Università degli studi di Pisa

Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria Chimica



Appunti + Esercitazioni Lezioni di Operazioni unitarie I

Prof. Nicolella Cristiano

MASTER COPY

Tel. 388/9837745

Roberto D'Ambrosio

Sommario

3/10/13: Scambio termico 3
4/10/13: Differenza di temperatura media logaritmica 7
10/10/13: Scambiatori di calore 11
16/10/13: Esercitazione Scambiatore di calore 19
18/10/13 21
24/10/13: Esercitazione 23
25/10/13: Condensatori 27
7/11/13: Condensazione vapore saturo 30
8/11/13: Esercitazione Condensatore di vapore puro 36
14/11/13 38
15/11/13: Esercitazione Condensatore di vapori misti 42
21/11/13: Esercitazione 43
22/11/13 45
28/11/13: Condensatore con incondensabili 47
29/11/13: Esercitazione Condensatore con incondensabili 51
5/12/13 52
6/12/13: Evaporatori 56
12/12/13: Ribollitori 59
13/12/13: Esercitazione Evaporatore 61
19/12/13: Esercitazione ribollitore a termosifone verticale 64

MASTER COPY

Tel. 388/9837745

3/10/13: Scambio termico

Prof. Nicolella Cristiano

Esame: Prova scritta (dimensionamento apparecchiature) + Prova orale (serie di problemi di dimensionamento più complessi)

Coulson-Richardson, Chemical Engineering (6 volumi, a noi interessano 1 e 2 per scambio di calore e materiale, e il 6 volume che è un manuale di dimensionamento e progettazione)

*Kern (scambio termico), Process Heat Transfer, Mc Graw-Hill

Perry Chemical Engineering

Le *operazioni unitarie* sono uno degli elementi caratterizzanti l'industria di processo (rientra tra le industrie chimiche) quali ad esempio:

- Chimica
- Metallurgica
- Farmaceutica
- Petrolchimica
- Alimentare
- Cartario
- Conciario

Un industria non di processo è quella tessile tradizionale o anche quella automobilistica. In molti casi nell'industria di processo si possono avere diversi prodotti da singole materie prime ma soprattutto avvengono trasformazioni chimiche, in cui avvengono trasformazioni radicali (strutturali, chimiche, fisiche).

Oltre a trasformazioni chimiche vi possono essere anche trasformazioni chimiche, mediante alimentazione di materie prime e ottenimento di prodotti. Le operazioni unitarie trovano spazio in tutta una serie di problematiche (purificazione, separazione) anche per le materie prime. Quest'ultime sono essenzialmente operazioni di carattere fisico su cui noi ci focalizzeremo.

Il termine "unitario" viene utilizzato in quanto le apparecchiature sono sempre le stesse così come i criteri di progettazione. Un esempio è lo scambio termico al cui interno si distinguono vari caratteri:

- Evaporazione
- Condensazione
- Senza passaggio di fase

Nel caso invece delle operazioni di scambio di materia:

- Assorbimento
- Distillazione
- Estrazione con solvente

- Adsorbimento (da una fase gassosa/liquida ad una solida)
- Lisciviazione (scambio solido – liquido)
- Raffreddamento evaporativo
- Essiccamento

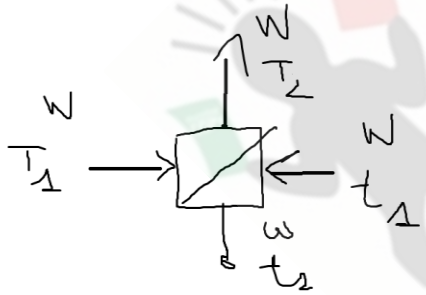
Tra queste le prime tre verranno trattate nella seconda parte del corso. C'è poi una terza classe che è quella della separazione di fase (separare due fasi diverse), tra cui troviamo:

- Filtrazione
- Sedimentazione
- Centrifugazione
- Separazione con membrane

Nei vari corsi di impianti si vedono anche queste operazioni.

1. Scambiatori di calore

Si intende l'operazione in cui si ha scambio di calore tra due fluidi, inizialmente senza passaggio di fase (senza irraggiamento o combustione). Uno scambiatore di calore è un apparecchiatura in cui due fluidi scambiano calore senza venire a contatto tra loro, non si ha miscelazione né si vuole infatti i fluidi sono separati da una superficie di scambio:



Il problema di *verifica* consiste nel verificare che l'apparecchiatura possa sostenere una certa operazione; mentre quello di *dimensionamento* (progetto) che in genere viene svolto da calcolatori.

Immaginiamo che l'operazione richiesta sia il raffreddamento di un certo fluido da una temperatura T_1 ad una T_2. Le caratteristiche del servizio devono essere assegnate altrimenti non sapremo che lavoro svolgere: $T_2, W, T_1, t_1, tipo\ fluidi$. Si indicano con W la portata, e con t_i le temperature del fluido freddo. Le specifiche di processo non hanno nulla a che fare con l'apparecchiatura.

Il problema di verifica lo risolviamo se conosciamo tutte le specifiche. Ci chiediamo quanta libertà avremo nel dimensionamento, da cui vediamo che abbiamo solo una variabile indipendente. Dato poi che nel caso del fluido di raffreddamento questo viene rimesso in circolo, imponiamo che l'acqua non torni ad una temperatura superiore ai 50°C. Se le temperature non fossero sufficienti dovremo utilizzare acqua refrigerata. Quindi non esistono delle variabili su cui si possa giocare.

Assegnate le specifiche di processo dobbiamo vedere se quelle che saranno le specifiche dell'apparecchiatura sono tali per cui questo servizio funzioni. Ad esempio immaginiamo di voler

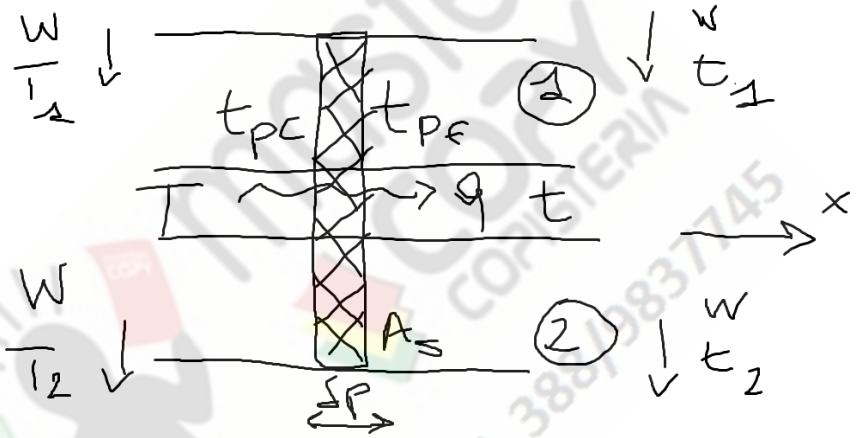
calcolare la superficie di scambio, questa andrà sicuramente verificata. Dobbiamo quindi trovare il modo per mettere in relazione le specifiche di processo con le specifiche delle apparecchiature.

Per quanto riguarda i fluidi dobbiamo sapere che tipo stiamo utilizzando in quanto da ciò ricaveremo le varie proprietà tramite i manuali. Infine il problema di verifica va eseguito più volte fin quando non rientriamo nelle specifiche desiderate.

Dovremo a questo punto tradurre i seguenti concetti in relazioni matematiche. Dobbiamo garantire che il calore che cede il fluido caldo sia uguale al calore assorbito dal fluido freddo, ovvero dovremo eseguire un bilancio termico mediante il primo principio della termodinamica. Da principi sappiamo che all'interno dell'apparecchiatura si creeranno delle condizioni per cui avremo un flusso termico:

$$Q_s = qA_s \geq Q_r = W\bar{c_c}(T_1 - T_2) = w\bar{c_f}(t_2 - t_1)$$

Questo calore scambiato che dipende dalle caratteristiche geometriche e dal flusso termico dovrà essere maggiore del calore richiesto. Analizziamo il problema:



I meccanismi per cui avviene lo scambio di calore sono la *conduzione* e la *convezione*. La convezione può essere a sua volta naturale (la forza motrice del movimento è unicamente la densità) mentre la convezione forzata viene indotta da una forza motrice esterna. Nel secondo caso un esempio di forza motrice è la differenza di pressione tra ingresso e uscita indotta da una pompa. Noi non consideriamo operazioni in cui rientra l'irraggiamento, in quanto alle temperature di lavoro non diviene un meccanismo prevalente.

La legge di scambio termico della conduzione è la ***legge di Fourier***, fissata una sezione ed una direzione *x* in cui effettuiamo la misura, si avrà da un lato una temperatura *T* ed una temperatura dall'altro lato *t*:

$$q = -k\frac{dT}{dx}$$

Mentre per il calcolo del flusso termico che avviene tra due porzioni di fluido a temperatura diversa tramite convezione è:

$$q = h_c(T - t_{pc}) = h_f(t_{pf} - t)$$