Resoluciones paso a paso

Energy Storage

Tema 1: Fundamentos y viabilidad económica

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 – LCOS de una planta de almacenamiento

Un sistema de almacenamiento tiene $E_{sto} = 20\,\text{MWh}$ y realiza $n_{FEC} = 300$ ciclos completos al año durante $N = 20$ años. Datos: CAPEX $= 8\,\text{M€}$; OPEX $= 0{,}2\,\text{M€/año}$; coste de desmantelamiento $C_{EOL} = 0{,}4\,\text{M€}$ en el año 20; tasa de descuento $r = 6\,\%$; $\eta_{RT} = 0{,}70$; precio de carga $P_{car} = 25\,€/\text{MWh}$.
Calcule (a) la energía descargada anual, (b) el LCOS sin coste de carga y (c) el LCOS incluyendo el coste de carga.

(a) $E_{des,n} = n_{FEC}\,E_{sto} = 300 \cdot 20 = \boxed{6000\,\text{MWh/año}}$.

Factor de anualidad: $\displaystyle\sum_{n=1}^{20}(1+r)^{-n} = \frac{1-1{,}06^{-20}}{0{,}06} = 11{,}470.$

(b) Sin carga:

$$\text{LCOS} = \frac{8\cdot10^6 + 0{,}2\cdot10^6\cdot11{,}470 + 0{,}4\cdot10^6/1{,}06^{20}}{6000\cdot11{,}470}$$
$$= \frac{8\cdot10^6 + 2{,}294\cdot10^6 + 0{,}125\cdot10^6}{68\,820} = \boxed{151{,}4\,€/\text{MWh}}$$

(c) Coste de carga anual: $C_{car} = E_{des,n}P_{car}/\eta_{RT} = 6000\cdot25/0{,}70 = 214\,286\,€/\text{año}$. Su valor actual es $214\,286\cdot11{,}470 = 2{,}458\,\text{M€}$ y

$$\text{LCOS} = \frac{10{,}419\cdot10^6 + 2{,}458\cdot10^6}{68\,820} = \boxed{187{,}1\,€/\text{MWh}}$$

Problema 2 – Eficiencia global de una cadena de almacenamiento

Una cadena power-to-H_2-to-power incluye electrólisis ($\eta = 0{,}75$), compresión del hidrógeno ($\eta = 0{,}90$) y pila de combustible ($\eta = 0{,}55$). Calcule el rendimiento *round-trip* y la energía eléctrica que debe consumirse para entregar 1 MWh a la red.

$\eta_{RT} = 0{,}75\cdot0{,}90\cdot0{,}55 = \boxed{0{,}371}$ $(37{,}1\,\%)$.

Energía de carga: $E_{car} = 1/0{,}371 = \boxed{2{,}69\,\text{MWh}}$.

Problema 3 – Beneficio por arbitraje

Un almacenamiento absorbe $E_{car} = 100\,\text{MWh}$ con $P_{car} = 30\,€/\text{MWh}$ y vierte a la red a $P_{des} = 95\,€/\text{MWh}$, con $\eta_{st} = 0{,}75$. Calcule la energía vertida, el beneficio diario B_{st} y el precio de carga máximo para $B_{st} = 0$.

Energía vertida: $E_{des} = \eta_{st}E_{car} = 0{,}75\cdot100 = \boxed{75\,\text{MWh}}$.

Beneficio: $B_{st} = 75\cdot95 - 100\cdot30 = 7125 - 3000 = \boxed{4125\,€}$.

Equilibrio: $75\cdot95 = 100\cdot P_{car} \Rightarrow P_{car} = \boxed{71{,}25\,€/\text{MWh}}$, es decir, $\eta_{st}P_{des}$.

Problema 4 – Horas equivalentes de descarga

Un almacenamiento de $E_{sto} = 50\,\text{MWh}$ con potencia de descarga $W_{des} = 10\,\text{MW}$ hace $n_{FEC} = 250$ ciclos al año. Calcule t_n y el factor de uso anual respecto a 8760 h.

$t_n = n_{FEC}E_{sto}/W_{des} = 250\cdot50/10 = \boxed{1250\,\text{h/año}}$.

Factor de uso $= 1250/8760 =$ $14{,}3\,\%$. Equivale a $50/10 = 5\,\text{h}$ de descarga a plena potencia por ciclo.

Problema 5 – C-rate y autodescarga

Una batería de $Q_{nom} = 60\,\text{Ah}$ y $20\,\text{kWh}$ se descarga completamente en 2 h. Calcule el C-rate, la corriente media y la potencia media. Si su autodescarga es del $0{,}1\,\%$ diario, ¿qué fracción de energía conserva tras 30 días sin uso?

$t_{des} = 2\ \text{h} \Rightarrow C_{rate} = 1/2 =$ $\text{C}/2\ (0{,}5\,\text{C})$. Corriente media $I = Q_{nom}/t = 60/2 =$ $30\,\text{A}$.

Potencia media $= 20/2 =$ $10\,\text{kW}$.

Tras 30 días: $(1 - 0{,}001)^{30} = 0{,}9704 \Rightarrow$ $97{,}0\,\%$ de la energía.

Problema 6 – LCOS simplificado

Con los datos del problema 1, calcule el factor CRF y el LCOS simplificado con y sin coste de carga. Compare con el valor del cálculo completo y explique la diferencia.

$$CRF = \frac{0{,}06 \cdot 1{,}06^{20}}{1{,}06^{20} - 1} = 0{,}0872$$

Sin carga: $\dfrac{8 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0872 + 0{,}2 \cdot 10^6}{6000} =$ $149{,}6\,€/\text{MWh}$.

Con carga: $149{,}6 + 25/0{,}70 =$ $185{,}3\,€/\text{MWh}$.

Cálculo completo: $151{,}4\,€/\text{MWh}$ y $187{,}1\,€/\text{MWh}$. La diferencia de $\approx 1{,}8\,€/\text{MWh}$ procede del coste de desmantelamiento ($0{,}4 \cdot 10^6/1{,}06^{20} = 0{,}125\,\text{M€}$ en valor actual) que la fórmula simplificada no incluye.