

EVAPORAZIONE

(I)

PRINCIPI

-) Operazione unitaria molto comune nelle industrie chimiche
-) Scopo : concentrazione di soluzioni per allontanamento del solvente per evaporazione (l'evaporazione è limitata per evitare la separazione di solido. In questo caso si parlerebbe di cristallizzazione).
-) Il soluto è generalmente costituito da un composto con tensione di vapore molto più piccola di quella del solvente \Rightarrow il vapore che si forma è costituito da solo solvente.
-) Un dato di progetto molto importante è : il calore da fornire per vaporizzare il solvente. In prima approssimazione

questo è il calore latente di vaporizzazione ⁽²⁾
associato al solvente allontanato.

-) Per recuperare questo calore latente di vaporizzazione spesso si opera con una configurazione chiamata *multiple effect*

Innalzamento del Punto di Ebollizione

$$\Delta T_b = m \frac{R T_{b0}^2}{\lambda 1000} \quad (1)$$

$\Delta T_b = T_{b, \text{soluz}} - T_{b,0}$: ΔT ebullioscopico

m : molalità (moli/1000gr di solvente)

$T_{b,0}$: Temperatura ^{di ebollizione} del solvente puro ($^{\circ}\text{K}$)

λ : calore latente di vaporizzazione del solvente puro a $T_{b,0}$ (cal/gr)

R : $1.987 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^{\circ}\text{K}}$

$\Rightarrow \Delta T_b$ è funzione solo di m , una volta che il solvente sia assegnato

Regola di Dühring

⑤

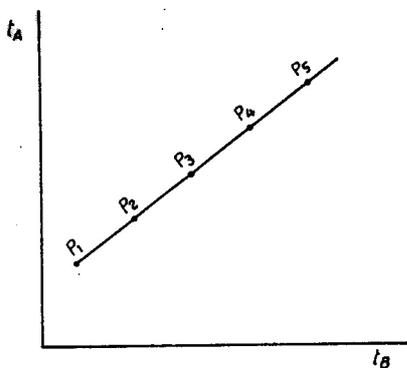


Fig. 1 Regola di DÜHRING.

- 1) Metodo semiempirico di rappresentazione di dati di equilibrio
- 2) Si riporta la temperatura di ebollizione di una soluzione in funzione di quella del solvente puro
- 3) È molto utile per completare i dati sperimentali
- 4) Ciò che si osserva è un andamento quasi lineare (ciò deriva dall'eqn (1)). Occorre osservare che il diagramma di Dühring evidenzia il ST_b .

(4)

Il diagramma di Dühring può essere utilizzato anche per stimare il calore latente di vaporizzazione del solvente in soluzione. Dalla legge di Clausius-Clapeyron si ha:

$$\underbrace{\frac{d \ln P_s}{dT_b}}_{\text{per la soluzione}} = \frac{\lambda}{RT_b^2} \quad \text{e} \quad \underbrace{\frac{d \ln P_{0,s}}{dT_{b0}}}_{\text{per il solvente puro}} = \frac{\lambda_0}{RT_{b0}^2}$$

da cui

$$\lambda = \lambda_0 \left(\frac{T_b}{T_{b0}} \right)^2 \frac{dT_{b0}}{dT_b} \quad (2)$$

dove $\frac{dT_{b0}}{dT_b}$ è la pendenza della retta di Dühring.

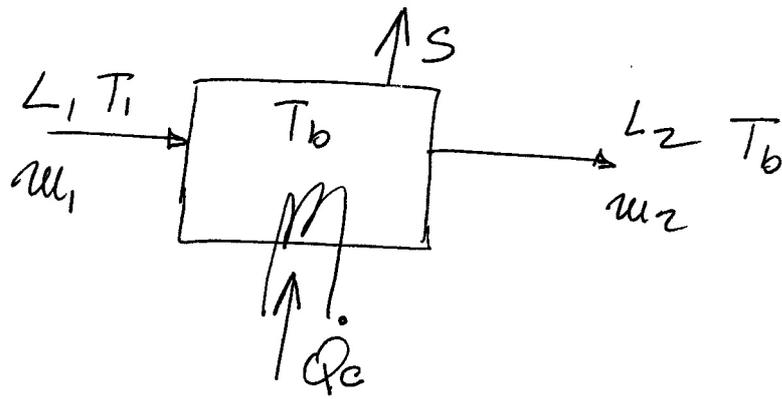
Calore specifico della soluzione

$$C = C_{\text{soluto}} + n_0 C_{\text{solvente}} \quad \frac{\text{cal}}{\text{gr soluto } ^\circ\text{C}}$$

n_0 : gr di solvente in cui è disciolto 1 gr di soluto.

Evaporatore a Singolo Effetto

(5)



L_1 e L_2 : portate ponderali della soluzione (kg/hr) (soluto + solvente)

m_1 e m_2 : frazioni ponderali di soluto

S : portata di solvente vaporizzato (kg/hr)
(S : non contiene il soluto)

(Si assume che il soluto non sia volatile che non cristallizzi)

BH sul soluto:

$$L_1 m_1 = L_2 m_2$$

$$\Rightarrow L_2 = L_1 \frac{m_1}{m_2}$$

BH sul Solvente

6

$$L_1 (1 - u_1) = L_2 (1 - u_2) + S$$

cioè:

$$L_1 (1 - u_1) = L_1 \frac{u_1}{u_2} - L_1 u_1 + S$$

⇒

$$S = L_1 \left(1 - \frac{u_1}{u_2} \right)$$

B. Energetico l'alimentazione alla

•) Riferimento: Temperatura T_1 e composizione u_1

Il B. Energetico (entalpico) assume la seguente forma:

$$\left\{ \dot{Q}_B = (\Delta H_1 + \Delta H_2) L_2 + \Delta H_3 S + \dot{Q}_d \right\} (2)$$

ΔH_1 : variazione di entalpia di L_2 legata al processo di riscaldamento da $T_1 \rightarrow T_b = T_2$

ΔH_2 : variazione di entalpia associata alla variazione di concentrazione della soluzione stimato a $T_b = T_2$

(variazione di u_1 a u_2 ; in pratica questo SH è legato al calore di soluzione o miscelazione) ②

SH_3 calore latente di evaporazione del solvente a $T_b (= T_2)$

Q_d eventuali dispersioni termiche

- o) Molto spesso si può trascurare il contributo di soluzione SH_2 .
- o) SH_2 , SH_1 e SH_3 sono calcolabili dalle proprietà termodinamiche (tabulate) delle soluzioni in esame
- o) Q_d è generalmente assegnato come specifico di progetto o può essere facilmente determinato
- o) L'equazione (2) è un'equazione di progetto importante per la determinazione del carico termico allo scambiatore

Determinazione Superficie di Scambio Termico (8)

(Per vaporizzatori a riscaldamento indiretto)

L'equazione di progetto è:

$$S = \frac{\dot{Q}_c}{U \cdot ST_u}$$

U : coefficiente globale di trasferimento termico
(Kcal/hr m² °C)

ST_u : ST_u utile allo scambio termico

•) Il fluido di riscaldamento è generalmente un vapore d'acqua a bassa pressione, 2-3 at, con temperatura di condensazione di 120-130°C

•) Una buona stima di ST è:

$$ST_u = T_v - T_b$$

T_v : temperatura di condensazione del vapore d'acqua

T_b : temperatura di ebollizione della soluzione

o) U è di difficile stima, siamo in presenza di 2 fluidi che subiscono una transizione di fase; generalmente si conduce una campagna sperimentale volta alla determinazione di U .

Tipici valori di U sono:

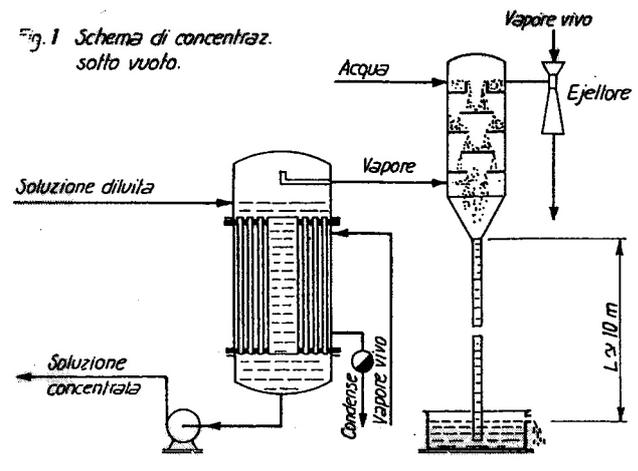
	$U, \text{kcal/m}^2 \text{hr}^\circ\text{C}$
i) circolazione naturale temp. di esercizio di $50-60^\circ\text{C}$ (evap. sottovuoto) e $\Delta T \approx 10^\circ\text{C}$ fascio tubiero orizzontale	600 - 800
ii) circolaz. naturale e temp. di esercizio di $100-110^\circ\text{C}$ fascio tubiero orizzontale	1300 - 1600
iii) come i) con fascio tubiero verticale	800 - 1400
iv) come ii) con fascio tubiero verticale	1500 - 2300
v) Evaporatori Kestner	fino a 3000
vi) evaporatori a circolazione forzata: per velocità superiori a $1-1.5 \text{ m/s}$ si può trascurare l'evapora- zione della soluzione	stime da correlazio- ni utilizzate negli scambiatori convenzio- nali

Nota :.) Per diminuire S potremmo pensare di aumentare ΔT_u cioè T_u ovvero la pressione del vapore d'acqua. In realtà ciò non è possibile in quanto la limitazione della pressione del vapore è legata al fatto che per ragioni economiche il vapore impiegato è quello che proviene dalle caldaie di recupero o dallo scarico delle turbine utilizzate nella produzione di energia elettrica. Il vapore ad alta pressione è molto pregiato e conviene utilizzarlo (impiego più remunerativo) nella produzione di energia elettrica mediante espansione in turbine.

.) Per aumentare il ΔT_u possiamo ridurre T_b riducendo la pressione di esercizio (evaporatori sottovuoto $P_{esercizio} < 1 \text{ atm}$)

Fig. 1 Schema di concentraz. sotto vuoto.

Tav. 3.2



•) la pressione di esercizio (pressione residua) è allora pari a:

$$P_{eserc} = P_c + P_i$$

P_c : tensione di vapore del condensato

P_i : pressione parziale degli inerti (gas incondensabili)

•) Disponendo di acque a 15°C potremmo raggiungere vuoti di ~ 25-30 Torr (in pratica non si scende mai al di sotto di 100 Torr)