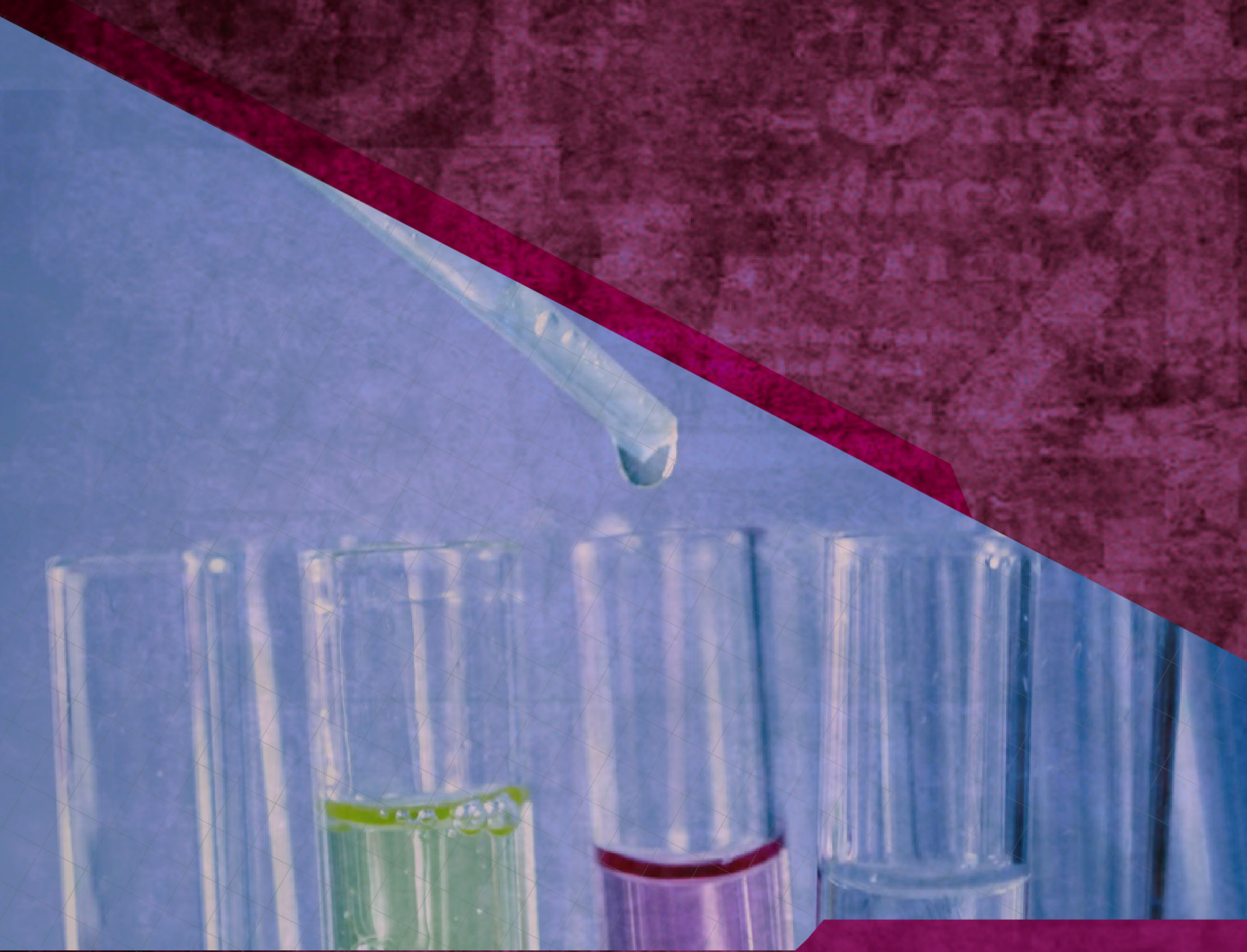


“FUNDAMENTOS BÁSICOS DE CÁLCULOS DE INGENIERÍA QUÍMICA CON ENFOQUE EN ALIMENTOS”

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).

03 Capítulo Balance de materia en proceso de secado, deshidratación y concentración de jugos.

Luis Cedeño Sares; Carmen Llerena Ramírez:

Proceso de deshidratación en alimentos.

El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los inicios de la humanidad, facilitando al hombre un método natural de conservación de alimentos y a la vez subsistencia en épocas de carencia de alimentos. (A. Vega, 2005).

Por ejemplo en las frutas y verduras, el agua contenida en ellas constituye más del 80% de su peso, siendo este un factor determinante en su conservación; en estos casos se aplica la operación de deshidratado como método de conservación, ello se desarrolla evaporando el agua por suministro de calor latente de vaporización, entonces, en la operación intervienen dos factores de suma importancia; suministro de calor latente de evaporización necesario y el movimiento

Luis Cedeño Sares: Ingeniero Químico y Master en Ciencia Alimentaria; Docente de la UTMACH desde el 2010, en carreras de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos; colaborador en proyectos de investigación en temas de carbón activado y recubrimientos comestibles; experiencia en industria de alimentos como Jefe de Calidad y Microbiología.

Carmen Llerena Ramírez: Ingeniera en Alimentos, Master en Ciencias Alimentarias, Master Procesamiento de Alimentos, Master en Docencia Superior, Especialista en Auditoría de Sistemas de Calidad. Experiencia de 18 años en la Industria Pesquera, Investigadora de la Universidad de Guayaquil, proyecto: Desarrollo de Valores Agregados a partir de leche de Cabra

del agua o vapor de agua a través del producto alimenticio y su separación del mismo; aunque frecuentemente se puede utilizar métodos de transmisión de calor (conducción, convección y radiación), uno de ellos es el predominante, asumiendo las características del alimentos que será sometido a esta operación, pero el método más común que se utiliza es de corriente de aire caliente, siendo el fenómeno de convección el que proporciona la transferencia de calor, una vez que el calor es suministrado a la superficie del alimento este es distribuido por conducción, esta técnica se puede establecer que coexisten simultáneamente la transferencia de calor y masa.

La actividad de agua del alimento es reducida por evaporación, en ello la transferencia de masa es el transporte de agua del interior del alimento hasta la superficie de este ;y de allí su eliminación desde la superficie hasta el ambiente que lo rodea; la curva de secado es el diagrama en donde se puede dar seguimiento a este proceso, relacionando el tiempo con la humedad del alimento, las fases de este proceso se pueden explicar en periodos de acoplamiento, en donde las condiciones de la superficies del alimentos llegan a un equilibrio con el aire caliente siendo, este un periodo muy corto; luego el periodo de secado constante, en donde el agua contenida se encuentra disponible en la superficie del alimento, siendo esta etapa determinada por las condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad de flujo de aire caliente; y un periodo de velocidad de secado decreciente; cuando el alimento disipa la mayoría de agua de su superficie, el restante debe difundirse desde el interior del alimento hasta la superficie para ser evaporada, proporcionado un periodo de secado decreciente en el que se dificulta la pérdida de agua, siendo esta la etapa final del proceso, el punto de transición entre el periodo de velocidad de secado constante y el decreciente se denomina humedad crítica, en la fase final del periodo velocidad decreciente, el contenido de humedad se denomina humedad en equilibrio (M.T.Jiménez-Munguía, 2012)

Proceso de secado de los alimentos.

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para conservación de alimentos. Todos los granos y los cereales son conservados por secado.

Algunas frutas y hortalizas también son conservadas por este método el cual difícilmente requiere de esfuerzos humano si se realiza naturalmente.

El secado de alimentos es un proceso de remoción de humedad. Su objetivo consiste en mejorar la estabilidad de un producto al estar éste almacenado, con un mínimo de requerimientos de empaque y reduciendo los pesos para su transportación.

La reducción del contenido de humedad de los alimentos se desarrolla hasta extrae el agua libre propia de los alimentos hasta en un 75%, es una forma eficaz de evitar el desarrollo de microorganismos y así aumentar su vida útil y disponibilidad de los alimentos para el consumo; esta es una operación unitaria que tiene como fin eliminar la humedad residual que contiene un sólido alimentario, para hacerlo más atractivo desde el punto de vista comercial, mejorar sus condiciones de almacenamiento y conservación, y emplearlo en operaciones posteriores.

Su objetivo consiste en mejorar la estabilidad de un producto al estar éste almacenado, con un mínimo de requerimientos de empaque y reduciendo los pesos para su transportación; pero hay que tener en cuenta que este proceso causa necesariamente alteraciones en las propiedades como color, sabor, aroma, etc.; por ende, el mismo tiene que ser controlado, con el fin de que estas cualidades de calidad sean inspeccionadas durante el procesamiento.

La operación se desarrolla en la mayoría de los casos evaporando el agua por adición de su calor latente de evaporización en la que interviene el fenómeno de transmisión de calor y el flujo del vapor de agua a través del producto alimenticio hasta su eliminación.

El calor latente de evaporación es la cantidad de energía necesaria para evaporar 1 kg de agua en estado líquido; y el calor latente de sublimación es la energía necesaria para evaporar 1 kg de agua en estado sólido; entonces, la energía térmica necesaria para vaporizar agua en cualquier estado se puede calcular en base a sus calores latentes

Existen diferentes mecanismos para el proceso de secado:

Evaporación: esto se ocasiona cuando la presión de vapor de la humedad que se localiza en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica; el proceso se origina cuando se ocasiona el incremento de temperatura de la humedad hasta alcanzar el punto de ebullición.

Si el material está siendo sometido al calor, este se está secando, por ende, es sensible al calor, en este instante es la temperatura a la cual se está evaporando, esta temperatura puede ser disminuida sometiendo a la operación a condiciones de vacío.

Si la presión disminuye se puede conseguir la evaporación a temperaturas inferiores que la de un proceso a presión atmosférica, protegiendo las características nutricionales del alimento y si se logra bajar más allá del punto triple; por consiguiente, la fase líquida no puede existir y la humedad en el producto es congelada.

Vaporización: El secado se impone por convección, haciendo pasar aire caliente sobre el producto, el aire disminuye su temperatura a medida que se pone en contacto con el producto y la humedad es transportada hacia el aire; en este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica.

Secado por arrastre: la retirada de agua se realiza poniendo el alimento en contacto con un medio, normalmente aire, relativamente seco (es decir, que tiende a retirar agua del alimento).

Este medio se renueva lo suficientemente a menudo para que el secado persista hasta el valor de Deshidratación deseado.

Puesto que para una misma humedad absoluta el aire resulta relativamente más seco cuanto más se incrementa la temperatura, en este proceso es frecuente realizarlo con flujo de aire caliente, con requerimientos energéticos de unas 600 Kcal kg⁻¹ de agua evaporada.

En el secado por arrastre, esta energía es suministrada por el flujo de aire seco y caliente normalmente; que cede su calor sensible, y paralelamente gana de humedad. Cuando el agente de secado aporta todo el calor necesario para la vaporización, tenemos un secadero adiabático. Esta condición tiene importancia en el diseño.

La liofilización es un proceso de secado utilizado en la industria de los alimentos, farmacéutica y biotecnológica, cuyo objetivo es estabilizar y conservar los productos, reduciendo las pérdidas de compuestos lábiles y aquellos responsables del sabor y aroma.

El proceso consiste en una previa congelación y la sublimación directa del hielo a presión subatmosférica. (Misael Cortés & Rodríguez, 2015). La liofilización es lenta y cara, ya que requiere una atmósfera de alto vacío, pero la ausencia de aire y el frío al que está sometido el alimento durante la mayor parte del tiempo del proceso hace que se obtengan alimentos de muy buena calidad que se rehidratan con suma facilidad. La sublimación requiere unos 700 Kcal kg⁻¹ de agua.

En la vaporización y sublimación el cambio de fase es espontáneo en las condiciones del entorno. En el secado por arrastre el cambio de fase es forzado por la constante renovación de la atmósfera que rodea al alimento con aire relativamente seco. Si el aire no se renovase, rápidamente se llegaría a la humedad de equilibrio y el secado cesaría.

Este proceso es largamente usada para la conservación de productos alimenticios: estanca el crecimiento de microorganismos (hongos, mohos, etc.), inhibe el deterioro del sabor y color por reacciones químicas, enranciamiento y pérdida de propiedades fisiológicas; y facilita el almacenamiento y la distribución, este es un procedimiento de secado cuyo prin-

cipio es la sublimación del hielo de un producto congelado; es importante su aplicación en la cadena de frío, ocasionado que los productos alimentarios mantengan su volumen y la forma original para luego ser fácilmente rehidratable.

Esta operación se desarrolla en dos fases:

- Fase de sublimación propiamente dicha, llamada “deshidratación primaria”, que elimina alrededor del 90 % del agua.
- Fase de desorción o de “desección secundaria”, que elimina el 10 % del agua ligada restante resultando un producto con una humedad final del 2%. Esta fase es una evaporación al vacío a temperatura de 20 a 60 °C.

Fundamentándose en que el punto triple del agua se ubica a la presión de 610 Pascal, a la temperatura de 0,01°C, la sublimación sólo puede tener lugar a una temperatura inferior a 0 °C y a una presión inferior a 610 Pascal (4,58 mm Hg) (Leonardo E. Mayer, 2006).

Aunque lo importante para una buena conservación es una baja actividad del agua, puede decirse en general que una humedad por debajo del 10% hace inactivos a microorganismos y enzimas, aunque es necesario bajar la humedad por debajo del 5% para conservar las cualidades nutricionales y organolépticas de los alimentos. Algunos alimentos son estables con esta humedad (como la harina, con un 8% de humedad, muchos frutos secos, pasta, etc.).

Sin embargo, otros productos se vuelven fuertemente hidrofílicos (tienden a absorber agua del ambiente), como el café soluble, galletas o aperitivo. En estos productos, el envase desempeña un papel fundamental en la adecuada conservación.

Finalmente, resaltar que el secado además de una buena operación de conservación, presenta una gran ventaja para la comercialización de los productos, ya que al haber retirado una gran parte del agua los productos se reducen en peso y tamaño siendo más fáciles de almacenar y transportar

Porcentaje de merma, rendimiento y agua evaporada.

La Merma, es la pérdida que ocurre en un proceso de elaboración de un producto que provoca una fluctuación. Técnicamente una merma es una pérdida de utilidades en término físico. El inconveniente de una merma es que es inevitable. La fórmula de porcentaje de merma está dada por:

$$\%M = \frac{\text{Entrada-Salida}}{\text{Entrada}} * 100 \quad \text{Ecu. 1}$$

El Rendimiento, es resultado deseado efectivamente obtenido por cada unidad que realiza la actividad, donde el término unidad puede referirse a un individuo, un equipo, un departamento o una sección de una organización.

La fórmula de porcentaje de rendimiento está dada por:

$$\%R = \frac{\text{Entrada-Salida por Pérdidas}}{\text{Entrada}} * 100 \quad \text{Ecu. 2}$$

El Agua Evaporada, es la cantidad de agua que se perdió durante un proceso, especialmente de secado y deshidratado. El agua evaporada se representa usualmente con la W.

La fórmula de porcentaje de agua evaporada está dada por:

$$\%W = \frac{\text{Entra H}_2\text{O} - \text{Diferencia H}_2\text{O}}{\text{Entra H}_2\text{O}} * 100 \quad \text{Ecu. 3}$$

Balance de materia de más de una etapa.

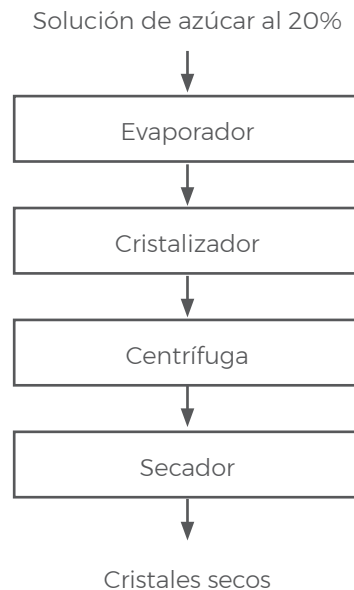
En la industria alimentaria se originan procesos que son extremadamente complejos y diversos; sin embargo en el análisis de ingeniería permite establecer que todos ellos se componen de tapas de procesamientos que se fundamentan en las operaciones básicas, que actúan como nexo común y que dependen de principios físicos definido Como ejemplo se puede establecer que durante la elaboración, prácticamente todos los productos alimenticios en determinados momento es necesario que sean calentados o enfriados; tomando en cuenta el punto de vista de la ingeniería lo

indispensable es determinar la cantidad de calor(energía) necesario y las condiciones en el que se transfiere.

En consecuencia, la operación básica será la transferencia de calor. Y el principio físico es que la energía térmica pasa en forma espontánea desde los cuerpos más calientes hacia los más fríos. (Alavarado, 2013). Por tal motivo 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. A continuación, se presenta un ejercicio de ejemplo para aclarar lo dicho:

Determinar la cantidad de azúcar (en base libre de humedad) que puede ser producida a partir de 100 Kg. de una solución de azúcar que contiene un 20% en peso de azúcar y 1% de impurezas sin cristalizar solubles en el agua. La solución es concentrada hasta un 75% de azúcar, enfriada a 20^a C, centrifugada y los cristales a secados.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso para el problema de cristalización

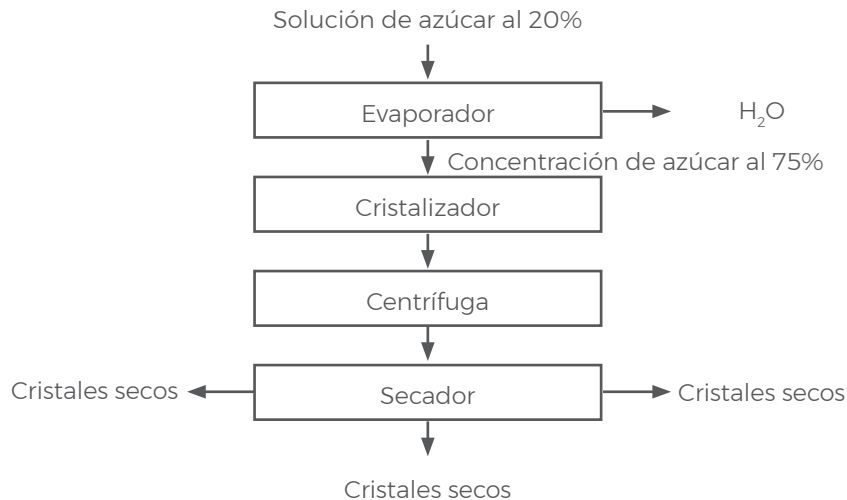


La Fig. 1 muestra el mismo diagrama después de considerar las características de varias etapas en el proceso, corrientes que salen del sistema están dibujadas en el diagrama. Para concentrar una solución del 20% hasta el 75% se requiere de la remoción de agua.

Por lo tanto, el agua abandona el sistema en el evaporador. El proceso de enfriamiento no altera la masa, por lo tanto, la misma corriente de proceso entra y sale del cristalizador.

La centrifugación separa la fase líquida de la sólida, y los cristales, de la fase sólida, son los únicos componentes que ingresan al secador. Una fase líquida abandona el sistema en la centrifuga. El agua abandona el sistema en el secador.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso para la cristalización mostrando las corrientes de entrada y salida y como los límites para un sistema pueden ser movidos para analizar las partes del proceso



Existen dos principios físicos involucrados en el problema que no están dentro del enunciado del mismo. Estos son:

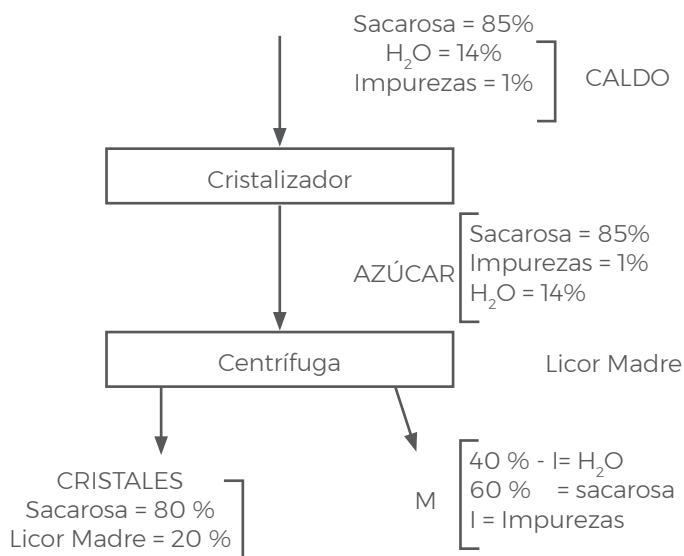
Los cristales cristalizan solo a partir de una solución saturada; por consiguiente, la fase líquida que sale del sistema en la centrifuga es una solución saturada de azúcar. Que no es posible eliminar completamente el líquido de la fase sólida por centrifugación.

La cantidad de impurezas que serán retenidas con los cristales de azúcar depende de la eficiencia de la centrífuga para separar la fase sólida de la fase líquida. El principio de saber que la pureza de los sólidos depende del grado de separación de sólidos a partir de la fase líquida se aplica no solamente en cristalización, sino también en la extracción con solvente. Para resolver se necesitan dos datos adicionales que necesariamente deben ser obtenidos; la concentración de saturación del azúcar a 20°C y el contenido de humedad de la fracción de cristales de la centrifugación.

La figura 8 también muestra como los límites del sistema pueden ser movidos para facilitar la resolución del mismo. El límite puede ser del proceso entero, del evaporador, de la centrífuga y etc., escogiendo siempre el más conveniente

Ejemplo.

Dibujar un diagrama de flujo y establecer la ecuación del balance total y componentes para un proceso de cristalización de azúcar donde ingresan 100 Kg. de una solución concentrada de azúcar de las siguientes características: sacarosa 85%, humedad 14%, impurezas 1%. Se debe considerar que las impurezas son totalmente solubles en agua.



La fracción de cristales tiene 20% de su peso líquido que tiene la misma composición que el licor madre, este contiene 60% de sacarosa en peso.

BT:

$$100 = C + M \longrightarrow M = 100 - C$$

BSACAROSA:

$$100(0.85) = C(0.8) + (0.2)C(0.6) + M(0.6)$$

$$85 = C(0.92) + M(0.6)$$

$$85 = C(0.92) + (0.6)(100 - C)$$

$$25 = 0.32 C$$

C = 78.13 Kg	→	M = 100 - 78.13 = 21.78 Kg
--------------	---	----------------------------

Balance de Materia en procesos de elaboración de jugos concentrados: Evaporación

El consumo de frutas en la dieta humana enfrenta un escalamiento en su consumo a nivel mundial; esto es por el aporte de vitaminas, minerales esenciales, fibra, agua y compuestos bioactivos conocidos como compuestos fenólicos, glucosinolatos, los cuales se localizan como componentes en frutas y hortalizas donde la mayoría de ellos poseen actividad antioxidante; además de la satisfacción de consumir un producto de características sensoriales tan variadas y agradables (Sullca*, 2013), por ende es evidente la importancia en nuestra nutrición, sugiriéndose una ingesta de cinco porciones por día; las frutas y las hortalizas son productos altamente perecederos. Usualmente estos productos resultantes de la producción agrícola se desperdician debido a deterioros microbiológicos fisiológicos, estas alteraciones pueden causar una disminución en su calidad, afectando el color, la textura, el sabor, el olor y el valor nutritivo; esto es consecuencia de las sustancias naturales que los constituyen; pudiendo ser agrupados como carotenos y carotenoides, antocianinas, clorofila, y compuestos fenólicos; en las operaciones de procesamiento las operaciones tales como el pelado y la reduc-

ción de tamaño facilitan que las enzimas (clorofilasa, peroxidasa, polifenoloxidasa) y los sustratos entren en contacto facilitando reacciones enzimáticas al deterioro de color; los cambios de color más importantes son consecuencia del desarrollo de este procesos químico que puede ser enzimático y/o no enzimático. (Alzamora, Guerrero, Nieto, & Vidales, 2004).

La evaporación en los procesos de elaboración de jugos concentrados, es una operación para concentrar un sólido disuelto en un líquido, la disolución se pone a la temperatura de ebullición, de manera que el líquido se volatilice y se deja al sólido más concentrado en la solución remanente. Se logra una reducción de la Actividad de agua (A_w) del alimento a valores entre 0.6 y 0.8 (humedad intermedia). Con estos valores de A_w , el desarrollo de microorganismos y la velocidad de las reacciones químicas, bioquímicas y enzimáticas se reducen, pero no se inhiben. Para lograrlo se suministra calor a las soluciones y se separan los vapores formados. Esto se obtiene mediante el empleo de equipos llamados evaporadores. Este proceso consiste en la eliminación de una parte del agua del producto en forma de vapor, mediante la aplicación de calor suficiente para elevar la temperatura del producto hasta su punto de ebullición, mediante el calor sensible y evaporar el agua del producto mediante el calor latente. Los evaporadores son de muy diversos tipos; una clasificación primaria los dividiría en evaporadores de contacto directo y de contacto indirecto.

En los evaporadores de contacto directo al medio calentamiento (gases de combustión, vapor y otros) se coloca en contacto con la disolución transfiriéndole así su energía.

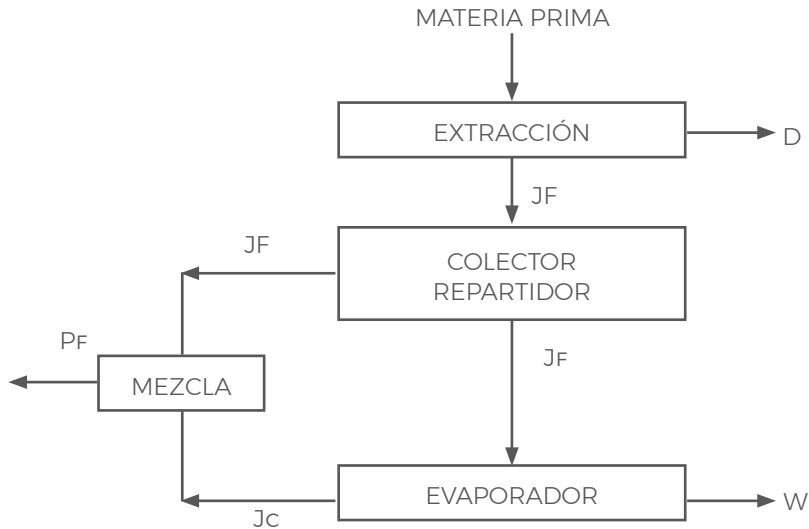
En los evaporadores de contacto indirecto la transferencia de calor es a través de tubos metálicos que separan al medio de calentamiento de la disolución, previniendo el mezclado. Estos últimos evaporadores son los más usados, pues evitan la contaminación de la disolución.

Para una operación más eficiente, se suele hacer vacío en el equipo de evaporación, lográndose que la ebullición se efectúe a temperaturas más bajas y previniendo la descomposición de los materiales orgánicos. El medio de calentamiento más usual es el vapor de agua que cede su calor latente. En la industria de los alimentos normalmente se utiliza vapor saturado como medio de calentamiento. En el proceso de elaboración de jugos de fruta se encuentran presentes el proceso de evaporación. Son alimentos libres de colesterol y presentan antioxidantes naturales, que les confieren un atractivo especial a los consumidores. Los jugos poseen un 70-95 % de agua, pero su mayor importancia, desde el punto de vista nutricional, es su aporte a la dieta de vitaminas, minerales, enzimas y fibra. Sin embargo, los responsables del valor sensorial y nutricional de estos productos, son termosensibles, y el uso de tratamientos inapropiados para la concentración puede provocar pérdidas considerables de vitaminas, el deterioro del color, del aroma y del sabor.

La evaporación de jugos de fruta es una parte fundamental de la producción de jugos concentrados. En el proceso de evaporación de jugos de frutas como es el zumo de naranja; los jugos de frutas son sensibles al calor y su viscosidad aumenta a medida que el proceso de desarrolla concentrando la solución inicial; además los sólidos en suspensión tienden a adherirse a la superficie de calentamiento, causando sobrecalentamiento que conducen a carbonizaciones y el deterioro del material. Debido al problemas de adhesión, disminuir el tiempo de residencia, se necesitan velocidades de circulación altas en las superficies de transferencia de calor; paralelamente se debe operara al equipo en condiciones de temperaturas bajas, esto se logra creando vacío; por ende, en el proceso industrial se utilizan evaporadores de simple efecto, en lugar de unidades múltiples.

A continuación, se mostrará un proceso de elaboración de jugos concentrados de una forma general, indicando los principales pasos que se deben seguir al elaborar este tipo de producto.

Figura 3. Diagrama de flujo del Proceso de Elaboración de jugos concentrados



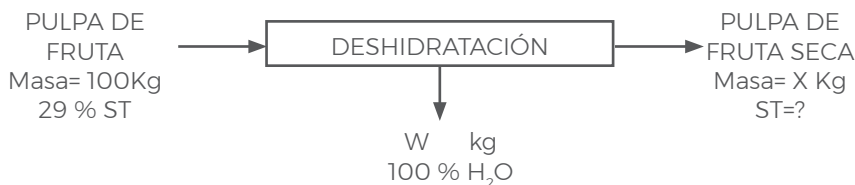
Problemas resueltos:

1. Pulpa de fruta con 71% de H₂O es sometida a un proceso de deshidratación y se ha eliminado el 60% de agua original.

- Determine la composición de la pulpa seca.
- La cantidad de H₂O eliminada por Kg. de pulpa humedad que entró al proceso.

Como no se conoce la masa de pulpa fruta que entra al proceso de deshidratado se utiliza un artificio, el cual consiste en tomar un valor cualquiera como referencia de masa, pero se recomienda tomar 100 Kg porque equivale al 100%

BASE DE CALCULO= 100 Kg



La pulpa de fruta tiene 29 Kg de ST y 71 Kg de H₂O. Para hallar W (cantidad de agua evaporada)

$$71 \text{ Kg} (0.6) = 42.6 \text{ Kg}$$

Bt:

$$100 = 42.6 + X$$

$$X = 57.4$$

B H₂O

$$(H_2O) = 100 - 50.52$$

$$Y = 49.48 \%$$

Bst:

$$100 (0.29) = 42.6 (0) + 57.4 (ST)$$

$$ST = 0.5052 = 50.52 \%$$

RESPUESTA:

La pulpa de fruta seca tiene una composición 50.52% ST y 49.48 % H₂O

2. Se dispone de pimientos con 83% de humedad son deshidratados hasta 15% de humedad.

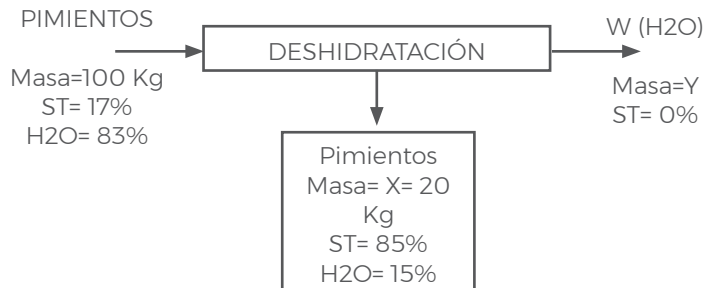
a) Calcular el porcentaje de mera o pérdida.

b) Calcular el porcentaje de rendimiento.

c) Calcular el porcentaje de H₂O que se evaporó de los pimientos.

BASE: 100 Kg.

Solución



Bt:

$$100 = X + Y$$

Bst:

$$100 (0.17) = X (0.85) + Y (0)$$

$$17 = X (0.85)$$

$$100 = 20 + Y$$

$$Y = 80 \text{ Kg.}$$

$$X = \frac{17}{0.85}$$

$$Y = 49.48 \%$$

$$\%M = \frac{\text{Entrada-Salida}}{\text{Entra}} * 100$$

$$\%R = \frac{\text{Entrada-Salida por pérdida}}{\text{Entra}} * 100$$

$$\%M = \frac{100-20}{100} * 100$$

$$\%R = \frac{100-80}{100} * 100$$

$$\%M = 80\%$$

$$\%R = 20\%$$

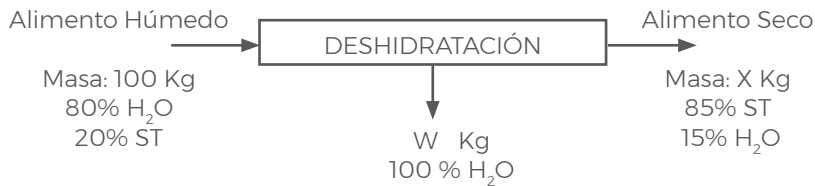
83 % → H₂O INICIAL
80 % → H₂O EVAPORADA

$$\%W = \frac{\text{Entra H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O Producto}}{\text{Entra H}_2\text{O}} * 100$$

$$\%W = \frac{83-3}{83} * 100$$

$$\%W = 96.38\%$$

3. Determina el porcentaje merma en el peso que resulta al procesar una materia prima alimentaria que contiene 80% de humedad y es deshidratado hasta 15% de humedad necesario para continuar con la siguiente etapa de procesamiento.



BASE= 100 Kg

BT:
100=W+X
100=W+23.53

$$W = 76.67 \text{ Kg}$$

BST:
100(0.2) = W (0) + X (0.85)
20=X (0.85)

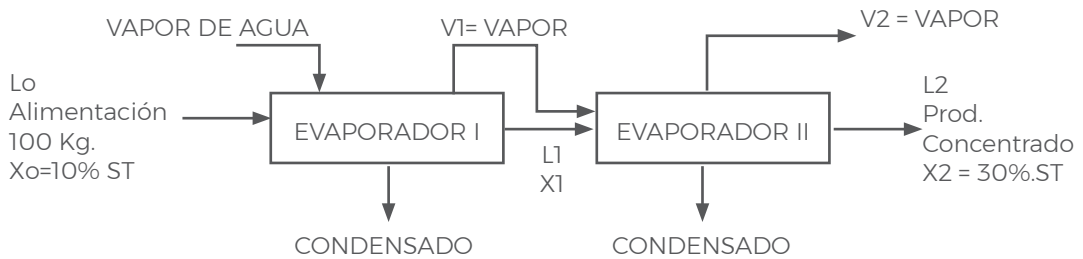
$$X = 23.53 \text{ Kg}$$

$$\%M = \frac{\text{Entrada-Salida}}{\text{Entra}} * 100$$

$$\%R = \frac{100-23.53}{100} * 100$$

$$\%M = 76.5 \%$$

4. En una industria láctea se desea obtener leche condensada empleando evaporadores de dos efectos. Calcular la cantidad en sólidos totales en el líquido que abandona el primer efecto. Asumir que en cada efecto se llega a eliminar la misma cantidad de vapor; se conoce que al proceso ingresa una alimentación de 100 Kg. de materia prima.



BT:

$$Lo = L2 + V1 + V2$$

BST:

$$LoXo = L2X2$$

$$100(0.1) = L2(0.3)$$

$$L2 = 33.33 \text{ Kg.}$$

Balance al Evaporador I:

$$Lo = L1 + V1$$

BST:

$$LoXo = L1X1$$

Balance al Evaporador II:

BST:

$$L1X1 = L2X2$$

$$L1 = L2 + V2$$

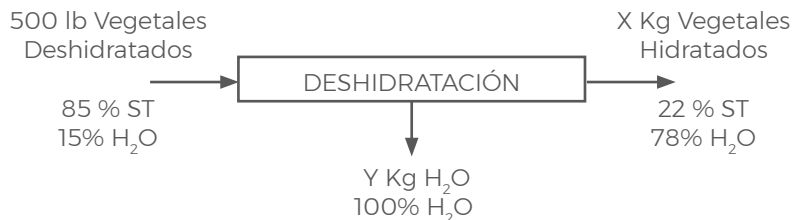
$$V1 + V2 = 100 - 33.33$$

$V1 + V2 = 66.66$ → Teniendo en cuenta que $V1 = V2$ (Eliminación de igual cantidad de vapor) $2V1 = 66.66$; por lo tanto, $V1 = 33.33$; y sustituyendo en:

$$Lo = L1 + V1 \rightarrow L1 = 66.66 \text{ Kg.}$$

$$LoXo = L1X1 \rightarrow X1 = 0.15 \quad X1 = 15\%$$

5. Calcular los litros de H₂O que se deberá agregar a 500 libras de vegetales deshidratados a fin de restituirlos desde 15% hasta 78% de humedad.



$$(500 \text{ lb}) / (2.2) = 227.27 \text{ Kg}$$

BT:

$$227.3 + Y = X \longrightarrow Y = 878.1 - 227.3 \longrightarrow Y = 650.8 \text{ Kg}$$

$$Y = 650.8 \text{ l H}_2\text{O}$$

BST:

$$227.3 (0.85) = Y (0) + X (0.22)$$

$$193.18 = X (0.22)$$

$$X = 878.1 \text{ Kg.}$$

RESPUESTA:

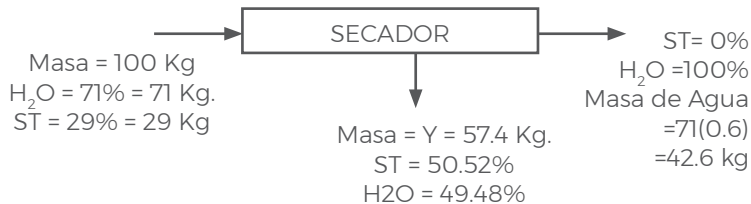
Se toma 500 lb de vegetales deshidratados y agregue 651 l de H₂O para hidratar a los vegetales y alcanzar la humedad de 78%.

5. Pulpa de fruta con 71% de H₂O es sometida a un proceso deshidratación y se ha eliminado el 60% de agua original.

a) Determine la composición de la pulpa seca.

b) La cantidad de H₂O eliminada por Kg. De pulpa humedad que entró al proceso.

BASE: 100 Kg



$$\text{BT: } 100 = 42.6 + Y$$

$$Y = 57.4 \text{ Kg.}$$

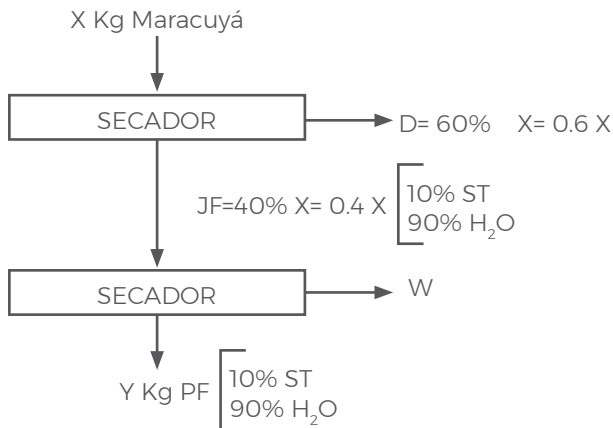
$$\text{BST: } 100 (0.29) = W (0) + 57.4\{y\}$$

$$(0.29) = 57.4\{y\}$$

$$29 = 57.4 \{y\} \longrightarrow \{y\} = 0.5052 = 50.52\%$$

6. La fruta de maracuyá tiene un rendimiento en jugo de 40% y este contiene 10% ST y una $g_e = 1.05$ y deseamos obtener 1,000 gal/h de jugo concentrado con 40% ST, el proceso de concentración se realiza al vacío a una temperatura de 70° C. Calcular:

- kg de fruta entera par una jornada de 8h de trabajo.
- kg de desperdicios.
- kg de W.
- Costo de la materia prima, si el cada kg cuesta \$2.00



BT:

$$JF = 3974.25 + W \quad (0.1)$$

BST:

$$(0.1) JF = (0.4)3974.25 + (0) W$$

$$(0.1) JF = 1589.7$$

$$JF = 15897 \text{ Kg.}$$

$$X = \frac{(15897\text{Kg})(60\%)}{(40\%)}$$

X = 23845.5 Kg Desperdicios

X = 23845.5 Kg Desperdicios

a) $X = \frac{(8\text{h})(39742.5\text{Kg})}{(1\text{h})} \longrightarrow \boxed{317940 \text{ Kg}}$

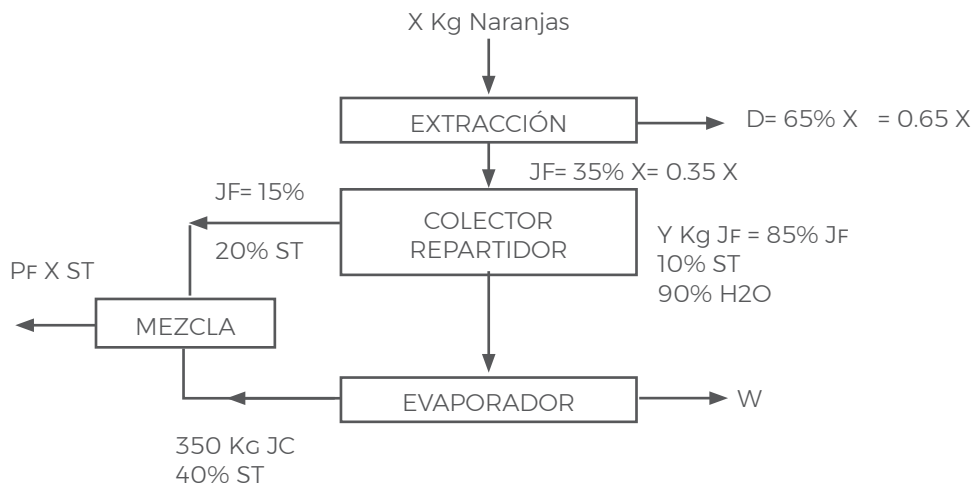
b) $\boxed{23845.5 \text{ Kg Desperdicios}}$

c) $15897 \text{ Kg} - 3974.5 \text{ Kg} = \boxed{11922.75 \text{ Kg W}}$

d) $X = \frac{(\$2)(317940)}{(1\text{Kg})} \longrightarrow \boxed{\$ 635880}$

7. Naranjas con 35% de su peso en jugo contiene 10% ST son procesados para extraer y enviar una parte del jugo al evaporador en donde se obtendrán 350 Kg/h de jugo con una concentración de 40° Brix que pasará luego a mezclarse con el 15% del jugo fresco que viene del colector repartidor.

- Determinar Kg y Concentración del producto final.
- Si el Kg de naranja cuesta \$ 0.50 determinar el costo de la materia prima para 8 horas de trabajo



BT EVAPORADOR

$$Y = W + 350$$

$$X = \frac{(1400\text{Kg})(100\%)}{(85\%)}$$

BST EVAPORADOR

$$Y (0.1) = W (0) + 350 (0.4)$$

$$Y (0.1) = 140$$

$$Y = 1400 \text{ Kg}$$

X= 1647.06 Kg JF van al Colector Repartidor, y entonces:

$$1647.06\text{kg} - 1400\text{kg} = 247.06 \text{ Kg JF que van a la Mezcladora}$$

BT MEZCLA:

$$Jc + Jf = Pf$$

$$350 + 247.06 = Pf$$

BST MEZCLA:

$$350 (0.4) + 247.06 (0.1) = 597.06 (X)$$

$$140 + 24.706 = 597.06(X)$$

$$164.706 = 597.06 (X)$$

$Pf = 597.06 \text{ Kg}$

$$X = \frac{(1647.05\text{Kg})(100\%)}{(35\%)}$$

X= 4705.89 Kg de naranjas que se requieren para todo el proceso; donde:

$$D = 4705.89 \text{ Kg} - 1647.05 \text{ Kg} = 3058.84 \text{ Kg son los desperdicios.}$$

$$X = ((4705.89\text{Kg})(\$0.5)) / (1\text{Kg})$$

$$X = \frac{(4705.89\text{Kg})(\$0.5)}{(1\text{Kg})}$$

$X = \$ 2352.95 \text{ para 1 hora de trabajo; entonces: } \$ 2352.95 \times 8 = \$ 18823.56$

Referencia bibliográfica

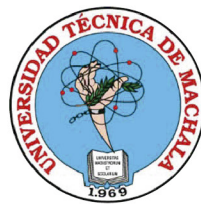
- A. Vega, A. A. (2005). *www.scielo.cl*. Obtenido de *www.scielo.cl*: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000600002
- Alavarado, J. d. (2013). *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. ambato: Diseño, Diagramación y Levantamiento de Texto:Paul Alvarado.Imprenta .
- Alicia Alvírez-Morales, B. E.-M.-S. (2002). Tendencias en la Producción de Alimentos:Alimentos Funcionales. *Revista de Salud Publica y Nutrición*, 2.
- Alvarez, M. M. (2006). Patologías del Mezclado Laminar en Geometrias Típicas de Biorreactores. *Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey*, 1.
- Alzamora, S. M., Guerrero, S. N., Nieto, A. B., & Vidales, S. L. (2004). <http://www.fao.org>. Recuperado el 08 de agosto de 2017, de <http://www.fao.org>: <http://www.fao.org/3/a-y5771s.pdf>
- AM Herrero, M. R. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos:- Tecnologías no térmicas. *Revista Med Universidad de Navarra*, 2.
- D., E. B. (2002). Interacción de Ingredientes y Procesos en la Producción de Alimentos Hidroestables para Camarones. *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, 413.
- Damodaran, S., Paerkin, K. L., & Fennema, O. R. (2010). *QUIMICA DE LOS ALIMENTOS*. Zaragoza: ACRIBIA S.A.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Nau-calpan de Juárez, Estado de Mexico: PRENTICE-HALL HISPANO-AMERICA.S.A.
- Huertas, R. A. (2009). Lactosuero : Importancia en la Industria de Alimentos. *Facultad Nacional de Agronomía en Medellin*, 62.
- Ibarez, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Operaciones Unitarias en la Industria de Alimentos*. Madrid,Barcelona: Ediciones Mundi Prensa.

- Ibarez, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de lo Alimentos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ing. Naiví C. Martín-Álvarez, D. O.-A. (19 de Mayo de 2013). *scielo.sld.cu*. Obtenido de scielo.sld.cu: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200009
- Leonardo E. Mayer, S. M. (2006). CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 147.
- M. Malagié, G. J. (2001). *www.insht.es/*. Obtenido de *www.insht.es/*: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/67.pdf>
- M.T.Jiménez-Munguía, E.-O. y. (2012). Cambios en la pérdidas de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 98-99.
- Marcelo N. Yerien, C. A. (28 de Diciembre de 2009). *www.scielo.cl*. Obtenido de *www.scielo.cl*: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v21n4/art04.pdf>
- Misael Cortés, E. H., & Rodríguez, E. (5 de Mayo de 2015). <http://www.scielo.org.co>. Obtenido de <http://www.scielo.org.co>: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v22n1/v22n1a6.pdf>
- Ph.D, M. C., M.Sc, E. H., & Ph.D., E. R. (5 de Mayo de 2015). *www.scielo.org.co*. Obtenido de *www.scielo.org.co*: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v22n1/v22n1a6.pdf>
- R. Paul Singh, D. R. (2001). *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia S.A.
- Sullca*, C. E. (2013). Elaboración de néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 102.
- Towler, R. S. (2012). *Diseño en Ingeniería Química, Traducción de la quinta edición original*. Barcelona: Reverté.

*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

