

“Torta salina”

Per produrre HCl da NaCl si tratta del sale con H₂SO₄. Dalla reazione si sviluppano HCl e H₂O vapore e resta una torta salina solida. Sapendo che l'H₂SO₄ è in soluzione acquosa al 75% in peso e che la torta ha la seguente composizione in peso: Na₂SO₄ 91.48%, NaHSO₄ 4.79%, NaCl 1.98%, H₂O 1.35%, HCl 0.40%, calcolare le portate di ogni corrente (sale ed acido in ingresso, gas e torta salina in uscita) per ogni 1000 kg/h di sale entrante, ed il grado di conversione in Na₂SO₄.

Soluzione

Sebbene il problema potrebbe essere risolto utilizzando come base di calcolo 1000 kg/h di sale entrante noi utilizzeremo come **base di calcolo 1000 kg/h di torta salina**. Con questa scelta conosciamo le portate in massa di Na₂SO₄, NaHSO₄, NaCl, H₂O, ed HCl in uscita nella torta salina (pertanto dividendo per i rispettivi pesi molecolari possiamo calcolare le portate molari):

	\dot{m} [kg/h]	M_w [kg/h]	\dot{n} [kmol/h]
Na ₂ SO ₄	914.8	142.05	6.44
NaHSO ₄	47.9	120.06	0.40
NaCl	19.8	58.45	0.34
H ₂ O	13.5	18.02	0.75
HCl	4	36.47	0.11
H ₂ SO ₄		98.08	

Conviene utilizzare le portate molari, piuttosto che quelle in massa, in quanto andremo a scrivere delle equazioni di bilancio sui singoli elementi.

Bilancio del Na:

$$\dot{n}_{NaCl}^{in} = 2 \cdot \dot{n}_{Na_2SO_4}^{torta} + \dot{n}_{NaHSO_4}^{torta} + \dot{n}_{NaCl}^{torta}$$

da questa equazione di bilancio ricavo la portata molare di NaCl alimentata:

$$\dot{n}_{NaCl}^{in} = 13.62 \text{ [kmol/h]}$$

e la portata in massa:

$$\dot{m}_{NaCl}^{in} = 13.62 \cdot 58.45 = 796.09 \text{ [kg/h]} .$$

Il sodio è l'*elemento di collegamento* tra la portata di sale alimentata e la portata di torta salina. Infatti tutto il sodio uscente nella torta salina è entrato sotto forma di cloruro di sodio. Questo significa che se una delle due portate è nota siamo in grado di calcolare l'altra tramite l'equazione di bilancio del sodio.

Bilancio dello S:

$$\dot{n}_{H_2SO_4}^{sol} = \dot{n}_{Na_2SO_4}^{torta} + \dot{n}_{NaHSO_4}^{torta}$$

lo zolfo serve come elemento di collegamento tra la corrente di torta uscente e la corrente della soluzione acquosa di acido solforico alimentata. Infatti lo zolfo viene alimentato solo con la soluzione acquosa di acido solforico ed esce solo con la torta saline. Poiché conosciamo la portata di zolfo uscente ricaviamo la portata molare di acido solforico alimentata:

$$\dot{n}_{H_2SO_4}^{sol} = 6.84 \text{ [kmol/h]}$$

e la portata in massa:

$$\dot{m}_{H_2SO_4}^{sol} = 6.84 \cdot 98.08 = 670.87 \text{ [kg/h]}.$$

Inoltre poiché sappiamo che l'acido solforico è il 75% in peso della soluzione con la quale viene alimentato, possiamo ricavare le portate della soluzione e dell'acqua:

$$\dot{m}_{sol} = \frac{670.87}{0.75} = 894.49 \text{ [kg/h]}$$

$$\dot{m}_{H_2O}^{sol} = \frac{0.25}{0.75} \cdot 670.87 = 223.62 \text{ [kg/h]} \Rightarrow \dot{n}_{H_2O}^{sol} = \frac{223.62}{18.02} = 12.41 \text{ [kmol/h]}$$

Bilancio del Cl:

$$\dot{n}_{NaCl}^{in} = \dot{n}_{NaCl}^{torta} + \dot{n}_{HCl}^{torta} + \dot{n}_{HCl}^{gas}$$

da questa equazione ricaviamo la portata di acido cloridrico in fase gassosa:

$$\dot{n}_{HCl}^{gas} = 13.17 \text{ [kmol/h]} \Rightarrow \dot{m}_{HCl}^{gas} = 13.17 \cdot 36.47 = 480.31 \text{ [kg/h]}$$

Bilancio del H:

$$2 \cdot \dot{n}_{H_2SO_4}^{sol} + 2 \cdot \dot{n}_{H_2O}^{sol} = \dot{n}_{NaHSO_4}^{torta} + 2 \cdot \dot{n}_{H_2O}^{torta} + \dot{n}_{HCl}^{torta} + \dot{n}_{HCl}^{gas} + 2 \cdot \dot{n}_{H_2O}^{gas}$$

da questa equazione ricaviamo la portata di acqua uscente in fase gassosa:

$$\dot{n}_{H_2O}^{gas} = 11.66 \text{ [kmol/h]} \Rightarrow \dot{m}_{H_2O}^{gas} = 11.66 \cdot 18.02 = 210.11 \text{ [kg/h]}.$$

Calcolo del grado di conversione in Na_2SO_4 :

$$\text{grado di conversione} = \frac{\text{moli di } Na_2SO_4 \text{ prodotte}}{\text{moli di } Na_2SO_4 \text{ producibili}} = \frac{\dot{n}_{Na_2SO_4}}{\frac{1}{2} \cdot \dot{n}_{NaCl}} = 0.95.$$

Cambio della base di calcolo:

A questo punto dobbiamo ricordarci che i risultati trovati sono relativi alla base di calcolo da noi scelta, che era diversa dalla portata assegnata dal problema. In particolare, il dato assegnato dal problema è 1000

kg/h di cloruro di sodio alimentato all'impianto, mentre la nostra base di calcolo (1000 kg/h di torta salina uscente dall'impianto) ci ha consentito di calcolare che la portata di cloruro di sodio alimentata è 796.09 kg/h. pertanto tutte la portate vanno convertite secondo la seguente proporzione:

$$\dot{m} : \dot{m}_{base} = 1000 : 796.09$$

dove \dot{m}_{base} è la portata di una generica corrente calcolata scegliendo 1000 kg/h di torta salina come base di calcolo, mentre \dot{m} è la portata della stessa corrente quando si alimentano all'impianto 1000kg/h di cloruro di sodio.

Così facendo si ottengono i seguenti **risultati**:

NaCl alimentato	1000 kg/h
Soluzione acida alimentata	1124 kg/h
Torta salina uscente	1256 kg/h
Gas uscente	867 kg/h

Possiamo verificare l'accuratezza dei nostri calcoli effettuando un bilancio globale:

portata totale in ingresso = 2124 [kg/h]

portata totale in uscita = 2123 [kg/h].