

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

Implementación de un sistema de pasteurización continua HTST
(High Temperature Short Time) en una fabrica de
elaboración de helados en Guatemala.

Trabajo de investigación presentado para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química
por
Marcos Alexander Gutiérrez Olivares

Guatemala
2006

Implementación de un sistema de pasteurización continua HTST (High Temperature Short Time) en una fabrica de elaboración de helados en Guatemala.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

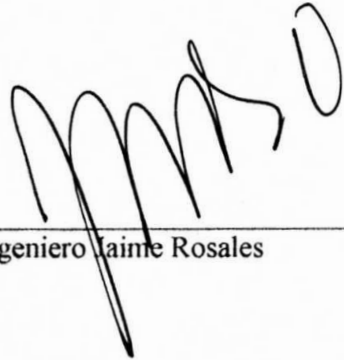
Implementación de un sistema de pasteurización continua HTST (High Temperature Short Time) en una fabrica de elaboración de helados en Guatemala.

Trabajo de investigación presentado para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química por
Marcos Alexander Gutiérrez Olivares

Guatemala
2006

Vo. Bo.:

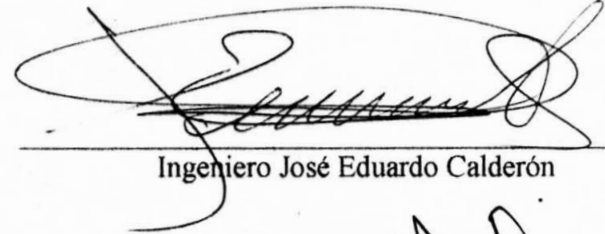
(f)



Ingeniero Jaime Rosales

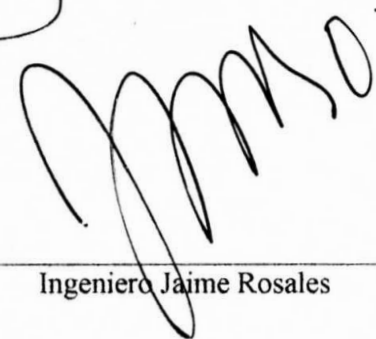
Tribunal:

(f)




Ingeniero José Eduardo Calderón

(f)



Ingeniero Jaime Rosales

(f)



Ingeniero Alejandro Hidalgo

Fecha de Aprobación: 30 de Octubre de 2006

A Dios
A la Vida
A mis Padres y Hermano
A todo lo esencial

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo implementar un sistema de pasteurización continuo (High Temperature Short Time) en una fábrica de elaboración de helados en Guatemala. Para esto, se realizaron estudios sobre el sistema anterior de pasteurización y la implementación del nuevo evaluando los tiempos en que se realiza la pasteurización en ambos casos para una producción de 6624 m³ de mezcla para helado anuales, en el análisis de tiempo entre el sistema de pasteurización continuo y el de lotes, el sistema de pasteurización continuo presentó una eficiencia del 42.10 % por encima de el sistema por lotes.

Se estableció el número de placas necesarias para el proceso de pasteurización, que fue de 57 placas con una caída de presión dentro del intercambiador de calor de placas de 44.95208503 kPa. Además de los datos técnicos, se realizó una estimación de costos de equipo y de los tiempos necesarios para la recuperación de la inversión. Obteniendo que el beneficio económico de la implementación de este sistema de pasteurización en un ahorro de Q 89,700.72 anuales en función de personal no necesitado para el proceso, con un tiempo de recuperación de la inversión de 2.947 años.

Finalmente se concluye que la implementación de un sistema de pasteurización continuo (High Temperature Short Time), es factible técnicamente y económicamente. Considerando las ventajas de control sobre la pasteurización de la mezcla se hace aún más atractivo ya que se puede optar por la certificación de programas como HCCP (Análisis de peligros y puntos críticos de control) posteriormente a esta implementación.

ABSTRACT

The purpose of this document is to implement a high temperature short time system in an ice cream factory in Guatemala. For this purpose, the aforementioned pasteurization system and the implementation of the new system were studied. The pasteurization time in both cases were assessed for an annual production of 6624 m³ of ice cream. In the time analysis between the high temperature short time system and batch system, the high temperature short time had an efficiency of 42.10 %, which is higher than the efficiency of the batch system.

The necessary plate number for the pasteurization process was established in 57 plates, with a pressure drop inside the plate heat exchanger of 44.95208503 kPa. Besides the technical data, an equipment cost estimation and the necessary time to recover the investment were carried out. The implementation of this pasteurization system has become a financial benefit of Q89,700.72 per year due to the unnecessary personnel in the process, with an investment recovering time of 2.947 years.

Finally, it can be concluded that the implementation of a high temperature short time system is technical and financially feasible. This system is even more attractive when taking into account the control advantages over the pasteurization of the mixing, since the process can be eligible to certifications as HCCP (high critical control points), after this implementation.

ÍNDICE GENERAL

	Página
PREFACIO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
A. La pasteurización	2
1. Pasteurización en lotes	3
2. Pasteurización HTST (High Temperature Short Time)	4
a. Diagramas de operación	
3. Eficiencia de la esterilización	7
B. El helado cremoso	8
1. El rol de los componentes de la mezcla para helados	9
2. Propiedades de la mezcla	10
C. Calidad en la elaboración de helados	11
D. Intercambiadores de calor en la industria alimenticia	12
1. Primera ley de la termodinámica	12
2. Balance de energía	14
3. Intercambiadores de placas	15
4. Coeficiente de transferencia de calor	16
5. Intercambiadores de placa	17
III. JUSTIFICACIÓN	19
IV. OBJETIVOS	20
A. Objetivo general	20
B. Objetivos específicos	20
V. PROBLEMA A RESOLVER	21
VI. METODOLOGÍA	22
VII. RESULTADOS	23
VIII. DISCUSIÓN	34

IX. CONCLUSIONES	37
X. RECOMENDACIONES	38
XI. BIBLIOGRAFÍA	39
XII. APÉNDICES	40
Apéndice A: Datos microbiológicos de sistema de pasteurización continuo (HTST)	40
Apéndice B: Datos obtenidos de los cálculos analíticos para dimensionamiento del intercambiador de placas	41
Apéndice C: Cálculo de las dimensiones del intercambiador de placas	43
1. Determinación de las propiedades de flujo y del intercambiador	43
2. Cálculo del número de placas necesarias en el intercambiador	46
3. Cálculo de la caída de presión dentro del intercambiador de calor	47
Apéndice D: Especificaciones de diseño de la maquinaria y equipo utilizados	48
Apéndice E: Evaluación económica realizada	51
Apéndice F: Balances de masa y energía	57
Apéndice G: Análisis de diagramas de operación	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla No. 1 Ventajas y limitaciones de los constituyentes del helado	11
Tabla No. 2 Tolerancias para varios tipos de organismos en un helado ya pasteurizado en base a un sistema de muestreo que consiste en tomar 5 muestras del mismo lote	12
Tabla No. 3 Valores típicos de coeficientes de transmisión de calor	14
Tabla No. 4 Balance de masa del sistema de pasteurización continuo	23
Tabla No. 5 Balance de energía del sistema de pasteurización continuo	23
Tabla No. 6 Tabla de especificaciones del intercambiador de placas	24
Tabla No. 7 Resultados de número de canales y número de placas	24
Tabla No. 8 Resultados obtenidos experimentalmente para el análisis de los beneficios obtenidos con el empleo del sistema de pasteurización continuo, así como para la inversión necesaria en maquinaria y equipo	25
Tabla No. 9 Resultados de análisis de comparación tiempos de pasteurización actual y el continuo	25
Tabla No. 10 Propiedades de flujo de operación de mezcla para helados	41
Tabla No. 11 Temperaturas logarítmicas promedio LMTD	41
Tabla No. 12 Resultados de caída de presión dentro del intercambiador de placas	42

Tabla No. 13	48
Variables de operación y dimensión del intercambiador de placas y tanque de balance	
Tabla No. 14	48
Datos de la homogenizadora	
Tabla No. 15	49
Datos de la bomba utilizada en el sistema de calentamiento y enfriamiento de la mezcla	
Tabla No. 16	51
Costo de equipo	
Tabla No. 17	51
Costo de maquinaria	
Tabla No. 18	52
Flujo de caja de proyecto sin inversión	
Tabla No. 19	53
Flujo de caja de proyecto con inversión	
Tabla No. 20	54
Flujos de caja diferenciales	
Tabla No. 21	55
Estimación de depreciación por periodo de equipo	
Tabla No. 22	55
Estimación de depreciación por periodo de maquinaria	

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica No. 1	56
Tiempo de recuperación de la inversión en función en desempeño anual del proyecto con valores descontados	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura No. 1 Esquema de un tanque con chaqueta de calentamiento. Pasteurizador tipo lotes	4
Figura No. 2 Esquema de la circulación de fluidos en un intercambiador de placas	5
Figura No. 3 Pasteurización en un intercambiador de placas con ciclo de mantenimiento externo y recuperación de calor	6
Figura No. 4 Cambio de presión vinculado con el cambio del volumen específico del fluido	14
Figura No. 5 Temperaturas para a) flujo en contracorriente b) flujo en corrientes paralelas	15
Figura No. 6 Diagrama de flujo del sistema de pasteurización continuo	26
Figura No. 7 Dimensiones del equipo para el sistema de pasteurización continuo (HTST)	27
Figura No. 8 Dimensiones de la tubería de recirculación a tanque de balance	29
Figura No. 9 Distribución del Sistema de Pasteurización Continuo (HTST)	30
Figura No. 10 Diagrama del soporte empleado en el Sistema de Pasteurización Continuo (HTST)	31
Figura No. 11 Dimensiones de las bombas de agua de calentamiento y enfriamiento (correspondientes al modelo 3-150)	32
Figura No. 12 Análisis de tiempos para una el proceso de elaboración de 1.8925 L (½ galón de helado) cremoso vainilla con Pasteurización Continua (HTST)	33
Figura No. 13 Curva de microorganismos sobrevivientes a tratamientos térmicos (pasteurización HTST)	40
Figura No. 14 Correcciones para LMTD para flujo cruzado	42

Figura No. 15	49
Curva de rendimiento de carga – gasto de bombas de agua enfriamiento y calentamiento	
Figura No. 16	49
Curva de rendimiento gasto – B.H.P. de bombas de agua de enfriamiento y calentamiento	
Figura No. 17	50
Gráfica de eficiencia de la bomba vrs. caudal	
Figura No. 18	58
Análisis de tiempos para una el proceso de elaboración de 1.8925 L (½ galón de helado) cremoso vainilla con pasteurización por lotes	

I. INTRODUCCIÓN

Al observar la industria heladera de Guatemala se encuentran grandes expectativas, el Tratado de Libre Comercio y la globalización determinan un panorama de mejoras en la calidad de los productos nacionales y precios competitivos en un mercado abierto, por lo cual es indispensable plantear una alternativa en un sistema de pasteurización que permita aumentar los niveles de producción y productividad de una planta elaboradora de helados.

La pasteurización de la mezcla para helados es un proceso clave en la elaboración de helados, por lo que se realizará un estudio acerca de las ventajas de un sistema de pasteurización continuo sobre un sistema de pasteurización tipo lotes utilizado actualmente en una planta de elaboración de helados en Guatemala. El Sistema de Pasteurización Continuo HTST (High Temperature Short Time) será descrito a manera de encontrar los puntos de vulnerabilidad de este sistema, se describirá su operación y equipo envuelto junto a los accesorios indispensables para su funcionamiento.

Se abordará el proceso de elaboración de helados para lograr especificar los cambios en la calidad del producto final vinculado con la operación del nuevo sistema, así como la variación en el sistema de control en este punto crítico de la planta.

Una vez definidas las variables de proceso por medio del balance de masa y energía se abordará un análisis económico de la operación del nuevo sistema de pasteurización, como el costo del equipo envuelto en esta y su adecuada instalación. Este análisis abarcará el costo de operación del sistema de pasteurización continuo, mantenimiento vinculado y variables que tengan un impacto económico en el proceso.

II. ANTECEDENTES

A. Pasteurización

No obstante que Luís Pasteur es uno de los sabios aludidos más frecuentemente en la discusión de los inicios del proceso que conocemos hoy como pasteurización, de hecho en lo concerniente a los métodos para conservar la seguridad de la leche éstos comenzaron mucho antes de que él iniciara sus experimentos de calentamiento del vino, para conservar su frescura. Tan tempranamente como al inicio de los años 1500's los oficiales austriacos consideraron la leche cruda como un agente epidémico, lo que en mucho condujo al criterio referente a las medidas de seguridad a seguir, en el consumo de la leche.

Sin embargo, no fue sino hasta 1824 que William Dewees recomendó la aplicación del calor a la leche, como un método para su conservación.

Sorpresivamente, antes del reporte oficial emitido por el Sr. Pasteur, 1857, acerca de la fermentación láctica de la leche (agriada y/o cuajada), dicha fermentación indeseable fue notoriamente retrasada mediante la aplicación del calor a la leche; Gail Borden andaba entonces muy atareado en solicitar la patente para la condensación de la leche bajo vacío en 1853. Asimismo, Massachusetts ya había adoptado el programa del control de la leche (1856).

Por tanto, los cambios indeseables en los productos alimenticios se atribuyeron a la presencia de microorganismos en el alimento y al consiguiente hecho de que dichos "gérmenes" pudieran ser controlados mediante la aplicación del calor. (Stogo, 1998, p 16)

Pasteur, conjuntamente con otros científicos reconocidos de su época, como Abraham Jacobi, N.J. Fjord y Albert Fesca, hicieron importantes contribuciones a los diseños del equipo empleado en los sistemas para procesamiento lácteo. Algunos de los equipos iniciales fueron muy burdos, no obstante muchos de ellos fueron los prototipos básicos del equipo que actualmente vemos instalado en una moderna y gran lechería. Es importante hacer notar que los conceptos sobre agitación continua y procesamiento fueron empleados en el sistema Fjords, conocido entonces como el "Pasteurizador Danés".

Nathan Stauss, conocido filántropo, observó en 1893 la ventaja comercial de calentar la leche para alimentación de infantes y posteriormente financió una "cadena" (quizá la primera franquicia láctea) de lo que él llamó "almacenes de leche" en la ciudad de Nueva York. Utilizaba frascos de vidrio pre-esterilizados (método del calor seco) y calentaba la leche a 167 °F durante 20 minutos, la enfriaba y vendía para su consumo.

La pasteurización es un proceso térmico que mata parte, aunque no todas las células vegetativas de los microorganismos en los alimentos y es usada por consecuencia para aquellos alimentos que son procesados nuevamente o que serán guardados bajo condiciones que minimicen el crecimiento microbiano.

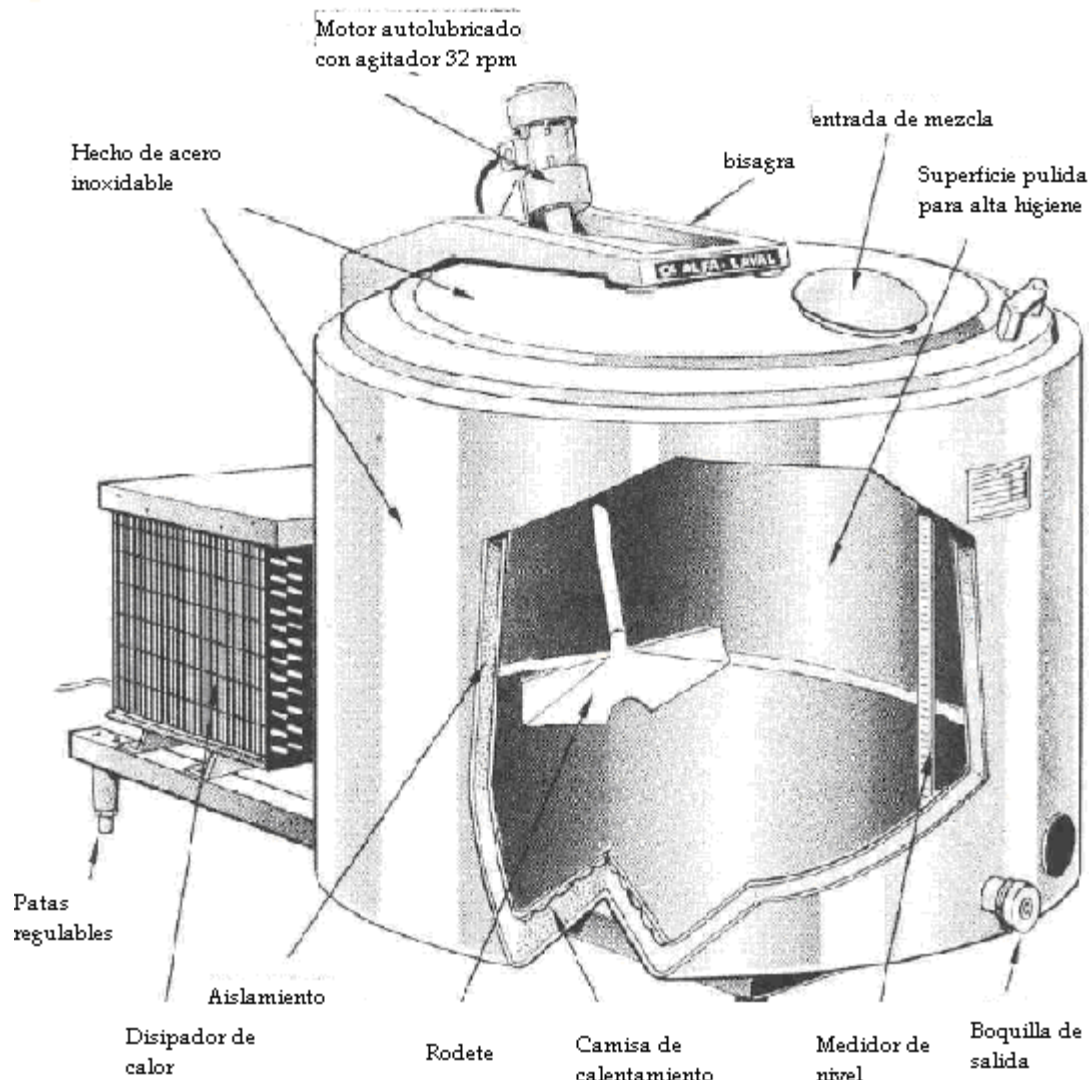
El propósito de la pasteurización, además de la destrucción de patógenos, es extender la vida útil de anaquel del producto, con una mínima alteración en las características físicas y en el aroma, lográndose este objetivo al controlar la temperatura y tiempo al que es expuesto el producto a esta.

Los sistemas para la pasteurización se han tornado más complejos. Los métodos de concentración han evolucionado desde la mitad de los 1850 con el condensador al vacío de G. Borden, hacia los métodos ultramodernos de concentración a través de las micromembranas y sistemas collandria de evaporación, multifásicos, mismos que emplean una alta eficiencia en la recuperación de calor (sistemas de regeneración). (Madrid, 1995, p 75)

1. **Pasteurización en lotes.** El calentamiento de la leche dentro de un recipiente ha sido con mucho uno de los métodos más efectivos para obtener un producto lácteo relativamente libre de microorganismos, así como esperanzadoramente libre de aquellos que sean patógenos.

El producto se calienta en un tanque de acero inoxidable con chaqueta, cuya línea se llena con agua y vapor, además cuenta con termómetros para rastrear y registrar las temperaturas del producto y algún medio de agitación para asegurar la uniformidad en la distribución de la temperatura. Otros requisitos, incluyendo a las válvulas diseñadas adecuadamente, requisitos de tiempo/temperatura y métodos operativos.

Figura No. 1
Esquema de un tanque con chaqueta de calentamiento. Pasteurizador tipo lotes



2. Pasteurización HTST (High Temperature Short Time). Se trabaja con temperaturas altas ($72 - 85\text{ }^{\circ}\text{C}$) y tiempos cortos (entre 15 y 20 segundos). Este tipo de pasteurización es la llevada a cabo en los alimentos líquidos a granel, como la leche, productos lácteos, zumos de frutas, cerveza, vinos.

El instrumento utilizado son los intercambiadores de calor de placas, los cuales constan de tres partes: recuperación de calor, calentamiento y enfriamiento. En la zona de recuperación del calor es el alimento pasteurizado el que cede el calor al mismo a tratar para preenfriarse mientras que el alimento a tratar se precalienta antes de su esterilización.

La pasteurización a alta temperatura es en general más conveniente, ya que es más rápida, los dispositivos son más pequeños, y el consumo energético se reduce. El principal inconveniente es que requiere un control más intenso y que por este motivo las instalaciones son más complicadas y caras.

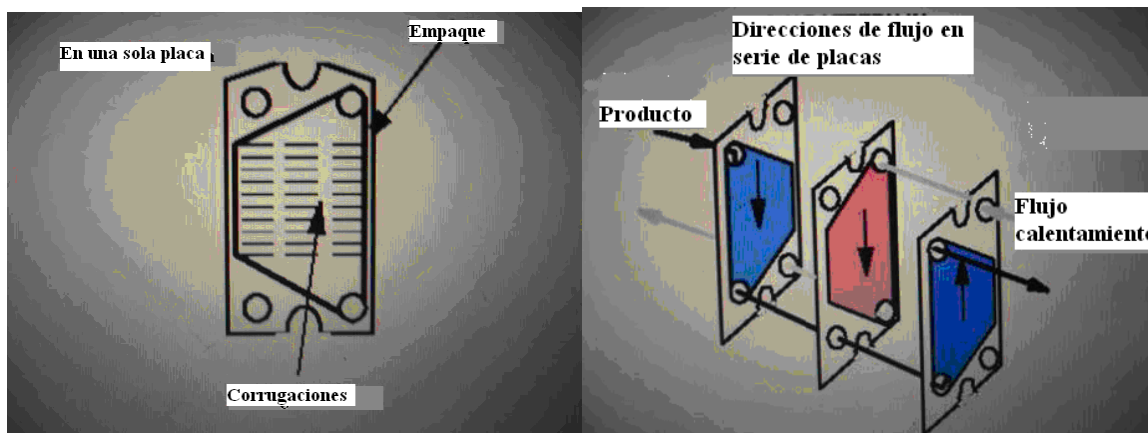
Los sistemas HTST requieren de dispositivos capaces de calentar muy rápidamente como los intercambiadores de placa o de superficie rascada, o los de concha y tubo, varias presentaciones de los intercambiadores de calor.

No obstante el sistema de pasteurización continua HTST no solo consta del intercambiador de placas, otra parte esencial del sistema es el tanque de balance con su sistema de tubería adecuado. En este tanque se recibirá el flujo de la mezcla de entrada al sistema y la mezcla de recirculación en caso de que esta no cumpla con la temperatura establecida en el sistema de control asegurando de manera confiable que la mezcla cumpla con este parámetro.

a. Diagramas de operación

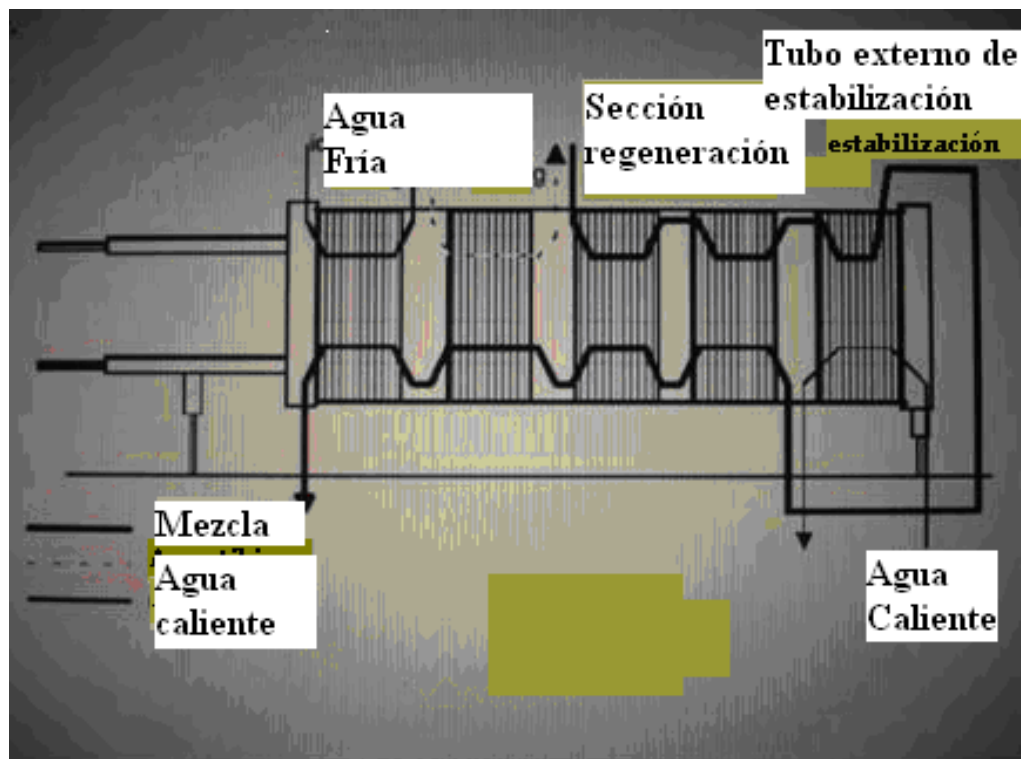
Figura No. 2

Esquema de la circulación de fluidos en un intercambiador de placas



Como se puede apreciar, las placas constan de empaques (gasket) que no permiten que los flujos se contaminen entre sí. Las ondulaciones de la placa están diseñadas para aumentar el área de transferencia de calor. El flujo de ambos fluidos muestra configuraciones en paralelo y en contra corriente dentro del intercambiador de calor. (Ibarz, 2003. p 385)

Figura No. 3
 Pasteurización en un intercambiador de placas
 con ciclo de mantenimiento externo y recuperación de calor



Otros elementos necesarios para el sistema HTST (High Temperature Short Time) son:

Tanque de balance. El tanque de balance (alimentador/recirculador de mezcla), debe de tener las siguientes características para su óptimo desempeño en el sistema:

- Fabricado en acero inoxidable (cuerpo, tapa, boya, pies, etc.)
- Provisto de una tapa de cierre y pies regulables
- Una capacidad de 50 a 250 litros.

(Stogo, 1998, p 49)

Bomba de impulsión de mezcla. Dimensionada adecuadamente para brindar un flujo continuo, deberá ser centrífuga.

Válvula de recirculación. Válvula especializada que cambia la dirección del flujo de la mezcla.

Equipo de calentamiento. Este esta ligado a el intercambiador de calor, este modificará la temperatura del flujo de la fase de calentamiento según sea necesario.

Panel y elementos de control. Vigilaran la temperatura determinada como parámetro de cambio dentro del sistema.

Tubería y accesorios de unión entre los componentes del sistema. Se diseñaran a manera de evitar pérdidas por fricción. (Madrid, 1995, p 75)

3. Eficiencia de la esterilización. Cuando los microorganismos y/o las esporas de bacterias son sometidos a un tratamiento térmico o cualquier otra clase de procedimiento esterilizante / desinfectante, no todos los microorganismos mueren a la vez. En vez de esto, una cierta proporción es destruida en un período de tiempo dado mientras que el resto sobrevive. Si los microorganismos sobrevivientes son una vez más sujetos al mismo tratamiento por el mismo período de tiempo, una proporción igual de éstos serán destruidos, y así sucesivamente. En otras palabras, una dada exposición a agentes esterilizantes o desinfectantes siempre elimina la misma proporción del recuento inicial de cada etapa, con lo cual la cinética de la muerte térmica, en condiciones isotérmicas, es claramente de primer orden. El efecto letal de la esterilización en los microorganismos puede entonces ser expresado matemáticamente como la siguiente función logarítmica:

$$k \times t = \log N_t/N^{\circ}$$

donde:

N° = número de microorganismos (esporas) originalmente presentes (recuento inicial)

N_t = número de microorganismos (esporas) presentes luego de un tiempo dado de tratamiento (t)

k = constante específica de la reacción de muerte térmica (L/s)

t = tiempo de tratamiento (s)

(Cambiano, 2000)

B. El helado cremoso

La historia de cuándo precisamente y dónde se originó a lo que llamamos helado es algo muy difícil de determinar. Se dice que los romanos usaban nieve y hielo saborizados como bebidas y comida, y que Marco Polo trajo de sus viajes al Oriente una receta de hielo con una antigüedad de 1000 años. Pero la mejor de las conjeturas se basa en que se originó en 1500 – 1600 en Europa. Un manuscrito anónimo de 1700 llamado *L' Art de Faire des Glaces* (El arte de hacer helados), es el primer manuscrito acerca de la preparación de helado descubierto. (Stogo, 1998, p 86)

El helado cremoso es un alimento diario congelado, éste se produce al congelar una mezcla pasteurizada de diversos ingredientes (leche, agua, azúcar, nata, mantequilla, cacao, etc.) que es congelada y batida simultáneamente para la incorporación de aire logrando un producto uniforme y consistente. (Arbuckle, 1986, p 10)

La composición del helado cremoso varía en diferentes mercados y diferentes lugares. La composición de un buen helado cremoso promedio es de 12 % grasa, 11 % sólidos lácteos no grasos, 15 % azúcar, 0.3 % de estabilizador y emulsificador combinados, con un 38.3 % de sólidos totales. Aunque los rangos son amplios variando de un 8 % – 20% de sólidos lácteos no grasos, 8 % – 15 % azúcar, 0 % – 0.7 % emulsificador-estabilizador y 36 % – 43 % de sólidos totales.

La estructura del helado cremoso es un sistema fisicoquímico muy complicado. Celdas de aire se encuentran dispersas en una fase líquida continua que contiene cristales de hielo en crecimiento. La fase líquida contiene glóbulos de grasa solidificados, proteínas lácteas, sales insolubles, en algunos casos cristales de lactosa, estabilizadores en una dimensión coloidal, y azúcares con sales solubles en solución. El producto final consiste en un líquido, aire y sólidos, constituyendo un sistema de tres fases. El helado cremoso es un alimento nutritivo, saludable y relativamente económico. La producción de helados se ha incrementado muy rápidamente en años recientes en muchos países alrededor del mundo. (Arbuckle, 1986, p 37)

1. La función de los componentes de la mezcla para helados. Para el desarrollo de la formulación que satisfaga todas las necesidades de cualquier situación particular, deberán considerarse numerosos factores. Entre ellas se encuentra el costo, propiedades de manipulación de la mezcla (viscosidad, punto de congelamiento, porcentaje de aire en la mezcla), color, cuerpo y textura, y palatabilidad del producto terminado.

Un gran número de ingredientes para helado se encuentran accesibles, incluyendo de varias fuentes. Estos ingredientes pueden agruparse como ingredientes de consumo diario e ingredientes de no consumo diario. Los ingredientes de consumo diario son los más importantes como parte de ingredientes de la grasa y sólidos lácticos no grasos, los cuales tienen roles esenciales en la calidad del helado. Los ingredientes de consumo no diario son productos como los sólidos edulcorantes, estabilizadores y emulsificadores, productos de huevo y saborizantes. (Arbuckle, 1986, p 56)

El rol de la grasa como constituyente del helado ha sido revisado por varios investigadores. El uso de porcentajes adecuados es vitalmente esencial, no solo para el balance apropiado de la mezcla, sino que también para satisfacer estándares legales. La mejor grasa se obtiene de la crema fresca. Otras fuentes de grasas son la mantequilla, aceite de mantequilla, crema congelada, etc. Varios investigadores concluyen que este componente influye directamente en la calidad del sabor, ya que absorbe los sabores y los acarrea con facilidad, manifiesta en el helado propiedades al tacto deseadas en el helado.

Los sólidos lácteos no grasos consisten en proteína (36.7 %), lactosa (55.5 %) y minerales (7.8 %). Tiene un valor nutritivo muy alto, es de costo elevado, no poseen mucha influencia en la calidad del sabor pero afianzan completamente la palatabilidad del producto terminado.

Los edulcorantes son usados para dar al sabor un dulzor. Los edulcorantes para helado pueden ser solo sucrosa o sucrosa en combinación con derivados de maíz. El azúcar puede ser usada en forma sólida o líquida. La función principal del azúcar es incrementar la aceptación del producto terminado al público, no sólo por hacer dulce el helado sino por acentuar los sabores de la crema y frutas.

Los estabilizadores son usados para prevenir la formación de cristales de hielo grandes dentro del helado, aumentar la resistencia al derretido y son usados en cantidades tan pequeñas para no tener un efecto negativo en el sabor y textura del helado. Todos los estabilizadores tienen una capacidad muy alta de retención de agua, lo cual resulta muy efectivo brindando cuerpo y textura al producto final. Normalmente es usado en un rango de 0.2 % – 0.3 %.

Los emulsificadores son utilizados en la fabricación de helados para producir un producto terminado con suave textura y cuerpo firme, para dar uniformidad al producto. Su uso de los emulsificadores da como resultado celdas de aire más pequeñas y mejor distribuidas. (Arbuckle, 1986, p 61)

Los sólidos totales reemplazan al agua dentro de la mezcla, por esta razón incrementan el valor nutritivo y viscosidad de ésta, claro que también afectan el cuerpo y la textura. El aire y el agua son constituyentes no menos importantes en el helado. El agua es la fase continua, la cual está presente como líquido, como sólido, o como una mezcla de dos estados físicos. El aire está disperso dentro de una emulsión grasa – agua, la cual está compuesta por agua estado líquido, cristales de hielo, y glóbulos solidificados de grasa.

En la manufactura de helado, el overrun (incorporación de aire), incrementa el volumen de helado en virtud a la mezcla suministrada varias veces hasta el doble de su volumen original. Esta incorporación de aire se encuentra comúnmente en la fase final de producción y se lleva a cabo por medio de una batidora para helados.

2. Propiedades de la mezcla. La mezcla para helado representa un sistema coloidal muy complejo. Siendo incluso varias propiedades no completamente investigadas hasta nuestros días. La mezcla se trabaja con sustancias en solución (como lo son los azúcares y lactosa), así como otras en una suspensión coloidal (proteínas, estabilizadores, edulcorantes insolubles), y otras como una dispersión en todo el sistema (glóbulos de grasa).

Las sustancias en la suspensión coloidal típicamente se mantienen atraídas ya que sienten atracciones mutuas que los mantienen juntos debido a que presentan cargas eléctricas opuestas a las del solvente. Entre estas cargas eléctricas hay igualmente fuerzas de repulsión que ayudan a mantener la suspensión como si. En caso de no existir este tipo de cargas eléctricas la poca afinidad de algunas partículas por el agua ocasionaría precipitación de estas. Comúnmente estas suspensiones son llamadas coloides hidrofóbicos.

Las suspensiones coloidales son sensibles a pequeños cambios en las concentraciones que las forman, teniendo variaciones ligadas directamente al producto final dependiendo del ingrediente y su porcentaje de utilización en la mezcla.

Tabla No. 1
Ventajas y limitaciones de los constituyentes del helado

Ingrediente	Ventajas	Limitaciones
Grasa butírica	Incrementa el sabor de la mezcla	Costo
	Produce una textura suave	Altos niveles hacen pesado el producto
	Responsable del cuerpo del helado	Altos niveles calóricos
Sólidos Lácteos no grasos	Mejora la textura	Alteran sabores (cocinado)
	Cuerpo del helado	
	Permite la incorporación de mas aire sin cambios a la textura	
	Costo bajo como fuente de sólidos	
Estabilizadores	Suavizadores efectivos de la textura	Exceso de cuerpo
	Muy efectivos dando cuerpo al producto	Resistencia al derretido
Sólidos totales	Textura suave	Costo
	Mejor cuerpo en producto	Cuerpo pastoso en altos porcentajes
	Mas nutritivo	
	Helado cremoso	
Sabor	Hace agradable el producto final	Intensos, hacen no deseable el producto
Color	Mejora el atractivo del producto	Pueden influir mucho en la apreciación del producto

Describir la naturaleza de la mezcla para helado como uno emulsión de aceite en agua es de lo más acertado; la fase dispersa corresponde a la grasa de la leche, mientras que la fase continua son sólidos disueltos en agua constituida de caseína, calcio, proteínas, carbohidratos y minerales. Las propiedades de importancia práctica dentro de la producción de helados cremosos no varían dentro del ambiente de las plantas productoras de helados cremosos. Estas son la estabilidad del producto, la densidad, acidez, la tensión superficial, la viscosidad y el punto de congelamiento.

C. Calidad en la elaboración de helados

Al definir la calidad dentro de la elaboración hay muchos parámetros que deben tomarse en cuenta, esto debido a la complejidad del producto final basado en partes del proceso que las determinan.

Todos sabemos que los helados pueden ser un caldo de cultivo de los microorganismos patógenos (perjudiciales a la salud) y pueden dar lugar a intoxicaciones de los consumidores. Consciente de ello, la legislación actual exige al heladero una calidad microbiológica en sus productos para evitar problemas al consumidor. Es por ello preciso que los heladeros tengan unas nociones básicas sobre microbiología, tipos

de microbios de actividad beneficiosa y perjudicial, condiciones en que se desarrollan, técnicas para controlarlos, métodos de análisis, etc.

Como tolerancia microbiológica se entiende el número máximo de cada tipo de microorganismo aceptable en la muestra, pasado el cual se considera que el producto original no es apto para el consumo humano y debe de rechazarse. Según el tipo de microorganismo se establecen unas tolerancias distintas.

Tabla No. 2
Tolerancias para varios tipos de organismos en un helado ya pasteurizado
con base a un sistema de muestreo que consiste en tomar 5 muestras del mismo lote

Tipos de microorganismos	Pasteurizados			
	N	c	m	M
Aerobios mesofilos/ g	5	2	100,000	300,000
Enterobacteriaceae lactosa positiva/ g	5	2	100	200
Escherichia coli/ g	5	2	0	5
Sataphylococcus aureus/ g	5	1	10	100
Salmonella/ 25 g	5	0	0	0
Shigella/ 25 g	5	0	0	0

n = número de muestras a tomar de un mismo lote

c = número de muestras que pueden rebasar el valor m sin sobrepasar M

m = tolerancia microbiológica que no puede sobrepasar ninguna de las n-c muestras

M = tolerancia microbiológica que no puede sobrepasar ninguna de las c muestras

En los helados hay otros parámetros de calidad en la mezcla para su elaboración, se evalúa la densidad (de 8.90 a 9.08 lb/gal), color, acidez, viscosidad, cuyos parámetros varían en función a la calidad de producto final y del heladero. En cuanto a la microbiología se mantiene vigente para las industrias heladeras ya que esta ligada con la salud del consumidor. (Madrid, 1995, p 125)

D. Intercambiadores de calor en la industria alimenticia

Los intercambiadores de calor son muy utilizados en la industria para el calentamiento o enfriamiento de fluidos. Los más utilizados por en la industria alimenticia para fluidos de moderada viscosidad.

1. Primera Ley de la Termodinámica. La capacidad calorífica C de un cuerpo es la relación de la cantidad de calor ΔQ que se debe aplicar al cuerpo para producir un cambio de temperatura ΔT ,

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (1)$$

La capacidad calorífica se refiere a la cantidad de calor agregada por unidad de elevación de temperatura, no a la cantidad de calor que puede contener un cuerpo.

La capacidad calorífica por unidad de masa se llama calor específico c y es característica del material de que está compuesto un cuerpo.

$$c = \frac{C}{m} = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \quad (2)$$

Ni la capacidad calorífica de un cuerpo ni el calor específico de un material son constantes, dependen de la situación del intervalo de temperaturas, por lo tanto esta expresión no define el calor específico en forma única; es necesario especificar las condiciones bajo las cuales se agrega calor. Hay muchas maneras de agregar calor y en general cada una de ellas conduce a un valor diferente de c . Para obtener un valor único de c se deben especificar entonces las condiciones, como el calor específico a volumen constante c_v , el calor específico a presión constante c_p , etc.

Por definición el calor específico a volumen constante c_v y el calor específico a presión constante son:

$$C_p = \frac{\Delta Q}{\mu\Delta T} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{\Delta Q}{\mu\Delta T} \quad (4)$$

donde μ es la *masa en moles*.

(Smith, 2003, 22 p)

En el caso de un gas en un cilindro cerrado que permite el intercambio de calor y con un pistón móvil en uno de sus extremos, cuyas condiciones iniciales son una presión (p_i) y un volumen (v_i), llevado a un estado final p_f y v_f , debido a dilatación o contracción del gas, se tiene que el trabajo realizado sobre el pistón por el gas, en este caso, dilatándose a lo largo de una distancia Δs es

$$\Delta W = F\Delta s = P\Delta s = P\Delta V \quad (5)$$

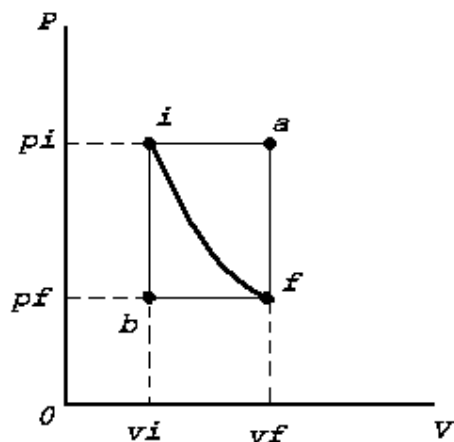
(Nota: Por convención se considera que el trabajo efectuado por el sistema, en este caso el gas, sobre el exterior, en este caso el pistón, es negativo. Correspondientemente el trabajo efectuado por el exterior sobre el sistema es positivo).

Dado que la presión no es constante durante el desplazamiento, se debe conocer la forma en que p varía durante el desplazamiento a fin de obtener el trabajo total efectuado sobre el pistón, *i.e.*

$$W = \int_i^{v_f} p dV \quad (6)$$

Figura No. 4

Cambio de presión vinculado con el cambio del volumen específico del fluido



(Smith, 2003, 40 p)

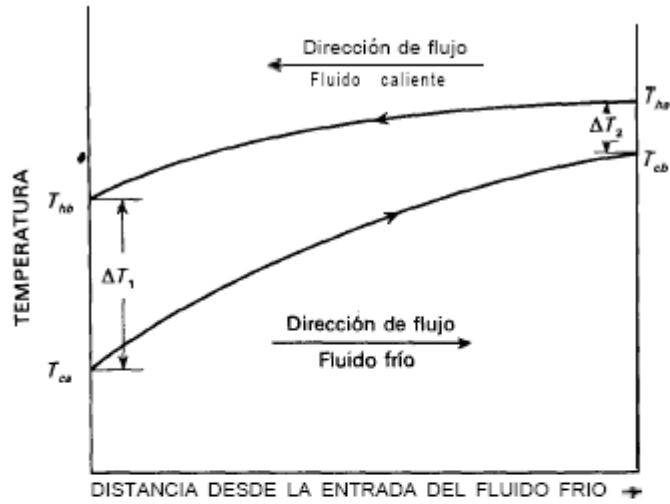
Existen muchas maneras de ir del estado i al estado final f . Por ejemplo se puede mantener p constante y variar el volumen para ir de i a a y después conservar v constante y variar p para llegar de a a f ; o bien variar p y mantener v constante para llegar de i a b y luego mantener constante p y variar v para llegar de b a f . Otro camino posible es de i a f .

2. Balance de energía. El tratamiento cuantitativo de los problemas de transmisión de calor se basa en balances de energía y en estimaciones de las velocidades de transmisión de calor, que se consideran más adelante en este capítulo. Muchos (tal vez la mayoría) de los aparatos de transmisión de calor operan en condiciones de estado estacionario, y aquí solamente se considera este tipo de operación.

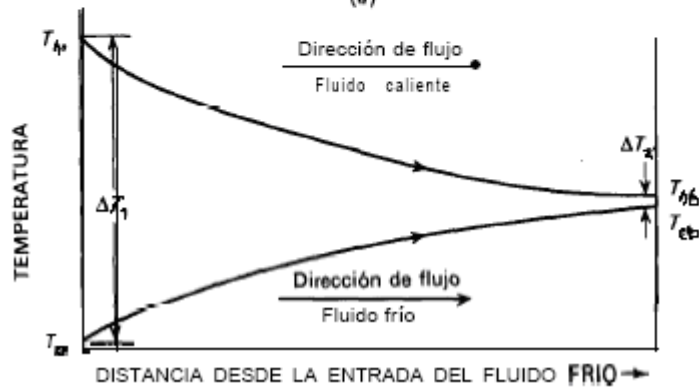
a. Balances de entalpía en cambiadores de calor. En cambiadores de calor no hay trabajo de árbol y, además, las energías mecánica, potencial y cinética, son pequeñas en comparación con los demás términos de la ecuación del balance de energía. Por tanto, para una corriente que circula a través de un intercambiador

Figura No. 5

Temperaturas para a) flujo en contracorriente b) flujo en corrientes paralelas



(a)



(b)

(McCabe, 1999, 323 p)

$$\dot{m}(H_b - H_a) = q \quad (7)$$

donde:

\dot{m} : flujo másico

H_b, H_a : entalpía por la unidad de masa del fluido en la entrada y salida

q : velocidad de transferencia de calor en el fluido

Si se admite que los calores específicos son constantes, el balance global de entalpía para un cambiador de calor se transforma en:

$$\dot{m}_h c_{ph} (T_{ha} - T_{hb}) = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cb} - T_{ca}) = q \quad (8)$$

donde:

C_{pc} , C_{ph} : capacidades caloríficas específicas de los fluidos

3. Coeficiente de transferencia de calor. Coeficiente global. Aunque la elección del área a utilizar como base de un coeficiente global es arbitraria, a veces resulta más conveniente un área que otras. Supóngase, por ejemplo, que un coeficiente individual, h_i , es numéricamente grande en comparación con el otro, h_o , y que los efectos de ensuciamiento son despreciables. Además, suponiendo que el término representativo de la resistencia de la pared metálica es pequeño en comparación con $1/h_o$, las relaciones D_o/D_i y D_o/D_L , tienen tan poca importancia que pueden despreciarse.

$$U_o = \frac{1}{1/h_o + x_w/k_m + 1/h_i} \quad (9)$$

Los intervalos de los valores del coeficiente h varían mucho, dependiente del carácter del proceso.

Tabla No. 3
Valores típicos de coeficientes de transmisión de calor

Tipo de procesos	Intervalo de valores de h	
	Btu/pie ² -h-°F	W/m ² -°C
Vapor de agua (condensación en gotas)	5000-20000	30000-100000
Vapor de agua (condensación en película)	1000-3000	6000-20000
Ebullición de agua	300-9000	1700-50000
Condensación de vapores orgánicos	200-400	1000-2000
Agua (calentamiento o enfriamiento)	50-3000	300-20000
Acetes (calentamiento o enfriamiento)	10-300	50-1500
Vapor de agua (sobrecalentamiento)	5-20	30-100
Aire (calentamiento o enfriamiento)	42-10	1-50

La ventaja de utilizar un coeficiente efectivo para la transmisión interna de calor consiste en que el efecto de la resistencia interna se tiene fácilmente en cuenta utilizando un coeficiente global. Así, para una esfera que se calienta con aire a la temperatura T_h ,

$$q = UA(T_h - \bar{T}_b) \quad (10)$$

donde:

$$A = 4\pi r_m^2$$

$$U = (1/h_o) + (r_m/5k)$$

(McCabe, 1991, 325 p)

Para los cálculos de transferencia de calor es necesario el determinar la temperatura media logarítmica, cuya formula es la siguiente:

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln [(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})]} \quad (11)$$

Esta diferencia de temperaturas recibe el nombre de diferencia de temperaturas media logarítmica (LMTD). Dicho en palabras, es la diferencia de temperaturas en un extremo del cambiador, menos la diferencia de temperaturas en el otro extremo del cambiador, dividido entre el logaritmo neperiano del cociente de estas dos diferencias de temperaturas.

La obtención de la LMTD anterior implica dos hipótesis importantes: (1) los calores específicos de los fluidos no varían con la temperatura, y (2) los coeficientes de transferencia de calor por convección se mantienen constantes al atravesar el cambiador de calor. Generalmente, la segunda hipótesis es la más restrictiva debido a los efectos de entrada (debidos a la no uniformidad de la corriente), los cambios de viscosidad y de conductividad térmica del fluido, etc.

Cuando hay tipos de flujo diferentes de los de paralelo o contracorriente, es costumbre definir un factor de corrección F_G , determinado de tal forma que cuando se multiplica por la LMTD para el flujo en contracorriente, el producto corresponde a la verdadera caída media de temperatura.

Cuyo valor adimensional Z corresponde a cada línea dentro de las curvas:

$$Z = \frac{T_{ha} - T_{hb}}{T_{cb} - T_{ca}} \quad (12)$$

4. Intercambiadores de placas. Los intercambiadores de calor de placas consisten en un bastidor rígido y una placa de presión con unas barras (superior e inferior) sobre las que se sujetan las placas. Cada placa se cuelga mediante un dispositivo especial de la barra superior, mientras que la inferior sirve únicamente de guía. El paquete de placas esta comprimido entre el bastidor (placa fija) y la placa de presión (placa móvil). Las placas son corrugadas, a fin de obtener la máxima transmisión de calor y también para que sean más rígidas.

El intercambiador de calor de placas es por su construcción muy fácil de desmontar para su inspección y limpieza. También puede ampliarse o adaptarse para diferentes tareas sin dificultad.

(Madrid, 1995, p 203)

Para la transmisión de calor entre fluidos a presiones bajas y moderadas, inferiores a unos 20 atm, los cambiadores de tipo placa son competitivos con los de carcasa y tubos, especialmente cuando se requieren materiales resistentes a la corrosión. Las placas metálicas, generalmente con superficies acanaladas, se disponen sobre un bastidor; el fluido caliente pasa entre parejas alternativas de placas intercambiando calor con el fluido frío en los espacios adyacentes.

Las placas están separadas entre sí unos 5 mm. Pueden separarse fácilmente para su limpieza, así como aumentar la superficie simplemente adicionando más placas. Contrariamente al caso de cambiadores de carcasa y tubos, los cambiadores de placas pueden utilizarse para servicios múltiples. La máxima temperatura de operación es del orden de 150 °C, y las máximas superficies de transmisión de calor son de unos 5000 pies². Los cambiadores de placas son relativamente eficaces con fluidos viscosos, para viscosidades de hasta 300 P.

(McCabe, 1991, 455 p)

Los cálculos del número de placas se basa primordialmente en el cálculo del área de transferencia de calor necesaria y la división de esta cuando ya esta corregida por el factor de corrección f (figura No. 14):

$$Q = U A_t (\Delta T_m) f \quad (13)$$

de donde el área total se encuentra a partir de:

$$A_t = N \times A_f \quad (14)$$

donde A_t = área total del intercambiador de calor

N = número de canales

A_f = área con corrección

(Ibarz, 2003. p 401)

La caída de presión dentro de estos intercambiadores esta dada por la ecuación de Fanning con el factor de fricción siguiente:

$$f = 2.5 \text{Re}^{-0.3} \quad (15)$$

Relación entre los parámetros de fricción superficial. Las cuatro magnitudes más frecuentes que se emplean para medir la fricción de superficie en tuberías, h_f , Δp , τ_w y f . Siendo para la última la ecuación de:

$$f = \frac{\Delta p_s g_c D}{2 \Delta L \rho V^2} \quad (16)$$

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, Guatemala enfrenta ambientes de libre competencia, globalización, disminución de costos, ciclos de tiempo y otras variables e indicadores que miden la rentabilidad y productividad de las actividades en la industria guatemalteca. Es de vital importancia poseer una cultura de mejora continua en todos los procesos, establecer modificaciones en estos para bajar costos logrando una mayor eficiencia en planta.

La implementación de un sistema de pasteurización continuo en una planta de elaboración de helados hace factible reducir tanto costo como el tiempo de la obtención de la mezcla, materia prima para la elaboración de helado.

Otro aspecto muy importante a tomar en cuenta es su funcionalidad en el control microbiológico y un mejor control en la temperatura de la mezcla. Se necesita de este tratamiento para destruir las formas vegetativas de algunas bacterias patógenas (que causan enfermedades) y se debe tener el control de temperatura ya que este se vera reflejado en las propiedades organolépticas y textura del producto terminado.

Con el desarrollo de la planta de elaboración de helados por medio de la implementación de la pasteurización continua, se establecerán pilares enfocados en la mejora del proceso buscando una posible automatización para el proceso en el futuro. La implementación de este sistema de pasteurización incluso establecerá bases firmes para programas de calidad como el HCCP (Análisis de peligros y puntos críticos de control), tomando en cuenta que en toda planta procesadora de productos lácteos la pasteurización es un punto crítico de control.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Dar a conocer las ventajas de la implementación de un sistema de pasteurización continua HTST (High Temperature Short Time) en una fábrica de elaboración de helados, sus ventajas operativas e influencia en la calidad de los productos elaborados en planta.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el sistema de pasteurización continua HTST (High Temperature Short Time)
2. Desarrollar el balance de masa y energía para el sistema de pasteurización continuo HTST (High Temperature Short Time)
3. Desarrollar del diagrama de flujo del sistema de pasteurización continuo HTST (High Temperature Short Time)
4. Análisis de ventajas operativas del sistema de pasteurización continua HTST (High Temperature Short Time)
5. Análisis económico de la implementación del sistema de pasteurización continua HTST (High Temperature Short Time)

V. PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente en una planta de elaboración de helados en Guatemala, se tienen altos costos de operación, esto es debido a un sistema de pasteurización tipo lote con el cual se tienen índices de merma altos y una nula automatización en este proceso. Por ello, no se alcanzan los niveles de producción establecidos por las proyecciones de ventas, ni una estandarización en el producto final.

VI. METODOLOGÍA

A. Estudio del sistema de pasteurización continua HTST

Esto se refiere a estudiar los parámetros a alcanzar a través de la pasteurización continua HTST (High Temperatura Short Time).

B. Evaluación de métodos

Se evaluarán los diversos métodos de pasteurización para determinar el adecuado para el proceso llevado a cabo en una planta de elaboración de helados.

C. Desarrollo de balance de masa y energía

Se determinará las limitaciones del sistema y los flujos de operación del equipo

D. Elaboración del diagrama de flujo del sistema de pasteurización continua HTST

Esquema del sistema en operación.

E. Análisis de ventajas operativas

Descripción de limitaciones del equipo. Comparación con otros sistemas de pasteurización.

F. Dimensionamiento del equipo

Se llevará a cabo el análisis del equipo necesario para llevar a cabo el método de pasteurización elegido.

G. Análisis económico

Se costeará el equipo con sus diversos accesorios necesarios para el funcionamiento óptimo del sistema, así como el sistema de control de temperaturas que se acondicionará al mismo.

VII. RESULTADOS

Tabla No. 4 Balance de masa del sistema de pasteurización continuo

	Velocidad de flujo de masa entrada (kg/s)	Velocidad de flujo de masa salida (kg/s)	Pérdidas (kg/s)
Sección de calentamiento			
Mezcla	0.570076	0.570076	0
Agua caliente	0.58717828	0.570076	0.01710228
Sección regeneración			
Mezcla	0.570076	0.570076	0
Mezcla retorno	0.570076	0.570076	0
Sección enfriamiento			
Mezcla	0.570076	0.570076	0
Agua fría	0.58717828	0.570076	0.01710228

Tabla No. 5 Balance de energía del sistema de pasteurización continuo

	Velocidad de flujo de energía entrada (J/s)	Velocidad de flujo de energía salida (J/s)	Transferencia ideal (J/s)
Sección de calentamiento			
Agua caliente	214667.8186	155037.869	-59629.9496
Mezcla	148228.248	196242.1641	48013.91616
Sección regeneración			
Mezcla	209324.9751	170076.5422	-39248.43283
Mezcla retorno	143910.9204	156993.7313	13082.81094
Sección enfriamiento			
Mezcla	170076.5422	10466.24875	-159610.2935
Agua fría	5390.118108	75880.30346	70490.18536

Tabla No. 6: Tabla de especificaciones del intercambiador de placas

Material	Acero inoxidable	307
k_m	16.3	W/m K
espesor placa	0.0007	m
h_{pared}	23285.71429	W/m ² K
1/U	0.000305282	m ² K / W
U	3275.660998	W/m ² K
espacio entre placas	0.003	m
Ancho de placa	0.32	m
Alto de placa	0.998	m

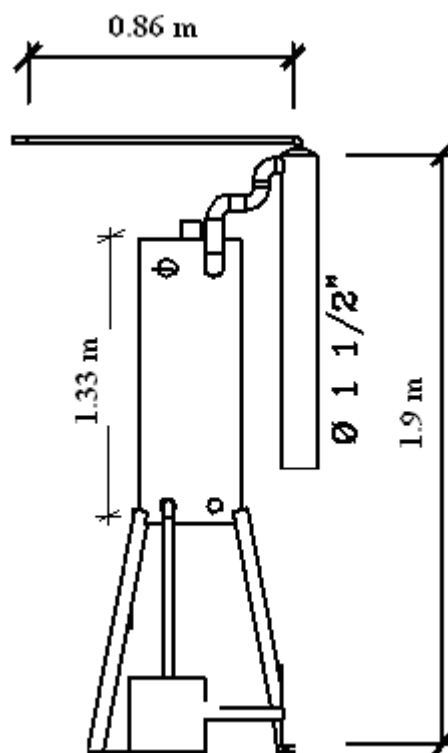


Tabla No. 7: Resultados de número de canales y número de placas

Calentamiento		Regeneración		Enfriamiento	
No. canales	5.47	No. canales	8.83	No. canales	12.49
No. canales totales	10.93	No. canales totales	17.67	No. canales totales	24.99
No. platos	11.93	No. platos	18.67	No. platos	25.99
No. total de placas		57			

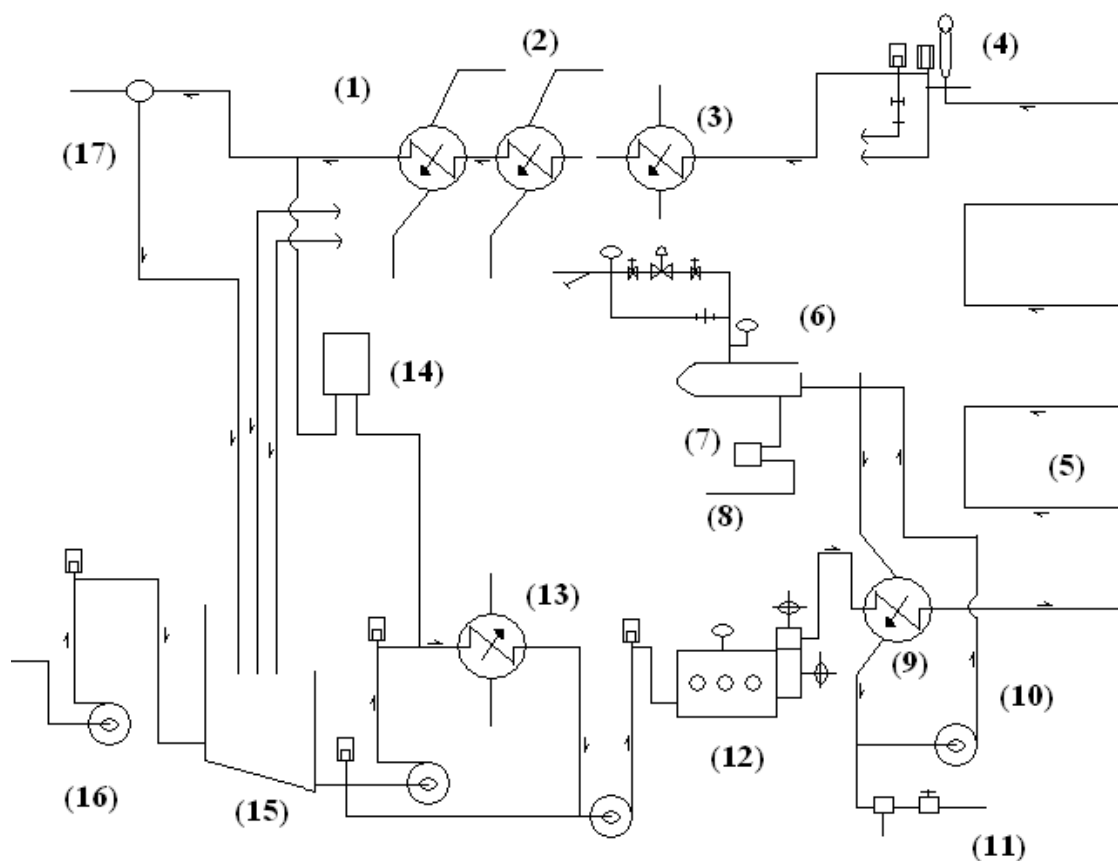
Tabla No. 8: Resultados obtenidos experimentalmente para el análisis de los beneficios obtenidos con el empleo del sistema de pasteurización continuo, así como para la inversión necesaria en maquinaria y equipo

Costo del intercambiador de calor	Costo del tanque de balance	Costo de equipo de control	Inversión total necesaria en maquinaria y equipo
Q 51,332.44	Q 12,450.00	Q 95,560.00	Q 207,929.44
Total de beneficios económicos anuales	Tiempo estimado de recuperación de la inversión (años)	Tiempo estimado de recuperación de la inversión (meses)	
Q 89,700.72	2.947	35.367	

Tabla No. 9 Resultados de análisis de comparación tiempos de pasteurización actual y el continuo

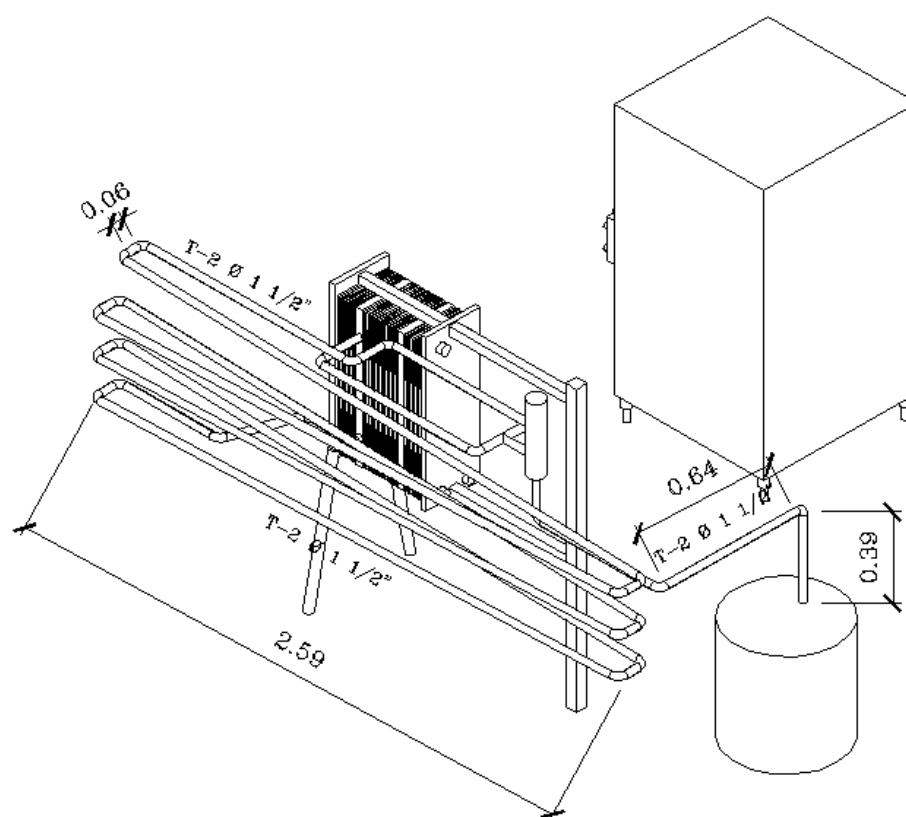
	Pasteurización por lotes	Pasteurización continua (HTST)
Tiempo de pasteurización (min)	30	0
Tiempo de traslado (min)	160	80
Distancia Traslado (m)	10	10
Total tiempo de operación (min)	190	80
Total distancia (m)	10	10
% eficiencia mayor a pasteurización por lotes		42.10%

Figura No. 6: Diagrama de flujo del sistema de pasteurización continuo



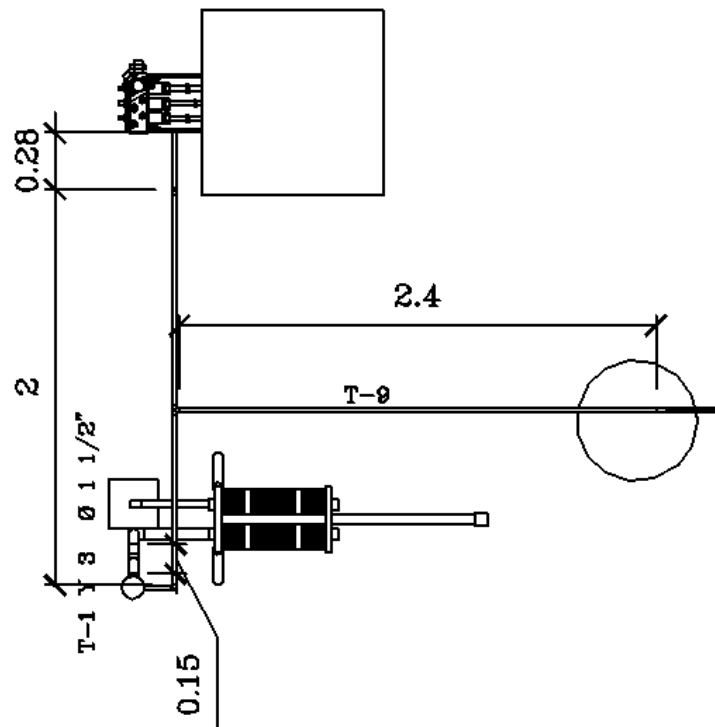
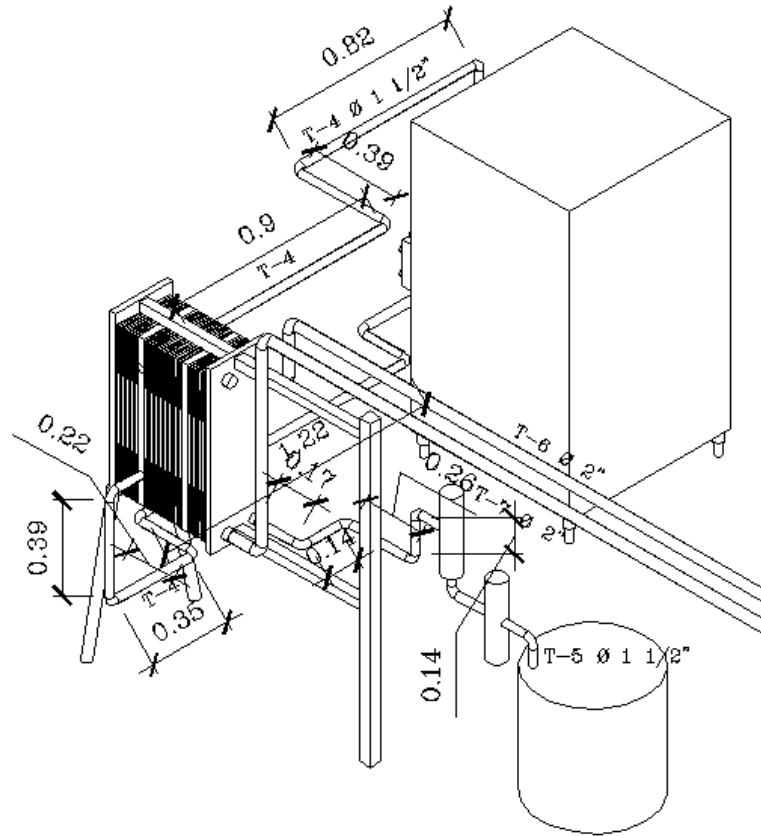
- | | |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| (1) Entrada de agua fría | (11) Control de flujo de agua caliente |
| (2) Salida de agua fría | (12) Homogenizadora |
| (3) Sección regeneración enfriamiento | (13) Sección regeneración calentamiento |
| (4) Sistema de recirculación | (14) Registro de temperaturas |
| (5) Tubo de estabilización | (15) Tanque de balance |
| (6) Válvula reguladora de vapor | (16) Bomba de entrada de mezcla al sistema |
| (7) Trampa de vapor | (17) Tubería de circulación de la mezcla rechazada |
| (8) Tanque de recuperación de condensados | |
| (9) Sección de calentamiento | |
| (10) Agua caliente | |

Figura No. 7: Dimensiones del equipo para el sistema de pasteurización continuo (HTST)



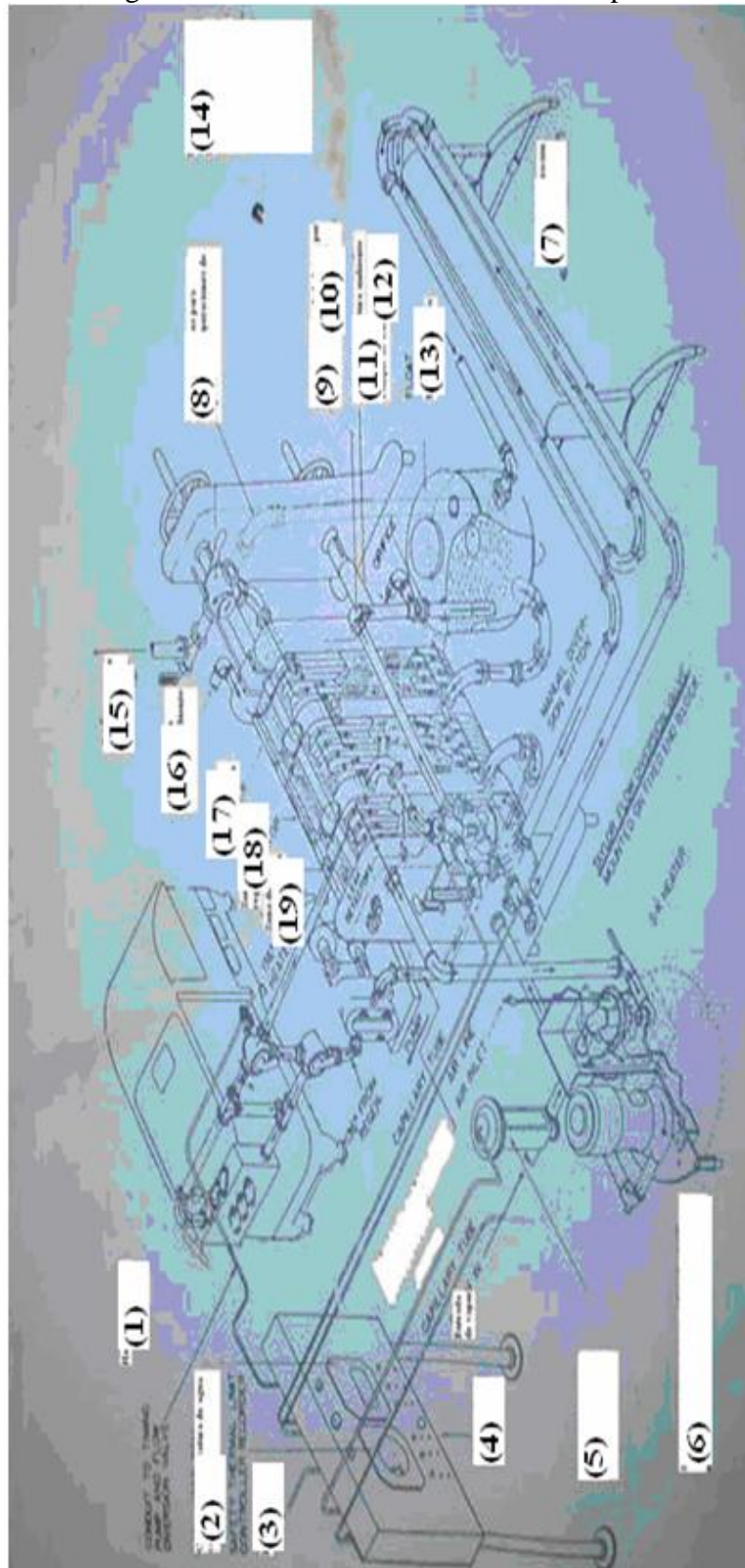
(Las dimensiones de las tuberías se encuentran en m)

Vista isométrica
Sin escala



Vista en planta
Sin escala

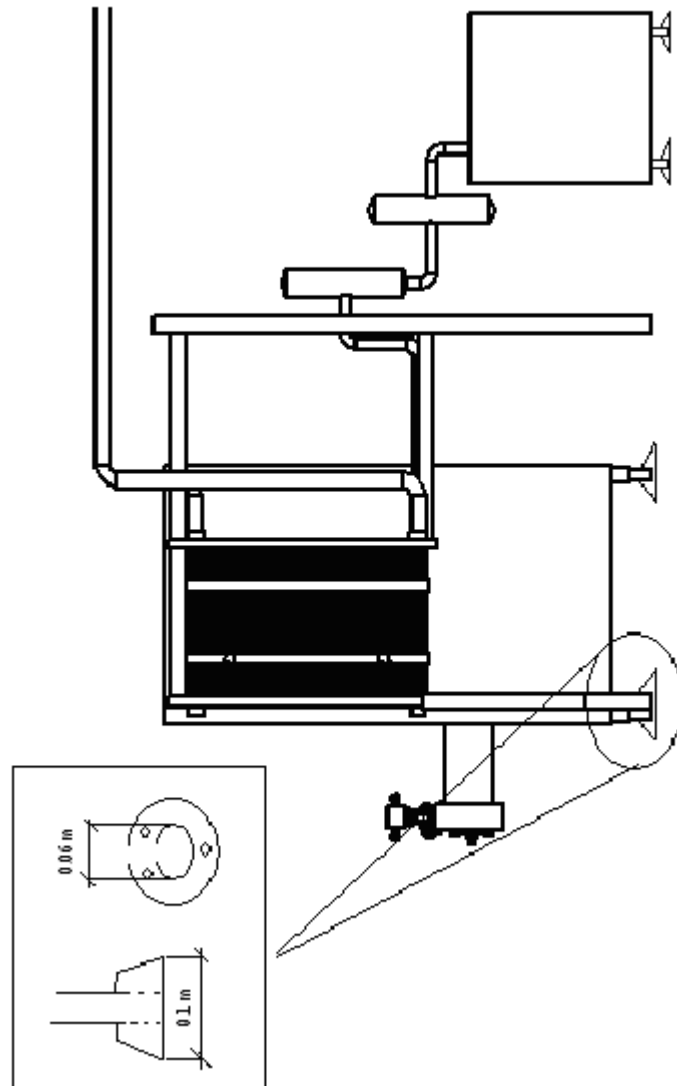
Figura No. 9: Distribución del sistema de pasteurización continuo (HTST)



- (1) Homogenizadora
- (2) Control y registro de temperaturas
- (3) Entrada de aire a válvulas
- (4) Panel de control
- (5) Válvula reguladora agua caliente
- (6) Sistema de calentamiento de agua
- (7) Tubo de estabilización
- (8) Válvula de 3 pasos para recirculación
- (9) Salida de mezcla ya pasteurizada
- (10) Sistema de flote dentro del tanque de balance

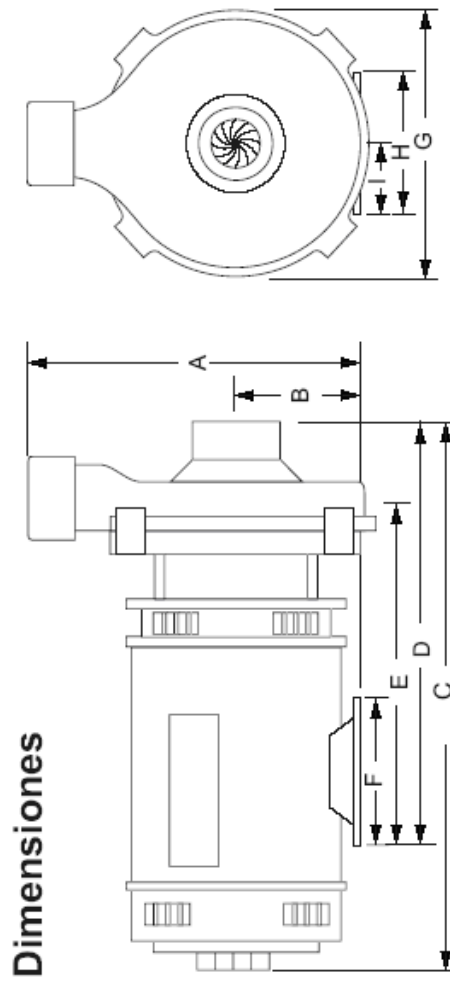
- (11) Mezcla recirculada
- (12) Tanque de balance
- (13) Entrada de mezcla a tanque de balance
- (14) Zona de tanques de preparación de mezcla
- (15) Entrada de agua fría
- (16) Salida de agua fría
- (17) Sección de enfriamiento
- (18) Sección de regeneración
- (19) Sección de calentamiento

Figura No. 10: Diagrama del soporte empleado en el sistema de pasteurización continuo (HTST)



Vista lateral
Sin escala

Figura No. 11 Dimensiones de las bombas de agua de calentamiento y enfriamiento (correspondientes al modelo 3-150)

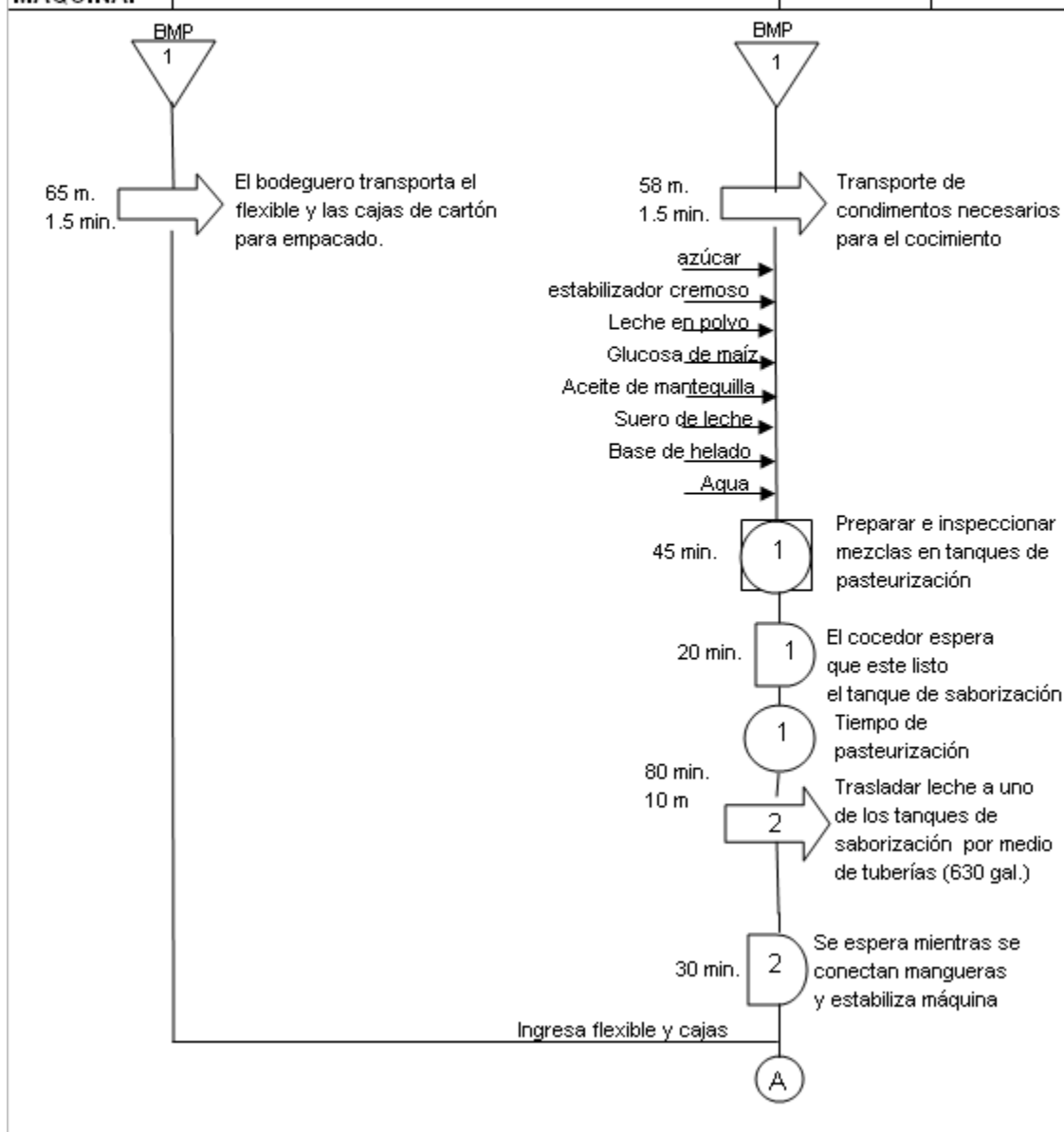


Datos eléctricos y dimensiones

Modelo de bomba	hp Motor	Factor servicio Motor	Fase	Volts	NEMA Amazon	Des-carga	Succión	Dimensiones en centímetros								
								A	B	C	D	E	F	G	H	I
3-150	1.5	1.15	3	220-440	143	1 1/2"	1 1/2"	26	9.5	41	31	25	10	20.5	10	5
3-200	2	1.15	3	220-440	182	1 1/2"	1 1/2"	26	9.5	41	31	25	10	20.5	10	5
3-300	3	1.15	3	220-440	182	1 1/2"	1 1/2"	26	9.5	41	31	25	10	20.5	10	5

Figura No. 12 Análisis de tiempos para una el proceso de elaboración de 1.8925 L (½ galón) de helado cremoso vainilla con pasteurización continua (HTST)

EMPRESA:		HOJA:	
Depto.	PRODUCCIÓN	FECHA:	29/08/2006
ANALISTA:	MARCOS GUTIERREZ OLIVARES	MÉTODO:	HTST
INICIO:	BMP	FINALIZA:	BPT
Producto	HELADO CREMOSO VAINILLA 1/2 GALÓN		
MAQUINA:			



VIII. DISCUSIÓN

La implementación de un sistema de pasteurización continuo como en el caso del HTST (High Temperature Short Time) integra varias áreas dentro del campo de la ingeniería química, que deben conjugarse para lograr establecer los valores óptimos y esenciales de las variables que hay que calcular ya que rigen el proceso. De esta manera se podrá obtener la información necesaria para el dimensionamiento del equipo. Entre los resultados obtenidos del estudio elaborado, es necesario dividirlos en dos secciones. Estas secciones son la parte técnica y la parte económica del proyecto.

En lo que se refiere a la parte técnica de éste, se hace vital mencionar, que según los resultados obtenidos referente a los cálculos de las especificaciones del intercambiador de placas para encontrar uno en el mercado con características similares (ver tabla No. 6, pág. No. 23), el desarrollo del proyecto es factible, ya que pueden obtenerse las temperaturas necesarias durante el tiempo necesario dentro del intercambiador de placas. Tomándose en cuenta los rangos de pasteurización aceptables (80°C durante 25 segundos) para los cálculos efectuados a manera de encontrar el área necesaria de contacto para la obtención de dichos parámetros al flujo establecido.

También se tomó en cuenta la importancia del sistema de control, ya que este sistema hará las correcciones adecuadas a manera de que la mezcla cumpla con los rangos de temperatura establecidos, haciendo recircular a la mezcla que no las cumpla. En este sistema, cuando las válvulas neumáticas reciben la señal del control maestro se posicionan enviando la mezcla de helado al tanque de balance, éste interacciona de manera directa parando el flujo de entrada de los tanques de preparación de mezcla por medio de un mecanismo de un flotador ubicado dentro de él, esto da como resultado el cierre del sistema, abriéndose nuevamente cuando la mezcla cumpla con el rango establecido y la configuración de las válvulas neumáticas regrese a su posición de operación.

Entonces, se puede mencionar que la temperatura necesaria para la operación es de $80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, debido a que se deben contemplar los métodos de tratamiento por calentamiento ligero, que evitan las temperaturas excesivas que dan lugar a las pérdidas de calidad inducidas térmicamente, base sobre la cual se buscó efectuar las determinaciones posteriores. Eso se debe principalmente a que en el proceso de pasteurización continuo, se tiene que elevar la temperatura a este rango, cuya función de eliminar los microorganismos está ligado específicamente a este parámetro. El rango establecido se encuentra dentro del necesario para una pasteurización efectiva, de lo contrario se obtendrían características no deseadas en el producto, como lo es un recuento alto de estos microorganismos en los tanques de maduración.

En lo que se refiere al diseño de equipo, es necesario mencionar, que se obtuvieron varios datos de las dimensiones necesarias del equipo, siendo las principales, el número de placas presentes en cada sección del intercambiador de calor, teniendo en total 57 (aproximado de 56.58) para todo el sistema de calentamiento, regenerador y enfriamiento, teniendo estas dimensiones anteriormente mencionadas en la tabla No. 6. El intercambiador de placas posee una sección en la cual se aprovecha el calor una vez suministrado a la mezcla, esta parte del proceso evita las pérdidas innecesarias de energía logrando una disminución en el costo de operación del nuevo sistema.

Ahora bien, puede notarse que el sistema es de tipo HTST (High Temperature Short Time), el cual se escogió preferentemente sobre el de tipo UHT (Ultra High Temperature), debido a que éste, aunque tiene ventajas como la alta vida de anaquel del producto, es una inversión demasiado grande para una industria guatemalteca en vías de crecimiento. El sistema de pasteurización UHT (Ultra High Temperature), tiene igual desventajas de velocidades de flujo y variaciones por sobrecalentamiento en la mezcla.

A pesar de las posteriores consideraciones, uno de los valores principales que forma parte de las bases del diseño en un cambio a un sistema de pasteurización continuo es el flujo incrementado de mezcla pasteurizada, éste se eleva a 500 galones de mezcla por hora. En los tiempos obtenidos para el sistema de pasteurización continuo puede apreciarse que ocupará la mitad del necesitado por el sistema tipo lotes, esta variación en el proceso de elaboración de helados hace factible la disminución de personal para una producción mayor a la actual ya que el sistema de pasteurización continuo (HTST) es un 42.10 % más eficiente que el de lotes (ver tabla No. 9, pág. No. 25).

El proyecto posee varias ventajas que lo hacen factible económicamente: la primera es el ahorro en energía de calentamiento, la segunda, es la reducción de costos de mano de obra, ya que se espera que el personal requerido se reduzca y el tercero, se refiere al ahorro de las mermas dentro del proceso. La primera y segunda ventaja provoca un ahorro de Q. 89,700.72 anuales, la tercera ventaja no fue evaluada ya que involucra un estudio de la planta entera incurriendo al ingreso y costo de la materia prima necesaria para estos niveles de producción. Esto combinado con las ventajas de seguridad y medio ambiente, lleva a deducir que económicamente el proyecto no presentará ventajas inmediatas, pero será una inversión que hará de la pasteurización de mezcla para helados un proceso más seguro, controlable y amigable al medio ambiente. Es importante el recalcar que las ventajas económicas se ven reflejadas en un tiempo de recuperación de la inversión obtenido, que fue de 2.947 años.

Es necesario apreciar que el sistema de control implementado junto con el sistema de pasteurización continuo forma parte de la fuerza impulsora del cambio, ya que con la implementación de este sistema no solo se alcanzaría un incremento de producción, sino que también se obtienen beneficios al establecer cimientos para la posterior automatización en un punto crítico de control en la elaboración de helados. Con este procedimiento no se busca eliminar el personal involucrado para sustituirse por completo.

Más bien, se trata de involucrar al mismo en el mejoramiento de los procesos y, conforme esto se logre, se pueden reasignar funciones o trasladarlos a otros puestos de trabajo. Por otra parte, se trata de darle flexibilidad a la gerencia para que implemente los cambios al ritmo que considere más adecuado permitiendo a su vez, ir evaluando y capacitando sobre la marcha a su personal.

El empleo de un sistema de pasteurización más automatizado, permitió ilustrar varias situaciones. En primer lugar que independientemente del grado de complejidad del proceso y de que tan común sea este, siempre hay oportunidades de mejorarlo aumentando la eficiencia de éste y la velocidad con la que se realiza.

En segundo lugar, se mostró que al automatizar esto no implica que absolutamente todo tiene que quedar instrumentado, hay operaciones que por sus características siempre requerirán de supervisión exclusivamente humana, tal es el caso de el color y sabor de la mezcla.

Y en tercer lugar, se vio que cuando se dice que se va a mejorar un sistema de control, esto no significa necesariamente que se va a comprar lo último o lo más sofisticado en lo que a control se refiere; instrumentación sencilla permite crear la base de sistemas mas completos.

El soporte del intercambiador de placas, del tanque de balance y de la homogenizadora no requieren de mayor diseño que el de fijar los soportes del equipo y maquinaria al suelo por medio de aros de metal atornillados al suelo. Estos son similares a un candado, se cierran alrededor de las patas del equipo y se atornillan al suelo una vez cerrados (ver figura No. 11, pág. No. 47). Las tuberías que tengan contacto con la mezcla fueron establecidas como desmontables para su fácil limpieza, en la tubería se usan uniones sanitarias (uniones cangrejo de acero inoxidable) que poseen un empaque para evitar fugas. Es importante indicar, la consideración del calculo para la bomba de CIP (limpieza en el lugar) necesario para la limpieza en los sistemas que transportan fluidos en las industrias alimenticias, este proyecto dentro del sistema debe estudiarse cuidadosamente para lograr limpieza efectiva dentro de las placas del intercambiador.

Finalmente, vale la pena mencionar que con todos los resultados obtenidos, que la implementación del sistema de pasteurización continuo (HTST) es factible técnicamente y económicamente, a pesar de ser un sistema relativamente costoso.

IX. CONCLUSIONES

- A. La implementación del sistema del sistema de pasteurización continuo (HTST) tiene un mejor control de la mezcla para la elaboración de helados, debido al sistema de recirculación para la que no cumple con la temperatura de pasteurización establecida.
- B. Se obtuvo una pasteurización de mezcla para helados más segura, controlable y amigable al medio ambiente.
- C. El proyecto de instalación del sistema de pasteurización continuo (High Temperature Short Time), presenta un tiempo aceptable de recuperación de la inversión de 2.947 años.
- D. El ahorro por personal en el área de pasteurización se refleja, en el tiempo de recuperación y la TIR de la inversión obtenido.
- E. El sistema de pasteurización HTST (High temperature short time) es más viable que el UHT (Ultra High Temperature), para una industria guatemalteca en vías de crecimiento.

X. RECOMENDACIONES

- A. Es necesario establecer un sistema de capacitación para el personal operativo y así obtener mejores resultados en la operación del equipo.
- B. Elaborar un sistema informativo que incluya datos contables, de mercadeo y técnicos de la planta para estudios posteriores.
- C. Antes de proceder a poner en marcha un proyecto de la magnitud del propuesto, es necesario que los estudios para el sistema de enfriamiento y calentamiento de la mezcla, se amplíen a modo que se incluya la experiencia de proveedores expertos en los equipos a emplear.
- D. Preparar manuales operativos para el aprovechamiento máximo de la funcionalidad del equipo, tanto de la parte operativa como la de control.
- E. Considerar la inversión de un sistema CIP (limpieza en el lugar) del equipo que logre una limpieza efectiva dentro de las placas del intercambiador.

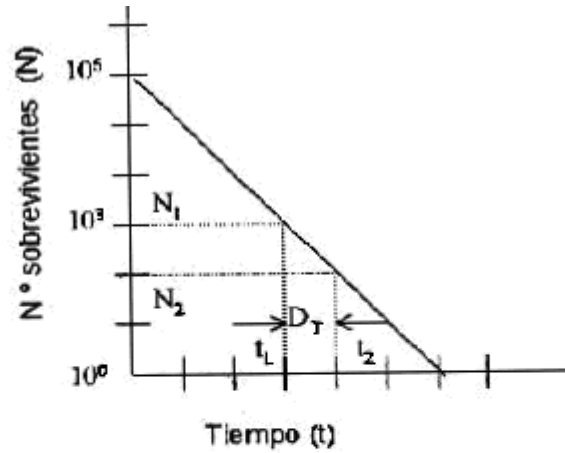
XI. BIBLIOGRAFÍA

- Arbuckle, W.S. *Ice Cream*. 4ta. Edición. New York, 1986. Editorial Van Nostrand Reinhold Company Inc. 483 pp.
- Geankoplis, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Editorial Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 3ra. Edición. México, 1998. 1022 pp.
- Holman, J.P. *Transferencia de calor*. 8va. Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana de España. España, 1998. Pp. 483
- Ibarz, Albert; Barbosa – Cánovas, Gustavo. *Unit Operations in Food Engineering*. 1era. Edición. Florida, 2003. Editorial CRC Press LLC 1122 pp.
- Kern, Donald. *Procesos de transferencia de calor*. 1era. Edición. Editorial Continental S.A. de C.V. México, 1999. 980 pp.
- Kreith, Frank y Bohn, Mark S. *Principios de transferencia de calor*. Thomson Editores, 6ª ed. México, 2001. 852 pp
- Madrid Vicente, Antonio; Cenzano del Castillo, Inmaculada. *Tecnología de la Elaboración de los Helados*. 1era. Edición. Madrid, 1995. Editorial Mundi-Prensa Libros S.A. 376 pp.
- McCabe, Warren L.; Smith, Julian C.; Harrio, Meter. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 4ta. Edición. Editorial McGraw-Hill. México, 1991. 1104 pp.
- Perry, R. & Green, D. *Manual del Ingeniero Químico*. Edit. McGraw Hill. Séptima edición. México, 2001. Pp. 1677
- Smith J.M.; Van Ness, H.C. *Termodinámica en Ingeniería Química*. 6ta. Edición. México D.F., 2003. Editorial McGraw Hill Interamericana. 837 pp.
- Stogo, Malcolm. *Ice Cream And Frozen Desserts*. 1era. Edición. United States, 1998. Editorial John Wiley & Sons, Inc., 541 pp.
- Cambiano, Martín. 2000. *Fundamentos de pasteurización HTST y UHT*. [en línea]
< <http://pub.ufasta.edu.ar/ohcop/cambiano.html> > [consulta: 18 de junio 2006]
- Zavala Pope, José Mauricio. 2005. *Manual de centros de acopio y pasteurización*. [en línea]
<http://www.minag.gob.pe/dgpa1/ARCHIVOS/ManualcentroA_pasteruizacion.pdf >
[consulta: 21 de junio 2006]

XII. APÉNDICES

Apéndice A: Datos microbiológicos de sistema de pasteurización continuo (HTST)

Figura No. 13 Curva de microorganismos sobrevivientes a tratamientos térmicos (pasteurización HTST)



(Swartzel, 1994)

Figura 4: Curva de sobrevivientes o $\log N = N_0 - (k_T/2,303) (t - t_0)$

Esta gráfica describe cómo el sistema de pasteurización continuo HTST logra deshacerse de los microorganismos. Cuando aumenta el tiempo se va reduciendo el número de microorganismos sobrevivientes.

Apéndice B: Datos obtenidos de los cálculos analíticos para dimensionamiento del intercambiador de placas

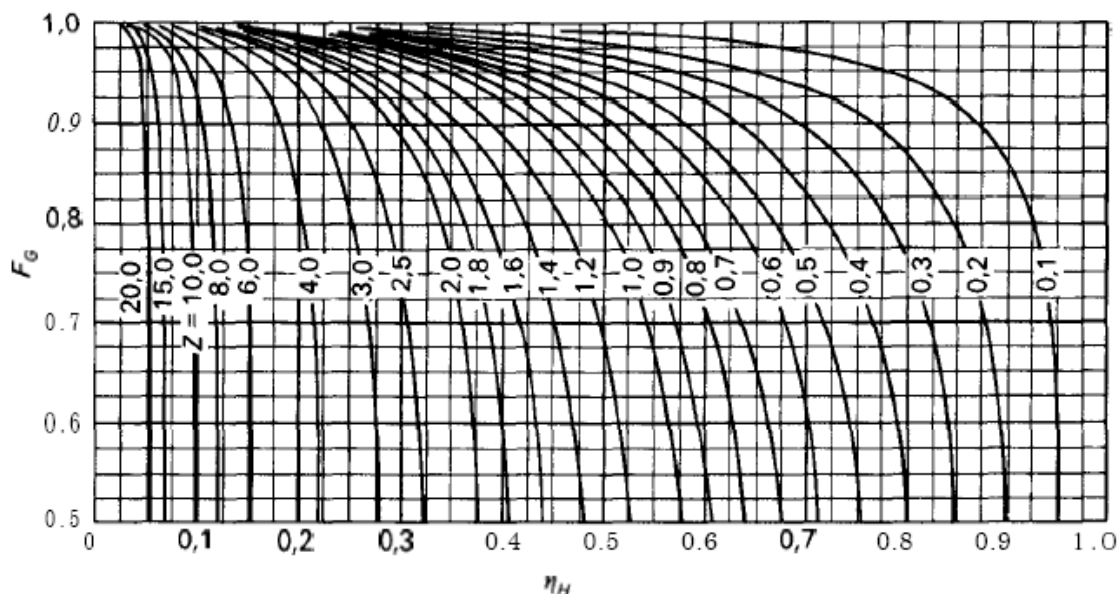
Tabla No. 10: Propiedades de flujo de operación de mezcla para helados

Acidez	0.09 a 0.12	
P	1097.6	kg/m ³
M	1.83	cP
K	0.6459	W/m K
c _p	4589.848	J/kg K
D _e	0.006	m
v _{nominal}	0.2	m/s
Re	719.7377049	
Pr	13.00421403	
Πu	70.82005025	
$h_i \Xi h_o$	7623.778409	W/m ² K

Tabla No. 11: Temperaturas medias logarítmicas LMTD

Calentamiento		Regeneración		Enfriamiento	
T _{ha}	90	T _{ha}	80	T _{ha}	65
T _{hb}	65	T _{hb}	65	T _{hb}	4
T _{cb}	75	T _{cb}	60	T _{cb}	60
T _{ca}	55	T _{ca}	55	T _{ca}	55
N _H	0.8	N _H	0.3333333	N _H	0.0819672
ΔT _L	112.04	ΔT _L	13.653588	ΔT _L	24.39
Z	1.25	Z	3	Z	12.2
F _G	0.87	F _G	0.87	F _G	0.87

Figura No. 14: Correcciones para LMTD para flujo cruzado



Esta tabla permite obtener un factor de corrección para el LMTD en flujos cruzados. Esto se realiza para obtener valores reales en los cálculos que se llevan a cabo para el diseño de equipo de intercambio de calor ya que hay variación si los flujos son diferentes.

Tabla No. 12: Resultados de caída de presión dentro del intercambiador de placas

Calentamiento			Regeneración			Enfriamiento		
F	0.34736634		f	0.34736634		F	0.3473663	
L	0.067882124	m	L	0.01750086	m	L	0.0030429	m
m_C	0.1053696	w kg/s	m_C	0.06519744	w kg/s	m_C	0.0460992	w kg/s
ΔP	34.50849277	kPa	ΔP	8.896720792	kPa	ΔP	1.5468715	kPa

Total ΔP	44.95208503 kPa
------------------	-----------------

Apéndice C: Cálculo de las dimensiones del intercambiador de placas

1. Determinación de las propiedades de flujo y del intercambiador:

En este caso, el primer cálculo necesario a efectuar, es la determinación de la diferencia de temperatura logarítmica, que se determinará con las temperaturas que se esperan obtener dentro del intercambiador de placas y las temperaturas de los flujos de agua fría y agua caliente establecidos por el equipo de calentamiento y enfriamiento.

Entonces empleando los valores para la zona de calentamiento, el cálculo realizado es:

$$\Delta T_L = \frac{90\text{ }^{\circ}\text{C} - 65\text{ }^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{90\text{ }^{\circ}\text{C} - 65\text{ }^{\circ}\text{C}}{75\text{ }^{\circ}\text{C} - 55\text{ }^{\circ}\text{C}}} = 112.04$$

Valor para el cual se tuvo que obtener su factor de corrección de la figura No. 14 (pag. No. 41) obteniendo el valor de Z de la siguiente manera:

$$Z = \frac{T_{ha} - T_{hb}}{T_{cb} - T_{ca}} = \frac{90\text{ }^{\circ}\text{C} - 65\text{ }^{\circ}\text{C}}{75\text{ }^{\circ}\text{C} - 55\text{ }^{\circ}\text{C}} = 1.25$$

y el valor de N_H , calculado de la siguiente manera:

$$N_H = \frac{T_{cb} - T_{ca}}{T_{ha} - T_{hb}} = \frac{1}{Z} = \frac{1}{1.25} = 0.8$$

obteniendo de manera gráfica el factor de corrección para ΔT_L :

$$F_G = 0.87$$

Siendo ΔT_L corregida:

$$F_G \Delta T_L = 0.87 \times 112.04 = 97.4748$$

Ahora bien, conociendo la ΔT_L corregida, se calcula el coeficiente interno de transferencia de calor, cálculo para el cual con las propiedades del flujo de la mezcla (tabla No.10, pag. No. 41) procedemos a calcular el número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{D_e \rho v}{\mu} = \frac{1097.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.006 \text{m} \times 0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.83 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 719.7377$$

Es necesario el mencionar la manera en que se obtuvo la viscosidad utilizada en este cálculo, y se realiza de una conversión conocida, y es que 1000 cP son 1 Pa s, con lo que se obtiene, empleando el dato de la tabla No. 10 (pag. No. 41):

$$\mu = 1.83 \text{ cP} \frac{1 \text{ Pa s}}{1000 \text{ cP}} = 1.83 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$$

Se debe de tomar en cuenta que el valor de este número adimensional indica un flujo laminar dentro del intercambiador. También debe de considerarse la caída de presión con su factor de fricción partiendo del número de Reynolds:

$$f = 2.5 \text{ Re}^{-0.3}$$

y

$$f = 2.5 \times 719.7377^{-0.3} = 0.347366$$

Se procede con el cálculo del número de Prandtl.

$$\text{Pr} = \frac{c_p \mu}{\kappa} = \frac{4589.848 \frac{\text{J}}{\text{kg x K}} \times 1.83 \times 10^{-3} \text{ Pa s}}{0.6459 \frac{\text{W}}{\text{m x K}}} = 13.0042$$

Partiendo de los números de Reynolds y Prandtl se obtiene el número de Nusselt:

$$\text{Nu} = 0.37 \text{ Re}^{0.67} \text{ Pr}^{0.33} = 0.37 \times 719.7377 \times 13.0042 = 70.82005$$

Una vez obtenido el número de Nusselt se procede a calcular el coeficiente interior de transferencia de calor:

$$h_i = \frac{\text{Nu} \kappa}{D_e} = \frac{70.82005 \times 0.6459 \frac{\text{W}}{\text{m x K}}}{0.006 \text{ m}} = 7623.7784 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ x K}}$$

Como las placas de acero inoxidable del intercambiador tienen la misma área de contacto y las propiedades del agua no son diferentes a las de la mezcla se asume que:

$$h_i \cong h_o$$

Procedemos con el cálculo de h_{pared} ,

$$h_{pared} = \frac{K_m}{\text{espesor de placa}}$$

De la tabla No. 13 (pag. No. 48) tenemos que:

$$K_m = 13.6 \text{ W/mK}$$

$$\text{espesor de placa} = 0.0007 \text{ m}$$

sustituyendo:

$$h_{pared} = \frac{13.6 \frac{W}{mK}}{0.0007 \text{ m}} = 23285.7142 \frac{W}{m^2 K}$$

Finalmente, es necesario el mencionar cómo se cálculo el coeficiente global de transferencia de masa, obteniéndose de la siguiente manera:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{pared}} = \frac{2}{h_i} + \frac{1}{h_{pared}}$$

Esta fórmula puede aplicarse debido a que se determinó con anterioridad que el coeficiente de transferencia de calor interior es igual al exterior, siguiendo con el cálculo del coeficiente global:

$$\frac{1}{U} = \frac{2}{7623.7784 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{1}{23285.7142 \frac{W}{m^2 K}} = 0.000305282 \frac{m^2 K}{W}$$

y

$$U = 3275.660998 \frac{W}{m^2 K}$$

De igual manera se procedió para los cálculos en la zona de regeneración y enfriamiento.

2. Cálculo del número de placas necesarias en el intercambiador:

Para la determinación de las placas necesarias en cada sección del intercambiador se procedió de la manera siguiente. El cálculo del número de canales dentro de la sección de calentamiento. Teniendo para el número de canales

$$No.canales = \frac{v_h}{v_{cflujodentrodelcanal}}$$

sustituyendo

$$No.canales = \frac{0.575914 \frac{kg}{s}}{0.10536 \frac{kg}{s}} = 5.47 \text{ canales}$$

de ahí,

$$No. \text{ total de canales} = No. \text{ canales} \times 2 = 5.47 \text{ canales} \times 2 = 10.93 \text{ canales}$$

$$No. \text{ de placas} = No. \text{ total de canales} + 1 = 10.93 + 1 = 11.93 \text{ placas para la zona de calentamiento}$$

Este procedimiento se repite para cada sección del intercambiador de placas. Luego de esto, se obtienen el número de placas totales.

3. Cálculo de la caída de presión dentro del intercambiador de calor

Para la caída de presión en cada sección del intercambiador de placas se llevó a cabo el siguiente cálculo partiendo de L (longitud de transferencia de calor):

$$L = \frac{m_h c_p}{2F_G U} N_H$$

sustituyendo

$$L = \frac{0.105369 \frac{kg}{s} \times 4589.848 \frac{J}{kgK}}{2 \times 3275.66099 \frac{W}{m^2 K}} \times 0.8 = 0.067882124 \text{ m}$$

Partiendo de este cálculo se obtiene que por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{2u^2 \rho L f}{D_e}$$

que la caída de presión para la sección de calentamiento es de:

$$\Delta P = \frac{2 \times 0.34736634 \times 0.067882 \text{ m} \times \left(0.2 \frac{m}{s}\right)^2 \times 1097.6 \frac{kg}{m^3}}{0.006 \text{ m}} = 34.5084 \text{ kPa}$$

Apéndice D: Especificaciones de diseño de la maquinaria y equipo utilizados

Tabla No. 13 Variables de operación y dimensión del intercambiador de placas y tanque de balance

Velocidad de flujo de masa entrada de mezcla necesario (kg/s)	Velocidad de flujo de masa salida de mezcla necesario (kg/s)	Volumen necesario del tanque de balance (m ³)
0.570076	0.570076	0.208175
Temperatura de operación entrada (°C)	Temperatura de operación salida (°C)	Temperatura de operación tanque (°C)
40 - 50	3 - 5	50 - 70
Velocidad de flujo de masa estimado agua caliente (kg/s)	Velocidad de flujo de masa estimado agua fría (kg/s)	Material del tanque de balance
0.570076	0.570076	Acero inoxidable
Tiempo de residencia en el tubo de estabilización (s)	Altura de intercambiador de placas (m)	Largo de intercambiador de placas (m)
2.5 - 3.5	1.78308	1.829
Altura de placas (m)	Ancho de placas (m)	Material de placas
0.9906	0.333375	Acero inoxidable
Modelo Intercambiador de placas	Marca	Espesor de placas (m)
EUS Superplate heat exchanger	APV	0.0007
Modelo Tanque Balance	Marca	
EX Basic	Cherry - Burrel	

Tabla No. 14 Datos de la homogenizadora

Modelo homogenizadora	Marca homogenizadora	Material de construcción	
EP-345	APV	Acero inoxidable	
Rango de presión de operación de homogenizadora	Velocidad de flujo de masa máximo (kg/s)		
0 - 241e ⁴ kPa	0.570076		
Altura (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Masa (kg)
1.654	0.675	0.74	220

Tabla No. 15 Datos de la bomba utilizada en el sistema de calentamiento y enfriamiento de la mezcla

	Flujo volumétrico (L/min)	T operación (°C)	Potencia (hP)	R.P.M.	Masa (kg)	No. de polos
Bomba agua enfriamiento	35	4	1.5	3550	28	2
Bomba agua calentamiento	35	90	1.5	3550	28	2

Figura No. 15 Curva de rendimiento de carga – gasto de bombas de agua enfriamiento y calentamiento

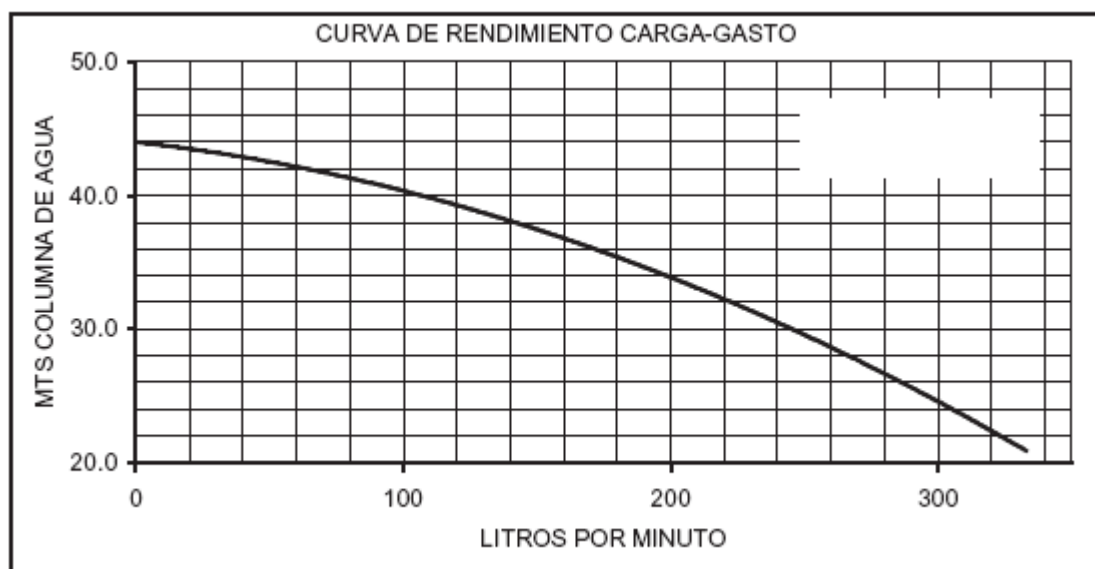
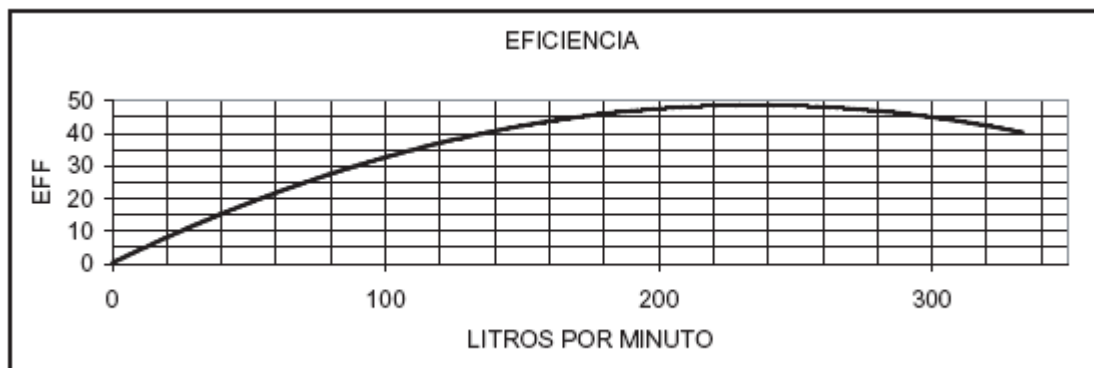


Figura No. 16 Curva de rendimiento gasto – B.H.P. de bombas de agua de enfriamiento y calentamiento



Figura No. 17 Gráfica de eficiencia de la bomba vrs. caudal



Apéndice E: Evaluación económica realizada

Tabla No. 16 Costo de equipo

#	Especificación	Categoría	Unid	Costo unit (Q)	Costo total (Q)	Referencia
1	Tubería de acero inoxidable	Equipo	6 m	1111.02	1111.02	MAINCO
1	Intercambiador de placas marca Alfa Naval	Equipo	Unid	23000.00	23000.00	Alfa Naval usado
1	Tanque de balance	Equipo	Unid	12450.00	12450.00	Usado
7	Válvulas de control neumáticas marca Taylor	Equipo	unid	12765.00	89355.00	Usado
1	Registro de temperatura (computadora incluida)	Equipo	unid	23560.00	23560.00	Usado
1	Holding tube (tubo de retención)	Equipo	unid	6500.00	6500.00	Usado
1	Sistema de calentamiento (incluye bomba)	Equipo	unid	20000.00	20000.00	Usado
60	Placas de acero inoxidable corrugadas	Equipo	unid	119.34	7160.40	Usado
12	Clamps (uniones sanitarias)		unid	150.00	1800.00	Usado
1	Empaques	Equipo	caja	187.00	187.00	Usado

Tabla No. 17 Costo de maquinaria

#	Especificación	Categoría	Unid	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)	Referencia
1	Homogenizadora 500 gal/h	Equipo	unid	27450.00	27450.00	Montemaria
1	Juego de piezas (válvulas)	Equipo	unid	Incluido	0.00	

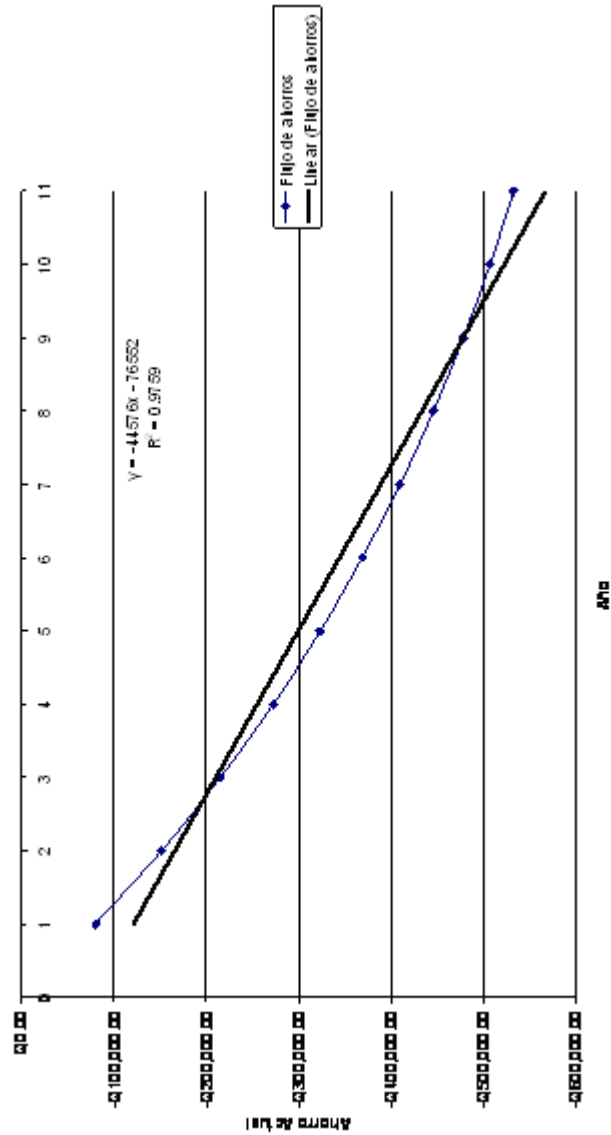
Tabla No. 21 Estimación de depreciación por periodo de equipo

Tipo depreciación	Años a depreciar	n=10	Depreciación (Q)
SMARC	0	0	180479.44
SMARC	1	10	18047.94
SMARC	2	18	32486.30
SMARC	3	14.4	25989.04
SMARC	4	11.52	20791.23
SMARC	5	9.22	16640.20
SMARC	6	7.37	13301.33
SMARC	7	6.55	11821.40
SMARC	8	6.55	11821.40
SMARC	9	6.55	11821.40
SMARC	10	6.55	11821.40
SMARC	11	3.28	5919.73
		TOTAL (Q.)	5919.73
		TOTAL (\$.)	785.11

Tabla No. 22 Estimación de depreciación por periodo de maquinaria

Tipo depreciación	Años a depreciar	n=10	Depreciación (Q)
SMARC	0	0	27450.00
SMARC	1	10	2745.00
SMARC	2	18	4941.00
SMARC	3	14.4	3952.80
SMARC	4	11.52	3162.24
SMARC	5	9.22	2530.89
SMARC	6	7.37	2023.07
SMARC	7	6.55	1797.98
SMARC	8	6.55	1797.98
SMARC	9	6.55	1797.98
SMARC	10	6.55	1797.98
SMARC	11	3.28	900.36
		TOTAL (Q.)	900.36
		TOTAL (\$.)	119.41

Gráfica No. 1 Tiempo de recuperación de la inversión en función en desempeño anual del proyecto con valores descontados



Apéndice F: Balances de masa y energía

Los balances de masa y energía posteriormente descritos, se basan en la ecuación No. 1 y 2.

Ejemplo:

Sección de calentamiento
para la mezcla en la entrada

$$Q_{Me} = c_p m_M t_{Me}$$

de igual manera en la salida

$$Q_{Ms} = c_p m_M t_{Ms}$$

El flujo másico es igual en ambas expresiones debido a que no se asumieron pérdidas dentro del intercambiador.

$$Q_{Me} = 4589.848 \frac{J}{kg^{\circ}C} \times 0.570076 \frac{kg}{s} \times 65^{\circ}C = 170.07654 kJ$$

Se obtiene los valores dentro del intercambiador de calor para todas las secciones.

Apéndice G: Análisis de diagramas de operación

Figura No. 18 Análisis de tiempos para una el proceso de elaboración de 1.8925 L (½ galón) de helado cremoso vainilla con pasteurización por lotes

EMPRESA:			
Depto.	PRODUCCIÓN	FECHA:	29/08/2006
ANALISTA:	MARCOS GUTIERREZ OLIVARES	MÉTODO:	LOTES
INICIO:	BMP	FINALIZA:	BPT
Producto	HELADO CREMOSO VAINILLA 1/2 GALÓN		
MÁQUINA:			

