



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL ROSARIO
DEPTO. DE INGENIERÍA QUÍMICA**

CATEDRA DE INTEGRACIÓN II



INTRODUCCION

Introducción: En una planta química, para obtener el producto final deseado, el proceso se realiza en varias etapas, que podrían ser las siguientes: recepción de las materias primas, preparación de las mismas, mezcla de los reactantes y catalizadores (si hubiera) en las proporciones adecuadas, reacción propiamente dicha, separación de los productos obtenidos el producto final deseado, purificación del mismo, etc. Como se ve, la metodología utilizada es muy similar a la obtención de un producto en el laboratorio.

En las etapas mencionadas anteriormente se pueden realizar procesos netamente físicos (es decir que las especies químicas que intervienen no cambian), en donde no se produce una reacción química, aunque las mismas pueden cambiar de fase o estado) o procesos químicos (donde por medio de una reacción química las especies químicas cambian).

Las etapas en donde se producen cambios netamente físicos se denominan **operaciones unitarias** y las etapas donde se produce una reacción química se llaman **procesos unitarios**.

Las operaciones unitarias normalmente se dividen dos grandes ramas, que son las siguientes:

- Operaciones unitarias difusionales
- Operaciones unitarias no difusionales.

Las **operaciones unitarias difusionales** son todas aquellas en donde se establece un equilibrio dinámico entre fases, ya sea líquido – vapor, líquido – líquido o líquido – sólido.
 Las **operaciones unitarias no difusionales** son aquellas en donde **no** se establece un equilibrio entre fases.

Las primeras se estudian en **Operaciones Unitarias II** (5^{to} cuatrimestre) y las segundas en **Operaciones Unitarias I** (4^{to} cuatrimestre).

A manera de ejemplo, se pueden nombrar entre las **operaciones unitarias difusionales** más importantes a las siguientes:

Operación Unitaria	Objetivo	Ejemplo
Destilación	Separar dos (o más) líquidos volátiles (es decir que tienen sus puntos de ebullición a temperaturas relativamente bajas) en sus componentes puros, o obtener cortes de un determinado rango de temperatura de ebullición. Se establece un equilibrio líquido – vapor (L – V)	Destilación del petróleo para obtener nafta, gas oil, etc. Destilación de una mezcla de alcohol – agua para obtener alcohol de 96°.
Evaporación	Concentrar una solución diluida de un soluto no volátil (que tenga un punto de ebullición muy elevado) a fin de obtener una solución concentrada por ebullición de la solución eliminado así el solvente volátil. Se establece un equilibrio L – V.	Obtención de soluciones concentradas de NaOH a partir de soluciones diluidas.
Cristalización	Obtener a partir de una solución concentrada de un soluto no volátil y un solvente volátil, el cristal más o menos puro del soluto, por enfriamiento de la solución o por eliminación del solvente	Obtención de cristales de azúcar a partir de sus soluciones.

	volátil. Se establece un equilibrio S – L.	
Secado	Eliminar de un sólido algún líquido volátil que lo embeba, haciéndole pasar un gas sobre el sólido. Es un equilibrio L – V.	Secado de cereales.
Extracción líquido - líquido	Extracción de un soluto (líquido ó sólido) disuelto en un determinado solvente por medio de otro solvente (insoluble o parcialmente soluble en el primero) en donde el soluto es más soluble. Se establecen equilibrios L -L	
Extracción sólido – líquido	Extracción de un soluto líquido disuelto en un solvente sólido por medio de un solvente líquido.	Obtención de aceites vegetales a partir de distintas semillas (girasol, soja, etc.) por medio de un solvente orgánico.
Acondicionamiento de aire	Calentamiento o enfriamiento de aire.	Secado de granos o enfriamiento de una cámara de un frigorífico.

Entre las operaciones unitarias no difusionales se pueden nombrar a las siguientes:

Flujo de fluidos
Molienda
Tamizado
Sedimentación
Filtración
Centrifugado
Transporte de sólidos

Por ser más simples en sus cálculos, las operaciones unitarias no difusionales se estudian primero.

Como se comentó anteriormente, si en una etapa se produce alguna reacción química, esta se denomina **proceso unitario**. Un proceso unitario puede ser cualquiera de las reacciones que se presentan a continuación:

Alcoholisis
Alquilación
Aminación por reducción
Amoniólisis
Aromatización o ciclización
Calcinación
Carboxilación
Causticación
Combustión (oxidación no controlada)
Condensación
Deshidratación
Deshidrogenación
Diazoación y acoplamiento
Electrólisis
Esterificación
Fermentación
Formación de silicatos
Halogenación

Hidroformilación (oxo)
Hidrogenación, hidrogenólisis
Hidrólisis e hidratación,
Intercambio iónico
Isomerización
Neutralización
Nitración
Oxidación (controlada)
Pirolisis o desintegración
Polimerización, etc.

Lo más importante de un proceso unitario no es el equipo en sí (que es un reactor) si no el mecanismo de la reacción, la velocidad de la misma o el equilibrio que se puede alcanzar; esto se estudia en Química General e Inorgánica, Química Orgánica o Físico Química.

En general, todos los equipos utilizados en las operaciones unitarias tienen algún tipo de equivalencia con los aparatos utilizados en el laboratorio (destilación, evaporación, cristalización, filtración, etc.)

Una **operación unitaria** o un **proceso unitario** también se pueden dividir de la siguiente forma:

- **Continuos (o flow):** en este caso, en cada etapa las materias primas o los reactantes entran en forma continua al equipo y los productos también lo hacen de la misma forma.
- **Discontinuos (o batch):** en este caso, el equipo se carga con la alimentación, se realiza la operación o el proceso y luego se descarga el producto.

Una operación o proceso unitario continuo puede operar de dos formas:

- **En estado estacionario:** cuando todos los parámetros que definen las corrientes que llegan o salen del equipo, como así también los que controlan el equipo (temperatura, presión, caudal, pH, etc.) no varían con el tiempo.
- **En estado no estacionario:** cuando los parámetros mencionados anteriormente varían con el tiempo. Esta situación normalmente sucede cuando se pone en marcha (o se para) una planta o un equipo determinado.

En una operación o proceso unitario que trabaja en estado estacionario se puede dar dos casos:

- Que el caudal másico de las materias primas o los reactantes sea igual al caudal másico de los productos obtenidos, con lo cual se dice que está trabajando **sin acumulación**.
- que el caudal másico de las materias primas o los reactantes no sea igual al caudal másico de los productos obtenidos con lo cual se dice que se está trabajando con **acumulación positiva** (cuando en el equipo o la

planta el caudal de los reactantes es mayor que la de los productos) o **acumulación negativa** (en forma inversa).

En general, en todas las plantas químicas, todos los equipos que forman parte de las operaciones unitarias son muy similares entre sí; por ejemplo, un intercambiador de calor o una bomba centrífuga utilizados en una planta alimenticia o en una petroquímica son muy iguales entre sí (pueden variar el material de construcción) por lo que las operaciones unitarias se estudian operación por operación y no equipos de cada proceso industrial.

Como se dijo anteriormente, una planta química está constituida por varias etapas que se denominan **operaciones unitarias** o **procesos unitarios**; si la planta está trabajando en forma continua, estas etapas tendrán que estar conectadas entre sí por medio de corrientes que transporten los productos de una etapa a la otra. Estas corrientes se denominan corrientes de procesos y pueden transportar productos al estado sólido, líquido o gaseoso. Si una planta química se la quiere representar gráficamente, normalmente se hace por medio de un **flow-sheet** (diagrama de flujos) donde cada operación (o proceso) se representa por medio de un símbolo o por un simple rectángulo, estando cada etapa unida por líneas que representan las corrientes. En este apunte se muestran diagramas de flujo que tienen la ventaja que permiten la reunión y el examen de una cantidad de información en un espacio pequeño. Hay gran número de tipos de diagramas de flujo: algunos muestran flujos simples, otros balances de materiales, y unos cuantos son tan completos que incluyen drenajes, líneas contra incendios y líneas especiales de arranque. Los diagramas de flujo que se muestran aquí a su máxima simplicidad están destinados a mostrar principios más que detalles.

Por ejemplo, en la **Figura 1** se representa un flow-sheet sencillo de una planta para producir etilenglicol.

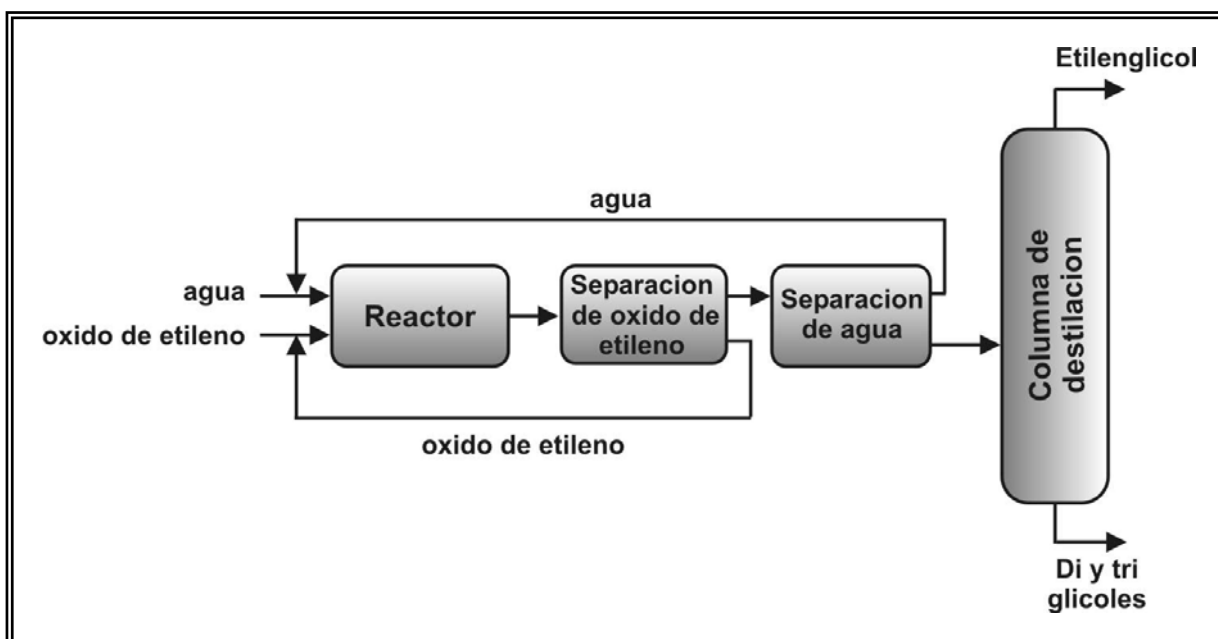


Figura 1

En la **Figura 2** se presenta un diagrama de flujo de una planta para producir mono cloro decano.

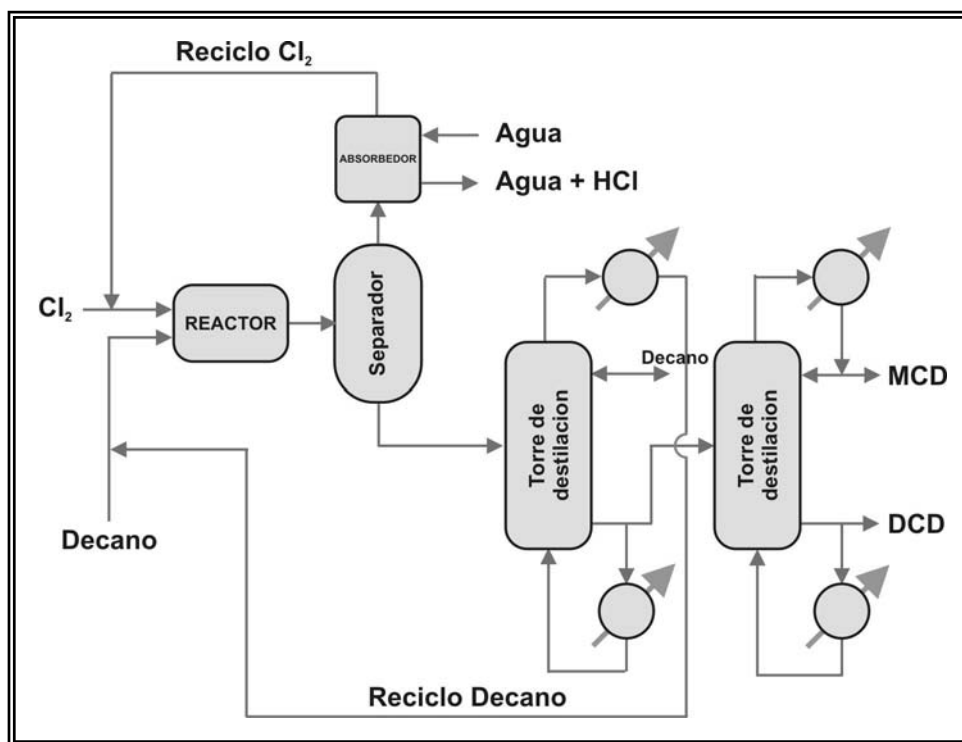


Figura 2

En la **Figura 3** se muestra un diagrama de flujo de una planta para producir dodecil benceno sulfonato de sodio (la materia prima utilizada para la fabricación de detergentes) en donde cada equipo ahora se muestra con un símbolo y a su vez han sido codificados con un código alfanumérico.

Es común, también, presentar los diagramas de flujo en donde se incluyen no solo los equipos y corrientes sino también los instrumentos de control. Estos diagramas se denominan **P&I** (Piping and Instrument). Un diagrama de este tipo se muestra en la **Figura 4**.

Corrientes de procesos: como se observa en los flow-sheet mostrados, todas las etapas que integran una planta química están conectadas entre si por medio de corrientes (que en estos diagramas se representan por medio de simples líneas rectas, con una punta de flecha que indica la dirección de la corriente). Estas corrientes transportan las materias primas (o los productos) de una etapa a otra, que puede estar en estado sólido, líquido o gaseoso. Estas corrientes, al igual que los equipos, deben estar codificadas por medio de algún código alfanumérico. De todas maneras, dependiendo de que tipo de corrientes se trate, reciben distintas denominaciones.

Normalmente, al estudiar alguna planta química (o alguna etapa de ella), ya sea para realizar el cálculo de los equipos, desarrollar un balance de materia y energía, un cálculo económico, etc. la sección a estudiar se delimita con una línea (o un rectángulo) que se denomina **límites del sistema**. Las corrientes que entran a esa etapa en estudio y cruzan los límites del sistema se denominan **afuentes**; las que salen del sistema, **efuentes**.

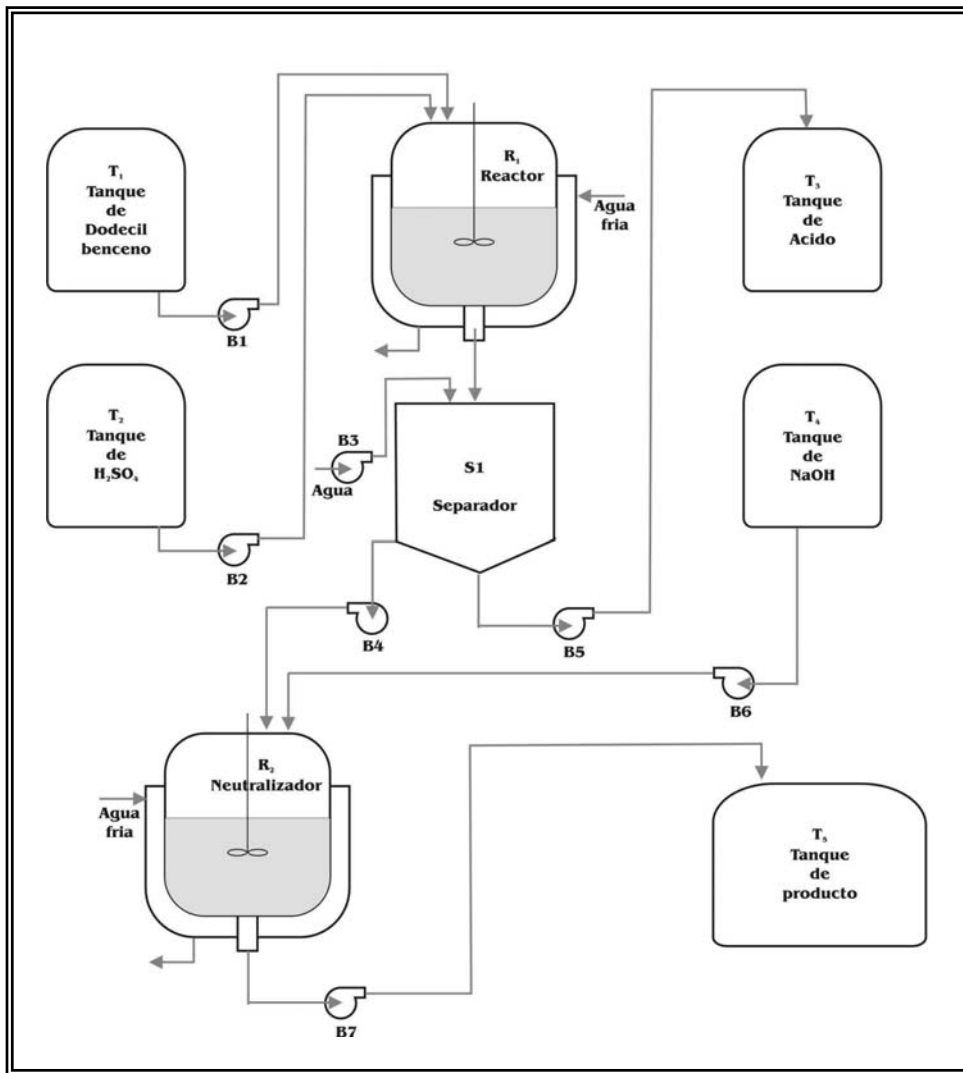


Figura 3

Entre todas las corrientes que se utilizan en un sistema determinado, se pueden destacar las siguientes: de **recirculación**, de **purga** y de **by pass**.

A manera de ejemplo, la corriente de recirculación se utiliza cuando en un reactor (que se alimenta con determinados reactantes) la reacción no se llega a completar totalmente (ya por que la reacción llega a su punto de equilibrio) con los cual el efluente del reactor no solamente contiene los productos deseados sino también reactantes. Esta corriente se envía a algún tipo de separador que separa los productos deseados de los reactantes, que son devueltos al reactor. Por ejemplo, el método para obtener amoníaco consiste en hacer reaccionar directamente N₂ con H₂ a alta presión y a una temperatura determinada sobre un catalizador metálico:



Esta reacción llega a un equilibrio dinámico (que depende de la temperatura y presión de trabajo) pero que normalmente no supera el 30 % molar de conversión de los reactantes. La corriente de salida del reactor (que contiene NH₃, H₂ y N₂) se envía a un separador (no importa ahora cual es su funcionamiento) que devuelve el H₂ y N₂ al reactor (corriente de recirculación) y recupera el NH₃.

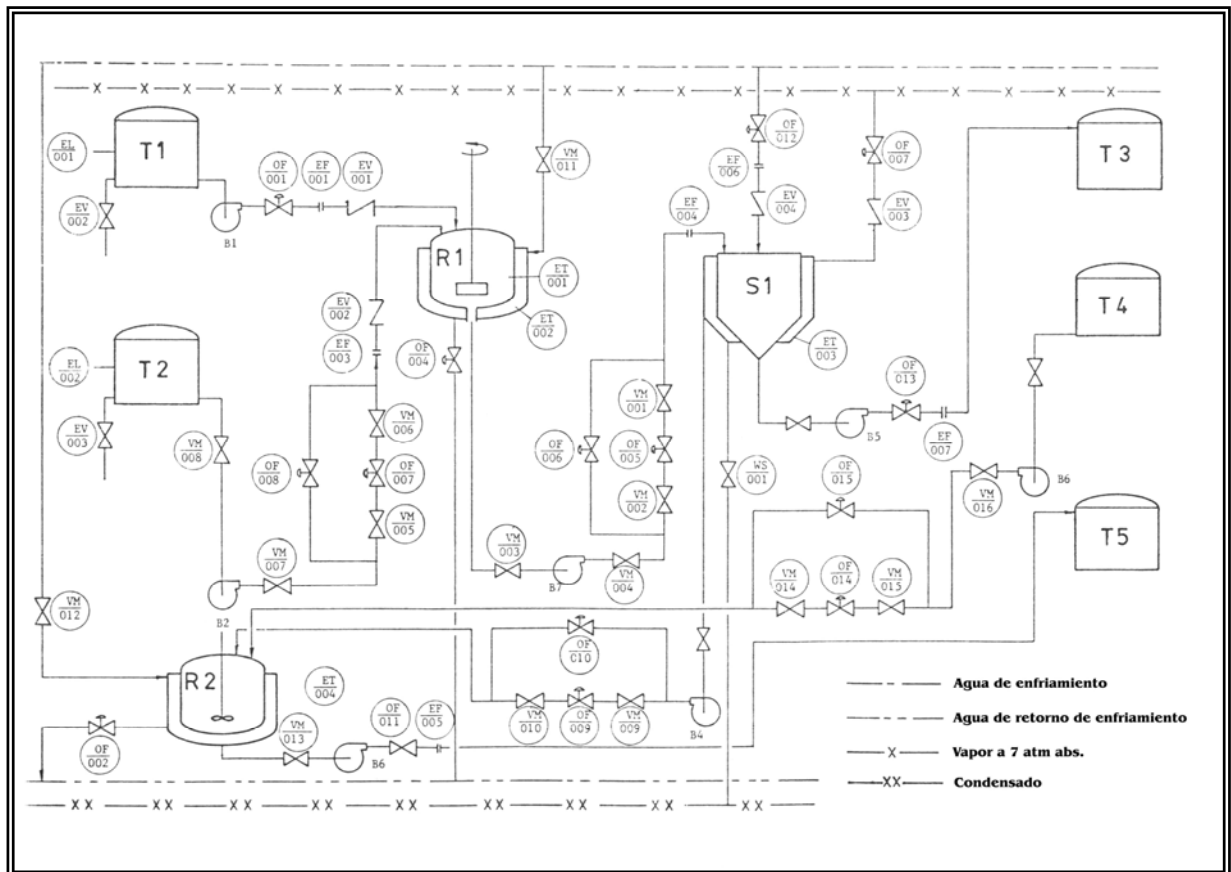


Figura 4

Para ejemplificar la corriente de purga se puede utilizar el proceso de obtención del NH_3 visto anteriormente. El H_2 para producir esta reacción se puede obtener de varias maneras (una es por vía electrolítica) pero casi siempre este tiene un alto grado de pureza; el N_2 normalmente se obtiene por destilación del aire, con lo cual casi siempre arrastra algo de argón (hay que tener en cuenta que el aire está compuesto por un 21 % de oxígeno, 78 % de nitrógeno y 1 % de argón). Si se utiliza este nitrógeno para producir NH_3 , el efluente del reactor ahora contendrá NH_3 , N_2 , H_2 y Ar. El separador dividirá esta corriente en otras dos, una que contiene N_2 , H_2 y Ar y otra con NH_3 . Como se deduce el argón entra al sistema y permanece, comenzándose a acumular en el mismo (si no se toma ninguna medida). Al acumularse argón en el sistema, la conversión de los reactantes comienza a disminuir, con lo cual llegará un momento en que la operación se hace antieconómica por la disminución de la conversión. A fin de evitar esto, se realiza una purga en el sistema (que normalmente es continua) a fin de disminuir la cantidad de argón en el sistema (que como resulta muy oneroso separarlo del H_2 y N_2 , se traduce en una pérdida de reactantes) En la **Figura 5** se muestra un flow-sheet simplificado de una planta de NH_3 donde se ejemplifican las corrientes de recirculación y purga.

La corriente de by-pass se puede ejemplificar de la siguiente manera: supóngase que se quiere calentar un determinado fluido desde una temperatura t_1 hasta t_2 por medio de un intercambiador de calor. Esto se podría hacer de dos formas: una es utilizar un simple intercambiador de calor que eleve la temperatura de toda la corriente a la deseada o sino dividir la corriente en otras dos, enviar una a

un intercambiador más chico, que eleve su temperatura a un valor t_3 mayor que t_2 y luego mezclarla con la corriente que no pasó por el intercambiador (y que está a la temperatura t_1) para que después de la mezcla se llegue a la temperatura t_2 . La corriente que no pasa por el intercambiador se denomina corriente de by-pass. Utilizar uno u otro sistema para realizar este proceso depende de un cálculo económico. Esto se muestra en la **Figura 6**.

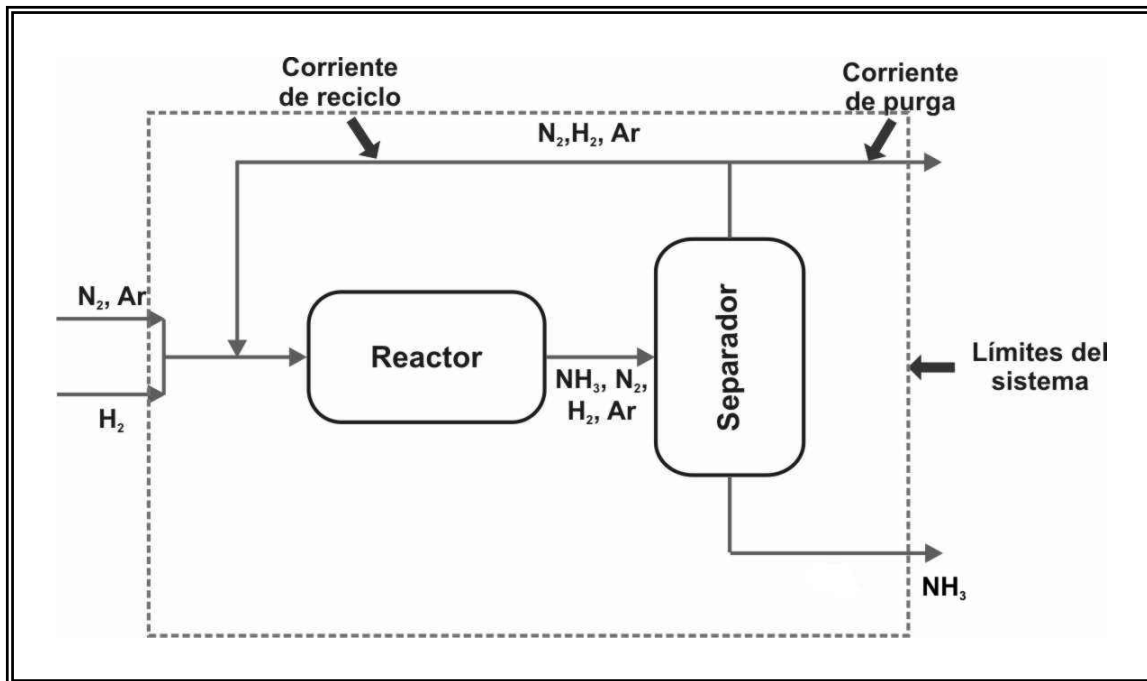


Figura 5



Figura 6