

EL57A – Sistemas Eléctricos de Potencia

Pauta Pregunta 2 – Control 2

De modo general:

- La demanda futura será $D = 2.5 \cdot 150 = 375$ MW.
- La central 1 existente tiene costos $C_1(P_1) = 6.99 P_1 + 0.063 P_1^2$ US\$/h, $85 < P_1 < 170$ MW.
- Las pérdidas en se modelarán como $R I^2 = R (P/V)^2$ (asumiendo factor de potencia 1).

Situación: Proyecto 1.

Central 2 : $C_2(P_2) = 6.29 P_2 + 0.054 P_2^2$ US\$/h, $150 < P_2 < 300$ MW

Parque eólico 2 : Tamaño = $0.15 \cdot 300 = 45$ MW, Generación = $0.35 \cdot 45 = 15.75$ MW.

Pérdidas central 2 : $P_{L2}(P_2) = 150 \cdot 0.05 \cdot (P_2 [W] / 220000)^2 [W] = 0.000155 P_2^2$ MW.

Pérdidas eólicas 2 : $P_{LE2}(P_{E2}) = 200 \cdot 0.05 \cdot (P_{E2} [W] / 220000)^2 [W] = 0.000207 P_{E2}^2$ MW.

Como la central eólica no tiene costos variables de generación, entrega la totalidad de su generación.

$$D' = D - (15.75 - P_{LE2}(15.75)) = 375 - (15.75 - 0.05) = 359.3 \text{ MW.}$$

Las condiciones de optimalidad del problema sin restricciones de generación y con pérdidas son:

$$\lambda = \frac{\partial C_1}{\partial P_1} = 6.99 + 0.126 \cdot P_1 \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\partial C_2}{\partial P_2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{L2}}{\partial P_2}} = (6.29 + 0.108 \cdot P_2) \cdot \frac{1}{1 - 0.00031 \cdot P_2} \quad [1] \quad (2)$$

$$D' = 359.3 = P_1 + P_2 - P_{L2} = P_1 + P_2 - 0.000155 \cdot P_2^2 \quad (3)$$

Despejando P_1 de (3), reemplazándolo en (1), e igualando λ con la ecuación (2), se tiene:

$$\lambda = 6.99 + 0.126 \cdot (359.3 - P_2 + 0.000155 \cdot P_2^2) = (6.29 + 0.108 \cdot P_2) \cdot \frac{1}{1 - 0.00031 \cdot P_2}$$

$$P_2 = 192.22 \text{ MW} \quad P_1 = 172.81 \text{ MW}$$

[1] Se consideró el modelo de pérdidas cuadráticas exacto para ser coherente entre pérdidas de línea y factor de penalización. Sin embargo, en la revisión se consideraron buenos otros modelos como la aceptación del factor de penalización dado y la modelación de pérdidas lineales derivadas de este factor.

Como P_1 superó su capacidad límite, se fija $P_1 = 170$ MW. Así, P_2 debe suplir el resto de la demanda y las pérdidas:

$$P_2 - P_{L2}(P_2) = D' - 170 \rightarrow P_2 - 0.000155 P_2^2 = 189.3 \rightarrow P_2 = 195.21 \text{ MW}$$

Los ingresos provienen solo de energía valorada a costo marginal de generación, y los costos, de los costos variables de generación, por lo que la central eólica solo representa un costo de inversión^[2]. Las utilidades anuales vienen dadas por:

$$U_A = 365 \cdot 24 \cdot P_2 \cdot CM_{g2}(P_2) - C_2(P_2) = 365 \cdot 24 \cdot 195.21 \cdot (6.29 + 0.108 \cdot 195.21) - (6.29 P_2 + 0.054 P_2^2)$$

$$U_A = 18.026.108,84 \text{ US\$/año}$$

La inversión requerida asciende a:

$$I = 2.0 \cdot 300 + 2.6 \cdot 45 = 717 \text{ MUS\$}$$

Y finalmente el VAN del proyecto evaluado a 40 años es de:

$$VAN_1 = -I + \sum_{i=1}^{40} \frac{U_A}{(1+t)^i} = -I + U_A \cdot \sum_{i=1}^{40} \frac{1}{(1+0.1)^i} = -I + 9.7791 \cdot U_A$$

$$VAN_1 = -717.000.000,00 + 9.7791 \cdot 18.026.108,84 = -540.720.879 \text{ US\$}$$

Situación: Proyecto 2

- Central 3 : $C_3(P_3) = 6.95 P_3 + 0.061 P_3^2$ US\$/h, $100 < P_3 < 200$ MW
- Parque eólico 3 : Tamaño = $0.15 \cdot 200 = 30$ MW, Generación = $0.35 \cdot 30 = 10.5$ MW.
- Pérdidas eólicas 3 : $P_{LE3}(P_{E3}) = 200 \cdot 0.05 \cdot (P_{E3} [\text{W}] / 220000)^2 [\text{W}] = 0.000207 P_{E3}^2$ MW.

Como la central eólica no tiene costos variables de generación, entrega la totalidad de su generación.

$$D' = D - (10.5 - P_{LE2}(10.5)) = 375 - (10.5 - 0.02) = 364.52 \text{ MW.}$$

El problema ahora corresponde a un despacho uninodal sin pérdidas:

$$\lambda = \frac{D' + \sum \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum \frac{1}{2\gamma_i}} = \frac{364.52 + \frac{6.99}{2 \cdot 0.063} + \frac{6.95}{2 \cdot 0.061}}{\frac{1}{2 \cdot 0.063} + \frac{1}{2 \cdot 0.061}} = 29.5640$$

$$\lambda = dC_1/dP_1 \rightarrow 29.5640 = 6.99 + 0.126 P_1 \rightarrow P_1 = 179.16 \text{ MW: No cumple límite de generación.}$$

Entonces:

$$P_1 = 170 \text{ MW} \quad P_3 = D' - P_1 = 194.52 \text{ MW}$$
$$\lambda = dC_3/dP_3 = 6.95 + 2 \cdot 0.061 \cdot 194.52 = 30.6814 \text{ US\$/MWh}$$

Análogo al proyecto 1:

$$U_A = 365 \cdot 24 \cdot P_3 \cdot CM_{g3}(P_3) - C_3(P_3) = 365 \cdot 24 \cdot 194.52 \cdot 30.6814 - (6.95 \cdot 194.52 + 0.054 \cdot 194.52^2)$$
$$U_A = 20.219.061,77 \text{ US\$/año}$$

La inversión requerida asciende a:

$$I = 0.8 \cdot 200 + 2.6 \cdot 30 = 238 \text{ MUS\$}$$

Y finalmente el VAN del proyecto evaluado a 40 años es de:

$$VAN_2 = -I + \sum_{i=1}^{40} \frac{U_A}{(1+t)^i} = -I + U_A \cdot \sum_{i=1}^{40} \frac{1}{(1+0.1)^i} = -I + 9.7791 \cdot U_A$$
$$VAN_2 = -238.000.000,00 + 9.7791 \cdot 20.219.061,77 = -40.275.773,05 \text{ US\$}$$

En conclusión, ninguno de los dos proyectos es rentable, pero es el segundo (central a gas) el que genera menos pérdidas.

^[1] Para la pauta se consideró el modelo de pérdidas cuadráticas y se incorporó directamente en el modelo de optimización, en lugar de tomar el factor de penalización dado por enunciado. Sin embargo, se consideraron correctos otros modelos de pérdidas, por ejemplo, asumiendo el factor de penalización dado y desprendiendo de este un modelo lineal para las pérdidas.

^[2] Esto de todas formas es poco real, ya que la potencia eólica generada se paga a costo marginal en la barra de inyección, el cual podría calcularse con el costo marginal en la barra de consumo y el factor de penalización asociado a las pérdidas de la central eólica.