

Programa de la asignatura:

# Balance de materia y energía

## U1

El balance de materia-energía y la  
ingeniería



DCSBA



BIOTECNOLOGÍA



## Índice

Presentación.....	2
Propósitos de la unidad.....	3
Competencia específica.....	4
1.1. Procesos.....	4
1.1.1. Ubicación de los diferentes balances.....	4
1.1.2. Balance dinámico con reacción química.....	5
1.1.3. Balance dinámico sin reacción química.....	8
1.2. Variables y operaciones unitarias.....	10
1.2.1. Variables fundamentales de fisicoquímica.....	10
1.2.2. Representación gráfica de variables de las operaciones unitarias y procesos.....	13
1.3. Tipos de diagramas.....	15
1.3.1. Diagramas de flujo.....	16
1.3.2. Diagramas de bloque.....	16
1.3.3. Diagramas de instrumentación.....	19
1.4. Análisis y Aplicación.....	19
1.4.1. Modelado.....	20
1.4.2. Simulación.....	20
1.4.3. Estado dinámico.....	21
1.4.4. Aplicaciones del estado dinámico.....	21
Actividades.....	24
Autorreflexiones.....	24
Cierre de la unidad.....	24
Para saber más.....	25
Fuentes de consulta.....	26



### Presentación

Existen diferentes productos como son los alimenticios, farmacéuticos, agrícolas etcétera. La elaboración de estos productos a escala industrial es un asunto muy importante para la sociedad moderna. Por eso mismo los alimentos, químicos y fármacos, se encuentran en el área de aplicación de los Ingenieros en Biotecnología especialmente en lo que se refiere al diseño y soluciones de procesos. Para lograr esto con calidad y efectividad es indispensable tener un control y evaluación en las etapas de producción para garantizar que el producto obtenido sea el adecuado en composición y calidad para el consumidor final.

En el contexto descrito, los **balances de materia** se emplean para determinar rendimientos de los procesos, con esta herramienta se cuantifica la porción de producto obtenido por cantidad de materia prima suministrada en el proceso, esto permite reducir al máximo las mermas de materias primas y optimizar recursos en plantas industriales.

Por otra parte, los **balances de energía** son necesarios cuando se diseña una planta industrial debido a que proporcionan información acerca de la potencia requerida de bombas para transporte de fluidos, el tiempo para realizar el secado de productos, la cantidad de calor que adsorbe o libera un equipo en una fábrica. Estos son sólo algunos ejemplos que ilustran la importancia de identificar y realizar balances de energía en el diseño de plantas productivas.

En esta unidad conocerás las herramientas básicas y los conceptos para el análisis del balance de materia y energía en la Ingeniería, los cuales te serán útiles en la elaboración de procedimientos y técnicas que conduzcan a soluciones de ingeniería, también revisarás, propuestas de diseño y aplicaciones de los balances de materia y energía para el diseño de procesos y aplicación de equipos en dichos procesos. El estudio de la unidad comenzará con las **definiciones de proceso** y los **tipos de operaciones unitarias**.

Los procesos en ingeniería química son una serie de etapas secuenciales para la obtención de un producto en escala industrial, a las etapas que componen y determinan a un proceso en ingeniería química se les denominan operaciones unitarias, las cuales dependiendo del fenómeno que ocurre en cada una se dividen en operaciones unitarias con proceso físico o químico.

En general en la industria requiere identificar el proceso para la elaboración de un producto biotecnológico, esto se refiere a establecer la secuencia de etapas lógicas para la obtención del producto y/o servicio. Los puntos de control de un proceso industrial se identifican a través del uso de diagramas de flujo.

Una vez definidas e identificadas las etapas (operaciones unitarias) y el proceso, el siguiente paso es determinar las variables que determinan y, por supuesto, controlan el



proceso como son temperatura, presión, flujo másico, flujo volumétrico, etcétera. Para tener una visión global del proceso se emplean diagramas de flujo que son esquemas que ilustran las etapas para la obtención de un producto o servicio.

Posteriormente revisarás la Ley de conservación de materia y se presentan las ecuaciones generales para procesos físicos y procesos con transformación química. Finalmente se mencionan las aplicaciones de los balances en el modelado y simulación de procesos biotecnológicos.

### Propósitos de la unidad



- Identificar las herramientas y elementos de análisis conceptuales básicas de ingeniería química, como son: **el sistema como unidad de proceso industrial, las variables de control de un proceso industrial, las operaciones unitarias empleadas para la elaboración de productos**
- Realizar esquemas que representen los procesos para la elaboración de productos industriales, mediante el manejo de diagramas de flujo y/o equipo aplicado en procesos industriales.



## Competencia específica



**Analizar** los métodos de balance en procesos industriales a través de diagramas de operaciones unitarias.

### 1.1. Procesos

Los procesos industriales son un conjunto de operaciones ordenadas para la transformación de alguna sustancia para la generación de algún producto, donde se realizara un cambio de condiciones propiedades y funcionalidades, dentro de dicho proceso existen diferentes operaciones involucradas. En los procesos se realizan inherentes reacciones químicas, es decir podemos decir que cualquier proceso químico que se pueda diseñar consta de una serie de operaciones físicas y químicas.

#### 1.1.1. Ubicación de los diferentes balances

Existen dos tipos de balances de materia, sin embargo ambos tienen su fundamento en la Teoría de la conservación de la materia propuesta por Antonio Lavoisier que establece que la materia no se crea ni se destruye sólo se transforma, para nuestra área de estudio la podemos enunciar como, la materia que entra a un sistema es la misma que sale del sistema.

La **ecuación general de balance de materia** establece que la materia que entra al sistema es igual materia que sale del sistema + la materia que se genera en el sistema - la materia que se consume en ver el esquema de la **figura 1**.

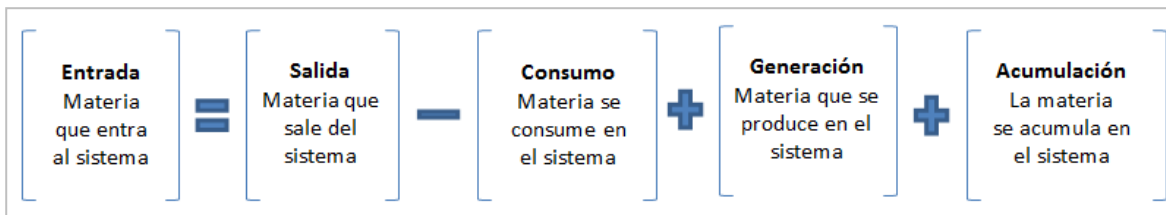


Figura 1. Ecuación general de balance de materia



Te invito a que revisar un ejemplo en el capítulo 4 *Fundamentos de los balances de materia* de Felder, et al (2004) en donde encontrarás ejercicios enfocados a este tema.

**Ejemplo:** cada año llegan 50,000 personas a la ciudad, se van 75,000, nacen 22,000 y mueren 19,000. Un balance de la población de la ciudad es:

$$\text{Entrada personas} - \text{salida personas} + \text{generación personas} - \text{consumo personas} = \text{acumulación}$$

Se representa a las personas con la letra P

$$50,000 \frac{P}{ao} + 22,000 \frac{P}{ao} - 75,000 \frac{P}{ao} - 19,000 \frac{P}{ao} = -22,000 \frac{P}{ao}$$

Es decir, cada año la ciudad pierde 22,000 personas.

### 1.1.2. Balance dinámico con reacción química

Los balances de materia para los sistemas continuos en donde la concentración de materia no cambia con el tiempo, se encuentran en **estado estacionario**, el término de acumulación se hace cero, entonces la ecuación se simplifica y queda de la siguiente manera:

$$\text{Entrada} = \text{salida} + \text{generación} - \text{consumo}$$



Esta es la ecuación que se empleará para realizar el balance de materia en los sistemas para los procesos industriales.

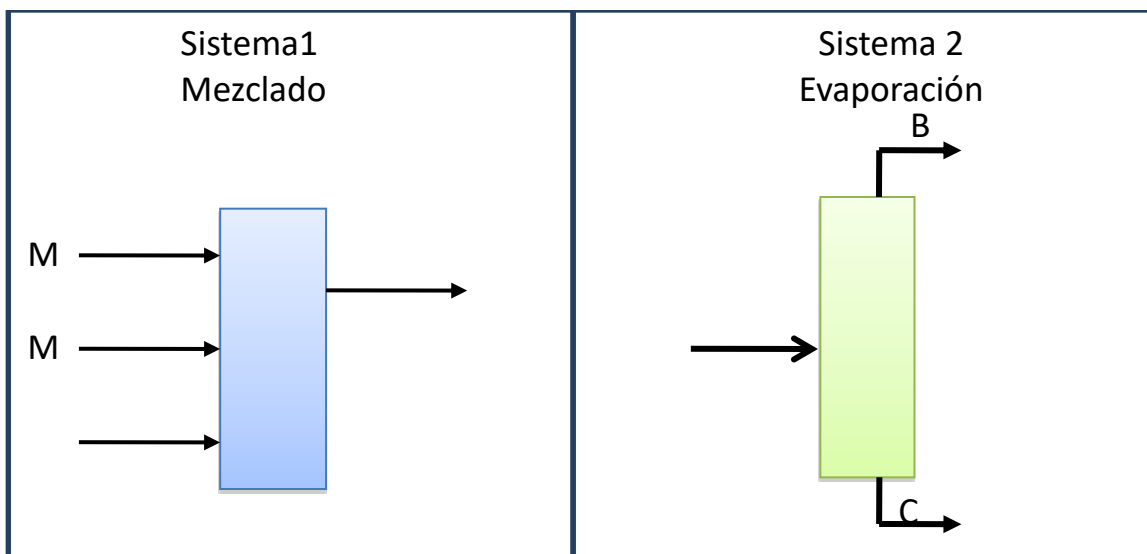
Para realizar **los balances en procesos físicos**, la ecuación general de balance de materia se tiene que adaptar de acuerdo al proceso que se lleva a cabo en la unidad de proceso u operación unitaria.

En los **procesos físicos en donde no ocurre reacción** y además está en estado estacionario, los términos de generación de materia y consumo se hacen cero, por lo tanto la ecuación de balance para procesos físicos se simplifica quedando de la siguiente forma:

$$\text{Entrada de materia} = \text{salida de materia}$$

Esta ecuación de balance se aplica a las operaciones unitarias como la destilación, evaporación, secado, filtración, mezclado, tamizado etcétera.

En este tipo de procesos es importante identificar el número de entradas y salidas del sistema. Vamos a ejemplificar lo mencionado, observa el esquema de la **figura 2**, en el cual se representa los diagramas de bloques de dos sistemas (1 y 2) además que son operaciones unitarias sin reacción.



**Figura 2.** Ejemplos de sistemas en donde las operaciones unitarias en procesos físicos.

Para el **sistema 1**, es un proceso de mezclado, en donde la ecuación de balance de materia queda:



$$\text{Entradas} = \text{salidas}$$

Observa que en este sistema tenemos tres entradas y una salida, entonces el balance de materia para este sistema en particular queda de la siguiente forma:

$$\text{Entrada 1} + \text{entrada 2} + \text{entrada 3} = \text{salida 4}$$

Empleando la simbología queda:

$$M1 + M2 + M3 = M4$$

Para el **sistema 2**, es un proceso físico de evaporación hay una entrada y dos salidas entonces el balance del proceso de evaporación queda:

$$\text{Entrada A} = \text{Salida B} + \text{Salida C}$$

Si empleamos como símbolo de masa a M la ecuación se representa:

$$MA = MB + MC$$

La cual se puede describir la materia que entra en la línea de proceso **A** al evaporador es igual a la materia que sale del evaporador en la línea de proceso **B** más la materia que sale del evaporador en la línea de proceso **C**.

Para los balances de materia en procesos físicos se recomienda realizar primero el diagrama de bloques del proceso con el fin de identificar las entradas y salidas del proceso.

Para las operaciones unitarias en donde hay reacción, se emplea la ecuación general de balances en **procesos químicos**; en estos casos la materia que entra al sistema se transforma, existe generación de productos y consumo de la materia prima.

### 1.1.3. Balance dinámico sin reacción química





La ecuación de balance para **procesos químicos** y en estado estacionario, se emplean los cuatro términos: entrada de materia es igual a la salida de materia más generación de materia y consumo de materia. Esta ecuación de balances de materia se emplea en la fermentación láctica, fermentación alcohólica, combustión, oxidación, etcétera.

$$\text{Entrada} = \text{salida} + \text{generación} - \text{consumo}$$

En los procesos químicos es importante conocer la reacción que se lleva a cabo para identificar los materiales que se generan (producto) y los que se consumen (materia prima). El **balance de materia para la materia prima** la ecuación se simplifica de la siguiente forma. Observa que el término de generación se hace cero y la ecuación se reduce:

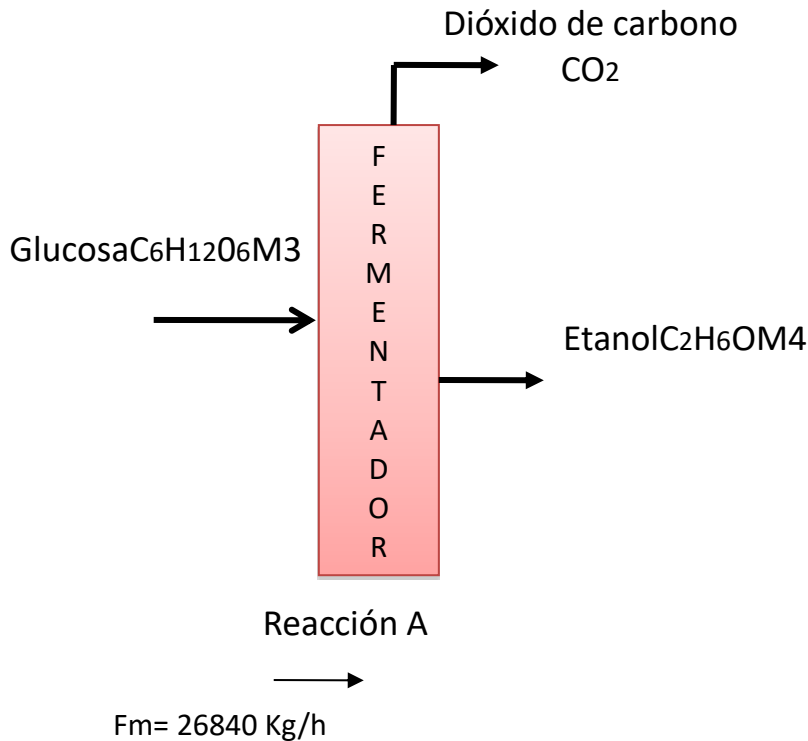
$$\text{Entrada} = \text{salida} + \text{consumo}$$

El **balance de materia para el producto**, los términos de entrada y consumo se hacen cero y la ecuación queda así:

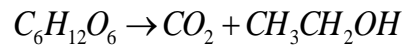
$$\text{Salida} = \text{generación}$$

### Ejemplo de balance de materia para un proceso con reacción.

La obtención de etanol se realiza en un fermentador, empleando como sustrato la glucosa, establecer el balance de materia para la sacarosa y el etanol (ver **figura 3**).



**Figura 3.** Diagrama de flujo por bloques para la fermentación de la glucosa.



Primero es recomendable hacer el diagrama de flujo por bloques para visualizar el proceso, posteriormente colocar la reacción y balancearla.

El balance de materia para la glucosa, queda con tres términos, debido a que en el sistema no hay generación de glucosa, el término se hace cero.

$$\text{Entrada glucosa} = \text{salida de glucosa} + \text{consumo de glucosa}$$

El balance de materia para el producto de interés que es el etanol, para este no hay entrada de etanol y tampoco consumo de etanol entonces el balance de materia es:

$$\text{Salida de etanol} = \text{generación de etanol}$$



En general cuando se realizan balances de materia en procesos químicos se recomienda iniciar el procedimiento con el diagrama por bloques del proceso, posteriormente conocer la reacción y balancearla.

Para cerrar con el tema, recuerda la importancia en la ingeniería de los balances ya que son una herramienta básica, debido a que se emplean frecuentemente para evaluar el rendimiento de procesos e identificar las mermas. En balance de materia y energía existen dos tipos de ecuaciones para balances de materia: cuando en el proceso existe transformación de la materia (reacción) y cuando el proceso es físico.

## 1.2. Variables y operaciones unitarias

Para elaborar un producto industrial es necesario establecer las operaciones unitarias que permiten realizar la transformación de materias primas hasta la presentación final del producto. Cada operación unitaria tiene variables de proceso (propiedades de estado) que caracterizan y controlan el proceso, además constituyen parámetros que permiten seleccionar los equipos y procedimientos tecnológicos (Monsalvo, 2010).

### 1.2.1. Variables fundamentales de fisicoquímica

Las **variables de proceso** se dividen en dos categorías

- **Variables extensivas:** estas son variables que son función de la cantidad de masa, es decir, depende del tamaño del sistema, entre las que se encuentran la masa y el volumen.
- **Variables intensivas:** son variables que son independientes de la cantidad de materia que hay en el sistema, el valor de estas variables no cambia cuando aumenta o disminuye la materia en el sistema. Ejemplos de estas son la presión, temperatura, densidad, viscosidad.

Las variables de proceso más empleadas para el control del funcionamiento de equipos industriales son: la temperatura, la presión y la concentración.

La **temperatura** se puede definir como una medida de la energía cinética promedio de las moléculas de una sustancia, esta variable se cuantifica empleando termómetros y se emplea a escala absoluta, es decir, usando grados kelvin (K).



La **presión** por definición es la fuerza por unidad de área, las unidades de esta variable son: Pascal, Din/cm<sup>2</sup>, mmHg o atmósferas. Existe el barómetro que es un instrumento que se emplea para medir la presión atmosférica.

La presión actúa de diferentes maneras, por ejemplo, un gas encerrado en un recipiente ejerce presión sobre las paredes del recipiente que lo contiene; la presión de un líquido es igual a la altura del mismo sobre ese punto multiplicada por la densidad del líquido (Valiente, 2008). Para medir la presión en recipientes cerrados como son: la autoclave, evaporador, liofilizador se emplea un instrumento denominado manómetro.

La relación para hacer conversiones entre la presión absoluta y la presión manométrica la presenta (Felder, 2004).

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión manométrica} + \text{Presión atmosférica}$$

Respecto a la **concentración**, cabe mencionar que esta variable de proceso tiene varias formas de expresión, sin embargo aquí nos interesa recordar las que se aplican a los balances de materia, como son:

- **Fracción másica (X)**, se emplea cuando se tiene una mezcla de fluidos (gas o líquido). Supongamos una mezcla de dos componentes A y B, la masa total del sistema está dada por:

$$\text{Masa total} = \text{masa de A} + \text{masa de B}$$

$$\text{Entonces la Fracción másica de A en la mezcla: } (X_A) = \frac{\text{masa A}}{\text{masa total}}$$

- **Fracción molar (Y)** se emplea para una mezcla de fluidos (gas o líquido). Supongamos una mezcla de dos componentes A y B, el número de moles total en el sistema es la suma de los moles de los componentes de la mezcla.

$$\text{Moles totales} = \text{moles de A} + \text{moles de B}$$

$$\text{Entonces la fracción molar de A en la mezcla: } Y_A = \frac{\text{moles A}}{\text{moles totales}}$$



Para profundizar en el tema, te invito a que revises el capítulo 3 sobre Procesos y variables de proceso del libro *Principios Elementales de los Procesos Químicos* de Felder, et al (2004).

Por otro lado, para un proceso continuo se emplea la concentración por unidad de tiempo, que puede ser de dos tipos:

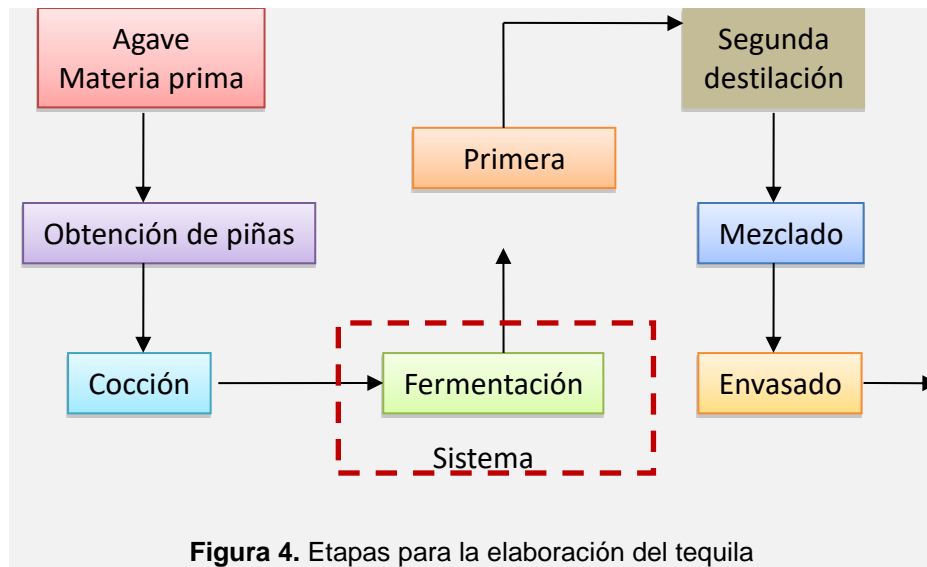
- Flujo másico o gasto másico, que es la cantidad de materia por unidad de tiempo. Las unidades pueden ser Kg/s, Kg/h, g/s; ton/d, etcétera.
- Flujo molar, son los moles que atraviesan el sistema por unidad de tiempo. Las unidades son mol/min; mol/s; mol/etcétera.

En la industria, es necesario llevar a cabo un proceso sistematizado para obtener un producto, este se puede definir como la secuencia de etapas sistemáticas para la obtención del mismo.

Para realizar balances de materia y energía es necesario identificar primero el tipo de **proceso**. Los procesos se clasifican de acuerdo a la forma en que operan: en intermitentes o lote y en continuos. Felder, et al (2004) describen las características de los procesos de la siguiente manera:

- Proceso intermitente o por lote:** La alimentación se introduce al equipo al comienzo del proceso y una vez concluido se retira el contenido de dicho recipiente. En general en este proceso “no hay transferencia de masa”, es decir durante el proceso no hay entrada y salida permanente de materia.
- Proceso continuo:** existe una entrada y salida continua de materiales, que fluyen de manera continua durante todo el proceso.

Los procesos industriales se llevan a cabo por múltiples etapas, sin embargo en ocasiones se desea aislar una etapa para evaluarla independientemente. Así la parte del proceso que se delimita para su estudio se denomina **sistema**. En el esquema de la **figura 4** se representan las etapas para la elaboración del tequila.



En el esquema se observa que la fermentación se delimita por una línea punteada, ésta es la forma en que se representa un sistema. Para este ejemplo, el sistema sólo tiene una etapa, sin embargo puede agrupar multietapas. (fermentación-primera destilación-segunda destilación).

### 1.2.2. Representación gráfica de variables de las operaciones unitarias y procesos

En ingeniería a las etapas para la elaboración de un producto industrial, se les denomina **Operaciones Unitarias** (O.U). En las operaciones unitarias o unidades de proceso se incorporan insumos y se clasifican de acuerdo al fenómeno que ocurre en la etapa; operaciones unitarias son etapas que realizan **procesos físicos**, es decir, no existe transformación de la materia. Por ejemplo, la destilación es un método de separación de una mezcla homogénea. Además existen las operaciones unitarias en las cuales ocurre transformación de los materiales durante la unidad de proceso denominado **procesos químicos**. En la siguiente tabla se presentan ejemplos presentados por Monsalvo (2009).

Tabla 1. Operaciones unitarias empleadas en la industria	
Operaciones unitarias Procesos físicos	Operaciones unitarias Procesos químicos
Mezclado	Fermentación
Destilación	Combustión
Evaporación	Saponificación



**Tabla 1. Operaciones unitarias empleadas en la industria**

Operaciones unitarias Procesos físicos	Operaciones unitarias Procesos químicos
Secado	Esterificación
Tamizado	intercambio iónico
Filtración	Oxidación
Molienda	

Para realizar el análisis cuantitativo de balances de materia y energía, es necesario que:

1. Identifiques el número de etapas de un proceso industrial,
2. Establezcas el sistema que se desea analizar y
3. Diferencias las etapas por el fenómeno que ocurre en ella.

Es decir, identificarás el proceso físico, así como qué métodos de separación utilizan estos: si hay o no hay transformación de la materia; por otro lado, señalarás los procesos químicos donde ocurre transformación de los materiales que ingresan a la unidad de proceso.



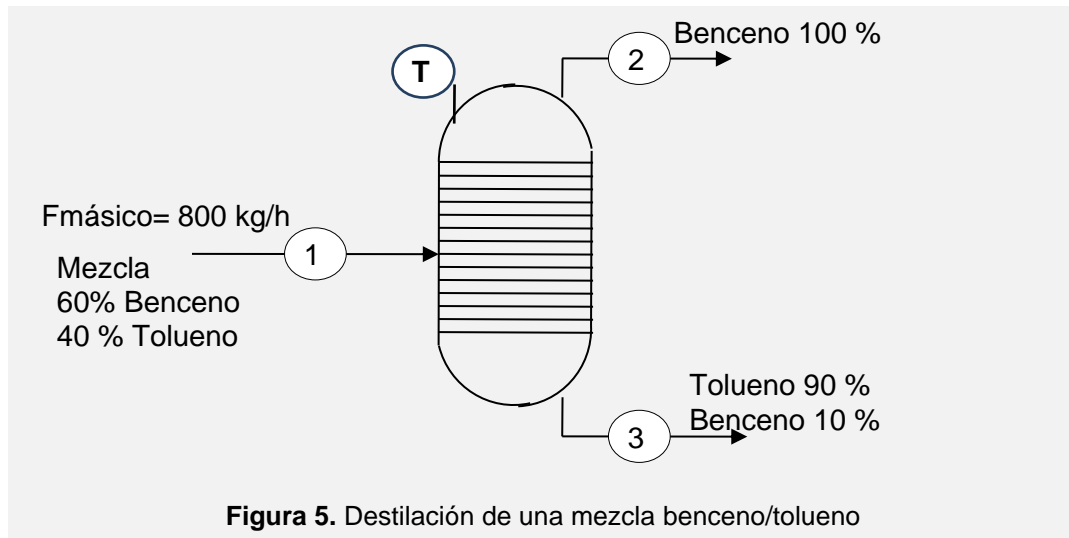
Ahora, te recomiendo revisar la lectura del capítulo 3 del libro de *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química* de David Himmelblau, en el que se presentan varios ejercicios resueltos de balances de materia para procesos físicos y químicos de una sola etapa y múltiples etapas. Es importante que de los ejercicios resueltos únicamente identifiques las partes siguientes: establecer el tipo de sistema, operación unitaria que intervienen en el proceso y el tipo de proceso físico o químico.

Una vez que identificas las operaciones unitarias, las variables que controlan el proceso para elaboración de un producto industrial, existe otra herramienta que nos proporciona una visión global del proceso: los diagramas.

En los procesos industriales es indispensable la identificación de los parámetros de control de un equipo, para esto se emplean diagramas en donde se rotulan las condiciones en las que opera un equipo. En el esquema de la **figura 5** se presenta un sistema en donde se lleva a cabo la separación de una mezcla de benceno/tolueno, por medio de la operación unitaria (destilación) en donde se indica la composición y el flujo



másico que entra a la torre del destilador y la composición de las salidas superior e inferior. Además, se indica la temperatura para realizar la separación.



Para finalizar esta sección es indispensable que recuerdes que para tener el control de un equipo o proceso, deberás hacer la identificación, monitoreo y control de las variables de proceso, como son temperatura, presión, flujos volumétrico, másico, etcétera.

Para complementar el tema realiza **la Actividad 2 Variables y descripción de proceso** que está formada de dos partes.

### 1.3. Tipos de diagramas

Valiente (2008), establece que en la ingeniería se requieren planos en donde se especifican tamaño, forma, conexiones y corrientes en las líneas de producción. Estos planos se emplean para calcular, construir o establecer los equipos necesarios en los procesos. A estos planos se les denomina **diagramas de flujo**, que representan la secuencia de operaciones unitarias que se llevan a cabo para la elaboración de un producto.



Para profundizar más sobre este tema, te sugiero que revises los documentos *Diagrama de flujo* y *Diagrama de Flujo* por bloque de este autor.





### 1.3.1. Diagramas de flujo

Es así que los diagramas de flujo y los balances de materia en las operaciones unitarias, de la industria, nos sirven para identificar en un proceso:

- La cantidad de materias primas que entran a las unidades de proceso
- La cantidad de producto obtenido por unidad de proceso o globalmente
- La cantidad de mermas o pérdidas
- Establecer rendimiento de producto/materia prima
- Identificar los puntos de control de los equipos en el proceso
- Condiciones de operación, en cuanto a presión, temperatura, tiempo etcétera.
- Programar la compra de materias primas.

Existen diferentes tipos de diagramas de flujo, entre los que se encuentran los **diagramas de flujo por bloques** y los **diagramas de flujo de procesos** por equipos. Empezamos por describir las características de cada diagrama.

### 1.3.2. Diagramas de bloque

Las características del **diagrama de flujo por bloques** son las siguientes:

- Las operaciones unitarias se representan mediante bloques (cuadrados, rectángulos)
- La dirección del flujo va de izquierda a derecha y se representa mediante flechas que indican la dirección del flujo.
- Las corrientes que transportan fluidos ligeros como gases, se indican por la parte superior del bloque y las corrientes que llevan fluidos más pesados como líquido y sólido se representa en la parte inferior.
- Únicamente se adiciona la información más relevante del proceso industrial.

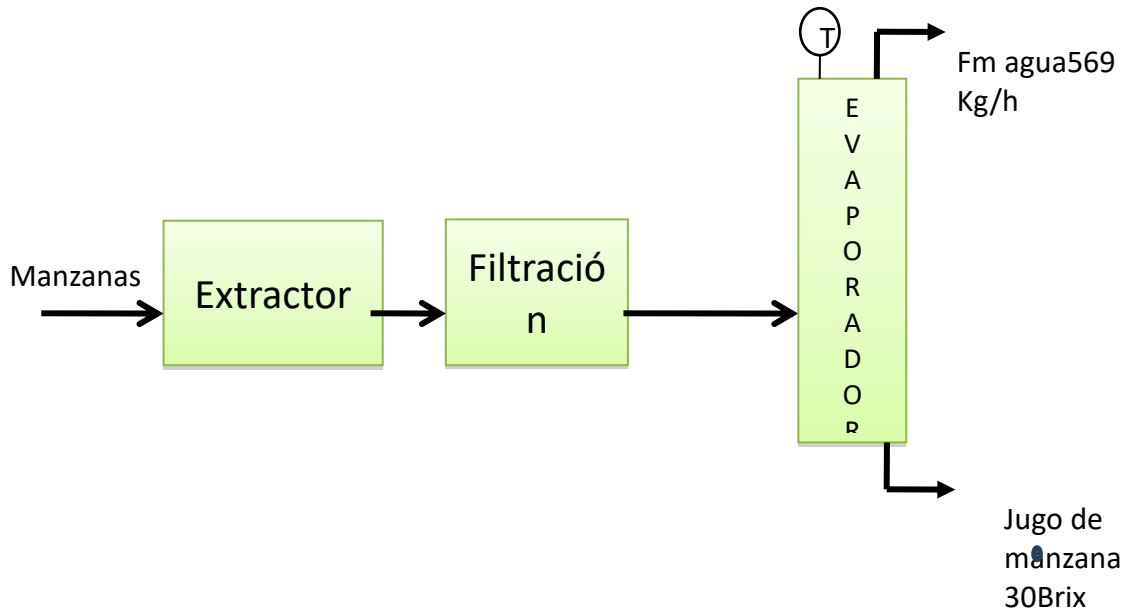
A continuación revisa cómo se desarrolla el diagrama de flujo por bloques, a partir del enunciado que describe el proceso.

#### Ejemplo:

Para la elaboración de jugo de manzana, la fruta pasa por un extractor seguido de filtración, con el propósito de concentrarlo se alimenta a un evaporador 26,840 kg/h del zumo; en el equipo se extrae agua a una velocidad de 569 kg/h, además a la salida del equipo, el jugo tiene una concentración de 30 °Brix. El evaporador opera a una temperatura de 60 °C.



Te propongo hagas el diagrama del flujo por bloques y rotúlalo de la **figura 6**.



**Figura 6.** Diagrama de flujo por bloques para la elaboración de un jugo de manzana.

Como podrás observar, el diagrama de flujo por bloques es un esquema sencillo que nos permite identificar las operaciones unitarias que participan en el proceso y establecer puntos de control.

A diferencia de los diagramas descritos antes, los **diagramas de flujo** de procesos son más elaborados en donde las operaciones unitarias no son representadas por cuadrados o rectángulos sino se tienen símbolos para los equipos (Ver el esquema de símbolos de Valiente, 2008).



Para ejemplificar, te invito a que consultes las páginas 22-24 del texto de *Problemas de balances de materia y energía en la industria alimentaria* de Valiente (2008), en ellas vas a encontrar los diagramas de equipo empleados en la ingeniería para equipos como fermentadores, evaporadores, diferentes tipos de molinos, intercambiadores de calor etcétera.

Los diagramas de flujo de procesos incluyen las siguientes características:



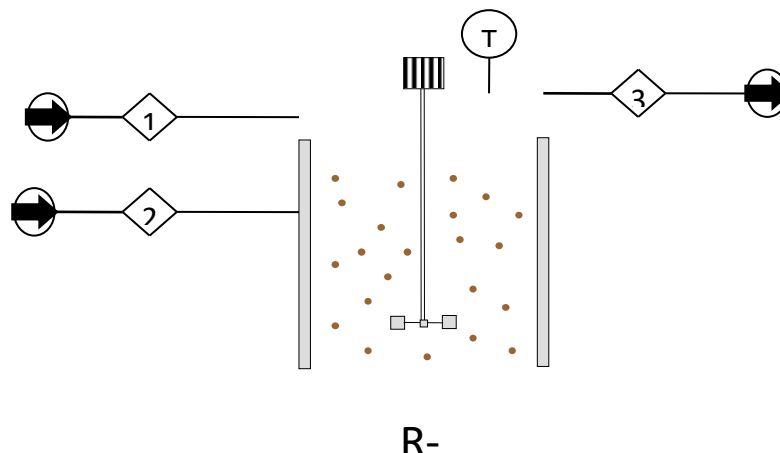
- Los equipos en el proceso se presentan con símbolos en el diagrama con una identificación de éste. Cada equipo tendrá asignado un número único y un nombre descriptivo.
- Las corrientes de flujo de proceso están representadas por un número. Se incluye una descripción de las condiciones de proceso y la composición química de cada corriente. Estos datos se presentan directamente en el PFD o se incluyen en una tabla adicional.
- Se muestran todas las corrientes de servicios que se suministran a los equipos principales o que brindan una función en el proceso.
- Se incluyen lazos de control básicos, que ilustren la estrategia de control usada para que el proceso opere dentro de condiciones normales (ver **figura 7**).



**Figura 7.** Símbolos de algunos equipos empleados para elaboración de diagramas de flujo de procesos. Valiente (2008)

A continuación revisa el ejemplo de un diagrama de flujo de proceso.

Durante la elaboración de yogurt, se emplea la fermentación, en el equipo se alimenta con 1000 L de leche y 500 kg de fresa, además se inocula con bacterias lácticas, la fermentación se lleva a cabo en 4 horas. En el esquema de la **figura 8** se representa el diagrama de proceso para la etapa.



**Figura 8.** Hoja de especificaciones Reactor



Línea de proceso	1	2	3
Temperatura			
Leche	1000 L		
Fresa		500 Kg	
Yogurt			

**Tabla 2.** Diagrama de proceso para la fermentación en el proceso de elaboración de yogurt de fresa.

### 1.3.3. Diagramas de instrumentación

Observa que en el diagrama de proceso se emplea el símbolo que representa el equipo, se le asigna un número al equipo de acuerdo al área a la que pertenece, las líneas de proceso están plenamente identificadas y se adiciona una tabla de especificaciones en donde se indican las variables en cada línea del desarrollo.

Para cerrar el apartado recuerda que los diagramas de flujo son indispensables para los Ingenieros, debido a que proporcionan información general de las etapas del proceso, se tiene un registro de las variables que controlan los equipos, mediante los esquemas se pueden visualizar áreas de mejoras en el proceso. Además es una herramienta necesaria para la entrega de reportes técnicos. En esta etapa de la formación de Ingenieros en Biotecnología, haz una pausa y permite una mejor comprensión del proceso industrial mediante la esquematización general del proceso.

### 1.4. Análisis y Aplicación

En la industria química es necesario el diseño, mantención, evaluación, optimización, simulación, planificación y construcción de plantas industriales. En estos subprocesos es donde se realizan análisis los cuales son necesarios para la aplicación sistemática de un conjunto de técnicas para establecer una propuesta de valor que permita un mayor aprovechamiento de dicho proceso y así mismo poder desarrollar alternativas para tener productos de calidad. El análisis del proceso permitirá diseñar o rediseñar un producto o servicio, de forma que se asegure el proceso, con mínimo coste.

Posteriormente la aplicación se realiza después del análisis no sólo para conseguir una reducción de los costes, sino que además para la mejora de la calidad y otras



relaciones como la reducción del tiempo de suministro, mejorando el funcionamiento así como el mejoramiento de los métodos de elaboración, facilidad y seguridad.

### 1.4.1. Modelado

Recuerda que un sistema representa una unidad donde se hacen tratamientos físicos o químicos de materiales, puede ser un modelo que constituya una descripción del proceso real. En el modelado existe la unión entre varias operaciones que se encuentran enlazadas entre sí por flujos propios del proceso. Comúnmente los materiales que constituyen el proceso se encuentran en constante movimiento.

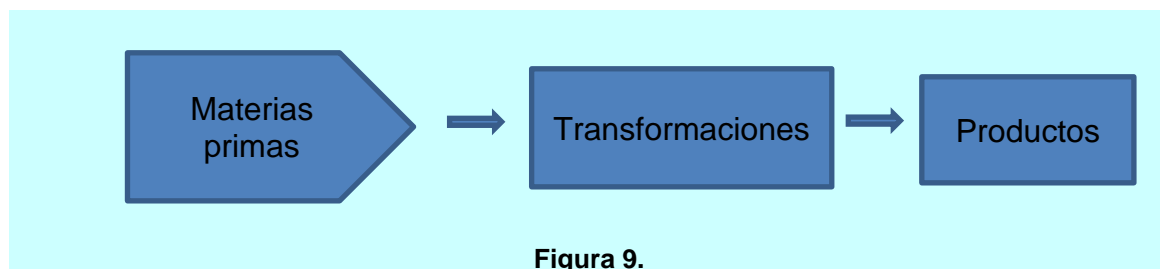
Dentro del modelado de determinado proceso las es importante siempre conocer las propiedades del sistema o de su entorno a la cual se le asignan valores arbitrarios los cuales son parámetros o variables del proceso.

Un sistema se puede modelar mediante una construcción física del proceso, una representación gráfica o matemática de las variables que afectan el proceso. Existen los siguientes tipos de modelos:

- Modelos físicos, están contruidos por materiales que representan sistemas como maquetas o prototipos.
- Modelos análogos: son aquellos contruidos por materiales que representan circuitos eléctricos, electrónicos o mecánicos.
- Teorías provisionales: son postulados que explican comportamientos fenomenológicos en sistemas como la de los gases ideales o la de la gota de líquidos para la nucleación.
- Gráficos: son representaciones mediante símbolos convencionales de estructuras de sistemas que explican en algunos casos su organización o su distribución o su logística, se representan mediante un diagrama de flujo.

### 1.4.2. Simulación

La simulación de un proceso se puede realizar por computadora donde será posible resolver los balances de materia y energía y energía de una planta dada. (ver **figura 9**)



**Figura 9.**



En un simulador de procesos, con módulos representativos de los equipos y físicamente asociado a los mismos se tiende a reproducir la operación real de la planta, la cual genera las transformaciones necesarias para alcanzar los productos deseados.

Los simuladores de procesos se clasifican de acuerdo con la estrategia de simulación que utiliza para plantear el modelo matemático que representa el proceso por simular. La estrategia de simulación se refiere a la manera en la que se aborda el problema de resolución del modelo. Los resultados son fundamentalmente las corrientes de producto del proceso.

Es posible diferenciar tres secciones en la simulación que son de vital importancia.

- La lógica central o general del simulador (la sección de entrada, la sección de salida y la lógica general de administración)
- La sección que se encarga de la estimación de las propiedades fisicoquímicas.
- Los módulos de equipos por ejemplo válvulas, intercambiadores, separador flash, bombas, compresores, reactor, y columnas de destilación.

### 1.4.3. Estado dinámico

Un sistema se dice que se encuentra en estado dinámico cuando su comportamiento se caracteriza por sus determinados límites o parámetros, sus elementos se encuentran relacionados de tal forma que se puede elaborar modelos que representan la estructura del mismo sistema.

En todos los sistemas el estado dinámico no se limita simplemente a los cambios de estado, si no que se aplica al análisis cinético de las reacciones involucradas en el proceso químico, para obtener información útil sobre la manera en que los reactivos y productos reaccionan para formar el equilibrio, no olvidemos que el equilibrio en las concentraciones de los reactivos y de los productos son constantes

### 1.4.4. Aplicaciones del estado dinámico

Hasta este momento se han establecido las ecuaciones de balance de materia para procesos en donde, las variables de proceso no cambian respecto al tiempo, es decir, operan en estado estacionario.

Sin embargo hay sistemas en condiciones transitoria en donde las variables cambian respecto al tiempo operando en condiciones de estado no estacionario. Las ecuaciones de balance se emplean para predecir el comportamiento del sistema transitorio, en



donde las soluciones analíticas de los balances de materia incluyen ecuaciones diferenciales de balance de primer orden, únicas y separables.

En esta sección es importante que visualices la aplicación de los balances de materia y energía, por el momento no será necesario que desarrolles este tipo de balances de materia en sistemas transitorios.



A continuación se presenta un ejemplo de un balance dinámico o transitorio tomado del Scena, et al (2004). Te invito a que revises las páginas 571 a 600 de este autor. En esta sección del libro podrás conocer los pasos y métodos para el análisis de los sistemas en el proceso, presentan los equipos, sus ecuaciones y la metodología para aprovechar los recursos y darle un enfoque para realizar simulación de un proceso, considerada una parte muy importante de la ingeniería.

**Ejemplo 1:** Tanque abierto con flujo de salida gravitatorio.

Un esquema del sistema bajo análisis se muestra en la **figura 10**.

Hipótesis asumidas:

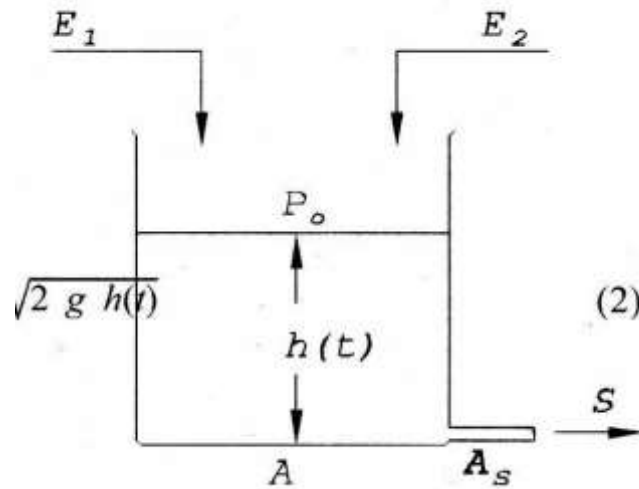
- Sistema adiabático
- Densidad constante
- No hay reacción química
- Se desprecia la evaporación

La ecuación de balance de materia para el sistema dinámico es

$$A_T \frac{d}{dt} h(t) = E_1 + E_2 - S$$

Donde  $E_1$  y  $E_2$  representan los gastos volumétricos de entrada,  $S$  es el gasto volumétrico de la salida y  $A_T$  es el área transversal del tanque.





**Figura 10.** Esquema de tanque abierto, flujo de salida gravitatorio (Gomez, 2005)

Se puede observar que la ecuación de balance de materia para el sistema dinámico incluye la diferencial del cambio de altura respecto al tiempo.

Es importante establecer que el objetivo de la asignatura no es que desarrolles balances de materia en sistemas dinámicos, sin embargo consideramos que es importante para los Ingenieros en Biotecnología, que identifiquen las áreas de oportunidad y de aplicación de los balances de materia y energía. Los balances dinámicos o transitorios se emplean en el modelado de procesos industriales para predecir el comportamiento de los procesos y tener mayor control.

Para terminar esta sección, es pertinente hacer la aclaración, que para las soluciones numéricas para los **balances de materia dinámicos**, se deben emplear software (simuladores) para resolver las ecuaciones correspondientes.

La mejor forma de aprender y entender los balances de materia y energía es con práctica, por esta razón te exhorto a que realices **tus actividades**, que tienen como propósito reforzar, entender y sistematizar la información presentada. Recuerda que en caso que existan dudas, comunícate con tu docente en línea.





### Actividades

La elaboración de las actividades estará guiada por tu docente en línea, mismo que te indicará, a través de la Planeación didáctica del docente en línea, la dinámica que tú y tus compañeros (as) llevarán a cabo, así como los envíos que tendrán que realizar.

Para el envío de tus trabajos usarás la siguiente nomenclatura: BBME\_U1\_A1\_XXYZ, donde BBME corresponde a las siglas de la asignatura, U1 es la unidad de conocimiento, A1 es el número de actividad, el cual debes sustituir considerando la actividad que se realices, XX son las primeras letras de tu nombre, Y la primera letra de tu apellido paterno y Z la primera letra de tu apellido materno.

### Autorreflexiones

Para la parte de **autorreflexiones** debes responder las *Preguntas de Autorreflexión* indicadas por tu docente en línea y enviar tu archivo. Cabe recordar que esta actividad tiene una ponderación del 10% de tu evaluación. Para el envío de tu autorreflexión utiliza la siguiente nomenclatura: BBME\_U1\_ATR \_XXYZ, donde BBME corresponde a las siglas de la asignatura, U1 es la unidad de conocimiento, XX son las primeras letras de tu nombre, y la primera letra de tu apellido paterno y Z la primera letra de tu apellido materno

### Cierre de la unidad

En esta unidad introductoria, se trataron conceptos básicos que debes comprender y analizar, con el propósito de desarrollar una metodología para resolver ejercicios de balances de materia y energía.

Antes de hacer el análisis numérico de un ejercicio de balances, se empieza realizando el diagrama de flujo por bloques y se anotan sobre este los datos de las variables que nos proporcionan en el ejercicio, posteriormente establecer el sistema o el área de estudio, identificar el tipo de proceso, las variables de proceso que controlan el sistema. Ahora consideras que ¿Es necesario conocer el tipo de proceso (físico o químico) que ocurre en la operación unitaria?

Definitivamente la respuesta es un rotundo SI, debido a que dependiendo del tipo de proceso físico o químico es la ecuación de balance de materia que se empleará para la



posterior solución numérica del ejercicio, que corresponde a la siguiente unidad de la asignatura.

### Para saber más



- Richard, F., & Ronald, R. (2004). *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. México DF: LimusaWiley. pp. 83 – 186. Este texto proporciona las herramientas básicas para la Ingeniería, va de los temas más simples a lo complejo, inicia con el sistema de unidades, y continúa con las variables de proceso, balances de materia, balances de energía etc. Hay que aclarar que el texto está enfocado a procesos de ingeniería química, sin embargo el fundamento de los conceptos es el mismo para cualquier aplicación de ingeniería como: Ingeniería en alimentos, Ingeniería Biotecnología, Ingeniería Bioquímica, etcétera.
- Revisa el capítulo 3 del libro Balances de materia y energía de Monsalvo, et al (2010), en este apartado puedes ver los conceptos básicos de ingeniería usados en los procesos industriales.
- Reklaitis G. V. (1986). *Balances de Materia y Energía*. México: Nueva Editorial Interamericana. pp. 252 – 351. En la sección del libro podrás extender tus conocimientos hacia el uso de los diagramas de flujo y podrás percatarte de que estos son muy diversos en los procesos químicos; asimismo podrás asociar directamente los diagramas de flujo con el balance de materia. Existen varios ejemplos de cálculo, en términos de álgebra lineal, pero lo más importante de este contenido es reconocer la diversidad de aplicaciones en procesos industriales.



- Patiño Olivares, A. (2007). Introducción a la Ingeniería Química. (Balances de Masa y Energía) México DF: Universidad Iberoamericana. En el libro citado encontrarás los elementos iniciales del curso de Balance de materia y energía, el cual comienza con el concepto de procesos en la ingeniería química; en él se te proporcionan los elementos conceptuales que caracterizan a los procesos e introduce los esquemas o gráficos de organización dichos procesos de transformación química. Te será útil para comprender los componentes de un proceso de transformación química a las cuales se les conoce como operaciones unitarias. En este libro encontrarás un amplio estudio acerca de las variables de los procesos químicos, sus conceptos físicos, la identificación en un sistema y los cálculos de balances de materia y energía en los procesos industriales.
- *Slide Share. Diagrama de Flujo.* (s.f.). Recuperado el 27 de julio de 2012, de <http://www.slideshare.net/luganil/1-diagramadeflujo>. En la presentación muestra con amplitud la técnica, la simbología y los recursos que se aplican en la construcción de diagramas de flujo y diagramas de bloques en procesos de transformación química en la industria.
- <http://quimica-explicada.blogspot.mx/2010/07/saponificacion-reaccion-quimica.del.html>.
- <http://biomodel.uah.es/model2/lip/nomen.htm>
- <http://es.scribd.com/doc/23794366/Tips-de-arn>
- <http://www.genomasur.com/lecturas/Guia07.htm>
- [http://www.news-medical.net/health/Ribozyme-Discovery-\(Spanish\).aspx](http://www.news-medical.net/health/Ribozyme-Discovery-(Spanish).aspx)

## Fuentes de consulta



- Dustet Mendoza, J.C. e Izquierdo Kulich, E. (2004). *Aplicación de balances de masa-energía al proceso de fermentación en estado sólido de bagazo de caña de azúcar con Aspergillus Níger*. Habana, Cuba, Grupo de Biotecnología Aplicada,



Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO) Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE.

- Felder, et al (2004). *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. México, LimusaWiley.
- Guzmán del Río, D., García, C., Misa Llorca, R., Columbié Navarro, A. (2000). *Modelación y simulación del tanque de contacto y los enfriadores de licor en el proceso de lixiviación carbonato-amoniaco con minerales lateríticos cubanos*. Cuba. Revista Minería y Geología. Vol XVII, No. 2.
- Himmelblau, D. M. (2004) Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química. (6ª. ed.) México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Monsalvo, R., et al (2010). *Balance de Materia y Energía en Procesos Industriales*. México, Grupo Editorial Patria S.A de C.V.
- Rodríguez Núñez, J.L. y Macalvica T. E. (2010). *Ejercicios de balance de materia y energía aplicados a procesos industriales*. Huacho, Perú, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Alimentarias y Pesqueras.
- Scenna, N., et al (1999). *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Valiente A. (2008). *Problemas de Balance de Materia y Energía en la Industria Alimentaria*. (2ª.ed.) México, Editorial Limusa.