

CALORE

formule ed esercizi svolti in classe

Trasmissione del calore per conduzione

Calcolo dello scambiatore

Bilancio di Materia

Scambio termico

Bilancio termico e entalpia

Scambio termico indiretto

Scambio di calore diretto

Evaporazione

- LEGGE DI FOURIER 1

$$Q = \frac{\text{coeff. conducibilità interna} \cdot C \cdot \text{superficie} S \cdot (T_2 - T_1) \cdot \text{tempo}}{\text{spessore } s}$$

(lunghezza in metri, tempo in ore, calore in Kcal.,
coeff. conduc in Kcal/m.°C.h)

- LEGGE DI FOURIER 2

Se i materiali sono più d'uno: la formula sarà:
(s1, s2 = spessori)

$$Q = \frac{1}{\frac{s_1}{C_1} + \frac{s_2}{C_2}} \cdot \text{superficie} S \cdot (T_2 - T_1) \cdot \text{tempo}$$

- LEGGE DI FOURIER 3 : Se il materiale è un cilindro cavo:

$$Q = \frac{\text{Coeff cond interna} \cdot (6,28 \cdot R_m \cdot L) \cdot (T_1 - T_2)}{\text{spessore}} = \frac{C \cdot S \cdot \Delta T}{s}$$

- LEGGE DI FOURIER 4 : Se il cilindro cavo è coibentato (es con isolante)

$$Q = \frac{\Delta T \cdot t}{\frac{s_1}{C_1 \cdot S_1} + \frac{s_2}{C_2 \cdot S_2}}$$

$S_1 = (R_2 - R_1) \cdot \ln R_2 / R_1 \cdot 6,28 L = \text{superficie tubo interno}$

$S_2 = (R_3 - R_2) \cdot \ln R_2/R_1 \cdot 6,28L =$ superficie tubo di rivestimento

CALCOLO DEL CALORE TRASMESSO PER CONVEZIONE + IRRAGGIAMENTO

$Q_{\text{convez + irraggiam}} = \text{coeff conducibilita' esterna} \cdot f. \text{ superficie} \cdot S \cdot (T_2 - T_1) \cdot \text{tempot}$

CALCOLO DEL CALORE TRASMESSO TRA DUE FLUIDI SEPARATI DA UNA PARETE per CONDUZIONE + CONVEZIONE + IRRAGGIAMENTO

$Q = K \cdot S \cdot (T_2 - T_1) \cdot t$

$K = \text{coeff di trasmissione totale} = 1 / (1/f_1 + s/C + 1/f_2)$

$S = \text{superficie} ; t = \text{tempo}$

CALORE SPECIFICO c_p

Se conosco il calore specifico c_p posso conoscere la quantita' di calore ceduto , conoscendo la portata del fluido e la differenza di temperatura

Calore ceduto = Portata in Kg/h . c_p in Kcal/kg °C . $(T_2 - T_1) = \frac{\text{Kg} \cdot \text{Kcal} \cdot \text{°C}}{\text{h} \cdot \text{Kg} \cdot \text{°C}} = \text{Kcal/h}$

c_p per liquido e' 0,5, per solido e' 1, per vapore e' 0,45
 $c_p = \frac{(\% \text{ liquido} \cdot 0,5)}{100} + \frac{(\% \text{ solido} \cdot 1)}{100} + \frac{(\% \text{ vapore} \cdot 0,45)}{100}$

- CALORE CEDUTO IN CONTRO E EQUI CORRENTE:

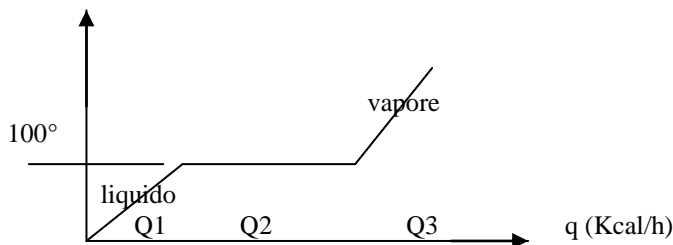
$Q = Q(\text{convezione}) + Q(\text{irraggiamento}) = K \cdot S \cdot T_m \cdot t$

$T_m = \text{salto termico medio} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \Delta T_1 / \Delta T_2} = \text{temperatura logaritmica media (LMTD)}$

-

- ENTALPIA H

temperatura



$Q_1 = \text{calore sensibile} = P \cdot c_p \cdot \Delta T$ (dove $P =$ portata in kg/h e c_p calore spec in kcal/kg.°C)

$Q_2 = \text{calore latente} = P \cdot c_l$ calore latente di vaporizzazione in Kcal/Kg

(per acqua a 100° e a 1 Atm vale $c_l = 540$ Kcal/kg)

$Q_3 = \text{calore sensibile surriscaldato} = P \cdot c_p \cdot \Delta T$

$H = Q_1 + Q_2 + Q_3 =$

- CALCOLO DEL CALORE LATENTE DI VAPORIZZAZIONE c_l

Vedo in tabella entalpica il valore che cambia con la temperatura

- CALCOLO DELLO SCAMBIATORE DI CALORE

$Q =$ calore SCAMBIATO

$Q = P \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$ (dove $P =$ portata in kg/h e c_p calore spec in kcal/kg.°C)

COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE TOTALE DELLO SCAMBIATORE

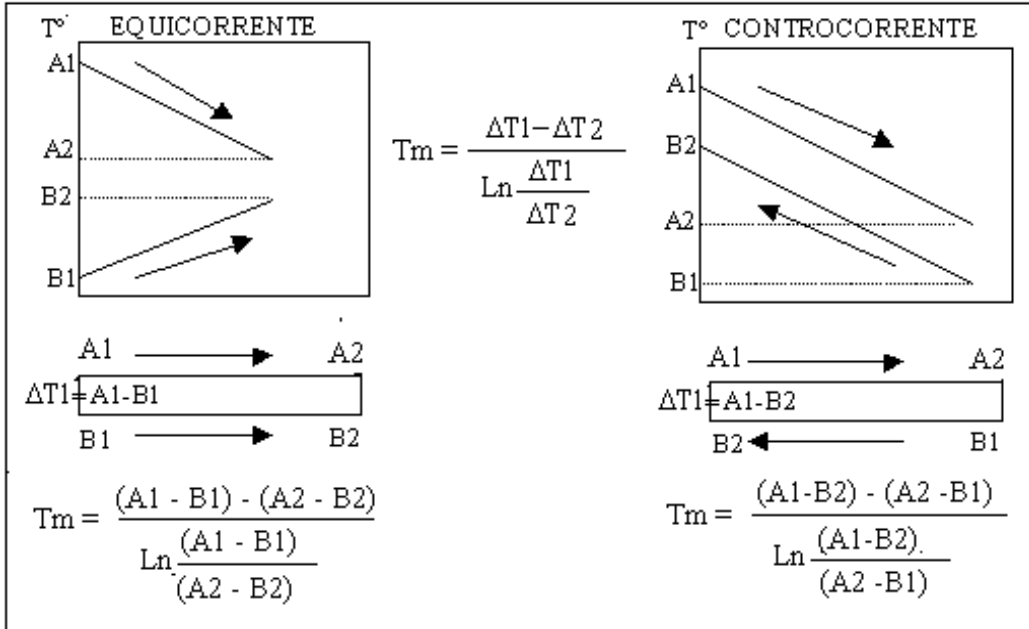
$K = 1/(1/f_1 + s/C + 1/f_2)$

F = coefficienti di conducibilità esterna

S = spessore tubi

C = coefficiente di conducibilità interna

CALCOLO DEL SALTO TERMICO MEDIO LMTD = T_m



CALCOLO DELLA SUPERFICIE DI SCAMBIO

$S = Q/KT_m$ (dove S = superficie, K= coeff di trasmissione totale, T_m=saltotermico medio)

DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI TUBI

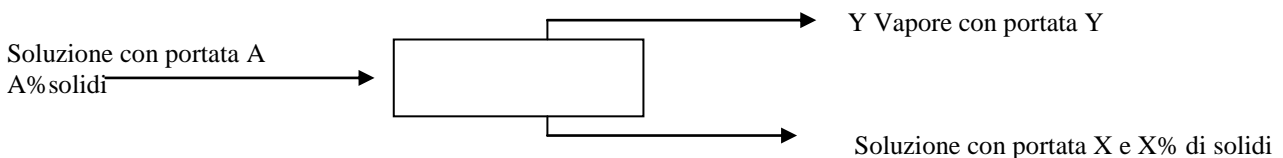
Superficie totale / superficie di ogni singolo tubo

BILANCI DI MATERIA

O bilancio di massa .doc

Formule

- BILANCIO DI PORTATA

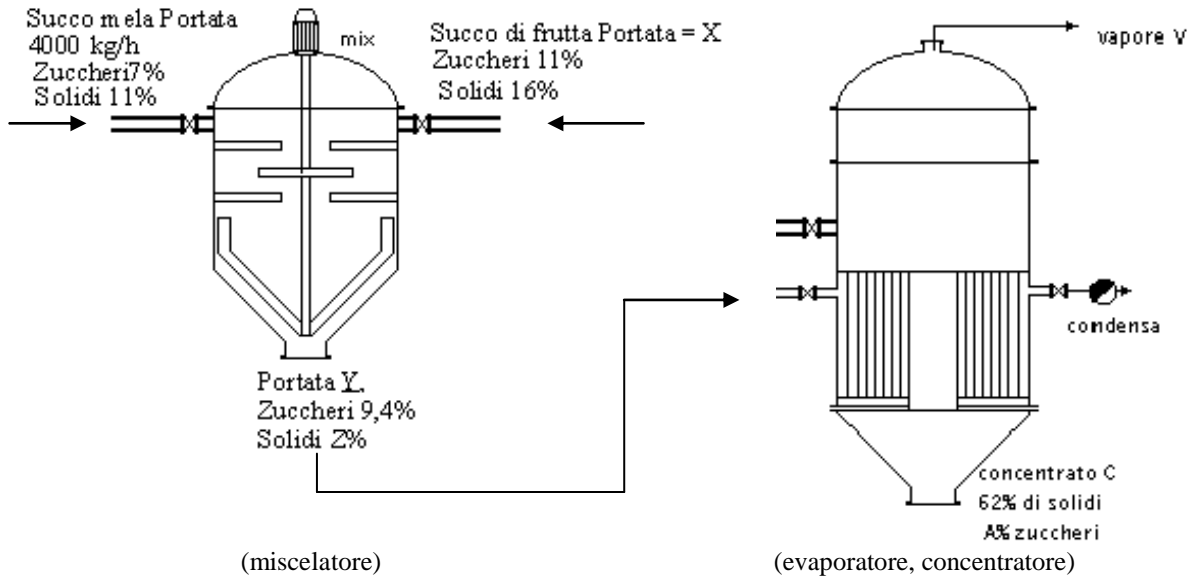


$A = X + Y$

$A \cdot 0,0A = B \cdot 0,0B$

PROBLEMA: (calcolo del bilancio di materia e di calore)

4000 kg/h di succo di mela al 11% di solidi e 7% di zuccheri vengono miscelati con succo di frutta al 16% di solidi e 11% di zuccheri. Calcolare la quantità complessiva di prodotto ottenuto se questo presenta un contenuto di 9,4% di zuccheri. Quale è la % in solidi del prodotto ottenuto? Se il prodotto entra in un concentratore a fascio tubiero, calcolare la portata V del vapore e la portata C del concentrato sapendo che il concentrato è al 62% in solidi. Calcolare altresì la % di zuccheri a caso.



1)
 Risolvo le portate X e Y :
 $4000 + X = Y$ dunque $4000 \cdot 7/100 + X \cdot 11/100 = Y \cdot 9,4/100$
 e sostituendo : $4000 \cdot 7/100 + X \cdot 11/100 = (4000 + X) \cdot 9,4/100$
 Risolvo X= 6000 kg/h mentre Y = 4000 + 6000 = 10.000 kg/h
 Risolvo la % in solidi.
 $4000 \cdot 11/100 + 6000 \cdot 16/100 = 10.000 \cdot Z/100$
 Z = 14% percentuale in solidi del prodotto in uscita

2)
 Ricavo ora dal bilancio totale la quantità di acqua vapore V , quantità di concentrato C e percentuale in zuccheri A% nel concentrato :
 imposto:
 Bilancio totale : $10000 = V + C$
 Bilancio solidi : $10000 \cdot 0,14 = C \cdot 0,62$
 Bilancio zuccheri : $10000 \cdot 0,094 = 2258 \cdot A$
 $C = 2258 \text{ Kg/h}$
 $V = 7742 \text{ kg/h}$
 $A = 41,7\%$

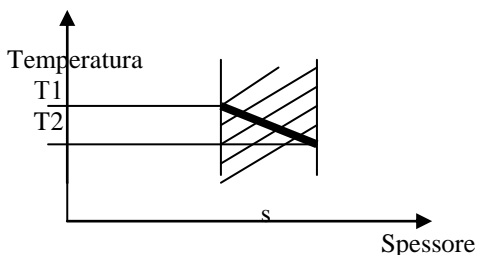
SCAMBIO TERMICO 1

(1 conduzione, convezione, irraggiamento)

CALCOLO DEL CALORE TRASMESSO PER CONDUZIONE

ATTRAVERSO LAMINA E TUBO

Posto un materiale di spessore s ,la quantità di calore Q (kcal/ora) trasmessa da A a B è:



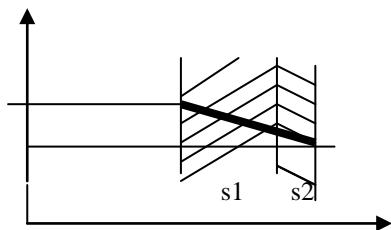
LEGGE DI FOURIER

$$Q = \frac{\text{coeff. conducibilità interna} \cdot C \cdot \text{superficie} \cdot (T_2 - T_1)}{\text{spessore } s} \cdot \text{tempo}$$

(lunghezza in metri, tempo in ore, calore in Kcal.,
 coeff. conduc. in Kcal/m.°C.h)

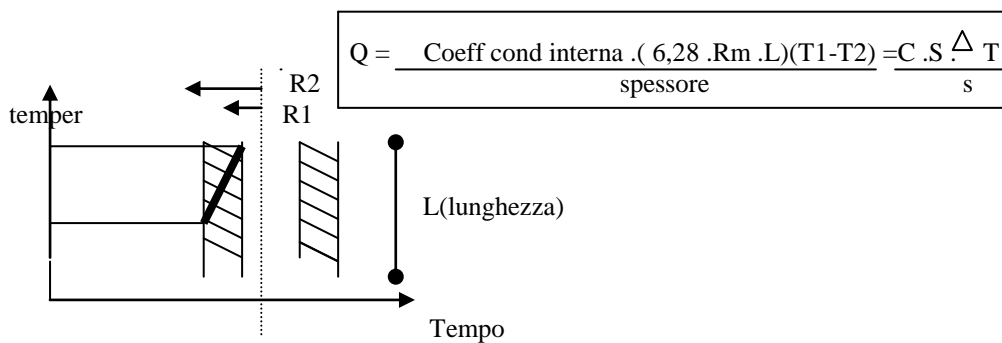
Se i materiali sono più d'uno: la formula sarà:

$$Q = \frac{\text{coeff. conducibilità} \cdot C \cdot \text{superficie} \cdot (T_2 - T_1)}{\frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \dots} \cdot \text{tempo}$$



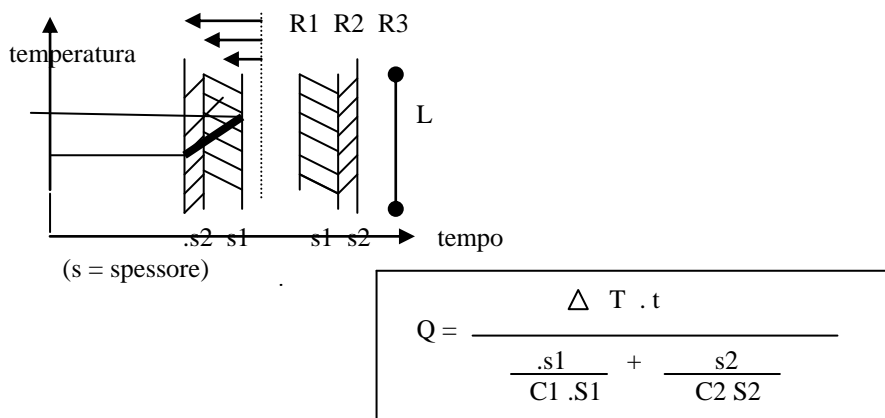
$$Q = \frac{\text{superficie } S \cdot (T_2 - T_1) \cdot \text{tempot}}{\frac{s_1}{C_1} + \frac{s_2}{C_2}}$$

Se il materiale e' un cilindro cavo:



(Rm = raggio medio)

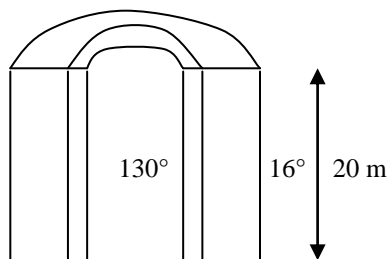
Se il cilindro cavo e' coibentato (es con isolante)

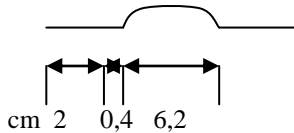


Dove $S_1 = (R_2 - R_1) \cdot \ln R_2/R_1 \cdot 6,28 L$
e $S_2 = (R_3 - R_2) \cdot \ln R_3/R_2 \cdot 6,28 L$

• ESERCIZIO 1(SCAMBIO PER CONDUZIONE)

Una tubazione di ferro con un diametro interno di 6,2cm, spessore 4 mm, lunghezza 20 e coeff. di conducibilita' termica interna $C=39 \text{ Kcal/m } ^\circ\text{C h}$, circola un fluido a 130° per 1 ora.
Per limitare la dispersione termica a $1/400$ del valore iniziale (cioe' con tubo non coibentato) la tubazione viene rivestita con materiale isolante di spessore 2 cm.
Calcolare il coeff di conducibilita' del materiale isolante se la temperatura esterna e' costante e pari a 16°C .





per prima cosa trasformo tutto in Kcal,m,ore
e imposto il valore dei raggi R

$$R1 = 6,2/2 = 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$R2 = 3,1 \cdot 10^{-2} + 4 \cdot 10^{-3} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$R3 = 3,5 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 10^{-2} = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

APPLICO LA LEGGE DI FOURIER

$$Q = (C \cdot 6,28 \cdot \text{rm} \cdot L \cdot (T2-T1))/s = (39 \cdot 6,28 \cdot \text{rm} \cdot (130-16))/s$$

$$\text{rm} = (R2-R1)/\ln R2/R1$$

$$s = (R2-R1)$$

e semplificando rm e s

$$Q = (39 \cdot 6,28 \cdot (130-16))/\ln 3,5 \cdot 10^{-2} / 3,1 \cdot 10^{-2} = 4615384 \text{ Kcal/h} \text{ calore perso senza isolante}$$

Se l'isolante riduce le perdite di 1/400 allora

$$Q1 = 4615384 \text{ Kcal/h} / 400 = 11538 \text{ Kcal}$$

Per calcolare il coefficiente C1 dell'isolante applico ancora la LEGGE DI FOURIER

$$C1 = \frac{Q \cdot s}{6,28 \cdot \text{rm}1 \cdot L \cdot (T2-T1)} = \frac{Q \cdot s}{6,28 \cdot \frac{R3-R2}{\ln R3/R2} \cdot L \cdot (T2-T1)} = \frac{11538 \cdot 0,02}{5,5 \cdot 114} = 0,365 \text{ kcal/m}^{\circ}\text{C h}$$

• ESERCIZIO 2

Calcolare la quantità di calore trasmessa Q in un'ora attraverso una lamiera di ferro di spessore 5 mm rivestita di amianto

Di spessore 1 cm. La temperatura interna è di 120 ° mentre la temperatura esterna = 100°

Il coefficiente di conducibilità interna per il ferro C1 = 50 Kcal/m°C h e per l'amianto : 0,15 Kcal/m°C h e la superficie è di 1 m²

$$Q = \frac{1}{\frac{s1}{C1} + \frac{s2}{C2}} \cdot \text{superficie} S \cdot (T2-T1) \cdot \text{tempot} =$$

$$= \frac{(120-100) \cdot 1}{\frac{0,005}{50} + \frac{0,01}{0,15}}$$

• ESERCIZIO 3

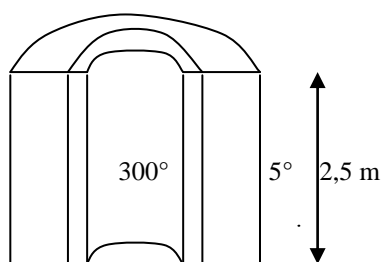
All'interno di un tubo di acciaio al 5% di nichel circola un fluido alla T1 = 300°C.

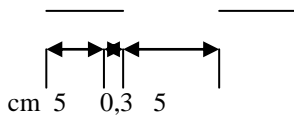
Sapendo che il tubo è lungo 2,5 m, diametro interno 5 cm, spessore s = 3 mm, calcolare il calore ceduto in un'ora sapendo che esso è rivestito all'esterno con amianto di 5 cm di spessore e la temperatura esterna è T2 = 5°C

Cacciaio = 25 Kcal/m°C h e per l'amianto : 0,047 Kcal/m°C h

Calcolare inoltre

- 1) la temperatura della interfaccia acciaio/amianto e
- 2) il C dell'isolante richiesto nel caso che si voglia che la temperatura esterna scenda a -10°C.





Risoluzione:

Per prima cosa calcolo le superfici S1 dell'acciaio e S2 dell'amianto

$$S1 = (R2 - R1) \cdot \ln R2/R1 \cdot 6,28 L = (0,028 - 0,025) \cdot \ln 0,028/0,025 \cdot (2,5) = 0,416 \text{ m}^2$$

$$S2 = (R3 - R2) \cdot \ln R2/R1 \cdot 6,28L = (0,078 - 0,025) \cdot \ln(0,078/0,025) \cdot (2,5) = 0,766 \text{ m}^2$$

Ora calcolo Q usando Fourier :

$$Q = \frac{\Delta T \cdot t}{\frac{s1}{C1 \cdot S1} + \frac{s2}{C2 \cdot S2}} = \frac{295}{\frac{0,003}{25 \cdot 0,416} + \frac{0,05}{0,047 \cdot 0,766}} = 212 \text{ kcal/h}$$

Per rispondere alla richiesta di calcolo della temperatura di interfaccia immagino per semplicità di togliere il coibente : tutti i dati sono ancora validi meno evidentemente la temperatura esterna al tubo che non è altro che la temperatura di interfaccia nel primo caso

$$Q = \frac{C \cdot S \cdot (T1 - T2)}{s} = 212 = \frac{25 \cdot 0,416 \cdot (300 - T2)}{0,003} ; T2 = 299,9^\circ\text{C} \text{ (temperatura di interfaccia)}$$

Rispondo alla domanda successiva e cioè : calcolo del coefficiente di conduc interna C di un ipotetico isolante che mantenga la T° esterna a -10°C

Applico Fourier e ricavo C:

$$Q = \frac{\Delta T \cdot t}{\frac{s1}{C1 \cdot S1} + \frac{s2}{C2 \cdot S2}} = \frac{310}{\frac{0,003}{25 \cdot 0,416} + \frac{0,05}{C \cdot 0,766}} = 212 \text{ kcal/h}$$

CALCOLO DEL CALORE TRASMESSO PER CONVEZIONE + IRRAGGIAMENTO

$$Q_{\text{convez + irraggiam}} = \text{coeff conducibilita' esterna} \cdot f \cdot \text{superficie} S \cdot (T2 - T1) \cdot \text{tempot}$$

PROBLEMA: Vapor d'acqua saturo a 110°C cede calore ad una parete che si trova ad una temperatura di 60°C. La superficie di scambio è di 2 m² e il fenomeno dura un'ora: Qual'è il calore ceduto dal vapore alla parete se il vapore ha un coeff di conducibilita' esterna f = 10.000 Kcal/m²·°C·t
 $Q = 10.000 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1 = 10^6 \text{ kcal}$

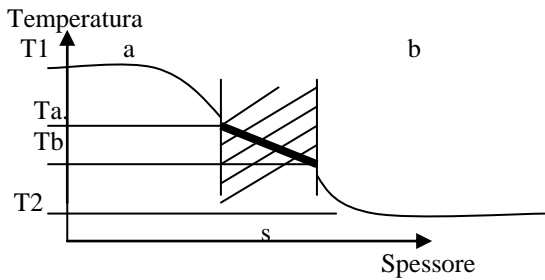
CALCOLO DEL CALORE TRASMESSO TRA DUE FLUIDI SEPARATI DA UNA PARETE per CONDUZIONE + CONVEZIONE + IRRAGGIAMENTO

Il fluido a trasmette per convez+irragg alla parete che trasmette per conduzione al fluido b che trasmette per convez + irraggiamento

$$Q = K \cdot S \cdot (T2 - T1) \cdot t$$

$$K = \text{coeff di trasmissione totale} = 1 / (1/f1 + s/C + 1/f2)$$

S=superficie ; t=tempo

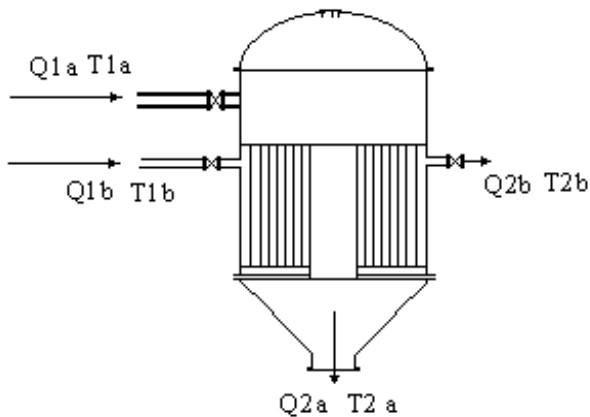


Nel caso di scambiatori di calore la formula viene modificata con la aggiunta del concetto di “salto medio di temperatura” (vedi)

BILANCIO TERMICO E ENTALPIA

(2 scambio termico indiretto entalpia.doc)

se considero le quantità di calore Q entranti e uscenti da uno scambiatore .



CALORE SPECIFICO :

calore necessario per innalzare di un grado la temperatura della unità di massa (Kcal/kg.°C)

(per liquidi $c_p=1$ ---per solidi $c_p=0,5$ ---per vapore $c_p = 0,45$)

IL BILANCIO TERMICO E' : $Q1a + Q1b = Q2a + Q2b$

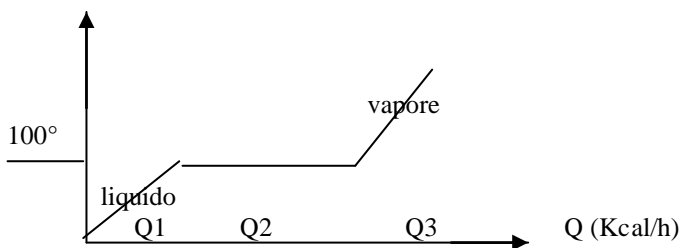
e considerando la portata P in Kg/h e il calore specifico c_p in kcal/kg°C del prodotto ottengo : $Q = P \cdot c_p \cdot \text{temperatura}$

che sostituito nel bilancio da' : $P_a \cdot C_{pa} \cdot (T1a-T2a) = P_b \cdot C_{pb} \cdot (T1b-T2b)$

(la quantità di calore scambiato si dice CALORE SENSIBILE)

- ENTALPIA O CALORE TOTALE H

e' il contenuto termico del liquido rispetto ad una condizione di riferimento che e' a 0° ed e' costituita da lla somma del calore latente(di evaporaz .oppure di fusione) piu' il calore sensibile (la temperatura dell'acqua a 0° e' =0) temperatura



$Q1 = \text{calore sensibile} = P \cdot c_p \cdot \Delta T$ (dove P=portata in kg/h e c_p calore spec in kcal/kg.°C)

$Q2 = \text{calore latente} = P \cdot c_l$ (calore latente di vaporizzazione in Kcal/Kg : per acqua a 100° e 1 Atm il calore latente di evaporaz = 540 kcal/kg)--- c_p alcool(20-26°)=0,56--- c_p alcool(-20°+15°)= 0,54----glicerina = 0,56

$Q3 = \text{calore sensibile surriscaldato} = P \cdot c_p \cdot \Delta T$

$$H = Q1 + Q2 + Q3$$

ESERCIZIO 1(sul calore specifico)

Calcolare cp per marmellata al 67% in solidi

Risolvo:

marmellata = 67% in solidi + 33% in liquidi

Se per solidi cp e' 0,5 e per liquidi cp=1 allora Cp per la marmellata sara'

$$(0,67 \cdot 0,5) + (0,33 \cdot 1) = 0,66$$

ESERCIZIO 2(sul calore specifico)

Calcolare la quantita' di calore Q trasmessa da un liquido al 12% in solidi con portata 2000Kg/h e nel quale la temperatura da 60° si abbassa a 20°.

Risolvo:Se per solidi cp e' 0,5 e per liquidi cp=1 allora Cp per il liquido in oggetto e' $(0,88 \cdot 1) + (0,12 \cdot 0,5) = 0,94$

$$Q = P \cdot cp \cdot \Delta T = 2000 \cdot 0,94 \cdot (60 - 20) = 75200 \text{ Kcal/h}$$

ESERCIZIO3 (sulla Entalpia H)

determinare la H del vapore a 120°C e 1 Atm ($c_l = 540 \text{ kcal/Kg}$) (P ha valore unitario)

(sapendo che cp per i liquidi e' 1, per vapore e' 0,45)

$$H \text{ del vapore a } 120^\circ = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1 \cdot 1 \cdot 100 + 1 \cdot 540 + 1 \cdot 0,45 \cdot 20 = 649 \text{ Kcal/h}$$

$$H \text{ del vapore a } 100^\circ = Q_1 + Q_2 = 1 \cdot 1 \cdot 100 + 1 \cdot 540 = 640$$

ESERCIZIO 4 (sul calore latente di evaporazione)

Un fluido con portata di 5000 Kg/h si trova all'ebollizione : quanto calore Q devo somministrare per

Portare tutto il fluido a vapore?

$$Q = P \cdot c_l = 5000 \cdot 540 = 2700000 \text{ kcal/h}$$

ESERCIZIO 5 (calcolo della entalpia)

2500 Kg/h di acqua vengono riscaldati da 20 a 80°C e successivamente a 125° (a 1 Atm)

Quale e' la quantita' di calore Q per ciascuna fase del processo e la quantita' totale o entalpia.

Risolvo

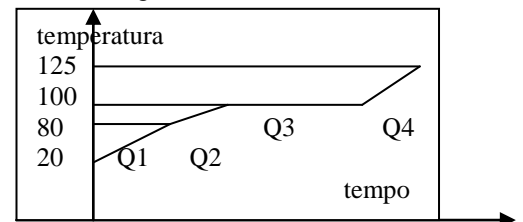
$$Q_1 = P \cdot cp \cdot (T_2 - T_1) = 2500 \cdot 1 \cdot (80 - 20) = 150000 \text{ kcal/h}$$

$$Q_2 = P \cdot cp \cdot (T_3 - T_2) = 2500 \cdot 1 \cdot (100 - 80) = 50000 \text{ kcal/h}$$

$$Q_3 = P \cdot c_l = 2500 \cdot 540 = 1350000$$

$$Q_4 = P \cdot cp \cdot (T_4 - T_3) = 2500 \cdot 0,45 \cdot (125 - 100) = 28125$$

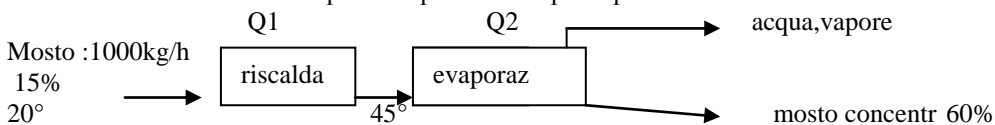
$$H = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 1.578.125$$



ESERCIZIO 6(calcolo sulla entalpia)

1000 kg /h di mosto di uva al 15% in solidi vengono scaldati da 20 a 45 °C e inviati in un evaporatore che lavora a bassa pressione in modo che la temperatura di ebollizione sia 45° (il calore latente = 570 kcal/kg) qui il mosto viene concentrato a 60% in solidi.

Calcolare il calore necessario per l'evaporazione e per il processo



sapendo che cp varia con la concentrazione solido/liquido:

$$Q_1 = P \cdot cp \cdot (T_2 - T_1) = 1000 \cdot [(0,15 \cdot 0,5) + (0,85 \cdot 1)] \cdot (45 - 20) = 23125 \text{ Kcal/h}$$

Se ora volessi far evaporare tutta l'acqua dal mosto (570 Kcal per kg di acqua che evapora)

$$\text{Calcolo la quantita' di acqua totale} = 1000 \cdot (1 - 0,15) = 850 \text{ kg}$$

$$Q_2 = P \cdot c_l = 850 \cdot 570 = 484500$$

Calcolo la quantita' di acqua che devo evaporare per ottenere mosto al 60% in solidi come richiestomi

Il ragionamento e' :

$$1000 = X_{\text{acqua(vapore)}} + Y_{\text{mosto al 60\%}} = X_{\text{acqua (vapore)}} + (1000 \cdot 0,15) / 0,6$$

$$\text{(infatti } 1000 \cdot 0,15 = Y_{\text{mosto al 60\%}} \cdot 0,6)$$

e quindi : acqua (vapore) = 750 kg /he

$$Q_2 = P \cdot c_l = 750 \cdot 570 = 427500 \text{ Kcal/h}$$

ESERCIZIO 7 pag 25

2000 kg/h di latte al 12% in solidi e 3,5% in grassi viene riscaldato da temperatura di 20 ° a 40 ° e sottoposto a centrifugazione in modo da ottenere panna al 40% in solidi e 33 % grassi , e latte scremato all'1,8% di grasso .

Il latte scremato viene riscaldato a 60° e inviato ad un evaporatore che lo concentra a 60° sotto vuoto per ottenere latte scremato concentrato al 45% in solidi. (il calore latente = 590 kcal/kg)

Calcolare la quantità di calore per effettuare il processo.

PER IL GRASSO : $2000 \cdot 0,035 = X \cdot 0,33 + (2000-X) \cdot 0,018 =$ (grasso entrante = grasso uscente + grasso latte scremato uscente)

$X = 109$ kg/h portata di panna

$Y = 2000 - 109 = 1891$ Kg/h portata di latte scremato

$1891 = X$ acqua (vapore) + Y latte scremato al 45% = X acqua (vapore) + $1891 \cdot 0,018/0,45 =$

$X = 1815$ Kg/h

$Q_2 = P \cdot c_l = 1.815 \cdot 590$ Kca/h

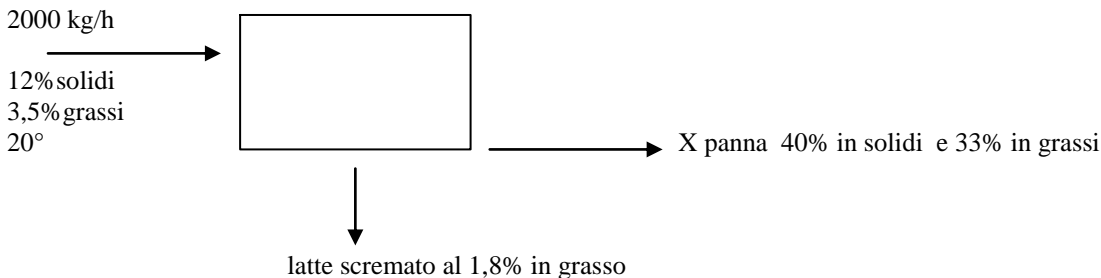
Mentre il calore sensibile Q_1 da 20 a 40° e Q_1' da 40 a 60° sarà

Per latte $Q_1 = P \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 2000 \cdot 1 \cdot (40 - 20) = 40.000$ kcal/h

Per latte scremato $Q_2 = P \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2) = 1891 \cdot 1 \cdot (60 - 40) = 37.820$ kcal/h

PROBLEMA pag 25 : 2000 Kg/h di latte al 12% in solidi e 3,5% in grassi viene riscaldato da 20 a 40 ° e dopo centrifugazione da' panna al 40% in solidi e 33% in grassi e latte scremato all' 1,8% in grasso .

Calcolare la portata della panna e del latte scremato.(vedi problema precedente)



posto che quantità di grasso entrante è uguale alla quantità di grasso uscente

$2000 \cdot 0,035 = X \cdot 0,33 + (2000 - X) \cdot 0,018$

$X =$ portata di panna

$2000 - X =$ portata di latte scremato = 1891

Il latte scremato viene riscaldato a 60° e inviato ad un evaporatore che lo concentra a 60° sotto vuoto per ottenere latte scremato concentrato al 45% in solidi (cl=590 Kcal/kg).

Calcolare il calore necessario per effettuare il processo:

Il calore necessario per effettuare il processo sarà la somma di tre valori di Q e cioè'

$Q_1 =$ calore necessario per portare i 2000 di latte da 20 a 40°

$Q_2 =$ calore necessario per portare 1891 di latte scremato da 40 a 60°

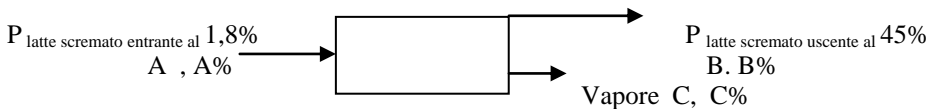
$Q_3 =$ calore necessario per il passaggio di stato liquido/vapore nell'evaporatore

$Q_1 = P_{latte} \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = 2000 \cdot C_p$ (corretto da 0,5 a 1) $\cdot (40 - 20)$

$Q_2 = P_{latte\ scremato} \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = 1891 \cdot C_p$ (corretto da 0,5 a 1) $\cdot (60 - 40)$

$Q_3 = P_{vapore} \cdot c_l = (P_{latte\ scremato\ entrante} - P_{latte\ scremato\ uscente}) \cdot c_l = (1891 - 1891 \cdot 0,018/0,45) \cdot c_l$

come spiegare l'ultima equazione????



$A = B + C$

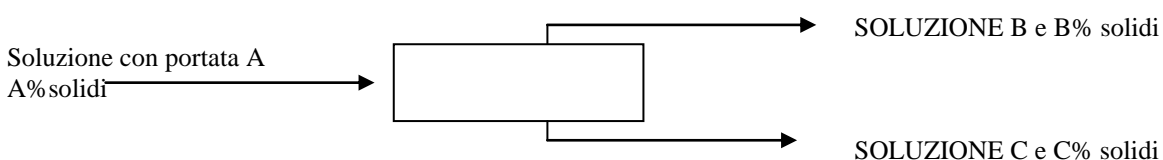
$A \cdot 0,018 = B \cdot 0,45$ cioè'

$P_{latte\ scremato\ entrante} \cdot 0,018 = P_{latte\ scremato\ uscente} \cdot 0,45$

$P_{latte\ scremato\ entrante} \cdot 0,018 / 0,45 = P_{latte\ scremato\ uscente}$

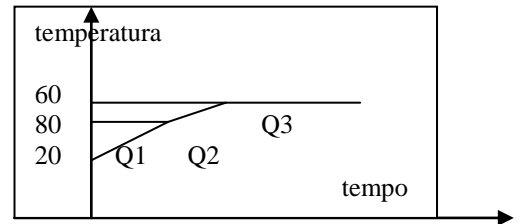
RIVEDO IL PROBLEMA SVILUPPANDO UNA SINTESI

BILANCIO DI PORTATA



$$A = B + C$$

$$A \cdot 0,0A = B \cdot 0,0B + (A-B) \cdot 0,0C$$

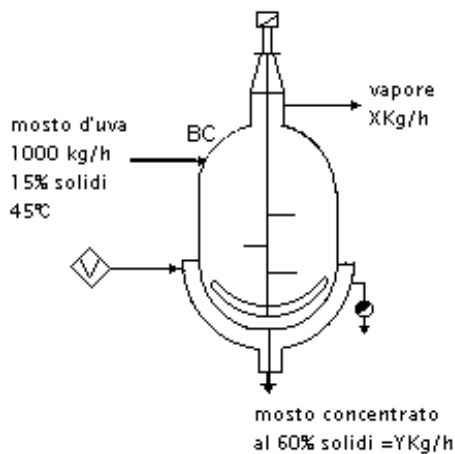


PROBLEMI SU SCAMBIO DI CALORE INDIRETTO

ESERCIZIO 8 pag 27

Del mosto d'uva con portata di 1000 Kg/h al 15% in solidi e a 45°C viene concentrato in un evaporatore a bolla, riscaldato da vapore a 80°, ottenendo mosto al 60% (la tabella entalpica mi dà per 45° un valore dell' calore latente di vaporizzazione: per 45° $cl = 570$ Kcal/kg e per 80° il valore di 550 Kcal/kg)

Calcolare Q e le portate X e Y



Risolve il bilancio di massa

$$1000 = X + Y$$

$$1000 \cdot 0,15 = Y \cdot 0,6$$

Risolve trovando il valore di Q

$$Y = 250 \text{ Kg/h} = \text{mosto} \quad X = 750 \text{ Kg/h} = \text{acqua (vapore)}$$

$$Q = P \cdot cl = 750 \cdot 570 = 427875 \text{ Kcal/h}$$

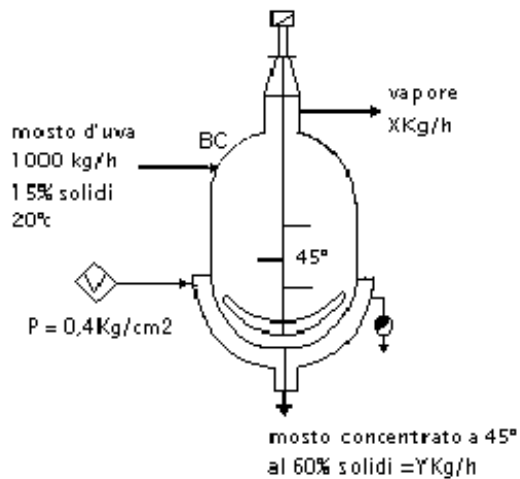
Detta P1 = portata del vapore incognito

$$P1 = Q / cl = 427875 / 550 = 777 \text{ Kg/h}$$

(continua scambio di calore indiretto)

ESERCIZIO 9 pag 28

Risolve lo stesso problema immaginando che il mosto in entrata sia a 20° e il vapore condensante sia a P = 0,4 Kg/cm² (la tabella entalpica dà per temp. di 45° un valore di 570 Kcal/kg). Calcolo Q

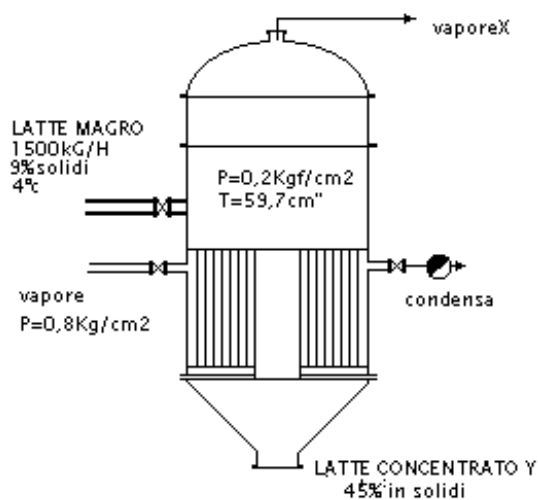


Risolve il bilancio di massa : $1000 = X + Y$ e $1000 \cdot 0,15 = Y \cdot 0,6$
 $X = 250 \text{ Kg/h} = \text{mosto}$ $Y = 750 \text{ Kg/h} = \text{acqua (vapore)}$
 Poiche' $0,15\%$ e' solido e $0,85\%$ e' liquido sara' : $cp = (0,15 \cdot 0,5) + (0,85 \cdot 1) = 0,925$
 $Q1 = P_{\text{totale}} \cdot cp \cdot (T2-T1) = 1000 \cdot 0,925 \cdot (45 - 20) = 23125 \text{ kcal/h}$
 $Q3 = P_{\text{vapore}} \cdot cl = 750 \cdot 570 = 427500 \text{ kcal/h}$
 $Q \text{ totale} = 23125 + 427500 = 450625 \text{ kcal/h}$

ESERCIZIO:(evaporatore)pag 33

In un evaporatore in cui vengono concentrati 1500 Kg/h di latte magro al 9% in solidi ,il latte e' a 4°C e il concentrato e' al 45% in solidi: La pressione assoluta nell'evaporatore e' di $0,2 \text{ Kg/cm}^2$ e la pressione di riscaldamento del vapore condensante e' $0,8 \text{ Kg/cm}^2$

Qual'e' il calore specifico,portata di vapore e liquido concentrato,quantità di calore scambiato?



1)Calcolo $cp =$

$cp1 = \text{calore specifico per solido (9\% di grasso nel latte)} = 0,09 \cdot 0,5 = 0,045$

$cp2 = \text{calore specifico per liquido (91\% di acqua nel latte)} = 0,91 \cdot 1 = 0,91$

$cp1+cp2 = \text{calore specifico del latte al 9\%} = 0,955$

2)

$1500(\text{liquido entrante}) = (X + Y)\text{somma dei prodotti uscenti}$

$1500 \cdot 0,09(\text{grasso entrante}) = \text{grasso uscente (Y} \cdot 0,45)\text{-----} \rightarrow X = 1200, Y = 300$

3)calcolo il calore ceduto calcolando il calore sensibile e il calore latente:

$Q1 = P_{\text{totale}} \cdot cp \cdot \Delta T = 1500 \cdot 0,955 \cdot (59,7-4)$

$-Q2 = P_{\text{vapore}} \cdot cl = 1200 \cdot 562 =$

$Q = Q1+Q2 = 81552,95$

SCAMBIO TERMICO INDIRETTO -CALCOLO DELLO SCAMBIATORE-% RECUPERO

Uno scambiatore a fascio tubiero viene alimentato con $P = 9400 \text{ kg/h}$ di succo di frutta al 10% in solidi. E viene riscaldato alla temperatura finale di 75° . Il fluido di servizio riscaldante è costituito da 800 kg/h di vapore a $0,8 \text{ Atm}$ e passa da una temperatura di 110° a 85° . Calcolare la quantità di calore che viene scambiata in un'ora, la temperatura iniziale del succo, e il numero di tubi che formano lo scambiatore se ciascun tubo ha un diametro di 5 cm , lunghezza = 4 m e $K = 1270 \text{ kcal/h m}^2\text{C}$. (coeff di trasmissione totale)

1) calcolo la Q di calore del vapore

A $0,8 \text{ Atm}$ la temperatura di evaporazione è 93°

$$Q1 = \text{calore sensibile vapore da } 110 \text{ a } 93 = P \cdot c_p \cdot \Delta T =$$

$$Q2 = \text{calore latente vapore} = P \cdot c_l \text{ (calore latente di vaporizzazione in Kcal/Kg : per acqua a } 93^\circ \text{ e } 0,8 \text{ Atm } c_l = 543)$$

$$Q3 = \text{calore sensibile acqua da } 93 \text{ a } 85$$

$$Q_{\text{totale vapore}} = Q1 + Q2 + Q3 = 800 \cdot 0,045 \cdot (110 - 93) + 800 \cdot 543 + 800 \cdot (93 - 85) = 446.920 \text{ kcal/h}$$

2) calcolo il calore specifico del succo (acqua = 1, solido = 0,4)

$$C_p = (90/100) \cdot 1 + (10/100) \cdot 0,4 = 0,94$$

3) Calcolo la temperatura iniziale del succo

$$Q_{\text{scambiato}} = 446.920 = P \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 9400 \cdot 0,94 \cdot (75 - T_1)$$

$$T_1 = 24^\circ$$

4) Calcolo del salto termico medio T_m in controcorrente

$$T_m = [(110 - 75) - (85 - 24)] / \ln [(110 - 75) / (85 - 24)] = 46$$

4) Calcolo del salto termico medio T_m in equicorrente

$$T_m = [(110 - 24) - (85 - 75)] / \ln [(110 - 24) / (85 - 75)] = 76 / \ln 8,6 = 76 / 2,15 = 35$$

5) Calcolo la superficie totale di scambio

sapendo che $S = Q / K T_m$ (superficie = calore scamb./coeff di trasmissione totale. salto termico)

$$S = 446920 / 1270 \cdot 46 = 7,65 \text{ m}^2$$

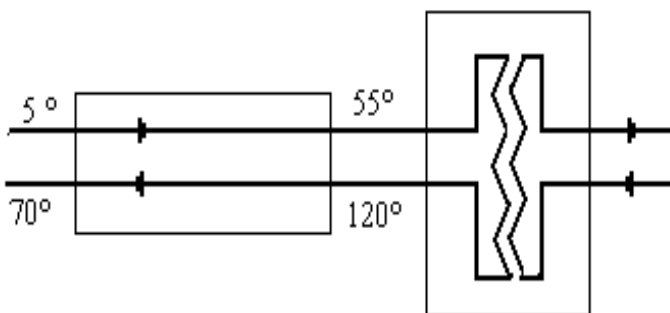
6) superficie del tubo

$$s = 6,28 \cdot 0,025 \cdot 4 = 0,628 \text{ m}^2$$

7) n° tubi

$$S/s = 7,65 / 0,628 = 12$$

PROBLEMA : Calcolare la % di recupero in uno scambiatore sapendo che il fluido esce dallo scambiatore principale a 120° , fluisce nello scambiatore di recupero da cui esce a 70° . Il fluido freddo entra a 5° ed esce a 55° .



$$\% \text{ recupero} = \frac{T_r - T_o}{T_{\text{max}} - T_o} \cdot 100$$

$$\% \text{ recupero} = [(55 - 5) / (120 - 5)] \cdot 100 = 43,5\% \quad \text{?????}$$

PROBLEMA : Sapendo che il fluido dell'esercizio 2 è costituito da 9000 kg di fluido con $c_p 0,45 \text{ kcal/C kg}$. Calcolare la massa del vapore necessaria nello scambiatore principale sapendo che il vapore entra a 140° , esce a 123° condensato alla pressione di 3 Atm (la tabella entalpica mi dice che il vapore a 3 atmosfere condensa a 133° ; $c_l = 517$)

$$Q_{\text{fluido}} = P \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 9000 \cdot 0,45 \cdot (120 - 55) = 263.250 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{vapore}} = Q_{\text{fluido}}$$

$$Q_{\text{vapore}} = P \cdot c_p (t_2 - t_1) + P \cdot c_l + P \cdot c_p (t_2 - t_1)$$

$$263.250 = P \cdot 0,45 \cdot (140 - 33) + P \cdot 517 + P \cdot 1 \cdot (133 - 123)$$

$$\text{portata } P \text{ del vapore} = 497 \text{ kg/h}$$

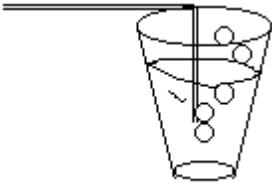
SCAMBIO DI CALORE DIRETTO

ESERCIZIO N° 10(vedi n 12) pag 29

Supponiamo di avere un recipiente che contiene 50 kg di acqua a 20°C e lo riscaldo facendo gorgogliare del vapore a pressione atmosferica che porta l'acqua a 60° .

Quanto vapore ci vuole per effettuare questa operazione?

Vapore a 100 °



50kg H₂O da 20°C a 60°C

$$Q_1 = P \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 50 \cdot 1 \cdot (60 - 20) = 2000 \text{ kcal/h per riscaldare acqua da 20 a 60}$$

$$Q_2 = P \cdot c_l = \text{e ricavo } P = 2000 / 540 = 3,7 \text{ Kg/h}$$

3,7 sono i kg/h di vapore necessario per portare l'acqua a 100°

evidentemente per portare l'acqua a 60 °C occorreranno meno kg/h di vapore

quale ragionamento fare?

2000 Kcal servono per in parte per portare a 60° l'acqua e in parte per mantenere vapore a 100°

$$\text{cioe' } 2000 \text{ Kcal/h} = P \cdot c_l + P \cdot c_p \cdot (100 - 60) = P \cdot 540 + P \cdot c_p \cdot (100 - 60)$$

da cui $P = 3,45 \text{ Kg}$ di vapore

ESERCIZIO N11 (vedi N10)

In 50 kg di acqua a 20° vengono immessi 2 kg di vapore a 1 Atm. Trovare la temperatura raggiunta dal sistema alla fine della operazione:

Vale la relazione del bilancio termico e entalpico

$$Q_1 \text{ sensibile (calore ceduto dal vapore al liquido)} + Q_2 \text{ latente (calore necessario per il passaggio di stato del vapore a liquido)} = Q_3 \text{ (calore acquistato dalla acqua)}$$

Dunque:

$$Q_1 = P \cdot c_p \cdot (100 - T) = 2 \cdot 1 \cdot (100 - T)$$

$$Q_2 = P \cdot c_l = 2 \cdot 540$$

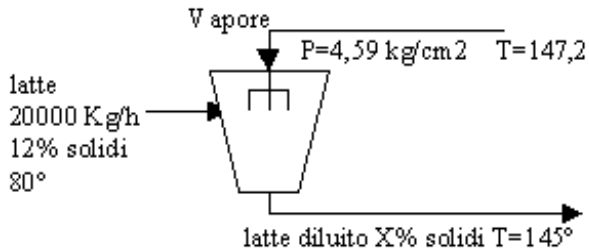
$$Q_3 = P \cdot c_p \cdot (100 - T) = 50 \cdot 1 \cdot (T - 20)$$

$$\text{Ricavo } T = 43^\circ$$

ESERCIZIO N 12 pag 31

20000 Kg/h di latte al 12 % in solidi e 80°C vengono fatti passare in un uperizzatore in cui entra vapore alla pressione di 4,5 Kg/cm² e alla temperatura di 147,2°C (la tabella entalpica mi da' per questi valori una H =656 Kcal/kg): il latte risultante diluito esce a 145°C.

Calcolare la % in solidi del latte diluito. latte



Risolvo ricordando che il bilancio entalpico deve essere $H_{\text{entrata}} = H_{\text{uscita}}$ (temp riferim = 0°C)

$$P(\text{latte}) \cdot H(\text{latte}) + P(\text{vapore}) \cdot H(\text{vapore}) = P(\text{solidi del latte}) \cdot H(\text{solidi del latte}) + P(\text{latte dil}) \cdot H(\text{latte dil})$$

$$C_p \text{ (per latte in entrata)} = 0,12 \cdot 0,5 + 0,88 \cdot 1 = 0,94$$

$$20000 \cdot 0,94 \cdot (80-0) + P(\text{vapore}) \cdot 656 = (20000 \cdot 0,12) \cdot 0,5 \cdot (145-0) + (20000 - 20000 \cdot 0,12 + P_{\text{vapore}}) \cdot 1 \cdot (145-0)$$

$$\text{ricavo } P(\text{vapore}) = 2390 \text{ kg/h}$$

$$\text{dalla relazione } P(\text{latte}) \text{ iniziale} \cdot \% \text{ solidi} = [P(\text{latte}) \text{ finale} + P(\text{vapore})] \cdot \% \text{ solidi}$$

$$20000 \cdot 0,12 = (20000 + 2390) \cdot x\% / 100 \text{ solidi}$$

$$x\% = 10,72\%$$

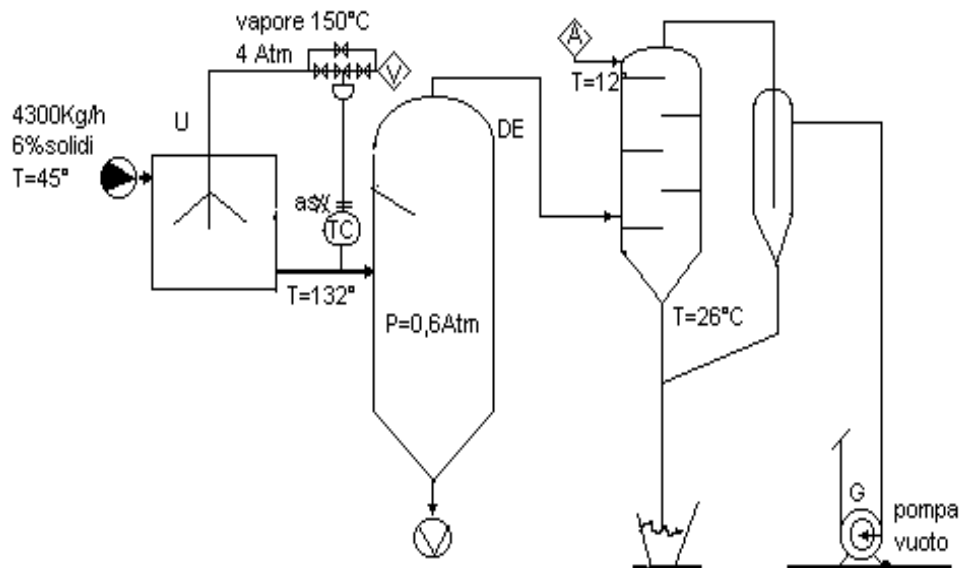
(PROBLEMI SU SCAMBIO TERMICO DIRETTO-continua)

PROBLEMA pag 35 : 4300 Kg/h di un prodotto alimentare al 6% in solidi vengono portati dalla temperatura iniziale $T=45^\circ$ alla temperatura di $T=132^\circ$ mediante iniezione diretta nel prodotto di vapore alla temperatura $T=150^\circ$ e pressione $P=4\text{Atm}$.

Successivamente il prodotto viene inviato in un evaporatore flash operante a 0,6 Atm per eliminare sotto forma di vapore parte dell'acqua precedentemente introdotta ,il quale viene condensato per scambio diretto con acqua alla T° di $T=12^\circ\text{C}$.

Calcolare :

1. la quantita' di vapore necessario nello scambiatore operante per condensazione diretta
2. la conc. in solidi del prodotto in uscita dallo scambiatore
3. calcolare la portata del vapore prodotto nell'evaporatore flash
4. la conc. in solidi del prodotto in uscita dall'evaporatore flash
5. la quantita' di acqua necessaria per condensare il vapore prodotto nell'evaporatore flash se il condensato viene scaricato a $T=26^\circ\text{C}$.



1° Domanda :la quantita' di vapore necessario nello scambiatore operante per condensazione diretta

1)calcolo il calore specifico cp del prodotto entrante(sapendo che e' = 0,5 per solidi e 1 per liquidi)

$$cp = (0,06 \cdot 0,5) + (0,94 \cdot 1) = 0,97 \text{ Kcal/h}$$

2)il calore totale del vapore saturo è 656,2Kcal/kg a 4 Atm e a 150° (come da tabella entalpica)

6. BILANCIO TERMICO =la quantita' di calore entrante =calore uscente

Cioe' $Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$

Calore entrante con il prodotto = $Q_1 = P \cdot cp \cdot (T_2 - T_1) = 4300 \cdot 0,97 \cdot (45 - 0) = 187.695$

Calore entrante con il vapore = $Q_2 = P_{\text{vapore}} \cdot 656,2$

Calore uscente con il solido = $Q_3 = P_{\text{solido}} \cdot cp \cdot (T_2 - T_1) = (4300 \cdot 0,06) \cdot 0,5 \cdot (132 - 0) = 17.028$

Calore uscente con acqua composta da acqua al 94% del fluido +acqua condensata dal vapore Q_4

$$Q_4 = P_{\text{acqua al 94\% + vapore}} \cdot 1 \cdot (132 - 0) = (4300 \cdot 0,94) \cdot 132 + P_{\text{vapore}} \cdot 132 = 533.544 + P_{\text{vapore}} \cdot 132$$

Sostituendo i valori di Q trovo la portata incognita del vapore

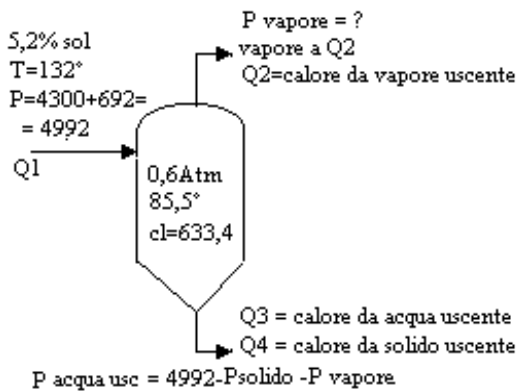
$P_{\text{vapore}} = 692 \text{ Kg/h}$

2° Domanda : calcolare la conc. in solidi del prodotto in uscita dallo scambiatore

Calcolo ora la conc in solidi del prodotto in uscita sapendo che la portata entrante e' 4300 Kg/h mentre il prodotto uscente avra' una portata di 4300 + la portata del vapore condensato che e' risultata = 692 Kg/h

$4300 \cdot 0,06 = (4300 + 692) \cdot x = 0,052$ dunque la % sara' **5,2% di solido in uscita.**

3° Domanda : calcolare la portata del vapore prodotto nell'evaporatore flash



Calcolo ora la portata in uscita del prodotto nell'evaporatore flash(0,6Atm) e del vapore

a)dalla tabella entalpica leggo che a 0,6Atm la temperatura di evaporaz è $85,5^\circ$, dunque il vapore uscente a $85,5^\circ$ ha secondo tabella un calore totale di 633,5

b)il calore specifico cp della soluz a 5,2% in solidi è $= (0,052 \cdot 0,5) + (0,948 \cdot 1) = 0,927$

c)il 5,2% di solido in 4300 + 692 rappresenta la quantita' di 258 di solido

c)il BILANCIO TERMICO di questo secondo problema riguarda:

$$Q1_{\text{soluzione al 5,2\% entrante}} = P_{\text{soluzione}} \cdot cp \cdot (T2-T1) = (4300+692) \cdot 0,927 \cdot (132-0) = 610841$$

$$Q2_{\text{vapore uscente dal flash}} = P_{\text{vapore}} \cdot 633,4$$

E sapendo che la portata di acqua uscente è portata della soluzione meno solido meno vapore

$$Q3_{\text{acqua uscente dal flash}} = P_{\text{soluzione al 94,8\% in soluz} - \text{solido } 5,2\% - \text{vapore perso}} \cdot 1 \cdot (85-0) = (4300+692-258 - P_{\text{vapore}}) \cdot 1 \cdot 85$$

$$Q4_{\text{solido uscente dal flash}} = P_{\text{solido al 5,2\%}} \cdot cp \cdot (T2-T1) = 258 \cdot 0,5 \cdot 85,5$$

$$Q1 = Q2 + Q3 + Q4$$

$$610841 = P_{\text{vapore}} \cdot 633,4 + (402390 - P_{\text{vapore}} \cdot 85) + 11029$$

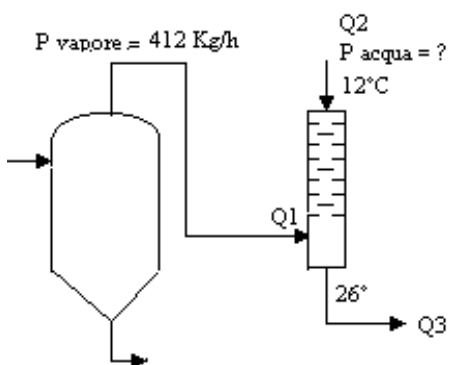
$$\text{ricavo } P_{\text{vapore}} = 412 \text{ Kg/h e } P_{\text{soluzione uscente}} = P_{\text{soluzione entrante}} - P_{\text{vapore}} = (4300 + 692) - 412 = 4579 \text{ Kg/h}$$

4° domanda :calcolare la conc. in solidi del prodotto in uscita dall'evaporatore flash

$$P_{\text{in entrata}} \cdot \% \text{ solidi in entrata} = P_{\text{in uscita}} \cdot \% \text{ solidi in uscita}$$

$$4300 \cdot 0,06 = 4579 \cdot X ; X = \text{conc in solidi in uscita dal concentrat. flash}$$

5° Domanda : calcolare la quantita' di acqua necessaria per condensare il vapore prodotto nell'evaporatore flash se il condensato viene scaricato a $T=26^\circ\text{C}$.(l'acqua entra nel condensatore a 12°)



$$P_{\text{acqua}} \cdot Cp \cdot (12-0)$$

$$\text{BILANCIO TERMICO } Q3 = Q1 + Q2 P_{\text{condensa}} \cdot Cp \cdot (26 - 0) = P_{\text{vapore}} \cdot Cl +$$

$$(P_{\text{vapore}} + P_{\text{acqua}}) \cdot C_p \cdot (26 - 0) = P_{\text{vapore}} \cdot C_l + P_{\text{acqua}} \cdot C_p \cdot (12 - 0)$$

$$(412 + P_{\text{acqua}}) \cdot 1.26 = 412 \cdot 633 + P_{\text{acqua}} \cdot 1.12$$

$$P_{\text{acqua}} = 17900,95 \text{ Kg/h}$$

ESERCIZIO pag 37

In un evaporatore flash operante alla pressione di 0,2 Atm vengono prodotti 320 Kg/h di vapore ($c_l = 562$) utilizzati per preriscaldare 4600 Kg/h di succo di frutta all'8% in solidi dalla temperatura iniziale di 5°C alla temperatura T_x .

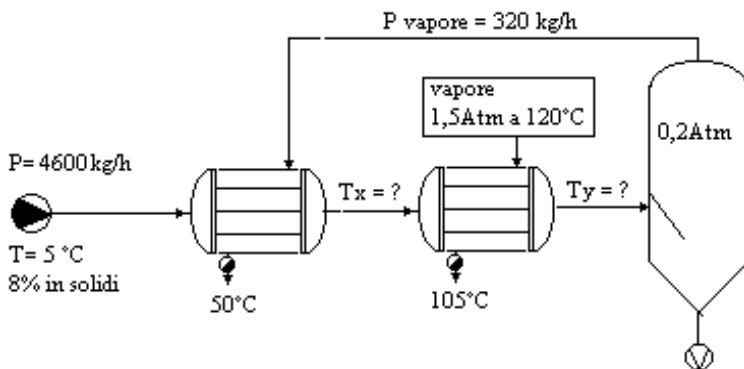
Il vapore utilizzato viene scaricato condensato a 50°C.

Il prodotto viene successivamente riscaldato in uno scambiatore a fascio tubiero con vapore a 1,5 Atm e $T = 120^\circ\text{C}$ (che viene scaricato come acqua a 105°C) dove viene portato alla temperatura T_y di ingresso nell'evaporatore flash.

Nell'evaporatore flash la pressione è mantenuta a 0,2 Atm

1,2) Calcolare le temperature intermedie T_x e T_y

3) la percentuale in solidi del prodotto all'uscita dell'evaporatore



1° DOMANDA :calcolare la temperatura T_y di uscita dal 2° scambiatore e necessaria affinché l'evaporatore flash svolga la sua funzione a 0,2 Atm

Affinchè avvenga evaporazione a 0,2 Atm , leggo sul diagramma entalpico che la temperatura T_y deve essere = 59,7°C

2° DOMANDA :calcolare la temperatura T_x di uscita dal 1° scambiatore

$$C_p = (0,08 \cdot 0,5) + (0,92 \cdot 1) = 0,96$$

$$Q \text{ della soluz uscente} = Q_{\text{vapore}} - Q_{\text{condensa}}$$

$$P_{\text{soluzione}} \cdot c_p \cdot (T_x - 5) = P_{\text{vapore}} \cdot c_l + P_{\text{vapore}} \cdot 1 \cdot (59,7 - 50)$$

$$4600 \cdot c_p \cdot (T_x - 5) = 320 \cdot 562 + 320 \cdot 1 \cdot (59,7 - 50)$$

$$T_x = 46,5^\circ\text{C}$$

3° DOMANDA: Calcolo la % in solidi del prodotto in uscita dall'evaporatore

$$P_{\text{entrata}} \cdot \% \text{ solido} = P_{\text{uscita}} \cdot \% \text{ solido}$$

$$4600 \cdot 0,08 = (4600 - 320) \cdot x$$

$$X = 0,086 \text{ cioè } 8,6\%$$

4 - Continua SCAMBIO TERMICO DIRETTO

ESERCIZIO PAG 48

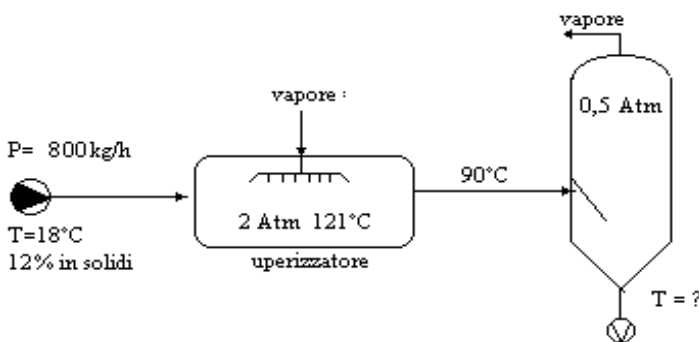
800Kg/h di latte a 18°C e al 12% in solidi vengono riscaldati a 90°C mediante iniezione diretta di vapore saturo a 2 Atm e surriscaldato a 121°C.(operazione detta di Uperizzazione)

(Dalla tabella entalpica la temperatura corrispondente a 2 Atm è 119,6°C)

Il latte in uscita dallo scambiatore viene inviato in un serbatoio dove esiste una pressione = 0,5Atm in modo da far evaporare l'acqua introdotta nella sezione di riscaldamento.

Considerando di eliminare tutta l'acqua introdotta come vapore ,

- 1)calcolare la portata del vapore saturo necessario alla uperizzazione (calore totale vapore = 646,9 Kcal/kg a 2 Atm)
- 2) calcolare la portata del latte diluito in uscita
- 3) calcolare la % di solido nel latte diluito
- 4) calcolare la portata vapore , portata latte concentrato, temperatura finale del latte al termine del processo di evaporazione diretta



1° DOMANDA: calcolare la portata del vapore saturo necessario alla uperizzazione

$$C_p = (0,12 \cdot 0,5 + 0,88 \cdot 1) = 0,94$$

Sapendo che il calore Q1 entrante con il latte piu' il calore Q2 entrante con il vapore surriscaldato piu' il calore Q3 del vapore (a 2Atm e 119,6°C) sono uguali al calore Q4 che esce con il solido del latte diluito piu' il calore Q5 della parte acquosa del latte diluito.

$$\text{e cio\`e } Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5$$

$$P_{\text{latte}} \cdot c_p \cdot (18-0) + P_{\text{vapore}} \cdot 0,45 (121 - 119,6) + P_{\text{vapore}} \cdot 646,9 =$$

$$= P_{\text{solido}} \cdot c_p \cdot (90-0) + (P_{\text{latte}} - P_{\text{solido}} + P_{\text{vapore}}) \cdot 1 \cdot (90-0)$$

$$800 \cdot 0,94 \cdot (18-0) + P_{\text{vapore}} \cdot 0,45 (121 - 119,6) + P_{\text{vapore}} \cdot 646,9 =$$

$$= (800 \cdot 0,12) \cdot 0,5 \cdot (90-0) + (800 - (800 \cdot 0,12) + P_{\text{vapore}}) \cdot 1 \cdot (90-0)$$

$$P_{\text{vapore}} = 97,2 \text{ kg/h}$$

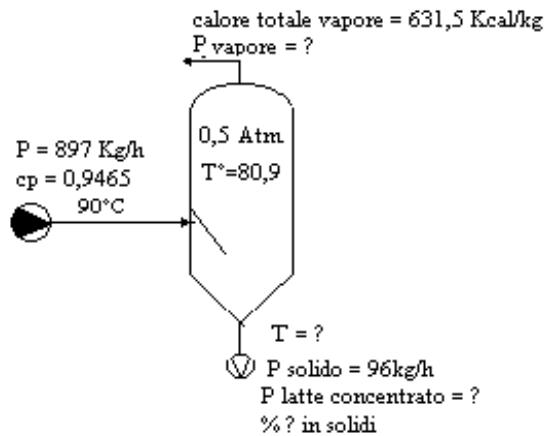
2)DOMANDA : calcolare la portata del latte diluito in uscita

$$P_{\text{latte diluito in uscita}} = 800 + 97,2 = 897,2 \text{ Kg/h}$$

3)DOMANDA : calcolare la % di solido nel latte diluito

$$800 \cdot 0,12 = 897,2 \cdot X \Rightarrow X = 10,69\%$$

4)DOMANDA :calcolare la portata vapore , portata latte concentrato, temperatura finale del latte al termine del processo di evaporazione diretta



Dalla tabella entalpica leggo che a 0,5 Atm la temperatura è 80,9 e il calore totale del vapore = 631,5

Calcolo Cp per il latte diluito : $C_p = (0,1069 \cdot 0,5 + 0,8931 \cdot 1) = 0,9465$

Il calore Q1 nel latte diluito e' uguale al calore Q2 nel solido del concentrato + Q3 nell'acqua del concentrato + Q4 nel vapore

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$P_{\text{latte diluito}} \cdot c_p \cdot (90-0) = P_{\text{solido}} \cdot c_p \cdot (T^\circ \text{ nel flash}) + (P_{\text{latte diluito}} - P_{\text{solido}} - P_{\text{vapore}}) \cdot 1 \cdot (T^\circ \text{ nel flash}) + P_{\text{vapore}} \cdot 631,5$$

$$897,2 \cdot 0,9495 \cdot (90-0) = 96 \cdot 0,5 \cdot 80,9 + (897,2 - (897,2 \cdot 0,1069) - P_{\text{vapore}}) \cdot 1 \cdot 80,9$$

$$+ P_{\text{vapore}} \cdot 631,5$$

$$P_{\text{vapore}} = 14,03 \text{ Kg/h}$$

$$P_{\text{latte concentrato}} = 897,2 - 14,03 = 882,9 \text{ kg/h}$$

$800 \cdot 0,12 = 882,9 \cdot X$ $X = 11,8\%$ (% in solidi del latte concentrato che deve essere sostanzialmente uguale alla % in solidi del latte in entrata dall'uperizzatore)

EVAPORAZIONE

Operazione di scambio termico attraverso la quale è possibile concentrare una soluzione riducendone il contenuto in solvente. attraverso lo scambio di calore.

Tecniche diverse di concentrazione sono : la crioconcentrazione (a basse temperature) e l'osmosi (con l'ausilio di membrane)

EQUAZIONE DI CLAPEYRON

$$\ln P_2 - \ln P_1 = L/R \cdot (T_2 - T_1 / T_2 \cdot T_1)$$

P1 = TENSIONE DI VAPORE IN kg/cm² ALLA TEMPERATURA ASSOLUTA T1

P2 = TENSIONE DI VAPORE IN kg/cm² ALLA TEMPERATURA ASSOLUTA T2

L = CALORE LATENTE DI VAPORIZZAZIONE MOLARE (Kcal/mole)

R = COSTANTE DEI GAS = $1,98 \cdot 10^{-3}$ Kcal/k.mole

T = TEMPERATURE ASSOLUTE

REGOLA DI TROUTON

IL RAPPORTO TRA I CALORE LATENTE D'EVAPORAZIONE DI UN LIQUIDO E LA SUA TEMPERATURA ASSOLUTA E' COSTANTE

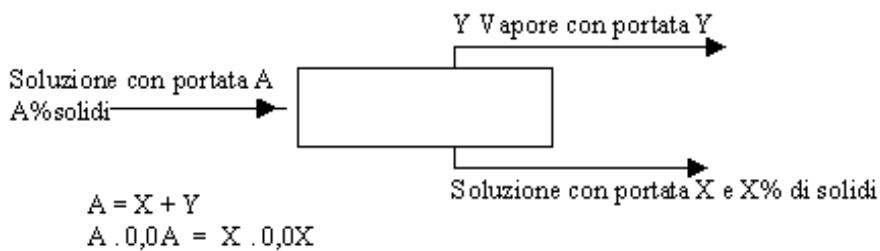
$$L/T = 21 \text{ cal.k}^{-1}.\text{moli}^{-1}$$

LE REGOLE FONDAMENTALI

che riguardano lo scambiatore di calore sono : bilancio ponderale , bilancio termico e concetto di economia e recupero del calore.

1)Nel **bilancio ponderale** vale la relazione:

Oppure:



2)Nel **bilancio termico(o bilancio entalpico)**vale la relazione:

calorie entranti (vapore di servizio riscaldante +soluz da riscaldare) = calorie uscenti (condensa di servizio + vapore + soluzione)

$$(P.I)_{\text{vapore entrante}} + (P.I)_{\text{soluzione entrante}} = (P.I)_{\text{condensa}} + (P.I)_{\text{vapore uscente}} + (P.I)_{\text{soluzione uscente}}$$

dove

P=portata in kg/h e

I = contenuto termico in Kcal/kg e

(P.I) = calore sensibile nel caso di variazione di temperatura (soluzioni) = P. cp . (T2-T1)

(P.I) = calore latente nel caso a di temperatura costante (vapore durante ebolliz.) = P. cl

cp = calore specifico,;cl =calore latente di vaporizzazione

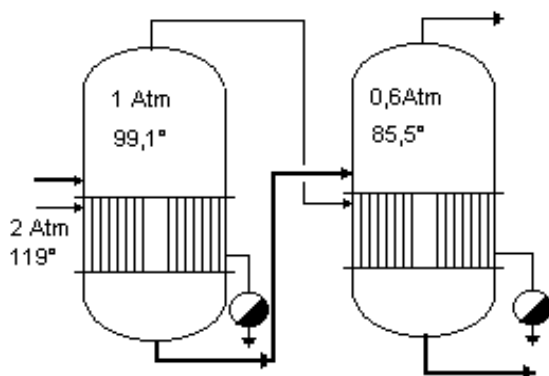
3)CONCETTO DI ECONOMIA E RECUPERO DEL CALORE

Il **concetto di economia** nella realizzazione di un impianto di evaporazione si lega al concetto di riduzione dei costi .Economia si misura sia dal rapporto calore effettivamente utilizzato / calore teorico,

sia dal rapporto vapore utilizzato / vapore teorico. Economia = recupero del calore

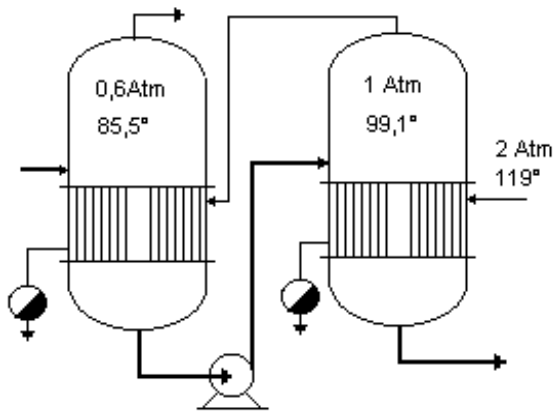
Dal concetto di recupero di calore si sviluppa la teoria della evaporazione in equi / controcorrente

1)EVAPORAZIONE A MULTIPLO EFFETTO IN EQUICORRENTE



in equicorrente la soluzione si muove spontaneamente da un effetto all'altro per effetto del salto di pressione

2)EVAPORAZIONE A MULTIPLO EFFETTO IN CONTROCORRENTE



in controcorrente sarà necessaria una pompa per portare il liquido dal II effetto a 0,6 Atm al I effetto a 1 Atm\

nei due esempi lo scambio di calore avviene tra vapore e soluzione entrante : nel primo effetto l'ebollizione avviene a 1 Atm e 99,1°(vedi tabella entalpica) nel secondo effetto perché avvenga ebollizione ad una temperatura più bassa (esempio 85,5°) si dovrà abbassare la pressione a 0,6 Atm

COME SCEGLIERE TRA I DUE TIPI DI EVAPORATORI ?

La scelta sarà influenzata dai costi (maggiore risparmio in controcorrente) e prevenzione del danno termico (minore danno termico in equicorrente).

Esempio:

Si vuol concentrare una soluzione zuccherina dal 10 al 40% mediante un evaporatore a triplo effetto in equicorrente

Dati del problema:

---Pa = portata oraria entrante di soluz al 10% = 12500 Kg/h

---La pressione del vapore entrante nel primo effetto è 5 Atm e nell'ultimo è 0,08 Atm

CALCOLARE :

1)Pb=portata della soluzione al 40% uscente e Pv= portata del vapore

Risolvo: dal bilancio di massa $P_a = P_b + P_v$ e $P_a \cdot 10 = P_b \cdot 40$

Ricavo $P_b = 3125$ kg/h e $P_v = 9375$ kg/h

2)le concentrazioni in uscita da ogni effetto

presumendo che le quantità di vapore siano le stesse per ogni effetto posso dire che :

$P_v/3 = 9375/3 = 3125$ Kg/h acqua evaporata ad ogni effetto

Dunque da ogni effetto usciranno soluzioni concentrate diverse e che pesano la portata iniziale meno il liquido disperso in vapore e cioè :

I effetto : $12500 - 3125 = 9375$ soluzione concentrata uscente al $(12000 \cdot 0,1 / 9375)$ 13,33%

II effetto : $9375 - 3125 = 6250$ soluzione concentrata uscente al $(9375 \cdot 0,1333 / 6250)$ 20%

III effetto : $6250 - 3125 = 3125$ soluzione concentrata uscente al $(6250 \cdot 0,2 / 3125)$ 40%

3) pressioni e temperature nei tre effetti

vale l'uguaglianza $(5 - 0,08)/3 = 1,64$

dunque 5 Atm in entrata I effetto (a t° 151° dalla tabella entalpica)

dunque $5 - 1,64 = 3,36$ Atm in entrata II effetto (a t° 137° dalla tabella entalpica)

dunque $3,36 - 1,64 = 1,72$ Atm in entrata III effetto (a t° 115° dalla tabella entalpica)

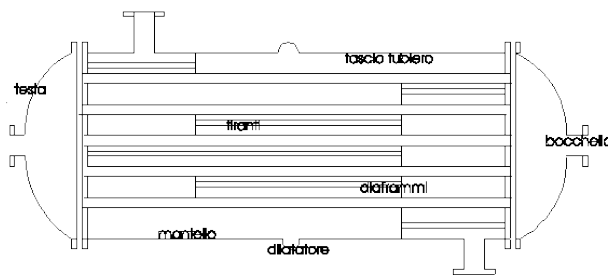
dunque $1,72 - 1,64 = 0,08$ Atm in uscita III effetto (a t° 41° dalla tabella entalpica)

4)calorie scambiate nei tre effetti (=calorie scambiate per evaporare il solvente nei tre effetti)

$Q1 = Q2 = Q3 =$ portata del vapore per ogni effetto . calore latente = $3125 \cdot 572 = 1787500$ kcal/h

SCAMBIATORE DI CALORE :

Lo scambiatore a fascio tubiero è l'apparecchio in cui avviene lo scambio di calore tra un fluido ad alta temperatura che si raffredda e un fluido a bassa temperatura che si riscalda



Uno scambiatore di calore è costituito da :

FASCIO TUBIERO : insieme di tubi nei quali scorre il fluido che scambia calore

DIAFRAMMI : o setti S sono perpendicolari ai tubi e impediscono ad essi di flettersi

TIRANTI : permettono di mantenere i diaframmi nella loro posizione

PIASTRA TUBIERA: a monte e a valle dei tubi ,questi sono fissati a piastra

MANTELLO o **SHELL**: involucro che avvolge il fascio tubiero

DILATATORE : compensa le differenze di dilatazioni termiche

TESTE : collegate al fascio tubiero e alla piastra tubiera con flange

BOCCHELLI : entrata e uscita dei fluidi

2-TIPI DI SCAMBIATORI DI CALORE

TEMPERATURA

SCAMBIATORI IN CONTROCORRENTE

SCAMBIATORI IN EQUICORRENTE LUNGHEZZA TUBO

TEMPERATURA

LUNGHEZZA TUBO

SCAMBIATORE A TESTA FISSA: I tubi sono fissati alle piastre tubiere che sono saldate al mantello

SCAMBIATORE A TESTA FLOTTANTE: i tubi sono fissati alle piastre tubiere delle quali una è fissa e l'altra è mobile

SCAMBIATORE A PREMISTOPPA: analogo allo scamb. A testa flottante, la parte detta a premistoppa è più sicura del sistema a testa flottante in quanto diviene perfettamente impossibile il contatto tra fluidi

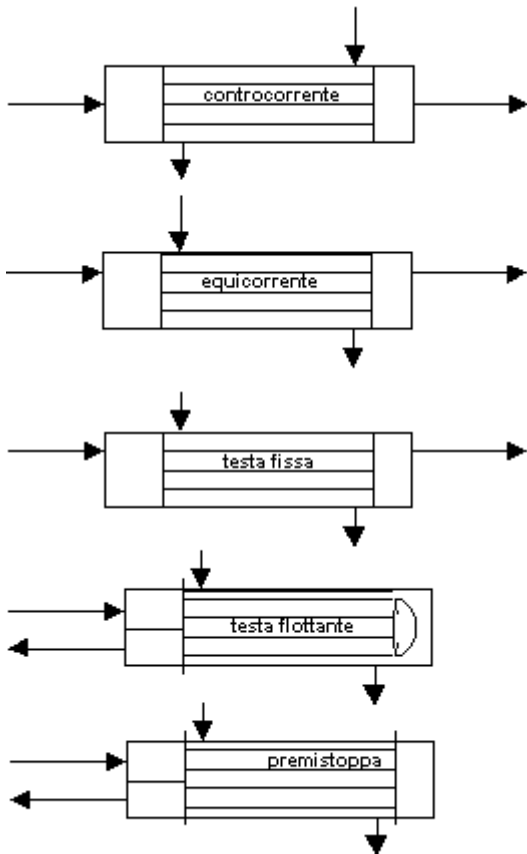
SCAMBIATORE REFRIGERANTE: il fluido caldo da raffreddare scorre nel mantello e il refrigerante nei tubi (può essere verticale o orizzontale) : il bocchello di entrata del liquido caldo o vapore è più largo del bocchello di uscita della condensa

SCAMBIATORE RIBOLLITORE : il fluido principale che viene portato alla ebollizione scorre nel fascio tubiero e il vapore esce dal bocchello superiore che avrà dimensioni più larghe del bocchello di entrata

Esistono diversi tipi di riscaldatori, ribollitori, evaporatori.

SCAMBIATORE A SERPENTINO : tubi avvolti a spirale cilindrica nei quali viene immesso vapore d'acqua o refrigerante

SCAMBIATORE A CAMICIA : Un involucro metallico o camicia avvolge il contenitore o recipiente che deve essere riscaldato o raffreddato



3-CALCOLO DELLO SCAMBIATORE

CALORE ASSORBITO DALLA SOLUZIONE

$$Q = P \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Q = calore scambiato; P = portata; c_p = calore specifico; T = temperatura

COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE TOTALE

$$K = 1 / (1/f_1 + s/C + 1/f_2)$$

f_1 e f_2 = coeff di conduc. Esterna

s = spessore tubi

C = coeff di conducibilità interna del metallo componente i tubi

CALCOLO DEL SALTO TERMICO MEDIO LMTD = T_m

ΔT_1 = DIFFERENZA TRA LE TEMPERATURE INIZIALI DEI FLUIDI A E B IN EQUICORRENTE

= DIFFERENZA TRA LA TEMP. FINALE DI A E LA TEMP. INIZIALE DI B IN CONTROCORRENTE

DT_2 = DIFFERENZA TRA LE TEMPERATURE FINALI DEI FLUIDI A E B IN EQUICORRENTE

= DIFFERENZA TRA LA TEMP. INIZIALE DI A E LA TEMP. FINALE DI B IN CONTROCORRENTE

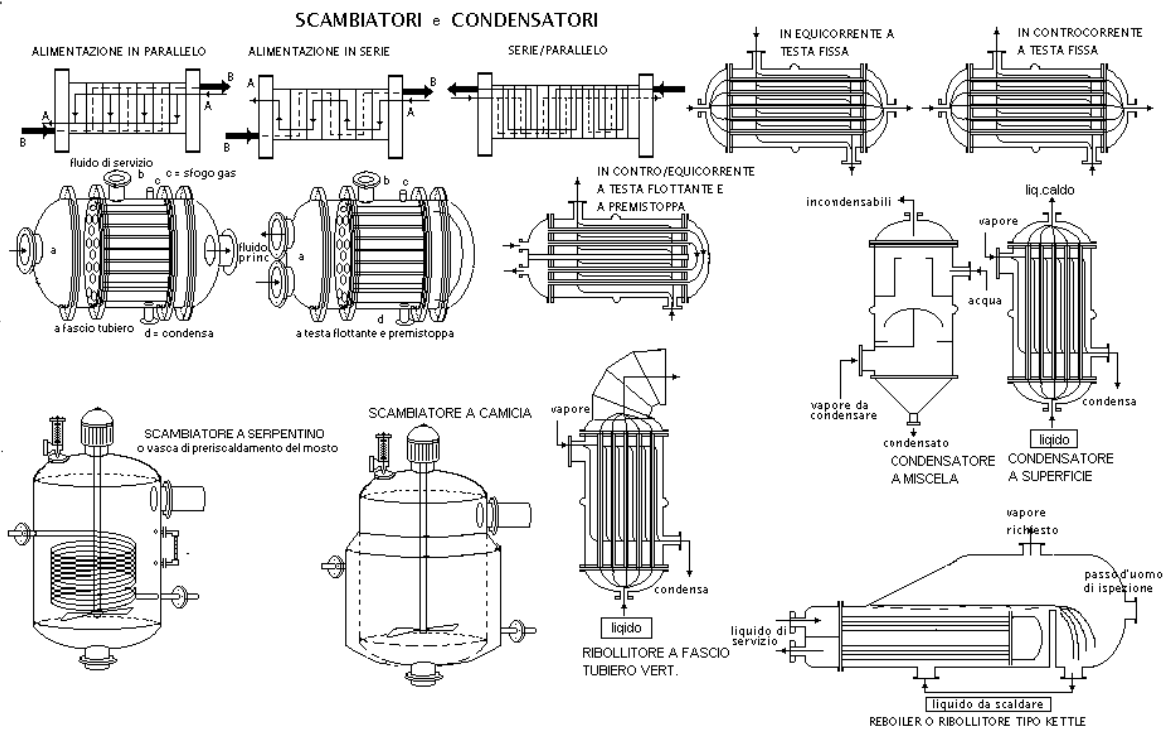
$$LMTD = (DT_1 - DT_2) / \ln DT_1/DT_2$$

CALCOLO DELLA SUPERFICIE DI SCAMBIO

$S = Q / K T_m$ dove S = superficie, K = coeff di trasmissione totale, T_m = salto termico medio

DETERMINAZIONE DEL NUMERO DEI TUBI

$N^\circ \text{ TUBI} = \text{SUPERFICIE TOTALE} / \text{SUPERFICIE DEL SINGOLO TUBO}$



nella pastorizzazione si useranno scambiatore di calore tubolare e scambiatori a piastre che saranno trattati in altro lavoro.