Resoluciones paso a paso

Energy Storage

Tema 5: Baterías

Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

ETSI Minas y Energía

Hugo Torres Orejudo

Noviembre 2026

Elaborado con IA a partir del material de la asignatura. Material no oficial.

Problema 1 – Batería de plomo-ácido

Con las semirreacciones $PbO_2/PbSO_4$ (1,69 V) y $PbSO_4/Pb$ (−0,36 V), calcule el potencial estándar de la celda. Para una batería de 6 celdas en serie con tensión nominal de 2,1 V por celda y 60 Ah, calcule su tensión, energía y la tensión a partir de la cual hay sobrecarga (2,39 V/celda).

$E^0_{celda} = E^0_{\text{cátodo}} - E^0_{\text{ánodo}} = 1{,}69 - (-0{,}36) = \boxed{2{,}05\,\text{V}}$.

$V = 6 \cdot 2{,}1 = \boxed{12{,}6\,\text{V}}$; $E = 12{,}6 \cdot 60 = 756\,\text{Wh} = \boxed{0{,}756\,\text{kWh}}$.

Sobrecarga: $6 \cdot 2{,}39 = \boxed{14{,}3\,\text{V}}$ (disociación del agua del electrolito).

Problema 2 – Batería de flujo de vanadio

Con $E^0 = 1{,}26\,\text{V}$ y $n = 1$, calcule la tensión (25 °C) con $[VO^{2+}] = [V^{3+}] = 0{,}4\,\text{M}$, $[V^{2+}] = [VO_2^+] = 1{,}6\,\text{M}$ y $[H^+] = 2\,\text{M}$.

$$Q = \frac{[VO^{2+}][V^{3+}]}{[V^{2+}][VO_2^+][H^+]^2} = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}4}{1{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 4} = 0{,}015625$$

$$E = 1{,}26 - \frac{0{,}05916}{1}\log_{10} 0{,}015625 = 1{,}26 + 0{,}05916 \cdot 1{,}806 = \boxed{1{,}367\,\text{V}}$$

Cargada (más V^{2+} y VO_2^+) la tensión sube por encima de 1,26 V.

Problema 3 – Pack de ion-litio

Un pack de 400 V y 60 Ah se construye con celdas de 3,7 V y 3 Ah. Calcule celdas en serie y en paralelo, nº total de celdas, energía nominal y energía utilizable con profundidad de descarga del 80 %.

Serie: $400/3{,}7 = 108{,}1 \rightarrow \boxed{108}$ celdas (399,6 V). Paralelo: $60/3 = \boxed{20}$ ramas. Total: $108 \cdot 20 = \boxed{2160}$ celdas.

$E = 399{,}6 \cdot 60 = 23{,}98\,\text{kWh} \approx \boxed{24\,\text{kWh}}$. Utilizable: $0{,}8 \cdot 24 = \boxed{19{,}2\,\text{kWh}}$.

Problema 4 – Modelo equivalente

Una celda de $V_{OC} = 3{,}7\,\text{V}$, $R_s = 8\,\text{m}\Omega$, $R_p = 10\,\text{m}\Omega$, $C_p = 2000\,\text{F}$ se descarga con $i_b = 20\,\text{A}$ constante. Calcule la constante de tiempo, $V_c(t)$ a 10 s, la tensión en bornes a 10 s y en régimen estacionario.

$\tau = R_p C_p = 0{,}010 \cdot 2000 = \boxed{20\,\text{s}}$.

$V_c(t) = R_p i_b(1 - e^{-t/\tau})$: $V_c(10) = 0{,}010 \cdot 20\,(1 - e^{-0{,}5}) = \boxed{0{,}0787\,\text{V}}$.

$V_b(10) = 3{,}7 - 0{,}008 \cdot 20 - 0{,}0787 = \boxed{3{,}461\,\text{V}}$. Estacionario: $V_b = 3{,}7 - (R_s + R_p) i_b = 3{,}7 - 0{,}36 = \boxed{3{,}34\,\text{V}}$.

Problema 5 – Estado de carga

Una batería de 100 Ah parte del 90 % de SoC y se descarga a 25 A durante 1,5 h. Calcule el C-rate, la carga extraída y el SoC final.

$C_{rate} = 25/100 = \boxed{0{,}25\,\text{C}}$. Carga extraída: $25 \cdot 1{,}5 = \boxed{37{,}5\,\text{Ah}}$.

$SoC = 0{,}90 - \dfrac{37{,}5}{100} = \boxed{52{,}5\,\%}$.

Problema 6 – Volumen de electrolito

Una batería de flujo de vanadio usa $c = 1{,}6\,\mathrm{M}$ en cada semicelda, $n = 1$, $E_{cel} = 1{,}26\,\mathrm{V}$. Calcule la energía específica del electrolito de un lado y de ambos tanques, y el volumen total para almacenar $1\,\mathrm{MWh}$ suponiendo $\eta_V = 0{,}85$ y una ventana de SoC de $80\,\%$.

$e = \dfrac{nFcE_{cel}}{3600} = \dfrac{1 \cdot 96485 \cdot 1{,}6 \cdot 1{,}26}{3600} = \boxed{54{,}0\,\mathrm{Wh/L}}$ (un lado); ambos tanques: $\boxed{27{,}0\,\mathrm{Wh/L}}$.

Utilizable: $27{,}0 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}80 = 18{,}4\,\mathrm{Wh/L}$. Volumen para $1\,\mathrm{MWh}$: $\dfrac{10^6}{18{,}4} = 54\,470\,\mathrm{L} = \boxed{54{,}5\,\mathrm{m^3}}$ (ideal: $37{,}0\,\mathrm{m^3}$).

Problema 7 – Dimensionado de una batería estacionaria

Se necesita entregar $10\,\mathrm{kW}$ durante $4\,\mathrm{h}$ cada día. La batería admite $DoD_{max} = 80\,\%$ y debe cubrir la demanda al final de su vida, cuando $SoH = 80\,\%$. Calcule la capacidad nominal, el C-rate de diseño y la energía que hay que cargar si $\eta_{RT} = 0{,}90$.

Energía útil diaria: $10 \cdot 4 = 40\,\mathrm{kWh}$.

$E_{nom} = \dfrac{40}{0{,}8 \cdot 0{,}8} = \boxed{62{,}5\,\mathrm{kWh}}$. C-rate de diseño: $10/62{,}5 = \boxed{0{,}16\,\mathrm{C}}$ (descarga en $4\,\mathrm{h}$ sobre $62{,}5\,\mathrm{kWh}$ nominales; $\approx \mathrm{C}/6$).

Carga: $40/0{,}90 = \boxed{44{,}4\,\mathrm{kWh}}$ por día.