

Reactores químicos

Los reactores, en los cuales se fabrican productos químicos en la industria, varían en tamaño desde unos pocos cm^3 a vastas estructuras que a menudo se representan en fotografía de plantas industriales. Por ejemplo, los hornos que producen cal de piedra caliza pueden ser más de 25 metros de altura y mantener, al mismo tiempo, más de 400 toneladas de materiales.

El diseño del reactor está determinada por muchos factores, pero de particular importancia son la termodinámica y la cinética de las reacciones químicas que se llevan a cabo.

Los dos tipos principales de reactor se denominan *por lotes* también conocidos como “*batch*” o “discontinuos” y continuos.

REACTORES BATCH O DISCONTINUOS

Los reactores discontinuos se utilizan para la mayoría de las reacciones llevadas a cabo en un laboratorio. Los reactivos se colocan en un tubo de ensayo, frasco o vaso de precipitados. Se mezclan juntos, a menudo se calientan para que la reacción tenga lugar y luego se enfrían. Los productos se vierten y, en caso necesario, se purifican.

Este procedimiento también se lleva a cabo en la industria, la diferencia clave radica en el tamaño del reactor y las cantidades de reactivos.

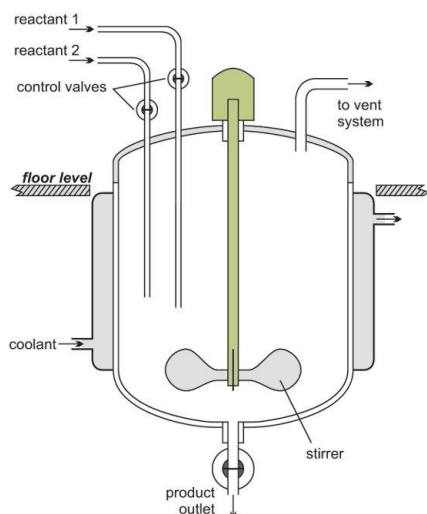


Figura 1. Reactor Batch

Después de la reacción, el reactor se limpia para agregar otro lote de reactivos.

Los reactores *discontinuos* o tipo *batch* se usan usualmente cuando una compañía quiere producir una gama de productos que involucran diferentes reactivos y condiciones de operación del reactor. Entonces ellos usan el mismo equipo para estas reacciones.

Un ejemplo de proceso en el cual se usa reactor discontinuo incluye la manufactura de colorantes y margarina.



Figura 2. Colorantes producidos en un reactor batch.

La parte superior del reactor es a nivel del suelo y el resto del reactor se suspende por debajo de ella.

REACTORES CONTINUOS

Una alternativa a un proceso discontinuo, tipo *batch* o ‘por lotes’ es alimentar, por un punto, continuamente al reactor los reactivos correspondientes, permitir que la reacción tenga lugar y retirar los productos por otro extremo. Debe haber una *tasa de flujo igual* de reactivos y productos. Los reactores continuos rara vez se utilizan en el laboratorio. Un ablandador de agua puede ser un ejemplo de proceso continuo. El agua dura de la red eléctrica se pasa a través de un tubo que contiene una resina de intercambio iónico. La reacción se lleva a cabo en el tubo y el agua blanda sale por el otro extremo.

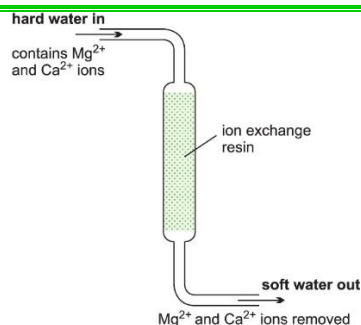


Figura 3. Reactor continuo

Los reactores continuos se instalan normalmente cuando se están produciendo grandes cantidades de un producto químico. Es importante que el reactor pueda operar durante varios meses sin detenerse.

El tiempo de residencia en el reactor está definido por la tasa de alimentación de los reactivos al reactor. Por ejemplo, si un reactor tiene un volumen de 20 m^3 y la tasa de alimentación de reactivos es $40 \text{ m}^3/\text{h}$, entonces el tiempo de residencia es $t_r = (20/40) = 0,5 \text{ h}$. Es sencillo controlar con precisión la tasa de flujo de reactivos. El volumen se fija y por tanto el tiempo de residencia en el reactor está también bien controlado.

El producto tiende a ser *de mayor calidad en un reactor continuo* debido a que los parámetros de reacción (es decir, tiempo de residencia, temperatura y presión) están mucho mejor controlados que en los procesos *discontinuos* o tipo 'batch'.

También producen menos residuos y requieren un almacenamiento de materias primas y productos mucho menor resultando en una operación más eficiente. Los costos de capital por tonelada de producto producido en consecuencia son más bajos. La principal desventaja es su falta de flexibilidad una vez que el reactor se ha construido, pues sólo en casos raros se puede utilizar para llevar a cabo una reacción química diferente.

Tipos de reactores continuos

La industria utiliza varios tipos de reactores continuos.

(A) *Reactores tubulares*. Los fluidos fluyen a altas velocidades. Mientras los reactivos fluyen, por ejemplo a lo largo de una tubería calentada, se van convirtiendo en productos (Fig. 4). A estas altas velocidades, los productos son incapaces de difundirse hacia atrás y por tanto hay poco

o nada de re-mezclado. Las condiciones se conocen como *flujo tapón*. Esto reduce la aparición de reacciones laterales y aumenta el rendimiento del producto deseado.

Con una velocidad de flujo constante, las condiciones en cualquier punto permanecen constantes con el tiempo y los cambios en el tiempo de la reacción se miden en términos de la posición a lo largo de la longitud del tubo.

La velocidad de reacción es más rápida en la entrada de la tubería debido a que la concentración de los reactivos está en su nivel más alto y la velocidad de reacción se reduce a medida que los reactivos fluyen a través de la tubería debido a la disminución en la concentración del reactivo.



Figura 4. Un reactor tubular utilizado en la producción de metil 2-metilpropenoato.

El reactor de la Fig. 4 se calienta mediante vapor de alta presión que tiene una temperatura de 470 K y se alimenta en el punto 1 y los productos salen en el punto 2. Este tipo de reactores tubulares se utiliza, por ejemplo, en el craqueo con vapor de etano, propano y butano y nafta para producir alquenos.

(B) *Reactores de lecho fijo*. Un catalizador heterogéneo se utiliza con frecuencia en la industria en la que fluyen los gases a través de un catalizador sólido (que es a menudo con forma de pequeños gránulos para incrementar el área superficial). Se describe a menudo como un lecho fijo (*Fixed Bed*) de catalizador. (Ver Fig. 5). Entre los ejemplos de su uso están la fabricación de ácido sulfúrico (el proceso de Contacto con el

óxido de vanadio como catalizador), la manufactura de ácido nítrico y la fabricación de amoníaco (el proceso Haber, con hierro como catalizador).

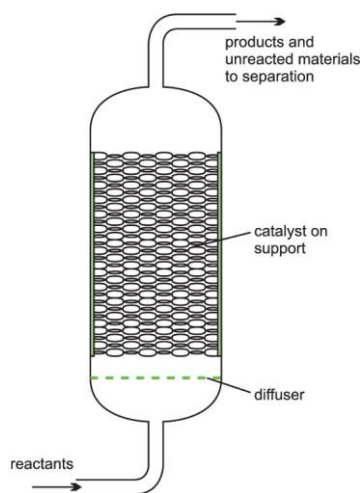


Figura 5. Reactor de lecho fijo (fixed bed)

Un ejemplo adicional de un reactor de lecho fijo está en el reformado catalítico de nafta para producir alcanos de cadena ramificada, cicloalcanos e hidrocarburos aromáticos utilizando generalmente platino o una aleación de platino-renio sobre un soporte de alúmina.

(C) *Reactores de lecho fluidizado (Fluid Bed)*. Un reactor de lecho fluidizado se utiliza algunas veces cuando las partículas del catalizador, que son muy finas se colocan en una placa distribuidora. Cuando los reactivos gaseosos pasan a través de la placa distribuidora, las partículas se van con los gases formando un fluido (Fig. 6). Esto asegura muy buena mezcla de los reactivos con el catalizador, con alto contacto entre las moléculas gaseosas y el catalizador y una buena transferencia de calor. Esto da lugar a una *reacción rápida* y una mezcla uniforme, reduciendo la variabilidad de las condiciones del proceso.

Un ejemplo de la utilización de reactores de lecho fluidizado se encuentra en la oxiclорación de eteno a cloroeteno (cloruro de vinilo), la materia prima para el polímero policloroeteno (PVC). El catalizador es de cloruro de cobre (II) y cloruro de potasio depositados sobre la

superficie de la alúmina. Este apoyo es tan sutil que actúa como un fluido cuando los gases pasan a través de él.

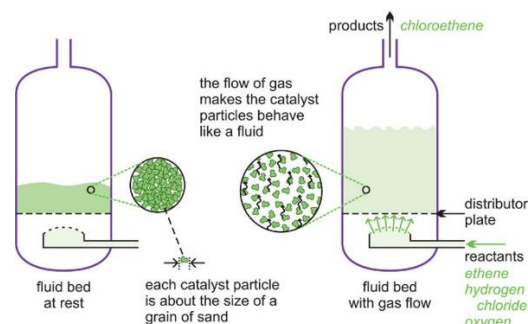


Figura 6. Reactor de lecho fluidizado. En el lado izquierdo las partículas están en reposo. En el lado derecho, las partículas están actuando como un fluido, mientras los reactivos gaseosos pasan a través del sólido.

Otro ejemplo es el craqueo catalítico de aceite gaseoso para producir alquenos (eteno y propeno) y gasolina con un alto índice de octano.

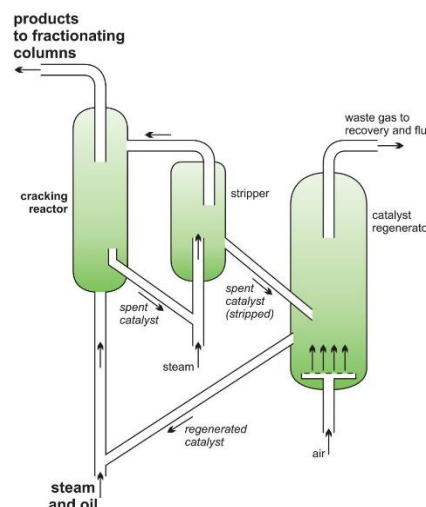


Figura 7. Un craqueo catalítico para producir alquenos a partir de aceite gaseoso.

Un catalizador de sílice-alúmina se utiliza, pero las partículas finas de carbono se depositan rápidamente sobre su superficie y el catalizador rápidamente se vuelve inefectivo. El catalizador, aún en forma de fluido, es regenerado mientras pasa a un segundo recipiente donde es calentado fuertemente en aire (algunas veces con oxígeno agregado) quema el carbono (fig. 7) y luego regresa a la zona de reacción y se mezcla con gasolina.

Estos reactores son más grandes que los reactores de lecho fluidizado y son más costosos de

construir. Sin embargo, es más fácil de controlar las condiciones de operación y el proceso es más eficiente.



Figura 8. Parte de la planta de craqueo catalítico en Fawley al sur de Inglaterra.

1 → Columna de fraccionamiento para eliminar y recuperar butanos.

2 → Regenerador del catalizador

3 → Columna de fraccionamiento para remover y recuperar etano.

(D) *Reactores de tanque agitado continuos (CSTR)*. En un CSTR, uno o más reactivos –por ejemplo, en solución o como una suspensión– se introducen en el reactor equipado con un impulsor (agitador) y los productos se extraen continuamente. El impulsor agita los reaccionantes vigorosamente para asegurar una buena mezcla de tal modo que hay una composición uniforme en todo el sistema.

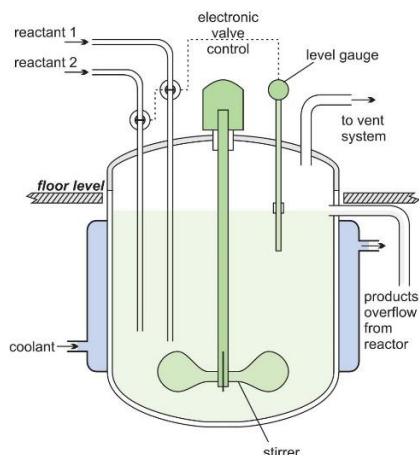


Figura 9. Diagrama que ilustra un reactor de tanque agitado continuo.

La composición a la salida es la misma del reactor. Estas son exactamente las condiciones opuestas a aquellas en un reactor de flujo tubular donde no hay prácticamente ninguna mezcla entre reactivos y productos.

Un estado estacionario se debe alcanzar cuando la tasa de flujo que ingresa al reactor es igual que la tasa de flujo que sale, pues de otro modo el tanque estaría vacío o desbordado. El tiempo de residencia se calcula dividiendo el volumen del tanque entre la tasa de flujo volumétrico promedio. Por ejemplo, si el flujo de reactivos es $10 \text{ m}^3/\text{h}$ y el volumen del tanque es 1 m^3 , el tiempo de residencia es $1/10 \text{ h}$, es decir, 6 minutos.



Figura 10. Un reactor CSTR usado para fabricar polietileno al por mayor.

Un reactor CSTR se usa, por ejemplo, en la producción de la amida intermedia formada en el proceso de producción de metil 2-metilpropenoato. Ácido sulfúrico y 2-hidroxi-2-metilpropanonitrilo se alimentan al tanque a una temperatura de 400 K . el calor generado por la reacción se remueve alimentando agua a través de serpentines de refrigeración y el tiempo de residencia es de aproximadamente 15 minutos.

Una variación del CSTR es el reactor de bucle que es relativamente simple y barato de construir (fig. 11). En el diagrama se muestra un

único bucle. Sin embargo, el tiempo de residencia en el reactor se ajusta mediante la alteración de la longitud o el número de los bucles en el reactor.

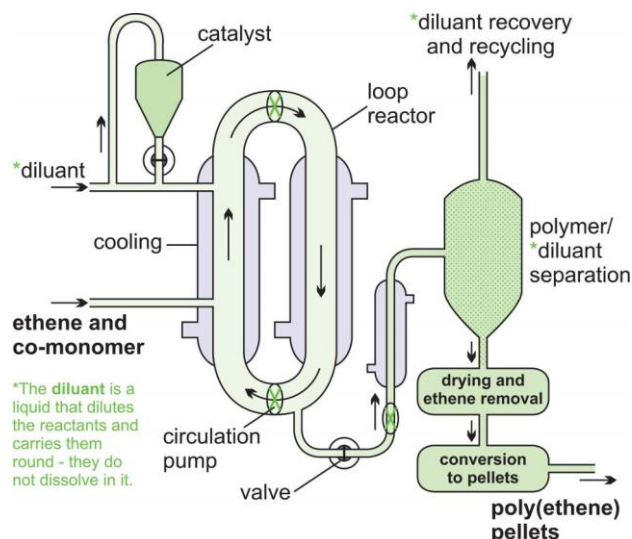


Figura 11. Diagrama que muestra un reactor de bucle utilizado en la producción de Polietileno.

Los reactores de bucle se utilizan, por ejemplo, en la manufactura de polietileno y de polipropeno. Se mezcla eteno (o propeno) con el catalizador, bajo presión, con un diluyente, por lo general un hidrocarburo. Se produce una suspensión que es calentada y circulada alrededor de los bucles. Las partículas de polímero se reúnen en la parte inferior de una de las patas de bucle y, con algo de diluyente hidrocarbonado, se liberan continuamente desde el sistema. El diluyente se evapora, dejando el polímero sólido, y luego se enfría para reformar un líquido y pasarlo de nuevo al sistema de bucle, recirculando así el hidrocarburo.

INTERCAMBIADORES DE CALOR

La mayoría de las reacciones químicas son más rápido a temperaturas más altas y los intercambiadores de calor se usan con frecuencia para proporcionar el calor necesario para aumentar la temperatura de la reacción.

Un intercambiador de calor común es el de tipo carcasa y tubos (Shell and tube) (fig. 12 y 13) donde una parte del proceso fluye a través de un tubo y la otra parte alrededor de la carcasa.

Un buen ejemplo donde el intercambiador de calor es importante es en la fabricación de trióxido de azufre a partir de dióxido de azufre en el proceso de contacto donde el exceso de calor se usa para calentar los gases entrantes.

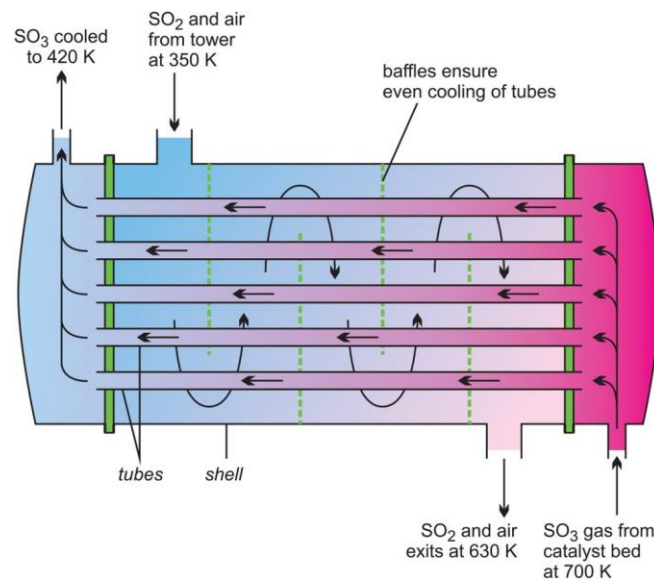


Figura 12. Ilustración de un intercambiador de calor usado para fabricar trióxido de azufre.

El calor de la reacción es transferido a los gases entrantes a través de la pared del tubo (fig. 12) y la *tasa de transferencia de calor* es proporcional a:

- La diferencia de temperatura entre los gases calientes y los gases entrantes y
- El área superficial total de los tubos



Figura 13. Este intercambiador se usa para producto de enfriamiento con agua que ingresa a la carcasa por el lado 1 y la abandona en 2. El producto a enfriarse fluye a través de los pequeños tubos.