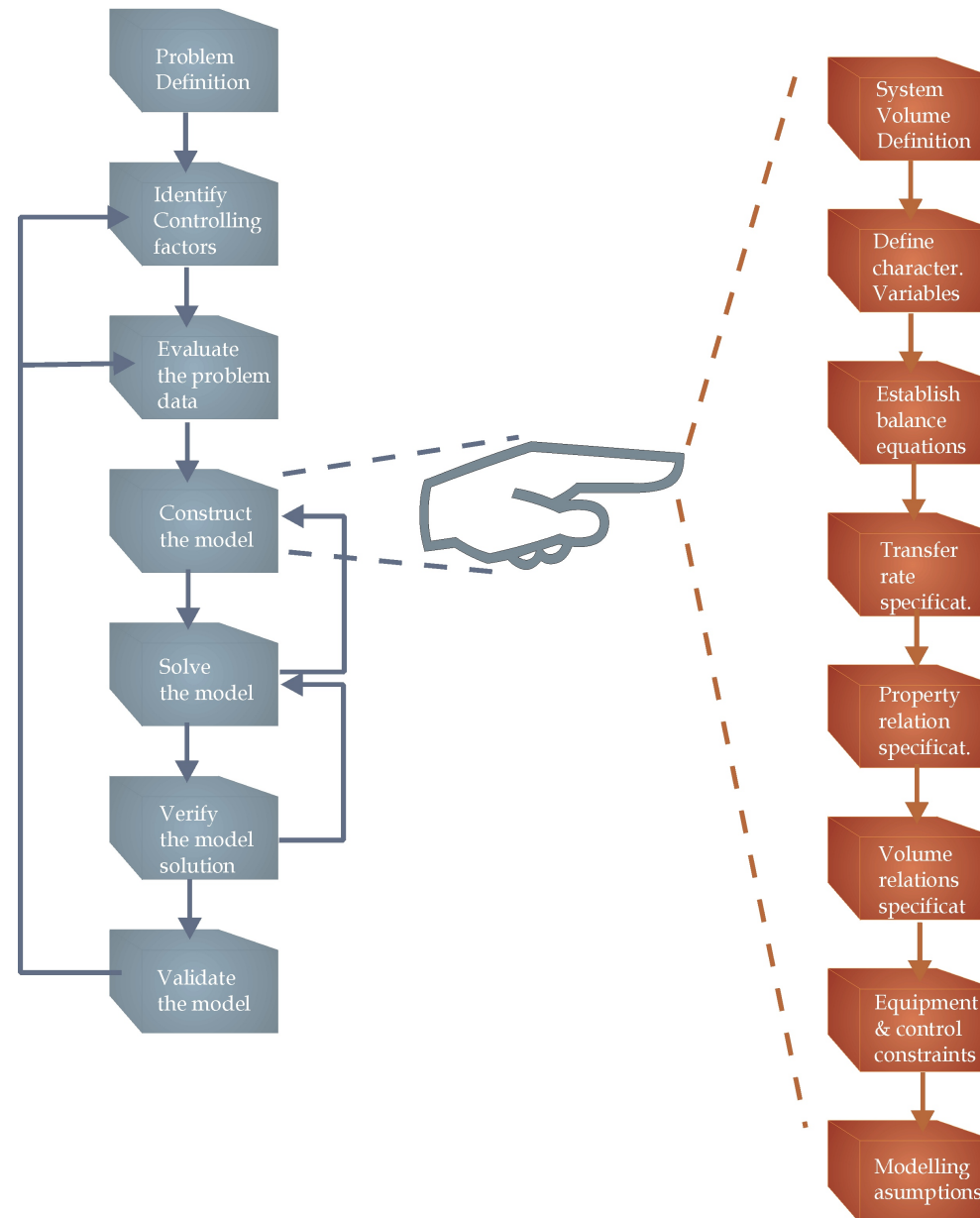


# Tema 2: Modelado de sistemas físicos.

# Indice

- 1. Procedimiento de modelado
- 2. Principios de conservación
- 3. Ecuaciones constitutivas
  - 3.1 Transporte
  - 3.2 Reacción
  - 3.3 Propiedades físicas
  - 3.4 Otras relaciones/restricciones
- 4. Ejercicios y aplicaciones

# 1. Procedimiento de modelado





Problem  
Definition

## Definición del problema

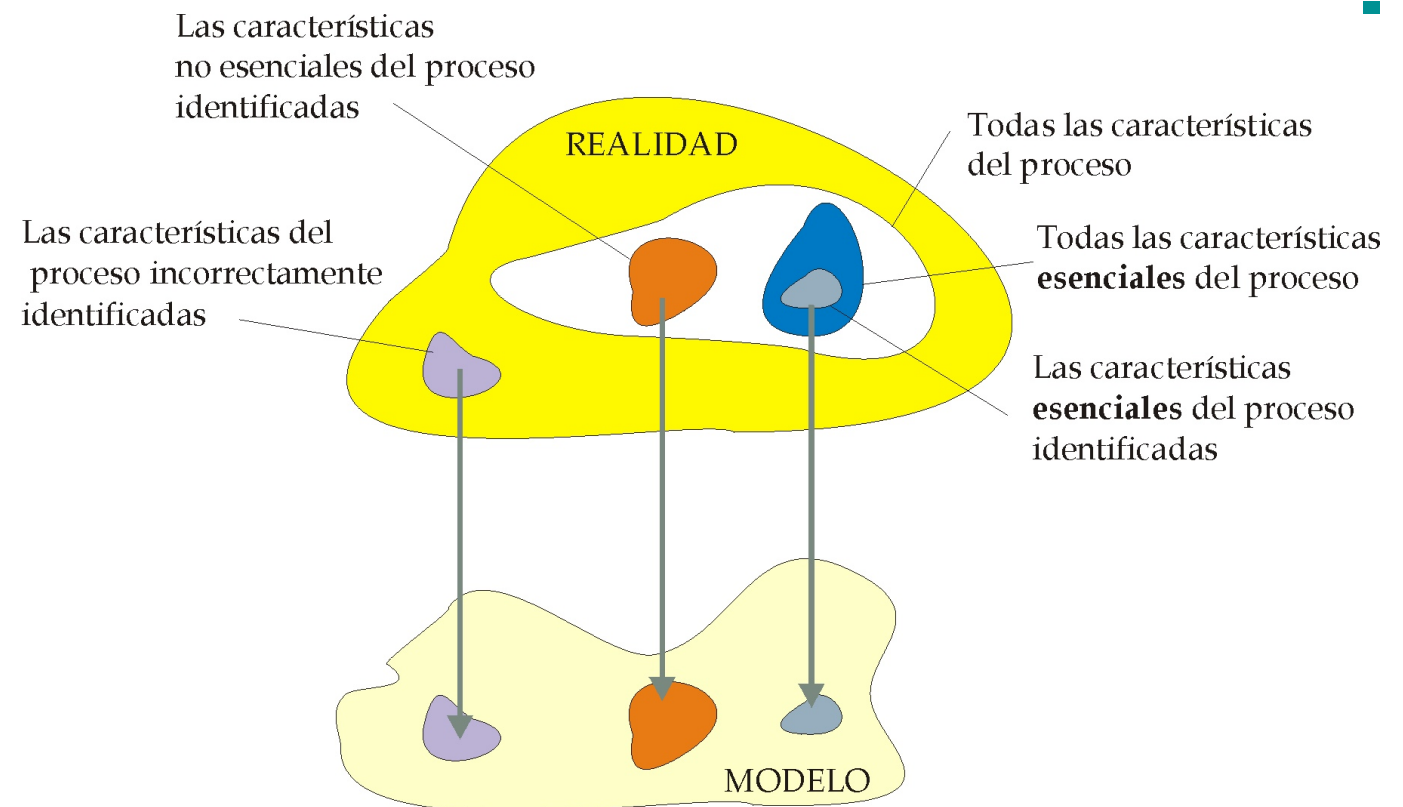
- Describir el proceso a modelar y el objetivo.
- Especificar entradas y salidas
- Especificar el grado de exactitud requerido y el ámbito de aplicación
- Especificar las características temporales
- Especificar la distribución espacial.

Identify  
Controlling  
factors

## Identificar los factores y mecanismos controlantes

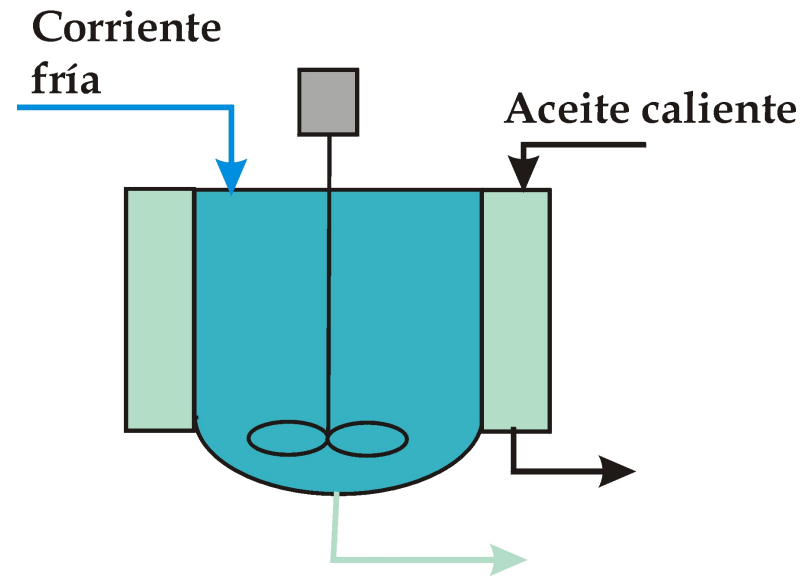
Qué procesos físico-químicos y qué fenómenos suceden:

- Reacción química
- Difusión de masa
- Conducción de calor
- Transferencia de calor por convección
- Evaporación
- Mezcla turbulenta
- Transferencia de masa o energía
- Flujo de fluidos



## Ejemplo

Identificar los mecanismos controlantes en el siguiente sistema.



- Flujo de líquido entrante y saliente
- Flujo de aceite entrante y saliente a la camisa
- Transferencia de calor entre la camisa y el tanque
- Trabajo del agitador
- Pérdidas de calor a través de la camisa
- Pérdidas de calor a través de la superficie del líquido
- Evaporación de líquido

Evaluate  
the problem  
data

## Evaluar los datos

- Evaluar los datos empíricos de que disponemos y su exactitud.
- Evaluar los parámetros de que disponemos y su exactitud.
- Si faltan datos o parámetros puede ser que el problema haya que redefinirlo.

Construct  
the model

## Construir el modelo

- Desarrollar las ecuaciones del modelo.
- Procedentes de principios de conservación (serán ecuaciones algebraicas/ diferenciales)
- Procedentes de ecuaciones constitutivas (serán en general ecuaciones algebraicas).
- Verificar que el modelo está correctamente especificado: **Análisis de los grados de libertad.**
- Verificar la consistencia del modelo: chequeo de unidades y dimensiones.

# Subprocedimiento para construir el modelo

System  
Volume  
Definition

Establecer los volúmenes donde se van a realizar los balances de materia, energía y momento.

Property  
relation  
specificat.

Establecer las leyes termodinámicas, como ecuaciones de estado...

Define  
character.  
Variables

Determinar qué variables (total, componentes, molar o másica,...) van a caracterizar el sistema: entradas, salidas y estados internos

Volume  
relations  
specificat

Relación entre diferentes volúmenes donde se aplican las ecuaciones, por ejemplo entre diferentes fases.

Establish  
balance  
equations

Plantear los balances de conservación: materia, energía y momento.

Equipment  
& control  
constraints

Definir las restricciones del proceso, bien sean por operación o por control

Transfer  
rate  
specificat.

Plantear las ecuaciones de transporte de calor, masa y momento entre los diferente volúmenes.

Modelling  
asumptions

Definir y aplicar las suposiciones del modelo.



## Grados de libertad (DOF)

Los **grados de libertad** se definen como:

$$\text{DOF} = \text{Número de variables(incógnitas)} - \text{Número de ecuaciones}$$

Indican el número de variables que se deben fijar para que el problema esté bien formulado o completamente determinado. (DOF=0)

Si tras un análisis de DOF tenemos:

- DOF > 0** Sistema **indeterminado**, hay que especificar menos variables o bien añadir nuevas Ecuaciones independientes que las contengan.
- DOF < 0** Sistema **sobredeterminado**. Las ecuaciones que sobran pueden ser:  
Redundantes: No añaden información al sistema (no son independientes)  
Inconsistentes: Son ecuaciones independientes que hacen el sistema irresoluble.

Es importante hacer un **análisis de los grados de libertad** antes de resolver el modelo.

Solve  
the model

## Resolver el modelo

- Identificar la forma matemática del modelo. (generalmente AEs/ODEs/DAEs)
- Escoger un procedimiento (método numérico) de resolución.
- Intentar evitar problemas matemáticos (como “alto índice”) que dificultan el uso de métodos estándar de resolución.

Verify  
the model  
solution

## Verificar la Solución del modelo

- Verificar si el modelo se comporta correctamente.
- Verificar la correcta implementación (código del programa) del modelo.



Validate  
the model

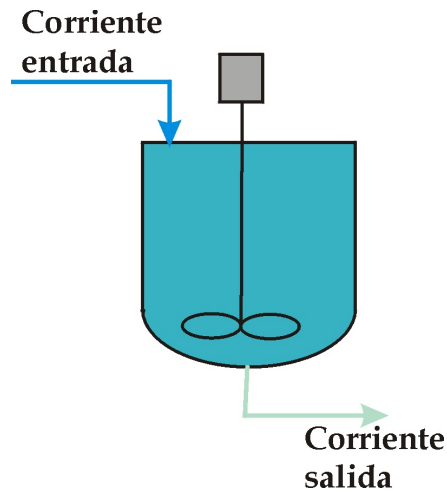
## Validar el modelo

- Se chequea el modelo (los resultados de su simulación) con la realidad modelada.
- Posibilidades de validar el modelo:
  - Verificar las suposiciones de forma experimental.
  - Comparar el comportamiento del modelo y del proceso real.
  - Comparar el modelo con datos del proceso.
- Realizar validaciones estadísticas: contraste de hipótesis, cálculo de medias, distribuciones, varianzas,...
- Corregir el modelo si los resultados de la validación no son de la exactitud especificada al formular la definición del modelo.

## Resumen: Elementos de un modelo.

- Suposiciones.
  - Características espaciales y temporales
  - Condiciones de flujo
  - Propiedades a ignorar: dinámicas, términos de flujo,...
  - Etc...
- Ecuaciones y variables características.
  - Ecuaciones de balance (diferenciales) y constitutivas (algebraicas)
  - Variables: flujos, temperaturas, presiones, concentraciones, entalpías y acumulaciones de masa, energía y momento.
- Condiciones iniciales.
  - Condiciones iniciales para la resolución numérica (modelos dinámicos)
- Condiciones de contorno (en el caso de modelos distribuidos).
- Parámetros.
  - Procedencia, valor, unidades, validez y precisión de los parámetros empleados.

# EJEMPLO MODELADO DE UN REACTOR CSTR



## 1. Definición:

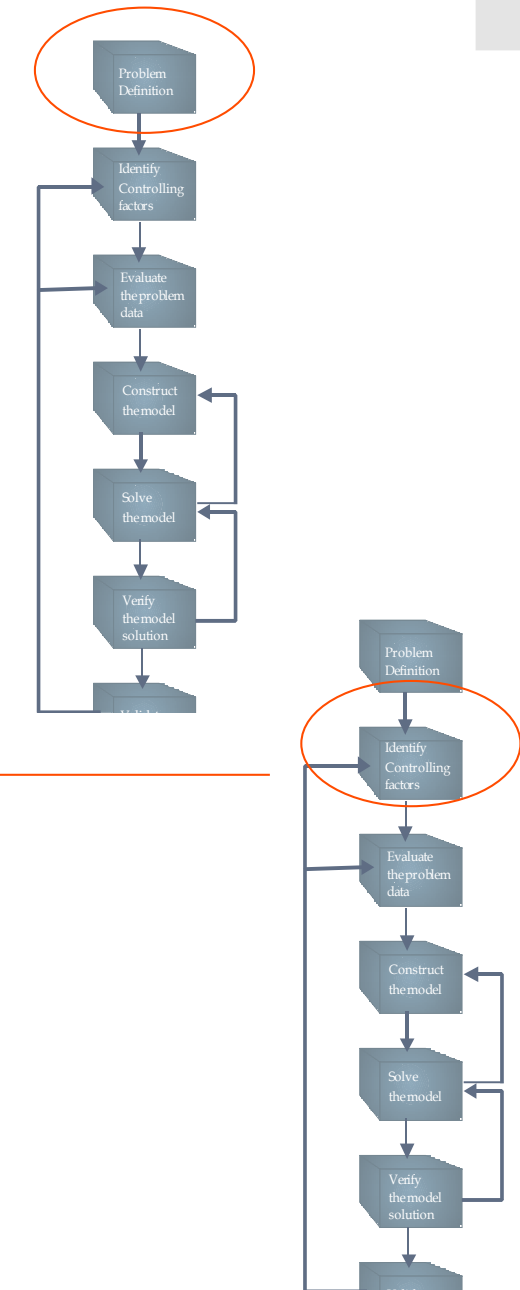
- Agrupado/ distribuido
- ¿Dinámico?

## Objetivo del modelo:

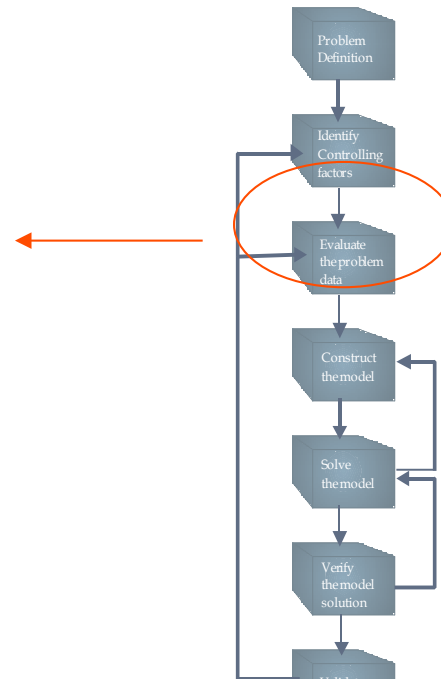
- Control/ diseño/ ...

## 2. Mecanismos controlantes:

## Suposiciones:



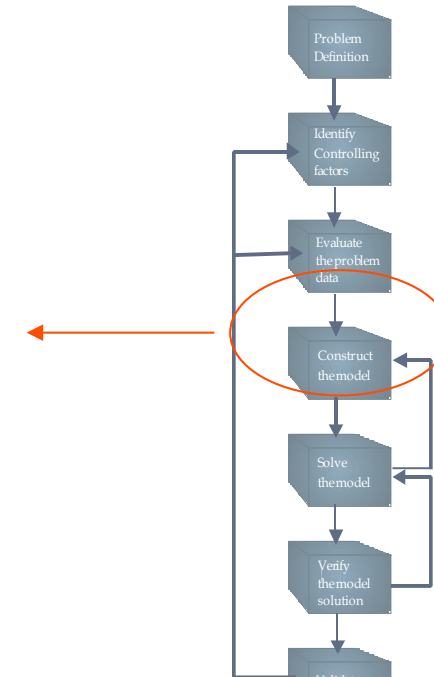
### 3. Datos:



## 4. Construcción del modelo:

- Suposiciones.
- Ecuaciones y variables características.
  - Ecuaciones de balance y constitutivas
  - Variables.
- Condiciones iniciales.
- Parámetros.

**Suposiciones:**



## Ecuaciones:

### *Ecuaciones de balance*

- Balances de masa
  - Global
  - A componentes
- Balance de energía

### *Ecuaciones constitutivas*

## Condiciones iniciales:

## Parámetros y entradas:

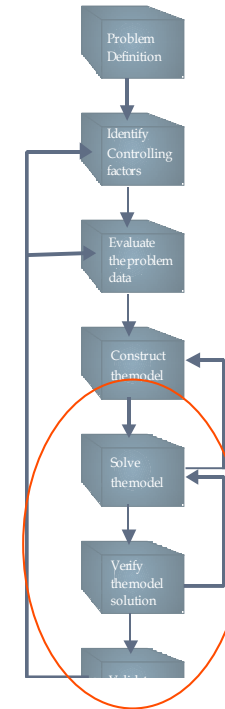


## 5. Resolución del modelo:

- Modelo dinámico: Ecuaciones algebraico diferenciales (DAEs)

## 6. Verificación del modelo

## 7. Validación del modelo



## 2. Principios de conservación

*Se basan en los principios físicos que indican que la masa, la energía y el momento no pueden ser ni creados ni destruidos sino solo transformados.*

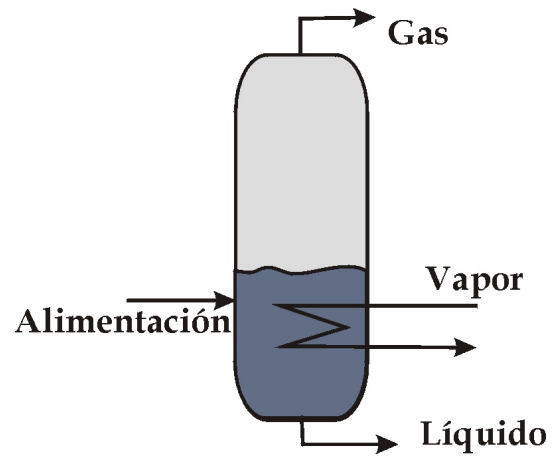
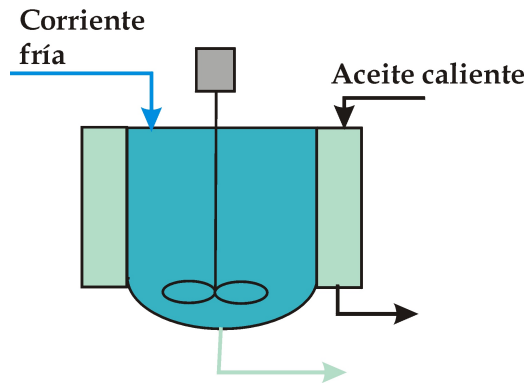
Se establecen sobre una región de interés (con un volumen y una superficie asociada).

Esta región se suele denominar **volumen de control**.

Los volúmenes de control muchas veces se establecen:

- Los volúmenes físicos de los equipos.
- Las diferentes fases presentes en un equipo.

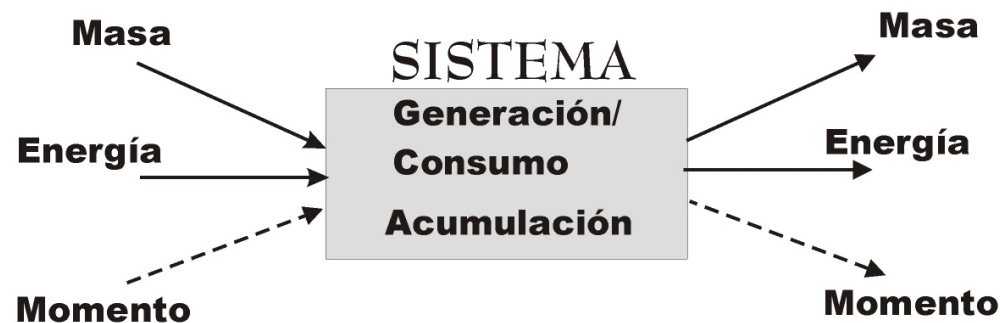
# Ejemplos de volúmenes de control



El *balance dinámico* sobre el sistema:

Cambio neto = Entra por - Sale por + Generación - Consumo  
 en el tiempo    la frontera    la frontera    neta    neto

Este balance se aplica a: **Masa, energía y momento.**



**Agrupados**  
**Distribuidos**

Modelos macroscópicos (ODEs)  
Modelos microscópicos (PDEs)

**Dinámicos**  
**Estáticos**

## 2.1 Sistemas agrupados dinámicos

*No hay descripción espacial.*

### Balance de masa global

$$\frac{d}{dt} \iiint_V \rho dV = - \iint_A \rho (v \cdot n) dA$$



Suposición: Volumen bien mezclado: densidad independiente del espacio

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \frac{dm}{dt} = - \iint_A \rho (v \cdot n) dA$$

Suposición: Flujo de densidad homogéneo: densidad independiente de la superficie

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \frac{dm}{dt} = \sum_{i=1}^m \iint_{A_i} \rho v_i dA_i = \rho_{in} v_{in} A_{in} - \rho_{out} v_{out} A_{out}$$

$v$  = velocidad

$F$  = flujo másico

$V$  = volumen

$A$  = superficie

$\rho$  = densidad

$m$  = masa

Acumula = Entra - Sale

$$\frac{dm}{dt} = \rho_{in} v_{in} A_{in} - \rho_{out} v_{out} A_{out} = F_{in} - F_{out}$$

## Balance de masa a componentes

Balance a cada especie (componente) presente en el sistema (volumen de control)

$$\frac{d}{dt} \iiint_V \rho_i dV = - \iint_A \rho_i (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA + \iiint_V r_i dV$$

Acumula = Entra - Sale + Genera - Consume

**Expresado en masa**

$$\frac{dm_i}{dt} = \rho_{i,in} v_{i,in} A_{i,in} - \rho_{i,out} v_{i,out} A_{i,out} + r_i V = F_{i,in} - F_{i,out} + r_i V$$

**Expresado en moles**

$$\frac{dn_i}{dt} = n_{i,in} - n_{i,out} + r_i V$$

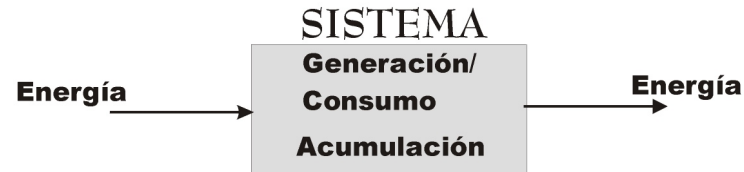
## Consideraciones finales

- Los balances de materia se pueden establecer en masa o en moles.
- El principio de conservación sólo se aplica a la masa global, por tanto si se expresa el balance de materia global en moles hay que tener en cuenta el término de generación/consumo por reacción.
- En los balances a componentes, sean en masa o en moles siempre hay que tener en cuenta el término generación/consumo por reacción.
- El balance a componente se puede reescribir a balance a la concentración del componente:

$$\frac{dMx_i}{dt} = x_i \frac{dM}{dt} + M \frac{dx_i}{dt} \Rightarrow \frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{M} \left( \frac{dMx_i}{dt} - x_i \frac{dM}{dt} \right)$$

EJEMPLO

## Balance de energía



$$E = U + K + \phi$$

$$K = v^2 / 2$$

Energía cinética

$$\phi = gz$$

Energía potencial

$$U = H + PV$$

Energía interna

La transmisión de energía puede ser:

Por los **flujos másicos** (convección)  
 Por conducción y radiación de **calor**  
 Términos de **trabajo**



Acumula = transmite por flujo + transmite por calor + término de trabajo

$$\frac{d}{dt} \iiint_V \rho E dV = \iint_A \rho E (v \cdot n) dA + (Q_c + Q_r) + (W_s + W_E + W_F) \quad W_s : \text{trabajo eje} \quad W_F : \text{trabajo flujo}$$

$$\frac{d}{dt} \iiint_V \rho (U + K + \phi) dV = \iint_A \rho (U + K + \phi) (v \cdot n) dA + (Q_c + Q_r) + (W_s + W_E + \iint_A \rho (PV) (v \cdot n) dA)$$

$$\frac{d}{dt} \iiint_V \rho (U + K + \phi) dV = \iint_A \rho (H + K + \phi) (v \cdot n) dA + (Q_c + Q_r) + (W_s + W_E)$$

Suposiciones:

- La independencia de la densidad tanto del volumen como de la superficie
- Energía cinética y potencial despreciables (baja velocidad y poca dif. de altura)

$$\frac{dU}{dt} = (\rho_{in} v_{in} A) h_{in} - (\rho_{out} v_{out} A) h_{out} + Q_c + Q_r + W_s + W_E$$

Suposición: PV constante

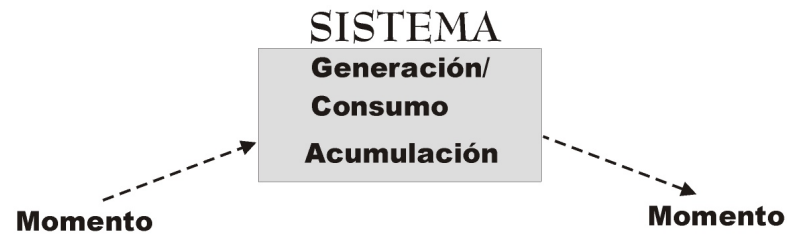
$$\frac{dH}{dt} = F_{in} h_{in} - F_{out} h_{out} + Q_c + Q_r + W_s + W_E$$

$$\frac{dH}{dt} = F_{in} h_{in} - F_{out} h_{out} + Q_c + Q_r + W_s + W_E + rV(-\Delta H_R)$$

EJEMPLO

## Balance de momento ( o balance de fuerzas)

Acumula = momento entra - momento sale + generación de momento



Las fuerzas que generan momento son:

- Fuerzas gravitatorias
- Fuerzas de fricción
- Fuerzas de presión
- Fuerzas de cizalla

$$\frac{d(Mv)}{dt} = M_i - M_o + f_g + f_p + f_f + f_c$$

El balance a momento es un problema *tri-dimensional* dado que las magnitudes involucradas son vectores. (muchas veces se simplifica y se considera únicamente una dimensión)

EJEMPLO

## Balances a un sistema

Las ecuaciones resultantes de establecer los balances a un sistema son:

### Balances de masa

Global-----1

Componentes-----NC-1

**Balance de energía**-----1

**Balances de momento**-----3

(NC= número de componentes)

Las ecuaciones generadas por estos balances en **sistemas agrupados dinámicos** son ecuaciones diferenciales ordinarias (ODEs)

## 2.2 Sistemas agrupados estacionarios

*No hay descripción espacial.*

*No se considera la evolución temporal. El tiempo deja de ser una variable.*

*No hay acumulación de :*

- *Materia*
- *Energía*
- *Momento*

*en el sistema, dado que estamos en el estado final de equilibrio.*

Todos los términos de las variables de estado (términos de acumulación) que son las derivadas temporales se igualan a CERO.

$$0 = F_{in} - F_{out}$$

$$0 = n_{i,in} - n_{i,out} + r_i V$$

$$0 = F_{in} H_{in} - F_{out} H_{out} + Q_c + Q_r + W_s + W_F + rV(-\Delta H_R)$$

$$0 = M_i - M_o + f_g + f_p + f_f + f_c$$

Las ecuaciones generadas por estos balances en **sistemas agrupados estacionarios** son ecuaciones diferenciales algebraicas (AEs)

# 3. Ecuaciones constitutivas

Son ecuaciones algebraicas que junto con las ecuaciones procedentes del balance conforman el modelo. Estas ecuaciones:

- Relacionan las cantidades conservadas (variables extensivas) con variables intensivas.
- Definen cantidades fisico-químicas como densidades, entalpías,...
- Definen los ratios de transferencia (masa, energía,...)
- Definen otras relaciones que permiten constituir el modelo.

Se pueden establecer 5 grupos que establecen ecuaciones constitutivas:

- Fenómenos de transferencia: masa, calor/energía y momento.
- Expresiones de cinéticas de reacción. Equilibrio químico.
- Relaciones termodinámicas.
- Relaciones entre volúmenes de control.
- Restricciones de equipos, control,...

## 3.1. Fenómenos de transferencia

### Transporte molecular (fenómenos microscópicos)

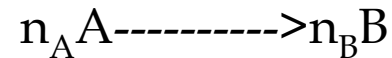
Cantidad	Calor	Masa	Momento
Flujo	$q$	$N_A$	$\tau_Z$
Fuerza	$\partial T / \partial z$	$\partial C_A / \partial z$	
$\partial v_z / \partial z$			
Propiedad	Conductividad	Difusividad	Viscosidad
	$k_T$	$D_A$	$\mu$
Ley	Fourier	Fick	Newton
Relación	$q = k_T \partial T / \partial z$	$N_A = D_A \partial C_A / \partial z$	$\tau_Z = \mu \partial v_z / \partial z$

### Transporte global (fenómenos macroscópicos)

Cantidad	Calor	Masa	Momento
Flujo	$q$	$N_A$	$\tau_Z$
Fuerza	$\Delta T$	$\Delta C_A$	$\Delta P$
Propiedad	Trans. Calor	Trans. Masa	Fricción
	$h_T$	$k_L$	
Relación	$q = h_T \Delta T$	$N_A = N_A \Delta C_A$	(factor fricción)

## 3.2. Descripción cinética (Reacción Química)

*Reacción simple:*



$$r = \frac{1}{V} \frac{dn_j}{v_j dt};$$

$$r = kf(C_A^\alpha, C_B^\beta, \dots), \quad r = k C_A^n; \quad k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Las expresiones cinéticas dependen mucho **del tipo de aplicación y del sistema multi-fase** de que se trate.

La geometría, reacciones laterales, inhibiciones hacen que en la práctica se tengan expresiones complicadas.

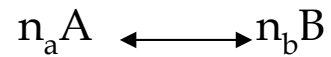
## Equilibrio Químico

queda descrito:

$$\sum_{j=1}^{NC} \nu_j \mu_j = 0$$

Donde  $\nu_j$  son los coeficientes estequiométricos (reactantes  $<0$ ) y  $\mu_j$  son los potenciales químicos.

Para una reacción de equilibrio en fase gas:



La ecuación anterior queda:

$$n_b \mu_B - n_a \mu_A = 0$$

y para gases el potencial químico se puede definir:

$$\mu_j = \mu_j^\circ + RT \ln P_j$$

$\mu_j^\circ$  : Potencial químico estándar

$P_j$  : Presión parcial del componente j.

EJEMPLO



## 3.3 Relaciones termodinámicas

### Importancia de las propiedades físicas

\*Cualquier programa de simulación de procesos suele contener un servicio de propiedades físicas.

\*La calidad del diseño, simulación o estudio de un proceso depende de la forma en que las leyes físicas y químicas son aplicadas al problema.

\*Las tareas principales que debe proporcionar un servicio de propiedades físicas son:

- Suministrar de forma reiterada estimaciones de un número de diferentes propiedades físicas durante la ejecución de la simulación
- Proveer al usuario de valores de las propiedades de interés durante el cálculo o bien al final de la simulación.
- Permitir al usuario introducir sus propios datos para nuevos componentes y emplearlos en el paquete de simulación
- Proporcionar al usuario una forma de estimar de forma media las propiedades de compuestos de los que se sabe poco más que su estructura.

\*El cálculo de las propiedades físicas se lleva gran parte del tiempo del cálculo total de las simulaciones.

\*Dependiendo del problema y del programa empleado el tiempo dedicado a las propiedades físicas puede ser del orden del 80%

\*Cualquier preprocesamiento que se pueda hacer es por tanto muy necesario.

Un ingrediente esencial para el éxito es la elección de  
**UN SISTEMA DE REFERENCIA ÓPTIMO.**

### 3.3.1 Relaciones entre propiedades

Son relaciones no-lineales entre variables termodinámicas.

$\rho = f(P,T,x)$  Densidad

$h = g(P,T,x)$  Entalpía

(T = Temperatura, P=Presión, x = fracción molar)

La entalpía se puede aproximar:

$$h(T) = h(T_0) + \int_{T_0}^T c_p(T) dT$$

### 3.3.2. Descripción del equilibrio

$$T^{(1)} = T^{(2)} = \dots = T^{(p)}$$

$$P^{(1)} = P^{(2)} = \dots = P^{(p)}$$

$$G_i^{(1)} = G_i^{(2)} = \dots = G_i^{(p)} \quad \text{para todo } i$$

#### Equilibrio de fases

En el equilibrio se produce la igualdad de los potenciales químicos.

$$\mu_i^I = \mu_i^{II}$$

O con las fugacidades:

$$f_i^I = f_i^{II}$$

#### Líquido-Vapor

$$x_i p_i \gamma_i = P y_i$$

$$\log p_i = A_i - \frac{B_i}{T + C_i}$$

EJEMPLO

### 3.3.3. Ecuaciones de Estado.

Relacionan Presión, Volumen y Temperatura para sistemas de un componente y para mezclas multicomponente.

Ecuación de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

## Propiedades involucradas

*Las propiedades involucradas en los diferentes modelos de unidades de operación se pueden resumir:*

### **Propiedades termodinámicas:**

- Coeficiente de fugacidad (o equivalente: potencial químico, K-value,...)
- Entalpía
- Entropía
- Energía de Gibbs
- Volumen (y magnitudes relacionadas)

### **Propiedades de transporte:**

- Viscosidad
- Conductividad térmica
- Coeficiente de difusión
- Tensión superficial

*Es fundamental elegir una opción correcta para que los resultados de la simulación puedan ser válidos.*

Existen muchos **métodos desarrollados** para diferentes aplicaciones, **se elige** en función:

- ♦ de los componentes que participan,
- ♦ de la interacción entre estos componentes (qué tipo de mezclas forman: polar, no polar, ideal, con asociación,...),
- ♦ de las condiciones en que se desarrolla el proceso (rangos de temperatura, presión,...),
- ♦ de la presencia de electrolitos,
- ♦ de la presencia de sólidos,...
- ♦ de la disponibilidad de parámetros

**Algunos métodos** que existen para el cálculo de las **propiedades termodinámicas:**

<i>Cálculo de Ecuaciones de estado:</i>	<i>Cálculo de coeficientes de actividad:</i>	<i>Volumen molar y densidad:</i>
Ideal Gas	NRTL (Non Random Two Liquids)	API Liquid Volume
Peng-Robinson	Redlich-Kister	Costal Liquid volume
Redlich-Kwong	Wilson	Brelvi-O'Connell
Hayden-O'Connell	Van Laar	Solids Volume Polynomial
Lee-Kessler	UNIFAC	
	UNIQUAC	
	Ideal Liquid	

**Algunos métodos** que existen para el cálculo de las **propiedades de transporte:**

<i>Cálculo de la viscosidad:</i>	<i>Cálculo de la conductividad térmica:</i>	<i>Cálculo de la difusividad:</i>
Andrade	IAPS	Chapman-Enskog-Wilke-Lee Binaary
Chung-Lee-Starling	Sato-Riedel	Nernst-Hartley Electrolytes
Letsou-Stiel	Stiel-Thodos	Dawson-Khoury-Kobayashi Mixture
Lucas	TRAPP	



## Ejemplo

A continuación se muestra el **método de NRTL**, este método calcula los coeficientes de actividad de líquidos y está recomendado para sistemas químicos altamente no ideales con aplicaciones para el equilibrio líquido-vapor y líquido-líquido.

$$\ln \gamma = \frac{\sum_j x_j \tau_{ji} G_{ji}}{\sum_k x_k G_{ki}} + \sum_j \frac{x_j G_{ij}}{\sum_k x_k G_{kj}} \left[ S_{ij} - \frac{\sum_m x_m \tau_{mj} G_{mj}}{\sum_k x_k G_{kj}} \right]$$

Donde:

$$G_{ij} = \exp(-\alpha_{ij} \tau_{ij})$$

$$\tau_{ij} = a_{ij} + \frac{b_{ij}}{T} + e_{ij} \ln T + f_{ij} T$$

$$\alpha_{ij} = c_{ij} + d_{ij} (T - 273.15K)$$

Este método fue desarrollado por Renon y Prausnitz en 1968 y tiene un fundamento teórico y una parte ajustada experimentalmente.

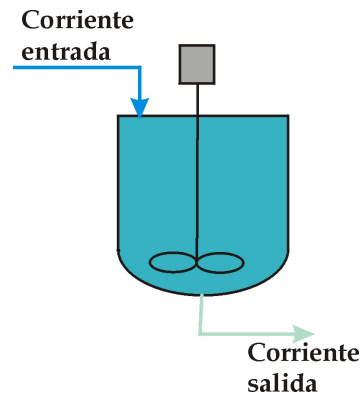
## 3.4 Relaciones entre volúmenes de control y restricciones

- Las relaciones entre volúmenes de control se dan cuando existen varias fases que están confinadas en un recipiente.
- Los sistemas de proceso siempre están sometidos a un control para garantizar que cumplen las especificaciones, esto implica que muchas veces es necesario modelar los elementos que componen el sistema de control: sensores, transmisores, controladores, actuadores,...
- Ciertas restricciones debidas a los equipos o modos de operación pueden tener que ser incluidas igualmente en los modelos.

## 4. Ejercicios y aplicaciones.

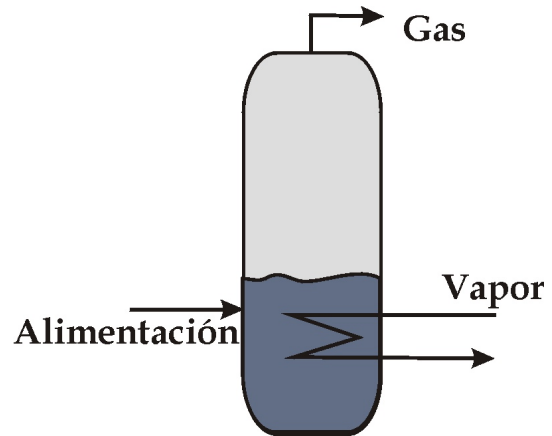
# Realizar un modelo del sistema y analizar los grados de libertad. I

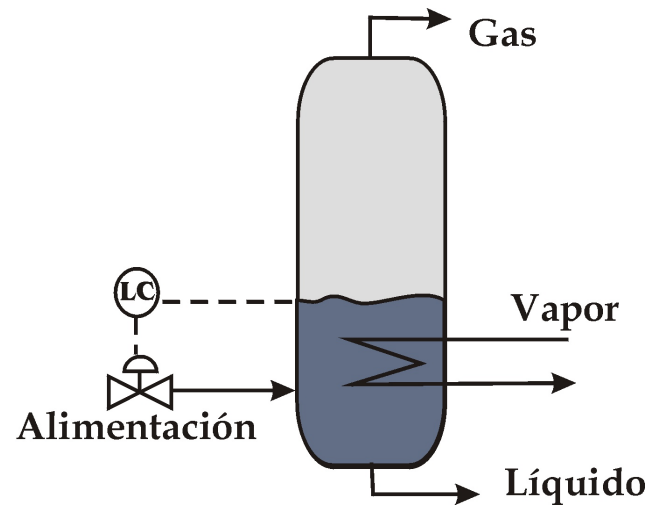
## *Tanque agitado*



# Realizar un modelo del sistema y analizar los grados de libertad. II

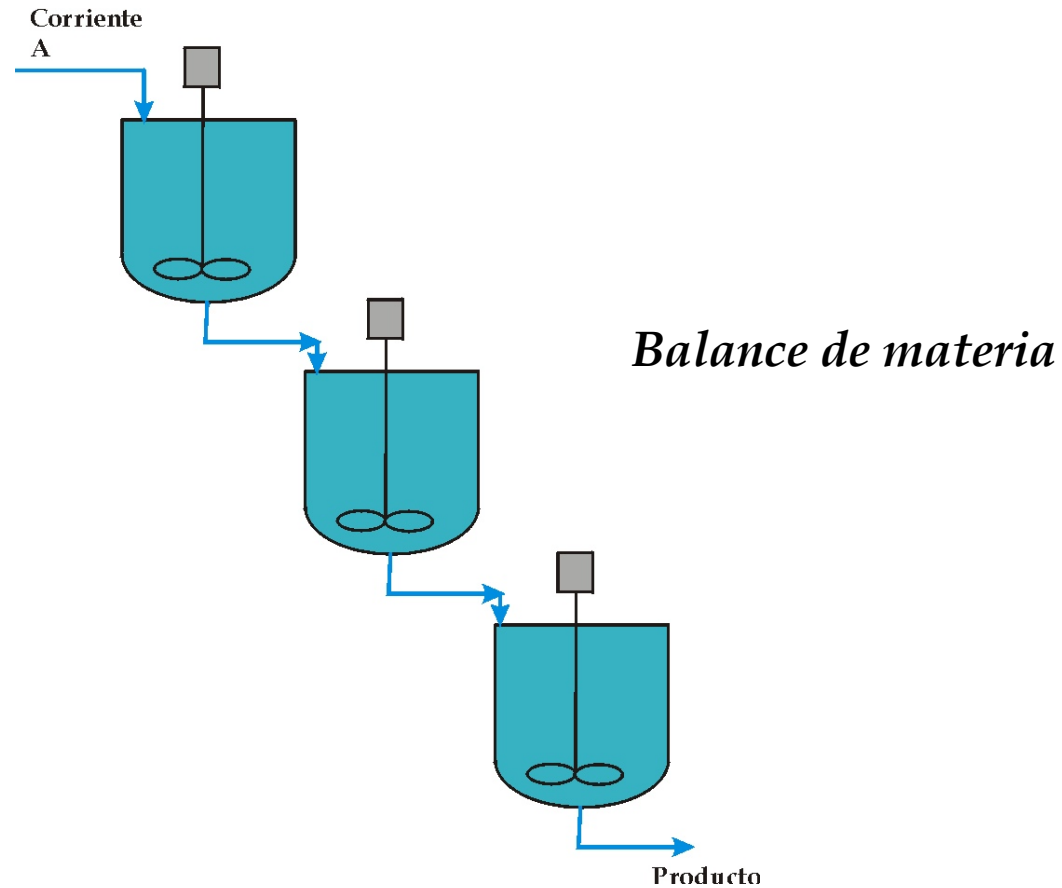
## *Evaporador (un componente)*



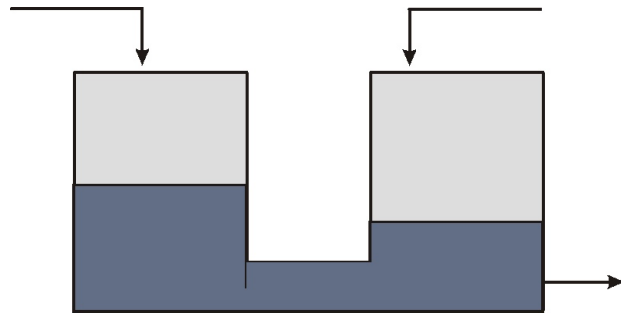


# Realizar un modelo del sistema y analizar los grados de libertad. III

## *CSTR en serie*



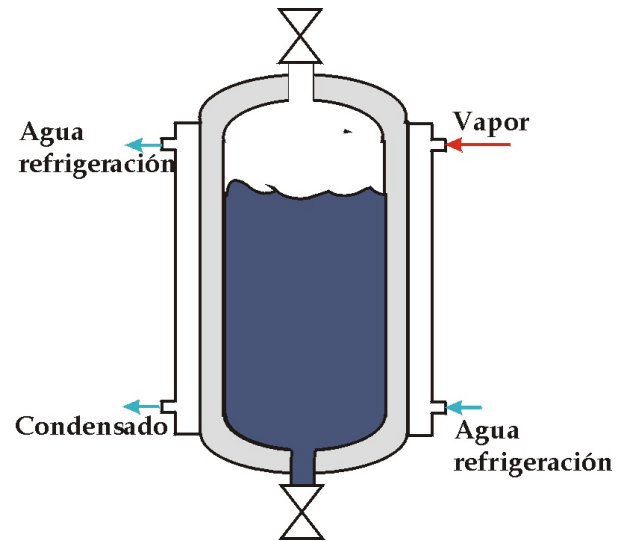
Realizar un modelo del sistema y analizar los  
grados de libertad. IV *Depósitos comunicados*





# Realizar un modelo del sistema y analizar los grados de libertad. V

## *Reactor batch*

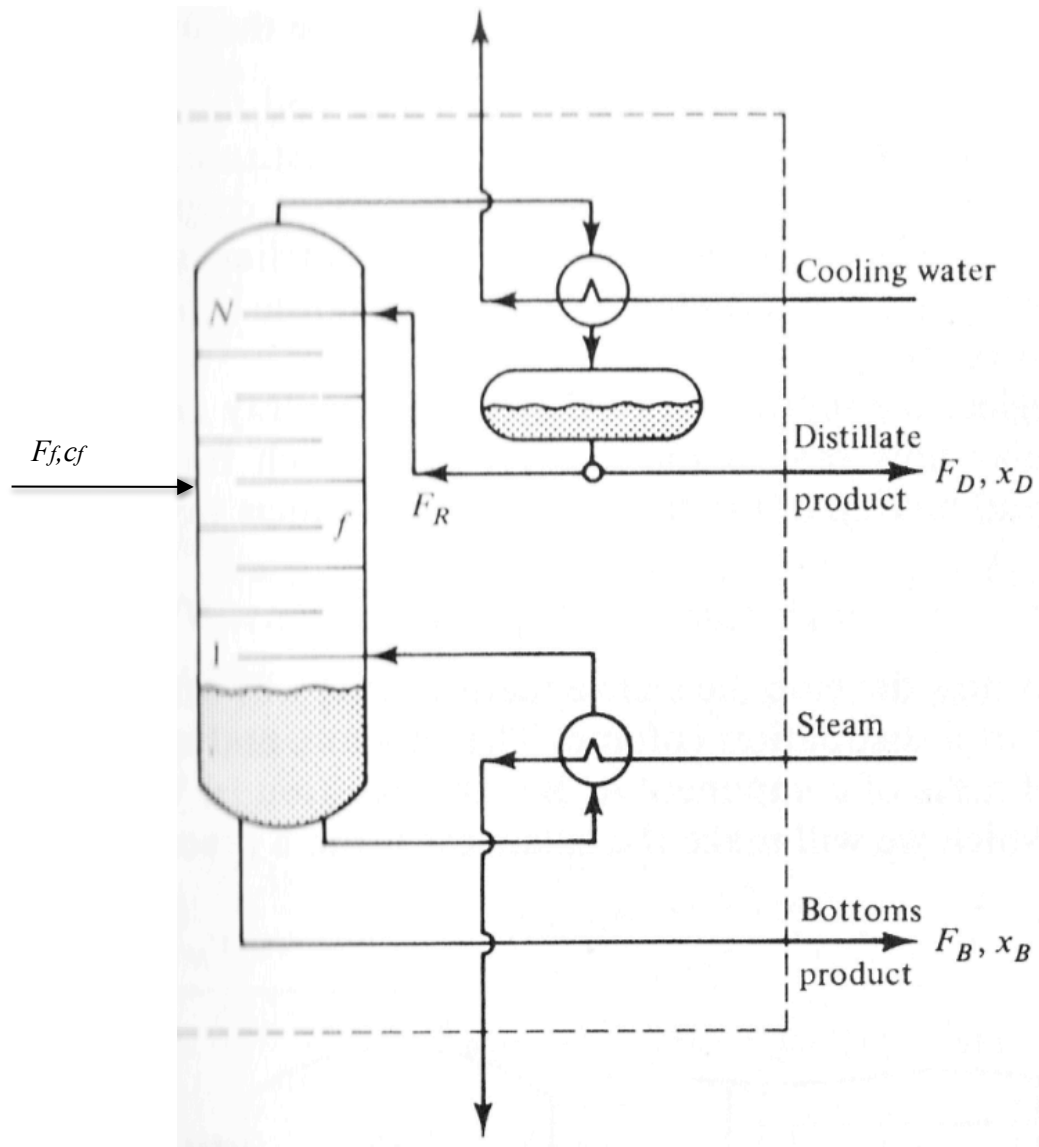


Grados de libertad:

Incógnitas----- $V, c_A, c_B, F_2, r, T, Q_{st}, Q_{ref}, V_{c,st}, T_{c,st}, V_{c,ref}, T_{c,ref}$

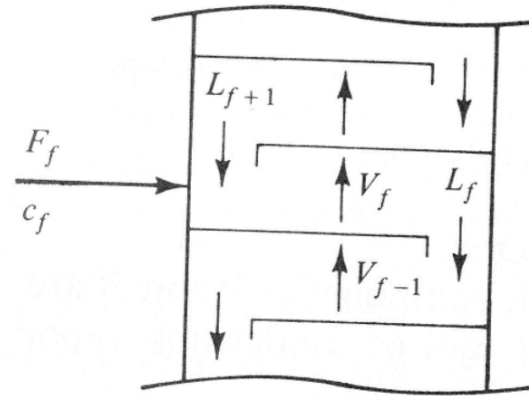
Ecuaciones-----11

## COLUMNA BINARIA (COMPONENTES A Y B)

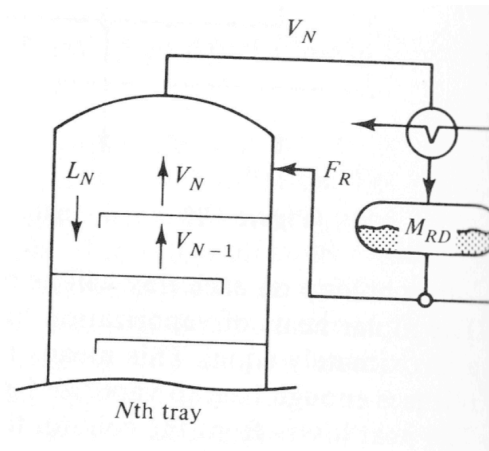


SUPOSICIONES

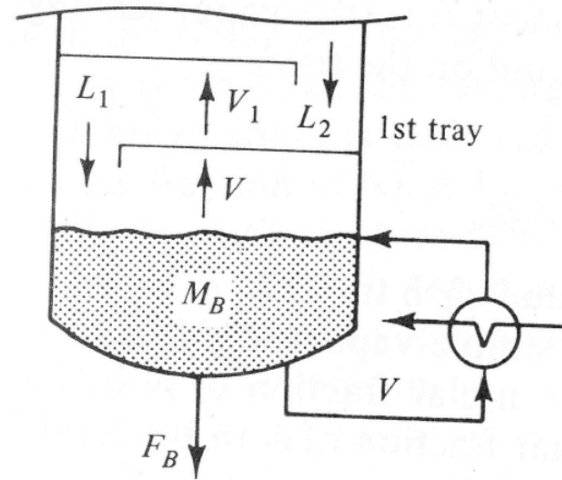
## PLATO ALIMENTACIÓN



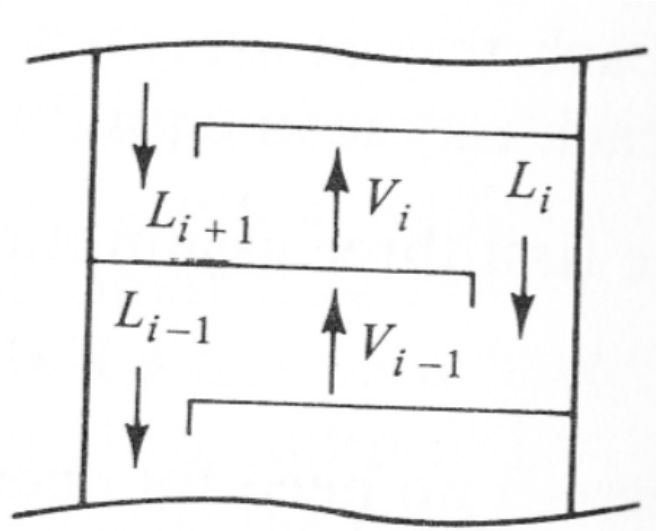
## PLATO SUPERIOR



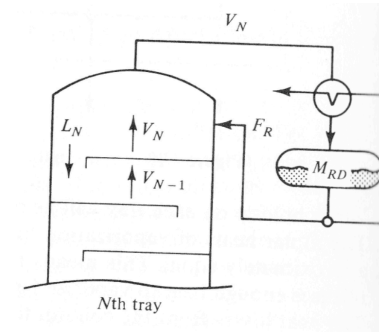
## PLATO INFERIOR



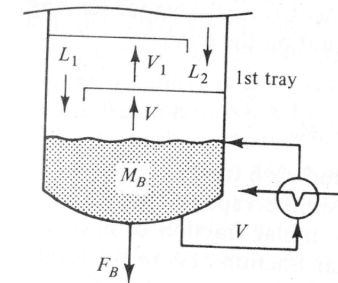
## PLATO COLUMNA



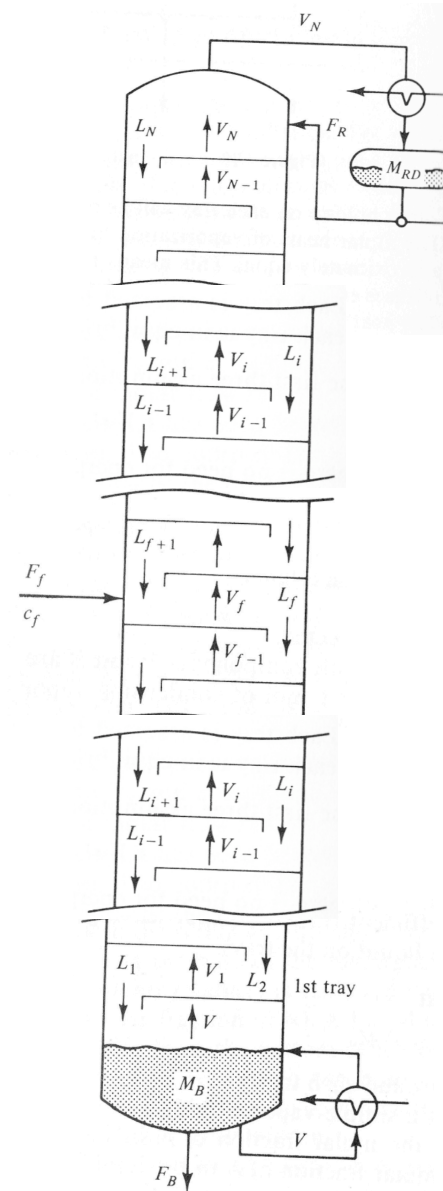
# ACUMULADOR REFLUJO



# FONDO COLUMNA







RELACIÓN EQUILIBRIO

FLUJO LÍQUIDO

## GRADOS DE LIBERTAD

Ecuaciones

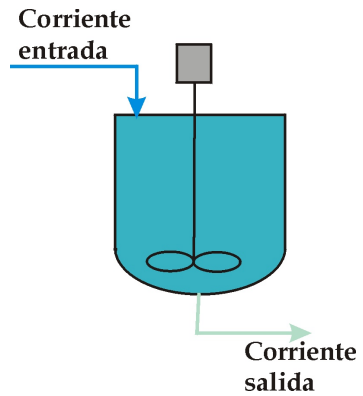
Diferenciales.plato.alimentacion =	2
Diferenciales.plato.superior =	2
Diferenciales.plato.inferior =	2
Diferenciales.plato.columna =	2(N-3)
Diferenciales.acumulador_reflujo =	2
Diferenciales.base.columna =	2
Algebraicas.Equilibrio =	N+1
Algebraicas.Hidráulica=	N
<hr/>	
Total	4N+5

Incógnitas

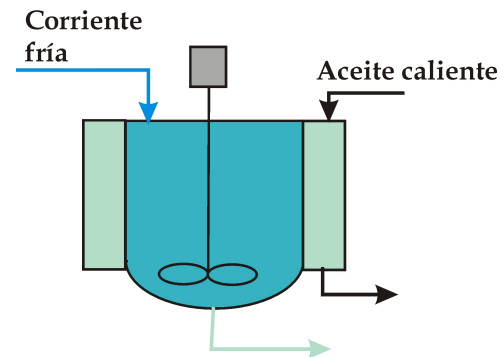
Fin tema 2

# Ejemplo de balance de materia

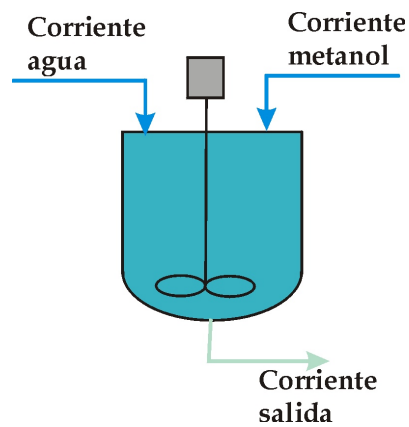
Tanque.



Tanque con camisa.



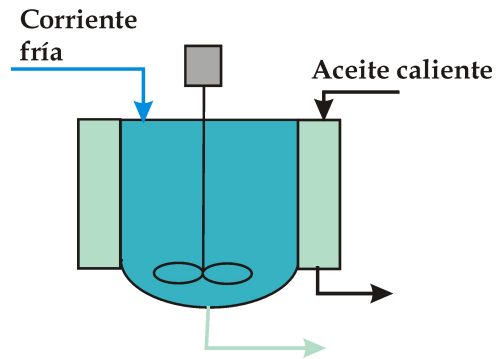
Tanque de mezcla perfecta sin reacción.



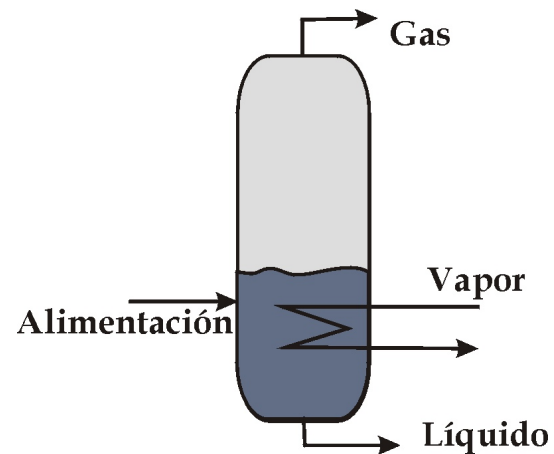
VOLVER

## Ejemplo de balance de energía.

Tanque de mezcla perfecta sin reacción y con camisa.



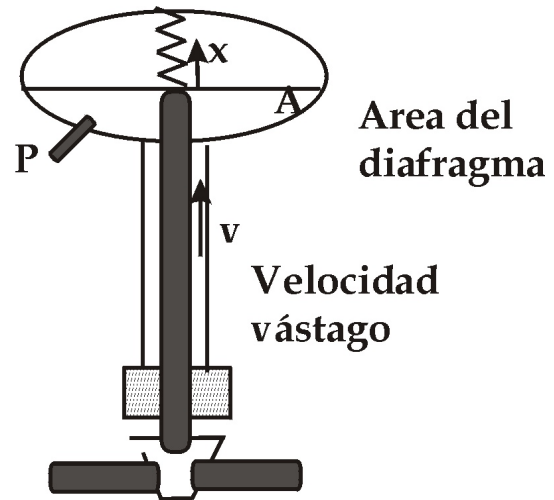
Flash



VOLVER

# Ejemplo de balance de momento.

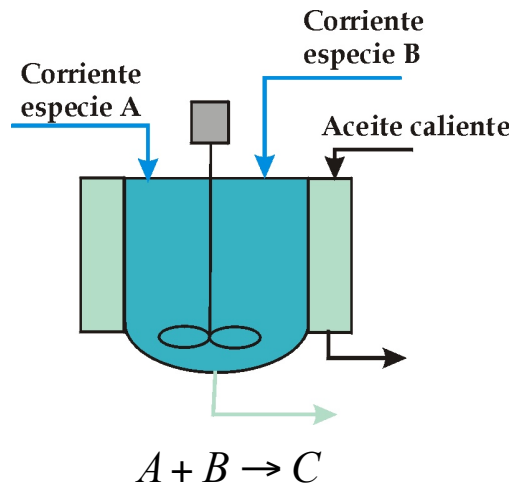
Válvula de control



VOLVER

# Ejemplo de sistema con reacción.

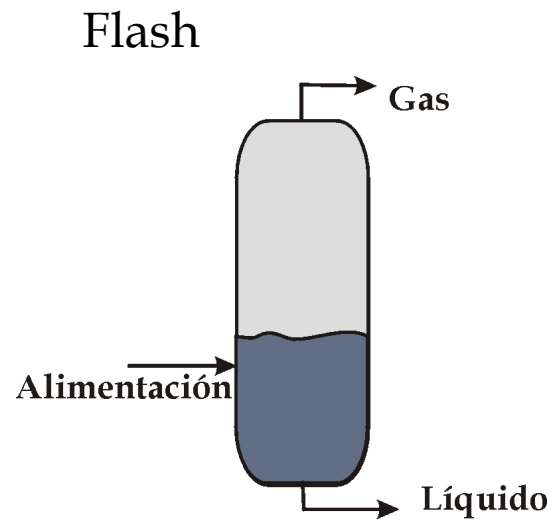
Reactor continuo de tanque agitado.



VOLVER



## Ejemplo de sistema con equilibrio.



VOLVER