

“FUNDAMENTOS BÁSICOS DE CÁLCULOS DE INGENIERÍA QUÍMICA CON ENFOQUE EN ALIMENTOS”

LUIS CEDEÑO SARES



 Editorial
UTMACH

REDES 2017
COLECCIÓN EDITORIAL



Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería química con enfoque en alimentos

Luis Cedeño Sares

Coordinador



Primera edición en español, 2018

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa editorial de la UTMACH

Ediciones UTMACH

Gestión de proyectos editoriales universitarios

165 pag; 22X19cm - (Colección REDES 2017)

Título: Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería química con enfoque en alimentos. / Luis Cedeño Sares (Coordinador)

ISBN: 978-9942-24-118-4

Publicación digital

Título del libro: Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería química con enfoque en alimentos.

ISBN: 978-9942-24-118-4

Comentarios y sugerencias: editorial@utmachala.edu.ec

Diseño de portada: MZ Diseño Editorial

Diagramación: MZ Diseño Editorial

Diseño y comunicación digital: Jorge Maza Córdova, Ms.

© Editorial UTMACH, 2018

© Luis Cedeño, por la coordinación

D.R. © UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA, 2018

Km. 5 1/2 Vía Machala Pasaje

www.utmachala.edu.ec

Machala - Ecuador

Advertencia: “Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, existente o por existir, sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos correspondientes”.



César Quezada Abad, Ph.D

Rector

Amarilis Borja Herrera, Ph.D

Vicerrectora Académica

Jhonny Pérez Rodríguez, Ph.D

Vicerrector Administrativo

COORDINACIÓN EDITORIAL

Tomás Fontaines-Ruiz, Ph.D

Director de investigación

Karina Lozano Zambrano, Ing.

Jefe Editor

Elida Rivero Rodríguez, Ph.D

Roberto Aguirre Fernández, Ph.D

Eduardo Tusa Jumbo, Msc.

Irán Rodríguez Delgado, Ms.

Sandy Soto Armijos, M.Sc.

Raquel Tinóco Egas, Msc.

Gissela León García, Mgs.

Sixto Chilinguina Villacis, Mgs.

Consejo Editorial

Jorge Maza Córdova, Ms.

Fernanda Tusa Jumbo, Ph.D

Karla Ibañez Bustos, Ing.

Comisión de apoyo editorial

Índice

Capítulo I

Aspectos básicos del Balance de Materia	16
	Raúl Díaz Torres

Capítulo II

El balance de materia	44
	Raúl Díaz Torres

Capítulo III

Balance de Materia en proceso de secado, deshidratación y concentración de jugos	66
	Luis Cedeño Sares; Carmen Llerena Ramírez

Capítulo IV

Balance de Materia en procesamiento de jaleas y mermeladas 89

Luis Cedeño Sares

Capítulo V

Balance de Materia en procesamiento de embutidos, recirculación, método del triangulo 114

Raúl Díaz Torres; Carmen Llerena Ramírez

Capítulo VI

Balance de Materia y energía en procesos térmicos 134

Luis Cedeño Sares; Carmen Llerena Ramírez; Sócrates Palacios Ponce

Dedicatoria

A mi esposa, Jackie.

A mis amigos y a todos aquellos que fueron mis estudiantes y me animaron a realizar este trabajo

Raúl Díaz Torres

A Dios, mi esposa, familiares y colaboradores que he tenido la agrado de conocer y que ayudaron a desarrollar esta obra.

Luis Cedeño Sares

A mi madrecita que ahora está en el cielo, pero siempre me acompañó en todas las actividades que he realizado en mi vida personal y profesional.

Carmen Llerena Ramirez.

A Dios, mi madre, mi hermana, a mis maestros nacionales y del extranjero que me han formado y a los amigos de mi país y del extranjero que he tenido la dicha de conocer.

Sócrates Palacios Ponce.

Prologo

Uno de los principales objetivos de la industria alimentaria es transformar, mediante una serie de operaciones, diversas materias primas de origen agrícola, pecuario u otro, en alimentos aptos para el consumo con la menor pérdida posible de cantidad y calidad. Para esto, se emplean muchos tipos diferentes de equipos, organizados en varias etapas, para alcanzar las transformaciones deseadas. El cálculo y diseño eficiente de cada una de estas etapas, es uno de los propósitos principales de la industria de alimentos.

Independientemente de la tecnología en específico que sea utilizada en estos procesos de transformación, esta tecnología estará constituida por una serie de operaciones unitarias como el mezclado, la transferencia de calor, el flujo de materiales, etc. Sin embargo, un elemento común en todo el proceso, es la conservación de la materia a lo largo de todas las transformaciones que ocurran. La comprensión y aplicación correcta de este principio, es una premisa para el buen funcionamiento de la industria y también para lograr la eficiencia económica que tanto se persigue.

El presente texto ha sido elaborado con la intención de ayudar a aquellos estudiantes que se enfrentan con estos procesos tanto para la carrera de ingeniería química como inge-

nería en alimentos, cuya intención es detallar de la mejor manera la comprensión de algunos de los aspectos básicos que rigen el procesamiento de los alimentos. Para ello, en cada capítulo se presentan no solo los principios básicos y las ecuaciones que los rigen, sino también ejemplos resueltos relacionados con los principios explicados.

Los dos primeros capítulos están dirigidos a exponer y ejemplificar los fundamentos del empleo correcto de los sistemas de unidades y del balance de masa como expresión de la ley de conservación de la materia, mientras que los restantes capítulos exponen casos particulares de este uso.

Los autores esperamos que este libro sea útil como referencia para los estudiantes de tecnología de alimentos y como un texto para estudiantes que quieran profundizar en este campo.

Introducción

Importancia de la industria alimentaria.

La industria de los alimentos se mueve a gran velocidad para hacer frente al aumento de la población mundial, paralelamente los avances en la agricultura están proporcionando tecnologías agrícolas que dan lugar al rendimiento de la producción de alimentos. La necesidad de alimentos para satisfacer a una población en constante crecimiento no solo está determinada por obtener alimentos seguros, sino también de alta calidad, con el fin de proporcionar salud. Los aspectos más relevantes en la industria de alimentos son: producción y disponibilidad de alimentos, inocuidad de los alimentos, calidad e innovación; esto se origina que en el procesado de alimentos en donde las materias primas son tratadas mediante muchas operaciones de procesos conformados en etapas, que llegan a cambiar la composición química y/o su nivel energético, requieran esfuerzos de ingeniería importante para adecuarse a las demandas de calidad, seguridad, funcionabilidad y durabilidad del producto alimentario obtenido (Singh, 2009), permitiendo una variedad de productos convencionales y funcionales.

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés marcado de los consumidores en seleccionar ciertos alimentos, que aporten valor nutritivo y beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Estas variaciones en los patrones de alimentación generaron unas nuevas áreas de desarrollo en las ciencias de los alimentos, permitiendo el adelanto de la industria de esta área. En la actualidad, se observa una clara preocupación en nuestra sociedad por la posible relación entre el estado de salud personal y la alimentación que se recibe; incluso se acepta sin protesta que la salud es un bien preferentemente controlable a través de la alimentación, por lo que se detecta en el mercado alimentario una evidente preferencia por aquellos alimentos que se anuncian como benéficos para la salud (Aiello, 2011). Entre estos productos tenemos a los mínimamente procesados, que es una tecnología en la industria alimentaria con la finalidad de obtener productos seguros y frescos, que conserven sus cualidades nutricionales y organolépticas permitiendo alargar la vida útil de los mismos; lo que permite satisfacer los gustos del consumidor, ello está asociada a cambios en los hábitos de consumo. (Herrero, & de Avila, 2006). Otro ejemplo definido de la importancia de la industria alimentaria, es la industria láctea; siendo uno de las secciones más importantes de la economía de países industrializados y en desarrollo. Alrededor del 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es descartada como lactosuero, en cuya composición se encuentra el 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales. Debido a la gran cantidad de lactosuero que se produce a nivel mundial, se han propuesto numerosas alternativas para la utilización de este residuo ya que alrededor del 30 % del lactosuero producido permanece subutilizado (Alonso, Rendueles & Díaz, 2011) y otra gran cantidad es empleada en la alimentación animal (Ling Jiang, 2015). Estos valores representan anualmente 110-115 millones de toneladas métricas de lactosuero que son producidas a nivel mundial a través de la elaboración de queso (Parra Huertas, 2009).

Debe considerarse que actualmente las industrias alimentarias no solo son valoradas por su desempeño productivo y económico, sino también por su relación con el ambiente, de manera que la protección de este ha pasado de ser una exigencia sujeta a multas o sanciones a una situación donde representa amenazas y oportunidades y hasta condiciona su permanencia o salida del mercado, de manera que la utilización eficaz, de bajo costo y ecológicamente racional de estos subproductos materiales es cada vez más importante, no solo por las restricciones legales que ya empiezan a surtir efecto en muchos países, sino también por un problema de defensa de nuestro amenazado planeta (Cury et al, 2017).

Procesos.

La industria alimentaria requiere hombres y maquinarias para procesar los productos de origen agrícolas, o naturales en general; en un sentido en un sentido amplio, esta industria pertenece a los llamados procesos de manufactura que se define como el proceso de convertir materias primas en productos terminados; también comprende los procesos de obtención de otros productos mediante la transformación de un primer producto terminado; para transformar la materia prima de origen alimentario se ejecutan pasos relacionados entre sí. A esta secuencia se llama proceso; los procesos a los que continuamente ingresa y de los que se obtienen materiales y/o productos elaborados, reciben el nombre de procesos continuos; existe otro tipo de proceso en el cual se adiciona el material alimentario a procesar en un equipo, se desarrolla un tiempo de transformación físico, químico o biológico y luego se evacúa del equipo como producto terminado, el cual es trasladado al almacén de despacho; o es utilizado en otra etapa de procesamiento en caso de ser semielaborado. Estos procesos son intermitentes. En los procesos continuos siempre se fabrica el mismo tipo de productos en las mismas condiciones de temperatura, presión y composición, así como a la misma velocidad o gasto. Los procesos en la industria alimentaria moderna son, por lo general, continuos, pues de esta manera se automatizan garantizándose así una producción con calidad continua y uniforme. (Groover, 1997)

En este libro se presentan las herramientas básicas necesarias para la comprensión de las Operaciones de procesamiento de alimentos, que fundamenta a la Ingeniería de alimentos; ya que esta integra a las disciplinas clásicas de la ingeniería, como es la termodinámica, flujos de fluidos, química física, operaciones industriales, biológicos, etc.; que se integran para el estudio de las tecnologías de transformación de materias primas alimentarias, entender la ingeniería que subyace tras los procesos alimentarios tiene una importancia fundamental en el crecimiento de la industria y paralelamente en la educación en la ciencia de los alimentos.

El libro está dirigido a estudiantes, investigadores, ingenieros en alimentos, ingenieros químicos con especialización en el área del procesamiento de alimentos; y aquellas personas interesadas en el área de procesamiento agroindustrial y alimentario en general. En él se presenta información relevante en aspectos de cálculos aplicados a la ingeniería de alimentos e ingeniería química con énfasis en el procesado de alimentos, esta obra es la base para el fundamento de los balances de materias y energía a desarrollarse en las tecnologías del procesado de alimentos.

Referencia bibliográfica

- Aiello, M. (2011). Functional Foods: Between New Consumption Trends and Renewed Perceptions of Health. *Italian Sociological Review*, 5.
- Alonso, S., Rendueles, M., & Díaz, M. (2011). Efficient lactobionic acid production from whey by *Pseudomonas taetrolens* under pH-shift conditions. *Bioresource technology*, 102(20), 9730-9736.
- Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R., & Ch, L. C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 9(S), 122-132.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Naulcapan de Juárez, Estado de Mexico: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.
- Herrero, A. M., & de Avila, M. H. (2016). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*, 50(4), 71.
- Ling Jiang, H. C. (2015). Enhanced propionic acid production from whey lactose with immobilized *Propionibacterium acidipropionici* and the role of trehalose synthesis in acid tolerance. *Green Chemistry*, 250-259.
- Parra Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 62(1).

02 Capítulo Balance de Materia

Raúl Díaz Torres

Los balances de materia y energía son una forma de contabilizar las entradas y salidas de materiales de un proceso o de una parte de éste y pueden ser aplicados a aquellos procesos en donde las propiedades de las materias primas tienden a variar, con la finalidad de obtener productos estandarizados que sirvan para cubrir las necesidades de la sociedad. En la industria de alimentos estos balances energía constituyen una herramienta fundamental para el desarrollo tecnológico de nuevos productos, para el control de la materia prima, y para realizar los cálculos para la producción final. Los balances de materia son la base fundamental para el diseño de los procesos, debido a que así se determinan tanto las cantidades de materia prima requeridas como los productos procesados u obtenidos, en cada una de las etapas u operaciones individuales de los procesos. De esta forma se determinarán los caudales y las composiciones de las corrientes de los diferentes procesos proporcionando las ecuaciones básicas para el dimensionamiento de los equipos necesarios para la fabricación de productos (Sinnott &

Raúl Díaz Torres: Ingeniero Químico (1970) y Ph D. en Ciencias de los Alimentos (1997). Profesor jubilado de la Universidad de la Habana, Cuba, actualmente es consultor independiente en Ecuador, participando como profesor en diversos programas de maestría. Cuenta con varios libros de texto y numerosos artículos de investigación.

Towler, 2012), siendo útiles las ecuaciones obtenidas para el estudio del funcionamiento de las plantas de procesamiento industrial, facilitar la resolución de problemas y evaluar el rendimiento obtenido frente al diseño y sus costos.

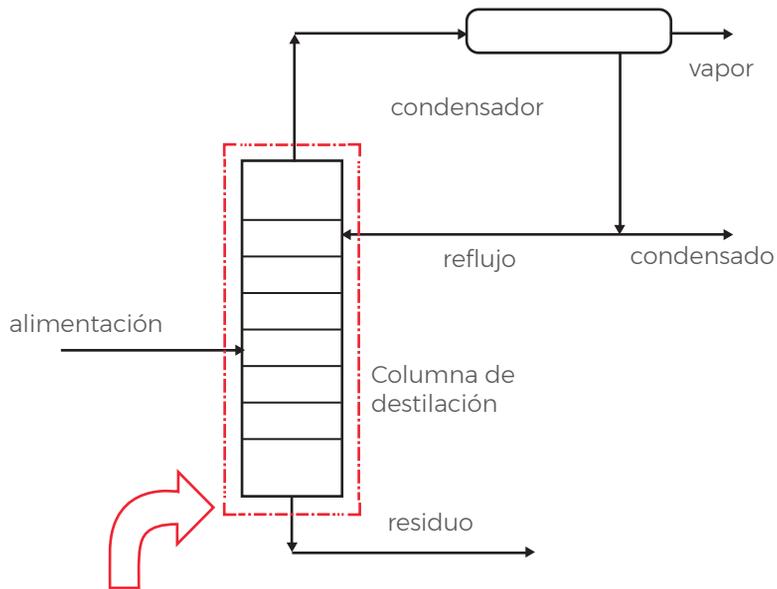
Para poder realizar el balance de masa de un proceso, primero se deben especificar las condiciones del sistema sobre el cual se aplicará dicho balance, en otras palabras, delimitar o definir el sistema al que se le realizará el balance. En este sentido, lo primero es definir si estamos ante un sistema abierto o cerrado.

Un sistema es cualquier masa de material o segmento de equipo que han sido especificados arbitrariamente y en los cuales deseamos concentrar nuestra atención. Para definir un sistema se le circunda con una “frontera”. Esta no tiene que coincidir con las paredes de un recipiente o cualquier otro límite físico. En las figuras 1 y 2 se pueden apreciar las diferencias entre los límites reales o no de un sistema, lo cual puede ser aplicado a cualquier otro sistema.

Toda masa, equipos y energías externas al sistema definido se designan como el entorno del sistema. Siempre debemos trazar fronteras similares al resolver los problemas, pues con este paso se fijan claramente el sistema y su entorno (Himmelblau, 2003).

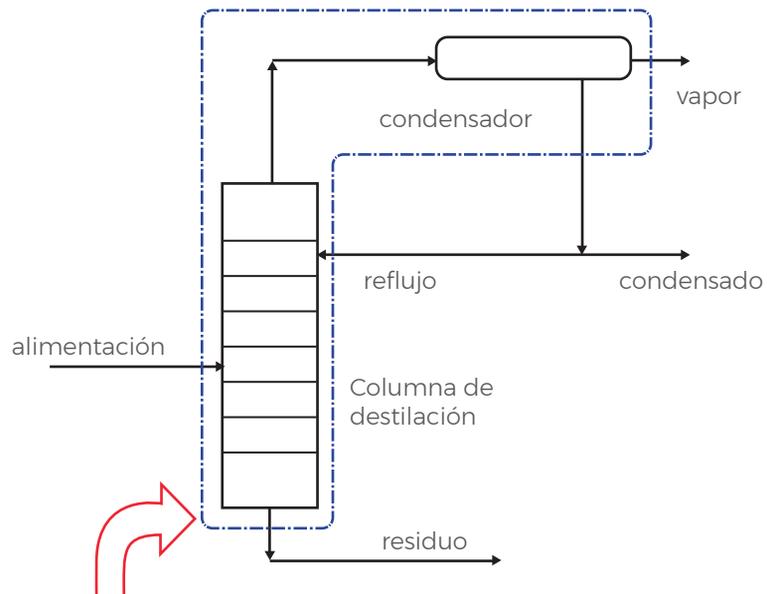
Los sistemas abiertos se diferencian de los cerrados en que los abiertos intercambian masa con su entorno, mientras que en los cerrados solo ocurren cambios internos. La mayor parte de los procesos industriales tienen lugar en sistemas abiertos, donde existen por tanto corrientes de entrada y salida. En los procesos técnicos se toma una serie de flujos continuos de masa que son sometidos a interacción entre sí y con su entorno. Debido a estas interacciones se producen transformaciones que pueden ser físicas o químicas, y dan lugar a intercambios másicos y energéticos con el exterior del sistema y por ende a la obtención de nuevas corrientes continuas de masa como producto del proceso. Estos procesos de transformación e intercambio, tienen lugar, por tanto, en sistemas termodinámicos abiertos (González et al, 2009).

Figura 1. Sistema con límites reales



Fuente: Deiana, Granados, & Sardella, 2017.

Figura 2. Sistema con límites ficticios



Fuente: Deiana, Granados, & Sardella, 2017.

Los balances de materia y energía se basan en las leyes de la conservación de la masa y la energía. Estas leyes indican que la masa y la energía son constantes y que por lo tanto la masa y la energía entrante a un proceso, deben ser iguales a la masa y energía salientes a menos que se produzca una acumulación dentro del proceso. La teoría de estos balances es muy sencilla, pero su aplicación puede ser muy complicada, a menos que se tenga una metodología adecuada para resolver estos problemas.

Los cálculos de balance de material son empleados en la identificación de la entrada y salida de un proceso, y por consiguiente para establecer las cantidades de varios materiales en cada corriente del proceso. El procedimiento es útil en la elaboración de formulaciones, en la evaluación de los rendimientos y para evaluar las eficiencias de separación en sistemas de separación mecánica.

La mayoría de las veces los problemas de balance de materia por la complejidad de los procesos son realizados en más de una etapa, por lo cual en su resolución se deben establecer todas las corrientes del proceso; así como establecer límites para proceder a su resolución.

Ley de la conservación de la materia.

La idea de la conservación de la materia ya estaba presente en las ideas de los filósofos antes de Sócrates. No obstante, fue necesaria la experimentación meticulosamente cuantitativa, y la concepción de sistema cerrado elaborados por parte de Lavoisier que pudo enunciarse la Ley de Conservación de la Masa (a mediados de la década de 1770), para dejar atrás la alquimia y despegar hacia la ciencia química en su concepción moderna (Galagovsky, Di Giacomo, & Alí, 2015).

La ley de conservación de la masa es una forma de expresión de un principio más general (la ley de conservación de la materia) y se considera una de las leyes fundamentales en cualquiera de las ciencias naturales, al establecer un punto extremadamente importante: “En toda reacción química la masa se conserva, es decir, la masa total de los reactivos

es igual a la masa total de los productos”. Dicho en otras palabras “La masa no se crea ni se destruye”. En resumen, el balance de masa es la expresión matemática del principio de conservación de la materia, por lo cual en cualquier proceso que se estudie, donde no exista conversión de masa en energía, será cierta la expresión (Galagovsky & Giudice, 2015).

$$\sum \left[\left(\begin{array}{c} \text{Caudales} \\ \text{de entrada} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{producción} \end{array} \right) \right] = \sum \left[\left(\begin{array}{c} \text{Caudales} \\ \text{de salida} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{destrucción} \end{array} \right) \right] \quad \text{Ecu. 1}$$

El aplicar las leyes de conservación a un problema determinado es efectuar un balance de la propiedad a estudiar en dicho proceso o equipo de proceso. El balance de materia se puede aplicar a procesos y operaciones continuas o discontinuas y tendrá que producir una ecuación en la que se pueda despejar una variable en función de las restantes (Ibarez & Barbosa-Cánovas, 2005).

Esto puede aplicarse tanto en procesos donde solo ocurren pérdidas o ganancia de material como en aquellos procesos donde ocurre una transformación química o bioquímica.

En un proceso por cargas (proceso batch o discontinuo) la materia entra a la zona de trabajo de una sola vez y sale después del tiempo de proceso. El balance de masas se referirá a este periodo y su expresión matemática será:

$$E=S$$

Ecu. 2

E: masa que entra

S: masa que sale

Siendo:

Expresión que puede descomponerse por componentes particulares o referirse a la masa total del sistema. Por ejemplo, si en un proceso (digamos un masajeador) entran 200 kg de carne y 20 kg de salmuera, tanto E como S valdrían 220 kg. Pero si en un proceso de obtención por maceración de un extracto vegetal, se colocan 4 kg de solvente hidroalcohólica por cada kg de material vegetal, y se emplean 50 kg de material vegetal, tanto E como S valdrían 250 kg, pero la cantidad de componente extraído en la fase hidroalcohólica (por ejem-

plo, compuestos fenólicos) pasaría de cero a un valor, aunque el total de compuestos fenólicos en E y S, sería el mismo.

Se pueden establecer tantos balances parciales como el número de componentes que intervengan en el proceso. Entre las variables del proceso se podrán escribir tantas ecuaciones como balances parciales. Para que un sistema tenga una solución única, se requiere que se disponga de tantas ecuaciones como incógnitas. Por tanto, no se pueden presentar más incógnitas que componentes. Debe señalarse que todas las ecuaciones de balance de masa total y balances parciales de masa no constituyen en conjunto un sistema de ecuaciones independientes, debido a que la suma de los balances parciales de masa es igual al balance total de masa. Por ello, no se pueden utilizar todos ellos sino este número de balances menos uno, lo cual corresponde al número de componentes (Londoño, 2015).

En los procesos continuos, las materias ingresan continuamente en la zona de trabajo, y salen del mismo modo; es decir que las etapas de carga, transformación y descargas se desarrollan simultáneamente, tanto así que para desarrollar la limpieza de los equipos y de línea de producción debe detenerse el proceso.

El balance se empleará una vez alcanzado el estado estacionario. En este caso no podrá producirse acumulación de materia y en la ecuación intervendrán los caudales másicos, que son independientes del intervalo considerado.

En el desarrollo de un análisis de Ingeniería mediante la aplicación de una ecuación de balance de material, se representa el proceso y se determinan los límites del sistema para el cual será realizado el balance de masa, siendo importante que los aspectos que afecten la repartición de los componentes, sean conocidos.

También es esencial diferenciar entre procesos en estado estacionario (las propiedades del sistema no cambian con el tiempo, esto implica sin acumulación de masa) y procesos en estado transiente (las propiedades del sistema cambian con el tiempo).

En la industria de alimentos, los casos de interés más frecuentes son aquellos donde el sistema se encuentra en estado estacionario y no ocurre reacción química.

Es esencial que el estudiante perpetúe los principios físicos que se emplean en los procesos presentados. Conociendo estos principios no solamente se permitirá al estudiante resolver los problemas similares de balance de materiales, sino que también se le suministrará una reserva de información que puede ser usada posteriormente como una base para el diseño de un nuevo proceso, o para la evaluación de parámetros que afecten a la eficiencia de un proceso.

El balance total de materia.

La ecuación (entrada = salida + acumulación) cuando se usa sobre la masa total de cada corriente ingresando o saliendo de un sistema representa un balance total de masa. El balance total de masa se basa fundamentalmente en la ley de la conservación de la materia, anteriormente comentada.

Figura 3. Ejemplo de balance de masa en un sistema por cargas, sin reacción química.



Para el caso en que se presenta será un balance por cargas, entonces el balance global se establecerá para el cálculo de las masas que intervienen y se expresarán en kilogramos.

La ecuación del balance será:

$$m_d = m_a + m_c$$

Ahora expresemos el balance de materia en un proceso continuo.

Figura 4. Ejemplo de balance de materia en un sistema continuo, sin reacción química



En este caso el balance global se establecerá para el cálculo de los caudales másicos que intervienen que se expresarán en kg/s. No se utilizarán caudales volumétricos porque no son sumatorios y se modifican al modificarse la temperatura.

La ecuación del balance será:

$$m_d = m_a + m_c \quad \text{Ecu. 3}$$

Balance de materia por componentes.

Se aplican los mismos principios que en el balance total de materia excepto que los componentes son considerados individualmente.

Pueden ser formuladas tantas ecuaciones como componentes existan en el sistema. Dado que el problema de balance de material es identificar las masas de varias corrientes que ingresan y salen de un sistema, es a menudo necesario establecer varias ecuaciones que contengan varias cantidades desconocidas y resolver simultáneamente estas ecuaciones para evaluar lo desconocido.

Es útil incluir las cantidades de las corrientes del proceso y concentraciones de componentes que son conocidas en el diagrama de proceso, para que todas las corrientes donde un componente pueda estar presente sea fácilmente tomada en cuenta.

Normalmente, las cantidades están dadas en unidades de peso y la concentración en fracción en peso o en porcentaje en peso. Si las cantidades están expresadas en unidades de volumen, sin embargo, pueden existir cambios de volumen que ocurren en la mezcla de varios componentes.

Cuando se formula ecuaciones de balance de componentes, solamente n ecuaciones independientes deben ser formuladas a partir de un sistema que tenga un número n de componentes.

Esto no representa ningún problema, sin embargo, ya que pueden ser formuladas suficientes ecuaciones de balances de n componentes y la ecuación de balance de masa total para tener el mismo número de ecuaciones independientes, así como cantidades desconocidas hay en el problema.

Figura 5. Ejemplo de balance de materia en un sistema continuo cuyos componentes se encuentran en diluciones químicas.



En el proceso descrito en el fig. 5, intervienen dos componentes: los sólidos y el agua en la que se encuentran disueltos a mayor o menor concentración. Por lo tanto, el balance se podrá establecer para cada uno de estos componentes, siendo la propiedad a considerar el caudal másico de componente, que se medirá en kg/s . La concentración de cada componente se deberá expresar en la única unidad adecuada a este cálculo: fracción másica, por lo tanto, si en los datos aparecen las concentraciones expresadas en otras unidades el primer paso será convertirlas a fracción másica.

Las ecuaciones de este balance serán:

- Balance global:

$$m_d = m_a + m_c$$

- Balance de sólidos:

$$m_d \cdot x_{\text{dil}}^{\text{sólidos}} = m_c \cdot x_{\text{conc}}^{\text{sólidos}}$$

- Balance de agua:

$$m_d \cdot x_{\text{dil}}^{\text{agua}} = m_a \cdot x_{\text{agua}}^{\text{agua}} + m_c \cdot x_{\text{conc}}^{\text{agua}}$$

Como se aprecia, en el balance de sólidos no participa el agua. En el balance de agua participan tanto el diluido como el concentrado porque en ambos contienen este componente. Es evidente que la fracción másica de agua en el agua vale la unidad. Las unidades de cada uno de los términos de las ecuaciones de los balances de componente son:

- En el Balance de sólidos:

$$m_d \cdot x_{\text{dil}}^{\text{sólidos}} = \frac{\text{kg diluido}}{s} \cdot \frac{\text{kg sólidos}}{\text{kg diluido}} = \frac{\text{kg sólidos}}{s}$$

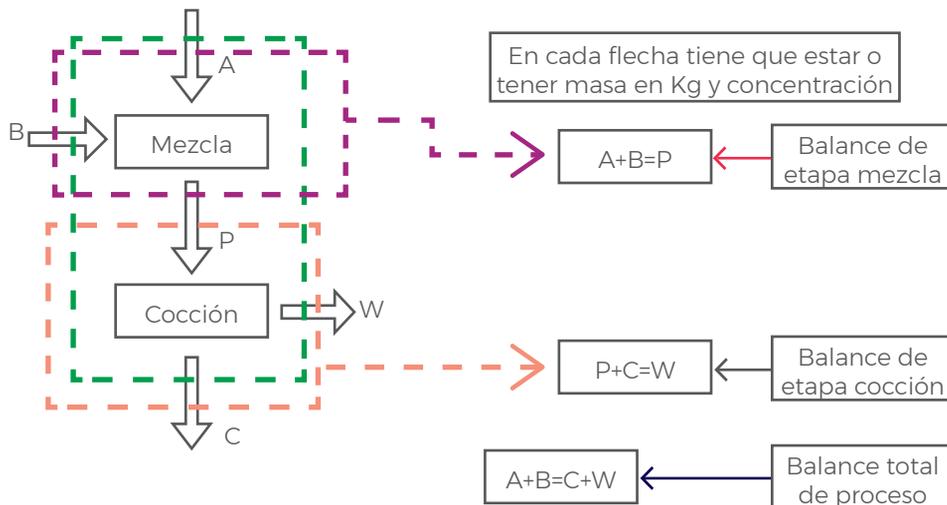
$$m_c \cdot x_{\text{conc}}^{\text{sólidos}} = \frac{\text{kg conc}}{s} \cdot \frac{\text{kg sólidos}}{\text{kg conc}} = \frac{\text{kg sólidos}}{s}$$

- En el balance de agua:

$$m_d \cdot x_{\text{dil}}^{\text{agua}} = \frac{\text{kg diluido}}{s} \cdot \frac{\text{kg agua}}{\text{kg diluido}} = \frac{\text{kg agua}}{s}$$

$$m_a \cdot x_{\text{conc}}^{\text{agua}} = \frac{\text{kg conc}}{s} \cdot \frac{\text{kg agua}}{\text{kg conc}} = \frac{\text{kg agua}}{s}$$

Figura 6. Diagrama de distribución por Procesos.



Guía para la resolución de problemas de balance de materia.

Cada persona debe desarrollar sus propios mecanismos de solución de este tipo de problemas. Generalmente existe más de un camino que lleva a la solución buscada, pero la rapidez con que se logre, en cierta medida está influenciada por la experiencia de la persona que está realizando el trabajo y con cierta intuición para seleccionar los mecanismos de trabajo. No obstante, existen ciertas reglas generales que ayudan a encontrar el camino a la solución. Analizando lo planteado por varios autores (Díaz et al, 2005; Londoño, 2015, Vazquez et al. 2015) los siguientes pasos resultan recomendables:

1. Leer y analizar toda la información disponible.
2. Elaborar un diagrama del proceso en términos de caja negra, identificando las diferentes corrientes mediante letras mayúsculas.
3. Escribir todos los datos disponibles en cuanto a caudales y concentraciones, sobre las corrientes identificadas.
4. Comprobar que todos los datos disponibles se encuentren en el mismo sistema de unidades.
5. Seleccionar una base de cálculo adecuada (si es posible, una de las corrientes cuyo caudal se conoce).
6. Si no se conoce el caudal de ninguna corriente, se puede asumir un valor de forma provisional, solo para establecer relaciones entre caudales.
7. Desarrollar el balance total del sistema.
8. Desarrollar los balances de componentes (tantos como sean necesarios).

Método clásico de balance aplicado a problemas de mezclado.

Mezclado

La operación de mezclado se utiliza para preparar una combinación de dos o más sustancias, que pueden ser sólidos, líquidos o gases, o combinaciones de éstos. Por medio de esta operación se preparan pastas, bebidas, embutidos y se aprovecha para aumentar la superficie de contacto entre las fases en otras operaciones como absorción, extracción y secado. La incorporación de ingredientes de calidad es factor importante en la formulación de raciones que cubren los requerimientos específicos para la especie que se está formulando.

Por lo tanto, un alimento de calidad comienza con ingredientes de “calidad” los cuales han sido seleccionados de acuerdo a estrictos estándares nutricionales.

El mezclado es la operación en donde todos los ingredientes se incorporan con el objetivo principal de que la mezcla sea homogénea. Si tomamos en cuenta el gasto/inversión que se hace en adquirir los ingredientes de calidad, almacenarlos, y pesarlos debemos entonces poner atención al proceso que se va a utilizar en poner todos estos ingredientes en una sola mezcla homogénea (Bortone, 2002)

Durante el mezclado pueden ocurrir procesos asociados a cambios de temperatura. Por ejemplo, puede producirse absorción o eliminación del calor, debido a la disolución, como sucede al diluir nitrato de amonio o ácido sulfúrico en agua o simplemente, si se mezclan corrientes que poseen temperaturas diferentes, el sistema buscará espontáneamente un valor de equilibrio.

Los métodos de mezclado son el mezclado por lotes o tandas y el mezclado continuo. Los métodos de mezclado continuo establecieron el sistema estándar de mezclado durante muchos años.

La mezcla se realiza generalmente en un tanque agitado. Los tanques agitados se construyen la mayoría de las veces de forma cilíndrica, con la finalidad de evitar espacios muertos. Si es posible, la base del tanque se redondea con el fin de eliminar las esquinas y cavidades donde las corrientes de fluido no pueden penetrar y propiciar la formación de regiones estancadas. La mezcla se alcanza utilizando un rodete instalado sobre el tanque. Cuando se utilizan fluidos newtonianos, la relación entre el diámetro del tanque y la del rodete es normalmente 3:1.

El rodete se coloca generalmente en la parte inferior de un agitador mecánico situado en el centro del tanque, en este aspecto la geometría del tanque de mezclado tiene influencia significativa en el tipo de régimen que se desea alcanzar permitiendo establecer los procesos biológicos y las condiciones de operación; ya que, por ejemplo, algunas veces, no es posible disminuir los tiempos de mezcla simplemente aumentando la potencia del agitador.

Por lo tanto, mientras que un aumento de la velocidad del agitador es la manera más obvia de mejorar la circulación del fluido, deben utilizarse además otras soluciones en donde el proceso de mezcla puede mejorarse también cambiando la configuración del sistema como, por ejemplo, colocando deflectores que producen grandes turbulencias y que son de uso común en los fermentadores agitados. Para lograr una buena mezcla, el rodete debería colocarse por debajo del centro geométrico del recipiente. (Takahashi, Takahata, Kurisaka & Sekine, 2011).

Actualmente, los métodos de mezclado por tandas constituyen un referente en la industria de alimentos, debido al incremento en los tipos de ingredientes y microingredientes que son utilizados, así como el continuo incremento en la variedad de alimentos producidos.

En el método continuo de mezclado se adicionan de modo simultáneo y continuo todos los ingredientes a la mezcladora de acuerdo a las proporciones predeterminadas, mien-

tras que durante, el método de mezclado por tandas se añaden cantidades específicas de cada ingrediente basadas en una fórmula preestablecida y se efectúa la operación industrial en lotes de determinado tamaño.

El mayor uso de los métodos de mezclado por tandas se debe a que presentan ventajas como su adaptabilidad a producciones pequeñas, un control más preciso de la formulación, y mayor flexibilidad para realizar cambios en la misma para la obtención de nuevos productos.

Para el mezclado se emplean equipos que van desde las simples uniones de tuberías para mezclar gases, a los tanques con agitación para líquidos.

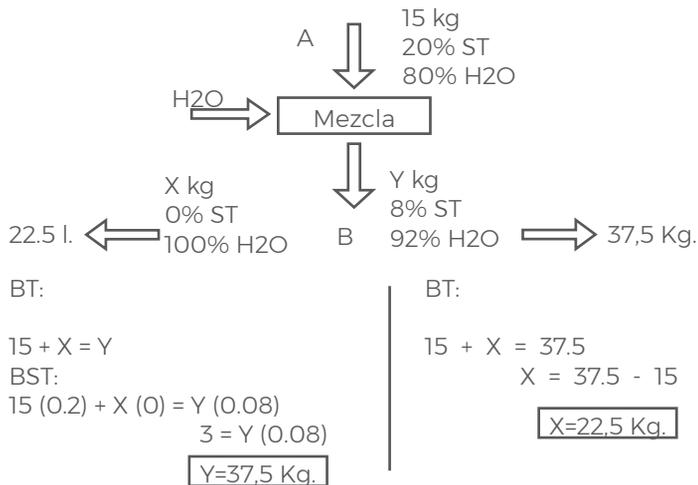
Prevención de problemas en el mezclado.

El proceso de mezclado puede ocasionar dificultades que fácilmente pueden ser contrarrestadas tomando algunas precauciones como:

- Respetar el orden de la carga en la mezcladora (debe ser: ingredientes mayores / ingredientes menores / aditivos / líquidos).
- Llenar la mezcladora a $1/3$ o más de su volumen, para evitar inhibir la eficiencia del mezclado.
- Evitar el sobrellenado del equipo, donde los listones o paletas deben ubicarse ligeramente arriba de la superficie de la mezcla. En el caso de las mezcladoras verticales es significativo cuidar el sobrellenado porque el mezclado ocurre en la parte superior de la mezcladora.
- Realizar pruebas rutinarias del desempeño de la mezcladora por lo menos cada tres meses, evidenciando la capacidad del proceso y la uniformidad de la mezcla.

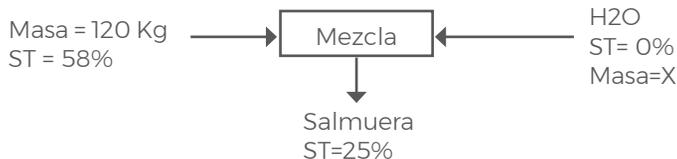
Problemas resueltos.

1. ¿Cuántos kg de una solución que contenga 8% de sal, se puede obtener por disolución de otra solución que pesa 15 kg. y contiene 20% de sal.?



RESPUESTA: Se pesan 15 kg de la solución que contenga 20% de sal y se los disuelve en 23 l de H₂O para obtener 37,5 kg con una concentración del 8%. Para conocer el volumen de esta solución deberíamos basarnos en su densidad.

2. Cuántos Kg de salmuera al 25% se puede obtener por dilución de 120 Kg. de una solución concentrada de 58%



BT:

$$120 (0.58) + X (0) = Y (0.25)$$

$$69.6 = Y (0.25)$$

$$Y = 278.4 \text{ kg.} = 279 \text{ kg.}$$

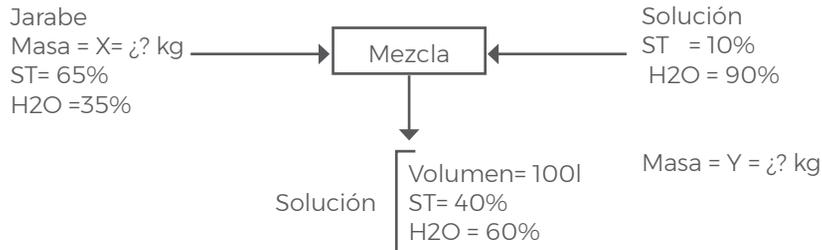
$$120 + X = 278.4$$

$$X = 158.4 \text{ kg.} = 159 \text{ l de H}_2\text{O}$$

RESPUESTA:

Se pesa 120 kg de la dilución al 58% y se lo disuelve en 159 l de H₂O para obtener 279 kg de salmuera a una concentración del 25%.

3. Calcular la cantidad de jarabe con 65% de ST y la de una solución al 10% que se debe mezclar para producir 100 l. de solución al 40% y Peso Específico (PE) = 1.04



$$PE=1.04 = \rho = \frac{1.04g}{cm^3} = 1040 \text{ Kg/m}^3$$

$$V=100 \text{ l} = 0.1 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \cdot v \longrightarrow m = 1040 \cdot 0.1 = 104 \text{ Kg}$$

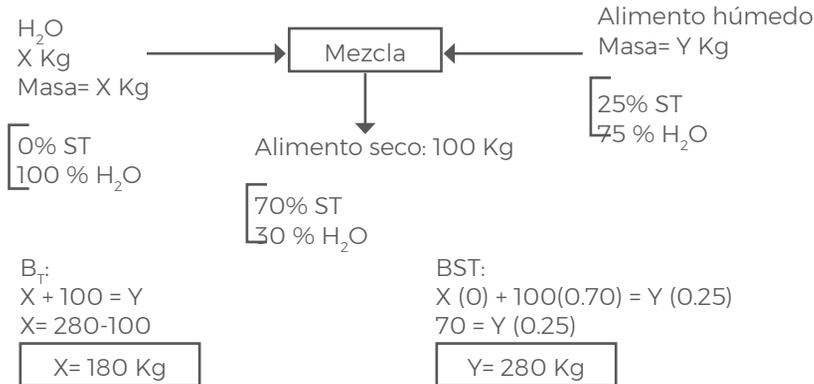
$$\begin{aligned} \text{BT:} & & \text{BST} & & X & (0.65) \\ X + Y & = 104 & X (0.65) + Y (0.1) & = 104(0.4) \\ X & = 104 - Y & X (0.65) + Y (0.1) & = 41.6 \\ & & 0.65 (104 - Y) + Y (0.1) & = 41.6 \\ & & 67.6 + Y (0.55) & = 41.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y & = 26 / 0.55 = 47.27 \text{ kg} \\ X & = 104 - 47.27 = 56.73 \text{ kg} \end{aligned}$$

RESPUESTA:

Se pesa 48 Kg. de la solución del 10% y se lo disuelve en 57 Kg del jarabe para obtener 104 Kg. de una solución 40%.

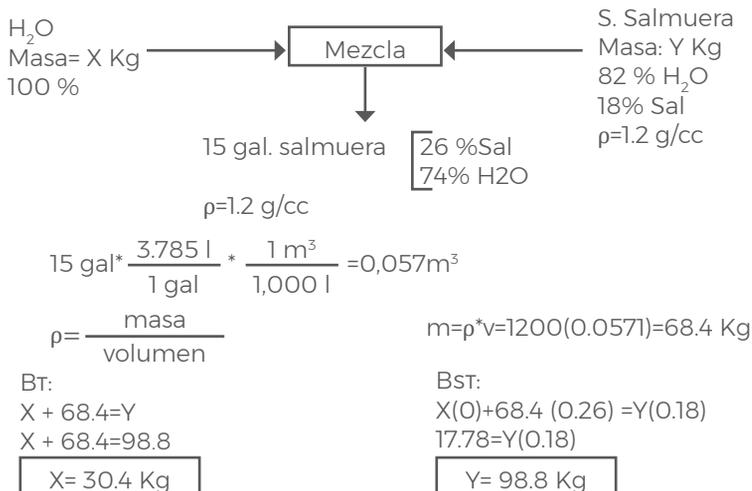
4. ¿Cuánta agua es requerida para elevar el contenido de humedad de 100 Kg de un alimento del 30% hasta un 75%?



RESPUESTA:

Se pesa 180 l de H_2O y se lo disuelve en 100 kg del alimento con 30% de humedad (alimento seco); para obtener 280 kg del alimento con 75% de humedad (alimento húmedo)..

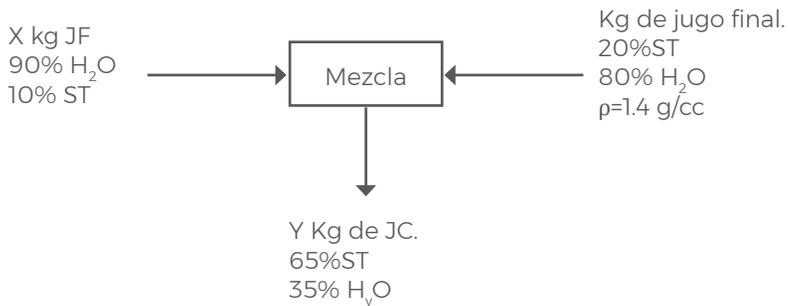
5. ¿Cuántos kilogramos de solución salmuera al 18% podríamos obtener por dilución de 15 galones de solución de salmuera al 26% y de densidad 1.2 g/cc?



RESPUESTA:

Se pesa 31 Kg de H_2O y se lo disuelve en 69 kg de salmuera para obtener 99 kg de solución salmuera.

6. ¿Calcular los Kg de jugo concentrado de 65 sólidos totales y de jugo fresco con 10% de sólidos totales que se deben mezclar para producir 4000 envases de 260 cc de un jugo de 20 sólidos totales y densidad 1.4 g/cc?



$$(4000 \text{ envases}) (260 \text{ cc}) (1.4 \text{ g/cc}) / (1000) = 1456 \text{ Kg}$$

BT:

$$X+Y=1,456$$

$$X=1456 - Y$$

$$X=1456-264.73$$

Bst:

$$X (0.10) + Y (0.65) = 291.2$$

$$(1456-Y) (0.10) + Y (0.65) = 291.2$$

$$0.55 Y = 145.6$$

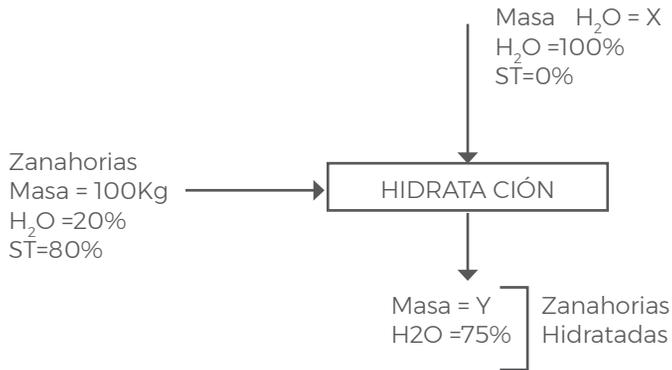
$$X=1191.27 \text{ Kg}$$

$$Y= 264.73 \text{ Kg}$$

RESPUESTA:

Se pesan 1192 kg del jugo fresco y se los disuelven con 265 kg del jugo concentrado para obtener 1456 kg de un jugo con una concentración del 20%.

7. Calcular los galones de agua que se deben agregar a 100 Kg. de trozos de zanahorias deshidratadas para que pasen de 20% a 75% de agua.



BT:

$$100 + X = Y$$

Bst:

$$100(0.8) + X(0) = Y(0.25)$$

$$80 = Y(0.25)$$

$$Y = \frac{80}{0.25}$$

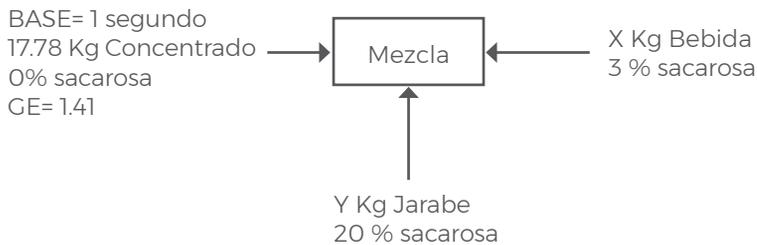
$$Y = 320 \text{ kg}$$

$$100 + x = 320$$

$$X = 220 \text{ Kg} = 220 \text{ l}$$

$$220 \text{ l} * \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ l}} = 58.12 \text{ gal}$$

8. Una empresa embotelladora debe producir una bebida con 3% de sacarosa; para ello ingresa a la mezcladora a una velocidad de 200 gal/min, el concentrado de una fórmula secreta de gravedad específica 1.41 que se debe endulzar con la sacarosa. ¿Con qué velocidad en Kg/s deberá ingresar el jarabe que contiene 20% sacarosa a fin de endulzar la bebida?



$$200 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{3.785 \text{ l}}{1 \text{ gal}} * \frac{1 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} = 12.62 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

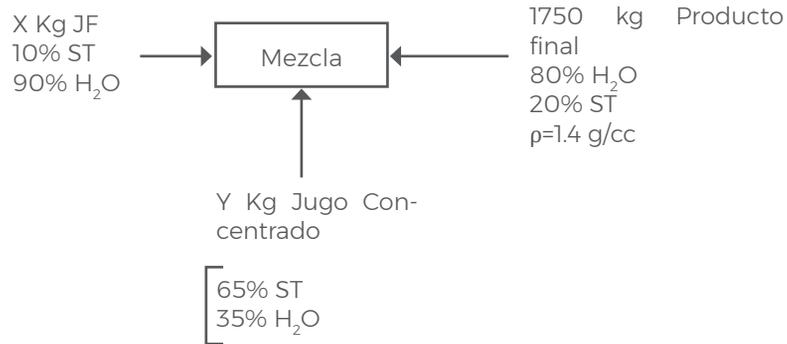
$$\text{GE} = 1.41 \times 1000 = 1410 \text{ kg/m}^3 \longrightarrow (1410 \text{ kg/m}^3) (12.62 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) = 17.78 \text{ Kg/s}$$

$$\text{BT: } 17.78 + Y = X \longrightarrow 17.78 + 3.12 = X \longrightarrow X = 20.90 \text{ Kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{BST: } & 17.78 (0) + Y (0.2) = X (0.03) \\ & 0.2 Y = (17.78 + Y) (0.03) \\ & 0.2 Y = 0.53 + 0.03 Y \\ & 0.17 Y = 0.53 \end{aligned}$$

$$Y = 3.12 \text{ Kg/s}$$

9. Calcular los Kg. de jugo concentrado de 65% ST y la de jugo fresco de 10%ST que se debe mezclar para producir 5000 envases de 250 ml de 20%ST y 1.4 de gravedad específica.



$$(5000 \text{ envases}) (250 \text{ ml}) (1.4 \text{ g/ml}) / (1000) = 1750 \text{ Kg}$$

BT:

$$X+Y=1750$$

$$X=1750 - Y \longrightarrow X=1750 - 318.18 \longrightarrow X=1431.81 \text{ Kg}$$

BST:

$$X (0.10) + Y (0.65) = 1750 (0.20)$$

$$X (0.10) + Y (0.65) = 350$$

$$(1750-Y) (0.10) + Y (0.65) = 350$$

$$175 - 0.10 Y + 0.65 Y = 350$$

$$0.55 Y = 175$$

$$Y = 318.18 \text{ Kg}$$

RESPUESTA:

Se pesa 1432 kg del jugo fresco y se lo disuelve con 319 kg de jugo concentrado, para obtener 1750 kg. de un jugo con una concentración del 20%.

Referencia bibliográfica

- Bortone, E. (2002). Interacción de ingredientes y procesos en la producción de alimentos hidroestables para camarones. *Avances en nutrición Acuícola. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Cancún. México.
- Damodaran, S., Paerkin, K. L., & Fennema, O. R. (2010). QUIMICA DE LOS ALIMENTOS. Zaragoza: ACRIBIA S.A.
- Díaz, R., RAMOS, A., & RODRÍGUEZ, C. (2005). *Principios de Ingeniería de los Alimentos*. ISBN 959-16-0400-1. Cuba.
- Galagovsky, D. G., & Alí. (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. *Ciencia & Educacao Bauru*, 351-360.
- Himmelblau, D. M. (2003). *Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química*. México: Editorial Prentice Hall Pearson.
- Ibarez, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid, Barcelona: Ediciones Mundi Prensa.
- Londoño. R. (2015). BALANCES DE MASA Y ENERGÍA Universidad Técnica de Pereira
- Singh, P. R. (2009). Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., España
- Sinnott, R., & Towler, G. (2012). *Diseño en ingeniería química*: Traducción de la quinta edición original. Barcelona: Reverté.
- Takahashi, K. T. (2011). Mixing performance experiments in an agitated vessel equipped with a pitched paddle subjected to unsteady agitation. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 852-858

*Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería
química con enfoque en alimentos.*
Edición digital 2017 - 2018.
www.utmachala.edu.ec

Redes

Redes es la materialización del diálogo académico y propositivo entre investigadores de la UTMACH y de otras universidades iberoamericanas, que busca ofrecer respuestas glocalizadas a los requerimientos sociales y científicos. Los diversos textos de esta colección, tienen un espíritu crítico, constructivo y colaborativo. Ellos plasman alternativas novedosas para resignificar la pertinencia de nuestra investigación. Desde las ciencias experimentales hasta las artes y humanidades, Redes sintetiza policromías conceptuales que nos recuerdan, de forma empeñosa, la complejidad de los objetos construidos y la creatividad de sus autores para tratar temas de acalorada actualidad y de demanda creciente; por ello, cada interrogante y respuesta que se encierra en estas líneas, forman una trama que, sin lugar a dudas, inervará su sistema cognitivo, convirtiéndolo en un nodo de esta urdimbre de saberes.



Universidad de Guayaquil

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
Editorial UTMACH
Km. 5 1/2 Vía Machala Pasaje
www.investigacion.utmachala.edu.ec / www.utmachala.edu.ec

ISBN: 978-9942-24-118-4

