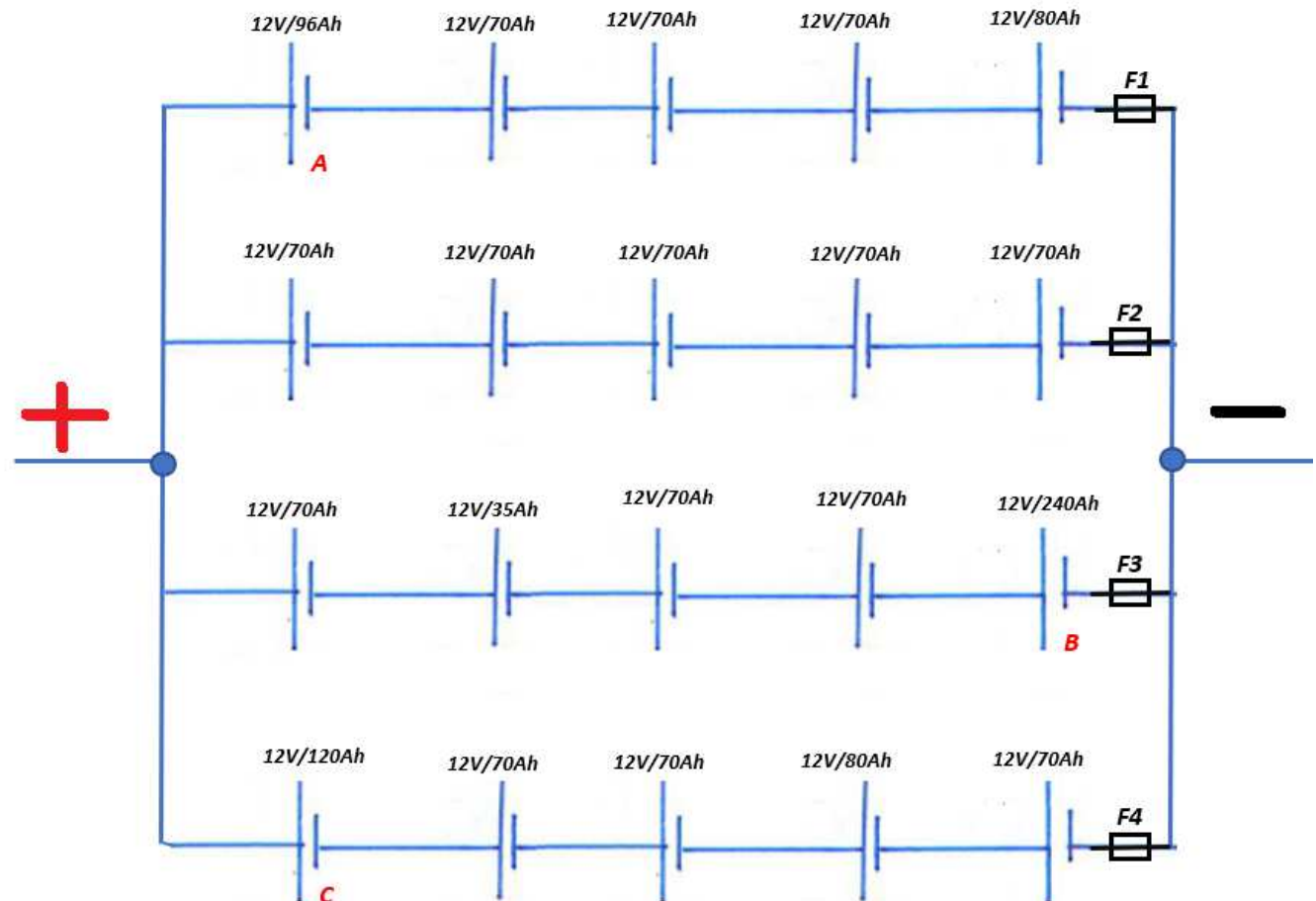
Conexión en paralelo

Si una sola celda tiene 3 V y 20 Ah, ¿cuánto voltaje, capacidad y energía tiene el siguiente paquete de baterías?



Nomenclatura básica - Ejercicio

Un grupo de amigos ha decidido instalar un Pack de Baterías de 60Vdc para una casa aislada en la montaña. Han comprado varias baterías de coche de 12 voltios.



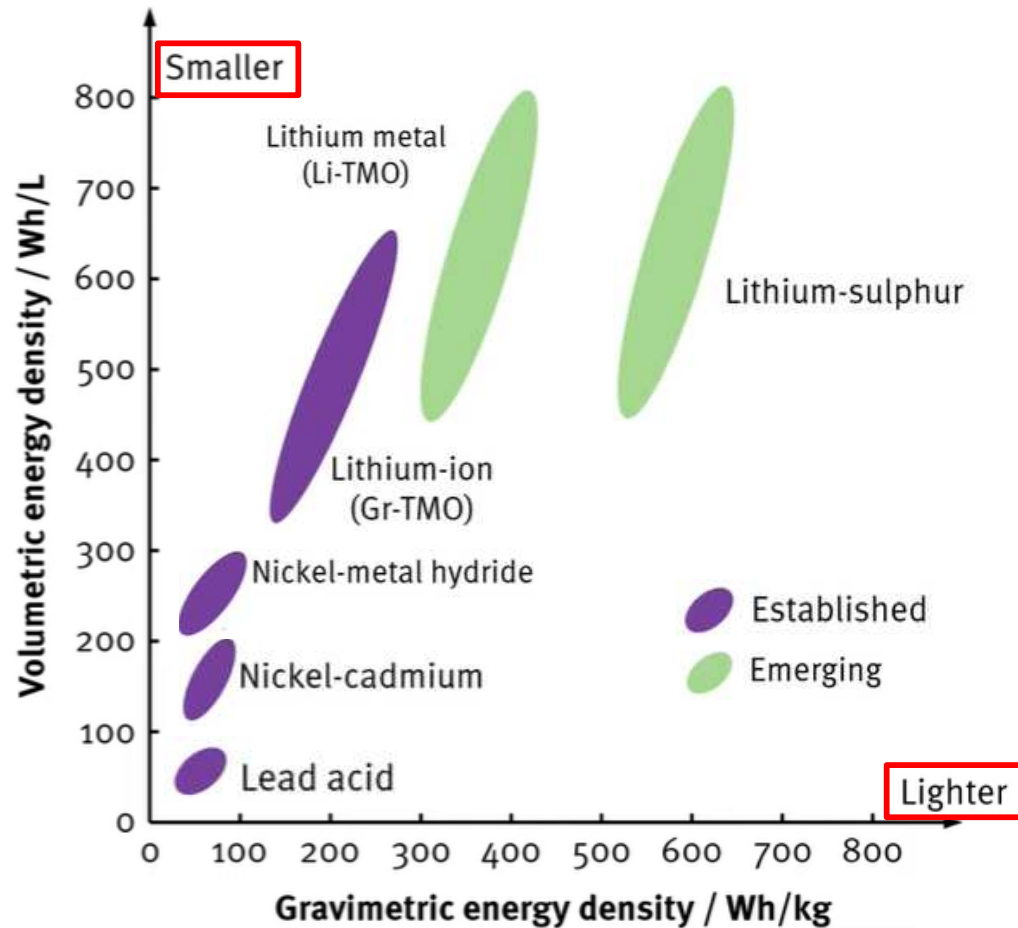
Nomenclatura básica - Ejercicio

1. ¿Cuál es el voltaje nominal del Battery Pack?

2. CASO 1) Todos los fusibles están bien
 - Teniendo en cuenta que las baterías son nuevas, inicialmente al 100% SOC, y la corriente es la misma en todas las ramas, ¿cuánto tiempo puedo pedir una potencia de descarga de 5kW? ¿Por qué?
 - ¿Cuánta energía se ha descargado hasta que se detiene el proceso de descarga?
 - ¿Cuál es el SOC de una batería cuando se detiene la descarga de energía?

3. CASO 2) Los fusibles F1, F2, F4 están bien pero el fusible F3 está abierto
 - Teniendo en cuenta que las baterías son nuevas, inicialmente al 100% SOC, y la corriente es la misma en todas las ramas, ¿cuánto tiempo puedo pedir una potencia de descarga de 5kW? ¿Por qué?
 - ¿Cuánta energía se ha descargado hasta que se detiene el proceso de descarga?

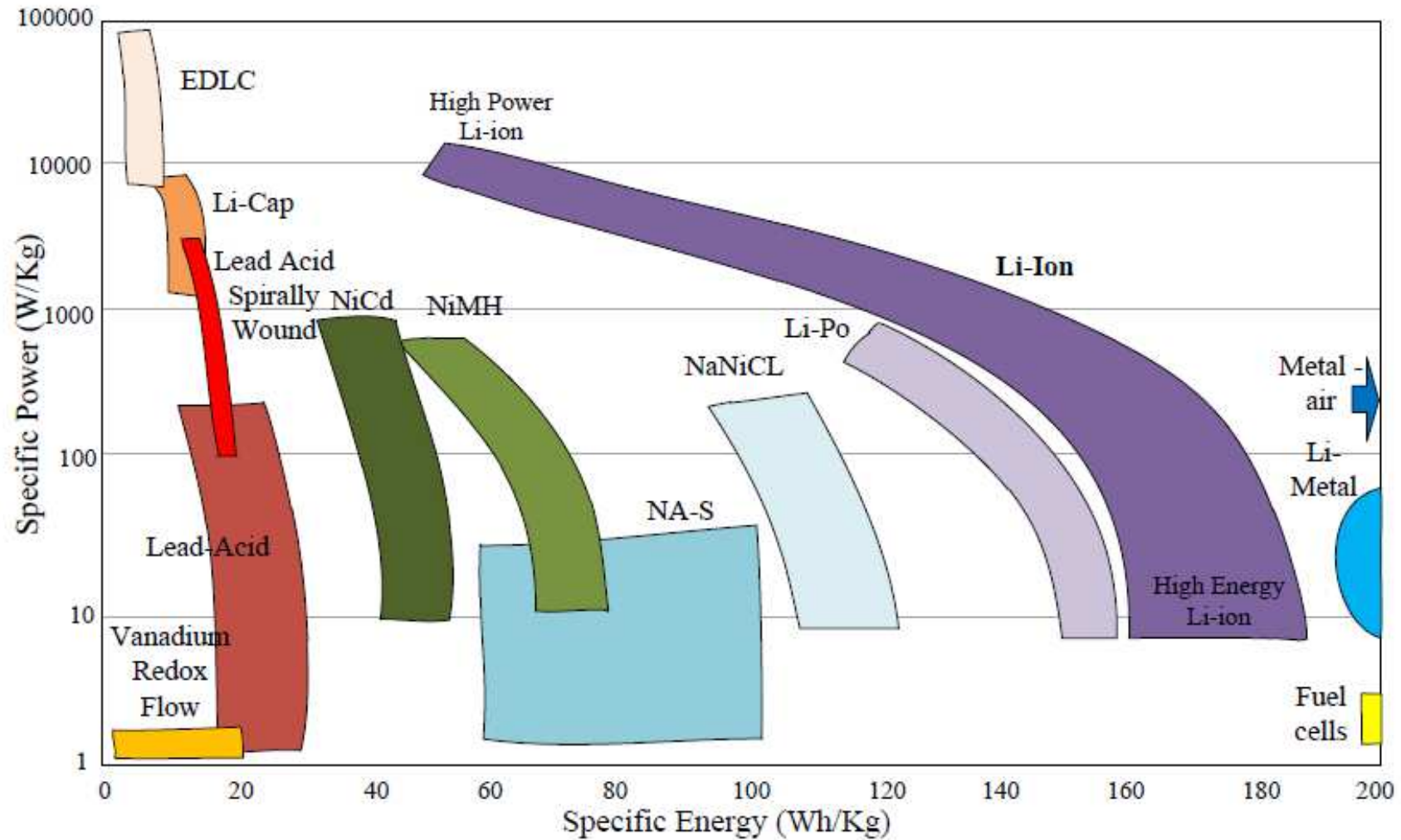
Tecnologías de batería



<https://www.youtube.com/watch?v=DBLHaLhyy2w>

- Gasolina
 - ~ 9.500 Wh /L y ~ 12.800 Wh /kg
 - Con una eficiencia del 25%
 - ~ 2.400 Wh /L y ~ 3.200 Wh /kg
- Baterías
 - Muchos tipos diferentes en cuanto a sus materiales.
 - Plomo-ácido
 - Niquel Cadmio
 - Hidruros metálicos
 - Iones de litio
 - Grafito combinado con un metal
 - Litio - metal
 - Litio combinado con un metal
 - Litio azufre
 - **Litio - aire**

Tecnologías de baterías – Ragone plot



I. Aizpuru, Mejora de la eficiencia energética de los paquetes de baterías de Li-ion mediante técnicas de equilibrio

¿Cómo funciona una batería?

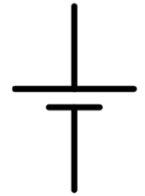
- ¿Qué es una celda?

“

Las celdas son los componentes básicos de las baterías. Una celda es una fuente de energía cerrada, en la que la energía se almacena químicamente.

Johnson Matthey Battery Systems, “Our guide to batteries”, 2015.

”



- Principio de funcionamiento de la celda

“

La energía química de la celda contenida en sus materiales activos se puede convertir directamente en energía eléctrica mediante reacciones electroquímicas de oxidación-reducción (redox)

Johnson Matthey Battery Systems, “Our guide to batteries”, 2015.

”

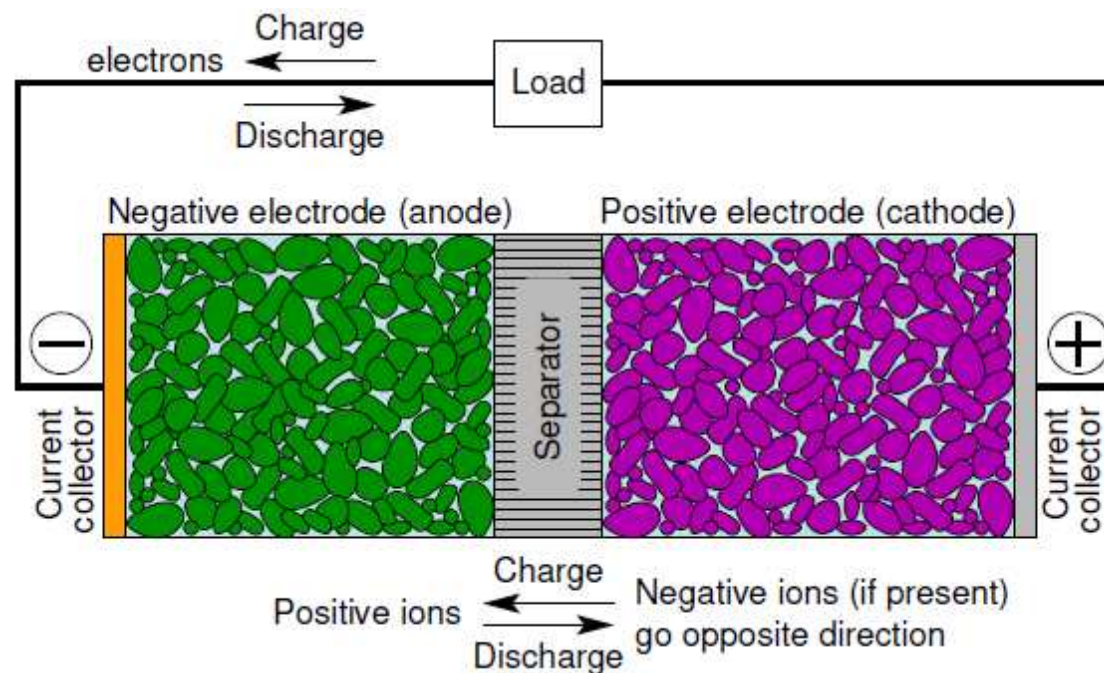
¿Cómo funciona una batería?

Redox (reducción/oxidación)

Durante la descarga, el electrodo negativo, llamado **ánodo**, cede electrones (la oxidación es una pérdida de electrones) y el electrodo positivo, llamado **cátodo**, acepta electrones (la reducción es una ganancia de electrones).

Durante la carga es el proceso inverso.

El **electrolito** proporciona el medio para la reacción química de la batería (transferencia de carga iónica entre los electrodos en el caso de baterías de iones de litio). El electrolito y el **separator** deben ser aislantes electrónicos para evitar autodescargas y cortocircuitos.



<http://mocha-java.uccs.edu/ECE5710/index.html>

Métricas clave de rendimiento

Cost



Now 130\$/kWh (cell)
280\$/kWh (pack)
Future 50\$/kWh (cell)
100\$/kWh (pack)

Energy density



Now 700 Wh/L
250 Wh/kg (cell)
Future 1400 Wh/L
500 Wh/kg (cell)

Power density



Now 3 kW/kg (pack)
Future 12 kW/kg (pack)

Safety



Future eliminate thermal runaway at pack level to reduce pack complexity

1st life



Now 8 years (pack)
Future 15 years (pack)

Temperature



Now -20° to +60°C (cell)
Future -40° to +80°C (cell)

Predictability



Future full predictive models for performance and aging of battery

Recyclability



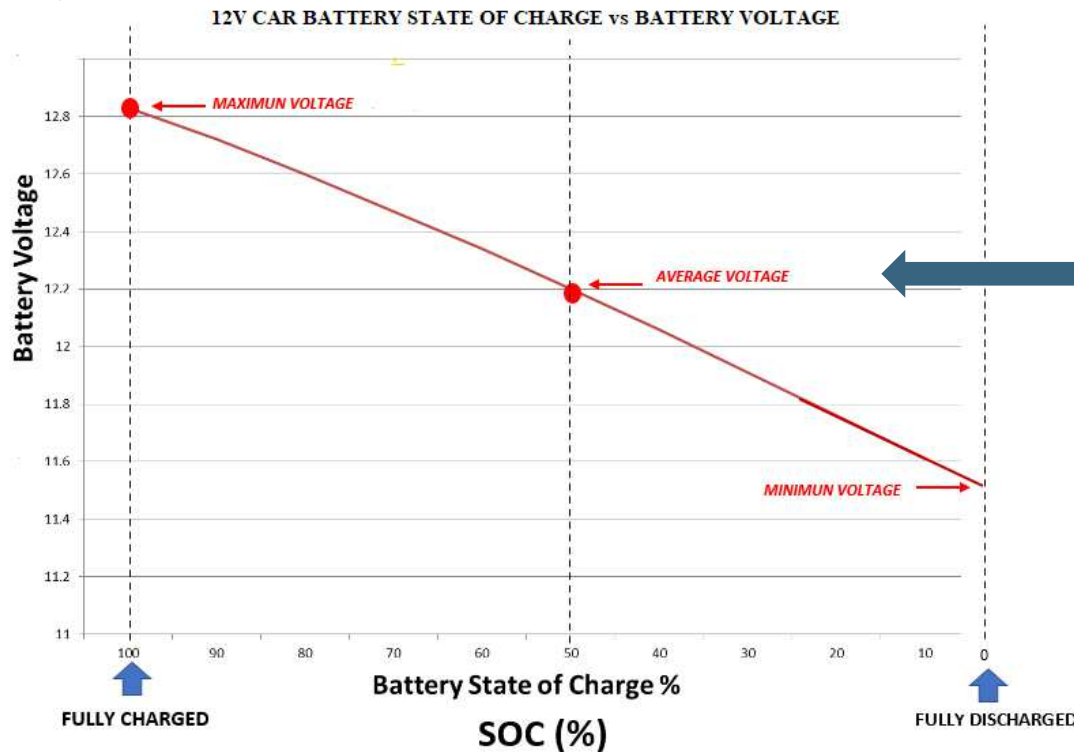
Now 10-50% (pack)
Future 95% (pack)

<https://www.youtube.com/watch?v=DBLHaLhyo2w>

Relación entre voltaje y estado de carga.

El voltaje de la batería proporciona información del nivel de carga restante en la batería.

- Voltaje máximo de la batería: La batería está completamente cargada; su estado de carga (SOC) es del 100%.
- Voltaje mínimo de la batería: La batería está completamente descargada; su estado de carga (SOC) es 0%.



EN LA FICHA DE UNA BATERÍA LA TENSIÓN NOMINAL DE LA BATERÍA ES LA QUE SE DA AL 50% DEL SOC.



La tasa C y los amperios-hora (Ah)

- El C-rate es una medida normalizada de corriente válida para cualquier celda o paquete de baterías del mundo.
 - **Con C-rates más altos, la energía utilizada disminuye.**
- La capacidad o amperios-hora es una medida de la carga que tenemos dentro de la celda o del paquete de baterías.
- **Supongamos una celda de 4,8 Ah.**

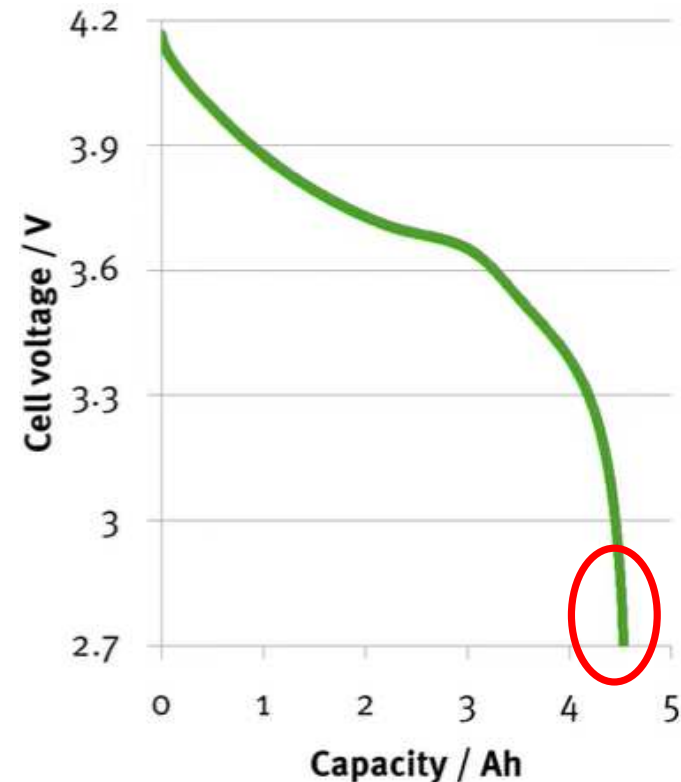
$$C\text{-rate} = \frac{\text{Current [A]}}{\text{Capacity [Ah]}}$$

1C rate = 4.8A for 1 hour

0.5C rate = 2.4A for 2 hour

2C rate = 9.6A for 0.5 hour

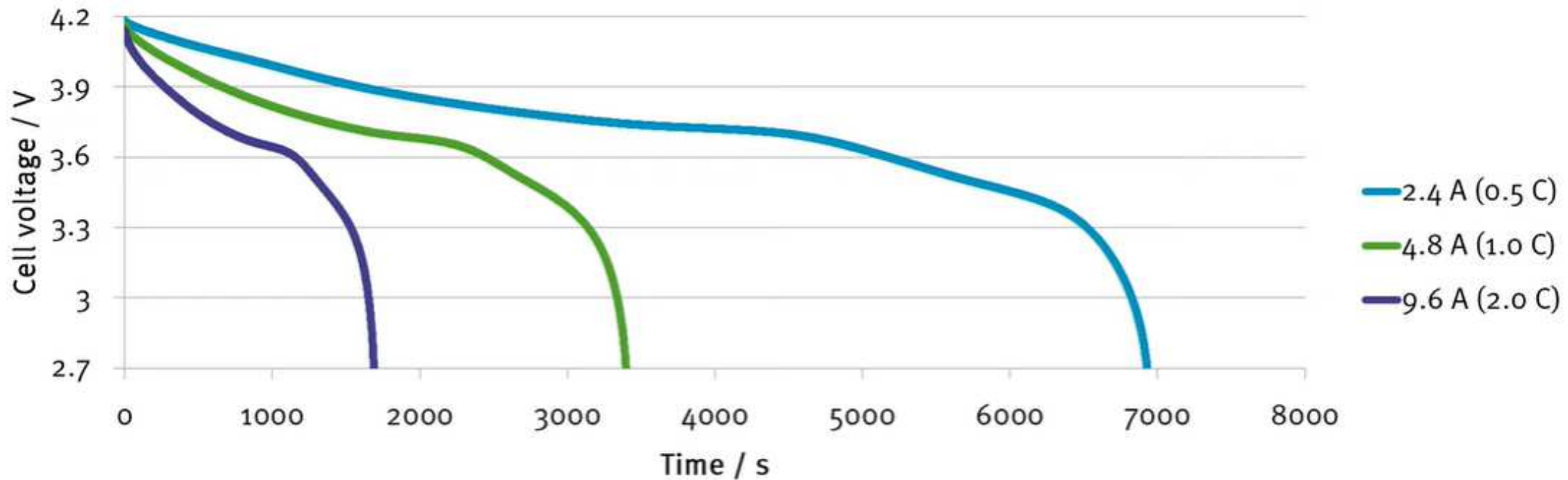
$$\text{Capacity [Ah]} = \text{Current [A]} \cdot \text{time [hours]}$$



<https://www.youtube.com/watch?v=DBLHaLhyo2w>

Curvas de descarga

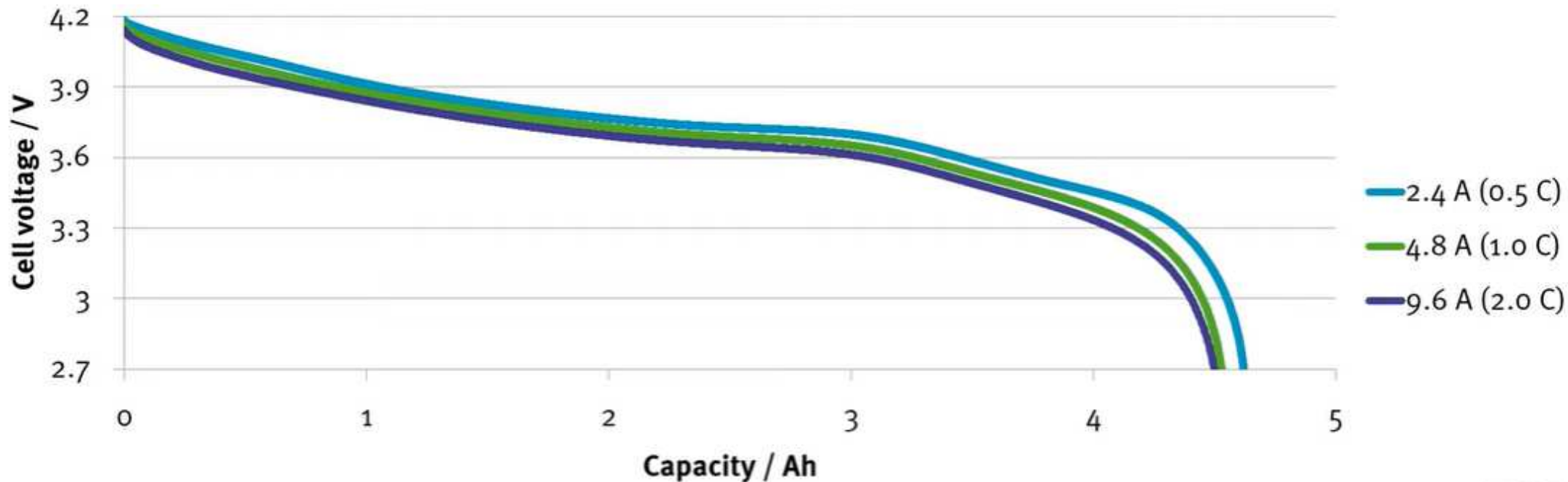
- Tensión alta significa más energía restante (mayor estado de carga o SoC)
- La alta corriente significa más pérdidas.
- Baja corriente significa mayor tiempo de descarga.



<https://www.youtube.com/watch?v=DBLHaLhyo2w>

Curvas de descarga

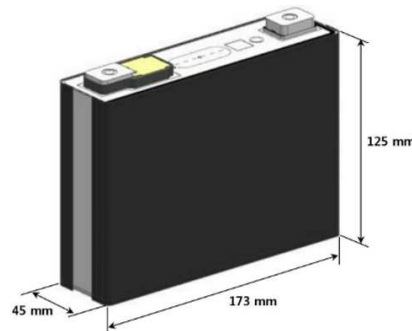
- Tensión alta significa más energía restante (mayor estado de carga o SoC)
- La alta corriente significa más pérdidas.
- Baja corriente significa mayor tiempo de descarga.



<https://www.youtube.com/watch?v=DBLHaLhyo2w>

¿Qué pasa con la energía?

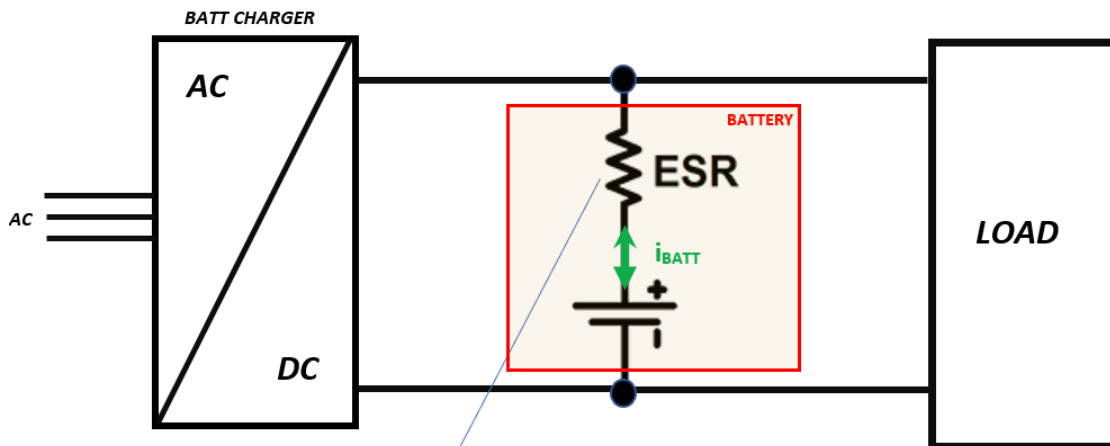
Specification		
Nominal Capacity	min. 94 Ah ave. 95.6 Ah	
Nominal Voltage	3.68 V	
Energy (ave.)	350Wh	
Voltage (max. charge)	4.15 V	
Discharge power (ave.)	5s at 25 °C, SOC 90%	1546 W
	30s at 25 °C, SOC 90%	1102 W
	30s at 25 °C, SOC 20%	966 W
	30s at -25 °C, SOC20%.	155 W
Dimension (L x W x H, mm)	173 x 125 x 45	
Weight	max. 2.06 kg ave. 2.01 kg	



- Valores importantes para calcular el contenido energético
 - Voltaje nominal
 - Capacidad nominal
 - Energía (promedio) = $3,68 * 95,6 = 351.808 \text{ Wh}$
- Valores importantes para la densidad de energía o densidad de energía volumétrica
 - Energía (media)
 - Dimensiones o volumen $173 * 125 * 45 = 973,125 \text{ mm}^3 (0,973125 \text{ dm}^3)$
 - $351,808 \text{ Wh} / 0,973125 \text{ L} = 361,52 \text{ Wh /L}$
- Valores importantes para energía específica o densidad de energía gravimétrica
 - Energía (media)
 - Peso (promedio)
 - $351,808 \text{ Wh} / 2,01 \text{ kg} = 175,03 \text{ Wh /kg}$

Resistencia interna y pérdidas.

- La batería NO es un sistema ideal de almacenamiento de energía.
- Al cargar/descargar la batería se calienta debido a pérdidas internas (químicas) que pueden representarse mediante una resistencia interna (ESR).



La ESR aumenta con el tiempo. Una batería nueva puede tener $1\text{m}\Omega$ de ESR inicial, pero después de algunos años utilizándose la ESR será mayor.

$$ESR_{\text{BATTERY USED}} > ESR_{\text{BATTERY NEW}}$$

$$P_{\text{LOSSES_BATT}}(W) = ESR \times (i_{\text{BATT_RMS}})^2$$

$$\text{Energy}_{\text{LOSSES_BATT}}(J) = \int P_{\text{LOSSES}}(W) \times dt$$

ESR: Resistencia en serie equivalente

Baterías de iones de litio - Aplicaciones

AEROSPACE		HOME APPLIANCE	
AUTOMOTIVE		INDUSTRIAL	
E-MOBILITY		MEDICAL	
EMERGENCY		DEFENCE	
GARDEN TOOLS		POWER TOOLS	
GREEN ENERGY		UPS	

24 March 2015

9

Dipl.-Ing. (FH) C. Spinnler


 THE INNOVATION GROUP

<https://www.batteryuniversity.eu>

Empresas en todo el mundo



<https://www.batteryuniversity.eu>

Resumen

- Es importante comprender la nomenclatura que utilizamos en el mundo de las baterías. *Energía, potencia, densidad, C-rate, voltaje, capacidad...*
- Existen diferentes tecnologías de baterías, algunas de ellas emergentes, donde la de iones de litio con ánodo de grafito es la más consolidada y prometedora.
- El principio de funcionamiento de las baterías es redox, oxidación y reducción.
- Al aumentar el C-rate mientras descarga o carga sus baterías, también aumentará sus pérdidas y reducirá la eficiencia del sistema.
- Existen algunos KPM o Key Performance Metrics que los investigadores están tratando de mejorar en todo el mundo para tener mejores tecnologías de almacenamiento.

Bibliografía

- Esta presentación está basada en un vídeo publicado por el Dr. Billy Wu del Imperial College de Londres.
<https://www.youtube.com/watch?v=DBLHaLhyo2w>
- Información sobre el curso de la Universidad de Colorado en Colorado Springs. <http://mocha-java.uccs.edu/ECE5710/index.html>
- Información tomado Del trabajo doctoral del Dr. Iosu Aizpuru. de Mondragón Universidad . *I. Aizpuru, Mejora de la eficiencia energética de los paquetes de baterías de Li-ion mediante técnicas de equilibrio*



**Mondragon
Unibertsitatea**

Faculty of
Engineering

Eskerrik asko
Muchas gracias
Thank you

Unai Iraola

uiraola@mondragon.edu