



Programa de la asignatura:

Balance de materia y energía

U3

Balance de masa



DCSBA



BIOTECNOLOGÍA



Índice

Presentación de la unidad.....	2
Propósitos de la unidad.....	3
Competencia específica	3
3.1. Ecuación general de balance de materia	4
3.1.1. Ley de conservación de masas.....	5
3.1.2. Operaciones múltiples	7
3.2. Clasificación de balances de materia... ..	12
3.2.1. Balance de materia con reacción química... ..	15
3.2.2. Balance de materia sin reacción química... ..	23
Actividades.....	26
Autorreflexiones.....	27
Cierre de la unidad.....	27
Para saber más	28
Fuentes de consulta	29



Presentación de la unidad

Uno de los principios de la naturaleza es la **ley de conservación de la materia**, este postulado se aplica a todos los procesos industriales. Considera una planta industrial, en donde la materia prima ingresa a la unidad de proceso, durante la elaboración del producto final, ocurren transformaciones químicas o cambios físicos de la materia, sin embargo al final se obtiene la misma cantidad de materia que entra al sistema de producción. Así el **balance general del proceso** es la materia que entra al proceso es igual a la materia que sale del proceso menos la materia que se genera en el proceso más la materia que se genera en el proceso.

Los **balances de materia en los procesos industriales** se emplean para determinar rendimientos de los procesos, es decir la cantidad 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. Además los balances permiten evaluar el funcionamiento de una unidad de proceso al comparar el rendimiento teórico del real.

En la presente unidad vamos a emplear la información de la primera unidad, en donde se desarrollaron los diagramas de proceso y se identificaron las variables del proceso.

La ecuación de balance para procesos no reactivos se reduce a dos términos: la entrada de materia en el sistema es igual a la salida de materia en el sistema. Esta ecuación se aplica a operaciones unitarias como: evaporación, secado, destilación, mezclado, molienda.

Para los procesos químicos la ecuación de balance está en función de la estequiometría de la reacción, es decir, es función de las relaciones molares entre los reactivos y productos. Se emplea esta ecuación para las fermentaciones alcohólicas, oxidación, composteo, fermentación láctica, etcétera.

Para los diferentes procesos se establecen una serie de pasos a seguir para encontrar la solución numérica de los balances de materia.



Propósitos de la unidad



- Evaluar el funcionamiento de un proceso.
- Establecer la cantidad de materias primas requeridas para la elaboración de un producto industrial.

Competencia específica



Aplicar el principio de conservación de la masa, para obtener los valores de los parámetros: velocidad de flujo, gasto y presión, a través de las ecuaciones de balance de masa.



3.1. Ecuación general de balance de materia

Los balances de materia y energía son una herramienta de gran importancia con la que cuenta la ingeniería de procesos y se utiliza para contar flujos de materia y energía en un determinado proceso y sus alrededores. Los balances nos permitirán conocer los **caudales másicos** de todas las corrientes que entran y salen del sistema, así como conocer las **necesidades energéticas del proceso**.

Los balances de materia y energía son una derivación matemática de la Ley de la conservación de la energía (primera ley de la termodinámica, es decir, “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”). El balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que se intercambia y acumula dentro de un sistema.

En una planta industrial, el ingeniero de producción tiene datos de las cantidades teóricas y prácticas que entran y salen de cada unidad de proceso. Las herramientas para obtener esta información son los balances de materia y además esta información sirve para la **toma de decisiones** debido a que se emplea para evaluar el funcionamiento de los equipos de producción.

En la elaboración de cualquier producto sea a escala industrial o piloto, es necesario establecer la cantidad de producto generado por lote, mes, día o año, $(\frac{ton}{mes}, \frac{Kg}{h}, \frac{kg}{d})$ de acuerdo a la demanda en el mercado o la cobertura de la empresa. Posteriormente a esto se realizan balances de materia del proceso con el propósito de calcular la cantidad de materias primas requeridas para dicha producción, los balances se realizan en el proceso general y/o en cada operación unitaria.



Con frecuencia los sistemas están formados de una sustancia, y en otros casos pueden ser complejos; en cualquiera de estos casos, los balances describen un sistema bien definido donde se conocen las variables que entran a este **proceso** (sistema), así como la reacción que se produce dentro de dicho proceso y las variables que se realizan después de haberse llevado a cabo la reacción, es decir, las variables de salida. El balance de materia se aplica al sistema y sus alrededores

3.1.1. Ley de conservación de masas

Al aplicar la Ley de conservación de masas en un proceso dado, dicho proceso se divide en dos partes fundamentales, el sistema y sus alrededores. La parte donde se lleva a cabo el proceso es la que se toma como sistema, y todo aquello con lo que el sistema interactúa se considera sus alrededores. Dicho sistema puede tener cualquier tamaño dependiendo de las condiciones particulares del proceso que se realiza.

Los balances de materia o de masa, se fundamentan en la **Ley de conservación de la materia** (ver figura 1) en donde establece que la materia que entra en una unidad de proceso es la misma materia que sale de esta. La estableció **Antonio Lavoisier**, y nos dice que *la materia no se crea o se destruye, sólo se transforma*.

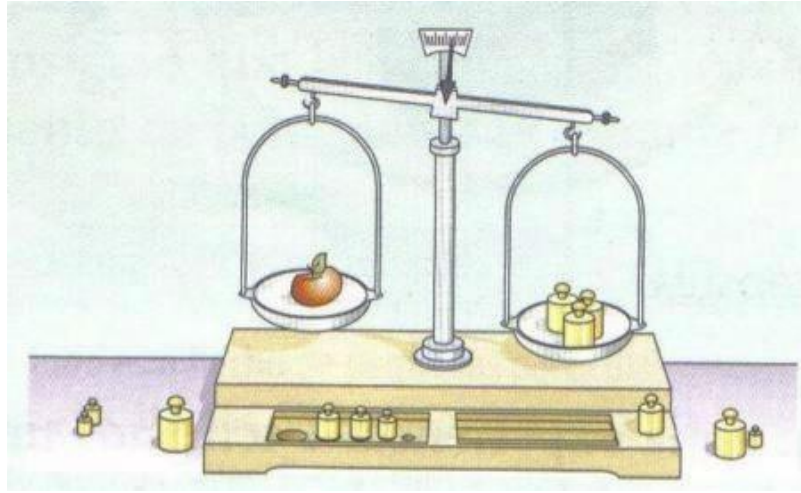


Figura 1. Ley de la conservación de la materia.

La ley de la conservación de masa permanece constante (**figura 1**) es decir, la masa no se puede crear ni destruir, solo se transforma, por lo que la masa total de todos los materiales que entran al proceso debe ser igual a la masa total de todos los materiales que salen del mismo, más la masa de los materiales que se acumulan o permanece en el proceso (**Figura 2**).



Figura 2. Entradas, salidas y acumulación.

La ley de conservación de masa según *Antonio Lavoisier*: “La masa total de las sustancias presentes después de una reacción química es la misma que la masa total de las sustancias antes de la reacción” (Gray, et. al. 2003).

Para comprender mejor la ley de la conservación de la masa imagínate que pesamos una vela antes de encenderla y después de encenderla recogemos los trozos de cera y los pesamos y observamos. ¿Se ha perdido la masa? ¿Se cumple la ley de conservación de la masa?

Sí se cumple, siempre se cumple. La vela, al quemarse, pierde peso por que una de las sustancias que se forma en la combustión es un gas, el CO_2 que se va a la atmosfera



Para profundizar en el tema, te invitamos a revisar la página 1-15 del Libro *Principios básicos de química* de Gray, B.H et. al. (2003), donde podrás profundizar la sobre la ley de conservación de masa.

En la primera unidad de la asignatura se te proporcionó información introductoria sobre este tema, retomaremos algunos conceptos que ya vimos. La ecuación general de balances de materia en un sistema viene dada por lo siguiente:

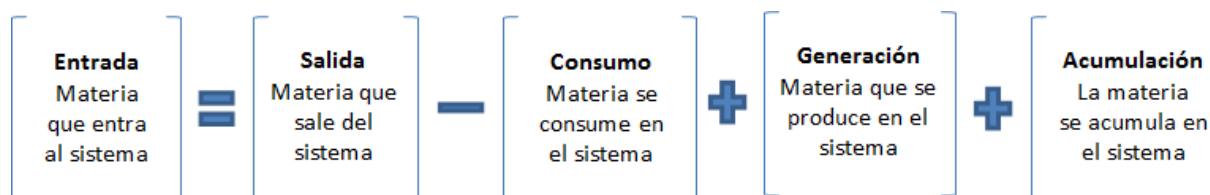


Figura 3. Ecuación general de balances de materia.

Recordemos que la ecuación se particulariza dependiendo del proceso que ocurre en el sistema para procesos en donde no ocurre transformación de la materia, es decir, procesos físicos y la ecuación se simplifica; además consideramos que no hay acumulación en el sistema.



Figura 4. Entrada de materia y salida de materia.

En este momento vamos a emplear las herramientas que revisamos en la primera unidad debido a que son la base para el desarrollo del cálculo numérico de los balances de materia. Observa la **figura 4**. Estableceremos la metodología de solución numérica de los ejercicios de balance de materia para procesos físicos.



3.1.2. Operaciones múltiples

Iniciaremos por identificar las entradas y salidas de las diferentes operaciones unitarias en donde se realizan balance de materia, estas se presentan en la siguiente tabla (Ver figura 5).

Evaporación		Entrada (1) Salidas (2)
Destilación		Entrada (1) Salidas (2)
Mezclado		Entrada (3) Salidas (1)
Secado		Entrada (1) Salidas (2)
Extracción Líquido-líquido		Entrada (1) Salidas (2)
Filtración		Entrada (1) Salidas (2)

Figura 5. Entradas y salidas de las diferentes operaciones unitarias.

Tomaremos como ejemplo la operación unitaria de la **filtración** en donde ocurre una separación líquido-sólido. En la entrada del equipo se alimenta un licor (denominada lechada)

a un flujo volumétrico determinado $\left\{ \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right\}$, después de cierto tiempo, en el cual el licor

permanece en el equipo denominado tiempo de residencia; a la salida del equipo, se obtienen dos productos, el primero en la parte superior es el líquido clarificado libre de partículas suspendidas y en la parte inferior lo que se denomina torta de filtración (las cuales son las partículas retenidas en un material filtrante). Los principios elementales de las operaciones



unitarias los vas a revisar en la asignatura correspondiente, pero para efectos de esta asignatura se requiere que tengas presente el número de entradas y salidas en cada operación unitaria como se mostró en la tabla anterior.

Ahora vamos a resolver numéricamente los balances de materia. Iniciaremos estableciendo la metodología mediante la solución de ejercicios en operaciones unitarias para **procesos sin reacción**.

Para entender el procedimiento de solución de balances de materia en procesos físicos, vamos a describirlo mediante la solución de casos en donde se aplica la metodología para obtener la solución numérica.

Se sugiere que sigas el siguiente procedimiento para realizar los balances de materia en general.

Procedimiento para realizar balances de materia

1. **Lee** cuidadosamente el enunciado.
2. **Realiza** el diagrama del proceso, indicando número de entradas y salidas del sistema.
3. **Coloca** en el diagrama las variables del proceso que se proporcionan en el enunciado.
4. **Identifica** la variable de proceso que se solicitan, es decir identifica **¿que buscas?**
5. **Reconoce** el tipo de sistema abierto o cerrado, además el tipo de proceso físico o químico.
6. **Coloca** la ecuación general de balance de materia.
7. **Establece** el balance general y balance por componente.
8. Finalmente **realiza** los cálculos.

De los ocho puntos antes mencionados para la solución de los ejercicios de balance de materia, observa que los primeros cinco son herramientas que se te proporcionaron en la primera unidad de la asignatura, los últimos tres puntos son de la unidad 3.

Ejemplo 1: **Determinar la cantidad de producto (etanol) obtenido en la destilación.**

En la elaboración de tequila una de las etapas es la recuperación del alcohol, por medio de la destilación.

El destilador se alimenta a 2040 Kg/h con la mezcla etanol/agua, la corriente de producto que sale por la parte superior contiene 78% etanol y la corriente de salida inferior es de 11% etanol a un flujo de 940 Kg/h.



Determinar la cantidad de etanol obtenida en la cabeza de la destilación.

Empleando los conocimientos previos, elaboramos el diagrama de flujo del proceso y lo rotulamos indicando las variables que nos proporcionan en el enunciado, además hay que darle una nomenclatura a las corrientes de entrada y salida, en este caso utilizamos la nomenclatura de corriente 1, 2 y 3. Ver la **figura 6**.

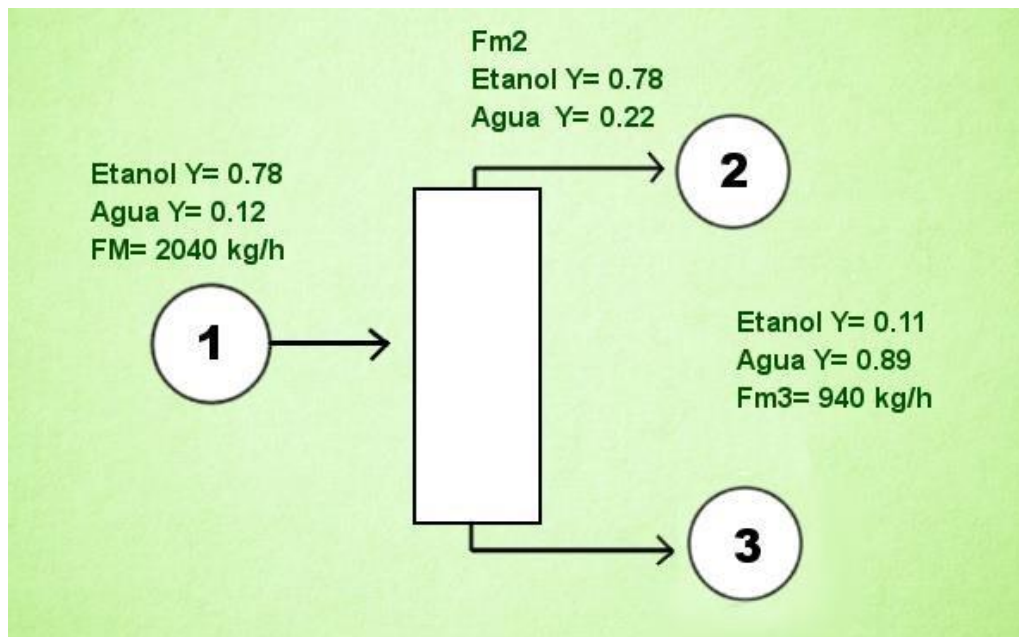


Figura 6.

Ahora hay que recordar que la destilación es una operación unitaria para separar dos líquidos a través de su presión de vapor, por lo tanto no existe transformación de la materia, es un proceso físico.

Así el balance general (**figura 7**) para los flujos de masa total que pasa en las corrientes de entrada y salida queda expresado como sigue (Monsalvo, 2010):



Figura 7.



Flujo de entrada (F_{m1}) = Flujo en la corriente de salida 2 (F_{m2}) + Flujo en la corriente de salida 3 (F_{m3}).

Balance general

$$F_{m1} = F_{m2} + F_{m3}$$

Ecuación 1

Ahora establecemos el balance por componentes en el sistema, tenemos que en la destilación contamos con dos componentes: el agua y el etanol (**figura 8**).



Figura 8.

La entrada del etanol se obtiene multiplicando el flujo másico total de entrada por la fracción molar del etanol en la entrada = $F_{m1} \cdot (Y_{\text{etanol}})$.

La salidas de etanol = $F_{m2} \cdot (Y_{\text{etanol}}) + F_{m3} \cdot (Y_{\text{etanol}})$.

Entonces **el balance para el componente etanol** queda:

$$F_{m1} \cdot (Y_{\text{etanol}}) = F_{m2} \cdot (Y_{\text{etanol}}) + F_{m3} \cdot (Y_{\text{etanol}}) \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

El siguiente paso es identificar los datos que proporcionan en el ejercicio para resolver la ecuación 1 y 2.

Así de la ecuación 1 nos proporcionan F_{m1} y F_{m3} , **por lo tanto, despejamos de esta ecuación a F_{m2} .**

$$F_{m2} = F_{m1} - F_{m3}$$

Sustituyendo valores

$$F_{m2} = 2040 \text{ kg/h} - 940 \text{ Kg/h} = 1100 \text{ kg/h}$$

Entonces, ¿qué significa F_{m2} ? Es la masa total en la corriente 2, lo que nos están pidiendo es determinar la cantidad de etanol en la corriente 2.

Para encontrar la cantidad de etanol en esta corriente multiplicamos $F_{m2} \cdot (Y_{\text{etanol}})$

$$\text{Etanol (Producido)} = 1100 \text{ kg/h} \cdot (0.78) = 858 \text{ Kg/h de etanol}$$



¡Muy bien, hemos llegado al resultado!



Te sugerimos que realices la lectura de las páginas 116 a 120 de libro de Felder R., et al (2004). *Principios elementales de los procesos químicos*. En el texto encontrarás las herramientas básicas para ingeniería, aunque se centra principalmente en las aplicaciones en el área de química. Recuerda que los principios son los mismos, te presenta las bases para resolver los balances de materia en sistemas reactivos y físicos, equipo empleado para control de las variables. Existen varios ejercicios resueltos de aplicación en balances de materia y energía. ¡Consúltalo, te ayudará!

Para finalizar esta sección es indispensable recordar que para tener el control de un equipo o proceso, los balances de materia y energía son el monitoreo de las entradas y salidas de materiales y energía en dicho proceso o de una parte de este. Estos balances son importantes para el diseño y tamaño de los equipos.

Los balances de materia y energía se basan en las leyes de la conservación de la masa y de la energía, que indican la cantidad de masa y energía constantes en el proceso, tanto de la entrada al proceso como la salida.

3.2. Clasificación de balances de materia

Observa que las operaciones matemáticas son muy sencillas, lo importante es que organices la información y seas sistemático en la solución de los ejercicios.

Realizaremos otro ejercicio que presentamos en la unidad 1, que no se había resuelto numéricamente.

Ejemplo 2: **Balance de materia en la operación unitaria de evaporación.**

En 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 2840 kg/h del zumo y 12°Brix; 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.

Para determinar la cantidad de jugo de manzana concentrado (30°Brix por día, empecemos primero realizando el diagrama del flujo por bloques y rotulándolo. Observa el siguiente esquema **figura 9**.

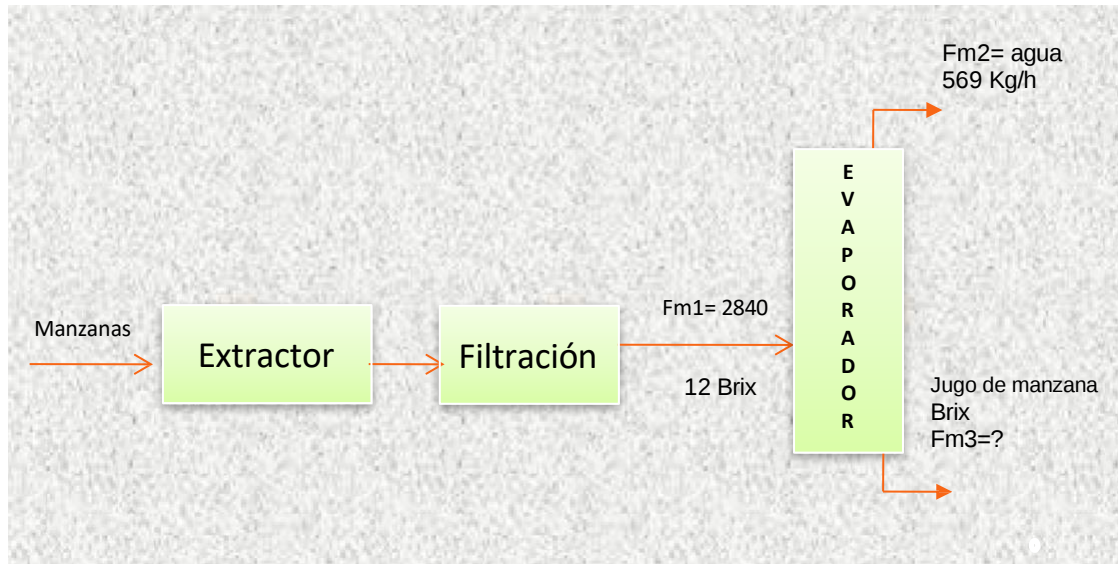


Figura 9.

La operación unitaria de la evaporación es un proceso de separación que se emplea para reducir el contenido de agua en el jugo o se puede ver que es para aumentar el contenido de sólidos o °Brix en el jugo. En la evaporación no existe transformación de la materia, es un proceso físico.

Así, el balance general es para los flujos de masa total que pasa en las corrientes (**figura 10**).



Figura 10.

Entrada y salidas queda expresado como sigue:



Flujo de entrada (F_{m1}) = Flujo en la corriente de salida 2 (F_{m2}) + Flujo en la corriente de salida 3 (F_{m3})

Balance General **$F_{m1}=F_{m2}+F_{m3}$ Ecuación 3**

Ahora establecemos el balance por componentes en el sistema, tenemos que en la evaporación contamos con dos componentes el agua y sólidos ($^{\circ}\text{Brix}$) **figura 11**.

Balance para los sólidos tenemos:



Figura 11.

La entrada del sólidos se obtiene multiplicando el flujo másico total de entrada por la fracción molar de sólidos ($^{\circ}\text{Brix}/100$) en la entrada = $F_{m1}*(Y_{\text{sólidos}})$

La salidas de sólidos = $F_{m3}*(Y_{\text{sólidos}})$. Observa que existe una sola salida de sólidos debido a que en la parte superior del evaporador sólo se recupera agua en forma de vapor.

Entonces **el balance para el componente de los sólidos en el jugo** queda:

$F_{m1}*(Y_{\text{sólidos}})= F_{m3}*(Y_{\text{sólidos}})$ Ecuación 4

El balance para el componente agua en el jugo queda:

$F_{m1}*(Y_{\text{agua}})= F_{m2}*(Y_{\text{agua}}) + F_{m3}*(Y_{\text{agua}})$ Ecuación 5

El siguiente paso es identificar los datos que proporcionan en el ejercicio para resolver la ecuación 3, 4 y 5.

Así de la ecuación 4, el enunciado proporciona los datos de **F_{m1} y F_{m2} , de esta ecuación, despejamos de esta ecuación a F_{m3} .**

$F_{m3}= F_{m1}-F_{m2}$



Sustituyendo valores

$$Fm3 = 2840 \text{ kg/h} - 569 \text{ Kg/h} = 2271 \text{ kg/h de Jugo}$$

Entonces, **el flujo másico de jugo concentrado de salida (Fm2)** transformamos las horas a día.

Flujo másico (jugo concentrado)=

$$\left(2271 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \right) = 54,504 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Solución: Jugo de manzana concentrado (Producido/día)= $54504 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$



A continuación te invito a que revises las páginas 88 y 95 de Valiente A. (2008) del libro *Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria*, además en las páginas 63 y 75 de Himmelblau, en estos apartados se encuentran ejercicios resueltos de balance de materia.

Es importante que de los ejercicios resueltos únicamente identifiques los pasos para resolver los ejercicios. Intenta resolver numéricamente al menos uno y comprueba tu resultado.

3.2.1. Balance de materia con reacción química

Como se mencionó anteriormente un balance de materia de un proceso industrial es la contabilidad exacta de todos los materiales que entran, salen, se acumulan o se agotan en el curso de un intervalo de tiempo de operación.

Un balance de materia es, de este modo, una expresión de la Ley de conservación de la masa teniendo en cuenta las variables que entran y salen del sistema. Si se hiciesen medidas directas del peso y la composición de cada corriente que entra o sale en un proceso durante un intervalo de tiempo dado así como de la variación en el inventario de material dentro del sistema durante aquel intervalo de tiempo, no sería necesario ningún cálculo.



La solución de un balance en un sistema depende directamente de las variaciones en la resolución del problema de las variables que se desconocen, tales como la composición o masa, o bien de las corrientes que entran o que salen.

Algunos pasos a seguir te permitirán dirigir el transcurso de los cálculos.

- Si no existe reacción química no hay necesidad de establecer balances de materia para los elementos químicos presentes, en tales procesos los balances de materia deberán basarse en los compuestos químicos mejor que en los elementos.
- Si tienen lugar reacciones químicas, se hace necesario desarrollar balances de materia basándose sobre elementos químicos o sobre radicales compuestos o sustancias que no se alteren, descompongan o formen en el proceso.
- Para procesos donde no tengan lugar reacciones químicas, es preferible el empleo de unidades de peso tales como gramos o libras.
- El número de magnitudes desconocidas que ha de ser calculado no puede exceder al número de balances de materia independiente que se puedan plantear.
- Si el número de ecuaciones de balance de materia independiente es mayor que el número de masas desconocidas que se van a calcular, ha de aplicarse un cierto criterio para determinar qué ecuaciones deberán elegirse para resolver el problema.

Para procesos que llevan consigo reacciones químicas, los balances de materia que llevan consigo reacciones químicas caen dentro de dos clases generales:

- Los procesos donde se conocen las composiciones y pesos de las diferentes corrientes en entran al sistema, las cuales son necesarias para calcular las composiciones y pesos de las corrientes que salen del proceso para un grado específico de conversión de la reacción.
- Se conocen parcialmente las composiciones y pesos de las corrientes que entran, es necesario calcular las composiciones y pesos de todas las corrientes que entran y salen y determinar el grado de conversión de la reacción.

En estos cálculos es necesario trabajar con unidades molares mejor que con unidades ordinarias de peso, para componentes sometidos a transformación química. Debe elegirse el reactivo limitador. La cantidad de cada material que reacciona puede especificarse entonces en función del porcentaje en exceso que se obtiene del teóricamente necesario.



Hasta este momento hemos revisado los balances de materia en procesos no reactivos, sin embargo en la biotecnología se llevan a cabo diferentes procesos donde ocurre transformación de materia, es decir, procesos con reacción química algunos ejemplos son:

- Fermentación alcohólica
- Fermentación láctica
- Inversión de azúcar
- Producción de biocombustibles
- Generación de hidrogeno por medio de microalgas
- Hidrólisis enzimática
- Composteo
- Obtención de penicilina
- Oxidación de la materia orgánica, etcétera

Para realizar los balances de materia en procesos químicos vamos a recordar algunos conceptos como son Estequiometria, Reactivo limitante y Rendimiento



Para reforzar la información te invito a que revises las páginas 116 a 120 Felder et al. (2004) del libro *Balance de materia y energía en la industria alimentaria*, además en las páginas 63 y 75 de Himmelblau, en estos apartados se encuentran ejercicios resueltos de balance de materia.

Cuando en un balance de materia ocurren reacciones químicas, el balance de materia para estas sustancias que participan en la reacción no tiene la forma de entrada igual a la salida, ya que debe de contener un término de producción o de consumo.

Es vital realizar una ecuación estequiométrica, la cual representa la reacción química e indica el número de moléculas, moles de reactivos y de productos que participan de la reacción. Se debe de conocer los coeficientes estequiométricos que se usan como factores de conversión para calcular cantidades consumidas de reactantes o de productos.

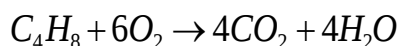
$$\text{Numero de ecuaciones} = \text{Numero de especies} - \text{Numero de reacciones químicas independientes entre las especies}$$



Figura 12.

En muchos balances con reacción química las reacciones se realizan lentamente, en estos casos, el proceso se diseña de manera que el reactivo limitante no se consuma completamente y se diseña un proceso de separación para extraer el reactivo no consumido por el producto.

Cuando ocurre un proceso con transformación química, lo primero que debemos identificar son **los reactivos y productos de la reacción** que se llevan a cabo; posteriormente es necesario balancearla, una vez realizado esto podemos ver el número de moles de reactivos y productos que participan en la reacción. Así la **estequiometría de una reacción** indica el número de moles de reactivos y de productos que participan en el proceso. Por ejemplo de la siguiente reacción:



En la oxidación del **buteno**, la **estequiometría** de la reacción nos da la siguiente información, los coeficientes estequiométricos son los números que están a un lado de los compuestos; por ejemplo, para el buteno es uno, el oxígeno es seis, el dióxido de carbono es cuatro y para el agua es cuatro.

- a) 1 mol de C_4H_8 necesita para oxidarse 6 moles de O_2
- b) 1 mol de C_4H_8 produce 4 moles de CO_2
- c) 6 moles de O_2 produce 4 moles de H_2O

Para que la reacción proceda y se obtengan los productos correspondientes, depende de las concentraciones de los reactivos. **El reactivo limitante** es el reactivo que controla la reacción y se agota primero en el proceso.

El rendimiento del proceso se define como los moles formados de producto deseado entre los moles de reactivo limitante consumido.

Ejemplo de balances de materia para procesos con reacción biológica

El ácido acético se emplea en la elaboración de vinagre y se obtiene por la fermentación de la glucosa con bacterias *Clostridium* sp (Ver figura 13).



Determinar la cantidad de ácido acético obtenido en un día, si se alimenta a un reactor 800 Kg/h de glucosa, considerando que la reacción es completa.

Primero realizamos el diagrama del proceso que se muestra en el esquema siguiente:

Colocar la reacción de la fermentación acética y balancearla:

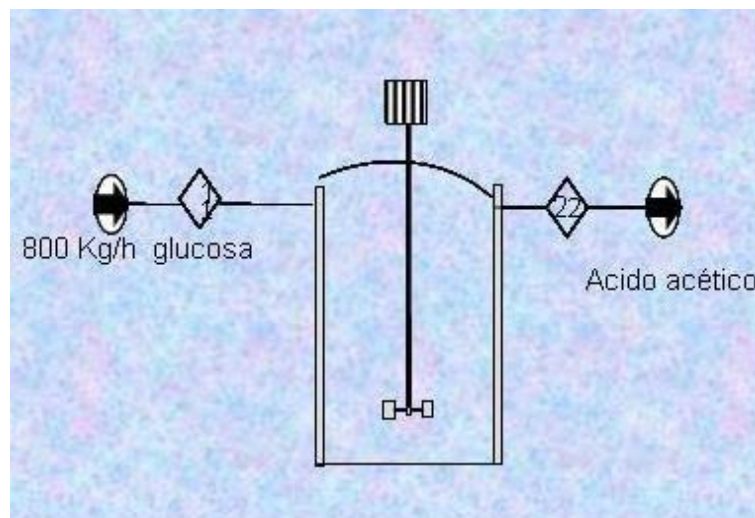
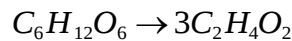


Figura 13.

Determinar el peso molecular de las especies químicas: El peso molecular (PM) de la Glucosa=180 g/mol, lo que significa que **1 mol de glucosa tiene 180 g de glucosa**, PM del ácido acético= 60 g/mol; lo que significa que **1 mol de ácido acético tiene 60 g de ácido acético**.

Balance para el ácido acético $C_2H_4O_2$ pasamos los Kg de glucosa a moles.

$$\frac{800000 \text{ g (glucosa)}}{\text{h}} \left[\frac{1 \text{ mol}}{180 \text{ g}} \right] = 4444.4 \text{ mol (Glucosa)}$$

Ahora utilizando la estequiometría de la reacción tenemos:

Por cada mol de glucosa se generan 3 moles de ácido acético



$$\left[\frac{3 \text{ mol (ácido acético)}}{1 \text{ mol Glucosa}} \right] \left[\frac{4444.4 \text{ mol Glucosa}}{1} \right] = 13,333.2 \text{ mol}$$

Entonces se obtienen 13, 333, 2 mol de $\frac{\text{ácidoacético}}{h}$

¡Muy bien llegamos al final del ejercicio!



Para reforzar la información te invito a que revises las páginas 291 y 299, Monsalvo, et al. (2010). *Balance de Materia y Energía en Procesos Industriales* en estas páginas se encuentran ejercicios resueltos de balances de materia en procesos con reacción.

De los ejercicios resueltos únicamente es necesario que identifiques los pasos para resolver los ejercicios.

La secuencia de pasos para resolver numéricamente el balance de materia con reacción es la siguiente:

1. Establecer la reacción del proceso
2. Revisar que la ecuación está correctamente balanceada, es decir, que el número de moles de un elemento en reactivos sea igual al número de moles del elemento en los productos. Observa la siguiente imagen (**figura 14**)

Reactivos		Productos
1	C	1
2	H	2
1	O	1

Figura 14.



3. Cuando en los datos se proporcione la materia en unidades de flujo másico (cualquiera unidad de masa/unidad de tiempo) por ejemplo $\frac{Kg}{h}$, $\frac{ton}{h}$, $\frac{g}{h}$ transformarla a flujo

$$\text{molar} \left[\frac{\text{mol}}{\text{tiempo}} \right]$$

4. Identificar la estequiometría de la reacción.

5. Realiza el balance de materia de acuerdo a la información que solicitan.

Para terminar la unidad resolveremos otro ejercicio donde se requiere emplear la metodología sugerida en balances de materia con reacción.

Ejemplo de balances de materia para procesos con reacción

El benzoato de sodio en la industria de alimentos se emplea como conservador e intermediario en la fabricación de colorantes. Uno de los procesos para elaborarlo es a partir de ácido benzoico con bicarbonato de sodio, obteniendo como subproducto dióxido de carbono y agua.

De acuerdo a la reacción presentada adelante:

1. Se alimenta a un reactor 340 Kg de ácido benzoico y la cantidad estequiometría de bicarbonato de sodio, determinar la cantidad de benzoato de sodio que se obtiene en el proceso de la **figura 15**.

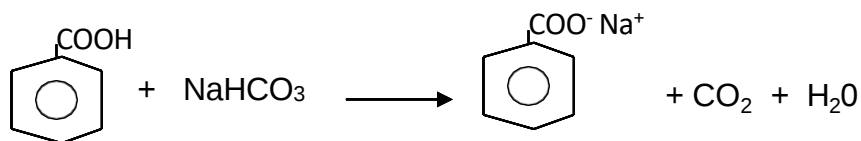


Figura 15.

2. Observa que la reacción está balanceada.

3. Transformar la masa (340 Kg) a moles, encontrar el peso molecular del ac.

Benzoico= 132 g/mol.



$$\text{moles} = \frac{340000 \text{ g}}{132 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 2575.75 \text{ mol}$$

4. La estequiometría de la reacción nos da la siguiente información:

Por 1 mol de ácido benzoico se produce 1 mol de benzoato de sodio, por lo tanto,

5. Si alimentamos al reactor 2775.75 mol de ácido benzoico, **se obtienen 2775.75 mol de benzoato de sodio.**



Para reforzar la información te sería interesante que revises las páginas 125 y 133 Felder et al (2004), del libro *Principios elementales de los procesos químicos*, en estas páginas se encuentran los balances de masa en procesos reactivos y ejercicios resueltos de balance de materia en proceso con reacción.

Revisaremos un ejemplo de balance de materia y energía.

Dos mezclas etanol – agua se encuentran en dos matraces separados. La primera mezcla contiene 35% en peso de etanol, y la segunda contiene 75% en peso del mismo. Si se combinan 350 g de la primera mezcla con 200 g de la segunda, ¿cuál es la masa y la composición del producto? Observa la **figura 16**.

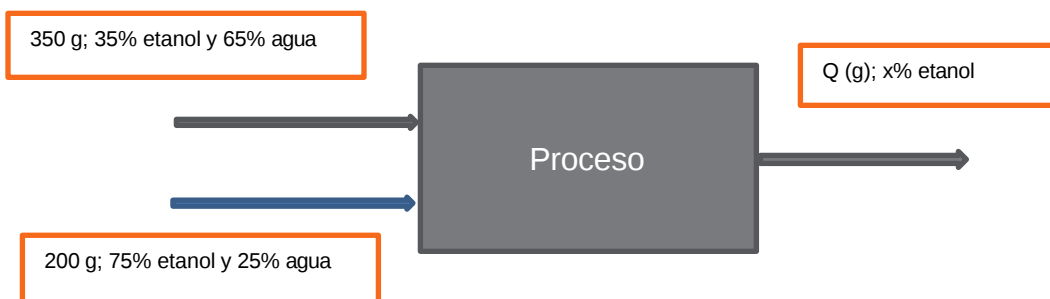


Figura 16.

Como no hay reacciones químicas involucradas, los términos de producción y consumo de la ecuación de balance valen cero y la ecuación toma la forma “entrada = salida”.



Balance total de masa:

$$350 \text{ g} + 200 \text{ g} = Q \rightarrow Q = 550 \text{ g}.$$

Balance parcial de masa para el etanol:

$$350 \text{ g} * 0,35 + 200 \text{ g} * 0,75 = 550 \text{ g} * r_{\text{et}} \rightarrow r_{\text{et}} = 0,4955.$$

El cálculo se puede comprobar mediante el balance parcial de masa para el agua:

$$350 \text{ g} * 0,65 + 200 \text{ g} * 0,25 = Q * r_{\text{ag}} \rightarrow 277,5 \text{ g} = 550 \text{ g} * (1 - 0,4955) \\ \rightarrow 277,5 \text{ g} = 277,5 \text{ g}.$$

3.2.2. Balance de materia sin reacción química

El balance de materia es un contabilizador de la materia que entra al proceso y que sale de un proceso, en donde este sufre un cambio físico o químico e inclusive fisicoquímico, los balances de materia se fundamentan en la ecuación general de la Ley de conservación de la materia como se mencionó anteriormente.

Imagínate que los balances de materia son como un balance de nuestras cuentas bancarias que se observa de la siguiente forma.

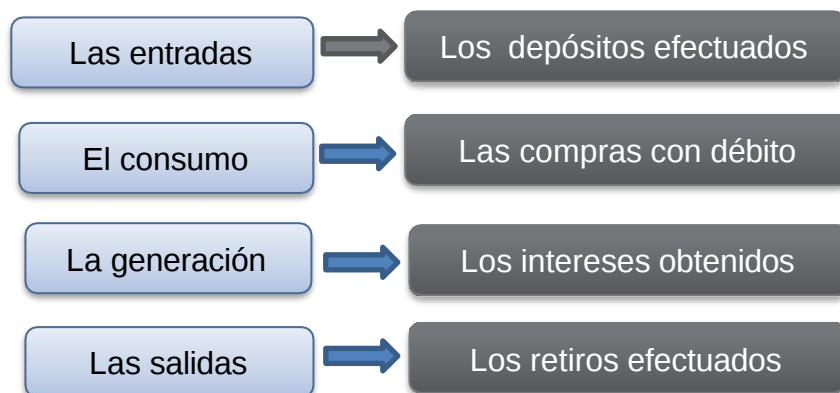


Figura 17.

La acumulación es representada como la acumulación mediante el ahorro. En forma general los cálculos de un balance de materia son casi siempre un requisito previo para todos los demás cálculos al resolver problemas de ingeniería química, tanto sencillos como complejos.



La forma de plantear la ecuación dependerá del tipo de proceso que se esté evaluado.

En los sistemas sin reacción química no se alimenta al proceso, no existe un consumo de los reactivos que bajo las condiciones del mismo reactive el sistema, por ello no pueden consumirse o reaccionar para generar producción de nuevas especies. En pocas palabras, no tenemos ni consumo ni generación, por lo que la ecuación general queda resumida de la siguiente forma:



Figura 18.

Esta ecuación representa el balance global de materia del proceso, y si conociéramos que A es un componente o especie que entra al proceso, podríamos realizar un balance guiándonos a partir del balance global, pero considerando solo la participación de dicho componente en el proceso. Entonces tenemos su balance por componente.

$$\sum \text{entrada de materia A} = \sum \text{salida de materia A}$$

Recuerda que la cantidad de materia de un componente (A) en una corriente de proceso cuando esta se mezcla viene dado por:

Masa:

$$\text{Masa A} = \text{Fraccion masica A} * \text{Masa total de la corriente}$$

Moles:

$$\text{Mol A} = \text{Fraccion Molar A} * \text{Moles totales de la corriente}$$

Una característica fundamental de los balances de materia sin reacción química se debe:





Figura 19.

Ejemplo. **Balance de materia en la operación unitaria de mezclado.**

Se desea obtener un aditivo alimentario, que contenga un porcentaje del 20% de colorante, a partir de dos aditivos el primero contiene 28% de colorante y el segundo 13% de colorante. Considerar que el aditivo con el colorante al 28% se alimenta a 250 kg/h.

- Calcular la cantidad de producto generado por hora de proceso.
- Calcular la cantidad alimentada del aditivo que contiene 13 % de colorante.

Iniciamos con el diagrama del proceso **figura 20**, identificando las variables que proporcionan el enunciado y algo muy importante no debes de perder de vista **que estás buscando**.

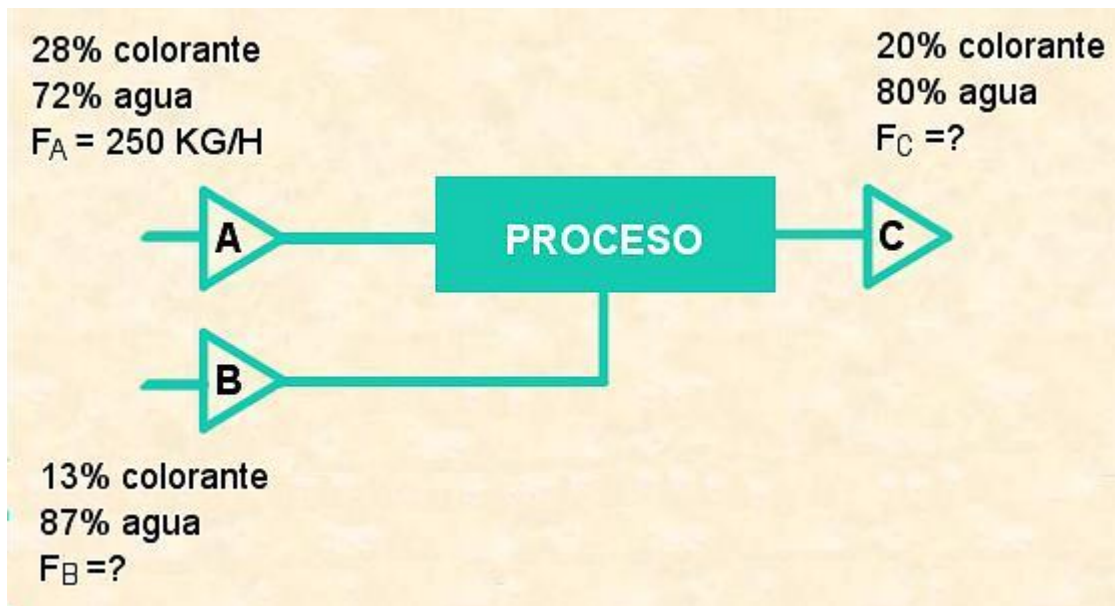


Figura 20. Diagrama del proceso.

Es un proceso físico, por lo tanto, las entradas y las salidas quedan expresadas como sigue:

Flujo de entrada A (F_A) + Flujo de entrada B (F_B) = Flujo en la corriente de salida C (F_C)

Balance General

$$F_A + F_B = F_C \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$



De la ecuación 6 tenemos dos incógnitas, el flujo de la entrada B (F_B), y el flujo de salida de C (F_C) por lo tanto no se puede resolver, seguimos con el balance por componente, en el sistema tenemos dos: el colorante y agua.

Balance para el colorante tiene dos entradas y una salida entonces queda:

$$F_A \cdot (Y_{\text{colorante en A}}) + F_B \cdot (Y_{\text{colorante en B}}) = F_C \cdot (Y_{\text{colorante en C}}) \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

De la ecuación 7 tenemos dos incógnitas, el flujo de la entrada B (F_B), y el flujo de salida de C (F_C)

Entonces tenemos dos ecuaciones 6 y 7, con dos incógnitas, resolvemos por el método de sustitución, de la ecuación 6 despejamos F_B y la sustituimos en la ecuación 7. Así encontramos el valor de F_C que representa la cantidad de colorante al 20 % obtenido.

$$250 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} (0.28) + \left(F_C - 250 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) (0.13) = (0.2) F_C$$

$$\text{Despejando } F_C = \frac{37.5}{0.07} = 535.7 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Entonces podemos encontrar el flujo de entrada de B de la ecuación 6

$$F_B = F_C - F_A \dots\dots\dots$$

$$F_B = 535.7 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} - 250 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 285.7 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Con esto terminamos el ejercicio, recuerda que para la solución numérica de los balances sigue los pasos sugeridos y se te van a hacer sencillos, lo más importante es que para entender esto deberás resolverlos por tu lado para que identifiques la parte que se te dificulta, de esta manera podrás consultar a tu **facilitador(a)** de la asignatura con preguntas específicas.

Estás finalizando la tercera unidad de Balance de materia y energía. Como verás, se trata de una asignatura con mucha aplicación en la industria. Además de manejar los conceptos básicos de ingeniería, lo más significativo es la aplicación en procesos u operaciones unitarias de la industria.



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

Actividades

La elaboración de las actividades estará guiada por tu figura académica, mismo que te indicará, a través de la Planificación de actividades de la figura académica, 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_U3_A1_XXYZ, donde BBME corresponde a las siglas de la asignatura, U3 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 figura académica 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_U3_ATR_XXYZ, donde BBME corresponde a las siglas de la asignatura, U3 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

A lo largo de esta unidad se estableció la metodología para la solución numérica de los **balances de materia** para obtener el análisis cuantitativo de los procesos industriales en diferentes unidades de proceso en sistemas con procesos físicos y procesos químicos.

La mayoría de los balances de materia en sistemas físicos y/o químicos, tienen solución numérica con matemáticas sencillas, lo más importante es que organices y visualices la



información que se proporciona, como las variables del proceso, operaciones unitarias. Esto se logra mediante un **diagrama de bloques** del proceso.

Los balances de materia y energía son de mucha importancia para los procesos no reactivos, tales como la evaporación, filtración, mezclado, molienda, destilación, etcétera, y para procesos reactivos como oxidación de materia orgánica, combustión, fermentación alcohólica, fermentación láctica, etcétera.

Recuerda que el dominio del tema depende de tu interés y del entusiasmo que le dediques, debido a que esta es una asignatura muy práctica. En la medida que realices más ejercicios vas a poder entender y aplicar los balances de materia en procesos industriales.

Para saber más



Jiménez Gutiérrez, A. (2003). *Diseño de Procesos en Ingeniería Química*. Celaya: Editorial Reverté. (pp. 59 – 77).

Richard, F., & Ronald, R. (2004). *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. México DF: LimusaWiley. pp. 83 – 186.

Reklaitis G. V. (1986). *Balances de Materia y Energía*. México: Nueva Editorial Interamericana. pp. 252 – 351.

Patiño Olivares, A. (2007). *Introducción a la Ingeniería Química (Balances de Masa y Energía)*. México DF: Universidad Iberoamericana.



Fuentes de consulta



- Felder, et al (2004). *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. México: LimusaWiley.
- Gray, B.H., et al (2003) *Principios básicos de química*. España: Reverte.
- Himmelblau, D. (1997). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química 6ª Ed.* Estado de México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Instituto Interamericano para la Cooperación de la Agricultura. *Manual de Capacitación en Agroindustria Rural*. San José, Costa Rica. Programa Cooperativo de Desarrollo Industrial Rural (PRODAR).
- Miranda Miranda, O., et al (2007). *Elaboración de una bebida fermentada a partir del suero de queso. Características distintivas y control de calidad*. Revista Cubana de Alimentación Nutrición. Instituto de investigaciones agropecuarias Jorge Dimitrov. Bayamo, Granma, Cuba.
- Monsalvo R., et al (2010) *Balance de Materia y Energía en Procesos Industriales*. Grupo Editorial Patria S.A de C.V.
- Rodríguez, V. A. (2008). *Procesos de elaboración de yogurt deslactosado de leche de cabra*. Ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Valiente, A. (2008) *Problemas de Balance de Materia y Energía en la Industria Alimentaria*. Segunda edición. Editorial Limusa.