

# Fundamentos de Catálisis Heterogénea

## Unidad 6: Introducción a reactores catalíticos

Laura Díaz Rodríguez  
Douglas Jimmy Escalante Ayala  
Karina Elvira Rodríguez Espinoza

# Estructura

**6.1.** Introducción.

**6.2.** ¿Qué es un reactor catalítico?

**6.3.** Clasificación general de reactores catalíticos

**6.3.1.** Clasificación basada en las fases involucradas

**6.3.2.** Clasificación basada en el modo de operación

**6.4.** Factores clave en el diseño y operación de reactores



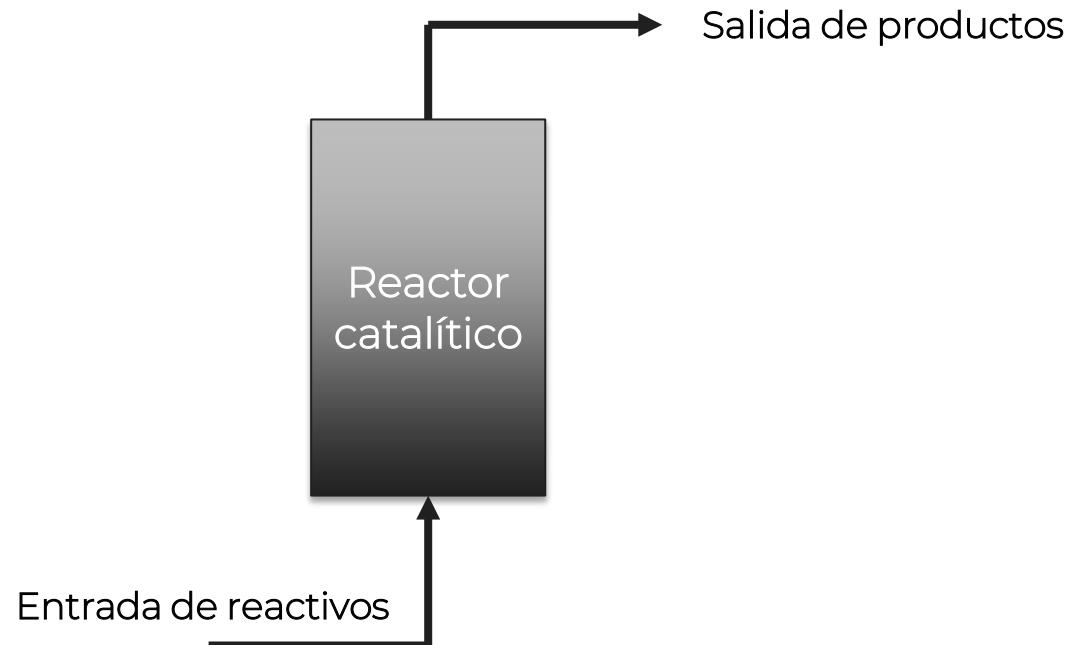
## 6.1. Introducción

- ❖ Hasta ahora, hemos explorado la esencia de la catálisis heterogénea, la composición y los soportes de los catalizadores, sus métodos de síntesis y las técnicas avanzadas para su caracterización. Sin embargo, un catalizador, por muy eficiente que sea en el laboratorio, solo alcanza su pleno potencial cuando se integra en un sistema de reacción adecuado. Este sistema es el **reactor catalítico**.
  
- ❖ Un reactor catalítico es el "corazón" de cualquier proceso **químico catalizado**. Es el equipo donde los reactivos entran en contacto con el catalizador bajo condiciones controladas (temperatura, presión, flujo) para que la reacción deseada tenga lugar. El diseño y la operación del reactor son tan críticos como el propio catalizador, ya que influyen directamente en la conversión, la selectividad, la eficiencia energética y la rentabilidad del proceso.



## 6.2. ¿Qué es un reactor catalítico?

- ❖ Un **reactor catalítico** es un recipiente o sistema diseñado para facilitar una reacción química en presencia de un catalizador. Su principal función es proporcionar un entorno donde los reactivos puedan interactuar eficazmente con el catalizador para transformarse en los productos deseados.



## 6.2. ¿Qué es un reactor catalítico?

- ❖ La selección y el diseño de un reactor catalítico implican considerar múltiples factores:

### Factores para la selección y diseño de un reactor

**La naturaleza de la reacción:** ¿Es exotérmica o endotérmica? ¿Requiere condiciones de alta o baja presión/temperatura?

**Las fases involucradas:** ¿Gas-sólido, líquido-sólido, o gas-líquido-sólido?

**La forma y estabilidad del catalizador:** ¿Es un polvo, pellets, monolitos? ¿Es propenso a la desactivación?

**Los fenómenos de transporte:** La transferencia de masa (movimiento de reactivos y productos) y la transferencia de calor (manejo de la energía liberada o absorbida por la reacción).

**La escala de producción:** ¿Laboratorio, planta piloto o producción a gran escala?



## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

Los reactores catalíticos se pueden clasificar de diversas maneras, pero las más comunes se basan en el número de fases involucradas y en el modo de operación.

### 6.3.1. Clasificación basada en las fases involucradas

### 6.3.2. Clasificación basada en el modo de operación



## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

### 6.3.1. Clasificación basada en las fases involucradas

Dado que nos centramos en la catálisis heterogénea (donde el catalizador es una fase diferente a la de los reactivos), los principales tipos son:

#### Reactor Gas-Sólido

- Es el tipo más común en catálisis heterogénea.
- Los reactivos son gases que fluyen sobre un catalizador sólido.
- *Ejemplos:* Síntesis de amoníaco (Haber-Bosch), producción de ácido sulfúrico, reformado de metano.

#### Reactor Líquido-Sólido

- Los reactivos son líquidos que interactúan con un catalizador sólido.
- *Ejemplos:* Hidrogenación de aceites, reacciones de esterificación.

#### Reactor Gas-Líquido-Sólido

- Involucra tres fases: un gas, un líquido y un catalizador sólido.
- *Ejemplos:* Hidrogenación de compuestos orgánicos en fase líquida con hidrógeno gaseoso y un catalizador sólido.



## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

### 6.3.2. Clasificación basada en el modo de operación

En estos reactores, los reactivos se alimentan continuamente y los productos se retiran de forma continua, permitiendo una operación ininterrumpida.

#### Reactor Discontinuo (Batch Reactor)

- Los reactivos se cargan en el reactor al inicio, la reacción procede durante un tiempo determinado, y luego los productos se retiran.

#### Reactores Continuos

- Los reactivos se alimentan continuamente y los productos se retiran de forma continua, permitiendo una operación ininterrumpida.
- Tipos:
  - Reactor de Lecho Fijo (Fixed-Bed Reactor).
  - Reactor de Lecho Fluidizado (Fluidized-Bed Reactor)
  - Reactor de Tanque Agitado Continuo (Continuous Stirred-Tank Reactor - CSTR)

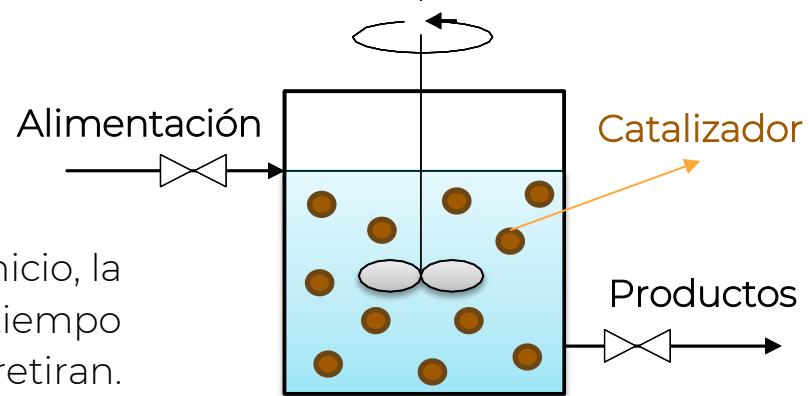


## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

### 6.3.2. Clasificación basada en el modo de operación

#### Reactor Discontinuo (Batch Reactor)

- Los reactivos se cargan en el reactor al inicio, la reacción procede durante un tiempo determinado, y luego los productos se retiran. No hay flujo continuo de entrada o salida durante la reacción. El catalizador puede estar suspendido (slurry) o en un lecho fijo.



#### Ventajas:

- Gran flexibilidad para operar bajo diferentes condiciones de reacción.
- Ideal para producciones a pequeña escala o para pruebas de laboratorio.
- Fácil de limpiar y mantener.

#### Desventajas:

- Requiere más mano de obra y tiempo de inactividad entre lotes.
- Control de temperatura y concentración puede ser difícil.
- No apto para grandes volúmenes de producción.

## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

### 6.3.2. Clasificación basada en el modo de operación



- ❖ El catalizador sólido se empaqueta en un lecho estacionario dentro de un tubo o una serie de tubos. Los reactivos fluyen a través del lecho catalítico. Es el tipo de reactor más común en la industria para reacciones gas-sólido.

#### Ventajas:

- Diseño relativamente simple y fácil de construir.
- Alta conversión por unidad de volumen de catalizador.
- Bajo costo de operación.

#### Desventajas:

- Dificultad para controlar la temperatura en reacciones altamente exotérmicas (puntos calientes).
- Posibilidad de "canalización" del flujo.
- Caída de presión significativa a través del lecho, lo que requiere mayor energía de bombeo.
- Regeneración del catalizador puede ser compleja (requiere parar el proceso).



## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

### 6.3.2. Clasificación basada en el modo de operación

#### Reactor Continuo de Lecho Fluidizado

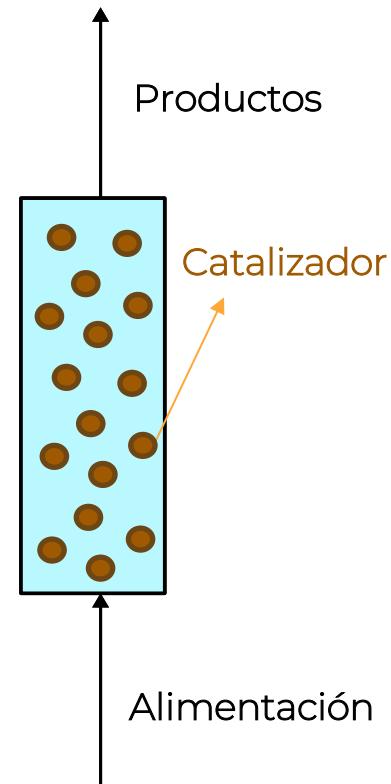
- ❖ El catalizador (generalmente en forma de partículas pequeñas) se suspende en un flujo ascendente de gas o líquido, comportándose como un fluido. Esto permite una excelente mezcla y transferencia de calor y masa.

##### Ventajas:

- Excelente control de temperatura debido a la alta transferencia de calor.
- Mezcla eficiente de fases.
- Facilita la adición y retirada continua de catalizador para regeneración o reemplazo.
- Adecuado para reacciones altamente exotérmicas.

##### Desventajas:

- Abrasión y desgaste del catalizador (atracción).
- Mayor retromezclado, lo que puede reducir la conversión por unidad de volumen.
- Diseño y operación más complejos.
- Posibilidad de arrastre de partículas de catalizador con el flujo de salida.

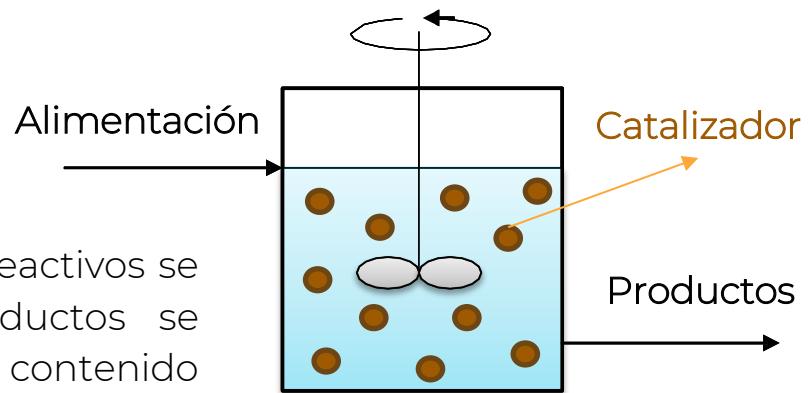


## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

### 6.3.2. Clasificación basada en el modo de operación

#### Reactor Continuo de Tanque Agitado

- Un tanque con un agitador donde los reactivos se alimentan continuamente y los productos se retiran continuamente. Se asume que el contenido del reactor está perfectamente mezclado, lo que significa que la composición en cualquier punto del reactor es la misma que la del efluente. El catalizador puede estar suspendido (slurry) o en una canasta giratoria.



#### Ventajas:

- Excelente control de temperatura y mezcla.
- Alta flexibilidad operativa.
- Ideal para reacciones lentas o cuando se desea una baja conversión por paso.

#### Desventajas:

- Baja conversión por unidad de volumen de reactor en comparación con un reactor de lecho fijo (requiere mayor volumen para la misma conversión).
- Necesidad de separación del catalizador si está en suspensión.



## 6.3. Clasificación general de reactores catalíticos

### 6.3.2. Clasificación basada en el modo de operación

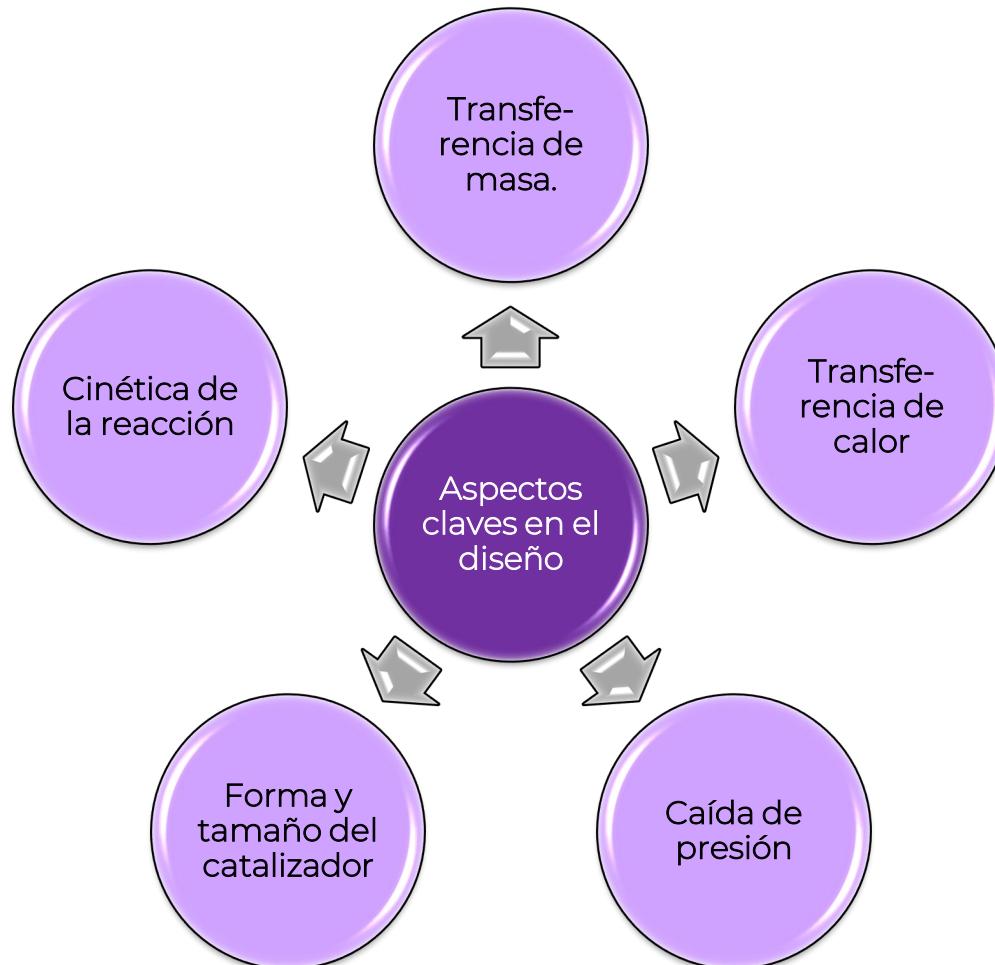
#### Otros tipos de reactores

Reactor de Lecho Burbujeante (Bubble Column Reactor): Utilizado para reacciones gas-líquido-sólido, donde el gas burbujea a través de una fase líquida que contiene partículas de catalizador suspendidas.

Reactor de Lecho de Goteo (Trickle Bed Reactor): También para reacciones gas-líquido-sólido, donde el líquido gotea sobre un lecho fijo de catalizador mientras el gas fluye a contracorriente o en co-corriente.

## 6.4. Factores clave en el diseño y operación de reactores

El diseño y la operación eficiente de un reactor catalítico requieren un equilibrio entre varios factores críticos.



## 6.4. Factores clave en el diseño y operación de reactores

### ❖ Transferencia de masa:

- ✓ Los reactivos deben difundirse desde la fase fluida (gas o líquido) hasta la superficie externa del catalizador.
- ✓ Luego, deben difundirse a través de los poros del catalizador hasta los sitios activos internos.
- ✓ Los productos deben difundirse desde los sitios activos hacia la superficie externa y luego a la fase fluida.
- ✓ Una transferencia de masa deficiente puede limitar la velocidad de reacción, incluso si el catalizador es muy activo.

### ❖ Transferencia de calor:

- ✓ Muchas reacciones catalíticas son exotérmicas (liberan calor) o endotérmicas (absorben calor).
- ✓ Un control inadecuado de la temperatura puede llevar a "puntos calientes" (puntos calientes) en reacciones exotérmicas, lo que puede dañar el catalizador (sinterización, desactivación) o generar productos no deseados.
- ✓ Se utilizan sistemas de enfriamiento o calentamiento (ej. camisas, tubos internos con fluido refrigerante/calefactor) para mantener la temperatura óptima.



## 6.4. Factores clave en el diseño y operación de reactores

- ❖ Caída de presión:
  - ✓ o En reactores de lecho fijo, el flujo de fluidos a través del lecho de partículas genera una resistencia, resultando en una caída de presión.
  - ✓ o Una caída de presión excesiva aumenta los costos de bombeo y puede afectar la cinética de la reacción. El tamaño y la forma de las partículas del catalizador influyen en esto.
- ❖ Forma y tamaño del catalizador:
  - ✓ o La forma (pellets, esferas, anillos, extrudados, monolitos) y el tamaño de las partículas de catalizador influyen en la caída de presión, la transferencia de masa y calor, y la resistencia mecánica.
  - ✓ Por ejemplo, los monolitos (estructuras cerámicas o metálicas con canales paralelos) se utilizan en catálisis ambiental por su baja caída de presión y alta área superficial geométrica.
- ❖ Cinética de reacción:
  - ✓ La velocidad a la que ocurre la reacción es un factor fundamental. El reactor debe diseñarse para proporcionar el tiempo de residencia y las condiciones necesarias para alcanzar la conversión deseada.
  - ✓ La velocidad a la que ocurre la reacción es un factor fundamental. El reactor debe diseñarse para proporcionar el tiempo de residencia y las condiciones necesarias para alcanzar la conversión deseada.

- Los reactores catalíticos son sistemas complejos donde la ingeniería química y la ciencia de los catalizadores se unen.
- Un diseño óptimo del reactor es crucial para maximizar la eficiencia del proceso, la producción y la rentabilidad.
- Comprender los diferentes tipos de reactores y los factores que influyen en su operación es esencial para cualquier profesional en el campo de la catálisis industrial.

