



**REACTOR DE BIOLIXIVIACION**



**Tratamiento Aguas Servidas**



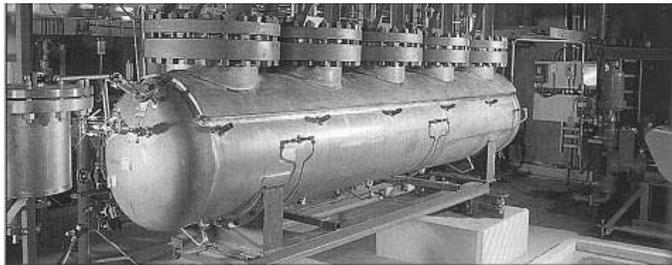
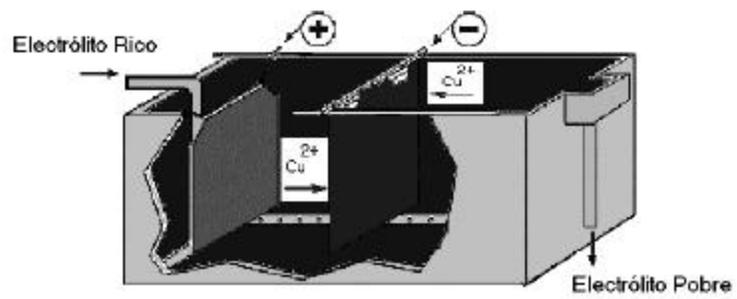
**PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DEL PIGMENTO  
GOETHITA ( $\text{FeOOH}$ )  
PLATA DE LA BAYER, ALEMANIA**



**CONVERTIDOR DE COBRE,  
FUNDICIÓN DE EL TENIENTE, CODELCO-CHILE**



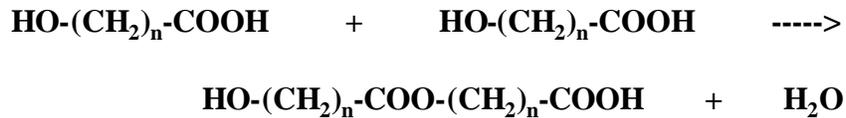
**COMPLEJO INDUSTRIAL (AMOCO)**







**Ejemplo: Policondensación**  
(polimerización sin etapa de terminación)



El polímero crece por esterificaciones sucesivas eliminando agua y sin requerir de una etapa de terminación.

## Estimación de Conversiones

**Objetivo: Maximizar la selectividad**

**a) Reacciones Simples.**

Aumentando la conversión aumentan el tamaño y los costos del reactor, sin embargo, disminuyen los costos de las otras etapas del proceso productivo.

$$a = 95\% \quad \text{ó} \quad a = 0.95 * a \text{ equilibrio}$$

**b) Reacciones Múltiples en Paralelo.**

- Minimizar la formación de subproductos
- Elegir las condiciones de operación en el reactor que explotan las diferencias entre la cinética y los efectos de equilibrio en las reacciones primarias y secundarias para favorecer la formación del producto deseado.

Ejemplo:      Reactivo -----> Producto,       $R_1 = k_1 * C_R^n$   
                   Reactivo -----> Subproducto,       $R_2 = k_2 * C_R^m$

$$R_2/R_1 = k_2/k_1 * C_R^{m-n}$$

- La mayor selectividad requiere una razón mínima  $R_2/R_1$ .
- Una alta conversión en el reactor hace disminuir  $C_R$ .

i) Si  $m > n$  ==>      La selectividad aumenta con la conversión.  
 Elección inicial:       $a = 95\%$       ó       $a = 0.95 * a$  equilibrio

ii) Si  $m < n$  ==> La selectividad disminuye al aumentar  $a$   
 Elección inicial:       $a = 50\%$       ó       $a = 0.5 * a$  equilibrio

### c) Reacciones Múltiples en Serie.

- La selectividad aumenta por las bajas concentraciones de reactivos para las reacciones secundarias.
- Si baja la concentración del producto disminuye la conversión.

Ejemplo:      Reactivo -----> Producto,       $R_1 = k_1 * C_R^n$   
                   Producto -----> Subproducto,       $R_2 = k_2 * C_P^m$

Elección inicial:       $a = 50\%$       ó       $a = 0.5 * a$  equilibrio

Las reacciones múltiples deben ser minimizadas introduciendo una purificación de la alimentación.

# Elección del Tipo de Reactor

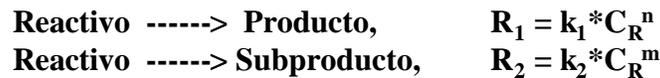
## Discontinuo (RD) vs. Agitado (RPA) vs. Pistón (RFP)

### a) Reacciones Simples



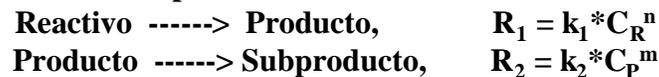
- El RPA debe ser de gran volumen debido a dilución de la alimentación dentro del reactor.
- Se prefiere usar un RD ó un RFP

### b) Reacciones Múltiples en Paralelo



- Si  $m < n$  es mejor usar el RD ó el RFP.  
Si  $m > n$  es mejor usar RPA.

### c) Reacciones Múltiples en Serie



Se utiliza el RD ó el RFP, debido que el RPA genera una menor selectividad.

### d) Reacciones múltiples en serie o en paralelo



- Si  $n > m$  es mejor usar el RD ó el RFP.  
Si  $n < m$  es mejor utilizar un nivel de mezclado entre el RPA y el RFP. Esto se logra con: una cascada de RPA en serie, ó con un RFP con reciclo, ó con una cascada combinada de RFP y RPA.

## Condiciones de Operación de un (Bio) Reactor

- Concentración
- Temperatura
- Presión

## Concentración

### a) Reacciones Simples Irreversibles



**Un exceso de reactivo fuerza la reacción hacia la conversión completa.**

**Se debe elegir el reactante en exceso que elimine el componente más peligroso o difícil de separar desde el producto.**

¿Cuales son los reactivos en exceso en esta reacción?

¿Qué pasa con el control por transferencia de oxígeno?

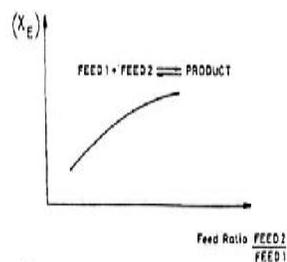
**b) Reacciones simples reversibles**



**Principio de Le Châtelier:** "Cualquier cambio en las condiciones de equilibrio de una reacción química produce un desplazamiento del equilibrio del sistema en una dirección tal que se opone al efecto del cambio".

**i) Razón de Alimentación:**  $a_{eq}$  puede incrementarse empleando uno de los reactantes en exceso ó removiendo el producto formado en forma continua.

(a) The effect of feed ratio on equilibrium conversion



**ii) Concentración de Inertes**

(solventes o gases como nitrógeno, vapor, etc.)

**Adición de Inertes**



La reacción produce un aumento del número de moles.

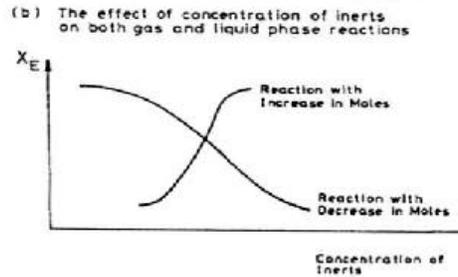
Al agregar un inerte se produce una disminución del número de moles por unidad de volumen en los componentes que participan en la reacción, luego el equilibrio se desplaza para oponerse a esto lográndose una mayor concentración de productos.

## ii) Concentración de Inertes

### Remoción de Inertes



La reacción produce una disminución del número de moles, por lo tanto si hay inertes presentes deben removerse.



### Sin efecto

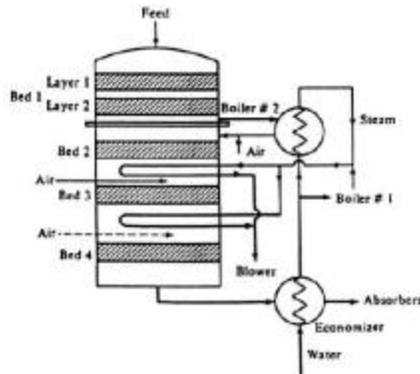
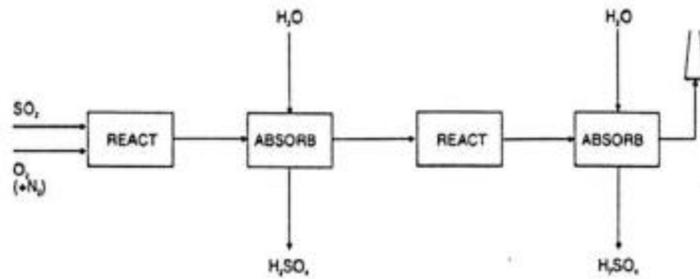
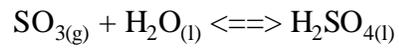
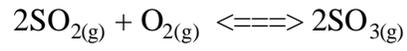
Si la reacción no involucra cambio en el número de moles totales, la adición de material inerte no tendrá efecto sobre la conversión de equilibrio.

## iii) Remoción del Producto

Durante la Reacción en forma continua desde el reactor a medida que avanza la reacción, esto permite incrementar la conversión.

- En una reacción en fase líquida se puede evaporar el producto para removerlo del sistema.
- Realizar la reacción en etapas con separaciones intermedias de los productos generados.
- En procesos biológicos se puede trabajar con células (producto extracelular) o enzimas inmovilizadas.

## Ejemplo: Producción de Acido Sulfúrico

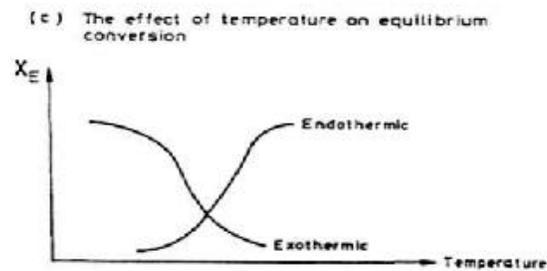


**Torre de Conversión Catalítica**

# Temperatura

- Factores:**
- Velocidad de reacción requerida (R)
  - Límites de temperatura para los materiales
  - Alimentos y sistemas biológicos.
  - Efectos en el Catalizador
  - Fases Requeridas.

## a) Reacciones Simples Reversibles



## i) Reacciones Endotérmicas (Requieren energía):

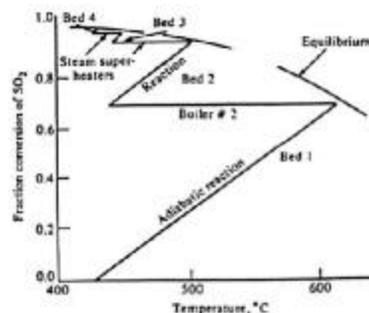
- $a$  y  $R$  aumentan con la  $T^a$ .
- El volumen necesario de reactor se reduce con la  $T^a$ .

## ii) Reacciones Exotérmicas (Liberan energía):

Lejos del equilibrio es ventajoso usar alta  $T^a$ .

Cerca del equilibrio se debe reducir la  $T^a$  para maximizar  $a$ .

Lo ideal es ir disminuyendo la  $T^a$  a medida que la reacción avanza ó a medida que  $a$  aumenta.



**b) Reacciones Múltiples:**

La elección de la  $T^a$  depende de su influencia sobre la velocidad de las reacciones y del orden relativo en las velocidades de cada reacción.

**c) Control de Temperatura en el Reactor:**

La Operación Adiabática es la más simple y barata.

**i) Transferencia de Calor Indirecta en el Reactor**

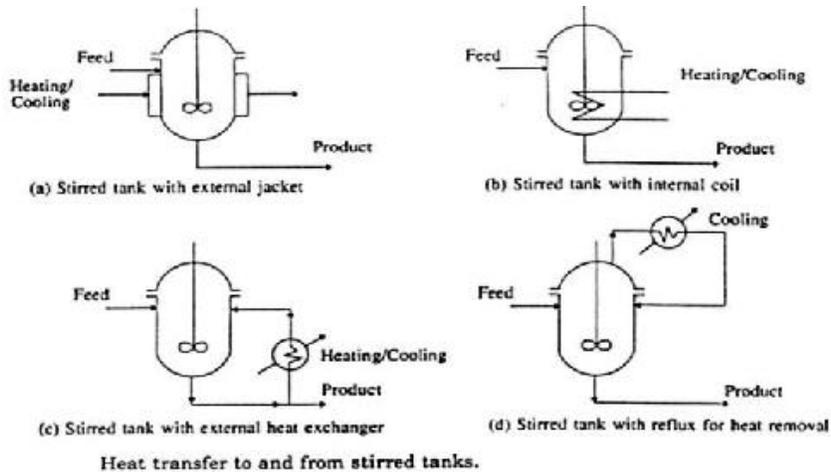
**ii) Inyección de una Corriente de Alimentación en puntos intermedios del reactor para controlar la  $T^a$ .**

**iii) Inerte Como Transportador de Calor.**

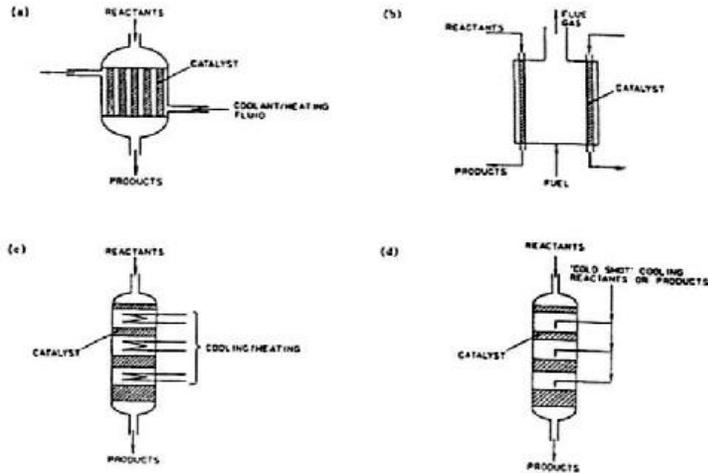
**iv) Apagado (quenching), enfriamiento rápido del efluente del reactor, para evitar la descomposición del producto.**

## Control de la temperatura en Reactores

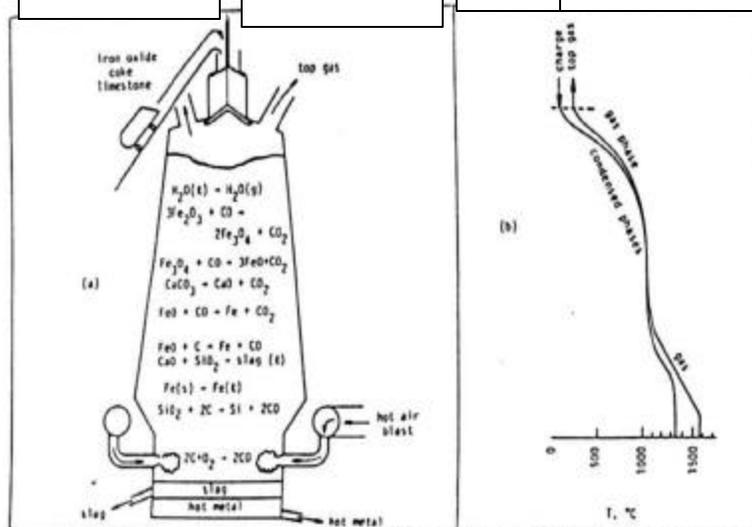
### Tanque Agitado



## Lecho Empacado



## Alto Horno Para Producir Hierro



(a) Principle reactions and input and output streams of the iron blast furnace.  
 (b) Typical temperature profile (vertical) in the blast furnace.

## Presión

Para reacciones irreversibles en fase gas un aumento de P produce:

- Una mayor velocidad de reacción
- Reducción en el volumen requerido del reactor.

a) Reacciones Simples en Fase Gas

i) Disminución del N° de moles en reacción



Aumentando la P se favorece la conversión, aumenta la velocidad de reacción y se reduce el tamaño requerido del reactor.

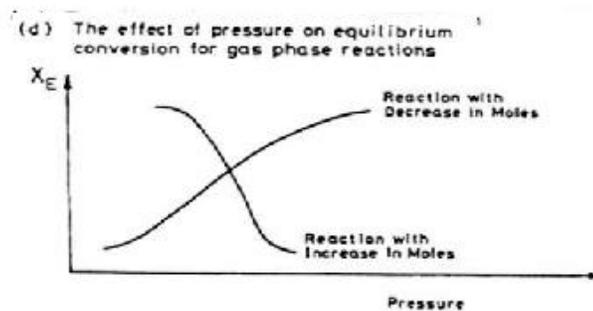
Se elige la mayor P posible mediante el uso de un compresor y un reactor a presión ó autoclave.

## Presión

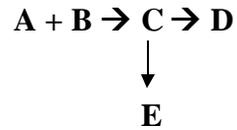
ii) Aumento del N° de moles en reacción



- Una disminución de la P permite aumentar la conversión de equilibrio. Sin embargo, la operación a baja P disminuye la velocidad de reacción y se necesita un mayor V de reactor.



### iii) Reacciones Múltiples



La selectividad es un objetivo más importante que el tamaño del reactor para lograr una cierta conversión.

La elección de la presión a utilizar depende de los ordenes relativos de las velocidades para las reacciones primaria y secundaria.

### Fase Líquida

Para reacciones en fase líquida, la presión prácticamente no afecta la selectividad. En este caso se elige la P para:

1. Evitar la evaporación de los productos.
2. Permitir la evaporación del líquido del reactor para remover calor del sistema mediante la condensación y recirculación al reactor.
3. Permitir la evaporación de uno de los componentes en una reacción reversible de modo de maximizar la conversión.

## Fase del Reactor

- Decidir la fase de operación del reactor.
- Como primera opción se prefiere la operación en fase líquida. Por ejemplo para la siguiente reacción:



- En fase líquida se puede lograr una mayor concentración de reactivo ( $C_R$ ) comparativamente con la fase gas.
- Esto produce que la reacción ocurra más rápido y que se requiera un menor volumen de reactor.

- Para un Sistema Reaccionante Multifase las velocidades de transporte de materia entre las fases son tanto o más importantes que la velocidad de reacción para la determinación del volumen del reactor.

•Muy importante en los sistema gas-líquido-célula aeróbicos, se deben considerar los coeficientes de transferencia de Oxígeno en el diseño de los (bio) reactor.

- La velocidad de transporte de materia es generalmente mayor para la fase gas que para sistemas en fase líquida, por lo tanto no es simple decidir en que fase conviene más trabajar.

- Si la temperatura del reactor está sobre la temperatura crítica de las especies, entonces el reactor operará en fase gas.
- Si la temperatura se fija bajo la temperatura crítica se requiere por lo general una alta P para operar el reactor en fase líquida.