



Universidad de Los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química  
Dpto. de Operaciones Unitarias y Proyectos

# Clase Introductoria



*Prof. Jesús F. Ontiveros*

*Prof. Jesús F. Ontiveros O.*

## Contenido

### ☀ ¿De qué trata este curso?

Ingeniería Química. Campo de la Ing. Química. Operaciones Unitarias. Operaciones Unitarias III.

### ☀ Procesos de Separación

Definición, Agente de Separación, Separaciones Mecánicas, Separaciones controladas por la Velocidad, Separaciones al equilibrio, Factor de Separación.

### ☀ Breve Repaso

Equilibrio Químico. Regla de las Fases. Desviaciones de la idealidad. ELV.

## ¿De qué trata este curso?

- Ingeniería Química

“La ingeniería química trata de procesos industriales en los que las materias primas se transforman o separan en productos útiles.” [1]

- ¿Cuál es el campo de la ingeniería química ?

Industria (farmacéutica, refinación, petroquímica, alimentos, ...) en casi cualquier área (control e instrumentación, investigación y desarrollo, procesos,...etc.)

Un campo amplio pero...  
Variedad=Complejidad

Variedad y Complejidad de  
Procesos Químicos

↓  
**Imposible un estudio de cada uno**

3

- ¿Qué hacer?

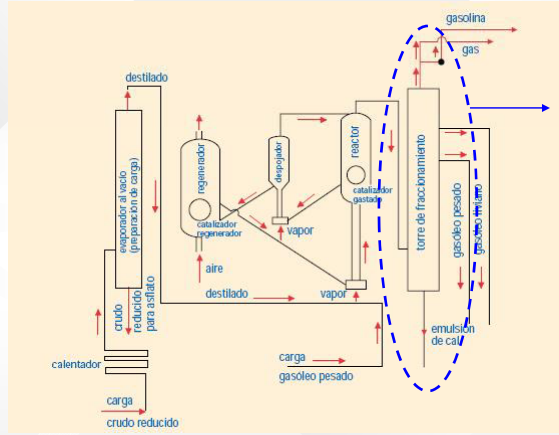
Aunque hay muchos procesos, cada uno de ellos se puede dividir en etapas denominadas operaciones y éstas se repiten en todos ellos.

**Operaciones  
Unitarias**

- Operaciones Unitarias

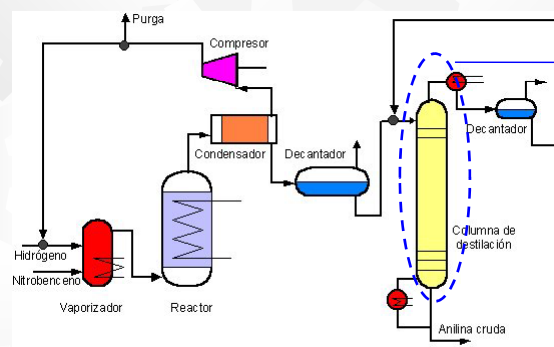
Distintas etapas con técnicas y principios comunes en las que se divide el estudio de la ingeniería química. Un estudio de las operaciones unitarias debe considerar los principios técnicos y los aparatos utilizados. [1]

4



Los productos del reactor de FCC se separan en varias corrientes

Fig 1. Esquema simplificado de unidad de FCC [2]

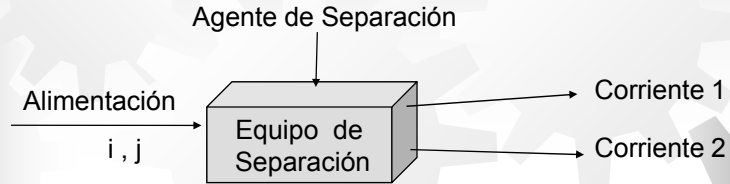


La anilina y el agua se separan

Fig 2. Diagrama de flujo del proceso: hidrogenación de Nitrobenceno para Anilina

# Procesos de Separación

## Generalidades



Las corrientes 1 y 2 difieren en composición [3]

### ¿Que tipo de procesos de separación existen?

- Separaciones Mecánicas
  - Separaciones donde existe transferencia de masa
- P. S. Equilibrio* ( Corrientes 1 y 2 en Fases diferentes)
- P.S. controlados por la velocidad.* (corrientes 1 y 2 en la misma fase)

7

## Procesos de Separación Mecánica [3]



Fig. 3 Sedimentadores de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

### Sedimentación

Alimentación : Sólido + Líquido  
Agente de Separación : Gravedad  
Productos : Líquido clarificado + Sólido

### Ciclón

Alimentación : Gas + Sólido o Líquido  
Agente de Separación : Flujo (inercia)  
Productos : Gas + Sólido o Líquido



Fig. 4 Ciclón

8

☀ Procesos de Separación controlados por la velocidad [3]



Fig. 5 Bateria de Ultrafiltración para tratar efluentes

**Ultrafiltración**

Alimentación : Líquido con material coloidal.

Agente de Separación : Membranas y Delta de Presión.

Productos : Dos fases líquidas (Permeado y Retentato)

**Diálisis**

Alimentación : Líquido

Agente de Separación : Membranas

Productos : Dos fases líquidas (Permeado y Retentato)



Fig. 6 Equipo de diálisis en un hospital.

9

☀ Procesos de Separación de Equilibrio [3]

**Destilación**

Alimentación : Líquido o Vapor

Agente de Separación : Calor

Productos : Líquido + Vapor



Fig. 7 Unidad de Destilación Atmosférica y al Vacío de Refinería de Petróleo.



Fig. 8 Torres de Absorción de Amoníaco.

**Absorción**

Alimentación : Gas

Agente de Separación : Líquido no volátil.

Productos : Líquido + Vapor

10

Existen múltiples procesos de separación, entre ellos evaporación, cristalización, desorción, extracción líquido-líquido, adsorción, intercambio iónico, lixiviación, secado, flotación, cromatografía, pervaporación, electroforesis, ultracentrifugación, precipitación electrostática,.....

¿Cuales procesos de separación se estudian en Operaciones III y IV?

Operaciones Unitarias I (5to Semestre)



Operaciones Unitarias II (6to Semestre)

**Operaciones Unitarias III (7mo)**  
Procesos de Separación:  
Destilación. Extracción LÍQ-LÍQ  
Absorción.

**Operaciones Unitarias IV (7mo)**  
Procesos de Separación :  
Cristalización. Humidificación  
Secado. Evaporación. Adsorción

**Cálculo de Reactores (7mo)**  
Cinética Química. Reactores.  
Tipos. Diseño en condiciones  
Isotérmicas y adiabáticas

• **Factor de Separación**

Sea un proceso de separación donde una alimentación F con dos componentes i y j, se separa en dos corrientes 1 y 2. Se define el Factor de separación como: [3]

$$\alpha_{ij}^s = \frac{x_{i1}/x_{j1}}{x_{i2}/x_{j2}} = \frac{x_{i1} \cdot x_{j2}}{x_{j1} \cdot x_{i2}}$$

$\alpha_{ij}^s > 1$   
 $\alpha_{ij}^s = 1$  No hay separación  
 $\alpha_{ij}^s < 1$

Se puede definir un factor de separación inherente.

$$\alpha_{ij} \left\{ \begin{array}{l} \text{P. S. Equilibrio} \\ \text{P. S. controlados por la velocidad} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{ij}^s \neq \alpha_{ij}$$

## Breve Repaso

• **Equilibrio**

Sean dos fases  $\alpha$  y  $\beta$ , se dicen que están en equilibrio si

$$T^\alpha = T^\beta \quad P^\alpha = P^\beta \quad \mu_i^\alpha = \mu_i^\beta \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

• **Regla de las Fases [4]**

$$F = 2 - \Pi + N$$

F=Grados de Libertad

$\Pi$ =Número de Fases

N=Número de Componentes

☀ Equilibrio Líquido Vapor [4]

$$\hat{f}_i^v = \hat{f}_i^l$$

$$y_i \phi_i P = x_i \gamma_i f_i$$

$$y_i \Phi_i P = x_i \gamma_i P_i^{sat}$$

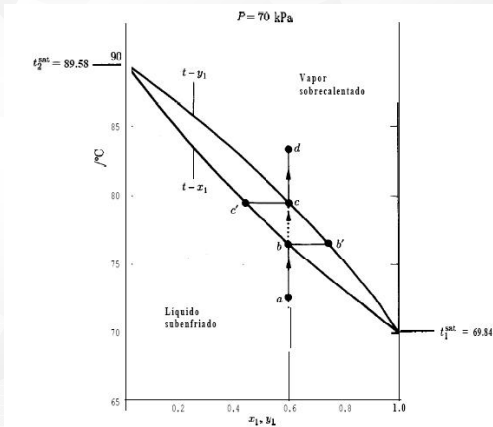


Fig. 9 Diagrama Tvs. x,y para sistema Acetonitrilo (1)/ nitrometano (2) a 70 kPa [5]

Dependiendo de las desviaciones de la idealidad, los sistemas pueden presentar otros comportamientos:

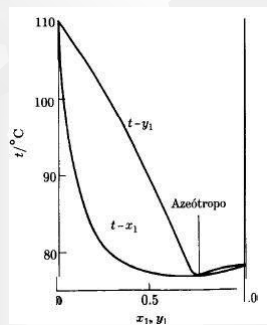


Fig. 10 Diagrama T vs. x,y para sistema Etanol (1)/ Tolueno (2) a 101,3 kPa

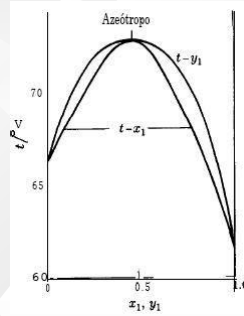


Fig. 11 Diagrama T vs. x,y para sistema Cloroformo (1)/ Tetrahidrofurano (2) a 101,3 kPa

Azeótropo: punto definido en el cual la composición en la fase líquida y vapor de una sustancia es la misma:

$$x_i = y_i$$



Se da el caso también de sistemas en los cuales se presenten dos fases líquidas, (Equilibrio LLV) pudiendo ser inmiscibles o parcialmente miscibles los dos componentes involucrados.

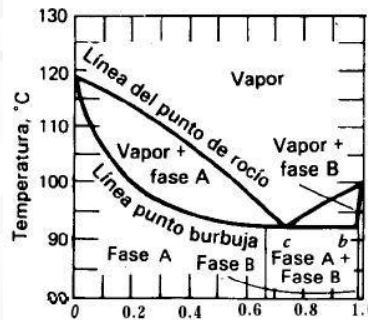


Fig. 12 Diagrama T vs. x,y para sistema Agua (1)/ Butanol (2) a 101,3 kPa [5]

## Referencias

- [1] McCabe, W. ; Smith, J. ; Harriott, P . “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”. Cuarta Edición. Mc Graw-Hill. (1991). Pág 3-8.
- [2] Pozo Ilustrado. Programa de Educación Petrolera. Cuarta Edición. PDVSA.
- [3] King, Judson, “Procesos de Separación”. Editorial Reverté (1980). Pág. 26 y ss.
- [4] Smith ; Van Ness. “Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química”. Quinta Edición. Mac Graw Hill. (1997). Pág 482 y ss.
- [5] Henley E. ; Seader J. “Operaciones de Separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química” Editorial Reverté (2000). Pág 108.