



FACULTAD DE CIENCIAS

**MÁSTER en INNOVACIÓN en NUTRICIÓN,
SEGURIDAD y TECNOLOGÍAS ALIMENTARIAS**

D. Andrés Eduardo Marín De Jesús

**PUESTA EN MARCHA Y ELABORACIÓN DE UN
PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO DE UN
ESTERILIZADOR DE SUPERFICIE RASPADA PARA
PRODUCTOS VISCOSOS**

Trabajo Fin de Máster

Junio 2021

Dedicatoria y agradecimientos

Al grupo de trabajo del Aula de Productos Lácteos y Tecnologías Alimentarias (APLTA)

Al programa de Becas Honduras 20/20

A mis tutores Luis Aldeanueva Potel y Ángel Cobos García

Para mis padres; David Marín y Mariana De Jesús

Mis hermanos; José Ricardo, Juan Carlos y David Fernando

A mi novia: Magaly Miranda

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
RESUMO	6
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Conservación de alimentos	8
1.2. Esterilización térmica.....	9
1.3. Reología de alimentos.....	12
1.4. Esterilizador de superficie raspada.....	16
1.5. Transferencia de calor	20
2. OBJETIVOS	22
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. Ubicación	23
3.2. Diseño experimental	23
3.3. Materiales y equipos utilizados.....	23
3.4. Desarrollo de protocolo de funcionamiento	24
3.5. Pruebas preliminares	25
3.5.1. Viscosidad pruebas preliminares	25
3.6. Pruebas en esterilizador de fluidos viscosos	25
3.6.1. Viscosidad pruebas en esterilizador de fluidos viscosos.....	26
3.7. Coeficiente global de transmisión de calor	26
3.8. Eficiencia térmica de intercambiador de calor.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Desarrollo de protocolo de funcionamiento	29
4.2. Pruebas preliminares	38
4.3. Viscosidad pruebas en esterilizador de fluidos viscosos.....	39
4.4. Coeficiente de transmisión de calor	41
4.5. Eficiencia térmica de intercambiador de calor	48
5. CONCLUSIONES	49
6. RECOMENDACIONES	50
7. BIBLIOGRAFIA	51

RESUMEN

Título: Puesta en marcha y elaboración de un protocolo de funcionamiento de un esterilizador de superficie raspada para productos viscosos.

La esterilización como método de inactivación de microorganismos es una de las técnicas más eficientes para el almacenamiento de alimentos. La esterilización de fluidos viscosos tales como aderezos, jaleas, o mantequillas sin alterar sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales es un reto para la industria de alimentos siendo la tecnología de Intercambio de Calor por Superficie Raspada (ICSR) la más eficiente. Ésta consta de un cilindro acorazado que suministra agua caliente o fría por el exterior e internamente y a contracorriente el producto, en la parte central se sitúa una cuchilla giratoria que facilita el flujo y remueve el producto de las paredes asegurando una transferencia de calor uniforme. Este trabajo se centra en la elaboración de un protocolo de funcionamiento de un esterilizador de superficie raspada para productos viscosos y evaluación de utilidad.

Se realizaron cuatro soluciones con diferentes porcentajes de almidón PolarTex 06716 de Cargill® y agua osmotizada, 4,5, 5,5, 6,5 y 7,5%. Las muestras se sometieron a un proceso de esterilización a un caudal de 200 L/h, 4 bar, 60 segundos de mantenimiento, 16 Hz de cizalla y a temperaturas de 47 ± 2 , 80 ± 2 , 140 ± 2 y 83 ± 2 °C en los Intercambiadores Contherm 4, 3, 2 y 1 respectivamente. Se realizó un análisis de viscosidad y un cálculo de transferencia de calor. El comportamiento reológico, específicamente la viscosidad aparente contra la cizalla, fue influenciado por la temperatura y la transferencia de calor se vio afectada por la dirección de flujo y diseño del intercambiador.

Palabras clave: viscosidad, almidón, reología, transferencia de calor, cizalla.

ABSTRACT

Title: Start-up and preparation of an operating protocol for a scraped surface sterilizer for viscous products.

Sterilization as a method of inactivation of microorganisms is one of the most efficient techniques for food storage. The sterilization of viscous fluids such as dressings, jellies, or butters without altering their physicochemical and sensory properties is a challenge for the food industry, being the Scraped Surface Heat Exchange (SSHE) technology the most efficient. This consists of an armored cylinder that supplies hot or cold water externally and internally and the product at countercurrent, in the central part there is a rotating blade that facilitates the flow and removes the product from the walls ensuring a uniform heat transfer. This work focuses on the development of an operating protocol for a scraped surface sterilizer for viscous products and its utility evaluation.

Four solutions were made with different percentages of Cargill® PolarTex 06716 starch and osmotized water, 4.5, 5.5, 6.5 and 7.5%. The samples were subjected to a sterilization process at a flow rate of 200 L / h, 4 bar, 60 seconds hold, 16 Hz shear and at temperatures of 47 ± 2 , 80 ± 2 , 140 ± 2 and 83 ± 2 ° C. in Contherm Exchangers 4, 3, 2 and 1 respectively. Viscosity analysis and heat transfer calculation were performed. The rheological behavior, specifically the apparent viscosity against shear, was influenced by temperature and heat transfer was affected by the flow direction and design of the exchanger.

Key Words: viscosity, starch, rheology, heat transfer, shear

RESUMO

Título: Posta en marcha e elaboración dun protocolo de funcionamento dun esterilizador de superficie raspada para produtos viscosos.

A esterilización como método de inactivación de microorganismos é unha das técnicas máis eficientes para o almacenamento de alimentos. A esterilización de fluídos viscosos como apósitos, xeleas ou manteigas sen alterar as súas propiedades fisicoquímicas e sensoriais é un desafío para a industria alimentaria, sendo a tecnoloxía Intercambio de Calor por Superficie Raspada (ICSR) a máis eficiente. Este consiste nun cilindro blindado que subministra auga quente ou fría externamente e internamente e a contracorrente do produto, na parte central hai unha folla xiratoria que facilita o fluxo e elimina o produto das paredes asegurando unha transferencia de calor uniforme. Este traballo céntrase no desenvolvemento dun protocolo operativo para un esterilizador de superficie raspada para produtos viscosos e na súa avaliación da utilidade.

Fixéronse catro solucións con diferentes porcentaxes de amidón Cargill® PolarTex 06716 e auga osmotizada, 4,5, 5,5, 6,5 e 7,5%. As mostras sometéronse a un proceso de esterilización a un caudal de 200 L / h, 4 bar, 60 segundos de retención, 16 Hz de corte e a temperaturas de 47 ± 2 , 80 ± 2 , 140 ± 2 e 83 ± 2 ° C. en Intercambiadores 4, 3, 2 e 1 respectivamente. Realizouse a análise da viscosidade e o cálculo da transferencia de calor. O comportamento reolóxico, especificamente a viscosidade aparente contra o cisallamento, estivo influído pola temperatura e a transferencia de calor viuse afectada pola dirección do fluxo e o deseño do intercambiador.

Palabras clave: viscosidade, amidón, reoloxía, transferencia de calor, cisallamento.

1. INTRODUCCIÓN

La ciencia y tecnología de los alimentos ha progresado de la caza y recolección de alimentos a un sistema multidisciplinario enfocado en la producción masiva de materia prima, procesamiento industrial de alimentos y servicios de alimentación y restauración, todos estos a diferentes niveles de objetividad productiva, complejidad sensorial, viabilidad económica, perfil nutricional, accesibilidad, funcionalidad, conveniencia, diversidad y aplicabilidad científica y tecnológica. La progresión de la industria a estos niveles ha sido impulsada por la evolución social y cultural de la raza humana y la resolución de problemas específicos como la liberación de la búsqueda y recolección de alimentos para las personas y la necesidad de una nutrición adecuada mediante un suministro constante de alimentos durante todo el año (Floros *et al.* 2010). Tomando en cuenta todas las necesidades sociales citadas, es imprescindible, sin importar al nivel en que la industria se encuentre, el cumplimiento de la seguridad alimentaria en todos y cada uno de los eslabones de la cadena alimentaria.

Los diferentes países participantes en la Cumbre Mundial de la Alimentación (1996) definieron que: “Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana” (FAO 1996). El elemento más importante dentro de los principios de la seguridad alimentaria es la inocuidad de los alimentos ya que sin este no puede existir la seguridad alimentaria (FAO y OMS 2019). Se entiende con inocuidad alimentaria la garantía de que un alimento no causará daño al consumidor cuando el mismo sea preparado o ingerido de acuerdo con el uso a que se destine (OMS 2007). La inocuidad alimentaria se consigue y mantiene mediante una serie de principios básicos como son la limpieza del personal, alimentos y espacios de trabajo, uso de agua y materias primas seguras, manejo apropiado de la materia prima y la conservación continua de los alimentos.

1.1. Conservación de alimentos

La creciente industria alimentaria no es solo una ventaja para la generación masiva de alimentos, resulta también un reto para las entidades responsables del control, regulación, monitoreo y aseguramiento del cumplimiento de medidas sanitarias y fitosanitarias. El Acuerdo Sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias autoriza a los países a establecer sus propias normas a favor de la inocuidad de alimentos preservación de vegetales y salud de los animales. Siempre y cuando estas reglamentaciones estén fundamentadas con principios científicos y, además, que sólo se apliquen en la medida necesaria para proteger la salud y la vida de las personas y de los animales. (OMC 1995). El seguimiento de este acuerdo junto a la generación de entidades y organizaciones calificadas que establezcan reglamentos específicos a distintas áreas de interés para la industria alimentaria, es primordial para el cumplir el objetivo de brindar una alimentación inocua a los habitantes; de un país, de un continente y del mundo.

Las necesidades básicas de la alimentación han pasado de solo ser una necesidad básica que cumple un requerimiento dietético y energético para convertirse en una rama mercantil que complace los gustos y preferencias de diferentes mercados. Los consumidores son los encargados de exigir y determinar los cambios en las nuevas tendencias de alimentación y la industria debe progresar y adaptarse de acuerdo a estas nuevas tendencias. En los últimos años los consumidores demandan alimentos de buena calidad, fáciles de preparar, seguros, naturales, mínimamente procesados y con una vida anaquel más larga (Laranjo *et al.* 2017). La conservación de alimentos es importante para prevenir el crecimiento de microorganismos alterantes y patógenos, como las bacterias, levaduras, hongos y mohos, responsables del deterioro del 20% de los alimentos producidos a nivel mundial (Rodríguez Saucedo 2011). Así mismo, la conservación de alimentos ayuda a ralentizar las reacciones químicas y bioquímicas para alargar el tiempo de vida útil.

Existen diferentes métodos empleados para la conservación de alimentos, cada uno de estos con una variable gama de tecnologías. Entre ellos están: conservación a baja temperatura mediante refrigeración, congelación y ultra congelación (Pan *et al.* 2019), aplicación de radiaciones ionizantes, rayos X, rayos gamma y rayos beta (Beier 2004; Pillai 2004), y radiaciones no ionizantes de pulsos de luz ultravioleta y microondas (Hayes *et al.* 2012), reducción de la actividad de agua, deshidratación, cristalización y adición de solutos, empleo de aditivos alimentarios,

agentes antiparadeantes, antioxidantes y antimicrobianos, métodos derivados del empleo de microorganismos o de la actividad microbiana, fermentación, cultivos iniciadores y microorganismos, protectores (flora competitiva), bacteriocinas y antibióticos (Erkmen y Bozoglu 2016), tecnologías de envasado enfocadas en, atmósferas modificadas y controladas, envasado aséptico, materiales activos y envases comestibles (Athanassiou 2020), métodos de procesado no térmico, altas presiones, pulsos eléctricos, pulsos magnéticos oscilantes y ultrasonido, y métodos de procesado térmico, pasteurización y esterilización (Pathania *et al.* 2020).

1.2. Esterilización térmica

La esterilización como método de inactivación de microorganismos se ha convertido en una de las técnicas más eficientes (Qui *et al.* 2020). más antiguas y económicamente rentable para el almacenamiento de alimentos. El objetivo de la esterilización consiste en la destrucción total de todos los microorganismos incluyendo esporas, virus y priones, sin embargo, la esterilización absoluta en alimentos no existe, es por esto que para la ciencia y tecnología de los alimentos se maneja el termino, esterilización comercial. La esterilización comercial de productos procesados térmicamente se define como la aplicación de calor que libera al alimento de microorganismos capaces de reproducirse en el alimento en condiciones normales de almacenamiento y distribución sin refrigeración; y microorganismos viables (incluidas las esporas) de importancia para la salud pública (US-FDA 2021).

La esterilización térmica utiliza la fragilidad térmica de un microorganismo para prevenir su crecimiento. El control técnico que tiene el proceso permite adaptarse una variada aplicación a distintos tipos de alimentos de acuerdo a su estado físico, pH, resistencia térmica, tipo y forma de empaque (Sun 2021). Para la determinación del tiempo y temperatura de un proceso de esterilización térmica se tiene que tomar en cuenta la cinética de inactivación térmica (resistencia al calor) del microorganismo objetivo, así como su sensibilidad al oxígeno, pH y temperatura (Teixeira 2004). Como tal, la esterilización térmica busca alcanzar la temperatura deseada en la Zona Más Lenta de Calentamiento (ZMLC) que es el centro del alimento en cuestión. Las aplicaciones de estas altas temperaturas tienden a degradar las características nutricionales y

sensoriales, por lo que es importante determinar el tipo de esterilización a implementar y su efecto de inactivación microbiana (Al Baali y Farid 2006).

Las tecnologías más utilizadas en concepto al principio de esterilización térmica en alimentos son la esterilización por vapor y agua caliente mediante tuberías o tanques acorazados y por sumersión en agua llegando a temperaturas de 120 hasta 160°C (Silvaggio y Hicks 1997). La tecnología de flujo continuo denominada UHT (Ultra High Temperature) que cumple con los parámetros de esterilización comercial puede llegar a temperaturas de 135 hasta 150 °C durante 2 a 10 segundos (Jiménez Pérez 2015; Watts 2016) y se dirige a productos líquidos de baja viscosidad. su aplicación fue diseñada para la leche, pero se puede utilizar en bebidas de orígenes no lácteos, como zumos de frutas, néctares o sustitutos lácteos y en sopas, guisos, salsas o alimentos de bebé (Tetra Pack 2021).

Los métodos de esterilización de productos lácteos líquidos suelen ser mediante flujo discontinuo o flujo continuo. Para el flujo discontinuo se emplean recipientes herméticos resistentes a altas temperaturas que pueden ser botellas o latas, y se utilizan tanques esterilizadores para lotes no muy grandes, también se pueden utilizar autoclaves rotatorias o bandejas móviles en esterilizadores continuos de botellas para cantidades más grandes. Para la esterilización en flujo continuo se utilizan dos métodos, el calentamiento indirecto mediante cambiadores tubulares o placas intercambiadoras, o calentamiento directo mediante inyección de vapor a presión por menos de un segundo al líquido, esto se denomina uperización o ultrapasteurización. (Perkin 1985; Jiménez Pérez 2015).

No todos los productos lácteos pueden ser tratados térmicamente utilizando las tecnologías mencionadas anteriormente, debido a que estos tienen diferente composición nutricional, características físicas, propiedades químicas, microorganismos e ingredientes añadidos. Esto se debe inicialmente a que la leche cruda se ve afectada directamente por distintos factores como ser el origen, raza, alimentación, época del año y la etapa de lactancia del ganado en cuestión y todo esto es de gran importancia en la elaboración de productos lácteos (Dillon *et al.* 2003). Secundariamente se debe a los diferentes procesos de transformación y generación de valor agregado a los que la materia prima se somete.

Dentro de las propiedades y características aplicables es importante mencionar la proteína, ya que esta ayuda a tener una óptima coagulación, gelificación y emulsión en subproductos lácteos (Guzmán *et al.* 2015). Es sumamente importante no exceder el tiempo de esterilización, ya que este puede alterar las características sensoriales y nutricionales de los diferentes productos lácteos (Santillan Urquiza *et al.* 2014). Entre las alteraciones sensoriales más comunes que estas sufren tenemos el cambio en la textura, como ser percepción arenosa en la boca o formación de coágulos de mayor tamaño. De igual forma identificación de aromas a “leche cocida” o “leche quemada” (Alipanah y Kalashnikova 2007).

Asimismo, es necesario mencionar las propiedades reológicas de la leche, ya que esta también afecta directamente el proceso de esterilización. La leche se aproxima a un comportamiento newtoniano, pero al aplicar cizalla tiende a disminuir su viscosidad. De igual forma, al elevar el extracto seco en la leche, se desvía notoriamente del comportamiento que debería tener un fluido newtoniano. La leche descremada por ejemplo es menos viscosa que la leche entera por la remoción de la grasa. Sin embargo, al agregar caseína en la leche descremada esta aumenta considerablemente su viscosidad. Además, al aplicar altas temperaturas la viscosidad de la leche disminuye (Núñez Santiago *et al.* 2001).

La desnaturalización y la pérdida de nutrientes son aspectos comunes dentro de la esterilización de cualquier producto. La conservación que aportan los tratamientos térmicos se debe a la desnaturalización de las proteínas, ya que estas destruyen la actividad enzimática y metabólica de los microorganismos. Al tener una temperatura elevada en tiempos prolongados, mayor será el efecto destructor sobre las enzimas y microorganismos. El impacto de la desnaturalización de las proteínas en estos procesos es significativo ya que, en muchos casos, mejora la digestibilidad y biodisponibilidad de estas mismas proteínas. En cuanto al valor nutritivo de los alimentos, estos tienden a sufrir un gran impacto en procesos de esterilización principalmente en las vitaminas y esto dependerá mayormente del tipo de alimento. Para reducir los efectos negativos mencionados anteriormente es necesario encontrar y definir para cada producto la relación temperatura-tiempo adecuado para conservar la mayoría de características (Villareal *et al.* 2013).

1.3. Reología de Alimentos

La reología de los alimentos juega un papel importante en la esterilización de estos mismos. Por definición, la reología es la rama de la física que busca explicar la deformación de los materiales y su capacidad de fluir tanto como por sus propiedades como por factores externos. Debido a esto, es correcto definir la palabra “fluir” como la continua deformación que tiende a sufrir un objeto (Bird *et al.* 2006). La caracterización reológica de cualquier material determina el comportamiento del flujo según la viscosidad y la temperatura a las que este mismo esté sometido también. La reología se interesa en la correlación entre estrés y deformación y describe las propiedades del material basada en estos dos conceptos. El estrés se define como una fuerza dividida por el área sobre la que se aplica esta fuerza. Ambos, la magnitud y la dirección son necesarias para describir una fuerza y una deformación y tales variables son llamadas vectores (Kutz 2013; Zhong y Daubert 2013). La deformación es una cantidad puramente geométrica, una forma de cuantificar la cantidad de deformación en un material dado y no tiene unidades. Gran parte de la complejidad de la reología se relaciona con la definición o medición de la deformación (Janmey y Schliwa 2008).

Dentro de cualquier alimento es sumamente importante tomar en cuenta la viscosidad de este mismo para cualquier proceso que pueda llegar a ser sometido. Como tal, la viscosidad se define como la resistencia a fluir o la fricción interna que ejerce el elemento en cuestión (Moot 2006). Los fluidos se dividen en dos ramas: los newtonianos y los no newtonianos. Para efectos de este estudio, nos enfocaremos tanto en los fluidos newtonianos como los no newtonianos. Los fluidos newtonianos son los más fáciles de describir, ya que tienen una viscosidad constante y sufren una deformación completamente lineal (flujo laminar). Es decir, a medida que fluyan estos no cambiarán su velocidad de fluido a menos que exista la influencia de un factor externo (Pérez Trejo *et al.* 2010).

Por otra parte, los fluidos no newtonianos son más complejos de describir ya que viscosidad y fluidez de estos mismos depende directamente de la temperatura, presión de cizalla y/o el tiempo que fluya. Dentro de estos fluidos no newtonianos, existe una subdivisión: dependientes e independientes del tiempo. Los independientes del tiempo se caracterizan por el hecho de que las tensiones del fluido dependen únicamente de la velocidad de deformación. (Ibarrola 2009). Entre ellos están el Plástico Bingham, Plástico Real, Fluido Pseudoplástico y Fluido Dilatante.

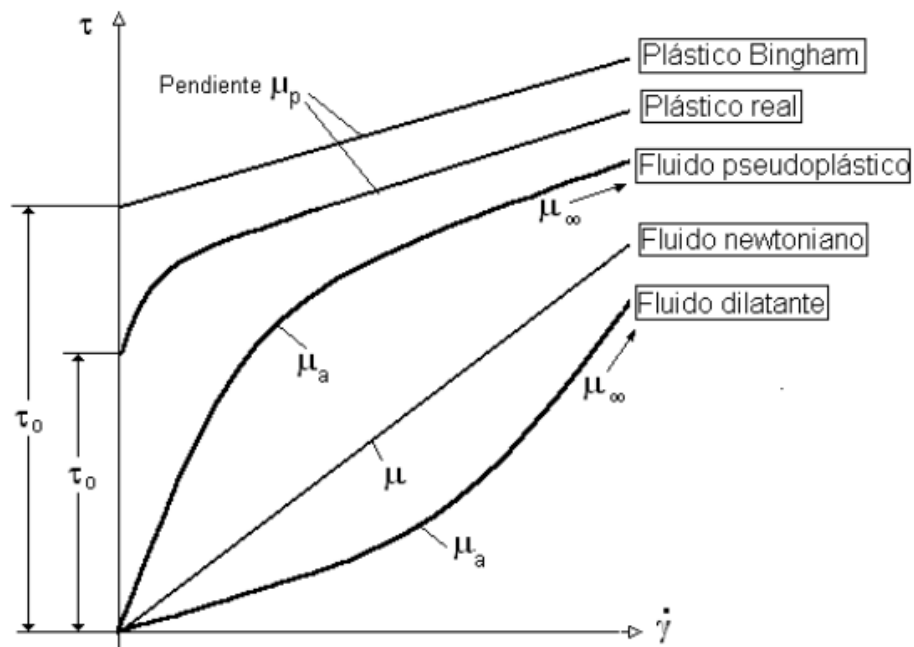


Figura 1. Clasificación de los fluidos no newtonianos independientes del tiempo (Ibarrola 2009).

Los fluidos pseudoplásticos y dilatantes en específico son los más complejos de estudiar, ya que estos no tienen una tensión de fluencia para que comiencen a deformarse y cada uno reacciona diferente según la velocidad de deformación (Pérez Trejo *et al.* 2010). Como tal, la forma más sencilla de describir los fluidos pseudoplásticos es a través de la ley de Ostwald:

$$\tau = k\gamma^n \text{ siendo } n < 1$$

τ : Esfuerzo constante

k : constante cuyas dimensiones dependerán de n

γ : velocidad de deformación

n : valor entero menor a 1

Mientras que con los fluidos dilatantes, el coeficiente n de la formula previamente denotada disminuye al aumentar el gradiente de velocidad. Estos tipos de fluidos son mucho menos comunes en comparación a los pseudoplásticos.

$$\tau = k\gamma^n \text{ siendo } n > 1$$

τ : Esfuerzo constante

k : constante cuyas dimensiones dependerán de n

γ : velocidad de deformación

n : valor entero mayor a 1

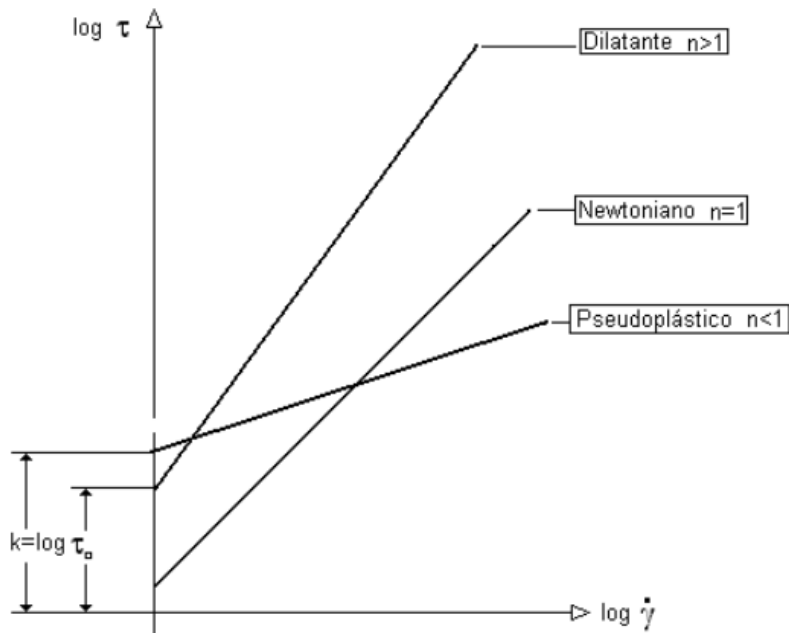


Figura 2. Representación logarítmica de la ley de Ostwald (Ibarrola 2009).

A su vez tenemos los flujos no newtonianos dependientes del tiempo, cuya viscosidad aparente dependerá no solo de la velocidad de deformación de estos mismos, sino también del tiempo que se le aplique esfuerzo al fluido (Chhabra 2020). Estos pueden clasificarse en fluidos tixotrópicos, los cuales el esfuerzo aplicado disminuye con el tiempo, y los reopécticos cuyo esfuerzo aumenta a medida que pasa el tiempo. La viscosidad de los fluidos tixotrópicos se debe tanto al esfuerzo aplicado como a la velocidad de deformación, lo que causa un fraccionamiento a nivel molecular que luego se reconstruye con la medida del tiempo. Esta reconstitución dependerá de la disminución del esfuerzo aplicado, ya que al ceder este comenzará a recuperar su forma original (Pérez Trejo *et al.* 2010).

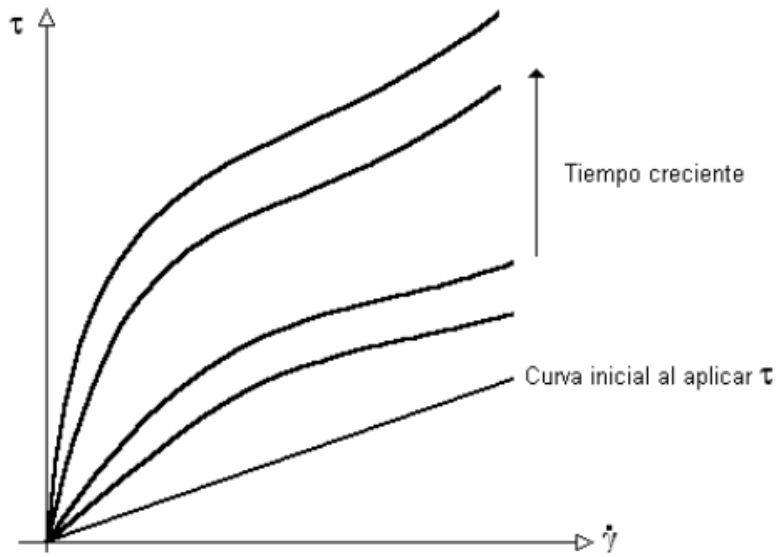


Figura 3. Comportamiento de un fluido tixotrópico en el tiempo (Ibarrola 2009).

Por otro lado, los fluidos reopécticos, a pesar de ser similares a los tixotrópicos, tienen un incremento en su velocidad de deformación hasta alcanzar un valor límite (dependiendo del alimento) donde comienza a disminuir su velocidad de deformación. Se podría decir que estos fluidos tienen un “ciclo constante” a medida se aplique o se disminuya el esfuerzo al fluido.

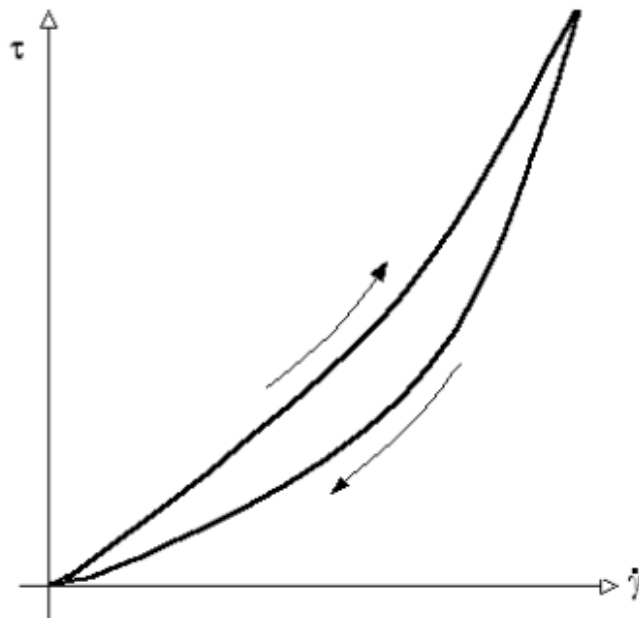


Figura 4. Comportamiento de un fluido reopéctico (Ibarrola 2009).

1.4. Esterilizador de superficie raspada

El Esterilizador de Superficie Raspada se presta a múltiples alimentos de diferente fluidez e incluso aquellos que puedan sufrir cristalización y/o un cambio de fase (Alfa Laval 2009). Dentro del proceso la viscosidad de un líquido aumenta con la adición de partículas esféricas rígidas debido al aumento de la fricción entre la partícula y las capas líquidas, lo que provoca una mayor disipación de energía (Belton 2007). Como se mencionó previamente, la reología es una ciencia que busca describir las deformaciones que sufren los fluidos a través de un modelo matemático, el cual permite explicar la capacidad de fluir de un alimento y la deformación que sufre al aplicársele presión (Chhabra 2020). Con esta información podemos definir la velocidad y tiempo para que un fluido fluya desde un punto “A” a un punto “B” dependiendo de si este es newtoniano o no newtoniano, el cual puede ser identificado a través de un viscosímetro (Regalado y Ramos 2009).

La base para esterilizar los alimentos en este proceso es a través de transferencia de calor, que se define como la capacidad de transferir energía cinética de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura (Çengel y Perez 2004). Por ejemplo, al sumergir un alimento en un medio caliente su temperatura aumenta rápidamente y el agua que contiene se elimina en forma de vapor, por lo que su superficie empieza a deshidratarse, formando una corteza y evaporando el interior del producto (Moriera *et al.* 1999). “Las velocidades de transferencia de calor al alimento dependen de la diferencia de temperaturas entre éste y el fluido y del coeficiente de conductancia térmica superficial” (Alvis *et al.* 2009). Las características que adquiere cualquier alimento que se someta a conservación por calor están íntimamente relacionadas con las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los constituyentes de estos mismos, así como las variables de operación que se aplican en las diferentes etapas del proceso (Moriera *et al.* 1999).

El diseño del ICSR consta de un cilindro acorazado que suministra agua caliente o fría por el exterior e internamente y a contracorriente el producto, en la parte central se sitúa una cuchilla giratoria que facilita el flujo y remueve el producto de las paredes asegurando una transferencia de calor uniforme. El equipo puede presentar diferentes diseños geométricos y se pueden implementar soluciones innovadoras para operar en condiciones específicas o para mejorar características seleccionadas del intercambiador, como el coeficiente de transferencia de calor o el consumo de

energía (D'Addio *et al.* 2013). Para crear un diseño eficiente es necesario considerar todos los factores técnicos que constituyen y afectaran al sistema de transmisión de calor: el caudal que puede tener tanto el producto como el fluido, la presión con la que se distribuyen los fluidos dentro del proceso, las propiedades físicas de ambos fluidos, como ser la densidad, solidos solubles, calor específico y viscosidad, dirección de flujo del medio versus producto (estos pueden ser de tipo paralelo o a contracorriente), características de la pared de intercambio, material, grosor, porosidad y tamaño.

Expuestos estos puntos, se empleará el uso de un Esterilizador de Superficie Raspada (SSHE por sus siglas en inglés) o Intercambiador de Calor de Superficie Raspada (ICSR), cuya función es mejorar la transferencia de calor en los fluidos altamente viscosos a través por efecto del constante raspado y mezcla del fluido causado por un rotor cilíndrico (Lakhdar *et al.* 2005). Por la naturaleza de los fluidos altamente viscosos, estos tienden a ocasionar fallos y problemas de limpieza en las máquinas. Sin embargo, aquí es donde las aspas giratorias juegan su papel ya que estas evitan que los fluidos viscosos se peguen y ocasionen los problemas previamente mencionados mientras simultáneamente agilizan el proceso de transferencia de calor (Dumont *et al.* 2000). En cuanto al por qué utilizar esta metodología para esterilización de fluidos yace en que provee un constante flujo de proceso, tanto en mantener la temperatura de esterilización deseada como evitar un cuello de botella en la producción, a pesar de ser sometido a productos con diferentes viscosidades (Alfa Laval 2009).

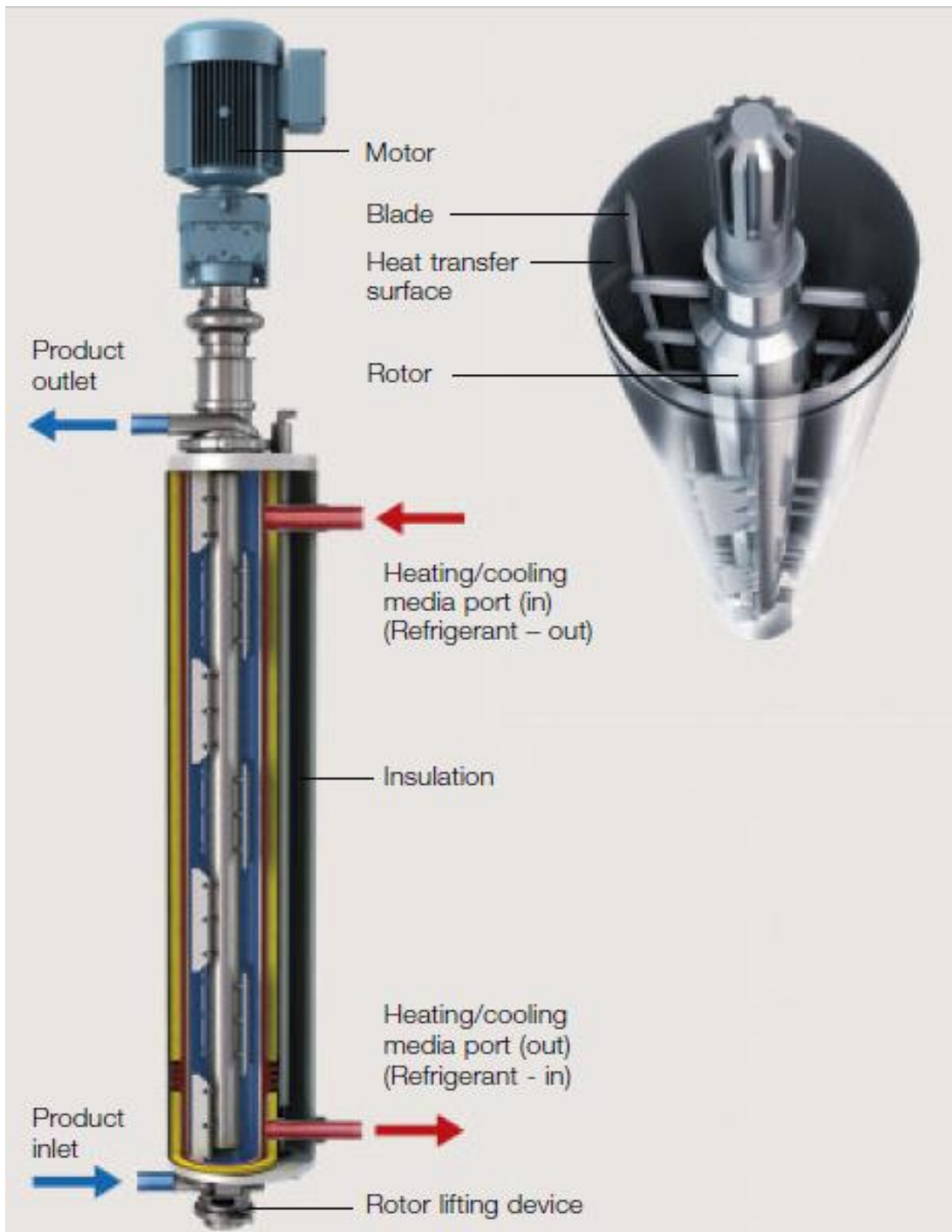


Figura 5. Esquema de intercambiador de calor de superficie raspada (Alfa Laval 2009).

El principio de trabajo del equipo es la esterilización del producto mientras se mantiene intacto el aspecto aséptico de este mismo. Para lograr esto, primero se somete a una pre-esterilización en la cual se circula agua caliente de con una presión de 4 bar durante 30 minutos en toda la máquina

hasta llegar a una temperatura de 120°C. Posterior a la pre-esterilización, el equipo se condiciona de acuerdo a las consignas de producción preestablecidas de acuerdo al producto y a las características esperadas, tomando en cuenta las temperaturas de salida del agua caliente, caudal y presión de las bombas, velocidad de las aspas giratorias de los contherms y consignas de llenado y vaciado del tanque, este proceso se denomina puesta en régimen. Al haber realizado la puesta en régimen, la máquina se procede a llenar con el producto deseado y se comienza el proceso de esterilización indirecta a través del vapor producido, el cual logra esto ya que el producto se mantiene en un “tubo de retención” por el tiempo que sea necesario para alcanzar la temperatura deseada según los parámetros que se estipulen (Tetra pack 2006). Luego, el producto procede a regular su temperatura en los intercambiadores internos de calor “Contherm” del equipo para concluir el proceso. Por último, es necesario que la maquina se someta a una limpieza In-Situ (CIP por sus siglas en inglés) con cloro, ácidos y/o detergentes que dependerán del producto que haya sido procesado (Lakhdar *et al.* 2005).

El intercambiador de calor de superficie raspada fue creado como una solución para distintos problemas en la industria química, cosmética, farmacéutica, médica y alimenticia. El ICSR es el intercambiador de calor más adecuado para manipular productos de alta viscosidad y sensibles al calor, que tienden a formar espuma y ensuciar la superficie de transferencia de calor (Boccardi *et al.* 2010; Devaraju *et al.* 2013). Los problemas mencionados anteriormente en los productos correspondientes a cada industria suelen ser, transferencia de calor no uniforme, creación de capas solidas o costras, texturas desiguales entre productos de un mismo lote, desestabilización química, corta vida útil o daño sensorial en artículos particulados. El uso de un equipo que no está desarrollado para procesar fluidos de alta viscosidad puede reducir la eficiencia de este mismo

Existe una variada gama de productos dentro de la industria alimenticia a los que la tecnología desarrollada por este equipo está enfocada. Como se mencionó anteriormente el enfoque principal del ISCR se centra en productos viscosos tales como; aderezos, cremas de cacao o chocolate, mantequillas de maní u otros frutos secos, rellenos de fruta para repostería, productos batidos o aireados, masas para pan o galletas, carne deshuesada mecánicamente, gelatinas o alimentos para bebe. También este equipo atiende las necesidades de productos sensibles al calor como ser, productos a base de huevos líquidos y revueltos, emulsiones de carne, purés de frutas, quesos cremosos o proteínas de suero. De igual forma se cuenta con productos particulados como son;

jaleas y conservas de frutas, yogurts con frutas, sopas listas para comer, purés de carnes o alimentos para mascotas. Otro tipo de producto objetivo es el determinado “pegajoso” o “pegadizo” así como; quesos procesados, caramelo, mezclas o pastas para confitería, gomas y chicles. Como última mención se considera a los alimentos susceptibles a la cristalización o a cambios de fase; miel, glaseados, concentrados de azúcar, cremas para untar, caldo de gelatina, cremas para galletas margarina, ácidos grasos, mantecas de origen vegetal y animal,

1.5. Transferencia de Calor

Independientemente del tipo de fluido en cuestión, estos tienen diferentes coeficientes de transferencia de calor, específicamente por convección. Agregando, los fluidos que se exponen en el estudio tienden a ser bastante viscosos, por lo que los efectos de dicha convección no son notorios y no aportan suficiente calor como para tener influencia en la inocuidad del alimento (Bandala-Rocha *et al.* 2005). Dado este caso, es necesario implementar el principio de la esterilización para fluidos viscosos el cual no es diferente a la esterilización convencional, con la excepción del diseño de aspas giratorias que raspan las paredes de la tubería evitando que estos fluidos se queden pegados a los laterales por efecto del mismo calor en el esterilizador. (Figura 6)

Para comprender en su mayor extensión el funcionamiento del equipo se deben tener claras las variables que condicionan la transferencia de calor en este tipo de modelo de intercambiador. La transferencia de calor de una sustancia a otra, estas tienen que ser distintas, tomando en cuenta que el calor fluye del producto más caliente hacia el menos caliente. El flujo de calor aumenta su velocidad cuando la diferencia de estas dos sustancias es mayor, hasta que se reducen y llegan a un equilibrio térmico, igualando ambas temperaturas (Bylund *et al.* 1996). Existen tres tipos de transferencia de calor; conducción, convección y radiación. La conducción es un mecanismo a nivel molecular por el cual la energía térmica se mueve mediante la materia sólida. Debido a que las moléculas a mayor temperatura tienen mayor energía, estas la transmiten por interacción con las moléculas vecinas que están a un nivel energético más bajo. La convección es el movimiento de energía térmica de un flujo a una superficie o viceversa, creada por el mismo flujo del fluido. Por último, la radiación es la transferencia directa de energía térmica de un objeto a otro mediante

ondas electromagnéticas sin crear contacto molecular directo o medio de transferencia. (Marks 2009).

Para reflejar la eficacia del intercambio de calor entre dos fluidos separados por una superficie, se utiliza el coeficiente Global de transmisión de Calor (U), que viene definido según la siguiente expresión:

$$Q = U \times A \times \Delta t$$

Este factor U indica la cantidad de calor que pasa por hora a través de 1 m^2 de superficie de intercambio por cada $1 \text{ }^\circ\text{C}$ de diferencia de temperaturas. Se trata de aumentar al máximo ese valor. Por otra parte, el calor cedido por el agua caliente debe ser casi igual al calor absorbido por el producto. Este valor se calcula con la siguiente fórmula

$$Q = V \times Ce \times \Delta t$$

Ce : calor específico del agua que es 1

V : caudal que circula

Δt : diferencia de temperatura entre entrada y salida.

2. OBJETIVOS

- Desarrollar un manual funcional y fácil de comprender donde se establezca el protocolo de funcionamiento, componentes principales y esquemas del esterilizador para productos viscosos del Aula de Productos Lácteos y Tecnologías Alimentarias.
- Determinar los cambios de viscosidad que presenta una mezcla de almidón con agua a diferentes concentraciones al ser esterilizado por el esterilizador de fluidos viscosos.
- Medir la eficiencia de los intercambiadores de calor de superficie raspada mediante el cálculo de la transferencia de calor y el coeficiente global de transmisión de calor que generan los intercambiadores de calor de superficie raspada utilizando diferentes parámetros de caudal y velocidad de las aspas giratorias.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación.

Los tratamientos fueron realizados en el Aula de Productos Lácteos y Tecnologías Alimentarias (APLTA) siendo esta parte de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) ubicada en LA ciudad de Lugo, Lugo, España.

3.2. Diseño experimental.

Para las pruebas preliminares se realizó un solo ensayo y tres mediciones por cada resultado de viscosidad, siendo un total de nueve mediciones. Para las pruebas de viscosidad realizadas en el esterilizador de fluidos viscosos se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento y 3 mediciones por repetición, siendo un total de nueve mediciones por tratamiento y 36 mediciones en total. Para el cálculo de coeficiente global de transmisión se realizaron 3 tratamientos, el primero y el segundo con tres mediciones por intercambiador en los intercambiadores 4, 3 y 2 a lo largo del proceso y el tercer tratamiento con tres mediciones en el intercambiador número dos. Para un total de 21 mediciones.

3.3. Materiales y equipos utilizados.

- Almidón de maíz PolarTex 06716 de Cargill
- Agua Osmotizada
- Termomix® TM6 - Vorwerk
- Viscosímetro marca Brookfield Model $\Delta V-11+$
- Spindle 91 para viscosímetro
- Spindle TA (S91) para viscosímetro
- Spindle 60 para viscosímetro
- Beaker de vidrio de 500 ml
- Esterilizador para productos viscosos

El Esterilizador para productos viscosos es un equipo diseñado y construido por el personal del aula utilizando cuatro ICSR (Intercambiador de Calor de Superficie Rascada) marca Contherm ® diseñados por Alfa Laval, más otros componentes y equipos industriales de diferentes marcas y modelos. El equipo tiene como punto de acceso un tanque aséptico de 100 litros de capacidad más la accesibilidad directa de producto de otras áreas del aula mediante tuberías de acero inoxidable. Para la circulación del producto y fluidos de calentamiento o enfriamiento dentro y fuera del equipo, este cuenta con tres bombas, una helicoidal, una centrífuga y otra helicoidal. Para poder gestionar esta circulación el equipo consta de cuatro puntos de conexión múltiple denominados “Multivías”, estos puntos son de gestión manual y sirven para direccionar el producto según las especificaciones y propósitos que se deseen. Complementarios a los multivías el equipo cuenta con 25 válvulas manuales y automáticas que permiten o limitan el flujo del producto y otros fluidos de interés. Como componente principal, este equipo tiene cuatro ICSR, dos para calentar el producto y dos para enfriarlo. También cuenta con tres placas intercambiadoras, dos que calientan el agua que va hacia los ICSR de calentamiento y una al final de línea que enfría el producto que se dirige a la sección final del proceso de producto terminado. Entre la sección de calentamiento y enfriamiento el equipo cuenta con una etapa de mantenimiento definida a partir de secciones de tubería en relación al tiempo de esterilización.

3.4. Desarrollo de protocolo de funcionamiento.

Se realizó un protocolo de funcionamiento o manual de uso enfocado en facilitar la manipulación y puesta en marcha del esterilizador de fluidos viscosos, este fue desarrollado de manera resumida conformado por una breve descripción del equipo, tabla de componentes principales, representación gráfica de los multivías, descripción del flujo de proceso y plano de esterilizador, para esto se realizaron distintas pruebas con el esterilizador para determinar un protocolo correcto y seleccionar pasos del proceso, calificándoles como necesarios o no. Se realizó también una revisión de los componentes para revisar su correcta manipulación, y una revisión bibliográfica de los manuales y fichas técnicas ya existentes en el Aula de Productos Lácteos y Tecnologías Alimentarias.

3.5. Pruebas preliminares.

Se realizó una prueba preliminar utilizando tres soluciones de 2 kg cada una, con tres diferentes porcentajes de almidón de maíz, 3, 4 y 5%, mezclado con agua osmotizada. Para simular el proceso de intercambio en superficie raspada se utilizó la Termomix®, se introdujo la mezcla y se llevó a 92 °C, al llegar a esta temperatura se sometió por un minuto a velocidad tres, de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo esta velocidad es igual a 8,3 Hz (Vorwerk 2018).

Cuadro 1. Descripción de muestras

Muestra	Porcentaje de almidón
Muestra 1	3% de almidón (60 g)
Muestra 2	4% de almidón (80g)
Muestra 3	5% de almidón (100 g)

3.5.1. Viscosidad pruebas preliminares.

El análisis de viscosidad en las pruebas preliminares se realizó utilizando un viscosímetro Brookfield con Spindle 91 a 60 rpm y Spindle 2 a 60rpm. Las muestras se analizaron previo al tratamiento térmico a una temperatura de 20 °C y después de este a dos diferentes temperaturas, 90° C y a 30 °C enfriando la solución a baño maría en baño de salmuera helada.

3.6. Pruebas en esterilizador para productos viscosos.

Se realizaron 4 soluciones de 200 kg, cada una con diferentes porcentajes de almidón de maíz, 4,5, 5,5, 6,5 y 7,5%, mezclado con agua osmotizada, previo al día del ensayo y se almacenó en un cuarto frío a 4 ° C. Previo a el ensayo las muestras se sacaron del cuarto frío y se dejaron aclimatar a temperatura ambiente. El proceso se realizó en el esterilizador de fluidos viscosos de acuerdo al protocolo de funcionamiento mencionado en el manual. Las muestras se administraron de menor a mayor porcentaje de solución, realizando un aclarado entre tratamiento. Se utilizaron los parámetros de operación mencionados en el cuadro 3.

Cuadro 2. Descripción de tratamientos.

Muestra	Porcentaje de almidón
Tratamiento 1	4,5% de almidón (9 kg)
Tratamiento 2	5,5% de almidón (11kg)
Tratamiento 3	6,5% de almidón (13 kg)
Tratamiento 4	7,5% de almidón (15 kg)

Kg = kilogramos

Cuadro 3. Parámetros de operación de esterilizador.

Contherm	Velocidad* (Hz)	Caudal (L/h)		Presión (bar)	Consigna de Temperatura del agua (°C)	Diferencial de T (°C)
		Agua	Mezclas			
1					+	
2	16	2500	200	4	10	± 10
3					140	
4					85	

* = Velocidad de rotación de las aspas giratorias internas del intercambiador de calor de superficie raspada, Hz = Hercios, L/h = litros por hora, T = Temperatura, °C = grados Celsius, + = Contherm sin funcionamiento.

3.6.1. Viscosidad pruebas en esterilizador de fluidos viscosos.

El análisis de viscosidad del ensayo se realizó utilizando un viscosímetro de Brookfield Model $\Delta V-11+$ con Spindle TA (S91) a 12 rpm para la muestra 1 y con Spindle 91 a 0,3 rpm. Las muestras se analizaron previo al tratamiento térmico a una temperatura de 20 °C y después de este a una temperatura de 45 °C dos veces, en los primeros cinco minutos y en los últimos cinco minutos de salida de producto final.

3.7. Coeficiente global de transmisión de calor.

Se registró la temperatura (con los termómetros ya instalados en el equipo) de entrada y salida del fluido de calentamiento y enfriamiento (agua) a un caudal de 2500 L/h y del fluido a ser esterilizado, en este caso agua osmotizada sin ningún aditivo, a un caudal de 200 L/h. Se realizaron tratamientos modificando una sola variable, el primero se realizó con una velocidad constante de las aspas giratorias de 16 Hz en los contherm dos, tres y cuatro, el segundo se realizó con una

velocidad constante de las aspas giratorias de 32 Hz en los contherm dos, tres y cuatro y el tercer tratamiento analizando solamente el contherm número dos con una velocidad constante de las aspas giratorias de 32 Hz y modificando el caudal de entrada del fluido de enfriamiento a 850 L/h, todos estos a una presión de 4 bar y utilizando un tiempo de mantenimiento de 60 segundos.

Para calcular el coeficiente global de transmisión de calor (U), en un tanque de flujo continuo, se calculó primero el calor cedido por el agua (Q) como fluido de calentamiento y enfriamiento y luego el calor ganado por el agua osmotizada como producto, utilizando la siguiente formula:

$$Q = V \times Ce \times \Delta t \quad \text{Fórmula 1}$$

Con el valor obtenido del calor ganado del producto y valor cedido del medio para los intercambiadores Contherm 4 y Contherm 3, se realizó el cálculo de transmisión de calor utilizando la fórmula de coeficiente global de transmisión de calor para fluidos a contraflujo. Para este caso el diferencial de temperatura se calcula con el promedio de la temperatura de entrada y salida tanto del medio calentador y enfriador y del medio a ser calentado o enfriado (Çengel y Perez 2004).

$$Q = U \times A \times \Delta t \quad \text{Fórmula 2.1}$$

↓

$$U = \frac{Q}{(A \times (\Delta T1 + \Delta T2/2))} \quad \text{Fórmula 2.2}$$

Siendo, A = Área de contacto del intercambiador, $\Delta T1 = T_{ent} - T_{sal}$ para el agua caliente y $\Delta T2 = T_{sal} - T_{ent}$ para el producto.

Para el intercambiador Contherm 2 se realizó el cálculo de transmisión de calor utilizando la fórmula de coeficiente global de transmisión de calor para flujos paralelos, siendo esta igual a la fórmula 2.2 con la excepción de las diferencias de temperaturas, siendo $\Delta T1 = T_{ent}producto - T_{ent}agua\ fría$ y $\Delta T2 = T_{sal}producto - T_{ent}agua\ fría$.

3.8. Eficiencia térmica de intercambiador de calor

Para determinar la eficiencia térmica de transmisión de calor de cada intercambiador de calor de superficie rascada se utilizó la fórmula adaptada por Montaguano Toaquiza (2019) Este análisis se realizó sin tomar en cuenta el caudal y la velocidad de rotación de las aspas giratorias.

$$\eta = \frac{T_{sal2} - T_{ent2}}{T_{sal1} - T_{ent2}} \quad \text{Fórmula 3}$$

Donde, η = Eficiencia del Intercambiador, T_{sal2} = Temperatura de salida de fluido caliente, T_{ent2} = Temperatura de entrada de fluido caliente y T_{sal1} = Temperatura de salida fluido frío.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Desarrollo de protocolo de funcionamiento

Descripción del equipo

Equipo para la esterilización de flujo continuo mediante tratamiento térmico utilizando la tecnología de intercambio de calor por superficie raspada con aplicación en productos alimentarios líquidos viscosos, sensibles a altas temperaturas, con partículas sólidas o pegajosos. El diseño de sus componentes permite un tratamiento suave garantizando la calidad microbiológica, física y sensorial del producto final.

El equipo cuenta con un tanque de llenado para lotes pequeños con capacidad de 100 litros y una línea de flujo continuo conectada con diferentes salas de la planta. El esterilizador dispone de cuatro secciones de intercambio térmico divididas en dos partes, dos secciones de intercambio térmico destinadas para realizar el calentamiento del producto empleando circuitos de agua caliente mientras las otras dos secciones de intercambio se emplean para el enfriamiento. Entre la sección de calentamiento y enfriamiento existe una sección de mantenimiento aséptica configurable entre 30 y 240 segundos.

Durante el tratamiento de esterilización, el producto se impulsa mediante una bomba helicoidal de velocidad variable a través de las diferentes secciones de forma sucesiva hasta completar el ciclo térmico deseado. El equipo permite la regulación de forma automática de diferentes parámetros de tratamiento, entre los que se pueden destacar los siguientes: caudal de alimentación, temperaturas alcanzadas en la salida de cada sección de intercambio térmico, velocidad de giro de las palas rascadoras y la presión del producto durante el procesado. Además, se toma en cuenta los tiempos de mantenimiento ajustados previo a cada proceso mediante las conexiones multivías.

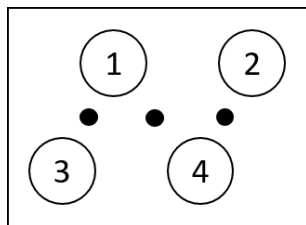
El equipo cuenta con un panel de control con pantalla táctil, válvulas manuales para el control de flujos de producto y servicios y conexiones de agua osmotizada, agua de red, vapor aire comprimido y una sección de limpieza CIP. Se registran diferentes parámetros de producción, temperatura en (°C), caudal (l/h) y presión (bar), desde la entrada hasta la salida del producto considerando puntos de interés como antes y después de los diferentes tratamientos térmicos.

Tabla de componentes

Grupo	Nombre	Código
Multivías	Multivías 1	MV-1
	Multivías 2	MV-2
	Multivías 3	MV-3
	Multivías 4	MV-4
Válvulas	Válvula de regulación de contrapresión	V003
	Válvulas de purga de vapor	V004
		V006
	Válvula previa al intercambiador de placas	V007
	Válvula de alimentación de vapor	V012
	Válvula de desagüe previa al tanque	V013
	Válvula de salida de agua del Contherm 2	V016
	Válvula de salida a condensados Contherm 4	V018
	Válvula de salida a condensados Contherm 3	V019
	Válvula de entrada de agua al Contherm 2	V021
	Válvula de salida de agua fría del Contherm 1	V023
	Válvula de alimentación de agua red	V029
	Válvula de desagüe de tanque	V032
	Válvula de entrada de agua al tanque de llenado	V035
	Válvula de CIP a mantenimiento	V037
	Válvula a bomba helicoidal	V044
	Válvula de alimentación de agua fría al Contherm 1	V048
	Válvula de CIP a tanque (aspersor)	V054
	Válvula de entrada de producto al tanque	V056
	Válvula de regulación de contrapresión de CIP	V059
Válvula CIP a tanque	V069	
Válvula de CIP (desagüe)	V070	
Válvula de tanque a bomba centrífuga	V071	
Válvula de producto terminado	V072	
Válvula de desagüe final de línea	V073	
Tanque	Tanque de llenado	TK004
Bombas	Bomba helicoidal (500 l/h)	P003
	Bomba centrífuga inicio de proceso y CIP	P004
	Bomba lobular de salida de producto	P005
Conexiones	Caja conexiones	EQ002
Intercambiadores	Contherm 1	X001
	Contherm 2	X002
	Contherm 3	X003
	Contherm 4	X004
	Placa intercambiadora Contherm 3	X005
	Placa intercambiadora Contherm 4	X006
	Placa intercambiadora final de línea	X007

Representación gráfica de multivías

MV-1

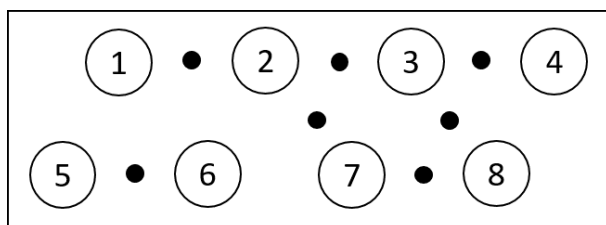


- 1) A CIP
- 2) Salida de producto terminado
- 3) De CIP
- 4) A tanque de llenado

Conexiones para limpieza CIP y esterilización

1 con 3 y 2 con 4

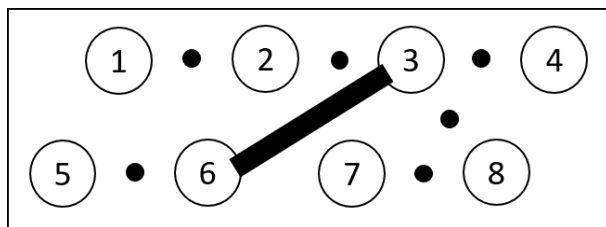
MV-2



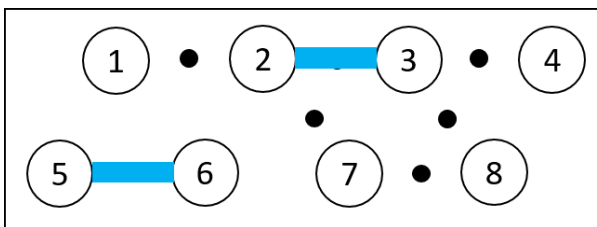
- 1) Entrada a mantenimiento 60 segundos (60" E)
- 2) Salida de mantenimiento 30 segundos (30" S)
- 3) Salida de etapa de mantenimiento (S)
- 4) Salida de mantenimiento 120 segundos (120" S)
- 5) Entrada a mantenimiento 30 segundos (30" E)
- 6) Entrada a etapa de mantenimiento (E)
- 7) Entrada a mantenimiento 120 segundos (120" E)
- 8) Salida de mantenimiento 60 segundos (60" S)

Tiempos de retención de mantenimiento

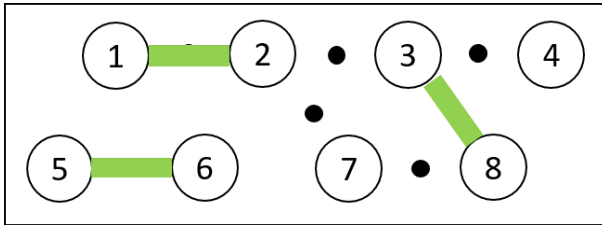
30 segundos



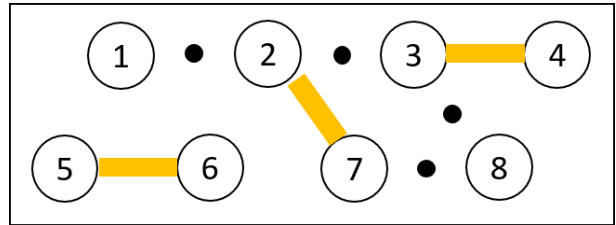
60 segundos



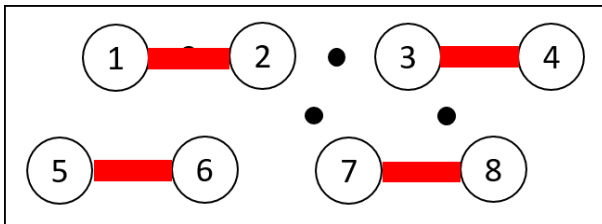
120 segundos



180 segundos



240 segundos

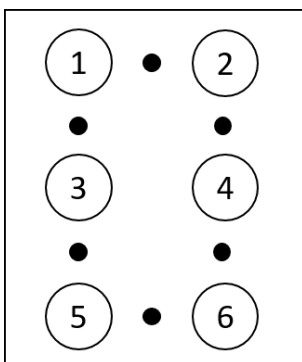


*tomando en cuenta 30 segundos que tarda el producto en la entada y salida de mantenimiento

Conexiones para limpieza CIP

- 1 con 2, 3 con 4, 5 con 6 y 7 con 8
- solo el tiempo de mantenimiento utilizado

MV-3



- 1) De Contherm 3
- 2) A Contherm 2
- 3) A mantenimiento
- 4) De mantenimiento
- 5) CIP
- 6) CIP

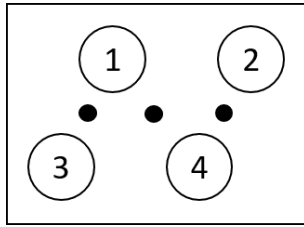
Conexiones para limpieza CIP

1 con 2, 3 con 5 y 4 con 6

Conexiones para esterilización

1 con 3 y 2 con 4

MV-4



- 1) Contherm 1
- 2) CIP
- 3) CIP
- 4) A placa intercambiadora/Tanque

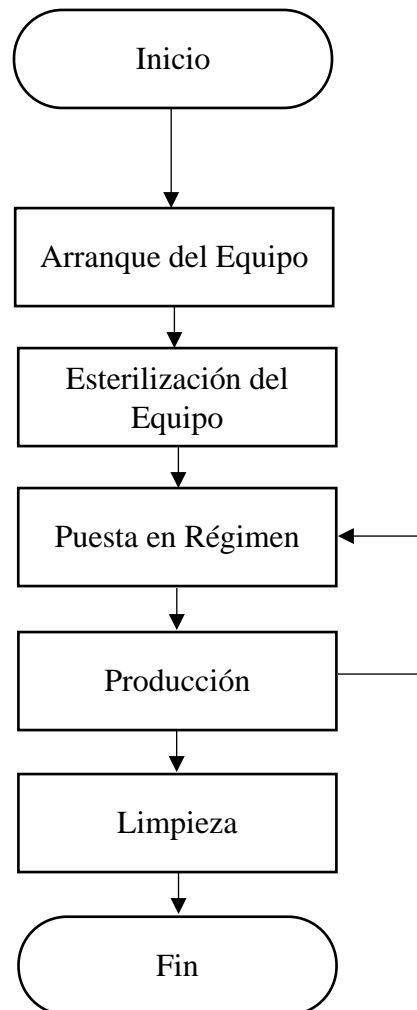
Conexiones para limpieza CIP

1 con 3 y 2 con 4

Conexiones para esterilización

1 con 4

Flujo de Proceso



Descripción del Flujo de Proceso

Arranque del Equipo

Activar electricidad en caja de conexiones y pulsar botón de rearme situados en la caja de conexiones (EQ 002).

Introducir usuario y contraseña en la pantalla de control.

Revisar que los multivías MV-1, MV-3 y MV-4 estén conectados en posición de esterilización y que el multivías MV-2 esté conectado de acuerdo al tiempo de mantenimiento deseado.

Abrir válvulas de alimentación de vapor V012 y agua de red V029 situadas en la parte superior del equipo y de salida de condensados del Contherm 3 (V019) y Contherm 4 (V018).

Abrir válvula V035 de entrada de agua al tanque de llenado.

Abrir válvulas que salen del tanque de llenado a las bombas de alimentación V044 y V071.

Abrir válvulas de purga de vapor V006 y V004.

Cerrar válvula V037 que conecta de CIP a mantenimiento.

Abrir válvula V007 previa al intercambiador de placas.

Cerrar válvulas de entrada de agua en Contherm 2 (V021) y de agua fría en Contherm 1 (V048).

Proceder con el llenado con agua de los intercambiadores.

Llenado

Encender la bomba centrífuga y la bomba helicoidal para obtener presión y caudal suficiente para llenar todo el equipo.

Una vez el equipo este lleno se apaga la bomba centrífuga y se cierra la válvula que la alimenta (V071).

Proceder con la esterilización del equipo.

Esterilización del equipo

Abrir válvula de regulación de contrapresión V003 y aumentar la presión del sistema a 4 bar.

Una vez la temperatura en todos los puntos del proceso alcanza los 120 °C se cuentan 30 minutos de esterilización.

Encender bomba lobular de salida de producto

Al terminar los 30 minutos de esterilización pasar a puesta en régimen.

Puesta en régimen

Abrir válvulas de entrada de agua red a Contherm 2 (V021) y de agua fría al Contherm 1 (V048).

Cerrar válvulas de salida de agua red del Contherm 2 (V016) y agua fría del Contherm 1 (V023).

Introducir en la pantalla de control del equipo las consignas de procesamiento deseadas especificadas en consignas generales, consignas de temperaturas de salida de los contherms, consignas de caudal y presión de las bombas, consignas de velocidad de las aspas giratorias de los contherms y consignas de llenado y vaciado del tanque.

Se ajusta de forma automática el porcentaje de apertura de válvulas de agua red y de agua fría para acelerar las temperaturas deseadas en los contherms 1 y 2.

Una vez alcanzadas las temperaturas deseadas en cada Contherm, pasar a producción.

Producción

La producción se divide en cuatro fases:

Fase 1: vaciado de agua del tanque. Introducir el producto manual o automáticamente cuando el agua en el tanque baja hasta el volumen mínimo permitido

Fase 2: producción (Esterilización del producto).

Fase 3: vaciado de producto del tanque.

Fase 4: Empuje del producto con agua.

Se conecta el orificio 3 con el 4 y se cubre el sensor central, se coloca una manguera en el orificio número dos del multivías 1 para recolectar el producto final si se desea recoger ahí. De igual forma se puede trasladar el producto a 3 rutas diferentes pasando por un multivías externo de conexiones múltiples, cabina aséptica de llenado manual, envasadora aséptica o la envasadora de yogurt.

Si el producto es de una viscosidad muy alta se recomienda cerrar la válvula V007 de intercambiador de placas.

Una vez terminadas estas cuatro fases y recolectado el producto final se puede seguir produciendo con diferentes consignas pasando por la etapa de puesta en régimen o se puede finalizar el proceso y pasar a la limpieza del equipo.

*El tiempo total del proceso desde que entra y sale el producto es de aproximadamente 25 minutos.

Limpieza (CIP)

La limpieza se divide en 5 fases

Fase 1: Aclarado inicial.

Fase 2: Aplicación del primer detergente

Fase 3: Aclarado intermedio

Fase 4: Aplicación del segundo detergente

Fase 5: Aclarado final

Cerrar válvula V012 de alimentación de vapor.

Cambiar los multivías MV-1, MV-3 y MV-4 en posición de limpieza CIP y dejar el multivías MV-2 en el tiempo de mantenimiento utilizado durante el proceso.

Abrir válvulas que salen del tanque de llenado a las bombas de alimentación V044 y V071.

Abrir válvula V037 que conecta de CIP a mantenimiento.

Abrir válvula V007 previa al intercambiador de placas.

Abrir válvula V054 de CIP a tanque (aspersor).

Abrir válvula V059 de regulación de contrapresión de CIP y regular a la presión deseada.

Abrir válvula V056 de entrada de producto al tanque.

Encender bomba centrifuga.

Abrir y cerrar por breves segundos la válvula V072 de producto terminado y la válvula V073 de desagüe final de línea durante las cinco fases de limpieza.

Abrir y cerrar por breves segundos la válvula V069 de CIP a tanque y la válvula V070 de CIP (desagüe) durante las cinco fases de la limpieza.

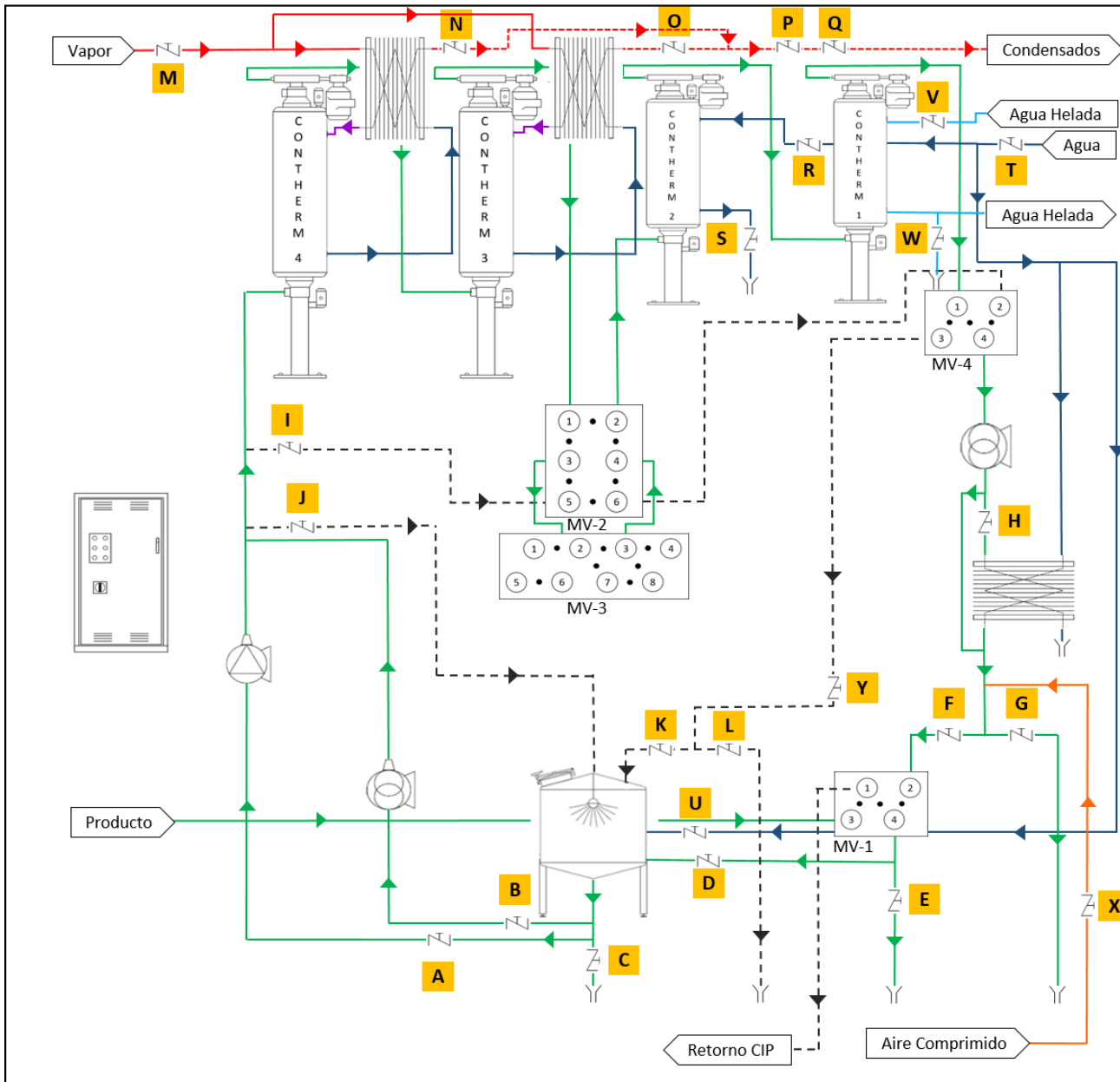
Una vez terminada la limpieza se procede a apagar el equipo, se dejan abiertas las válvulas de purga y desagüe, V006, V007, V013, V016, V023, V032, V070, V073 y válvula V018 y V019 a condensados.

Cerrar válvula V003 de regulación de contrapresión.

Cerrar válvula V048 de alimentación de agua fría y válvula V029 de alimentación de agua.

Apagar equipo y desconectar electricidad.

Plano de Esterilizador de Productos Viscosos



- Bomba Helicoidal
- Bomba Centrifuga
- Bomba lobular
- Salidas de agua (desagüe)
- Placa intercambiadora
- Caja de conexiones
- Tanque de llenado
- Línea de producto
- - - Línea de CIP
- Línea de vapor
- - - Línea de vapor a condensados
- Línea de agua
- Línea de agua caliente
- Línea de agua helada
- Línea de aire comprimido

A. V071	C. V032	E. V013	G. V073	I. V037	K. V069	M. V012	O. V009	Q. V006	S. V016	U. V035	W. V029	Y. V059
B. V044	D. V056	F. V072	H. V007	J. V054	L. V070	N. V018	P. V004	R. V021	T. V029	V. V048	X. V003	

4.2 Pruebas preliminares.

Cuadro 4. Viscosidad en cP de pruebas preliminares de soluciones de almidón.

Muestra	Viscosidad Inicial		Viscosidad Final	
	20 °C	90 °C	90 °C	30 °C
3%	1,0	326,7	326,7	873
4%	1,0	176000	176000	248000
5%	1,0	340000	340000	525300

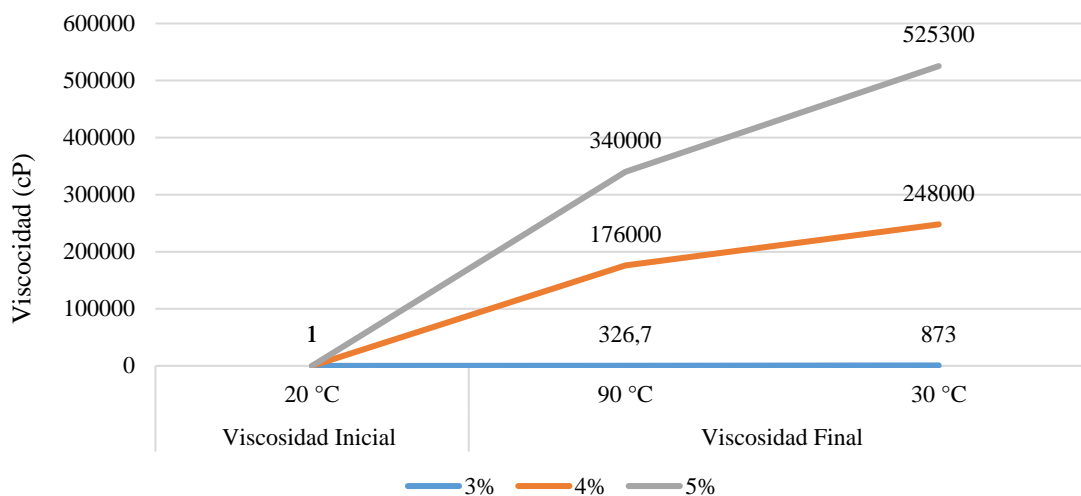


Figura. 6. Análisis de viscosidad de 3 soluciones de almidón en Termomix®.

La viscosidad de las soluciones de almidón se vio afectada por el tratamiento térmico en combinación con la cizalla. Se observó un mayor incremento de viscosidad en la muestra 2 (176000 cP) y en la muestra 3 (340.000cP) al ser tratadas a 90 °C por un minuto. Se observó un incremento de 72000 cP en la muestra 2 y de 185300 cP en la muestra 3 con respecto al tratamiento térmico, después de ser enfriadas a baño maría.

La muestra 1 presentó valores de viscosidad muy bajos en relación a la muestra 2 y 3, por lo cual se decidió no utilizar este porcentaje de solución para las pruebas en el esterilizador de fluidos viscosos. En relación a las pruebas preliminares hay que considerar las características técnicas del equipo utilizado, la transferencia de calor de la Termomix® no es uniforme debido a que esta emite el calor desde la base del cilindro contenedor y este se va conduciendo al resto del cilindro a medida se va calentando haciendo esté un proceso más lento. Las muestras no entraron al proceso con la temperatura de tratamiento ya establecida, éstas se introdujeron y se incrementó la temperatura hasta llegar a 09 °C exponiendo la

muestra por más tiempo a un tratamiento térmico. Las aspas solo están situadas en la base del contenedor cilíndrico y no a lo largo de él, además que estas no raspan el fluido de las paredes del contenedor, solo agitan. La Termomix® no es un sistema herméticamente sellado, por lo que la conservación de la temperatura no es eficiente y puede surgir evaporación. El análisis de las pruebas preliminares se realizó para tener una idea más clara del posible comportamiento de las mezclas de almidón en el esterilizador de fluidos viscosos.

4.3. Viscosidad pruebas en esterilizador de fluidos viscosos.

Cuadro 5. Viscosidad en cP de soluciones de almidón polarTex 06716 y agua osmotizada.

Tratamiento	Medida	Viscosidad Inicial (cP)		Viscosidad Final (cP)	
		20 °C		43 °C	
4,5%	5 min iniciales	1,0		375	
	5 min finales	1,0		535	
5,5%	5 min iniciales	1,0		1516	
	5 min finales	1,0		1900	
6,5%	5 min iniciales	1,0		2391	
	5 min finales	1,0		2950	
7,5%	5 min iniciales	1,01		3150	
	5 min finales	1,01		4450	

cP = Centipoise, °C = grados centígrados.

La viscosidad de los cuatro tratamientos tuvo un incremento en relación a la viscosidad inicial de las soluciones antes de ser tratadas en el esterilizador de fluidos viscosos. La viscosidad final de los tratamientos se vio relacionada al porcentaje de concentración de almidón, a mayor porcentaje de almidón mayor fue la viscosidad final. El aumento de la viscosidad del almidón en calor se debe a las propias características reológicas del almidón al igual que la forma en que reacciona su estructura. De acuerdo a diferentes autores, la viscosidad de la mezcla de almidón es mayor cuando el estado físico de la mayoría de los gránulos está de forma hinchada y la estructura física intacta después del tratamiento térmico. Posteriormente la viscosidad disminuye cuando éstos son rotos y se pierde la integridad de la estructura, al suceder esto hay una progresiva exudación de la amilosa donde eventualmente se forman conexiones tipo gel, que al enfriarse se vuelven más rígidas y la viscosidad de la masa aumenta una vez más (Huijbrechts 2008; Glorio Paulet *et al.* 2009).

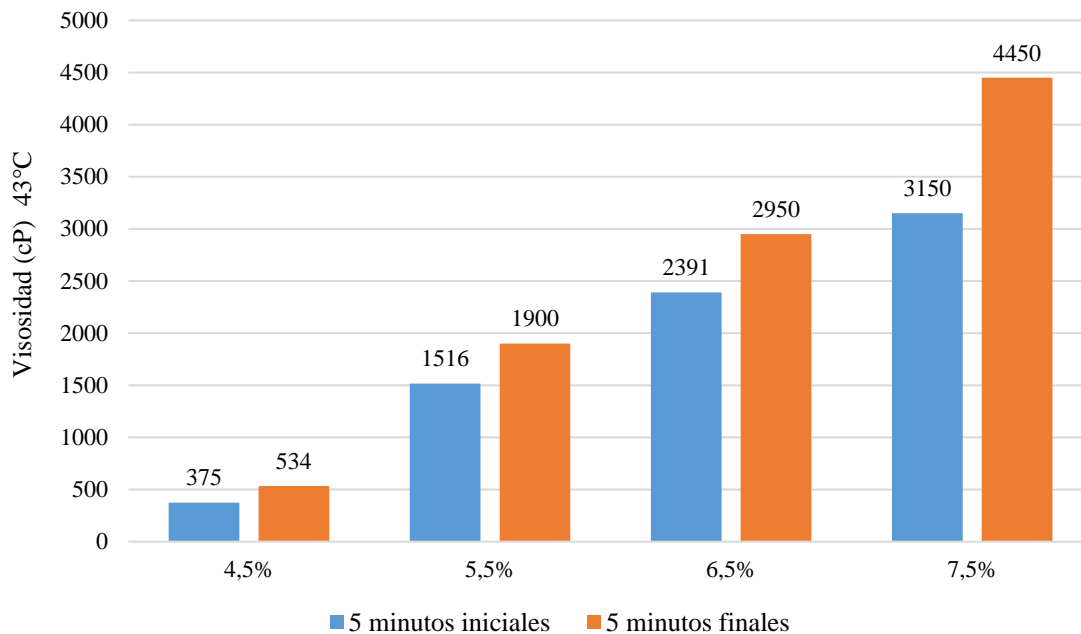


Figura 7. Análisis de viscosidad de 4 soluciones de almidón en esterilizador de fluidos viscosos en los primeros 5 minutos del proceso y en los últimos 5 minutos del proceso.

De acuerdo a Gonçalves *et al.* (2017), el comportamiento reológico, específicamente la viscosidad contra la cizalla se ve influenciado mayoritariamente por la temperatura, en el caso de este experimento la cizalla fue constante y no se observaron cambios de este tipo. En otro estudio se concluyó que la viscosidad disminuye a medida que el contenido de almidón disminuye, o vice versa, esto está relacionado con la posible existencia de límite elástico en soluciones con fracciones de alto volumen de almidón (Zhou *et al.* 2001) El límite elástico se define como la tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes, El material visco-elástico es más elástico cuando es más resistente a la ruptura y es más viscoso en el caso contrario.

Se observó un incremento en la viscosidad final de las cuatro soluciones en relación al momento de la toma de muestra, siendo menor en los primeros minutos de proceso y mayor en los últimos minutos de proceso. Esto fue sucediendo ya que durante el proceso se fue alterando los flujos de los intercambiadores de superficie raspada (Contherm 2 y 1) y se fue mejorando la capacidad de enfriamiento del equipo. Estos cambios en viscosidad pasan a medida se enfría el producto y generalmente influenciado a los cambios estructurales que sufre el almidón, así como la retrogradación, el cual es un proceso en el que las moléculas

en los gránulos de almidón gelatinizados se re-asocian en una estructura ordenada creando una masa más viscosa e incluso convertirse en un sólido (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2007). Esta recristalización de almidones durante el enfriamiento y almacenamiento puede ir acompañada por el endurecimiento y la filtración de agua del gel de almidón, este proceso es llamado, sinéresis (Lian *et al.* 2014). La retrogradación es un problema considerable en el uso del almidón como aditivo alimentario durante el procesamiento y la conservación, pues a medida que pasa el tiempo, la textura y de más propiedades físicas del alimento se deterioran (Solarte-Montúfar *et al.* 2019).

Es importante tomar esto en cuenta ya que el almidón es un aditivo muy importante y de muy bajo costo en la industria alimentaria, utilizado como agente de retención de humedad, espesante y estabilizante de sistemas (López-Soto *et al.* 2005). Existe una gran variedad de alimentos en la industria alimentaria que pueden ser sometidos a un proceso de esterilización compuesta por intercambiadores de calor de superficie raspada, que contienen almidones de diferentes procedencias que pueden afectar significativamente la textura final y generar una aceptación negativa de parte de los consumidores.

4.4. Coeficiente de transmisión de calor.

El coeficiente de transferencia de calor se realizó a una presión constante de 4 bar, con tiempo de mantenimiento de 60 segundos, tomando como partida los mismos parámetros de operación utilizados para la prueba de viscosidad, con la excepción de las variables a medir. A pesar de haber establecido una consigna de operación, los datos de temperatura varían de acuerdo al nivel de exactitud y la calibración de los termómetros instalados, variación en la transferencia de calor dentro de los intercambiadores o calentamiento o enfriamiento en otras partes del equipo debido a conducción o radiación térmica. Por este motivo y para mayor eficacia de los cálculos pertinentes, se registró la temperatura real durante el proceso (Cuadro 6).

Cuadro 6. Registro de medias y desviaciones estándar de los parámetros de funcionamiento de esterilizador de fluidos viscosos y resultados de transferencia de calor y coeficiente global de transmisión de calor.

Intercambiador (ICSR)	Velocidad* Hz	Caudal L/h	Fluido	T. Entrada °C			T. Salida °C			(Q) Kcal/h			(U) W/m ² ·K		
				Media	±	DE	Media	±	DE	Media	±	DE	Media	±	DE
Contherm 4	16	2500	Agua	94,53	±	0,09	88,63	±	0,17	14750,00	±	612,37	665,48	±	2,03
		200	Producto	10,50	±	0,00	85,07	±	0,09	14913,33	±	18,86			
	32	2500	Agua	95,70	±	0,54	89,77	±	0,59	14833,33	±	471,40	665,05	±	1,68
		200	Producto	10,60	±	0,00	84,93	±	0,26	14866,67	±	52,49			
Contherm 3	16	2500	Agua	146,20	±	0,08	141,63	±	0,05	11416,67	±	235,70	663,60	±	1,08
		200	Producto	84,77	±	0,09	140,33	±	0,19	11113,33	±	18,86			
	32	2500	Agua	147,53	±	0,49	142,77	±	0,48	11916,67	±	311,80	659,17	±	1,85
		200	Producto	87,03	±	0,29	140,33	±	0,45	10660,00	±	86,41			
Contherm 2	16	2500	Agua	9,83	±	0,05	26,23	±	0,21	41000,00	±	540,06	436,94	±	2,71
		200	Producto	134,27	±	0,38	79,97	±	0,05	10860,00	±	84,85			
	32	2500	Agua	9,83	±	0,05	27,30	±	1,81	43666,67	±	4629,31	429,03	±	8,96
		200	Producto	132,40	±	0,94	79,97	±	0,05	10486,67	±	179,13			
		850	Agua	9,77	±	0,09	25,03	±	0,83	12976,67	±	629,74	465,44	±	6,94
		200	Producto	131,93	±	0,52	75,80	±	0,62	11226,67	±	89,94			

ICSR = Intercambiador de Calor de Superficies Raspada, * = Velocidad de rotación de las aspas giratorias internas del ICSR, Hz = Hercios, L/h = litros por hora, T = Temperatura, °C = grados Celsius (Q) = Transferencia de calor, Kcal/h = kilo calorías por hora, (U) Coeficiente global de transferencia de calor, W/m²·K = Vatios por metro cuadrado y Kelvin, DE = Desviación Estándar.

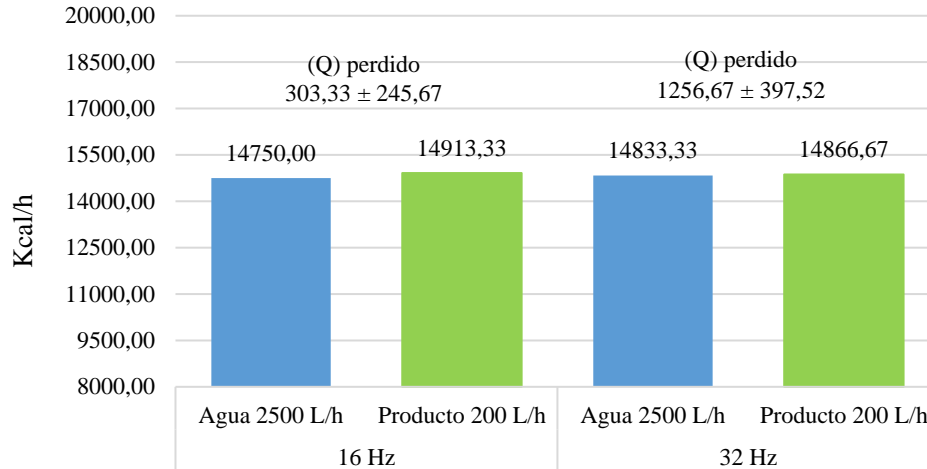


Figura 8. Comparación de transferencia de calor (Q) de ICSR (Contherm 4) a 2 dos velocidades, 16 y 32 Hercios.

El (Contherm 4) es el primer intercambiador en el flujo de proceso del esterilizador de fluidos viscosos. Este se encarga del primer calentamiento del producto elevando la temperatura hasta 90 grados centígrados. En este caso el agua caliente entró al intercambiador a una temperatura de $94,53 \pm 0,09$ y $95,70 \pm 0,54$ °C y salió del intercambiador a $95,70 \pm 0,54$ y $89,77 \pm 0,59$ °C, transmitiendo al proceso $5,90 \pm 0,24$ y $5,93 \pm 0,19$ °C por tratamiento respectivamente. El “producto” entró al intercambiador a una temperatura de $10,50 \pm 0,00$ y $10,60 \pm 0,00$ °C y salió del intercambiador a $85,07 \pm 0,09$ y $84,93 \pm 0,26$ °C, absorbiendo del proceso $74,57 \pm 0,09$ y $74,33 \pm 0,26$ °C por tratamiento respectivamente.

El agua caliente cedió $14750 \pm 612,37$ y $14833,33 \pm 471,40$ kcal/h al proceso y el “producto” absorbió $14913,33 \pm 18,86$ y $14866,67 \pm 52,49$ kcal/h, ganando durante el proceso $303,33 \pm 245,67$ y $1256,67 \pm 397,52$ kcal/h para cada tratamiento respectivamente. Se puede observar un incremento muy leve en la ganancia de calor del en ambos tratamientos, sin embargo, la desviación estándar de ambas medias confirma que no hay diferencia significativa entre ambos fluidos. Cabe recalcar que esta situación es irreal debido a que un fluido no puede absorber más calor del que se le suministra. Esta aclaración se adhiere al principio de la segunda ley de la termodinámica que explica que no es posible que el calor fluya desde un cuerpo frío hacia un cuerpo más caliente, sin necesidad de producir ningún trabajo que genere este flujo. La energía no fluye espontáneamente desde un objeto a baja temperatura, hacia otro objeto a más alta temperatura. (Çengel *et al.* 2003).

No se observó un efecto significativo en la velocidad de las aspas giratorias sobre la eficiencia transmisión de calor del agua caliente y la absorción de calor del fluido en calentamiento. Pordanjani *et al.* (2020), determinó que la temperatura de salida de los intercambiadores de calor es menos sensible a la velocidad del rotor y es más sensible al caudal másico.

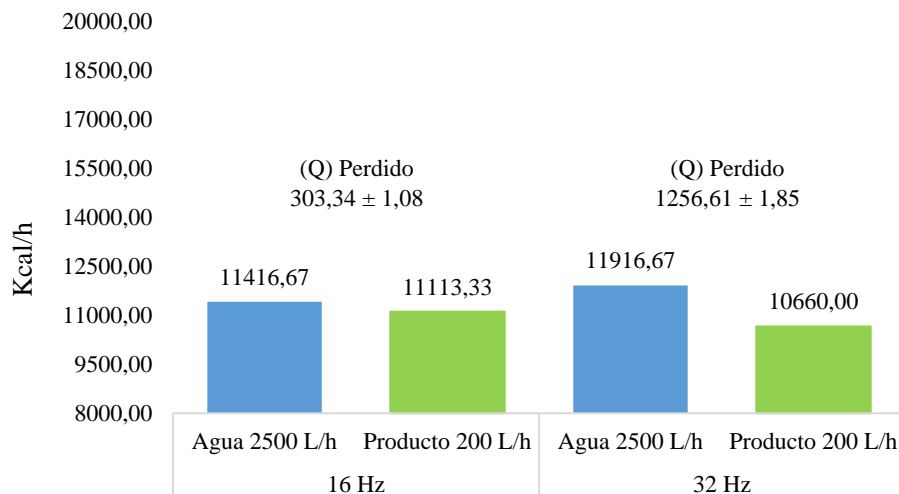


Figura 9. Comparación de transferencia de calor (Q) de ICSR (Contherm 3) a 2 dos velocidades, 16 y 32 Hercios.

El ICSR (Contherm 3) es el segundo intercambiador en el flujo de proceso del esterilizador de fluidos viscosos. Este incrementa al producto de 90 a 140 °C aproximadamente con el objetivo llevarlo a una correcta temperatura de esterilización previo a la zona de mantenimiento. En este caso el agua caliente entró al intercambiador a una temperatura de $146,20 \pm 0,08$ y $147,53 \pm 0,49$ °C y salió del intercambiador a $141,63 \pm 0,05$ y $142,77 \pm 0,48$ °C, transmitiendo al proceso $4,57 \pm 0,09$ y $4,77 \pm 0,12$ °C. El “producto” entró al intercambiador a una temperatura de $84,77 \pm 0,09$ y $87,03 \pm 0,29$ °C y salió de intercambiador a $140,33 \pm 0,19$ y $140,33 \pm 0,45$ °C absorbiendo del proceso $55,57 \pm 0,09$ y $53,30 \pm 0,43$ °C por tratamiento respectivamente

El agua caliente cedió $11416,67 \pm 235,70$ y $11916,67 \pm 311,80$ kcal/h al proceso y el “producto” absorbió $11113,33 \pm 18,86$ y $10660,00 \pm 86,41$ kcal/h, perdiendo en el proceso $563,33 \pm 291,01$ y $486,67 \pm 142,67$ kcal/h para cada tratamiento respectivamente. No se observó un efecto significativo en la velocidad de

las aspas giratorias sobre la eficiencia transmisión de calor del agua caliente y la absorción de calor del fluido en calentamiento.

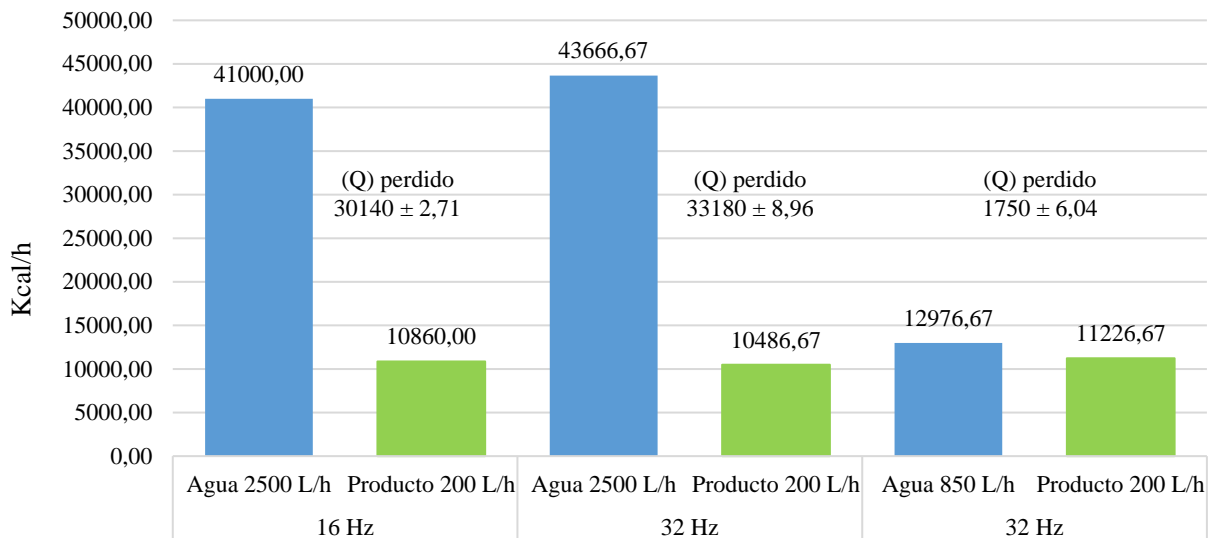


Figura 10. Comparación de transferencia de calor (Q) de ICSR (Contherm 2) a 2 dos velocidades, 16 y 32 Hercios. caudales de entrada de fluido calentador (agua), 2500 y 850 litros por hora.

Previo al ingreso del producto al intercambiador contherm 2, este pasa por una etapa de mantenimiento durante 60 segundos en la cual el producto se mantiene estable a la temperatura de salida del contherm menos posibles pérdidas de calor por el ambiente que suelen ser ± 10 °C aproximadamente. El ICSR (contherm 2) es el tercer intercambiador en el esterilizador de fluidos viscosos y el primero de la etapa de enfriamiento. Este es encargado de reducir la temperatura de esterilización de 135 ± 5 °C hasta 60°C teóricamente.

En este caso, considerando los caudales de agua fría de 2500 litros por hora y del producto a 200 litros por hora, el agua fría entro al intercambiador a una temperatura de $9,83 \pm 0,05$ y $9,83 \pm 0,05$ °C y salió del intercambiador a $26,23 \pm 0,21$ y $27,30 \pm 1,81$ °C, ganando en el proceso una temperatura de $16,40 \pm 0,22$ y $17,47 \pm 1,85$ °C para los primeros dos tratamientos (Figura 10). En el caso del tercer tratamiento, el agua fría entró al intercambiador a una temperatura de $9,77 \pm 0,09$ °C y salió de el a $25,03 \pm 0,83$ °C, ganando en el proceso una temperatura de $15,27 \pm 0,74$ °C. Por otra parte, el producto entró al intercambiador a una temperatura de $134,27 \pm 0,38$ y $132,40 \pm 0,94$ °C y salió del intercambiador a $79,97 \pm 0,05$ °C en ambas medidas, perdiendo en el proceso una temperatura de $54,30 \pm 0,42$ y $52,43 \pm 0,90$ °C para los

primeros dos tratamientos. En el caso del tercer tratamiento el producto entró al intercambiador a una temperatura de $131,93 \pm 0,52$ °C y salió de él a $75,80 \pm 0,62$ °C, perdiendo en el proceso una temperatura de $56,13 \pm 0,45$ °C. En cuanto a la transferencia de calor, el agua fría absorbió $41000 \pm 540,06$, $43666,67 \pm 4629,31$ y $12976,67 \pm 629,74$ kcal/h al proceso y el producto cedió $10860 \pm 84,85$, $10486,67 \pm 179,13$ y $11226,67 \pm 89,94$ kcal/h, perdiendo en el proceso $30140 \pm 573,47$, $33180 \pm 4467,09$ y $1750 \pm 625,95$ kcal/h para cada tratamiento respectivamente.

Los intercambiadores están diseñados para que los fluidos se suministren en contracorriente, en el caso del intercambiador Contherm 2, este fue instalado con flujos paralelos lo cual altera significativamente la transmitancia en el intercambiador al utilizar el flujo masico establecido para los primeros dos intercambiadores. No se observa una diferencia significativa de la velocidad de las aspas giratorias sobre la eficiencia de absorción de calor del agua fría y la pérdida de calor del producto en ninguno de los tres casos. Se observó una diferencia entre los tratamientos 1 y 2 en relación al tratamiento 3, de acuerdo al caudal con que se suministra el agua fría, siendo el tratamiento 3 el más eficiente. Se observó menor pérdida de calor en el proceso al reducir el flujo del agua fría a 850 litros por hora, sin embargo, las temperaturas promedio que cedió el agua y que absorbió el producto fueron similares en los tres tratamientos. Todo esto se debe a que al reducir el tiempo de contacto que tiene el agua con las paredes del intercambiador este puede absorber mayor cantidad de calor y se mejora la transferencia de calor del sistema. Esto lo hace más eficiente porque se necesita menos cantidad de agua fría para reducir el fluido o producto a la misma temperatura que con los tratamientos 1 y 2.

Independientemente del flujo másico del medio de enfriamiento, se espera que la reducción de la temperatura del producto sea mayor a la reducción que se observe en este estudio, para ello se tendría que realizar una modificación en la estructura del intercambiador y cambiar la entrada de los flujos de forma opuesta. Si es verdad, que el esterilizador de fluidos viscosos cuenta con un cuarto intercambiador (Contherm 1) que puede asistir al tercer intercambiador a reducir la temperatura del producto final, este no sería suficiente para llevar el producto a una temperatura segura. Hay que tomar en cuenta que el Contherm 2 utiliza agua a temperatura ambiente sin sufrir algún cambio termico previo a la entrada al esterilizador, por lo cual hay que reducir la máxima cantidad de temperatura posible del producto en este paso. Si en el mejor de los casos llegamos a alcanzar una temperatura segura, con la asistencia del Contherm 1, modificando todos los parámetros de producción en nuestro alcance, los costos de producción

incrementarían notablemente ya que el agua utilizada en este intercambiador pasa por un proceso de enfriamiento previo a su entrada al esterilizador. Debido a esto no se consideró medir la transferencia térmica del Contherm 1.

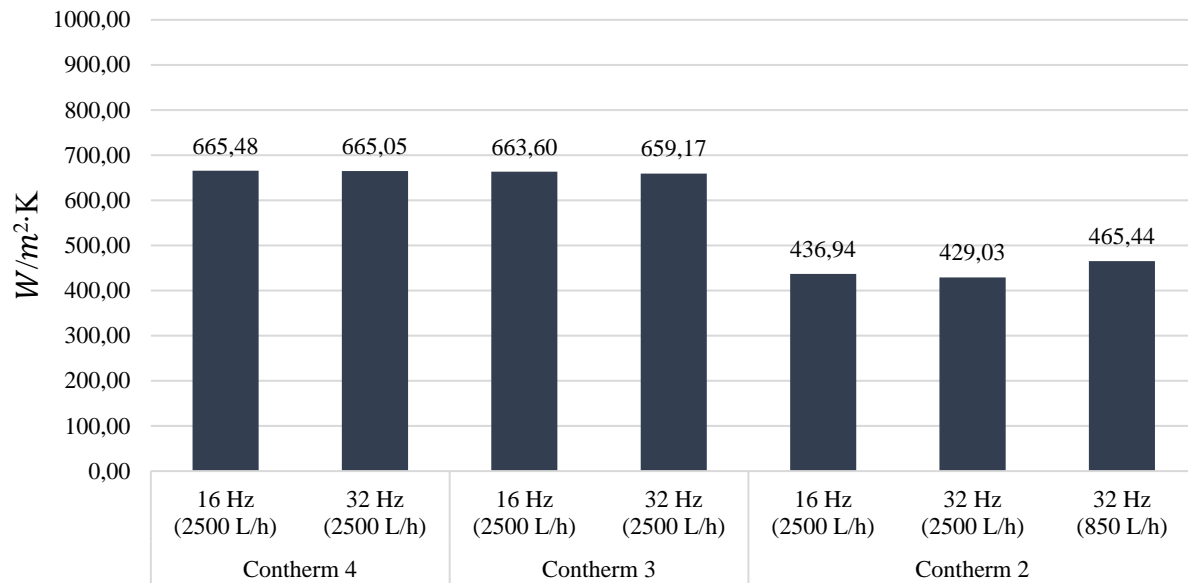


Figura 11. Comparación de coeficiente global de transmisión de calor (U) en ICSR (contherms 4, 3 y 2) a dos velocidades, 16 y 32 Hercios y caudales de entrada de fluido calentador o enfriador (agua), 2500 y 850 litros por hora.

La determinación del coeficiente global de transmisión de calor se realizó de forma individual para cada intercambiador de calor de superficie raspada. Como se mencionó en la introducción de este documento, el coeficiente global de transmisión de calor es la cantidad de energía térmica en vatios que se transmite por hora, por metro cuadrado, por cada 1 °C de diferencia de temperaturas, dando a entender que entre mayor sea este dígito mayor será la transferencia de calor de un fluido a otro. En este caso, sin existir un efecto significativo en la velocidad de rotación de las aspas sobre la transferencia global de calor, el equipo funciona con el mismo coeficiente global de transmisión de calor en las secciones de calentamiento. En el Contherm 4 fue de $665,48 \pm 2,03$ y $665,05 \pm 1,68 W/m^2 \cdot K$ para cada tratamiento respectivamente y en el Contherm 3 fue de $663,60 \pm 1,08$ y $659,17 \pm 1,85 W/m^2 \cdot K$ para cada tratamiento respectivamente. Si existió una diferencia en la transferencia global de calor en el Contherm 2 en relación al a los Contherm 3 y 4, siendo esta transferencia menor a la expresada en los dos intercambiadores anteriores, $436,94 \pm 2,71$, $429,03 \pm 8,96$ y $465,44 \pm 6,94 W/m^2 \cdot K$ respectivamente para cada tratamiento. No se observó efecto

significativo en la velocidad de rotación de las aspas sobre la transferencia global de calor en el Intercambiador (Contherm 2).

Considerando que el flujo de los fluidos del intercambiador (Contherm 2) son de forma paralela, los resultados de este estudio, concuerdan con lo explicado según Çengel y Perez (2004), estableciendo que el intercambiador a contraflujo tiene la efectividad más elevada en la transferencia global de calor y que los valores más bajos de efectividad se encuentran en los intercambiadores de flujo paralelo.

4.5. Eficiencia térmica de intercambiador de calor.

Cuadro 7. Eficiencia de intercambiadores de calor de superficie raspada.

Intercambiador	Eficiencia
Contherm 4	59%
Contherm 3	72%
Contherm 2	51%

Se determinó la eficiencia del intercambiador, siendo el Contherm 3 el más eficiente con 72% de eficiencia y el Contherm dos con menor porcentaje de eficiencia (51%). La eficiencia no solo reafirma la capacidad de transferencia y el coeficiente global de transmisión, si no que nos da una idea real de la capacidad con la que trabaja actualmente cada intercambiador.

5. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un protocolo de funcionamiento de 9 páginas para uso del personal del Aula de Productos Lácteos y Tecnologías Alimentarias. El protocolo está dividido en 6 secciones: Descripción del equipo, tabla de componentes, representación gráfica de multivías, flujo de proceso, descripción del flujo de proceso y plano de esterilizador de productos viscosos
- Se determinó que la viscosidad final de las mezclas se ve influenciada por el porcentaje inicial de almidón en cada una de las muestras y el enfriamiento de las mismas.
- Se determinó la eficiencia de los intercambiadores de calor de superficie raspada mediante el cálculo de la transferencia de calor, coeficiente global de transmisión de calor y la eficiencia térmica. Se planteó que no existe efecto de la velocidad de rotación de las aspas giratorias sobre la transmisión de calor del agua fría y caliente y coeficiente global de transmisión de calor en los intercambiadores Contherm 4, 3 y 2. Se determinó que el caudal del agua fría influye sobre la transferencia de calor del intercambiador Contherm 2 y que la forma de flujo paralelo influye sobre el coeficiente global de transmisión de calor negativamente. Dada esta información, se concluyó que el intercambiador más eficiente del esterilizador de fluidos viscosos es el Contherm 3, con menor pérdida de calor, $303,34 \pm 1,08$ y $1256,61 \pm 1,85$ Kcal/h, coeficiente global de transmisión estable $663,60$ y $659,17$ $W/m^2 \cdot K$ y mayor eficiencia térmica, 72%.

6. RECOMENDACIONES

- Hacer entrega de protocolo de funcionamiento y capacitar al personal en base al uso y entendimiento de este.
- Modificar el sentido del flujo en el intercambiador Contherm 2 de paralelo a contra contracorriente para mejorar la eficiencia de transmisión de calor.
- Aislar la zona de mantenimiento para evitar la pérdida de calor y mejorar el tiempo de exposición a la temperatura de esterilización.
- Realizar estudios utilizando alimentos para tener un mejor entendimiento del efecto del esterilizador de fluidos viscosos y complementar con análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales.

7. BIBLIOGRAFIA

- Al-Baali AA-G, Farid MM. 2006. Principles of thermal sterilization. In: Sterilization of food in retort pouches. Boston, MA: Springer US. p. 25–32 (Food Engineering Series).
- Alfa Laval. 2009. Versatile heat transfer solutions: The Contherm range of scraped-surface heat exchangers. Suecia. https://www.csidesigns.com/uploads/resources/Alfa_Laval_Contherm_Brochure.pdf.
- Alipanah M, Kalashnikova LA. 2007. Influence of K-casein genetic variant on cheese making ability. *J Anim Vet Adv*. 6(7):855–857.
- Alvis A, Cortés LE, Páez M. 2009. Transferencia de calor y materia durante la fritura de trozos de ñame (*Dioscórea alata*). *Inf. tecnol.* 20(1). Doi: 10.4067/S0718-07642009000100012.
- Athanassiou A. 2020. Sustainable food packaging technology. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN: 9783527820078.
- Bandala-Rocha MR, Macedo y Ramírez RC, Vélez-Ruiz JF. 2005. Evaluación de coeficientes de fricción en el transporte de fluidos no-newtonianos. *Inf. tecnol.* 16(2). Doi: 10.4067/S0718-07642005000200012.
- Beier RC, editor. 2004. Preharvest and postharvest food safety: Contemporary issues and future directions. Ames, Iowa: Blackwell Publishing. Online-Ressource. ISBN: 9780470752579.
- Belton P, editor. 2007. The Chemical Physics of Food. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. ISBN: 9780470995792.
- Bird RB, Stewart WE, Lightfoot EN. 2006. Transport phenomena. 2ª ed. United States of America: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-471-41077-2.
- Boccardi G, Celata GP, Lazzarini R, Saraceno L, Trinchieri R. 2010. Development of a heat transfer correlation for a Scraped-Surface Heat Exchanger. *Appl. Therm. Eng.* 30(10):1101–1106. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431110000360>. Doi:10.1016/j.applthermaleng.2010.01.023.
- Bylund G, López Gómez A, Madrid Vicente A. 1996. Manual de industrias lácteas. Madrid: AMV Ediciones; Mundi-Prensa. 436p. ISBN: 8484760944.

- Çengel Y, Boles M, Campos Olguín V, Colli Serrano MT. 2003. Termodinámica. 4ª ed. México: McGraw-Hill. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?isisscript=agriuan.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=027475>.
- Çengel Y, Pérez H. 2004. Heat transfer: a practical approach. 2ª ed. México: McGraw-Hill. www.mhhe.com/cengel/.
- Chhabra RP. 2020. Bubbles, drops, and particles in non-newtonian fluids. [s.l.]: crc press. ISBN: 0367074486.
- D'Addio L, Carotenuto C, Di Natale F, Nigro R. 2013. Heating and cooling of hazelnut paste in alternate blades scraped surface heat exchangers. *J. Food Eng.* 115(2):182–189. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.10.011.
- Devaraju R, Mohanjee Lal, Kumar GM, Kholi RK. 2013. Process optimization for mechanized production of Doda Burfi using scraped surface heat exchanger. *International Journal of Processing and Post Harvest Technology.* 4(2):86–89.
- Dillon P, Beckley F, O'Connor P, Hegarty D, Rath M. 2003. A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production. *Livestock Production Science.* 83(1):21–33. https://www.researchgate.net/publication/223004769_A_comparison_of_different_dairy_cow_breeds_on_a_seasonal_grass-based_system_of_milk_production_1_Milk_production_live_weight_body_condition_score_and_DM_intake. Doi: 10.1016/S0301-6226(03)00041-1.
- Dumont E, Fayolle F, Legrand J. 2000. Flow regimes and wall shear rates determination within a scraped surface heat exchanger. *Int. J. Food Eng.* 45(4):195–207. Doi: 10.1016/S0260-8774(00)00056-X.
- Erkmen O, Bozoglu TF. 2016. Food Microbiology: Principles into Practice. United States of America: Wiley. ISBN: 9781119237761.
- FAO. 1996. Cumbre Mundial de la Alimentación. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization. http://www.fao.org/wfs/index_es.htm.
- FAO, OMS. 2019. Inocuidad de los alimentos, un asunto de todos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&slug=dia-mundial-de-la-inocuidad-de-alimentos2019-guia&Itemid=270&lang=es.
- Floros JD, Newsome R, Fisher W, Barbosa-Cánovas GV, Chen H, Dunne CP, German JB, Hall RL, Heldman DR, Karwe MV. 2010. Feeding the world today and tomorrow: The importance of food science and technology: An IFT Scientific Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 9(5):572–599. Doi:10.1111/j.1541-4337.2010.00127.x.

- Glorio Paulet P, Bello-Pérez LA, Salas F, Buleje E. 2009. Características visco-elásticas y estimaciones de masas moleculares en almidón de oca (*Oxalis tuberosum*). Revista de la Sociedad Química del Perú. 75(2):266–276. 1810-634X.
- Gonçalves, Pereira CG, Lago A, Gonçalves CS, Giarola T, Abreu LR, Resende JV. 2017. Thermal conductivity as influenced by the temperature and apparent viscosity of dairy products. J. Dairy Sci. 100(5):3513–3525. Doi:10.3168/jds.2016-12051.
- Guzmán LE, Tejada C, La Ossa YJ de, Rivera CA. 2015. Análisis comparativo de perfiles de textura de quesos frescos de leche de cabra y vaca. 13(1):139–147. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a16.pdf>.
- Hayes JC, Laffey JG, McNeil B, Rowan NJ. 2012. Relationship between growth of food-spoilage yeast in high-sugar environments and sensitivity to high-intensity pulsed UV light irradiation. Int. J. Food Sci. Nutr. 47(9):1925–1934. Doi:10.1111/j.1365-2621.2012.03052.x.
- Huijbrechts A. 2008. Multifunctional starch derivatives: synthesis, characterization and properties [Doctoral]. Paisés Bajos: Wageningen University. ISBN: 978-90-8585-250-6. https://www.researchgate.net/publication/37793670_Multifunctional_starch_derivatives_synthesis_characterization_and_properties.
- Ibarrola EL. 2009. Introducción a los fluidos no newtonianos. Catedra de Mecánica de los fluidos. UNCor.
- Janmey PA, Schliwa M. 2008. Rheology. Curr. Biol. 18(15):R639-R641. Doi: 10.1016/j.cub.2008.05.001.
- Jiménez Pérez S. 2015. Procesado Industrial de la leche. España: Real Academia de Ciencias Veterinarias de España e Instituto Tomás Pascual Sanz. 978-84-693-9277-5. http://www.institutotomas Pascual sanz.com/descargas/formacion/publi/Curso_Leche_RACVE_2.pdf.
- Kutz M. 2013. Handbook of farm, dairy and food machinery engineering. Amsterdam: Academic Press. ISBN: 9780123858818.
- Lakhdar MB, Cerecero R, Alvarez G, Guilpart J, Lallemand A. 2005. Heat transfer with freezing in a scraped surface heat exchanger. Applied Thermal Engineering. 25(1):45–60. https://www.researchgate.net/publication/229145038_Heat_transfer_with_freezing_in_a_scraped_surface_heat_exchanger. doi:10.1016/j.applthermaleng.2004.05.007.
- Laranjo M, Fernandez-Leon AM, Pontes ME, Agulheiro-Santos AC, Elias M. 2017. Use of essential oils in food preservation. Microbiology Book Series #6. 177–188. <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/23047>.

- Lian X, Wang C, Zhang K, Li L. 2014. The retrogradation properties of glutinous rice and buckwheat starches as observed with FT-IR, ¹³C NMR and DSC. *Int. J Biol. Macromol.* 64:288–293. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813013006648>. Doi:10.1016/j.ijbiomac.2013.12.014.
- López-Soto M, Zazueta Morales JJ, Martínez-Bustos F., Morales Sánchez E. 2005. Preparación y propiedades de almidones pregelatinizados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y jícama (*Pachyrhizus erosus*) usando calentamiento óhmico. *Agrociencia.* 39(3):275–283. 1405-3195. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1215725>.
- Marks, BP. 2009. Heat and Mass Transfer. En: *Thermal Processing of Ready-to-Eat Meat Products*. USA: John Wiley & Sons, Ltd. p. 3–15. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780813808611.ch1>.
- Montaguano Toaquiza J. 2019. Determinación de los parámetros térmicos de un intercambiador de calor de tubos concéntricos con fluidos orgánico-vapor. [Ingeniería]. Ecuador: Ministerio de Educación Superior de Ecuador, Universidad de Granma. <http://181.112.224.103/bitstream/27000/6858/1/UTC-PIM000231.pdf?fbclid=IwAR3ej1stEl7e1la3p4CpQ2dNpLbbAsBmQtPUwXmnWtudyJ-OYmkY49g4eZQ>.
- Moot RL. 2006. *Mecánica de fluidos*. 6ª ed. Mexico: Pearson. ISBN: 970-26-0805-8.
- Moriera RG, Castell-Pérez ME, Barrufet MA. 1999. *Deep fat frying: Fundamentals and applications*. Gaithersburg, Md: Aspen. ISBN: 0834213214.
- Núñez Santiago MC, Méndez Montealvo MG, Solorza Feria J. 2001. *Introducción a la reología*. 1ª ed. México: Instituto Politécnico Nacional de México. ISBN: 970-18-7223-1. <https://www.scribd.com/document/327979527/Introduccion-a-la-reologia-pdf>.
- OMC. 1995. *Acuerdo sobre la aplicación de medidas sanitarias y fitosanitarias: en resultado de la ronda uruguaya de negociaciones comerciales multilaterales*. Uruguay: Organización Mundial del Comercio. wto.org
- OMS. 2007. *Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos*. Suiza: Organización Mundial de la Salud. ISSN: 978 92 4 359463 7. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43634/9789243594637_spa.pdf.
- Pan C, Chen S, Hao S, Yang X. 2019. Effect of low-temperature preservation on quality changes in Pacific white shrimp, (*Litopenaeus vannamei*): A review. *J. Sci. Food Agric.* 99(14):6121–6128. Doi:10.1002/jsfa.9905.

- Pathania S, Tiwari BK, Mohan MS, Aguiló Aguayo I, Lagarga T. 2020. Food formulation: Novel ingredients and processing techniques. First edition. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell. ISBN: 9781119614760.
- Pérez-Trejo L, Méndez Sánchez A.F., Paniagua Mercado AM. 2010. Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). *Latinamerican Journal of Physics Education*.
- Perkin AG. 1985. Review of UHT processing methods. *Int J Dairy Tech*. 38(3):69–73. doi:10.1111/j.1471-0307.1985.tb00559.x.
- Pillai SD. 2004. Food Irradiation. Beier RC, editor. *Preharvest and postharvest food safety: Contemporary issues and future directions*. Ames, Iowa: Blackwell Publishing. p. 375–388.
- Pordanjani AH, Vahedi SM, Aghakhani S, Afrand M, Mahian O, Wang L-P. 2020. Multivariate optimization and sensitivity analyses of relevant parameters on efficiency of scraped surface heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*; 178. http://research.me.udel.edu/lwang/reprints/Pordanjani_etal_ATE_2020.pdf. Doi:10.1016/j.applthermaleng.2020.115445.
- Qiu L, Zhang M, Mujumdar AS, Liu Y. 2020. Recent developments in key processing techniques for oriental spices/herbs and condiments: a review. 1–21. Doi:10.1080/87559129.2020.1839492.
- Regalado A, Ramos O. 2009. Comportamiento reológico de un fluido. *Ciencia y Mar*. 36:35–42.
- Rodríguez Saucedo 2011. Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai*. 7(001):153–170. 1665-0441. <http://www.journals.unam.mx/index.php/rxm/article/view/26675/24991>.
- Rodríguez-Sandoval E, Sandoval-Aldana A, Fernández-Quintero A. 2007. Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. *Rev. Colomb. Quím*. 36(1):13–30. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v36n1/v36n1a02.pdf>.
- Santillan Urquiza E, Méndez Rojas MA, Vélez Ruiz A. 2014. Productos-lacteos-funcionales-fortificados-y-sus-beneficios-en-la-salud-humana. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 8(1):5–14. https://www.researchgate.net/publication/311103257_Productos_lacteos_funcionales_fortificados_y_sus_beneficios_en_la_salud_humana.
- Silvaggio J, Hicks ML. 1997. Effect of heat sterilization on the torsional properties of rotary nickel-titanium endodontic files. *Journal of Endodontics*. 23(12):731–734. Doi:10.1016/S0099-2399(97)80344-5.

- Solarte-Montúfar JG, Díaz-Murungal AE, Osorio-Mora O, Mejía-España DF. 2019. Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Inf. tecnol.* 30(6):35–44. Doi: 10.4067/S0718-07642019000600035.
- Sun D-W. 2011. *Handbook of Food Safety Engineering*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. ISBN: 9781444355321.
- Teixeira AA. 2014. Thermal Food Preservation Techniques (Pasteurization, Sterilization, Canning and Blanching). *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. John Wiley & Sons, Ltd. p. 115–128.
- Tetra pack. 2006. Tetra Therm Aseptic Visco SSHE – Continuous indirect UHT treatment module for viscous products with or without particles.
- Tetra Pak. 2021. The right UHT processing for every dairy product. <https://www.tetrapak.com/es/solutions/processing/main-technology-area/uht-treatment>.
- US-FDA. 2021. CFR 21 Food and Drugs: 113.3. <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=a2df7cfaeee8afbc8cb963c18490bdfc&mc=true&n=pt21.2.113&r=PART&ty=HTML>.
- Villareal Y, Mejia DF, Osorio, O: Cerón, AF. 2013. Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina C en jugos de fruta. *revista Bio.* 11(2):66–75. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a08.pdf>.
- Vorwerk. 2018. Especificaciones técnicas Termomix TM6. España: Vorwerk International. <https://support.vorwerk.com/hc/es/articles/360000885809--Con-qu%C3%A9-velocidad-giran-las-cuchillas-del-Thermomix-en-los-distintos-niveles-de-velocidad->.
- Watts S. 2016. A mini review on technique of milk pasteurization. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry.* 5(5):99–101. <https://www.phytojournal.com/archives/year=2016&vol=5&issue=5&part=B&ArticleId=944>.
- Zhong Q, Daubert CR. 2013. Food Rheology. Kutz M, editor. *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering*. Amsterdam: Academic Press. p. 403–426.
- Zhou G, Willett JL, Carriere CJ. 2001. Effect of starch content on viscosity of starch-filled poly (hydroxy ester ether) composites. *Polym. Eng. Sci.* 41(8):1365–1372. Doi:10.1002/pen.10836