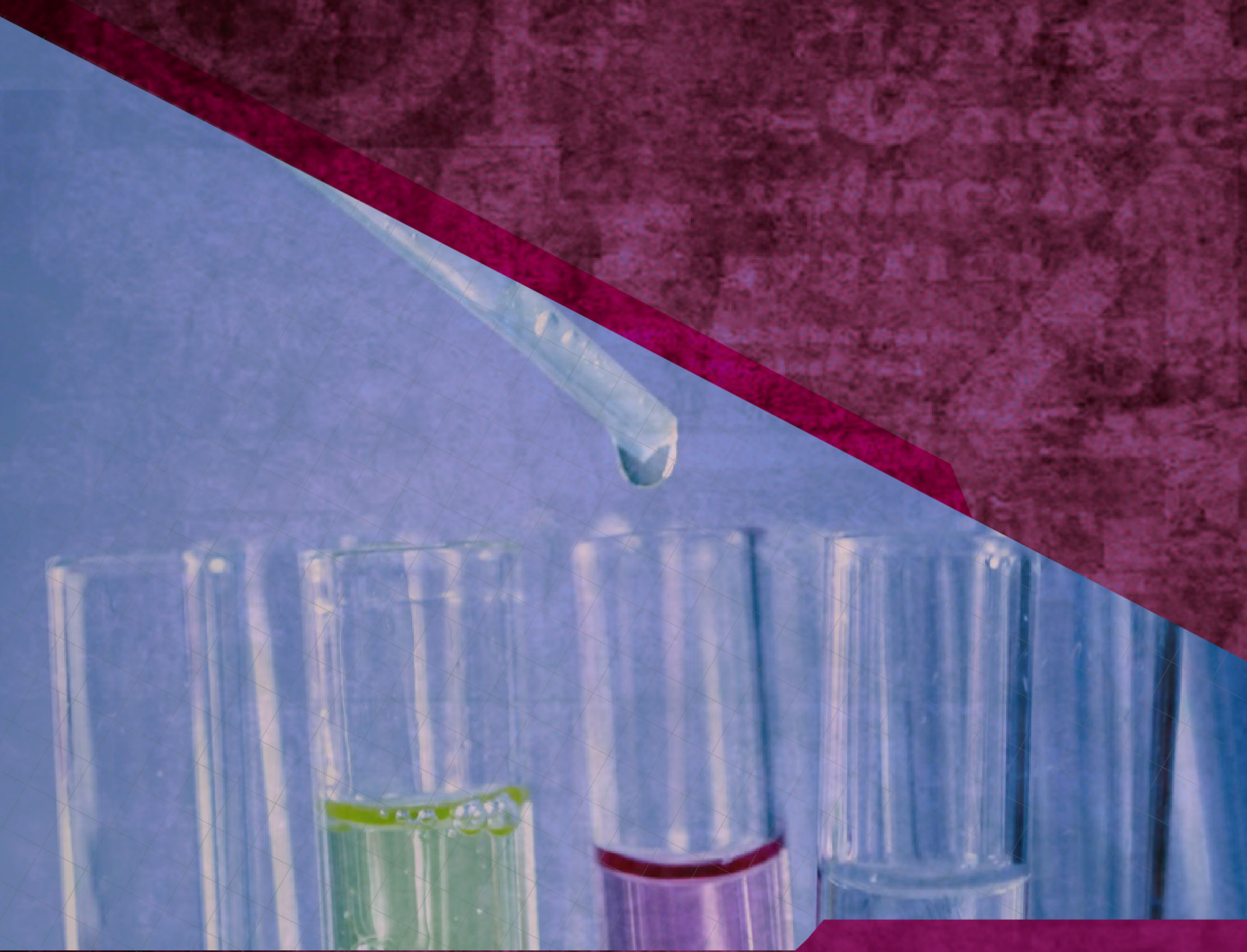


“FUNDAMENTOS BÁSICOS DE CÁLCULOS DE INGENIERÍA QUÍMICA CON ENFOQUE EN ALIMENTOS”

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).

06 Capítulo Balance de Materia y energía en procesos térmicos

Luis Cedeño Sares; Carmen Llerena Ramírez; Sócrates Palacios Ponce

Tratamiento térmico.

El término tratamiento térmico es comúnmente empleado para aquellos procesos en donde se utiliza calor ya sea con el fin de inactivar enzimas y/o eliminar cualquier tipo de microorganismo existente en un alimento que se esté procesando. Los procesos más conocidos y mayormente citados son la pasteurización y la esterilización; ambos procesos vienen acompañados de un envasado aséptico del alimento en envases pre esterilizado de diferentes materiales. Sin embargo en el caso de la pasteurización también se pueden almacenar a temperaturas de refrigeración (Holdsworth & Simpson, 2007).

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.

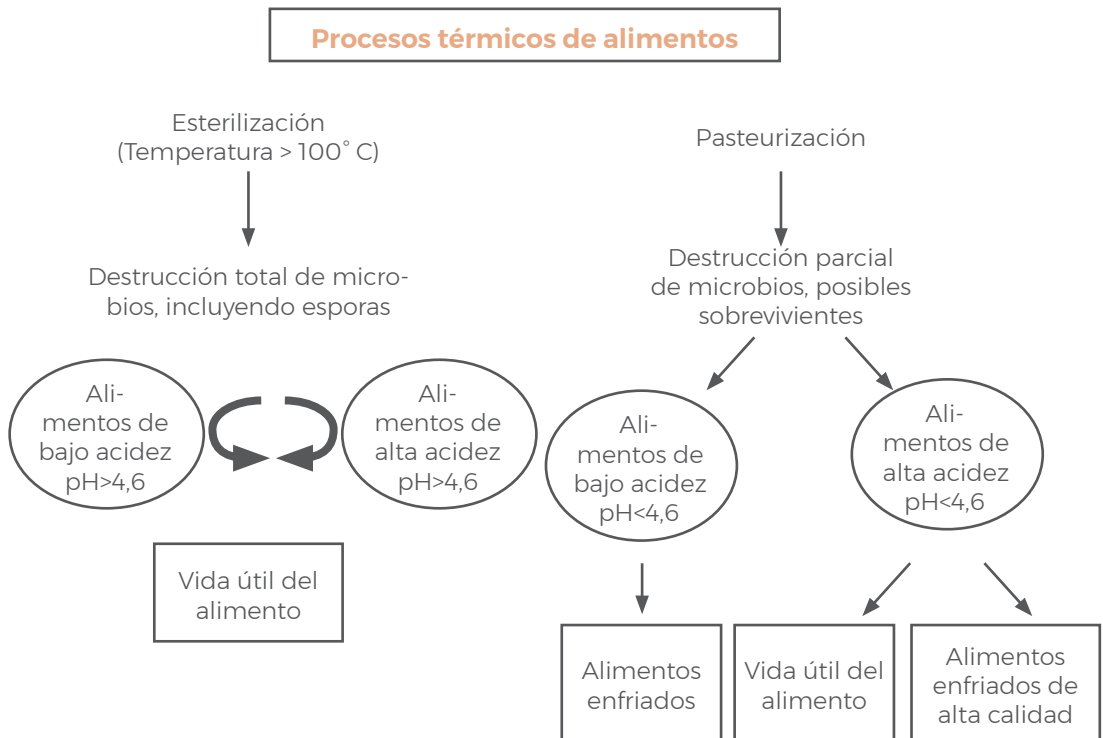
Carmen Llerena Ramírez: Ingeniera en Alimentos, Master en Ciencias Alimentarias, Master Procesamiento de Alimentos, Master en Docencia Superior, Especialista en Auditoría de Sistemas de Calidad. Experiencia de 18 años en la Industria Pesquera, Investigadora de la Universidad de Guayaquil, proyecto: Desarrollo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

Sócrates Palacios Ponce : Profesor-Investigador en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral; colaborador del Grupo de Nanobiociencia de la Universidad Autónoma de Coahuila de México, egresado del Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos en el 2016

En este tratamiento juega un papel importante el binomio tiempo y temperatura, ya que cuanto más alta es la temperatura y más largo el tiempo, el efecto será mayor; El objetivo principal del tratamiento térmico es eliminar e inhibir, de forma parcial o total, las enzimas y microorganismos que pueden alterar el alimento; un proceso común es la cocción de los alimentos que conduce a la mejora de las cualidades microbiológicas y organolépticas, destruye toxinas y los factores anti nutricionales aumentando la digestibilidad y biodisponibilidad de los nutrientes(Morales, 2013).

La figura 1 se detalla los procesos térmicos aplicados en alimentos a nivel de industria.

Figura 1. Procesamientos térmicos de los alimentos.



Fuente: (Silva & Gibbs, 2009)

El efecto del tratamiento térmico depende principalmente de las temperaturas utilizadas y del periodo de exposición, sin embargo, para definir estos parámetros, se considera factores como lo son el pH y aw. (actividad de agua) en el alimento, dado que influye mucho sobre la posibilidad de que proliferen los microorganismos que pueden sobrevivir después del tratamiento térmico (Silva & Gibbs, 2009).

Pasteurización

La pasteurización es un proceso, tratamiento o combinación de ellos, que es aplicado a un alimento para reducir los agentes patógenos o microorganismos que puedan contener y que representan un riesgo para la salud pública bajo condiciones normales de distribución y almacenamiento (ADOP-TED 27 AUGUST 2006) . Este proceso recibe el nombre de su descubridor, el científico-químico francés Louis Pasteur (1822-1895); la primera pasteurización fue realizada el 20 de abril de 1882 por el mismo Pasteur y su compañero Claude Bernard.

Uno de los objetivos del tratamiento térmico es la esterilización parcial de los alimentos líquidos, alterando lo menos posible la estructura física, los componentes químicos y las propiedades organolépticas de éstos. Este proceso es complementado con el enfriamiento del producto rápidamente y el sellado hermético con fines de seguridad alimentaria; por esta razón es básico el conocimiento del mecanismo de la transferencia de calor en los alimentos.

A diferencia de otro proceso térmico como lo es la esterilización, la pasteurización no destruye las esporas de los microorganismos, ni tampoco elimina todas las células de microorganismos termofílicos (Silva & Gibbs, 2004). En la pasteurización el objetivo primordial no es la “eliminación completa de los agentes patógenos” sino la disminución sensible de sus poblaciones, alcanzando niveles que no causen intoxicaciones alimentarias a los humanos, asegurando condiciones de envasado adecuado y un consumo del producto u alimento procesado antes de la fecha de caducidad (Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2003; Silva & Gibbs, 2004, 2009).

Esterilización

La esterilización es el tratamiento térmico, aplicado a productos de baja acidez en los que se pueden desarrollar bacterias esporuladas. El fin de este procedimiento es la eliminación de riesgos para la salud pública y obtener productos estables y de larga vida útil a condiciones ambientales. La vía que garantice la salud pública se basa en aplicar un tratamiento que alcance 12 reducciones decimales para el *Clostridium botulinum* (Banga, Perez-Martin, Gallardo, & Casares, 1991; Schultz & Olson, 1940; Silva & Gibbs, 2004), lo que obliga a trabajar a temperaturas superiores a 100 °C para conseguir tiempos cortos de proceso.

Así la esterilización difiere del proceso de pausterización por la severidad del tratamiento que consiga la destrucción de microorganismos, floras patógenas, banal incluyendo formas esporuladas. Cabe destacar que el uso de altas temperaturas provoca un efecto negativo sobre las características organolépticas del alimento procesado a diferencia del proceso de pausterización.

Equipos de transferencia de calor

La aplicación de calor en alimentos procesados a pequeña escala y a escala industrial está relacionado a la implementación o uso de equipos diseñados para este fin. Estos equipos tienen como principio de funcionamiento la interacción entre un alimento y un fluido de servicio que puede ser el vapor, agua caliente, agua fría o agua al ambiente. El fluido de servicio es el encargado de transferir energía por un mecanismo directo o indirecto hacia el alimento a ser tratado térmicamente. Entre los equipos de mayor uso para procesos de pausterización o esterilización de alimentos líquidos son los llamados intercambiadores de calor, mientras que para la esterilización de productos sólidos (conservas) son los llamados autoclaves.

Intercambiador de calor.

Un intercambiador de calor es un equipo que permite la transferencia de energía desde una sustancia o corriente de fluido hasta otra. Para el diseño de estos equipos se utilizan las ecuaciones de la transmisión de calor para el cálculo de la transferencia de energía de forma eficientemente y en condiciones regulables (Fuente). Los aparatos o equipos que más se diseñan para su uso en la industria de alimentos podemos citar a pasteurizadores, reactores con camisa, congeladores, calentadores de aire, hornos entre otros equipos (Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2003).

A menudo se requiere utilizar este tipo de equipos donde una o varias de las sustancias que están intercambiando calor son fluidos que circulan continuamente a través de los equipos, cediendo o recibiendo calor. Lo normal es que ambos fluidos, el que cede energía y el que la gana estén separados por una pared, donde la velocidad de transmisión de calor es regulada por las diferencias locales de temperatura y los coeficientes locales de transmisión de calor en cualquier punto del equipo (Singh & Heldman, 2014).

Tipos de intercambiadores de calor

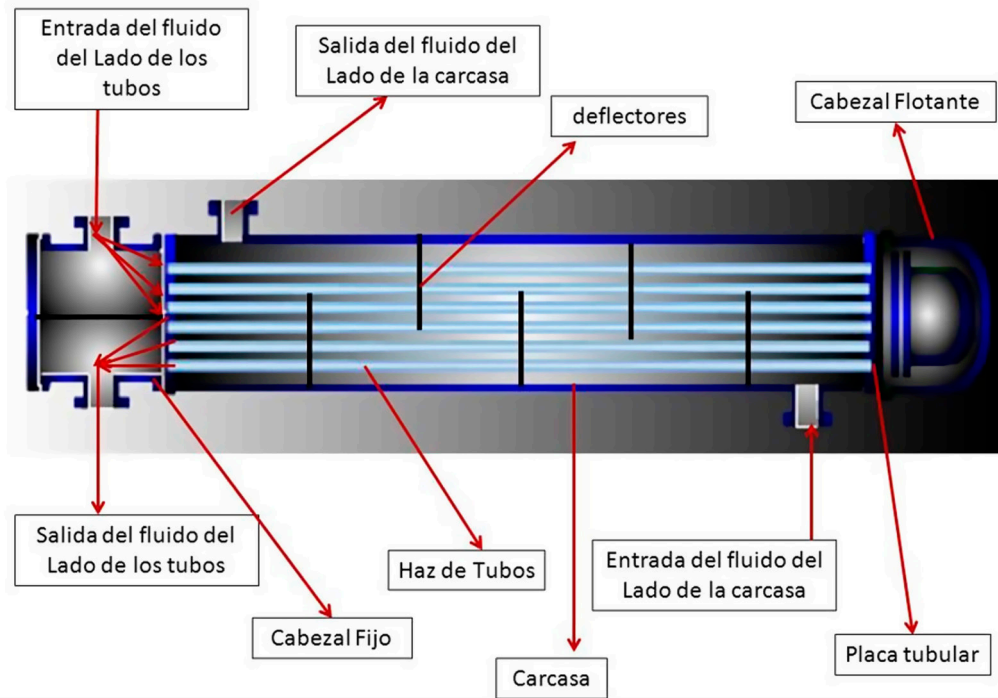
En función de la aplicabilidad de este tipo de equipos se pueden clasificar dependiendo del tipo de construcción, para lo cual es básico tener en consideración aspectos intrínsecos de los fluidos a circular por el sistema como lo son: densidad, viscosidad, contenido en sólidos, límite de temperaturas, conductividad térmica en otros. Entre los sistemas más reportados en la industria de alimentos están los intercambiadores tubulares y los de placa los cuales se detallan brevemente a continuación:

Intercambiadores tubulares o tubo en tubo.

Formados por un haz de tubos corrugados o no, realizado en diversos materiales. El haz de tubos se ubica dentro de una carcasa para permitir el intercambio con el fluido a calentar o enfriar.

Los intercambiadores de calor tubulares tienen la ventaja de aceptar líquidos más viscosos e inclusive trabajar como evaporadores y condensadores.

Figura 2. Intercambiador de calor, tubo en tubo.

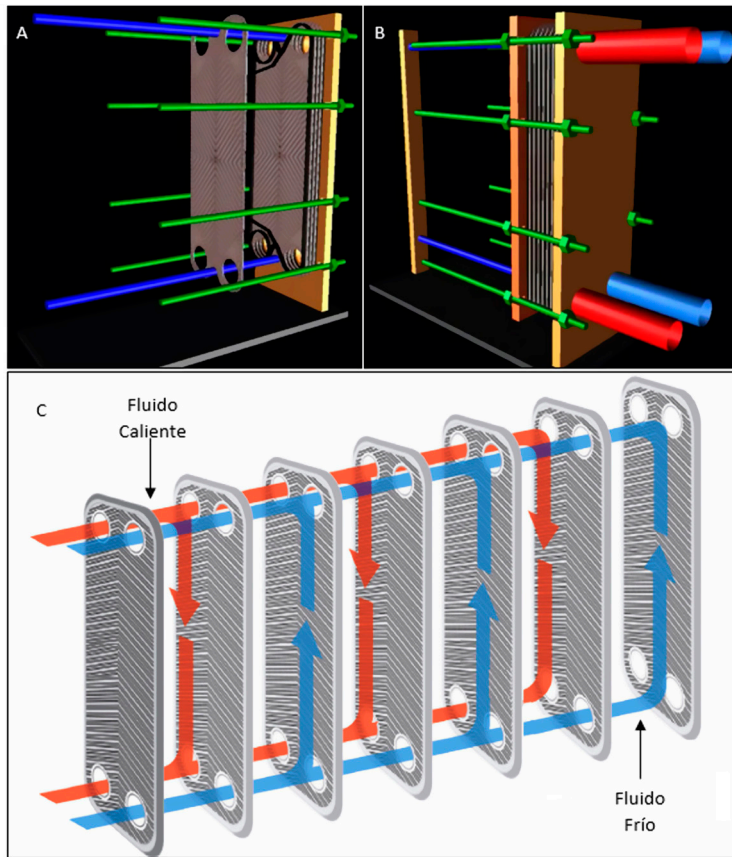


Fuente: Alfa - Laval.

Intercambiadores de placas.

Formados por un conjunto de placas de metal corrugadas (acero inoxidable, titanio, etc.) contenidas en un bastidor. El sellado de las placas se realiza mediante juntas o bien pueden estar soldadas. Estos equipos se han diseñado como una alternativa de bajo coste para los tipos de haz tubular. Constan de numerosas placas de transferencia de calor de acero inoxidable 316, dos tapas exteriores y cuatro conexiones soldadas con cobre al vacío para formar una unidad integral.

Figura 3. Intercambiador de calor a placas; a) disposición de juntas y placas. b) sistema integral instalado. c) distribución de fluidos en el interior del sistema.



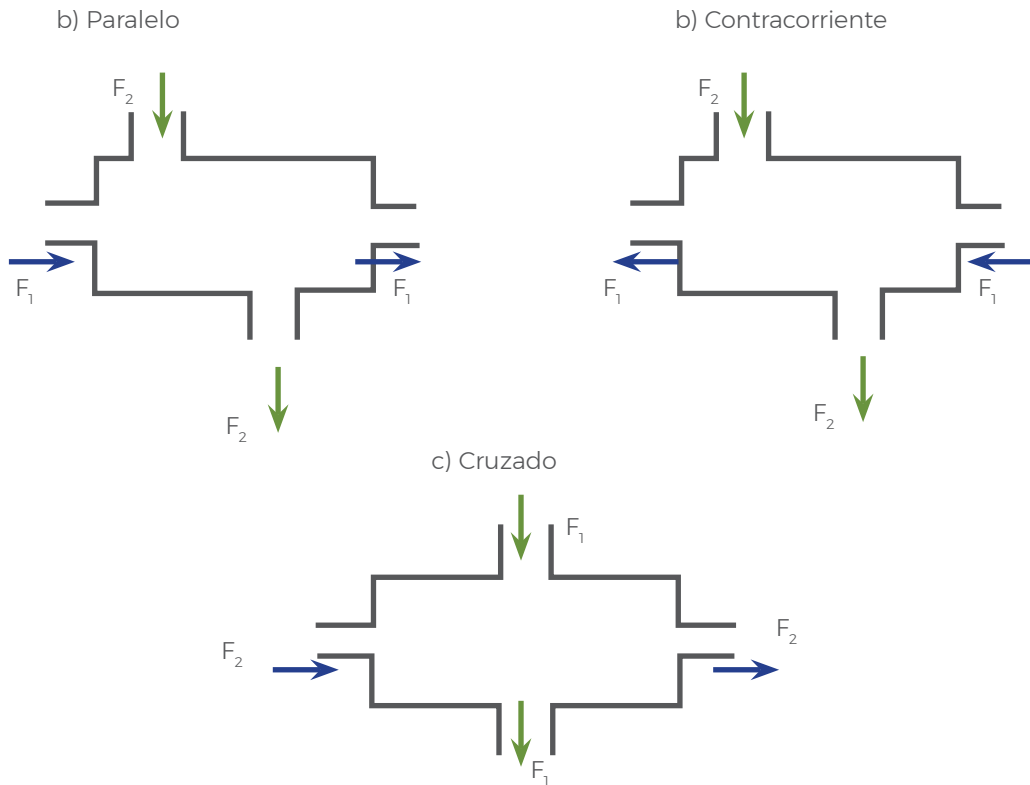
Fuente:(Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2003; Morales, 2013)

Al contrario que otros intercambiadores, éstos tienen una disposición exclusiva del flujo interno que permite que las conexiones de entrada y salida estén axialmente alineadas. Esto significa que pueden instalarse directamente en la tubería sin ningún cambio de dirección. Cada corriente de fluido circula en serie a través de placas alternadas. Como consecuencia de ello, el espaciado entre placas es mayor y las velocidades internas son más elevadas, siendo menos propensos a formar incrustaciones.

Tipos de flujos asociados a los intercambiadores de calor

Existen 3 tipos de flujos asociados a para el alimento y el fluido de servicio al interior de estos equipos. Cuando los fluidos fluyen en la misma dirección se tiene flujo paralelo; cuando lo hacen en dirección opuesta se trata de flujo en contracorriente; cuando lo hacen en dirección perpendicular, se trata de flujo cruzado (Ver figura 4).

Figura 4. Tipos de Flujos asociados a intercambiadores de calor.



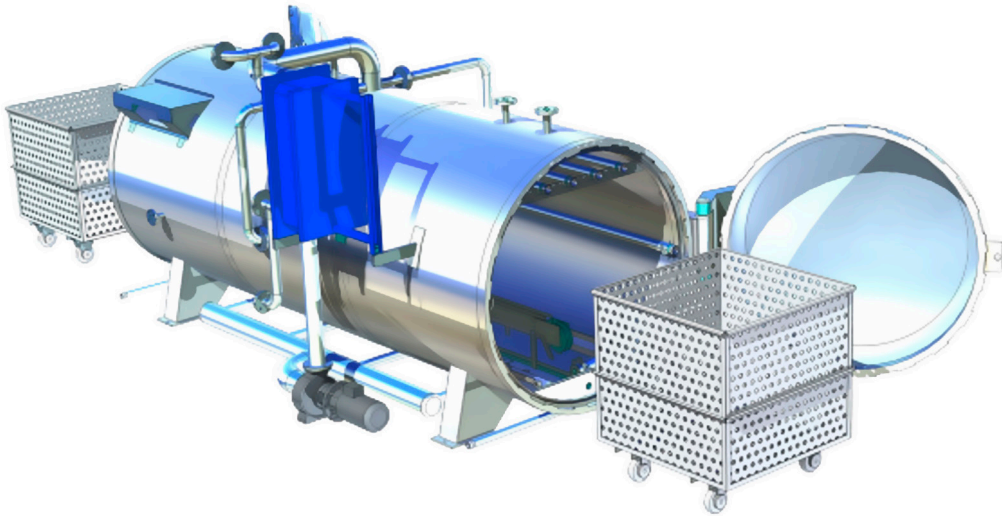
Fuente:(Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2003)

En el flujo paralelo hay a la entrada del intercambiador de calor la máxima diferencia de temperatura entre las corrientes fría y caliente, mientras que a la salida todo lo que las corrientes pueden hacer es tender a igualar sus temperaturas. En los intercambiadores en contracorriente las corrientes a la salida poseen casi las temperaturas de las corrientes de entrada del otro componente, razón por la cual suele preferirse.

Autoclaves

Las autoclaves son sistemas de esterilización que pueden ser por cargas o sistemas continuos. Los alimentos comúnmente que usan estos sistemas son aquellos sólidos enteros, troceados o de menor tamaño, los cuales son previamente escaldados cuando los sólidos son de tamaño considerable caso contrario sólidos de menor tamaño son inmersos en líquido de cobertura. El propósito de realizar estas dos operaciones es conseguir que el aire ya sea ocluido en los tejidos de los alimentos o presente en el envase pueda ser evacuado y de esta forma se pueda mantener la presión interna muy próxima a la del vapor de agua saturado, durante el tratamiento térmico (Casp Vanaclocha & Abril Requena, 2003). Un sistema por cargas se realiza en una autoclave que es un recinto generalmente de forma cilíndrica vertical u horizontal capaz de soportar la presión interna mayor a la atmosférica donde se colocan los envases en canastas metálicas. Estos equipos disponen así mismo de sistemas de calefacción, enfriamiento y control de procesos para que el tratamiento térmico se realice de forma adecuada. El proceso de autoclave básicamente consiste en tres etapas principales; una etapa de levante donde el aire del recinto es sacado del sistema hasta llegar a la temperatura de proceso, posteriormente una etapa de retención donde se logra alcanzar la esterilidad comercial de los envases en el recinto y finalmente una etapa de enfriamiento donde los envases son enfriados hasta una temperatura cercana a la del ambiente y así ser descargados los envases del recinto.

Figura 5: Autoclave horizontal.



Fuente: Hemasa - Canning technology.

Balance de energía

Para la resolución de problemas de intercambiadores de calor, se realiza el balance de energía entre los fluidos inmersos en el sistema, es decir la energía que gana el uno es igual a la energía que pierde el otro:

$$Q_{\text{ganado}} = Q_{\text{cedido}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{Ecu. 2}$$

Donde:

Q = Calor sensible en el alimento.

m= masa del alimento.

Cp= Calor específico del alimento.

ΔT = Variación de temperatura.

En un proceso de intercambiadores de calor no hay cambio de estado, sólo transferencia de calor por lo que se usa la fórmula de Calor Sensible, ya que lo único que varía es la temperatura. Sin embargo, adicional a la fórmula planteada anteriormente, existe una ecuación general para los intercambiadores de calor:

$$Q_{\text{sistema}} = U \times A \times \Delta T \quad \text{Ecu. 3}$$

Donde:

Q = Calor del sistema (equipo)

U = Coeficiente global de transferencia de calor

A = Área de transferencia de calor

ΔT = Variación de Temperatura.

Para determinar el ΔT , se lo puede efectuar de diversas maneras y esto depende de qué tipo de intercambiador sea y que tan preciso queramos ser al momento de realizar los cálculos. Podemos citar dos formas para realizar este cálculo en intercambiadores de calor con flujo de fluidos en contracorriente:

$$\Delta T = T_f - T_o \quad \text{Ecu. 4}$$

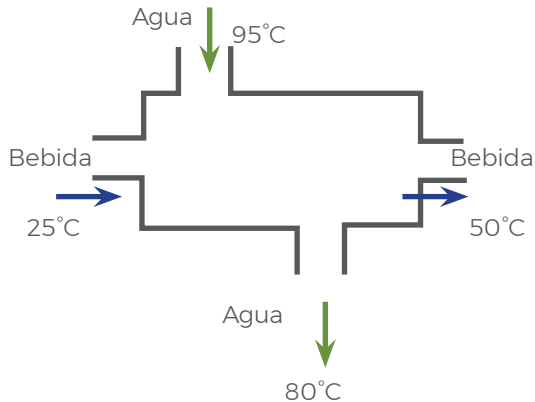
$$\Delta T_m \ln = \frac{\Delta T_f - \Delta T_o}{\ln \frac{\Delta T_f}{\Delta T_o}} \quad \text{Ecu. 5}$$

Problemas Resueltos

Problema 1

Una bebida necesita ser precalentada a 50 °C, para lo cual es bombeada desde un tanque de almacenamiento a una velocidad de 2,000 Kg/h a 25°C hacia un intercambiador de calor, en sentido paralelo al fluido de servicio. El fluido de servicio (agua) para este proceso entra a 95°C y sale a 80°C. El Cp de la bebida es 0.966 Kcal/Kg °K. Calcular Kg/h de agua que debe ingresar al sistema.

Esquema 1. Flujo Paralelo:



Datos - Agua

Datos - Bebida

Cp= 1 Kcal/Kg°C	M = 2,000 Kg/h
TO = 95°C	Cp = 0.966 Kcal/Kg°C
TF = 80°C	TO = 25°C
	TF = 50°C

$$Q_{\text{cedido agua}} = Q_{\text{absorbido producto}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ecu. 2}$$

$$(m_{\text{H}_2\text{O}}) \left(1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}}\right) (95^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}) = (2000 \text{Kg}) \left(0.966 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}}\right) (50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

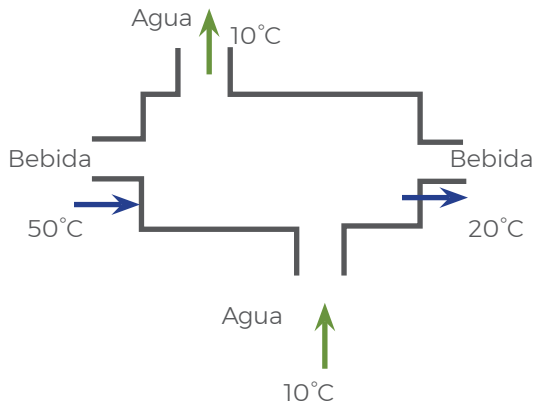
$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 3220 \text{ Kg.}$$

Problema 2

500 l/min de una bebida a base de maíz que sale del pasteurizador a 50°C, se deberá enfriar hasta 20°C, pasando por un intercambiador en contracorriente provisto de un serpentín de tubos de acero inoxidable de 1.5" de diámetro interior cédula #40, sumergido en agua a una temperatura constante de 10°C. Si el coeficiente global de transferencia de calor es 850 Kcal/m²h°C, considerando que el calor específico de la bebida es 0.975 Kcal/Kg°C y una densidad relativa de 1.01.

- Determinar Kg/h de la bebida que se está enfriando.
- Calcular el área de transferencia de calor.
- Determinar la longitud del serpentín de la tubería.
- Si se encuentra disponible en el mercado 3 diferentes intercambiadores de calor de diferentes áreas, ¿cuál recomienda usted? El de 15 m², el de 18m² o el de 22m².

Esquema 2. Flujo contracorriente:



Datos - Serpentín

$U = 950 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$	$\rho = 1,010 \text{ Kg/m}^3$
$D = 1.5'' = 0.0381 \text{ m}$	$C_p = 0.975 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$
$T_O = 20^\circ\text{C}$	$Q = 500 \text{ l/min} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$
$T_F = 50^\circ\text{C}$	

Datos - Bebida

Flujo de la bebida (Kg/h).

$$Q_m = Q_v \times \rho$$

$$Q_m = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1010 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_m = 30300 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Área de transferencia de calor (m^2).

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ecu. 2}$$

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad \text{Ecu. 3}$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_f - \Delta T_o}{\ln \frac{\Delta T_f}{\Delta T_o}} = \frac{40 - 10}{\ln \frac{40}{10}} \quad \text{Ecu. 5}$$

$$\Delta T_m = 21.58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m C_p \Delta T = U \times A \times \Delta T$$

$$\left(30300 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}\right) \left(0.975 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}\right) (50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = \left(950 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}\right) (A) 21.58^\circ\text{C}$$

$$A = 48.32 \text{ m}^2$$

$$A = 2\pi rL$$

$$48.32 \text{ m}^2 = 2\pi (0.0381 \text{ m})L$$

$$L = 403.69 \text{ m}$$

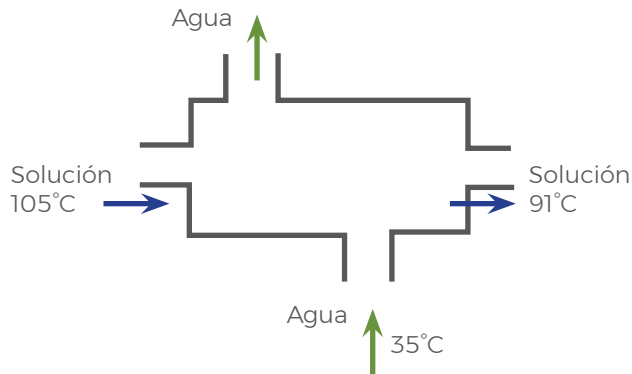
Respuesta: No escojo ninguna de las tres opciones de intercambiador de calor disponibles ya que no cumplen con el requerimiento mínimo que es de 48.32 m².

Problema 3

Un intercambiador de tubos concéntricos de área igual a 16 m² y flujo contracorriente, calienta agua a expensas de una solución que circula por el sistema a razón de 2.9 Kg/s, con temperatura de ingreso de 105 °C y temperatura de salida de 91 °C y cuyo Cp=1.85 Kj/Kg. El flujo de agua en el sistema es de 45 Kg/min con una temperatura de 35 °C. Calcule la temperatura de salida del agua.

Datos - Agua	Datos - Solución
$Q_m = 45 \text{ Kg/min}$	$Q_m = 2.9 \text{ Kg/s}$
$C_p = 4.178 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$	$C_p = 1.85 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$
$TO = 35^\circ\text{C}$	$TO = 105^\circ\text{C}$
$TF = ?^\circ$	$TF = 91^\circ\text{C}$

Esquema 3. Flujo contracorriente:



$$Q_{\text{cedido solución}} = Q_{\text{absorbido agua}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ecu. 2}$$

$$(2.9 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times \frac{3600\text{s}}{\text{h}}) (1.85 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}) (105^\circ\text{C} - 91^\circ\text{C}) = (45 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \times (60 \frac{\text{min}}{\text{h}})) (4.178 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}) (T_F - 35^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = 23.97^\circ\text{C}$$

$$T_F - 35 = 23.97^\circ\text{C}$$

$$T_F = 58.97^\circ\text{C}$$

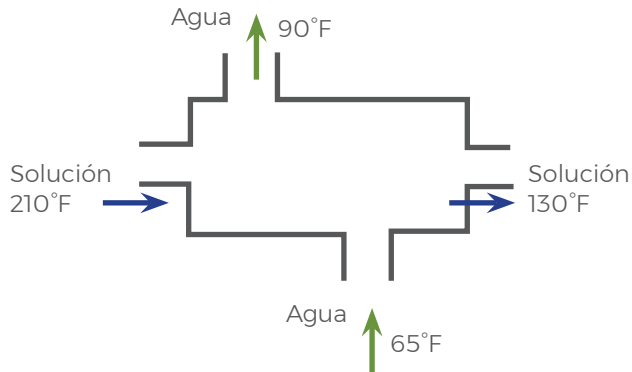
Problema 4.

Aceite con un $C_p = 0.3 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$. Se desea enfriar desde 210°F hasta 130°F utilizando agua a razón de 20 lb/min , misma que se calienta desde 65°F hasta 90°F .

a) Determine el área de transferencia de calor en m^2 para un equipo de flujo a contracorriente si $U_d = 50 \text{ BTU/h ft}^2 ^\circ\text{F}$.

Datos - Aceite	Datos - Agua
$C_p = 0.30 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$	$Q_m = 20 \text{ lb/min}$
$T_O = 210^\circ\text{F}$	$C_p = 1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$
$T_F = 130^\circ\text{F}$	$T_O = 65^\circ\text{F}$
	$T_F = 95^\circ\text{F}$

Esquema 4. Flujo contracorriente:



$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{P H}_2\text{O}} \Delta T_{\text{H}_2\text{O}} \quad \text{Ecu. 2}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = \left(20 \frac{\text{lb}}{\text{min}} \times \frac{60}{\text{h}}\right) \left(1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}}\right) (95-65^\circ\text{F}) = 36000 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad \text{Ecu.3}$$

$$\Delta T_m = \frac{\frac{\Delta T_f - \Delta T_o}{\text{Ln} \frac{\Delta T_f}{\Delta T_o}}}{\frac{120-65}{\text{Ln} \frac{120}{65}}} = \frac{65}{0.613} = 89.70^\circ\text{F}$$

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T} = \frac{36000 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{50 \frac{\text{BTU}}{\text{hft}^2^\circ\text{F}} \times 89.70^\circ\text{F}}$$

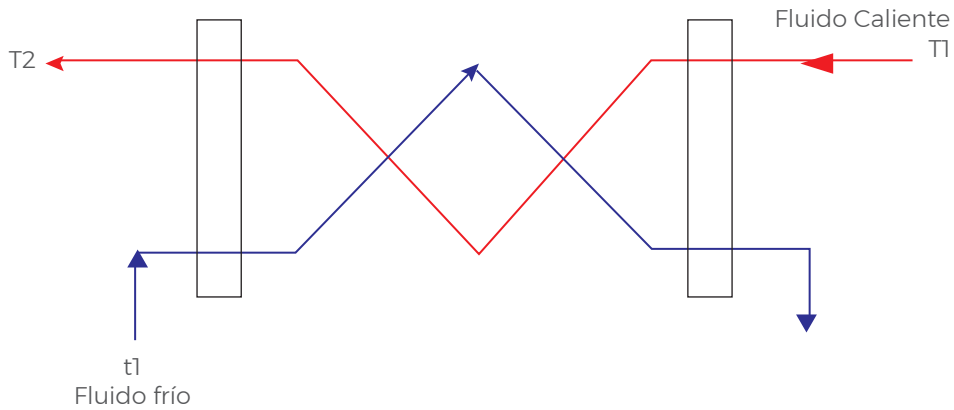
$$A = 8.02 \text{ ft}^2 = 0.745 \text{ m}^2$$

Problema 5.

Calcule la temperatura de salida del medio de calentamiento en un intercambiador de calor a placas para pausterizar 4000 l/h de leche a 72 °C. Como medio de calentamiento se dispone de agua a 90 °C con un flujo de 6500 l/h. La temperatura inicial del producto es de 8 °C y se desea que después de pausterizar el producto tenga una temperatura de hasta 32 °C, para ser usada como materia prima en la elaboración de quesos. El calor específico de la leche es 3.771 Kj/Kg °C y su densidad es 1023 Kg/m³. El calor específico del agua es 4.190 Kj/Kg °C y su densidad es 998 Kg/m³.

Datos - Leche	Datos - Agua
$Q = 4000 \text{ l/h.}$	$Q = 6500 \text{ l/h}$
$\rho = 1023 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
$C_p = 3.771 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$	$C_p = 4.190 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$
$T_O = 8^\circ\text{C}$	$T_O = 90^\circ\text{C}$
$T_F = 72^\circ\text{C}$	$T_F = ?^\circ\text{C}$

Esquema 5. Intercambio de calor.



$$Q_{\text{cedido agua}} = Q_{\text{absorbido leche}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ecu. 2}$$

$$\left(6.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}\right) (4.19 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} ^\circ\text{C}) (90^\circ\text{C} - T_f) = \left(4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1023 \text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$\frac{\text{Kj}}{(3.771 \text{Kg}^\circ\text{C})} (72^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C})$$

$$T_f = 90 - \frac{987579.64}{27180.53}$$

$$T_f = 90 - 36.33$$

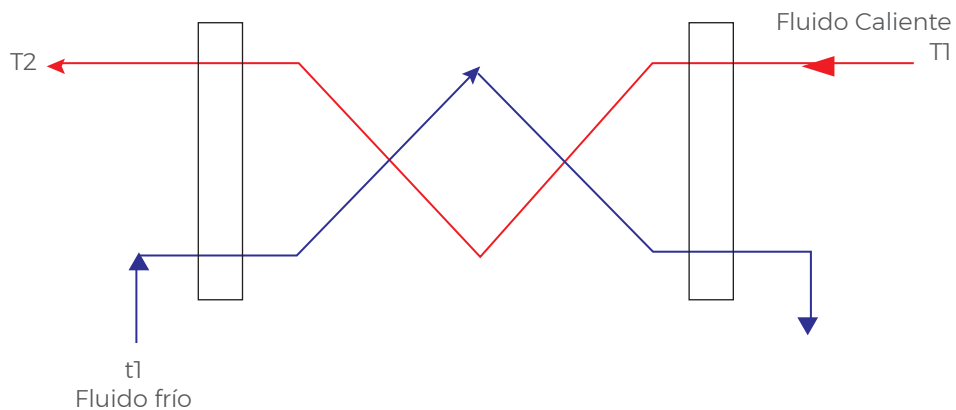
$$T_f = 53.66^\circ\text{C}$$

Problema 6.

Calcule la temperatura de salida del medio de enfriamiento en un intercambiador de calor a placas para enfriar 1500 litros de leche a 10 °C. Como medio de enfriamiento se dispone de agua a 4 °C con un flujo de 2 Kg/s. La temperatura inicial del producto proveniente de la zona de regeneración es de 32 °C y se desea que después del enfriamiento el producto sea usado como materia prima en la elaboración de un producto a base de leche. El calor específico de la leche es 3.771 Kj/Kg °C y su densidad es 1023 Kg/m³. El calor específico del agua es 4.190 Kj/Kg °C y su densidad es 998 Kg/m³.

Datos - Leche	Datos - Agua
Q = 1500 l/h.	Q _m = 2 Kg/s
ρ = 1023 kg/m ³	ρ = 1000 kg/m ³
C _p = 3.771 Kj/Kg °C	C _p = 4.205 Kj/Kg °C
T _O = 32°C	T _O = 4 °C
T _F = 10°C	T _F = ? °C

Esquema 6. Intercambio de calor.



$$Q_{\text{cedido Leche}} = Q_{\text{absorbido Agua}}$$

Ecu. 1

$$Q = m C_p \Delta T$$

Ecu. 2

$$(1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}) \times (\frac{1023 \text{ Kg}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}) (3.771 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}) (32^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = (2 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}) \times (\frac{3600 \text{ s}}{\text{h}})$$

$$(4.205 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}) (t_f - 4^\circ\text{C})$$

$$(1534.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}) (3.771 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}) (22^\circ\text{C}) = (7200 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}) (4.205 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}) (t_f - 4^\circ\text{C})$$

$$T_f = \frac{127305.189}{30276} + 4$$

$$T_f = 4.20 + 4$$

$$T_f = 8.20^\circ\text{C}$$

Problema 7

En una autoclave, 2000 latas con trozos de verduras se calientan hasta 120°C con vapor saturado. Para el enfriamiento de las latas se utiliza agua que entra a 25°C y sale a 35°C . Calcule los litros de agua de enfriamiento requeridos, considerando que cada envase contiene $\frac{1}{2}$ kilo de producto y que el material de la lata pesa 70 g. El C_p del producto es $0.94 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$ y el del material hojalata es $0.12 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$. Para sostener los envases dentro de la autoclave se emplea una canastilla de metal que pesa 160 Kg. y cuyo C_p es el mismo que el de la lata de los envases. Asuma, que en el proceso todo se enfría hasta 36°C . La cantidad de calor quitado de las paredes de la autoclave al enfriarse desde 120°C a 36°C es de 2,700 Kcal. Las pérdidas de calor por radiación son de 1,250 Kcal.

Datos - Trozos de Verduras

$$M = (2000)(0.5) = 1000 \text{ Kg}$$

$$C_p = 0.94 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_O = 120^\circ\text{C}$$

$$T = 36^\circ\text{C}$$

Datos - Lata

$$m = (2000)(0.07) = 140 \text{ Kg}$$

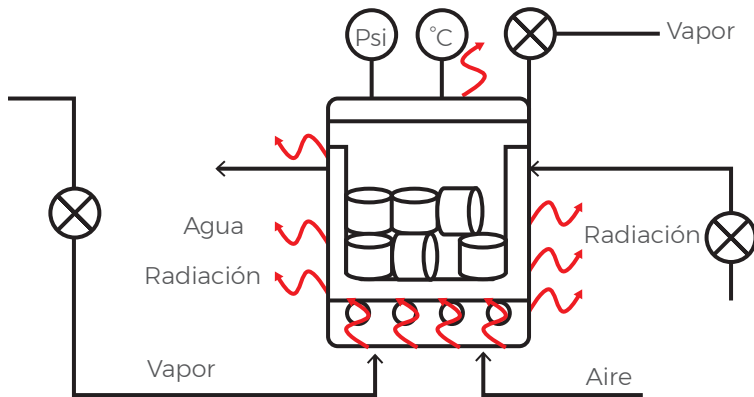
$$C_p = 0.12 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_O = 120^\circ\text{C}$$

$$T = 36^\circ\text{C}$$

Datos - Agua	Datos - Canasta
$C_p = 1.00 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$	$m = 160 \text{ Kg}$
$T_0 = 26^\circ\text{C}$	$C_p = 0.12 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$
$T_f = 32^\circ\text{C}$	$T_0 = 120^\circ\text{C}$
	$T = 36^\circ\text{C}$
$T_F = 10^\circ\text{C}$	$T_F = ?^\circ\text{C}$

Esquema 7. Autoclave



$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{ganado}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = Q_{\text{producto}} + Q_{\text{envases}} + Q_{\text{canasta}} + Q_{\text{paredes}}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = Q_{\text{gana agua}} + Q_{\text{paredes}}$$

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ecu. 2}$$

Como no existe cambio de estado en este proceso, y sólo hay variación de temperatura se usa la fórmula de calor sensible para determinar los calores en cada uno de los componentes por separado.

$$Q_{\text{producto}} = (1000 \text{ Kg}) \left(0.940 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right) (120^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C}) = 78960 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{envases}} = (140 \text{ Kg}) \left(0.12 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right) (120^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C}) = 1411.2 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{canasta}} = (160 \text{ Kg}) \left(0.12 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right) (120^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C}) = 1612.8 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{paredes}} = 2500 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = Q_{\text{producto}} + Q_{\text{envases}} + Q_{\text{canasta}} + Q_{\text{paredes}}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = 78960 + 1411.2 + 1612.8 + 2500 = 84484 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{gana agua}} + Q_{\text{perdida por radiación}} = Q_{\text{perdido x sistema}}$$

$$Q_{\text{gana agua}} = Q_{\text{perdido x sistema}} - Q_{\text{perdida por radiación}}$$

$$Q_{\text{gana agua}} = 84484 \text{ Kcal} - 1250 \text{ Kcal} = 83234 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{gana agua}} = m_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{pH}_2\text{O}} \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{Q_{\text{gana agua}}}{C_{\text{pH}_2\text{O}} \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{83234 \text{ Kcal}}{1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (32^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C})}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 13872 \text{ Kg}$$

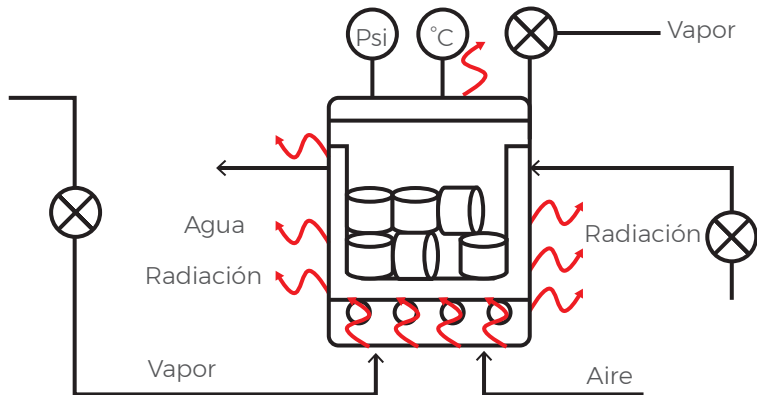
$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 13872 \text{ l}$$

Problema 8

En una autoclave se esterilizan 2000 envases que contiene una libra de frijoles a una temperatura de 115°C , mismas que deberán ser enfriadas hasta 40°C antes de ser sacados del equipo, para lo cual se usa agua que entra a 25°C y sale a 35°C . Si el material de la hojalata del envase pesa 120 g. y tiene un calor específico de $1.12 \times 10^{-6} \text{ Kcal/g}^\circ\text{C}$; el Cp de los frijoles es de $4.25 \times 10^{-3} \text{ Kcal/g}^\circ\text{C}$. Asuma que todo el sistema metálico aporta 150 Kcal cuando está por encima de 45°C y las pérdidas por radiación son estimadas en 500 Kcal. Determine m^3 de agua requerida para el enfriamiento.

Datos - Frijoles	Datos - Lata	Datos - Agua
$M = (2,000)(1 \text{ lb}): (2.2 \text{ Kg}) = 909.09 \text{ Kg}$	$m = (2,000)(120) = 240,000 \text{ g} : 1000 \text{ g} = 240 \text{ Kg}$	$m=?$
$C_p = 4.25 \times 10^{-3} \text{ Kcal/g}^\circ\text{C}$	$C_p = 1.12 \times 10^{-6} \text{ Kcal/g}^\circ\text{C}$	$C_p = 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$
$T_i = 115^\circ\text{C}$	$T_i = 115^\circ\text{C}$	$T_i = 25^\circ\text{C}$
$T = 40^\circ\text{C}$	$T = 40^\circ\text{C}$	$T = 35^\circ\text{C}$

Esquema 8. Autoclave



$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{ganado}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = Q_{\text{producto}} + Q_{\text{envases}} + Q_{\text{canasta}} + Q_{\text{paredes}}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = Q_{\text{gana agua}} + Q_{\text{paredes}}$$

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ecu. 2}$$

Como no existe cambio de estado en este proceso, y sólo hay variación de temperatura se usa la fórmula de calor sensible para determinar los calores en cada uno de los componentes por separado.

$$Q_{\text{producto}} = (909.09 \text{ Kg}) \left(4.25 \times 10^{-3} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) (115^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) = 289772 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{envases}} = (240 \text{ Kg}) \left(1.12 \times 10^{-6} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) (115^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) = 20.16 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{paredes+material metálico}} = 150 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = Q_{\text{producto}} + Q_{\text{envases}} + Q_{\text{paredes+metal}}$$

$$Q_{\text{perdido x sistema}} = 289772 + 20.16 + 150 = 289942 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{gana agua}} + Q_{\text{perdida por radiación}} = Q_{\text{perdido x sistema}}$$

$$Q_{\text{gana agua}} = Q_{\text{perdido x sistema}} - Q_{\text{perdida por radiación}}$$

$$Q_{\text{gana agua}} = 289942 \text{ Kcal} - 500 \text{ Kcal} = 289442 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{gana agua}} = m_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{pH}_2\text{O}} \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{Q_{\text{gana agua}}}{C_{\text{pH}_2\text{O}} \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{289442 \text{ Kcal}}{1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (35^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 28944 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 28944 \text{ l}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 28.944 \text{ m}^3$$

Anexo I

Densidad del agua líquida entre 0°C y 100°C

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa

Temperatura °C	Densidad kg/m ³	Temperatura °C	Densidad kg/m ³	Temperatura °C	Densidad kg/m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	10000,00	38	993,00	72	976,47
5	10000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	990,64	77	973,46
10	999,77	44	990,22	78	972,85
11	999,68	45	989,80	79	972,23
12	999,58	46	989,36	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	966,41
20	998,29	54	986,14	88	965,74

Densidad del agua líquida entre 0°C y 100°C

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa

21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Anexo II

Calor específico del agua entre 0°C y 100°C

Temp.	Calor específico		Temp.	Calor específico		Temp.	Calor específico	
°C	kJ/K.kg	kcal/K.. kg	°C	kJ/K.kg	kcal/K.. kg	°C	kJ/K.kg	kcal/K.. kg
0 (hielo)	1,960	0,468	33	4,178	0,999	67	4,188	1,001
0	4,217	1,008	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
1	4,213	1,007	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
2	4,210	1,006	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
3	4,207	1,005	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
4	4,205	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
5	4,202	1,004	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
6	4,200	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
7	4,198	1,003	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
8	4,196	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
9	4,194	1,002	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
10	4,192	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
11	4,191	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
12	4,189	1,001	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
13	4,188	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
14	4,187	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
15	4,186	1,000	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
16	4,185	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
17	4,184	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
18	4,183	1,000	52	4,182	0,999	86	4,201	1,004

Calor específico del agua entre 0°C y 100°C

19	4,182	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
20	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
21	4,181	0,999	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
22	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
23	4,180	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
24	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
25	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
26	4,179	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
27	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
28	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
29	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
30	4,178	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
31	4,178	0,999	65	4,184	1,001	99	4,213	1,007
32	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
						100 (gas)	2,080	0,497

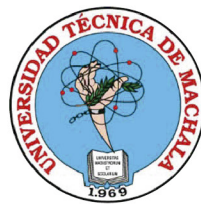
Referencia Bibliográficas

- ADOPTED 27 AUGUST , W., D.C. NATIONAL ADVISORY COMMITTEE ON MICROBIOLOGICAL CRITERIA FOR FOODS. (2006). Requisite Scientific Parameters for Establishing the Equivalence of Alternative Methods of Pasteurization. *Journal of Food Protection*, 69(5), 1190-1216. doi: 10.4315/0362-028x-69.5.1190
- Banga, J. R., Perez-Martin, R. I., Gallardo, J. M., & Casares, J. J. (1991). Optimization of the thermal processing of conduction-heated canned foods: Study of several objective functions. *Journal of Food Engineering*, 14(1), 25-51. doi: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(91\)90052-T](https://doi.org/10.1016/0260-8774(91)90052-T)
- Casp Vanaclocha, A., & Abril Requena, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos / A. Casp Vanaclocha, J. Abril Requena.*
- Holdsworth, S. D., & Simpson, R. (2007). *Thermal Processing of Packaged Foods* (Vol. 2). New York: Springer US.
- Morales, M. E. P. y. R. y. M. E. S.-. (2013). Mecanismos de Transferencia de Calor que ocurren en Tratamientos Térmicos de Alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 40.
- Schultz, O. T., & Olson, F. C. W. (1940). THERMAL PROCESSING OF CANNED FOODS IN TIN CONTAINERS. *Journal of Food Science*, 5(4), 399-407. doi: 10.1111/j.1365-2621.1940.tb17201.x
- Silva, F., & Gibbs, P. A. (2004). *Target Selection in Designing Pasteurization Processes for Shelf-Stable High-Acid Fruit Products* (Vol. 44).
- Silva, F., & Gibbs, P. A. (2009). *Principles of Thermal Processing: Pasteurization.*
- Singh, R. P., & Heldman, R. D. (2014). *Introduction to Food Engineering* (Fifth edition ed.). USA: Academic Press.

*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

