



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



Unidad
de Formación



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



TECNOLOGÍAS, OPERACIÓN Y APLICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

23 MAYO – 03 JUNIO DE 2022

**BATERÍAS LI-ION: MODELOS DINÁMICO, TÉRMICO Y
DE ENVEJECIMIENTO (SIMULINK)**

Jorge Nájera Álvarez

26/05/2022

0. Esquema

1. Explicar modelo dinámico, térmico y de envejecimiento.
2. Obtener datos de ensayos
 - Dos sets de datos, para parametrizar y para validar
 - WebPlotDigitizer
3. Parametrizar modelo de envejecimiento (mínimos cuadrados)
 - Calendar primero y luego cycling
 - Tratar datos para las ecuaciones
 - 1 y 2 se pueden hacer también para el modelo dinámico y térmico
4. Incluir parámetros en el modelo
 - Validar con el segundo set de datos
 - Envejecimiento si las condiciones de operación no son constantes
 - Explicar modelo
 - Incluir parámetros en el modelo

1. Modelo dinámico

■ Ecuación de tensión de circuito abierto:

- Discharge Model ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it)$$

- Charge Model ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it)$$

E_0 is the constant voltage, in V.

K is the polarization constant, in V/Ah, or polarization resistance, in Ohms.

i^* is the low-frequency current dynamics, in A.

i is the battery current, in A.

it is the extracted capacity, in Ah.

Q is the maximum battery capacity, in Ah.

A is the exponential voltage, in V.

B is the exponential capacity, in Ah^{-1} .

2. Modelo térmico

- Generación de calor:

$$H = (E_0 - E) \cdot i + T \cdot \frac{dE}{dT} \cdot i + (R_{OHM} + R_{POL}) \cdot i^2$$

H is the heat generated [W]

E is the cell voltage [V]

T is the cell temperature [K]

dE/dT is the change of the equilibrium potential with temperature (varies with SoC)

2. Modelo térmico

- Liberación de calor:

$$H \approx m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} + \frac{1}{R_{OUT}} \cdot (T - T_0) + E \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4) \Rightarrow R_{OUT} = \frac{1}{h \cdot Ar}$$

m is the mass of the cell [kg]

c_p is the specific heat capacity of the cell [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

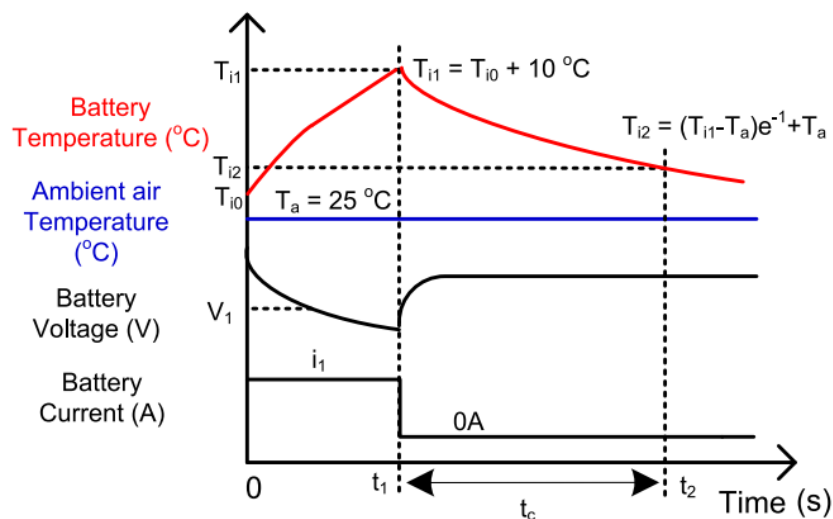
h is the convective heat transfer coefficient [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

Ar is the external surface area of one cell [m^2]

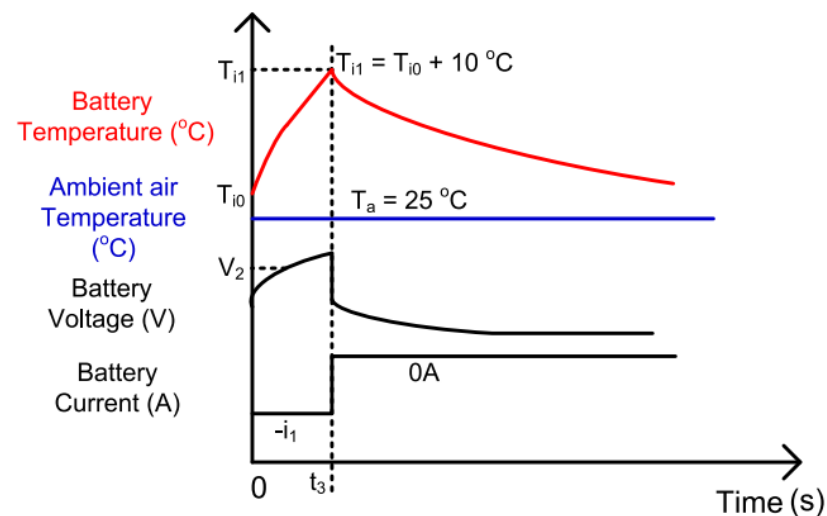
$$T(s) = \frac{H \cdot R_{OUT} + T_0}{1 + m \cdot c_p \cdot R_{OUT} \cdot s} = \frac{H \cdot R_{OUT} + T_0}{1 + t_{th} \cdot s}$$

2. Modelo térmico

■ Ensayos Rout y t térmica:



(a)



(b)

$$t_c = t_2 - t_1.$$

$$R_{th} = \frac{T_{i1} - T_a \cdot \left[1 - e\left(-\frac{t_3}{t_c}\right)\right] - T_{i0} \cdot e\left(-\frac{t_3}{t_c}\right)}{P_{l2} \cdot \left[1 - e\left(-\frac{t_3}{t_c}\right)\right]}$$

2. Modelo térmico

- Dependencia de los parámetros de la ecuación de circuito abierto con la temperatura:

$$E_0(T) = E_0(T_0) + \frac{dE}{dT} \cdot (T - T_0)$$

$$Q_{MAX}(T) = Q_{MAX}(T_0) + \frac{dQ}{dT} \cdot (T - T_0)$$

$$K(T) = K(T_0) \cdot e^{\alpha(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$

$$R_{OHM}(T) = R_{OHM}(T_0) \cdot e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$

3. Modelo de envejecimiento

$$Q_{loss} = (a \cdot T^2 + b \cdot T + c) \cdot e^{(d \cdot T + e) \cdot C_{rate}} \cdot Ah + f \cdot e^{g \cdot SoC} \cdot e^{h/T} \cdot t^z$$

Q_{loss} is the total lost capacity [%]

a, b, c, d, e, f, g , and h are parameters dependent on the battery chemistry [-]

T is the battery temperature [K]

C_{rate} is the charge/discharge rate [-]

Ah is the Ah flown through the battery [Ah]

t is the time in days [day]

z is the power law factor [-], which can take values between 0.5 and 1