



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste.

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS**



PRESENTAN:

**OSORIO BRIGIDO SERGIO
RUIZ MÁRQUEZ JOSELIN ARAHÍ**

ASESORES:

**DRA. MARÍA ELENA VARGAS UGALDE
I.A. FRANCISCO JAVIER LÓPEZ MARTÍNEZ**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

U.N.A.M.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE



ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de leche-extracto de alpiste

Que presenta el pasante: **Sergio Osorio Brígido**
Con número de cuenta: **311295861** para obtener el Título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugaldé	
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	L.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	
2do. SUPLENTE	LA. Dulce María Oliver Hernández	

NOTA: los suplentes suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCT/jwg



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

UNAM
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: **VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta el pasante: **Sergio Osorio Brigido**
Con número de cuenta: **311295861** para obtener el Título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	<i>MdC</i>
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta el pasante: **Sergio Osorio Brígido**
Con número de cuenta: **311295861** para obtener el Título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

UNAM
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta el pasante: **Sergio Osorio Brígido**
Con número de cuenta: **311295861** para obtener el Título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	_____
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	_____
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	_____

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: **VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta el pasante: **Sergio Osorio Brígido**
Con número de cuenta: **311295861** para obtener el Título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	_____
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	_____
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	_____
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta la pasante: **Joselin Arahí Ruiz Márquez**
Con número de cuenta: **416114926** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	<i>[Firma]</i>
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

UNAM
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**


Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta la pasante: **Joselin Arahí Ruiz Márquez**
Con número de cuenta: **416114926** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	_____
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	_____
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	_____

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta la pasante: **Joselin Arahí Ruiz Márquez**
Con número de cuenta: **416114926** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	_____
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	_____
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefá Meza Meza	
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	_____

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

UNAM
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste

Que presenta la pasante: **Joselin Arahí Ruiz Márquez**
Con número de cuenta: **416114926** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	_____
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	_____
1er. SUPLENTE	I.Q.I. Ada Josefa Meza Meza	_____
2do. SUPLENTE	I.A. Dulce María Oliver Hernández	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg

Este trabajo se realizó con el apoyo financiero del Proyecto DGAPA PAPIME PE213020: Simulación de cambios de propiedades durante la vida de anaquel de productos hortofrutícolas procesados térmicamente y por transferencia de masa, así como del proyecto FESC PIAPI 2057: Alimentos procesados mediante tecnología de barreras y su simulación matemática.

DEDICATORIAS

La presente tesis se la dedico a mi familia, sin su amor, consejos, confianza, motivación, palabras de aliento y sacrificios esto no sería posible. Ellos me dieron las bases para poder llegar a ser quien soy ahora.

A la memoria de mi padre Sergio Osorio Martinez fallecido de modo súbito durante la pandemia.

Osorio Brigido Sergio

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre **Elvira Rosa Brigido López** por todo el apoyo que me ha dado, por tu amor, comprensión, por tenerme paciencia y enseñarme a nunca darme por vencido a pesar de las adversidades. Por el esfuerzo que hiciste durante mi formación académica para que siempre tuviera las herramientas necesarias para culminar. Siempre estuviste para apoyarme, darme un hombro en que llorar cuando me caía. Aunque hemos pasados momentos difíciles siempre tienes la fuerza para salir adelante y contagiarnos con tu alegría y amor, eres la piedra angular de la familia, eres lo mejor que me ha dado la vida. ¡TE AMO!

A mi padre **Sergio Osorio Martínez** por enseñarme que no hay límites y que si se quiere se puede lograr, eres mi ejemplo de tenacidad, perseverancia y que las barreras solo están en la mente.

A mis hermanos **David y Daniel Osorio Brigido**:

Porque durante esta etapa siempre estuvieron para apoyarme en las buenas y en las malas, a pesar de nuestras diferencias, me alentaron con sus consejos; por darnos ese amor que solo entre nosotros existe. Gracias por estar en mi vida.

Davic que no ha sido ajeno a este trabajo apoyándome en la redacción para que este se entendiera, por esas palabras que me motivaron a mejorar y crecer como persona.

Daniel por esas palabras que me motivaron a continuar, por tu alegría, risas y ocurrencias que me alegran los días.

A mis amigas **Alicia Trigueros Carrasco y Lesly Martínez Ramos**:

Por acompañarme en esta gran etapa, porque hemos vivido tanto juntos, hemos madurado de la mano y quiero seguir compartiendo con ustedes nuevas experiencias. Gracias por apoyarme siempre, por hacer de esta etapa algo inolvidable y porque superamos juntos muchas dificultades. Porque la vida siempre es mejor teniendo cerca personas como ustedes.

Ali gracias por siempre estar conmigo, brindarme tu apoyo incondicional, por tus consejos y tu amor, por tus enseñanzas y regaños. Por ser mi mejor amiga, casi como una hermana.

Les por tu apoyo, escucharme, amor, amistad y todas esas aventuras juntos desde el inicio de carrera.

A mi asesora de tesis y servicio social **Dra. María Elena Vargas Ugalde**, por apoyarme en el último año de mi vida como estudiante, por orientarme, ayudarme y brindarme sus conocimientos. A mi coasesor **I.A Francisco López Martínez**, por sus consejos, sus enseñanzas, por ayudarme a ser más dedicado y ayudarme a crecer académicamente. Por su apoyo, tiempo y consejos durante la realización de este proyecto.

A mi compañera **Joselin Ruiz Márquez** por el apoyo, compromiso, dedicación y paciencia para la realización del proyecto. Por tu amistad y por todas esas ideas para el proyecto.

A mis sinodales **Dra. María del Carmen Valderrama Bravo, M en C. Julieta Gonzales Sánchez, I.Q.I Ada Meza Meza y I.A Dulce Oliver Hernández** por la paciencia, tiempo y la disposición invertidos en la revisión de este proyecto, por sus asesorías, recomendaciones y conocimientos transmitidos.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de estudiar, a cada uno de los profesores que fueron un pilar importante en mi desarrollo profesional, por dejarme conocer a personas importantes de mi vida, por formarme como Ingeniero, por darme experiencias y anécdotas que recordare con mucho cariño.

Osorio Brigido Sergio

Primeramente, quiero agradecerse a mi madre **Eva Marquéz** por el sacrificio, compañía en noches de desvelo, consejos y confianza que siempre me mostro al formarme con valores y recordarme que siempre gana más una persona que demuestra en todo momento su ética y compromiso en cualquier cosa que involucre un gran compromiso.

A mi papá **Jorge Ruiz** por el sacrificio y por recordarme que soy capaz de cumplir cada meta que me proponga.

A mi hermana **Jaqueline Ruiz** por motivarme a estudiar la carrera, ya que compartimos el mismo interés en el estudio de los alimentos.

A mis asesores de tesis **I.A Francisco López** por ser mi maestro en varias materias de la carrera y mi asesor de servicio social y posteriormente asesor de tesis, ya que con su apoyo resolví varias dudas que se me presentaban. Y a la **Dra. María Elena Vargas** por apoyarme en la realización de la tesis, para poder concluir esta maravillosa etapa de universitaria.

A mi compañero de tesis **Sergio Osorio** por el compromiso, ingenio y perseverancia en la realización de este trabajo.

A mis sinodales (**Dra. María del Carmen Valderrama, M en C. Julieta Gonzales, I.Q.I Ada Meza y I.A Dulce Oliver**) por revisar este trabajo, aportar con sus observaciones para mejorarlo, tener una buena investigación sobre el tema que se abordó en el presente y poder concluirlo.

A mis amigos de la FESC CUAUTITLÁN por hacerme esta etapa muy amena a pesar de los tropiezos que llegamos a tener, en especial a mis mejores amigas **Mariana Carrasco** y **Mariana Cortés** por estar en todo momento para apoyarnos en clases y brindarme la confianza de compartir muchas etapas de nuestras vidas que nos llenaron de diversas emociones en esta etapa de Universitarias.

A la máxima casa de estudios **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarme la oportunidad de estudiar esta ingeniería con excelentes profesionales,

académicos y laboratorios que me hacen sentir orgullosa de servir a en la sociedad como profesionalista.

Ruiz Márquez Joselin Arahí



ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 ALPISTE.	5
1.1.1 TAXONOMÍA.....	6
1.1.2 CLASIFICACIÓN.....	6
1.1.3 ORIGEN.....	7
1.1.4 PRODUCCIÓN.....	7
1.1.5 COMPOSICIÓN.....	7
1.2 LICHI.....	10
1.2.1 TAXONOMÍA.....	11
1.2.2 ORIGEN.....	11
1.2.3 PRODUCCIÓN.....	12
1.2.4 COMPOSICIÓN.....	13
1.2 CANELA.....	15
1.2.1 TAXONOMÍA.....	16
1.2.2 COMPOSICIÓN.....	16
1.3 EXTRACTO VEGETAL.....	18
1.3.1 ELABORACIÓN DE EXTRACTOS VEGETALES.....	18
1.3.2 EXTRACTO DE ALPISTE.....	18
1.4 PASTEURIZACIÓN.....	19
1.4.1 ETAPAS DE LA PASTEURIZACIÓN.....	19
1.4.1.1 <i>Regeneración</i>	19
1.4.1.2 <i>Calentamiento</i>	20
1.4.1.3 <i>Mantenimiento</i>	20

1.4.1.4 Regeneración.....	20
1.4.1.5 Enfriamiento.....	20
1.4.2 TIPOS DE PROCESOS DE PASTEURIZACIÓN.....	20
1.4.2.1 Pasteurización VAT.....	21
1.4.2.2 Pasteurización HTST.....	21
1.4.2.3 Pasteurización UHT.....	22
1.4.3 EFECTO SOBRE LOS ALIMENTOS.....	23
1.4.4 MÉTODOS EMERGENTES.....	25
1.5 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	25
1.6 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	26
1.6.1 CONDUCCIÓN.....	26
1.6.1.1 Transferencia de calor por conducción.....	26
1.6.2 CONVECCIÓN.....	27
1.6.2.1 Transferencia de calor por convección.....	28
1.6.3 RADIACIÓN.....	29
1.6.3.1 Transferencia de calor por radiación.....	29
1.7 TIPOS DE CALOR.....	30
1.7.1 CALOR SENSIBLE.....	30
1.7.2 CALOR LATENTE.....	30
1.8 TIPOS DE FLUIDO.....	30
1.8.1 FLUIDO DE PROCESO.....	30
1.8.2 FLUIDO DE SERVICIO.....	30
1.9 FLUJO DE FLUIDOS.....	31
1.9.1 FLUJO PARALELO.....	31
1.9.2 FLUJO CONTRACORRIENTE.....	32
1.9.3 FLUJO CRUZADO DE UN SOLO PASO.....	32
1.9.4 FLUJO CRUZADO DE PASO MÚLTIPLE.....	33

1.10 INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	33
1.10.1 CLASIFICACIÓN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	34
1.10.2 <i>Intercambiadores Tubulares.....</i>	35
1.10.2.1 Intercambiador de tubos y coraza.....	35
1.10.2.2 Intercambiador doble tubo.....	36
1.10.2.3 Intercambiador de calor multitubular.....	37
1.10.2.4 Intercambiador superficie raspada.....	38
1.10.3 <i>Intercambiadores de placas.....</i>	39
1.10.3.1 Espiral.....	39
1.10.3.2 Placas y marcos.....	40
1.10.4 <i>Tanques enchaquetados.....</i>	41
1.11 FACTORES DE INCRUSTACIÓN.....	42
1.12 TERMORRESISTENCIA MICROBIANA.....	42
1.12.1 CINÉTICA DE DESTRUCCIÓN MICROBIANA.....	43
1.12.2 VALOR D.....	44
1.12.3 VALOR Z.....	45
1.12.4 TIEMPO DE LETALIDAD F.....	47
1.12.5 LETALIDAD.....	48
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	50
2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO DE LA BEBIDA DE LICHI-EXTRACTO DE ALPISTE.....	50
2.2 PROBLEMA.....	51
2.3 OBJETIVOS.....	51
2.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	51
2.4 <i>Objetivos Particulares.....</i>	51
2.4.1 Objetivo Particular 1.....	51
2.4.2 Objetivo Particular 2.....	51

2.4.3 Objetivo Particular 3.....	51
2.4.4 Objetivo Particular 4.....	51
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	52
2.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	52
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	54
3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DIMENSIONAMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	54
3.2. DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS.....	60
3.3 CÁLCULO LETALIDAD.....	83
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	87
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS.....	114
ANEXO 1. USO DE MINITAB PARA DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN.....	114
ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BEBIDA DE LICHI-ALPISTE MEDIANTE BALANCES POR COMPONENTES.....	116
ANEXO 3. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LA BEBIDA DE LICHI-EXTRACTO DE ALPISTE.....	118
ANEXO 4. DIMENSIONES DE PLACA.....	123
ANEXO 5. CONSTANTES DE LA ECUACIÓN DE DITTUS- BOELTER PARA PLACAS TIPO CHEVRON.....	126
ANEXO 6. CONSTANTES PARA CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN PARA PLACAS.....	127

Índice de Cuadros

<i>Cuadro 1. Identificación taxonómica del alpiste.....</i>	<i>6</i>
<i>Cuadro 2. Producción de alpiste en México.</i>	<i>7</i>
<i>Cuadro 3. Composición química del grano de alpiste en una porción de 100 g.</i>	<i>9</i>
<i>Cuadro 4. Taxonomía del Lichi.</i>	<i>11</i>
<i>Cuadro 5. Valor nutritivo por 100g de fruta de lichi (Litchi chinensis) (RDA * Cantidad dietética recomendada).</i>	<i>14</i>
<i>Cuadro 6. Taxonomía de la canela (Cinnamomum zeylanicum).</i>	<i>16</i>
<i>Cuadro 7. Tipos de proceso de pasteurización.</i>	<i>21</i>
<i>Cuadro 8. Objetivo de la pasteurización en diversos alimentos.</i>	<i>24</i>
<i>Cuadro 9. Nomenclatura.....</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 10. Porcentaje y fracción de los componentes de la bebida de lichi-extracto de alpiste.</i>	<i>64</i>
<i>Cuadro 11. Propiedades termofísicas del fluido proceso y servicio.....</i>	<i>65</i>
<i>Cuadro 12. Dimensiones de la placa.....</i>	<i>71</i>
<i>Cuadro 13. Constantes de la ecuación de Dittus- Boelter.</i>	<i>76</i>
<i>Cuadro 14. Constantes para cálculo del factor de fricción para placas.</i>	<i>80</i>
<i>Cuadro 15. Valores D y Z Salmonella.....</i>	<i>83</i>
<i>Cuadro 16. Perfil de temperatura de la bebida de lichi-extracto de alpiste en la etapa de regeneración, calentamiento, mantenimiento y enfriamiento.....</i>	<i>84</i>
<i>Cuadro 17. Escala de aceptabilidad aplicada en el análisis sensorial para cada formulación, realizado a la bebida de lichi-extracto de alpiste.....</i>	<i>88</i>
<i>Cuadro 18. Composición química leche de alpiste y bebida de lichi-extracto de alpiste.</i>	<i>89</i>
<i>Cuadro 19. Condiciones de diseño del intercambiador en la etapa de regeneración....</i>	<i>93</i>
<i>Cuadro 20. Condiciones de diseño del intercambiador en la etapa de calentamiento. .</i>	<i>93</i>
<i>Cuadro 21. Condiciones de diseño del intercambiador en la etapa de enfriamiento.</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 22. Propiedades Físicas de los fluidos involucrados en la etapa de regeneración.</i>	<i>94</i>

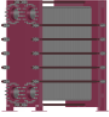
<i>Cuadro 23. Propiedades Físicas de los fluidos involucrados en la etapa de calentamiento.</i>	95
<i>Cuadro 24. Propiedades Físicas de los fluidos involucrados en la etapa de enfriamiento.</i>	95
<i>Cuadro 25. Características de diseño del intercambiador las etapas de regeneración, calentamiento y enfriamiento.</i>	96
<i>Cuadro 26. Resultados de Letalidad, F0 puntual y F0 acumulado en la etapa de regeneración.</i>	101
<i>Cuadro 27. Resultados de Letalidad, F0 puntual y F0 acumulado en la etapa de calentamiento.</i>	102
<i>Cuadro 28. Resultados de Letalidad, F0 puntual y F0 acumulado en la etapa de mantenimiento.</i>	102
<i>Cuadro 29. Resultados de Letalidad, F0 puntual y F0 acumulado en la etapa de regeneración.</i>	103
<i>Cuadro 30. Resultados de Letalidad, F0 puntual y F0 acumulado en la etapa de enfriamiento.</i>	103
<i>Cuadro 31. Temperaturas del fluido de proceso y fluido de servicio en cada etapa....</i>	104

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Fisiología de la planta de alpiste (Phalaris canariensis) (Botanical_online, 2019).</i>	5
<i>Figura 2. Descripción del Lichi. (Gilmand & Watson, 1993).</i>	10
<i>Figura 3. Datos de producción de lichi 2016.</i>	12
<i>Figura 4. Planta de canela Cinnamomum zeylanic.</i>	15
<i>Figura 5. Estructura química del cinnamaldehído. (Balmont, 2014)</i>	16
<i>Figura 6. Estructura química del eugenol (Balmont, 2014).</i>	17
<i>Figura 7. Flujo en paralelo</i>	31
<i>Figura 8. Flujo en contracorriente</i>	32
<i>Figura 9. Flujo cruzado en un solo paso.</i>	32
<i>Figura 10. Flujo cruzado en un solo paso.</i>	33
<i>Figura 11. Esquema de un intercambiador de calor de tubos y corazas (Geankoplis, 1998).</i>	35
<i>Figura 12. Intercambiador doble tubo.</i>	36
<i>Figura 13. Intercambiador de calor multitubular</i>	37
<i>Figura 14. Intercambiador superficie raspada</i>	38
<i>Figura 15. Intercambiador de placas en espiral.</i>	39
<i>Figura 16. Intercambiador de placas y marcos.</i>	40
<i>Figura 17. Tanque enchaquetado.</i>	41
<i>Figura 18. Gráfico semilogarítmico de supervivencia del microorganismo contra tiempo a temperatura constante (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018).</i>	45
<i>Figura 19. Gráfico semilogarítmico de valores D contra temperaturas (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018).</i>	46
<i>Figura 20. Gráfica de diseño simplex en cantidades (Minitab, 2020)</i>	52
<i>Figura 21. Gráfico radial de los resultados del análisis sensorial para cada formulación, realizado a la bebida de lichi-extracto de alpiste.</i>	88
<i>Figura 22. Modelado 3D del interior del intercambiador de calor de placas para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste.</i>	97

Figura 23. Modelado 3D de los soportes del intercambiador de calor de placas para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste. 98

Figura 24. Modelado 3D del arreglo tubular del intercambiador de calor de placas para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste. 99



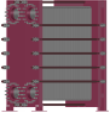
RESUMEN

Se utilizó la metodología propuesta por la asociación de fabricantes de intercambiadores de calor tubulares (TEMA, por sus siglas en inglés), el cual determina la transferencia de calor; utilizando el método LMTD; guiándose también por las normas ASME (American Society of Mechanical Engineers) teniendo en cuenta que estas se correlacionan con las normas TEMA, asegurando la integridad en el diseño, funcionamiento y cumplimiento de la necesidad para el dimensionamiento de un intercambiador de placas, que será un dispositivo que pasteurice una bebida de lichi-extracto de alpiste adicionada con canela con la finalidad de brindar una bebida funcional para personas hipertensas y diabéticas.

Se determinó la formulación de la bebida, con un diseño de experimentos, obtenido mediante el software minitab 19.2, (2020) que indicó 9 posibles formulaciones y mediante un análisis sensorial se seleccionó aquella con mayor aceptación, siendo la formulación 5 la cual contiene el 7.04% alpiste, 37.76% lichi, 0.02% canela y 55.18% agua.

Se realizó un balance de materia para obtener la composición de la bebida de acuerdo con el porcentaje proporcionado por la formulación, teniendo como objetivo determinar las propiedades termo-físicas con las ecuaciones propuestas por Choi y Okos (1985).

Considerando que para la inactivación del patógeno "*Salmonella*" se requiere una pasteurización HTST, tomando en cuenta los valores establecidos de Z y D, para el estudio de la termorresistencia microbiana se obtuvo como resultado 6 ciclos de inactivación en un tiempo de 4.225 s.



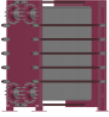
INTRODUCCIÓN

La constante búsqueda de los Ingenieros en Alimentos por producir comestibles con sabores agradable al paladar y que a la vez proporcionen beneficios a la salud se ha vuelto una prioridad; se utilizan compuestos naturales de frutos y cereales que permiten el desarrollo de productos que potencialicen el efecto benéfico de los compuestos activos o que al ser agregados en otros alimentos, le den al nuevo producto características nutrimentales que mantengan al organismo en un estado completo de salud y eviten el riesgo de contraer enfermedades.

La inserción de hábitos alimenticios poco saludables, el sedentarismo y el bajo consumo de frutas y cereales, han alejado a los consumidores de una dieta balanceada generando un constante incremento de personas con diabetes e hipertensión que representa graves problemas de salud pública, posicionando a México en el primer lugar de casos de diabetes y obesidad en niños a nivel internacional (Campagnaro, 2017), una dieta saludable reduce el riesgo de padecerlas, por ello, los productos funcionales representan una alternativa para mejorar el estado de salud y la calidad de vida del ser humano (Melara & Saravia, 2017).

El alpiste (*Phalaris canariensis*) es un cereal que se emplea como alimento de pájaros, sin embargo, debido a su riqueza en antioxidantes y aminoácidos esenciales, ha derivado en el desarrollo de variedades libres de sílice que permite el consumo humano (Botanical_online, 2019). A partir de ello, se han generado productos a base de este cereal. El extracto de alpiste tiene actividad lipásica y un alto contenido de nutrimentos por lo que puede ser una alternativa para las personas intolerantes a la lactosa o que se encuentran en un régimen alimenticio hipocalórico (Cogliatti, Bongiorno, Dalla, & Rogers, 2011)

Es un cereal con una composición única, conteniendo almidón, proteína y compuestos fenólicos. Muestra una estructura similar a la del trigo, avena y cebada; destacando la actividad antioxidante y alto contenido enzimático de lipasa cuya principal función es catalizar la hidrólisis de los triglicéridos, que junto con la fibra dietética ayuda a disminuir



la absorción de colesterol; tradicionalmente se consume como tratamiento de diabetes e hipertensión (Cogliatti, Bongiorno, Dalla, & Rogers, 2011).

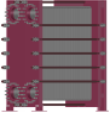
La producción de bebidas con frutos ha aumentado debido a que son excelentes fuentes de vitaminas, minerales, fibras y antioxidantes como los compuestos fenólicos, que son efectivos en la prevención de enfermedades cardiovasculares, varios tipos de cáncer y diabetes. Por esta razón, este proyecto busca la generación de nuevos productos, orientando su interés en el lichi, el cual es una fruta con un alto valor nutricional, utilizado en casos de hipercolesterolemia, hipertensión, hiperuricemia, estrés, defensas bajas, anemia y factores de riesgo cardiometabólico como pueden ser la diabetes u obesidad (Gilmand & Watson, 1993).

El lichi (*Litchi chinensis Sonn*), contiene compuestos activos que le otorgan un efecto antioxidante a la bebida. Se han identificado compuestos fenólicos en la cáscara, pulpa y semilla, donde destacan: ácido gálico, galocatequina, procianidina B2, ácido vanílico, quercetina B2, quercentina-3-rutinoso-7-ramnosida, ácido siríngico, procianidina A2, ácido ferúlico y rutina, de acuerdo con lo reportado por Dongxiao (2019).

La bioactividad de los compuestos fenólicos se relaciona con los compuestos antioxidantes del fruto, teniendo un aumento significativo en la actividad de consumo de glucosa, por lo tanto, estos elementos tienen efectos anticancerígenos, antiinflamatorios y cardioprotectores, capaces de eliminar los radicales libres y prevenir enfermedades crónico-degenerativas como la diabetes (Estrada & Reyes, 2015).

Se empleó canela como bactericida natural por su contenido de aldehídos (cinnamaldehído) y fenoles (eugenol), los cuales tienen actividad antimicrobiana, sumándole la capacidad de disminuir la presión arterial y los niveles de glucosa (Firmino, et al., 2018) teniendo como principal objetivo alargar la vida de anaquel del producto, que será sometido a un proceso térmico de pasteurización en un intercambiador de calor de placas (ICP).

La selección de estas materias primas se debe a las características que presenta cada una por separado; la elaboración de una bebida de lichi a partir del extracto de alpiste

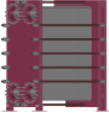


busca potencializar los efectos de los compuestos, agregándole canela como bactericida natural puesto que su composición se distingue principalmente de aldehídos (cinnamaldehído) y fenoles (eugenol), teniendo como principal objetivo alargar la vida de anaquel del producto sometiéndolo a un proceso térmico de pasteurización por medio de un intercambiador de calor de placas (Shang, Pin, & Shan, 2001).

Los intercambiadores de calor de placas son equipos ampliamente utilizados en la industria de proceso, principalmente en las de alimentos y bebidas, debido a sus características de construcción que facilitan su limpieza y a su gran versatilidad en cuanto a los diferentes tipos de materiales con que pueden fabricarse. En general, en la industria química y petroquímica se usan en aplicaciones especiales con fluidos limpios y en procesos con cambio de fase (Thulukkanam, 2013). Estos equipos tienen la ventaja de que son compactos, de fácil mantenimiento y tienen un alto rendimiento térmico.

La metodología para determinar el diseño de un intercambiador de calor de placas es muy escasa y no se encuentra ampliamente reportado en la literatura abierta; esta información pertenece sólo a aquellas compañías que fabrican este tipo de equipos.

La metodología propuesta por la asociación de fabricantes de intercambiadores de calor tubulares (TEMA, por sus siglas en inglés), determina la transferencia de calor; utilizando el método LMTD; guiándose también por las normas ASME teniendo en cuenta que estas se correlacionan con las normas TEMA, asegurando de esta forma la seguridad en el diseño, el funcionamiento y cumplimiento de los requisitos para desarrollar el dimensionamiento de un intercambiador de placas para la pasteurización de la bebida de lichi-extracto de alpiste adicionada con canela que se desarrolla en el presente trabajo.

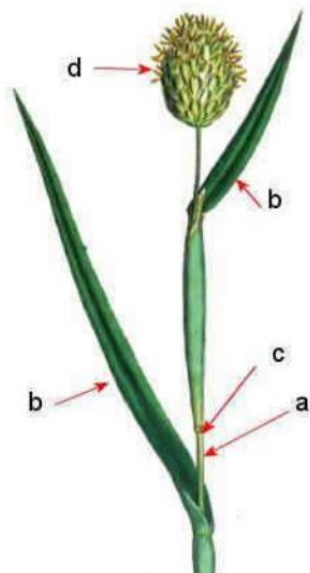


CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 ALPISTE.

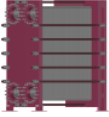
El alpiste (*Phalaris canariensis*) es una planta herbácea anual de la familia de las gramíneas o poáceas, es clasificado como cereal ya que contiene cariospe, fruto que contienen todos los cereales, entre ellos la avena, centeno y trigo (Botanical_online, 2019). Crece como una mala hierba común en climas templados y se caracteriza por tener flores en forma de espiguillas, que se alzan a través de finas cañas huecas, miden entre 50-60 cm hasta 1 m, y que constituyen el tallo de la planta (Castro, 2018).

Las hojas de la planta de alpiste son lanceoladas, envainadas, planas, largas y angostas. Los tallos o cañas presentan nudos o macollos como sucede con las plantas de su misma familia, son una especie de anillos fibrosos estructurales de las gramíneas. Cada tallo o caña termina en una inflorescencia en forma de espiga de forma ovalada o compacta, que mide de 2 a 5 cm de largo por 2 a 3 cm de ancho y de color verde, a veces ligeramente púrpura (Castro, 2018). En la figura 1 se puede observar la fisiología de la planta de alpiste.



- a. Tallo
- b. Hojas
- c. Tallos o cañas
- d. Panícula (espiga)

Figura 1. Fisiología de la planta de alpiste (*Phalaris canariensis*) (Botanical_online, 2019).



1.1.1 Taxonomía.

En el cuadro 1 se identifica la taxonomía del alpiste (*Phalaris canariensis*).

Cuadro 1. Identificación taxonómica del alpiste.

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Oryzoidae</i>
Clase	<i>Monocotyledoneae</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Género	<i>Phalaris</i>
Especie	<i>Phalaris Canariensis</i>

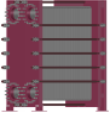
(Melara & Saravia, 2017)

1.1.2 Clasificación.

Esta gramínea debe ser libre de fibra silíceas sin importar que ellas sean componentes que se encuentran presente en el alpiste, para ser consumidas por humanos estas se deben remover. El alpiste común no es apto para consumo humano debido a que las fibras silíceas han sido vinculadas con el cáncer de esófago, por lo que con estudios previo se determinaron tres especies sin pelos de silíceo para su comercialización, las cuales son:

- CDC María
- CDC Togo
- CDC Bastia

(Cogliatti, Bongiorno, Dalla, & Rogers, 2011)



1.1.3 Origen.

Es una planta originaria del Mediterráneo, por lo general se le cultiva a nivel mundial, en estado silvestre se suele hallar como maleza. Se cultiva comercialmente en varias partes del mundo para usar la semilla en la alimentación de pájaros domésticos (Botanical_online, 2019).

1.1.4 Producción.

La producción de *Phalaris canariensis* en México se encuentra principalmente en los estados de Sinaloa, Durango, Chihuahua, Coahuila, Baja California Norte, Chiapas, Distrito Federal, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Yucatán (Perdomo, Mondragón, & Vibrans, 2009).

En el cuadro 2 se observa la producción de alpiste de acuerdo al Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.

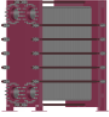
Cuadro 2. Producción de alpiste en México.

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Valor producción (miles de pesos)
Alpiste	170.000	170.000	111.51	0.62	984.10

(México, 2009)

1.1.5 Composición.

En el contenido de proteína de esta gramínea se encuentra la arginina, en mucha más cantidad que en otras semillas como el amaranto o la quínoa entre otras. Además, tiene un alto contenido de triptófano, el cual ayuda a equilibrar la serotonina para mantener de forma estable la función mental evitando irregularidades emocionales. El triptófano actúa

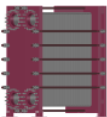


como regulador para personas que presentan problemas en la falta de sueño calmando el estrés. El alpiste también posee treoina la cual ayuda a estabilizar las proteínas y racionarlas para los sistemas: nervioso central, cardiovascular, inmunológico y también para el hígado. Otro aminoácido esencial que está presente en el alpiste es la isoleucina, éste va de la mano con la hemoglobina ayudando a regular los niveles de azúcar en la sangre (Salas, 2013).

Los ácidos grasos que se encuentran en el alpiste son omega 3 y omega 6, éstos desarrollan una propiedad positiva con respecto a la circulación de la sangre, manteniendo de forma óptima los niveles de serotonina que se encuentran en el cerebro. La serotonina es la encargada del acceso entre la comunicación y el reconocimiento del nervio para dar sentencia emocional (Cogliatti, et al., 2011).

El alpiste contiene antioxidantes que contribuyen a reducir los efectos nocivos de los radicales libres. Los compuestos fotoquímicos como el secoisolariciresinol diglucosido, enterolactona y enterodiol son antioxidantes con una capacidad anti-cancerígena que es apto para interpretar las competencias de las hormonas sin consecuencias nocivas de estas. Las dietas que poseen un alto contenido de antioxidantes tienen la suficiente condición para estabilizar un buen desarrollo de la función cognitiva en mujeres postmenopáusicas, también disminuyendo el peligro de fibroides en el útero, cáncer en las mujeres y cáncer de próstata en los hombres (Salas, 2013).

Entre las cualidades principales se encuentra la recarga enzimática “lipasa”, es un catalizador enzimático de los triglicéridos, empleada para el tratamiento de hipercolesterolemia, eliminar grasa del organismo, ya sea de las arterias, o simplemente de los depósitos de grasa (Cogliatti, et al., 2011).

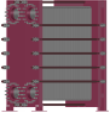


El cuadro 3 muestra la composición principal del alpiste en una porción de 100 g.

Cuadro 3. Composición química del grano de alpiste en una porción de 100 g.

Nutriente	Contenido
Calorías (Kcal)	399
Carbohidratos (g)	60.93
De los cuales complejos (g)	50.92
Humedad (g)	3.01
Proteínas (g)	21.67
Grasa (g)	5.59
De las cuales saturadas (g)	0.76
De las cuales monoinsaturadas (g)	1.84
De las cuales poliinsaturadas (g)	3.09
Fibra (g)	7.62
De las cuales insolubles (g)	7.31
Vitamina B1 (Tiamina) (mg)	0.65
Vitamina B3 (Niacina) (mg)	1.20
Calcio (mg)	29
Magnesio (mg)	196
Fósforo (mg)	583
Potasio (mg)	363
Zinc (mg)	3.30
Magnesio (mg)	5.20

(Botanical_online, 2019)



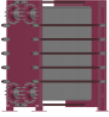
1.2 LICHI.

El lichi (*Litchu chinensis Sonn*), es uno de los cultivos frutales preciosos y económicamente importantes en el mundo. Comprende alrededor de 2000 especies de árboles, arbustos y áreas tropicales y subtropicales que se clasifican en 140 géneros (Chapman. 1984). El cultivo de lichi fue reportado desde el año 1500 a.C por personas de ascendencia Malaya y ha estado creciendo durante miles de años en el sur de la provincia china de Guangdong. La primera referencia a esta fruta está disponible en la literatura de la dinastía Han (140 a.C. a 86 a.C) (Bhupendra & Joginder, 2017).

Las frutas son muy variables, dependiendo del cultivar. Pueden ser redondos, ovoides o en forma de corazón y de 2.0 a 3.5 cm de diámetro. La piel puede ser lisa o rugosa con protuberancias distintas, gruesas o delgadas y de color rosado brillante o rojo púrpura. La carne o el arillo es una consecuencia de las células externas de la cubierta de la semilla, y en buenas variedades puede comprender el 80% del peso de la fruta. El arillo es generalmente blanco traslúcido, jugoso o firme, dulce y aromático en mejores cultivos. El fruto contiene una sola semilla de color marrón oscuro de 6-12 mm de ancho y 10-23 mm de largo, en general la fruta pesa menos de 10 g (Bhupendra & Joginder, 2017). En la figura 2 se puede observar la fisiología del lichi.



Figura 2. Descripción del Lichi.
(Gilmand & Watson, 1993)



1.2.1 Taxonomía.

En el cuadro 4 se presenta la taxonomía del lichi.

Cuadro 4. Taxonomía del Lichi.

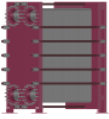
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Superdivisión	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida Dicotiledóneas</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Familia	<i>Sapindaceae</i>
Género	<i>Litchi</i>
Especie	<i>L.chinensis</i>

(SADER, 2020)

1.2.2 Origen.

China, país de origen del árbol (*Litchi chinensis Sonn*), encabeza la producción mundial con 2.2 millones de toneladas por año. El agradable sabor y olor del litchi, ha cautivado el gusto de consumidores de distintas naciones, su ingesta no se limita solo en fresco como fruta de mesa, progresivamente ha aumentado su consumo en pulpa, jalea y jugo (Botanical-online, 2020).

La historia del lichi en México comienza a finales del siglo XIX cuando, a causa de los problemas sociales y económicos en China, llegan a México aproximadamente 500 chinos con contratos temporales para trabajar en ferrocarriles. Sinaloa fue uno de los estados que más recibió trabajadores chinos: donde se establecieron y comenzaron a cultivar las tierras sonorenses, dando inicio así al cultivo del lichi en tierras mexicanas (Botanical-online, 2020).



1.2.3 Producción.

La producción de lichi ha aumentado en los últimos años, reportándose una superficie de 3 738.19 ha plantadas y una producción total de 18 271.88 t (SIAP, 2020). En cuanto a su producción, en 2018 se destinaron más de 4 mil hectáreas para el cultivo de lichi, las que generaron casi 28 mil 200 toneladas de esta fruta.

Como se puede ver en la figura 3 Veracruz ocupa el primer lugar con 9 223.47 t de producción equivalente al 50% del total nacional, seguido de Puebla, San Luis Potosí y Oaxaca con 3 524.25 t, 1 957.65 t y 1 983.48 t, respectivamente (Torres, Morales, & Arvizu, 2019).

Aunque es una fruta llamativa y dulce, fue hasta la década de los 70s y 80s que la producción de lichi se estableció comercialmente y su cultivo se extendió por el país. Actualmente su cultivo se realiza en 13 estados de la República Mexicana, donde Veracruz, Puebla y Oaxaca se colocan como los principales productores del fruto (SIAP, 2020).

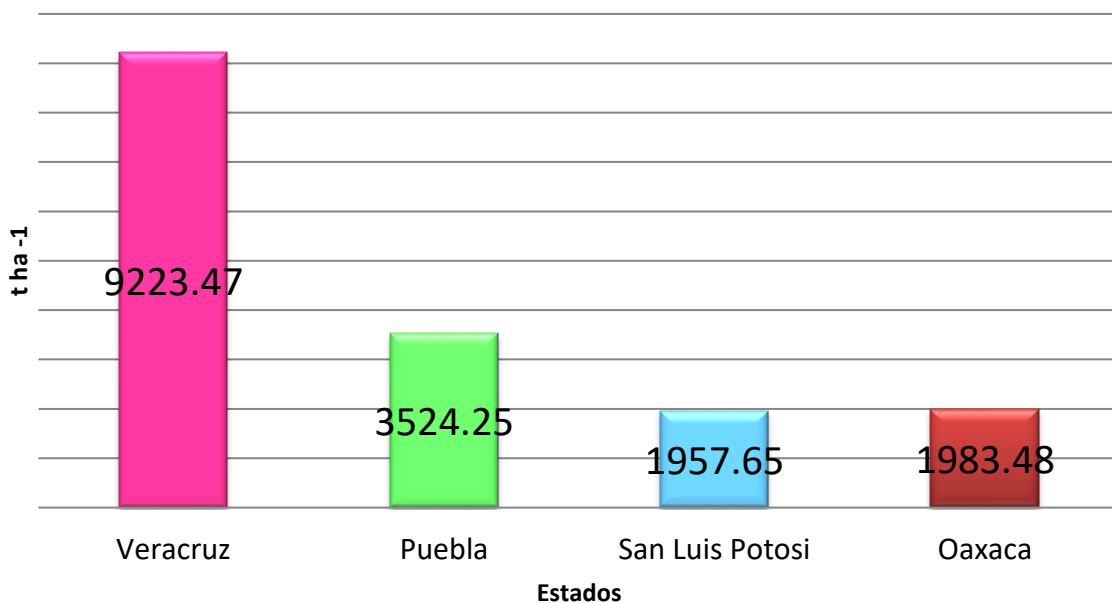
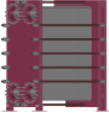


Figura 3. Datos de producción de lichi 2016. (SIAP, 2020)

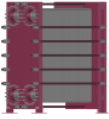


1.2.4 Composición.

El valor alimenticio del lichi reside principalmente en su contenido de azúcar, que cambia de una variedad a otra. Dependiendo de la variedad y el clima, la fruta contiene 60% de jugo, 8% de cáscara, 19% de semilla y 13% de piel. Además de proteínas, grasas, carbohidratos, minerales, materia fibrosa, calcio, fósforo, hierro y caroteno, la fruta también es rica en vitamina B1, rivotlamina y vitamina C; como se observa en el cuadro 5.

El lichi también es una excelente fuente de antioxidantes que protege al cuerpo de los radicales libres dañinos. La carne de lichi está cargada de compuestos nutrimentales y funcionales. Mejora la digestión y la circulación sanguínea, humecta la piel y alivia los síntomas de anemia (Dongxiau, et al., 2019) aparte de la vitamina C y E, la carne de lichi contiene polisacáridos antioxidantes y flavonoides que incluyen procianidina A2 y leucoacnidina (Redelinguys, 1983). Los polisacáridos en la carne de lichi son efectivos para erradicar el O₂ y se informa que suprimiendo significativamente la peroxidación de lípidos en el hígado de rata (Quiang, et al., 2014)

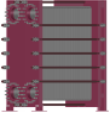
Sin embargo, según la medicina tradicional china, la carne de lichi es un alimento típico de "calentamiento". El consumo excesivo provoca "síntomas de calentamiento", como dolor e hinchazón en la garganta, forúnculos en la boca, lengua y cara y amigdalitis. El "efecto de calentamiento" del lichi, que solo se muestra en algunos individuos, no se entiende en términos de mecanismo y compuestos efectivos (Gilmand & Watson, 1993).



Cuadro 5. Valor nutritivo por 100g de fruta de lichi (*Litchi chinensis*) (RDA * Cantidad dietética recomendada).

Principio	Valor nutritivo	Porcentaje RDA
Energía	66 kcal	3,3 %
Carbohidratos	16,53 g	12,7 %
Proteína	0,83 g	1,5 %
Grasa total	0,44 g	2 %
Fibra dietética	1.3 g	3.5 %
Vitaminas		
Folatos	14 µg	3.5 %
Niacina	0,603 mg	3.5 %
Colina	7,1 mg	1 %
Piridoxina	0.100 mg	9 %
Riboflavina	0.065 mg	5 %
Tiamina	0.011 mg	1 %
Vitamina C	71,5 mg	119 %
Vitamina e	0.07 mg	0.5 %
Vitamina K	0,4 µg	0.3 %
Electrolitos		
Sodio	1 mg	0 %
Potasio	171 mg	3.5 %
Minerales		
Calcio	5 mg	0.5 %
Cobre	0.148 mg	16 %
Hierro	0,31 mg	4 %
Magnesio	10 mg	2.5 %
Manganeso	0.055 mg	2.5 %
Fósforo	31 mg	4.5 %
Selenio	0.6 µg	1 %

(Gilmand & Watson, 1993)

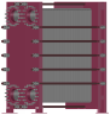


1.2 CANELA.

Cinnamomum zeylanic conocida como canela, proviene de la familia de las lauráceas, su nombre científico es *Cinnamomum verum* o *Cinnamomum Verum Blume*. Se obtiene de la corteza inferior del canelo o canelero (Firmino, et al., 2018). El género *cinnamomun* comprende varias especies, que son producidas en Asia y Australia, la más reconocida es la proveniente del árbol Sri Lanka (*Cinnamomum zeylanicum*). El uso principal de la canela es el de especia, no solo es impartir sabor picante o no de los alimentos y/o bebidas, sino como antioxidante o antimicrobiano, debido a que tiene un potencial como agente natural para la conservación de alimentos (Shang, Pin, & Shan, 2001).



Figura 4. Planta de canela *Cinnamomum zeylanic*.
(Melara & Saravia, 2017)



1.2.1 Taxonomía.

En el cuadro 6 se presenta la taxonomía de la canela.

Cuadro 6. Taxonomía de la canela (*Cinnamomum zeylanicum*).

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophytaa</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Lurales</i>
Familia	<i>Lauraceae</i>
Género	<i>Cinnamomum</i>
Especie	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>

(Botanical, 2019).

1.2.2 Composición.

La especie *cinnamomum* se distingue por contener un 4 % de aceite, los compuestos principales son aldehidos (cinnamaldehído) figura 5, en un 65-78 %, y fenoles (eugenol) figura 6, en un 4-10% (Firmino, et al., 2018).

El cinnamaldehído, es un fenilpropanoide que tiene una actividad antimicrobiana, es capaz de disminuir la presión arterial y los niveles de glucosa.

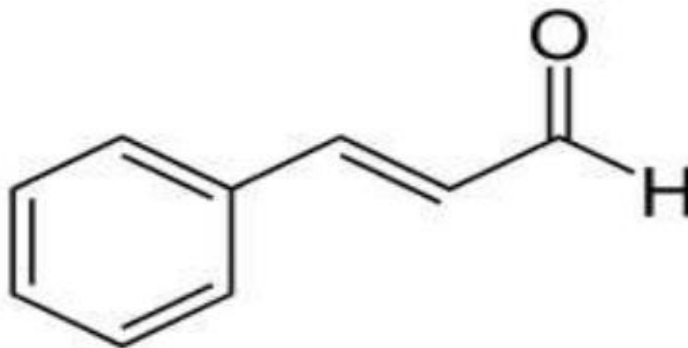


Figura 5. Estructura química del cinnamaldehído.
(Balmont, 2014)

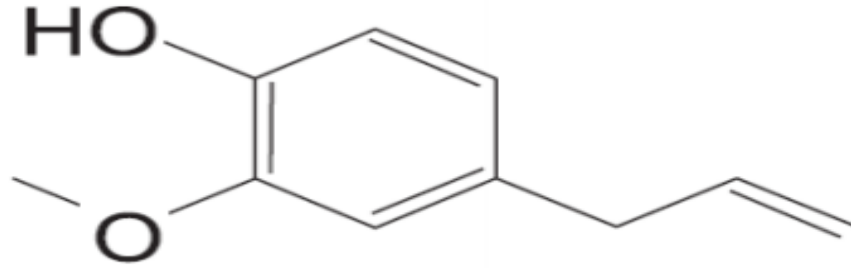
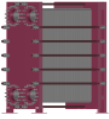


Figura 6. Estructura química del eugenol
(Balmont, 2014)

La concentración necesaria para lograr un efecto antimicrobiano es de alrededor de 0.5–20 $\mu\text{l g}^{-1}$ en los alimentos y alrededor de 0.1–10 $\mu\text{l ml}^{-1}$ en soluciones para lavar.

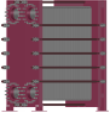
Los mecanismos de acción de los agentes bactericidas dependen del tipo de microorganismo y está relacionada con la estructura de la pared celular y la disposición de la membrana externa (Burt, 2004).

Como los aceites esenciales de la canela están constituidos por diferentes clases de compuestos químicos, la actividad antimicrobiana no se atribuye a un mecanismo específico; una característica importante de los componentes es su hidrofobicidad, permitiendo el desacomodo en los lípidos de la membrana de la célula bacteriana, ocasionando una perturbación en su estructura y la permeabilidad.

Las condiciones físicas que mejoran la acción antimicrobiana son:

- pH bajo
- Temperatura baja
- Niveles bajos de oxígeno
- Métodos térmicos de baja temperatura.

(Burt, 2004)



1.3 EXTRACTO VEGETAL.

Las bebidas no lácteas o mejor conocidas como “extractos vegetales” provienen de legumbres, cereales y vegetales mezcladas con grandes porcentajes de agua, poseen gran semejanza a la leche de procedencia animal sin ser productos lácteos. Se caracterizan por ser ligeras y de fácil digestión. Dentro de la industria alimenticia podemos encontrar diversos tipos de leches: almendras, coco, arroz, avena, linaza, alpiste, quínoa, sésamo, soya, avellanas, así como de nuez, girasol, mijo, cáñamo, trigo y espelta (Campagnaro, 2017).

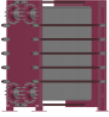
Se consume de la misma manera que las leches de procedencia animal, en cereales para desayuno, alimentos de cocción, en salsas, sopas, etc.

1.3.1 Elaboración de extractos vegetales.

El proceso para elaborar los extractos vegetales consiste en dejar las semillas en agua reposando durante un período 10 a 24 h, de manera que las semillas del cereal utilizado se encuentren lo suficientemente blandas para ser trituradas satisfactoriamente; la mezcla homogénea que se obtiene debe ser filtrada y dejarse reposar para posteriormente ser refrigerada. Una vez realizado todos estos pasos se puede tomar el extracto (Crespo, et al., 2009).

1.3.2 Extracto de Alpiste.

El extracto de alpiste es una bebida de fuente vegetal parecida a la leche de soya. Contiene propiedades benéficas para el consumo humano, principalmente: alto contenido proteico de origen vegetal, elevado contenido de antioxidantes que ayuda a retardar el envejecimiento de las células, contenido de la enzima lipasa, que interviene con el proceso de la quema de grasas, por lo que ayuda a la eliminación de ésta reduciendo el colesterol del organismo, y también ayuda a la regulación del azúcar en la sangre lo cual resulta de gran ayuda para personas diabéticas (Anchetta & Núñez, 2013).



1.4 PASTEURIZACIÓN.

Este proceso deriva del descubrimiento de Pasteur en 1857 de que el agriado de la leche se podría retrasar mediante calentamiento a 50-61 °C, aunque el hecho de que los agentes causales de la alteración y las enfermedades fueran microorganismos no estuvo bien establecido sino hasta finales del siglo XIX (Brennan, 2008).

El procesamiento térmico es la aplicación de calor a los alimentos, el método más antiguo es la pasteurización, es un proceso en el cual los microorganismos son destruidos por un tratamiento térmico, también implica la inactivación de enzimas que alteran las propiedades físicas y sensoriales (Chandrasekaran, Ramanathan, & Tanmay, 2013).

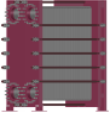
La pasteurización es un proceso térmico aplicado a los alimentos con el propósito de reducir el número de organismos patógenos responsables del deterioro en una cantidad específica, normalmente entre 5 a 6 reducciones logarítmicas, para mejorar la seguridad alimentaria y alargar la vida de anaquel. Para garantizar que los microorganismos patógenos sean eliminados, el alimento se somete a una temperatura y tiempo determinado (Simpson, 2009). La pasteurización en alimentos tiene un procesamiento térmico menos severo (72 °C por 15 s) en comparación a la esterilización que normalmente maneja una temperatura de 121 °C por 3 min, el hecho de seleccionar la pasteurización o esterilización depende del alimento y de las características sensoriales que se quieren conservar (Ahmed & Ramaswamy, 2007).

1.4.1 Etapas de la pasteurización.

Las etapas en las que se divide el proceso de pasteurización son:

1.4.1.1 Regeneración.

El fluido proceso llega al intercambiador a 24 °C aproximadamente, proveniente de un tanque regulador, en el primer tramo se calienta por regeneración. En esta sección de regeneración o precalentamiento, el fluido proceso se calienta por medio del fluido ya pasteurizado, cuya temperatura se aprovecha en esta zona de regeneración, siempre y cuando el proceso se encuentre en funcionamiento continuo (Narváes Salvador & Narváes Vega, 2005).



1.4.1.2 Calentamiento.

Al salir de la sección de regeneración el fluido proceso pasa al área de calentamiento donde se calienta hasta la temperatura de pasteurización, esta oscila entre 72 y 75 °C (pasteurización HTST), para eliminar microorganismos patógenos (Narváes Salvador & Narváes Vega, 2005).

1.4.1.3 Mantenimiento.

En esta etapa el fluido proceso debe mantenerse a temperaturas entre 72 y 75 °C durante 15 a 20 s (pasteurización HTST) para así eliminar los microorganismos termorresistentes como la *Salmonella* y mantener las propiedades del fluido (Narváes Salvador & Narváes Vega, 2005).

Para mantener la temperatura durante ese intervalo de tiempo, el fluido proceso circula por una tubería de acero inoxidable aislada térmicamente.

1.4.1.4 Regeneración.

A la salida de la etapa de mantenimiento, el fluido pasa por una válvula de desviación, en esta válvula si el fluido proceso no alcanza la temperatura de 72-75 °C, automáticamente regresa al tanque regulador o de alimentación para ser nuevamente reprocesado, si el fluido proceso alcanzó la temperatura deseada, pasa a la zona de regeneración, donde es enfriado por el fluido antes de ser sometido al proceso térmico hasta llegar aproximadamente los 18 °C (Narváes Salvador & Narváes Vega, 2005).

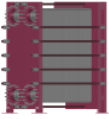
1.4.1.5 Enfriamiento.

Para terminar el proceso de pasteurización y que sea efectivo, se debe bajar rápidamente la temperatura del fluido proceso entre 4 y 5 °C, y así mantener a los microorganismos en estado inactivo de reproducción (Narváes Salvador & Narváes Vega, 2005).

1.4.2 Tipos de procesos de Pasteurización.

Con el paso del tiempo se han estudiado diferentes combinaciones entre temperaturas y tiempos para pasteurizar, pero se han reducido a tres:

- a) Pasteurización discontinua o Vat (lenta)



- b) Pasteurización HTST - High Temperature / Short Time (Pasteurización a altas temperaturas durante un breve periodo de tiempo)
- c) Pasteurización UHT – Ultra High Temperature (Altas temperaturas)
(IDFA, 2020)

En el cuadro 7 se observar los tipos de pasteurización y sus condiciones.

Cuadro 7. Tipos de proceso de pasteurización.

Proceso	Temperatura °C	Tiempo
Vat	65 °C	30 min
HTST	72-75 °C	15-20 s
UHT	138 °C	2 s

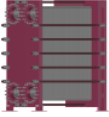
1.4.2.1 Pasteurización VAT

Primer método de pasteurización, el cual se ha ido renovando por sistemas más eficaces. Este proceso consiste en calentar el alimento a 65 °C y mantener a esta temperatura durante 30 min, para posteriormente enfriar lentamente a temperaturas entre 4 y 10 °C (UNAM, 2005).

Para efectuar este enfriamiento se puede usar el mismo recipiente haciendo circular por la camisa de doble fondo, agua helada hasta que el alimento tenga la temperatura deseada, el uso de la pasteurización VAT es adecuada para procesar pequeñas cantidades (UNAM, 2005).

1.4.2.2 Pasteurización HTST

Este tratamiento se emplea en líquidos a granel como la leche, zumos de fruta, cerveza, etc., consiste en aplicar al alimento una temperatura de 72-75 °C en un tiempo de 15 a 20 s. Esta pasteurización se realiza en intercambiadores de calor de placas. Para terminar el recorrido del alimento, saliendo del intercambiador a la temperatura de 4 °C, generalmente (UNAM, 2005).



Es el más conveniente, debido a que expone al alimento a altas temperaturas durante un periodo breve y necesita poco equipamiento industrial para realizar este proceso.

Existen dos métodos distintos bajo la categoría de pasteurización HTST:

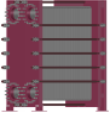
- Proceso Batch: una gran cantidad de alimento se calienta en un recipiente estanco (autoclave). Es un método aplicado hoy en día, sobre todo por los pequeños productores debido a que es un proceso sencillo (Pelayo, 2010).
- Proceso de flujo continuo: el alimento se mantiene entre dos placas de metal, también denominadas intercambiador de calor de placas o un intercambiador de calor de forma tubular. Este método es el más aplicado por las industrias alimenticias a una mayor escala, ya que el método permite realizar la pasteurización de grandes cantidades de alimento en poco tiempo (Pelayo, 2010).

1.4.2.3 Pasteurización UHT

El fundamento de la ultra pasteurización UHT (Ultra High Temperature), es la esterilización del alimento antes de empacar, es de flujo continuo y mantiene el alimento a una temperatura superior que la empleada en el proceso de HTST, y puede rondar en los 138 °C durante un periodo de al menos 2 s (Pelayo, 2010).

Debido a este periodo de exposición breve, se reduce el número de organismos patógenos y la actividad enzimática, afecta la calidad del producto, produce la pérdida de componentes termosensibles, responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos.

Este método es empleado en productos líquidos como leches, jugos, cremas, yogurt, vinos, aderezos, alimentos con partículas discretas, alimentos para bebé, derivados del tomate, jugos de fruta, verduras y sopas (Pelayo, 2010).



1.4.3 Efecto sobre los alimentos.

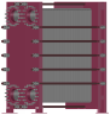
La pasteurización es un proceso térmico relativamente suave, los cambios sobre las características organolépticas y el valor nutritivo de los alimentos pasteurizados son pocos. Sin embargo, la vida útil de los alimentos pasteurizados es tan solo de unos pocos días o semanas que los cambios más notorios son los mencionados a continuación:

- Color, aroma

La principal causa de alteración de color en los zumos de frutas es el pardeamiento enzimático provocado por la polifenoloxidasas. Las pérdidas en los componentes aromáticos volátiles de los zumos provocadas por la pasteurización son pequeñas, pero importantes, ya que estos compuestos contribuyen a disimular el aroma a “producto cocido” que se desarrolla como consecuencia del tratamiento térmico (Fellows, 1994).

- Pérdidas vitamínicas

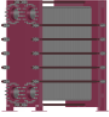
La deaireación permite reducir al mínimo las pérdidas en caroteno y vitamina C. Los cambios experimentados como consecuencia de la pasteurización se eliminan a una reducción del 5% en las proteínas séricas y pérdidas de poca importancia en el contenido vitamínico (Fellows, 1994).



En el cuadro 8 se presenta el principal objetivo de la pasteurización en algunos alimentos.

Cuadro 8. Objetivo de la pasteurización en diversos alimentos.

Alimento	Objetivo principal	Objetivo secundario	Condiciones mínimas del tratamiento
Zumo de frutas	Inactivación enzimática (pectinesterasa y poligalacturonasa)	Destrucción de gérmenes causantes de alteraciones (levaduras y hongos)	65 °C durante 30 min; 77 °C durante 1 min; 88 °C durante 15 s
Cerveza	Destrucción de los microorganismos causantes de alteraciones (levaduras salvajes, especies de <i>Lactobacillus</i> y levaduras residuales (especies de <i>Saccharomyces</i>)		65-68 °C durante 20 min (en botellas); 72-75 °C durante 1-4 min a 900-1.000 kPa
Leche	Destrucción de gérmenes patógenos: <i>Brucella abortus</i> , <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , (<i>Coxiella burnetti</i>)	Destrucción de enzimas y gérmenes causantes de alteraciones.	63 °C durante 30 min; 71.5 °C durante 15 s.
Huevo líquido	Destrucción de gérmenes patógenos: <i>Salmonella seftenburg</i>	Destrucción de gérmenes causantes de alteraciones	64.4 °C durante 2.5 min; 60 °C durante 3.5 min
Helados	Destrucción de gérmenes patógenos	Destrucción de gérmenes causantes de alteraciones	65 °C durante 30 min; 71 °C durante 10 min; 80 °C durante 15 s



1.4.4 Métodos Emergentes.

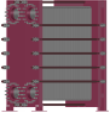
Los métodos tradicionales de conservación de alimentos basados en tratamientos térmicos, eficaces para garantizar su seguridad, tienen algunos efectos negativos sobre el producto, como pérdida o reducción de ciertos nutrimentos o alteración de sus características sensoriales. Por esta razón, tanto los centros de investigación especializados como los departamentos de las industrias alimentarias están realizando un esfuerzo en desarrollar dos líneas de trabajo: por un lado, nuevas tecnologías de conservación con tratamientos térmicos alternativos o mejora de los ya existentes (Pelayo, 2010).

La aplicación de calor para la conservación de alimentos ha dado lugar al desarrollo de varias metodologías. Se trata de un método de conservación que solo conduce a una destrucción selectiva de la población microbiana patógena que se encuentra presente en un alimento. La elección de la temperatura a aplicar y el tiempo necesario dependen del objetivo del tratamiento térmico y no debe provocar cambios en la composición química del alimento, sin embargo, las esporas termorresistentes no resultan inactivadas bajo estas condiciones y para lograr una conservación más prolongada se precisa una forma más drástica de tratamiento térmico (García, Malo, & Morales, 2010).

1.5 TRANSFERENCIA DE CALOR.

Cuando existe un gradiente de temperatura dentro de un sistema, o cuando dos sistemas a diferentes temperaturas entran en contacto, la energía es transferida. El proceso por el cual la energía es transferida se conoce como transferencia de calor. Lo que se transporta, denominado calor, no se puede observar o medir de manera directa. Sin embargo, sus efectos se pueden identificar y cuantificar mediante mediciones y análisis. El flujo de calor, al igual que la realización de trabajo, es un proceso mediante el cual se cambia la energía interna de un sistema (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

El calor es energía en tránsito que tiene lugar como resultado de las interacciones entre un sistema y otro debido a una diferencia de temperatura. La transferencia de calor



pretende no solo explicar cómo el calor es transferido, sino también la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia (Holman, 1999).

1.6 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

1.6.1 Conducción.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. Dicha acción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases., la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio.

En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. La conducción ocurre por contacto de una parte de un cuerpo con otra parte del mismo u otro cuerpo, sin que se aprecie un desplazamiento en sus moléculas (Cengel & Grhajar, 2011).

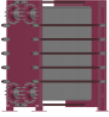
1.6.1.1 Transferencia de calor por conducción.

Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, se muestra que hay una transferencia de energía desde la región a alta temperatura hacia la región de baja temperatura. Se dice que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura:

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial X} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Cuando se introduce la constante de proporcionalidad:

$$q_{cond} = -kA \frac{\partial T}{\partial X} \quad [\text{Ec. 2}]$$



Donde

$\frac{\partial T}{\partial X}$ = Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor. $\left[\frac{K}{m}\right]$

k = Conductividad térmica del material. $\left[\frac{W}{K \cdot m}\right]$

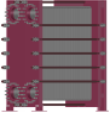
A = Área. $[m^2]$

El signo negativo satisface el segundo principio de la termodinámica; esto es, el calor debe fluir hacia las temperaturas decrecientes; se llama ley de Fourier de la conducción de calor. Es importante señalar que esta ecuación define la conductividad térmica (Geankoplis, 1998).

1.6.2 Convección.

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura.

La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia. La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido (Cengel & Grhajar, 2011).



1.6.2.1 Transferencia de calor por convección.

La transferencia de calor por convección comprende movimiento de fluido, así como conducción del calor. El gradiente de temperaturas depende de la rapidez con que el fluido se lleva el calor; una velocidad alta produce un gradiente de temperaturas grande. El movimiento del fluido mejora la transferencia de calor pues pone en contacto porciones más calientes y frías de ese fluido, es decir, mientras más alta es la velocidad del fluido, mayor es la transferencia de calor.

La transferencia de calor por convección depende del régimen del fluido, así como de las siguientes propiedades del fluido:

- Viscosidad dinámica
- Conductividad térmica
- Densidad
- Calor específico

La transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa como la ley de enfriamiento de Newton: (Geankoplis, 1998)

$$q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) = \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad [\text{Ec. 3}]$$

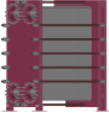
Donde:

h = Coeficiente de calor por convección

A_s = Área de la superficie

T_s = Temperatura de la superficie.

T_∞ = Temperatura del fluido



1.6.3 Radiación.

La energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas recibe la radiación, a diferencia de la conducción y convección la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor.

La transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica (Cengel & Grhajar, 2011).

1.6.3.1 Transferencia de calor por radiación.

La determinación de la transferencia de calor por radiación entre dos superficies depende de las propiedades de la superficie, de la orientación de una con respecto a otra y de la interacción del medio que existe entre ellas con la radiación.

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

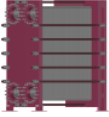
ε = Emisividad de la superficie a temperatura ambiente.

A_s = Área de la superficie.

T_s = Temperatura de la superficie.

T_{alred} = Temperatura del alrededor.

$\sigma = 5.670\text{E-}8 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right)$ Constante de Stefan-Boltzmann



Los efectos de transferencia de calor por radiación son despreciables en fenómenos de recuperación de energía residual. Sin embargo, puede incluirse este fenómeno en los coeficientes de transferencia de calor por convección (Mendoza, 2018).

1.7 TIPOS DE CALOR.

1.7.1 Calor sensible.

Cuando a una sustancia se le suministra calor y esta aumenta su temperatura sin experimentar un cambio de fase, se dice que absorbe calor sensible. El calor sensible depende de la masa, la naturaleza química de la sustancia y la diferencia de temperaturas es la suma de la energía cinética total de todas las moléculas de una sustancia necesaria para incrementar o reducir su temperatura (Aguilar, 2017).

1.7.2 Calor latente.

Cantidad de calor que necesita una sustancia para cambiar de estado ya sea de sólido a líquido o viceversa sin cambio de temperatura. Esto quiere decir que, sin aumentar la temperatura de un cuerpo, produce en él un cambio significativo (Aguilar, 2017).

1.8 TIPOS DE FLUIDO.

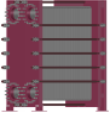
Los intercambiadores de calor usualmente requieren de dos fluidos a diferente temperatura para así poder realizar la transferencia de calor, estos son el fluido de servicio y el fluido de proceso.

1.8.1 Fluido de proceso.

Es aquel el cual su objetivo es ser calentado o enfriado por el fluido de servicio para someterlo a un proceso térmico, estos pueden ser de muchos tipos desde leche, miel hasta fluidos más complejos como salsas, sopas o helado (Thulukkanam, 2013).

1.8.2 Fluido de servicio.

Es aquel que el operador puede controlar, usualmente proviene de una caldera o de una torre de enfriamiento según sea el caso para el cual se desea ocupar, en la mayoría de



los casos se ocupa agua, pero se pueden utilizar fluidos refrigerantes o hasta salmueras que son las menos utilizadas (Thulukkanam, 2013).

1.9 FLUJO DE FLUIDOS.

1.9.1 Flujo paralelo.

Las dos corrientes de fluidos ingresan al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa. Como el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima la una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos. El fluido con menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente (Jaramillo , 2007). En la figura 7 se observa el flujo en paralelo.

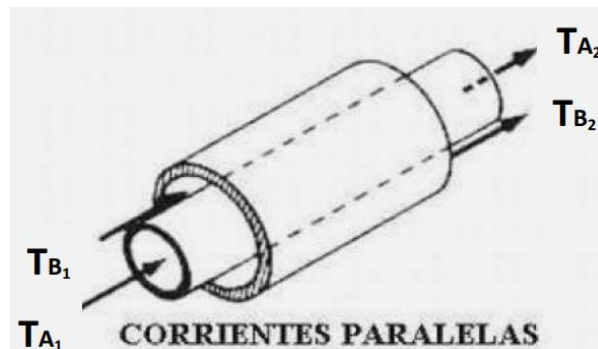
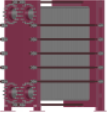


Figura 7. Flujo en paralelo
(Jaramillo , 2007)



1.9.2 Flujo contracorriente.

La figura 8 presenta un flujo contracorriente, cuando los dos fluidos fluyen en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos. Ya que el fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura (Jaramillo , 2007).

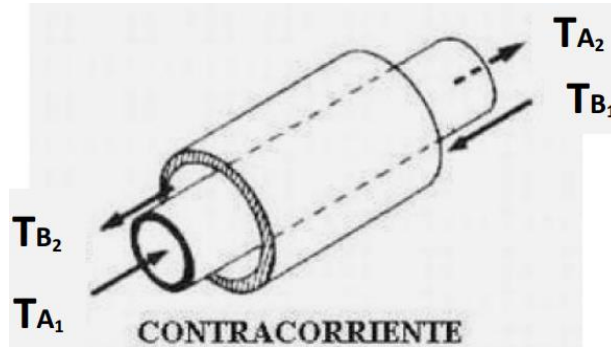


Figura 8. Flujo en contracorriente (Jaramillo , 2007)

1.9.3 Flujo cruzado de un solo paso.

Una corriente de fluido se desplaza dentro del intercambiador de forma perpendicular a la trayectoria de la otra corriente de fluido. Por lo general se utilizan cuando en una de las corrientes de fluido presenta cambio de fases (Vilches, 2013). La figura 9 representa un flujo cruzado de un solo paso.

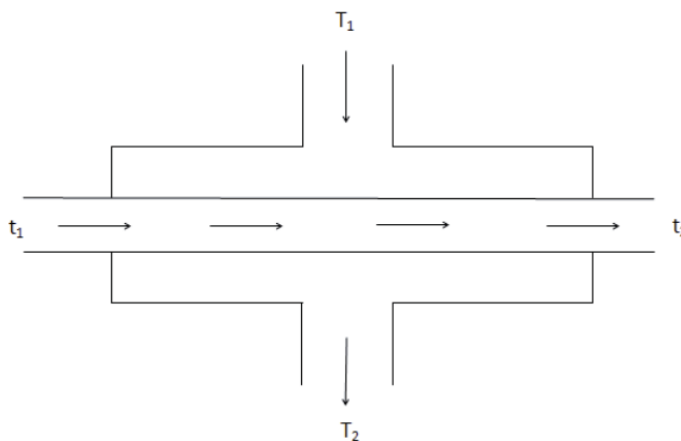
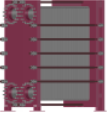


Figura 9. Flujo cruzado en un solo paso (Vilches, 2013)



1.9.4 Flujo cruzado de paso múltiple.

La transferencia de calor se realiza en más de un paso, permitiendo un mejor desempeño del intercambiador. El flujo cruzado de paso múltiple (figura 10) combina las características de dos o más intercambiadores de calor, las corrientes de fluidos intercambian calor más de una vez. Este tipo de intercambiador invierte el sentido de las corrientes utilizando pliegues en los bordes en forma de “U” lo que permite el retorno del fluido e incrementa el área de transferencia de calor.

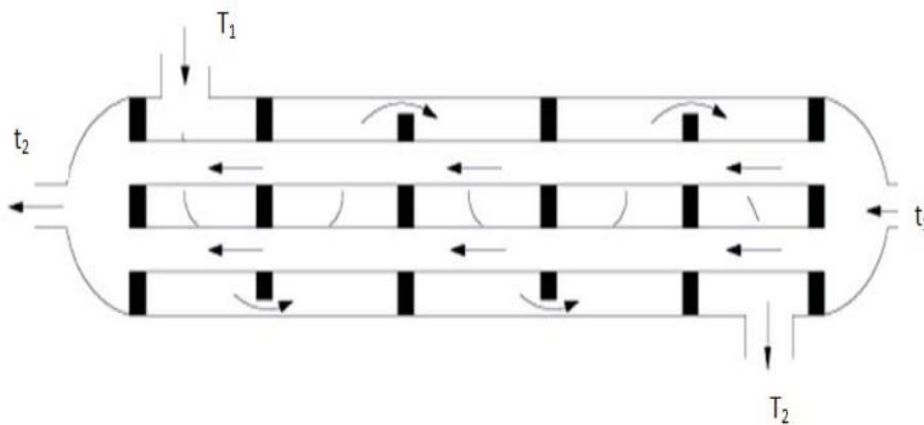
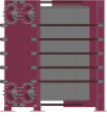


Figura 10. Flujo cruzado en un solo paso (Vilches, 2013)

1.10 INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Son aparatos que facilitan la transferencia de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. En un intercambiador la transferencia de calor suele comprender convección en cada fluido y conducción a través de la pared que los separa (Cengel & Grhajar, 2011).

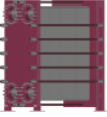


1.10.1 Clasificación de intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calor se clasifican por su: geometría, construcción, procesos de transferencia, grado de compactación de la superficie, arreglos de flujo, fase de los fluidos de proceso y mecanismo de transferencia de calor (Thulukkanam, 2013).

En la industria de alimentos los intercambiadores de calor más utilizados son:

- Tubulares
 - Tubos y corazas
 - Doble tubo
 - Multitubular
 - Superficie Raspada
- De placas
 - Espiral
 - Placas y marcos
- Tanques enchaquetados



1.10.2 Intercambiadores Tubulares.

1.10.2.1 Intercambiador de tubos y coraza.

En los procesos industriales más del 90% de los intercambiadores de calor utilizados es de tubos y corazas (figura 11). Estos intercambiadores de calor contienen un gran número de tubos (a veces varios cientos) empacados en un casco con sus ejes paralelos a éste. La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por dentro de los tubos, en tanto que el otro se mueve por fuera de éstos, pasando por la coraza. Es común la colocación de desviadores en la coraza para forzar al fluido a moverse en dirección transversal a dicha coraza con el fin de mejorar la transferencia de calor, y también para mantener un espaciamiento uniforme entre los tubos (Cengel & Grhajar, 2011).

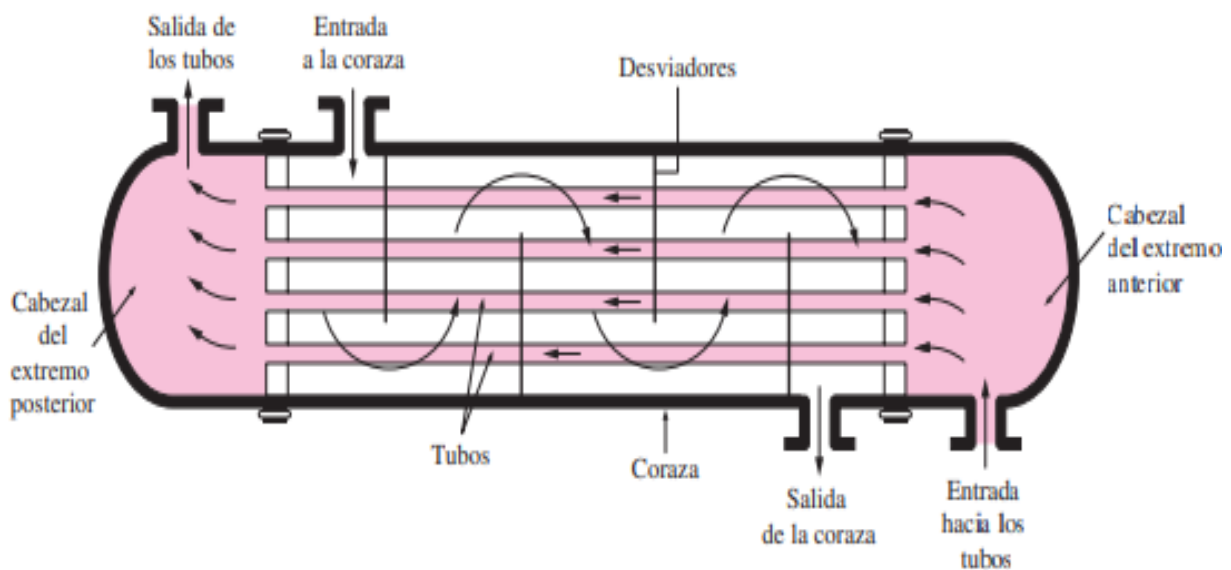
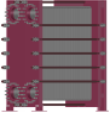


Figura 11. Esquema de un intercambiador de calor de tubos y corazas (Geankoplis, 1998).

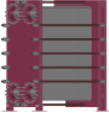


1.10.2.2 Intercambiador doble tubo.

El intercambiador de doble tubo o de tubos concéntricos (figura 12), tiene dos tubos concéntricos, usualmente con un diseño de curvatura en U. Uno de los fluidos fluye en el interior de una tubería y el otro lo hace en el espacio anular entre ambas tuberías. Los fluidos pueden circular en paralelo o contracorriente (Geankoplis, 1998). Se utiliza para flujos volumétricos pequeños, por lo que están destinados a ser utilizados cuando se requieren áreas de transferencia de calor pequeñas. No se utiliza para alimentos con sólidos en suspensión, sólo para fluidos de baja viscosidad (Martínez F. J., 2010).



Figura 12. Intercambiador doble tubo.
(SACOME, 2019)



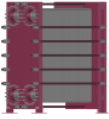
1.10.2.3 Intercambiador de calor multitubular.

El intercambiador de calor multitubular está formado por un haz tubular dentro de una carcasa. El producto fluye por los tubos interiores, mientras que el servicio lo hace por el canal exterior (SACOME, 2019).

La diferencia que tiene con un intercambiador de calor de tubos y coraza, es el número de tubos y en el diámetro del tubo externo, mientras en el de tubos y coraza se pueden tener diámetros de coraza de hasta 40 in, en el multitubular el diámetro no es mayor de 6 in. Se utiliza para fluidos sin sólidos en suspensión y de baja viscosidad (Martínez, 2010).



Figura 13. Intercambiador de calor multitubular (SACOME, 2019).



1.10.2.4 Intercambiador superficie raspada

Un intercambiador de calor de superficie raspada (figura 14) es ideal para calentar o enfriar productos alimenticios viscosos y con sólidos en suspensión. El producto se bombea hacia el extremo inferior del intercambiador de calor vertical y fluye por el cilindro, se agita de forma constante, cuenta con elementos (cuchillas) que le permiten raspar la pared del tubo interno para evitar que se incruste el alimento y se disminuya la velocidad de transferencia de calor. Los medios de calentamiento y enfriamiento fluyen en el espacio anular entre el cilindro de transferencia de calor y la cubierta aislante (Group, 2020).

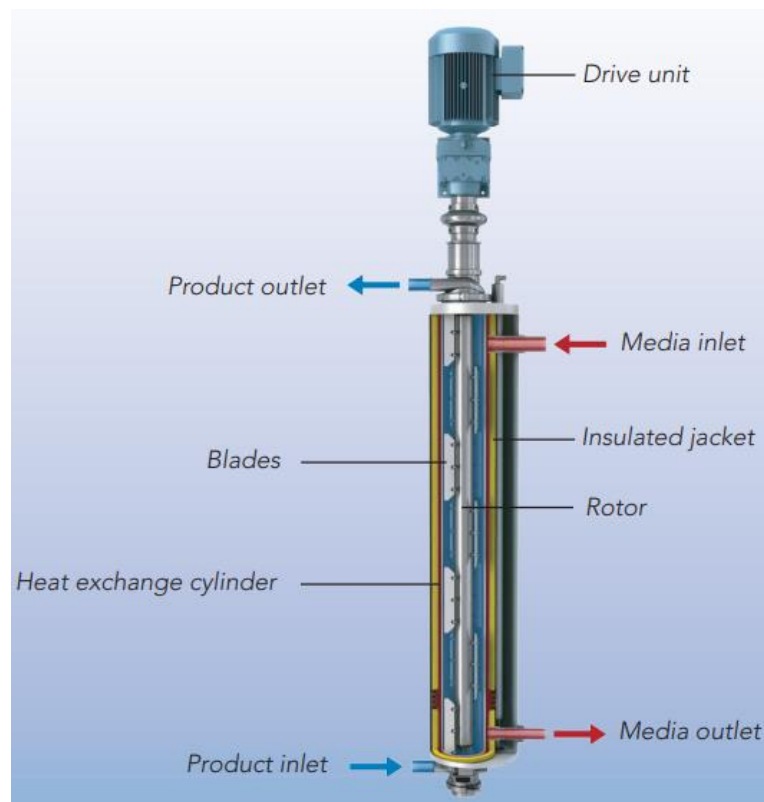
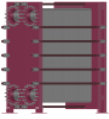


Figura 14. Intercambiador superficie raspada (Tetra Laval).



1.10.3 Intercambiadores de placas.

1.10.3.1 Espiral

Los intercambiadores de placas en espiral (figura 15) tienen ventajas que los intercambiadores de tubos y coraza no tienen, se fabrican haciendo rodar un par de tiras de placa relativamente largas alrededor de un mandril dividido, para formar un par de pasos en espiral. El espaciamiento del canal se mantiene uniforme a lo largo de los pasos en el espiral (Mendoza, 2018).

La fuerza centrífuga incrementa la transferencia de calor, es compacto, fácil de limpiar y resistente a las incrustaciones. Son utilizados para manejar fluidos altamente viscosos o con sólidos en suspensión. La transferencia de calor se da en régimen laminar (Martínez, 2010).

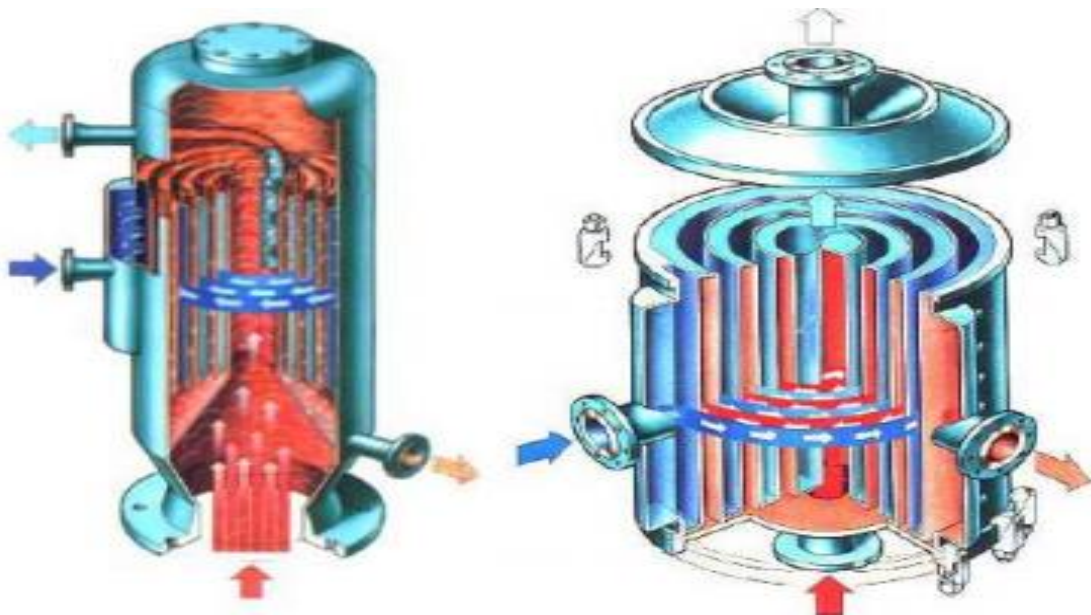
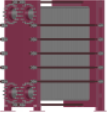


Figura 15. Intercambiador de placas en espiral (Martínez, 2010).



1.10.3.2 Placas y marcos

Los intercambiadores de placas y marcos (figura 16) se usan para calentar o enfriar fluido de baja viscosidad y sin sólidos en suspensión. El intercambiador de calor de placas y marcos consiste en un paquete de placas metálicas en contacto mutuo y provisto de cuatro orificios para el paso de los fluidos. El paquete de placas se comprime mediante un marco o bastidor que consiste en una placa fija y otra móvil, en el marco las placas están sujetas por una barra guía superior y por otra barra guía inferior para asegurar una alineación correcta, con tornillos de apriete, todo esto para asegurar la compresión óptima y hermeticidad del paquete de placas (Martínez R. C., 2011).

Son compactos con una gran superficie de intercambio y las placas en conjunto proporcionan una mayor eficiencia térmica requiriendo menor espacio de instalación. La transferencia de calor se da en régimen turbulento. Las placas tienen un espesor de entre 3 a 6 mm, y tienen varios ángulos de inclinación (Martínez R. C., 2011).

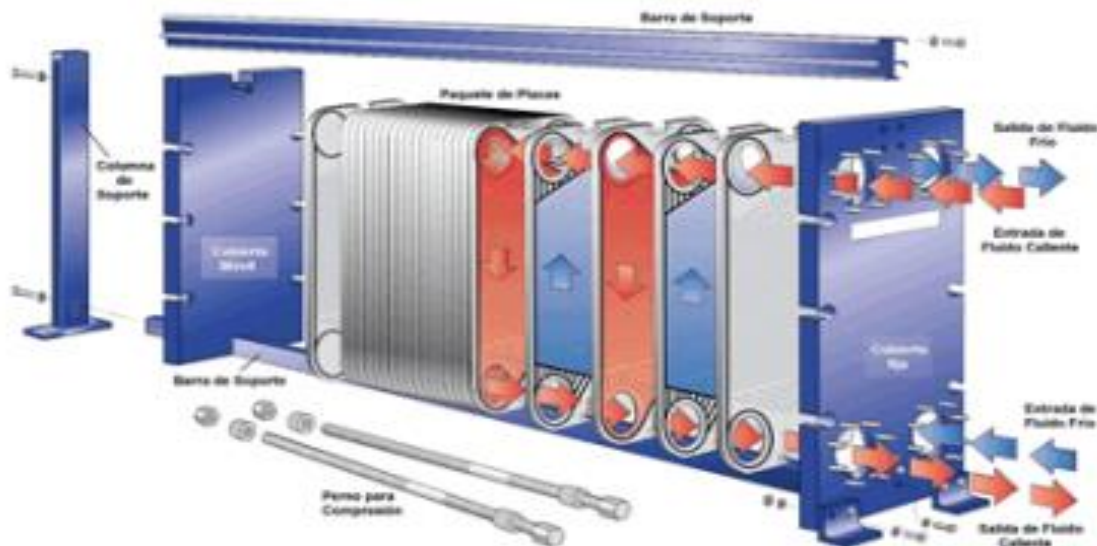
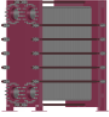


Figura 16. Intercambiador de placas y marcos (ECN, 1991).

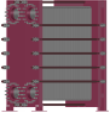


1.10.4 Tanques enchaquetados

Los tanques enchaquetados (figura 17) son recipiente en acero que se utilizan para mantener una temperatura constante durante un periodo, si se ocupan para calentar o enfriar, el proceso es lento y requiere un alto consumo de energía, tienen un revestimiento (chaqueta) el cual facilita el intercambio de calor, se utiliza la chaqueta generalmente de forma externa, recubriendo al tanque, por lo general están provistos de equipo de agitación para mejorar los coeficientes de transmisión de calor.



Figura 17. Tanque enchaquetado (Martínez, 2010).



1.11 FACTORES DE INCRUSTACIÓN

Después de cierto tiempo en operación las superficies de transferencia de calor de un cambiador de calor pueden cubrirse con diversos depósitos presentes en los sistemas de flujo, o las superficies pueden oxidarse como resultado de la interacción entre los fluidos y el material usado para la construcción del aparato. En ambos casos, esta capa representa una resistencia adicional al flujo de calor y tiene como resultado una reducción en el rendimiento.

El efecto total se representa casi siempre por medio de un factor de incrustación o resistencia por incrustación (R_f), que debe incluirse junto con las demás resistencias térmicas que forman el coeficiente de transferencia de calor total. Los factores de incrustación deben obtenerse experimentalmente determinando los valores de U tanto para condiciones limpias como de incrustación en el cambiador de calor. El factor de incrustación se define como:

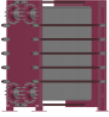
$$R_f = \frac{1}{U_{sucio}} - \frac{1}{U_{limpio}} \quad [\text{Ec. 5}]$$

(Holman, 1999).

1.12 TERMORRESISTENCIA MICROBIANA

La principal causa del deterioro o intoxicación de los alimentos es el ataque por diferentes microorganismos (bacterias, levaduras y mohos), estos alimentos pueden resultar perjudiciales para la salud de los consumidores.

Los microorganismos requieren de una determinada temperatura para su crecimiento, cuando esta se sobrepasa la velocidad de desarrollo se reduce y eventualmente, se detiene o provoca su muerte. La temperatura y tiempo necesario para destruir un microorganismo concreto y sus esporas (si es esporulado), depende de su termorresistencia. Las esporas son más termorresistentes que las células vegetativas y hay diversos factores del entorno microbiano que pueden modificar la resistencia al calor, por ejemplo, la presencia de grasa en el alimento (Márquez, 2007).



La termorresistencia de una célula o de una población microbiana está generalmente definida por el tratamiento térmico máximo que la célula o población microbiana es susceptible de soportar. Desde un punto de vista práctico, por muerte microbiana se entiende la pérdida de la capacidad para reproducirse cuando se le coloca en condiciones idóneas para su multiplicación. Muchos microorganismos no esporulados responsables de la alteración de los alimentos son considerablemente más termorresistentes que los patógenos no esporulados, por lo que, normalmente, un tratamiento que elimine los microorganismos alterantes también destruirá a los patógenos (Garza, 1998).

1.12.1 Cinética de destrucción Microbiana.

La eliminación de microorganismos y la inactivación enzimática se ajusta a la cinética de primer orden a una determinada temperatura del proceso térmico (T). La ecuación (6) puede explicar la población de microorganismos o el cambio de la actividad enzimática (N) dependiendo del tiempo de tratamiento (t) a una temperatura determinada:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_T = -kN \quad [\text{Ec. 6}]$$

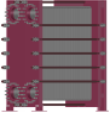
Cuando se integra la ecuación (6) en términos de condiciones iniciales, se obtienen las ecuaciones (7) y (8), que definen la curva de supervivencia en función del tiempo a una determinada temperatura.

$$\ln (N/N_0) = -kt \quad [\text{Ec. 7}]$$

$$(N = N_0 \exp(-kt))_T \quad [\text{Ec. 8}]$$

donde k es la constante de velocidad de reacción (s^{-1}) para la cinética de primer orden que representa la relación fisicoquímica entre la temperatura y la velocidad de reacción k, también se conoce por la ecuación de Arrhenius que fue formulada por Svante Arrhenius con la combinación de energía de activación y la ley de distribución de Boltzman.

$$k = A \exp (-E_a/RT) \quad [\text{Ec. 9}]$$



donde A es la constante de Arrhenius o el factor de frecuencia (por s para la cinética de primer orden), E, es la energía de activación (J / mol), R es la constante universal de los gases (8.314 J / mol·K), y T es la temperatura (K).

(Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018).

1.12.2 Valor D.

El valor D se define como el tiempo requerido de calentamiento para una reducción del 90% ($N = N_0/10$) en el número de microorganismos o actividad enzimática a temperatura constante. La ecuación 10 se puede ocupar para calcular el valor D:

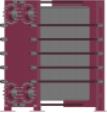
$$\ln\left(\frac{N_0}{10}/N_0\right) = -kD \quad [\text{Ec. 10}]$$

Al simplificar la ecuación (10), se obtiene la ecuación (11) que expresa la relación matemática entre el valor D y la constante de velocidad de reacción (k).

$$D = 2.303/k \quad [\text{Ec. 11}]$$

Si los logaritmos de los números de microorganismos de supervivencia o las actividades enzimáticas residuales se grafican contra diferentes tiempos de calentamiento a temperatura constante, se obtendrá una línea recta que se expresa matemáticamente mediante una ecuación semilogarítmica. La línea obtenida también se conoce como curva de inactivación térmica (figura 14).

En la curva, el intervalo de tiempo que corresponde al intervalo de un ciclo logarítmico se define como el valor D (triángulo pequeño en ángulo recto, la pendiente es $1 / D$). Para la reducción de los números de microorganismos o la actividad enzimática de $\log(N_0)$ a $\log(N)$, el tiempo requerido a temperatura constante se define por t (triángulo grande en ángulo recto, la pendiente es $\log(N_0/N)/t$ (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018). La ecuación se puede escribir con el uso de triángulos en ángulo recto que tienen pendientes similares:



$$\frac{\log(N_0) - \log(N)}{t} = \frac{1}{D} \quad [\text{Ec. 12}]$$

$$t = D \log(N_0/N) \quad [\text{Ec. 13}]$$

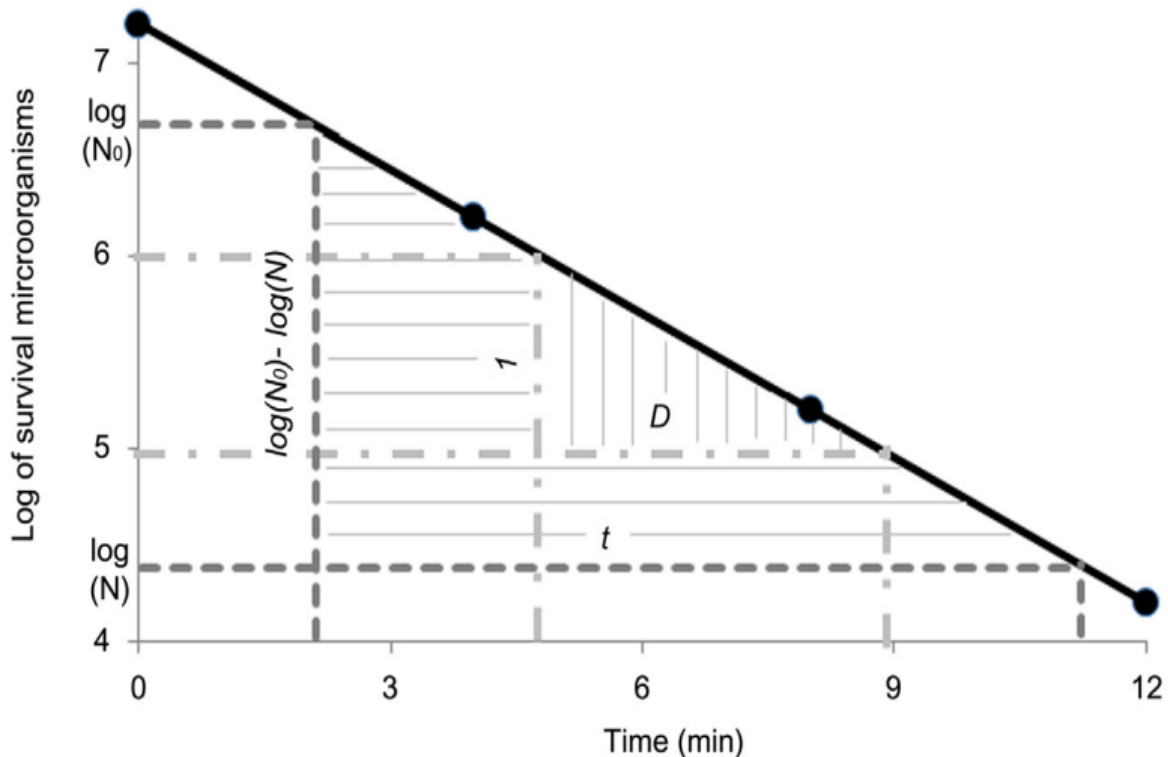
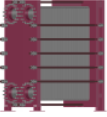


Figura 18. Gráfico semilogarítmico de supervivencia del microorganismo contra tiempo a temperatura constante (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018).

1.12.3 Valor Z.

El valor Z se define como la cantidad de temperatura requerida para reducir el valor D de un microorganismo o enzima en un factor de 10. Para un microorganismo o enzima, si se trazan gráficas de los logaritmos del valor D en función de la temperatura, se obtendrá una línea recta que es una ecuación semilogarítmica que se expresa matemáticamente como el valor Z. La línea obtenida también se conoce como curva de resistencia térmica para el microorganismo o enzima (figura 15).

En esta curva, el intervalo de temperatura que corresponde a un intervalo de un ciclo logarítmico se define como el valor Z (triángulo rectángulo pequeño, la pendiente es $1/Z$).



Para la reducción del microorganismo o enzima el valor D de $\log D_1$ a $\log D_2$, el requisito de temperatura se define como $T_2 - T_1$ (triángulo grande en ángulo recto, la pendiente es $\log(D_1) - \log(D_2) / T_2 - T_1$). Las siguientes ecuaciones se pueden escribir usando triángulos en ángulo recto que tengan una pendiente similar (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018):

$$\frac{\log(D_1) - \log(D_2)}{T_2 - T_1} = \frac{1}{Z} \quad [\text{Ec. 14}]$$

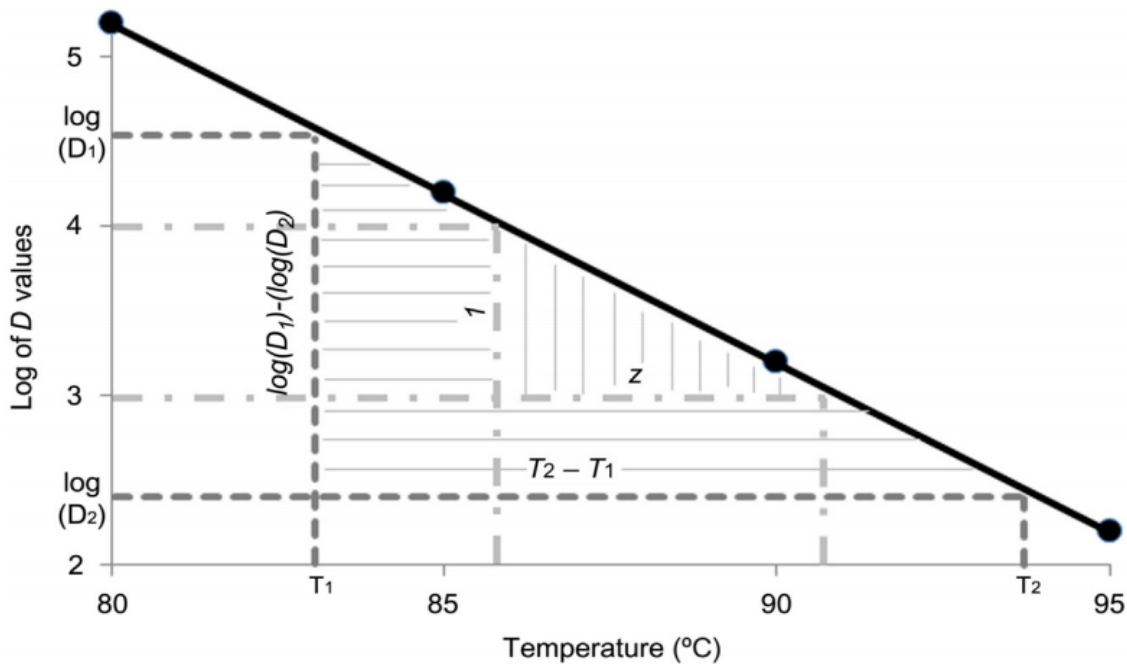
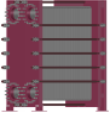


Figura 19. Gráfico semilogarítmico de valores D contra temperaturas (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018).

$$\frac{D_1}{D_2} = 10^{\frac{T_2 - T_1}{Z}} \quad [\text{Ec. 15}]$$

Con la ecuación (15) se calcula el valor D a cualquier temperatura, cuando el valor D a una temperatura determinada y el valor Z son conocidos por el microorganismo o enzima. La ecuación se puede usar para derivar una fórmula relacionada con el modelo de Arrhenius. Si la ecuación (11) que describe la relación entre el valor D y la constante de



velocidad de Arrhenius (k) se inserta en la ecuación (15), se obtiene: (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018):

$$\frac{K_2}{K_1} = 10^{\frac{T_2-T_1}{Z}} \quad [\text{Ec. 16}]$$

Para obtener una ecuación relacionada con la energía de activación (E_a) y el valor Z , la ecuación de velocidad de reacción (9) debe insertarse en la ecuación (16). Por lo tanto, se obtendrá la siguiente ecuación:

$$\frac{A_{exp}(-E_a/RT_2)}{A_{exp}(-\frac{E_a}{RT_1})} = 10^{\frac{T_2-T_1}{Z}} \quad [\text{Ec. 17}]$$

Simplificando la ecuación (17), se obtiene la siguiente ecuación, que relaciona la energía de activación (E_a), con el factor de resistencia térmica Z :

$$E_a = \frac{2.303T_2T_1R}{Z} \quad [\text{Ec. 18}]$$

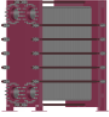
(Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018).

1.12.4 Tiempo de letalidad F

Para asegurar un proceso térmico es importante determinar el valor de F_0 , que es una medida del tratamiento térmico o proceso de esterilización. Se define como el tiempo a una temperatura constante (T_{ref}) necesario para inactivar todas las esporas bacterianas en un medio específico y es equivalente a un calentamiento de 1 min a una temperatura de referencia que usualmente es 121.1 °C para el proceso de esterilización (Pistolesi & Mascherpa, 2014).

La ecuación para calcular los valores F para procesos viene dada por la ecuación 19:

$$F_0 = \int_0^t Ldt \quad [\text{Ec. 19}]$$



En la forma clásica (Ec. 20) se expresa de la siguiente manera:

$$F_0 = \int_0^t 10^{-\left[\frac{(T_{ref}-T)}{Z}\right]} dt \quad [\text{Ec. 20}]$$

O la forma cinética de Arrhenius de expresar la ecuación es de manera exponencial:

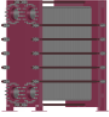
$$F_0 = \int_0^t e^{2.303\left[\frac{(T_{ref}-T)}{Z}\right]} dt \quad [\text{Ec. 21}]$$

Los principales factores que afectan la magnitud del valor F de un proceso y que son contenidas en las ecuaciones para determinar los valores F pueden enumerarse de la siguiente manera:

- Historial de temperatura de la retorta, temperaturas de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento: la precisión de las mediciones de temperatura tiene un efecto directo en los valores de letalidad y los dispositivos de medición de temperatura deben calibrarse a un estándar rastreable (Holdsworth & Simpson, 2008)
- Coeficientes de transferencia de calor: para procesos calentados por vapor y vigorosamente agitados en agua hirviendo, estos suelen ser tan altos que no se produce ningún efecto observable; sin embargo, con otros métodos de calentamiento, que tienen valores mucho más bajos, por lo que es importante estimar los valores efectivos con la mayor precisión como sea posible (Holdsworth & Simpson, 2008).

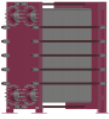
1.12.5 Letalidad.

La letalidad se define como el logro de reducción en la población del microorganismo o en la actividad enzimática en ciertas condiciones de calentamiento en términos de unidades de tiempo. Para calcular la letalidad durante el proceso térmico se puede utilizar la siguiente ecuación (22):



$$L = t10^{\frac{T-T_{ref}}{Z}} \quad [\text{Ec. 22}]$$

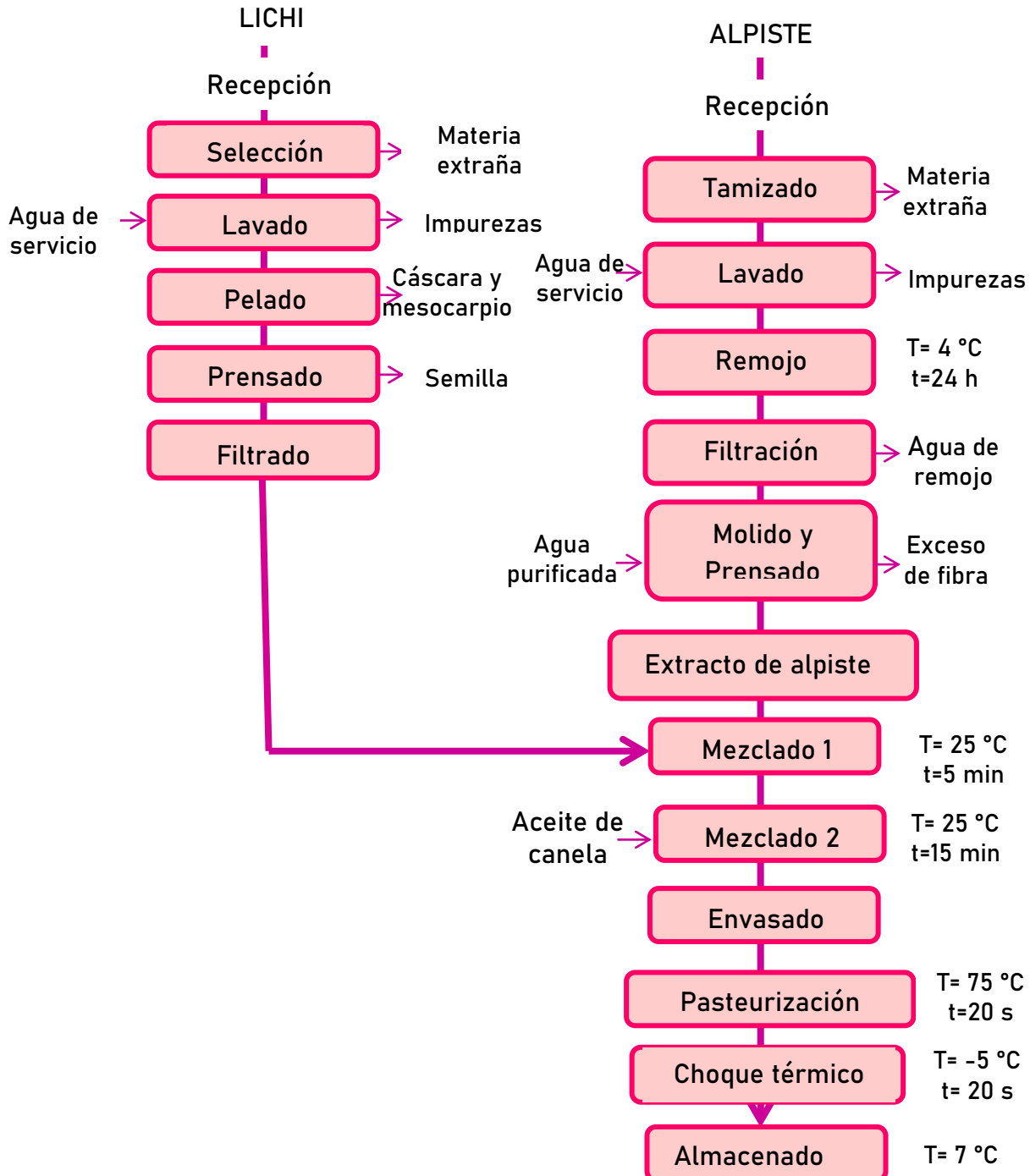
donde L es letalidad (min), t es el tiempo de calentamiento (min), T es la temperatura del punto frío, que es el último punto de calentamiento, T_{ref} y Z son la temperatura de referencia (°C) y el valor de resistencia térmica (°C) para el microorganismo o enzima, respectivamente. En la ecuación de letalidad, el término $10^{\frac{T-T_{ref}}{Z}}$ representa la tasa letal del microorganismo o enzima durante el intervalo de tiempo de calentamiento a una temperatura constante (Agcam, Akyıldız, & Dündü, 2018).

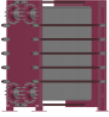


CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.

2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO DE LA BEBIDA DE LICI-EXTRACTO DE ALPISTE.

A continuación, se presenta el diagrama de bloques de proceso para la preparación de la bebida de lichi-extracto de alpiste.





2.2 PROBLEMA.

Dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste.

2.3 OBJETIVOS.

2.3.1 Objetivo General.

Diseñar un intercambiador de calor de placas mediante la metodología propuesta por la asociación de fabricantes de intercambiadores de calor tubulares (TEMA, por sus siglas en inglés) para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste.

2.4 Objetivos Particulares.

2.4.1 Objetivo Particular 1.

Determinar la composición química de la bebida de lichi-extracto de alpiste mediante balances de materia, con la finalidad de diseñar un intercambiador de calor.

2.4.2 Objetivo Particular 2.

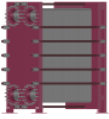
Determinar las propiedades termofísicas de la bebida de lichi a partir de un extracto de alpiste mediante modelos empíricos, con la finalidad de desarrollar la metodología del dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas.

2.4.3 Objetivo Particular 3.

Desarrollar el dimensionamiento del intercambiador de calor de placas, mediante la metodología de cálculo propuesta por la asociación de fabricantes de intercambiadores de calor tubulares (TEMA, por sus siglas en inglés) para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste.

2.4.4 Objetivo Particular 4.

Determinar la termorresistencia microbiana de la *Salmonella* en la bebida lichi-extracto de alpiste mediante la historia térmica obtenida en una simulación, de acuerdo con las propiedades térmicas de la misma, con el objetivo de calcular la letalidad térmica.



2.5 JUSTIFICACIÓN.

El desarrollo de este trabajo se justifica por la necesidad que se tiene tanto en la industria como en las áreas de investigación, del diseño de Intercambiadores de Calor de Placas, para el desarrollo de nuevos productos alimenticios, presentando la metodología de cálculo para el diseño de estos equipos de forma concisa. Además, se pretende que este trabajo permita la mejora continua, modernización y control de dichos equipos.

2.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Los experimentos de mezclas son una clase especial, al ser del tipo de superficie de respuesta en los que el producto objeto de investigación se compone de varios ingredientes. Los diseños para estos experimentos resultan útiles, porque muchas actividades de diseño y desarrollo en situaciones industriales implican fórmulas o mezclas. En estas situaciones, la respuesta depende de las proporciones de los diferentes ingredientes incluidos en la mezcla.

En el experimento de mezclas la respuesta depende de las proporciones relativas de los componentes cuyas cantidades, medidas en peso, volumen o alguna otra unidad, suman un total común. Por este motivo se realizó el experimento de mezcla en el software Minitab 19.2 (2020) ya que no se cuenta con alguna formulación referente para la elaboración de la bebida. Con base en el diseño de experimentos se obtuvieron 9 propuestas de formulación. Cada formulación proporcionada por el software Minitab 19.2 (2020) (figura 20) indica la fracción o la proporción de cada ingrediente que se debe utilizar en las formulaciones propuestas.

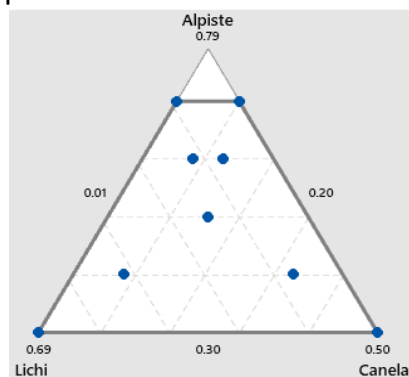
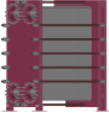


Figura 20. Gráfica de diseño simple en cantidades (Minitab, 2020)



Para la determinación del porcentaje de los compuestos se realizó una secuencia de cálculo mediante la ecuación de la recta:

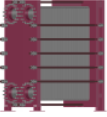
$$y = mx + b \quad [\text{Ec. 23}]$$

Se determinó la razón de la pendiente y la ordenada al origen, obtenidos mediante el software Minitab (2020) y se emplearon cantidades teóricas para cada componente, colocando en el numerador y denominador la diferencia de los valores máximos y mínimos de los componentes respectivamente, como se muestra en la ecuación 24.

El valor obtenido de la ecuación de la recta se determinó multiplicando la razón de la pendiente con el valor del porcentaje recomendado por el software Minitab (2020) sumado por la ordenada al origen para así tener los porcentajes correctos de las 9 formulaciones propuestas.

$$m = \frac{Y_{MaxMinitab} - Y_{MinMinitab}}{X_{MaxTeorico} - X_{MinTeorico}} \quad [\text{Ec. 24}]$$

$$b = \frac{m_{MaxMinitab}}{m_{MaxTeorico}} \quad [\text{Ec. 25}]$$

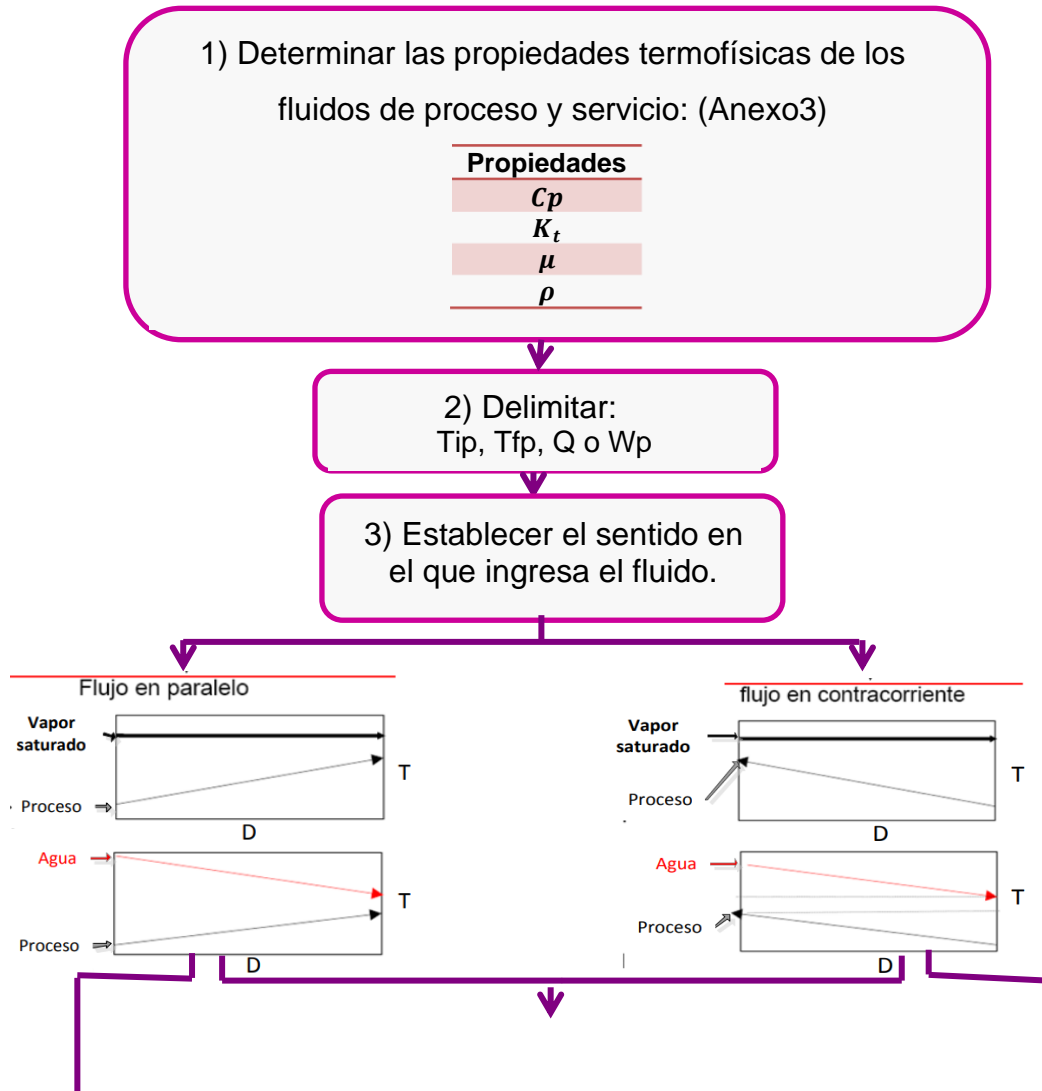


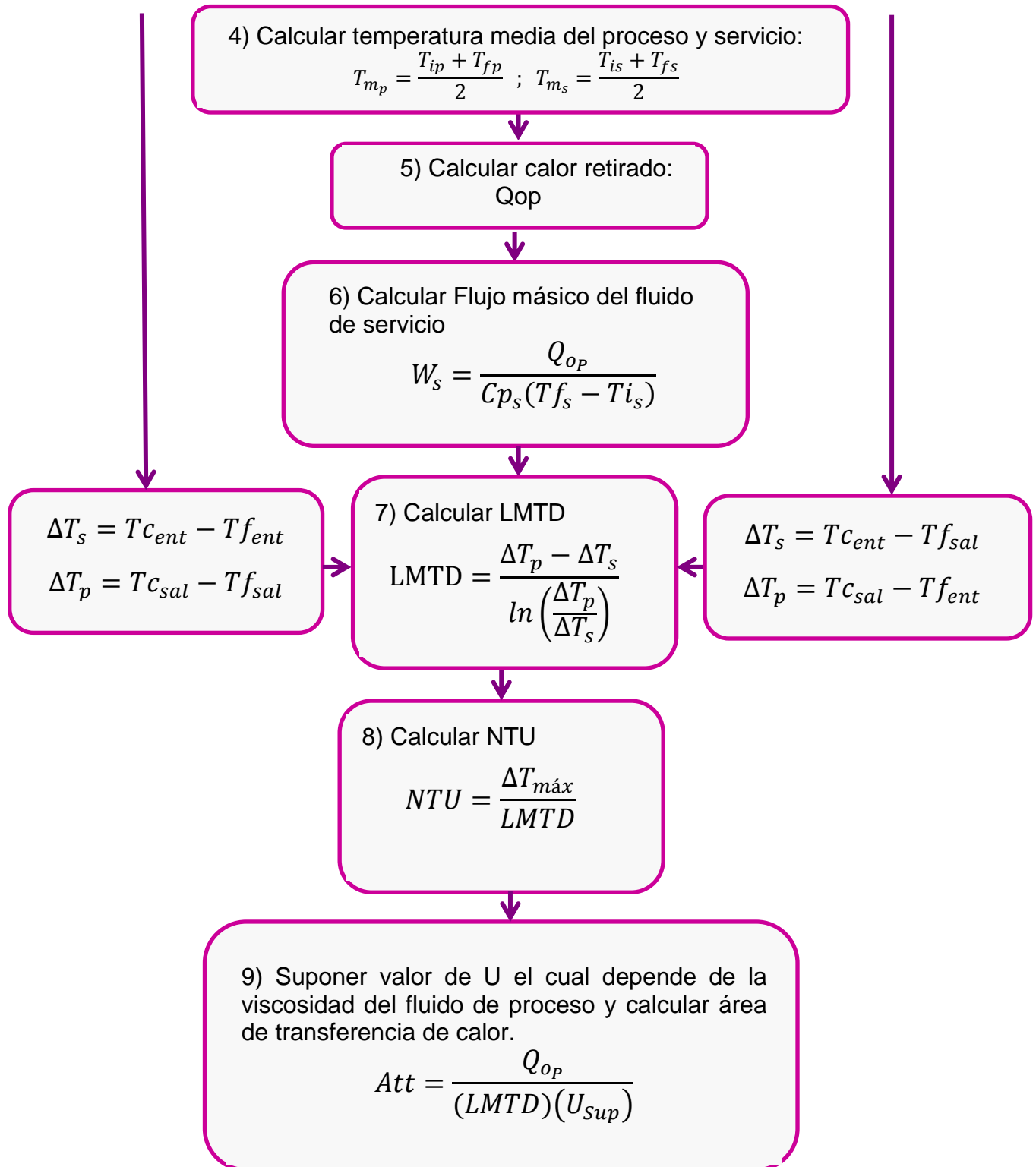
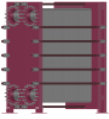
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

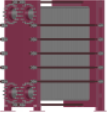
Posteriormente se presenta el diagrama de flujo, metodología de cálculo para el dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para la pasteurización de una bebida de lichi-extracto de alpiste, así como la metodología de cálculo para la determinación de la letalidad de la *Salmonella* en la bebida de lichi-extracto de alpiste.

Se consideraron todas las etapas de la pasteurización y para fines prácticos solo se presenta el desarrollo de la metodología de la etapa de regeneración, así mismo en el apartado de resultados se muestran los resultados de todas las etapas que conlleva la pasteurización.

3.1 Diagrama de flujo dimensionamiento intercambiador de calor.







10) Determinar las dimensiones de placas de acuerdo con la cantidad de fluido de proceso. (Anexo 4)

Braze Plate Models	Dimensions (inches)					Plate Area	Channel Volume	Maximum Flow	Maximum Number of	Weight (empty)
	A	B	C	D	F	(Sq.ft)	(USGAL)	(GPM)	Plates(NP)	(Lbs)
M-14a	7.9	3.1	6.5	1.7	.36+.09np	0.15	0.006	18	80	1.5+0.1np
M-22a	11.8	3.1	10.2	1.7	.36+.09np	0.24	0.009	18	80	2.4+0.2np
M-22b	7.2	4.8	5.1	2.7	.36+.09np	0.24	0.009	18	80	2.6+0.2np
M-31b	11.3	4.8	9.1	2.7	.36+.09np	0.33	0.012	50	150	3.1+0.3np
M-47b	16.3	4.8	14.2	2.7	.36+.09np	0.51	0.019	50	150	4.6+0.4np
M-110c	18.2	10.0	14.9	6.7	.39+.09np	1.18	0.043	89	200	11.2+.9np
M-170c	28.7	10.0	23.8	6.7	.63+.10np	1.83	0.067	105	200	18.1+1.2np



El Np debe ser par, si el equipo solo se ocupa para calentar o enfriar. Si se utiliza como pasteurizador, se utilizan placas divisorias con las cuales el número deja ser impar.

11) Calcular el número de placas:

$$Np = \frac{Att}{Atp}$$

Si Np > 700 Regresar punto 11 y cambiar dimensiones de la placa



12) Calcular Nc para fluido de proceso y servicio:

$$N_{cs} = \frac{Np}{2} ; N_{cp} = \frac{Np}{2} - 1$$



13) Calcular el área de flujo total para fluido de proceso y servicio:

$$Afts = (Ap)(Ep)(Ncs)$$

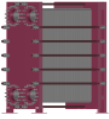
$$Aftb = (Ap)(Ep)(Ncb)$$



14) Calcular velocidad media para ambos fluidos:

$$Vms = \frac{Ws}{Afts * \rho_s}$$

$$Vmp = \frac{Wp}{Aftp * \rho_p}$$



15) Calcular el Diámetro Hidráulico:

$$D_H = \frac{(2)(Ap)(Ep)}{Ap + Ep}$$

16) Calcular Re, Pr y Nu para cada fluido

Si el Fluido es Newtoniano

Fluido de servicio:

$$Re_s = \frac{D_H V m_s \rho_s}{\mu_s} ; Pr_s = \frac{Cp_s \mu_s}{Kt_s}$$

Fluido de proceso:

$$Re_p = \frac{D_H V m_p \rho_p}{\mu_p} ; Pr_p = \frac{Cp_p \mu_p}{Kt_p}$$

Si el Fluido no es Newtoniano

Fluido de la potencia:

$$Re_p = \frac{Dt^n * V m_p^{2-n} * \rho_p}{\mu_p} \left(\frac{4n}{3n-1} \right)^n$$

$$Pr_p = \frac{Cp_p * K}{Kt_p} \left(\frac{V m_p}{Dt} \right)^{n-1}$$

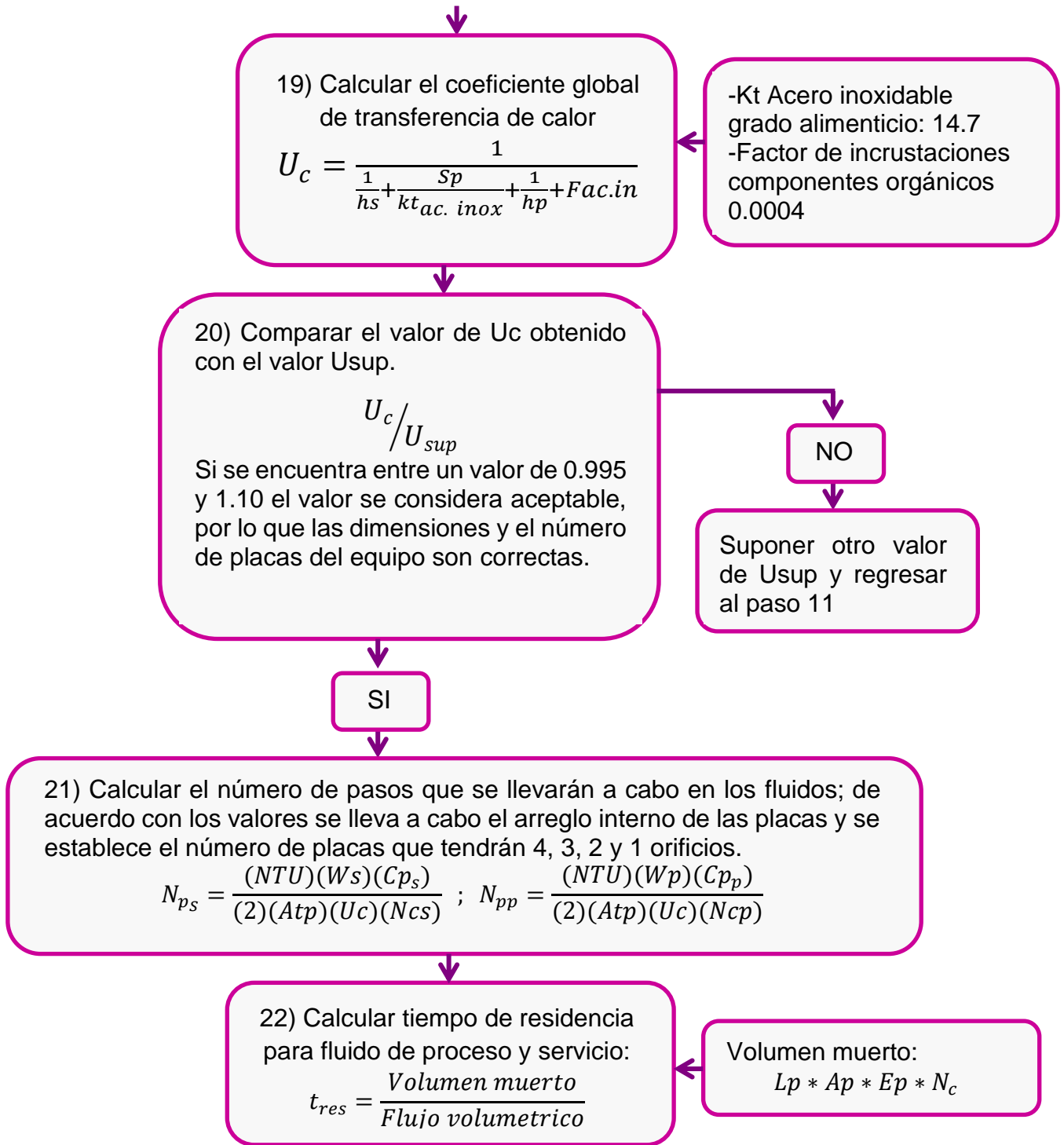
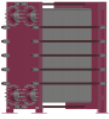
17) Con los valores de Re_s , Re_p y el ángulo de inclinación de las corrugaciones de la placa, seleccionar las constantes para la ecuación de Dittus - Boelter correspondiente para cada uno de los fluidos. (Anexo 5)

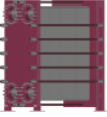
$$Nu_s = ch * Re_s^y * Pr_s^{0.33}$$
$$Nu_p = ch * Re_p^y * Pr_p^{0.33}$$

18) Calcular coeficiente convectivo para ambos fluidos:

$$h_s = \frac{(Nu_s)(kt_s)}{D_H}$$

$$h_p = \frac{(Nu_p)(kt_p)}{D_H}$$





23) Calcular el factor de fricción, para cada uno de los fluidos al pasar por las placas, de acuerdo con el valor del Re_s , Re_p y ángulo de las corrugaciones de las placas. (Anexo 6)

$$Ff_s = \frac{(kp)}{(Re_s)^z} ; Ff_p = \frac{(kp)}{(Re_p)^z}$$

24) Calcular caídas de presión para cada fluido:

$$\Delta P_s = \frac{Ff_s L p \rho_s V m_s^2 N c_s}{D_H g_c}$$

$$\Delta P_p = \frac{Ff_p L p \rho_p V m_p^2 N c_p}{D_H g_c}$$

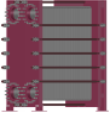
25) Calcular Hfs para ambos fluidos:

$$Hf_{s_s} = \frac{\Delta P_s}{\rho_s} ; Hf_{s_p} = \frac{\Delta P_p}{\rho_p}$$

Repetir los cálculos requeridos para cada área en el intercambiador de calor.



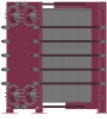
Llenar formato de diseño de intercambiador de calor de placas.



3.2. Diseño de un intercambiador de calor de placas.

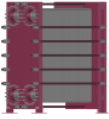
Para el cálculo del intercambiador de calor de placas se adoptó la metodología propuesta por la asociación de fabricantes de intercambiadores de calor tubulares (TEMA, por sus siglas en inglés), que determina la transferencia de calor utilizando el método LMTD, tomando en cuenta un caudal de $12000 \frac{l}{h}$ (establecidos en el paso 2), flujo estándar en estas condiciones de diseño, puesto que un flujo más bajo requeriría de un menor número de placas y sería ineficiente e implicaría modificar las dimensiones de placas. En el cuadro 9 se encuentra la nomenclatura de acuerdo con la metodología utilizada en el cálculo del intercambiador de placas.

Se consideraron todas las etapas de la pasteurización, en el cuadro 31 se presentan las temperaturas del fluido de proceso y fluido de servicio en cada etapa, para fines prácticos solo se presenta el desarrollo de la metodología de la etapa de regeneración, así mismo en el apartado de resultados se muestran los resultados de todas las etapas que conlleva la pasteurización.

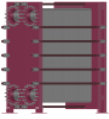


Cuadro 9. Nomenclatura.

NOMENCLATURA		
Símbolo	Descripción	Unidades
A_p	Ancho de la placa	m
A_{fts}	Área de flujo total de proceso	m^2
A_{ftp}	Área de flujo total de servicio	m^2
A_{tt}	Área de transferencia de calor	m^2
A_{tp}	Área de transferencia de la placa	m^2
ΔP_p	Caída de presión del proceso	Pa
ΔP_s	Caída de presión del servicio	Pa
ΔT_a	Diferencia de temperaturas entre la salida del proceso y la del servicio	$^{\circ}C$
ΔT_b	Diferencia de temperaturas entre la salida y entrada para el fluido de servicio	$^{\circ}C$
T_c	Temperatura fluido caliente	$^{\circ}C$
T_f	Temperatura fluido frio	$^{\circ}C$
C_p	Calor específico	$\frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C}$
Q_{op}	Calor retirado	W
h_p	Coefficiente convectivo proceso	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
h_s	Coefficiente convectivo servicio	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
U_c	Coefficiente global de transferencia de calor	$\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$
K_t	Conductividad térmica	$\frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}$
ρ	Densidad	$\frac{kg}{m^3}$
D_H	Diámetro hidráulico	m
$LMTD$	Diferencia media logarítmica	$^{\circ}C$
E_p	Espacio entre placas	m



Sp	Espesor de la placa	m
Ff _p	Factor de fricción del proceso	
Ff _s	Factor de fricción del servicio	
Wp	Flujo másico del proceso	kg/h
Ws	Flujo másico del servicio	kg/h
Q	Flujo volumétrico	l/h
Lp	Largo de la placa	m
Ncp	Número de canales de proceso	
Ncs	Número de canales de servicio	
Npp	Numero de pasos del proceso	
Nps	Numero de pasos del servicio	
Np	Número de placas	
Nu	Nusselt	
Hfp	Pérdidas de presión por fricción en el proceso	J/kg
Hfs	Pérdidas de presión por fricción en el servicio	J/kg
Pr	Prandtl	
Re	Reynolds	
Tfp	Temperatura final del proceso	°C
Tfs	Temperatura final del servicio	°C
Tip	Temperatura inicial del proceso	°C
Tis	Temperatura inicial del servicio	°C
Tmp	Temperatura media del proceso	°C
Tms	Temperatura media del servicio	°C
t _{res}	Tiempo de residencia del proceso	s
t _{rep}	Tiempo de residencia del proceso	s
NTU	Unidades de transferencia de calor	



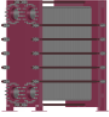
V_{mp}	Velocidad media de proceso	m/s
V_{ms}	Velocidad media de servicio	m/s
μ	Viscosidad	cP
V_{om_s}	Volumen muerto de servicio	m^3
V_{om_p}	Volumen muerto de proceso	m^3

Determinar la composición de la bebida de lichi-extracto de alpiste mediante un balance de materia considerando cada componente (agua, proteína, grasa, carbohidratos, fibra y cenizas). Para conocer la composición de la bebida de lichi-extracto de alpiste, previamente con el software (Minitab 19.2) se obtuvieron 9 formulaciones, realizando un análisis sensorial hedónico a 100 persona para identificar la formulación base, las cuales se compararon de acuerdo con el grado de aceptabilidad.

El análisis sensorial es la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído. Las pruebas hedónicas de análisis sensorial permiten traducir las preferencias de los consumidores (Ramírez, 2012).

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS SENSORIAL

- Control de proceso de fabricación: Influencia del cambio de materia prima, ingredientes y/o cambios en las condiciones del proceso.
- Guía en la etapa de desarrollo del producto.
- Control del producto: Estudio de la homogeneidad del producto, vida media comercial.
- Influencia del almacenamiento (vida útil).
- Establecimiento de los límites y grados de calidad.



- Caracterización del producto: Estudios aceptación; desarrollo del perfil sensorial del mismo.
- Control de mercados: Estudio comparativo de muestras, estudio de aceptación con consumidores.

VENTAJAS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL

- Brinda información detallada.
- Las evaluaciones están en relación con la opinión del consumidor sobre los ingredientes, proceso y empaque.
- Brinda información acerca de los gustos del consumidor
- Sirve para innovar un producto.

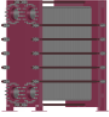
(Ramírez, 2012).

De acuerdo con el análisis sensorial realizado la formulación 5 obtuvo mayor grado de aceptabilidad, la cual se consideró base para el cálculo de la determinación de la composición de la bebida mostrado en el Anexo 1 y 2.

En el cuadro 10 se encuentran el porcentaje y fracción de la composición química de la bebida de lichi-extracto de alpiste.

Cuadro 10. Porcentaje y fracción de los componentes de la bebida de lichi-extracto de alpiste.

Composición	Porcentaje (%)	Fracción (X_i)
Agua	85.6019	0.8560
Proteína	1.8397	0.0183
Grasa	0.5603	0.0056
CHOS	10.5412	0.1054
Fibra	1.0383	0.0103
Cenizas	0.4183	0.0041



Paso 1. Determinar las propiedades termofísicas de la bebida lichi-extracto de alpiste y agua de servicio a T_m .

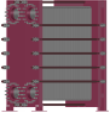
Las propiedades termofísicas (densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica) influyen en la transferencia de calor. Su conocimiento es necesario para el cálculo de diseño de procesos, equipos y en la calidad del producto; están influenciadas por la composición del producto y la temperatura, durante un tratamiento térmico (Rahman, 1995; Singh, 2000; Alvis et al., 2009). Las propiedades termofísicas de alimentos son necesarias para calcular la rapidez de calentamiento o enfriamiento en procesos o para estimar las cantidades de calor requeridas como: escaldado, pasteurización, evaporación, freído, refrigeración, congelación, esterilización, secado, pasteurización, en los cuales hay intercambio de energía y masa (Alvis et al., 2009).

El modelo matemático utilizado para determinar las propiedades termofísicas (Anexo 3) en este diseño es el propuesto por Choi y Okos (1985) y se empleará en el diseño del intercambiador de calor para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste.

En el cuadro 11 se localizan las propiedades termofísicas de la bebida de lichi-extracto de alpiste.

Cuadro 11. Propiedades termofísicas del fluido proceso y servicio.

Propiedad	Fluido proceso	Fluido servicio
C_p	3.82	3.81
K_t	0.6354	0.635404
μ	2.09E-3	6.20E-3
ρ	1040.885	1022.1147



Paso 2. Definir la temperatura inicial y final, así como el flujo volumétrico y másico del fluido de la bebida lichí-extracto de alpiste para una pasteurización HTST tomando en cuenta las consideraciones de ΔT_a (2 a 5 °C) y ΔT_b (10 a 20 °C) para procesar $12000 \frac{l}{h}$.

$$T_{ip} = 25 \text{ °C}$$

$$T_{fp} = 50 \text{ °C}$$

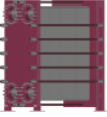
$$Q = 12000 \frac{l}{h}$$

$$Q = 12000 \frac{l}{h} \left| \frac{1m^3}{1000l} \right| = 12 \frac{m^3}{h}$$

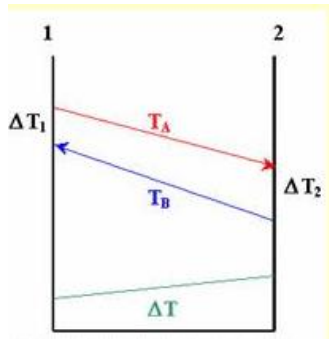
$$Wp = Q \cdot \rho_p$$

$$Wp = \left(12 \frac{m^3}{h}\right) \left(1040.885 \frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Wp = 12490.621 \frac{kg}{h}$$



Paso 3. Establecer la forma en la que entraran los fluidos al equipo; el proceso se lleva a cabo en flujo contracorriente, determinando, temperatura inicial y final para el fluido de servicio.



$$T_{is} = 75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{fs} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Paso 4. Calcular la temperatura media para la determinación del coeficiente de transferencia.

$$T_{m_p} = \frac{T_{ip} + T_{fp}}{2}$$

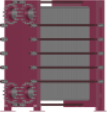
$$T_{m_p} = \frac{25 \text{ } ^\circ\text{C} + 50 \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_{m_p} = \mathbf{37.5 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$T_{m_s} = \frac{T_{is} + T_{fs}}{2}$$

$$T_{m_s} = \frac{75 \text{ } ^\circ\text{C} + 55 \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_{m_s} = \mathbf{65 \text{ } ^\circ\text{C}}$$



Paso 5. Calcular el calor retirado de la bebida lichi-extracto de alpiste.

$$Q_{op} = W_p \cdot Cp(T_{fp} - T_{ip})$$

$$Q_{op} = (12490.621 \frac{kg}{h})(3.82 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C})(50^\circ C - 25^\circ C)$$

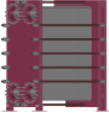
$$Q_{op} = \mathbf{1193789.66} \frac{kJ}{h}$$

Paso 6. Determinar el flujo másico para el fluido de servicio.

$$W_s = \frac{Q_{op}}{Cp_s(T_{fs} - T_{is})}$$

$$W_s = \frac{1193789.66 \frac{kJ}{h}}{(3.81 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C})(75^\circ C - 55^\circ C)}$$

$$W_s = \mathbf{15683.068} \frac{kg}{h}$$



Paso 7. Calcular la diferencia de temperaturas logarítmica (LMTD) la cual se determina a condiciones de flujo en contracorriente ya que implica principalmente la hipótesis que menciona que los calores específicos de los fluidos no varían con la temperatura y los coeficientes de calor por convección se mantienen constante (Holman, 1999).

$$\Delta T_1 = T_{fs} - T_{ip}$$

$$\Delta T_1 = 55 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{30 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T_2 = T_{is} - T_{fp}$$

$$\Delta T_2 = 75 \text{ }^\circ\text{C} - 50 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{25 \text{ }^\circ\text{C}}$$

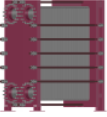
$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$LMTD = \frac{30 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{30 \text{ }^\circ\text{C}}{25 \text{ }^\circ\text{C}}\right)}$$

$$LMTD = \mathbf{27.424 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Paso 8. Calcular las unidades de transferencia de calor (NTU), este valor indica aproximadamente el número de pasos que va a tener el equipo, así como el número de secciones.

ΔT_{max} = *Diferencia máxima de temperaturas existente entre ambos fluidos.*



$$\Delta T_{max} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$NTU = \frac{\Delta T_{m\acute{a}x}}{LMTD}$$

$$NTU = \frac{25 \text{ }^{\circ}\text{C}}{27.424 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$NTU = \mathbf{0.9116}$$

Paso 9. Suponer un valor de U_{sup} el cual depende de la viscosidad de la bebida de lichi-extracto de alpiste; determinar el \u00e1rea de transferencia de calor.

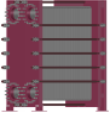
$$U_{sup} = \mathbf{415} \frac{W}{m^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$Att = \frac{Q_{op}}{LMTD \cdot U_{sup}}$$

$$Q_{op} = 1193789.66 \frac{kJ}{h} \left| \frac{1000 \text{ } Ws}{1 \text{ } kJ} \right| \left| \frac{1 \text{ } h}{3600 \text{ } s} \right| = 331608.238 \text{ } W$$

$$Att = \frac{331608.238 \text{ } W}{(27.424 \text{ }^{\circ}\text{C}) \left(415 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}} \right)}$$

$$Att = \mathbf{29.137 \text{ } m^2}$$



Paso 10. De acuerdo con la cantidad de fluido de proceso a enfriar o calentar ($12000 \frac{l}{h}$) determinar las dimensiones de placas (Cuadro 12), tomando en cuenta las consideraciones del Anexo 4.

Cuadro 12. Dimensiones de la placa.

Dimensiones de la placa
$L_p = 0.719 \text{ m}$
$A_p = 0.451 \text{ m}$
$E_p = 0.003 \text{ m}$
$A_{tp} = 0.324269 \text{ m}^2$

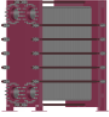
Paso 11. Calcular el número de placas (N_p) las cuales son placas divisoras para que el proceso caliente la bebida.

$$N_p = \frac{A_{tt}}{A_{tp}}$$

* El número debe ser par si el equipo es utilizado para calentar o enfriar. Si es utilizado como pasteurizador se utilizan placas divisoras con las cuales el número deja ser impar. Si el $N_p > 700$ regresar al punto 10 y cambiar las dimensiones de las placas o seleccionar otra.

$$N_p = \frac{29.137 \text{ m}^2}{0.324269 \text{ m}^2} = 89.854$$

$$N_p \cong \mathbf{90}$$



Paso 12. Calcular el número de canales (N_c) para el fluido de servicio y para el fluido de proceso.

$$N_{cs} = \frac{Np}{2}$$

$$N_{cs} = \frac{90}{2}$$

$$N_{cs} = \mathbf{45}$$

$$N_{cp} = \frac{Np}{2} - 1$$

$$N_{cp} = \frac{90}{2} - 1$$

$$N_{cp} = \mathbf{44}$$

Paso 13. Calcular el área de flujo total (A_{ft}) para el fluido de servicio y la bebida.

$$A_{fts} = A_p \cdot E_p \cdot N_{cs}$$

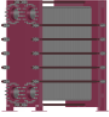
$$A_{fts} = (0.451 \text{ m})(0.003 \text{ m}) \text{ (45)}$$

$$A_{fts} = \mathbf{0.0609 \text{ m}^2}$$

$$A_{ftp} = A_p \cdot E_p \cdot N_{cp}$$

$$A_{ftp} = (0.451 \text{ m})(0.003 \text{ m}) \text{ (44)}$$

$$A_{ftp} = \mathbf{0.0595 \text{ m}^2}$$



Paso 14. Calcular la velocidad media (V_m) para ambos fluidos.

$$V_{ms} = \frac{W_s}{A_{fts} \cdot \rho_s}$$

$$W_s = 15683.068 \frac{kg}{h} \left| \frac{1 h}{3600 s} \right| = 4.356 \frac{kg}{s}$$

$$V_{ms} = \frac{4.356 \frac{kg}{s}}{(0.0609 m^2) \left(1022.1147 \frac{kg}{m^3} \right)}$$

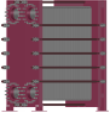
$$V_{ms} = \mathbf{0.0700} \frac{m}{s}$$

$$V_{mp} = \frac{W_p}{A_{ftp} \cdot \rho_p}$$

$$W_p = 12490.621 \frac{kg}{h} \left| \frac{1 h}{3600 s} \right| = 3.469 \frac{kg}{s}$$

$$V_{mp} = \frac{3.469 \frac{kg}{s}}{(0.0595 m^2) \left(1040.885 \frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$V_{mp} = \mathbf{0.0559} \frac{m}{s}$$



Paso 15. Calcular el diámetro hidráulico.

$$D_H = \frac{2 \cdot A_p \cdot E_p}{A_p + E_p}$$

$$D_H = \frac{(2)(0.451 \text{ m})(0.003 \text{ m})}{(0.451 \text{ m} + 0.003 \text{ m})}$$

$$D_H = 5.960E - 3 \text{ m}$$

Paso 16. Calcular los números adimensionales Re y Pr de ambos fluidos.

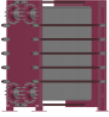
$$Re_s = \frac{D_H \cdot Vm_s \cdot \rho_s}{\mu_s}$$

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Re_s = \frac{(5.960E - 3 \text{ m})(0.0700 \frac{\text{m}}{\text{s}})(1022.1147 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{6.20E - 4 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re_s = 687.857$$

$$Pr_s = \frac{Cp_s \cdot \mu_s}{Kt_s}$$



$$3.81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \left| \frac{1000 \text{ Ws}}{1 \text{ kJ}} \right| = 3810 \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Pr_s = \frac{(3810 \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}})(6.20E - 4 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})}{0.6354 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$Pr_s = \mathbf{3.713}$$

$$Re_p = \frac{D_H \cdot Vm_p \cdot \rho_p}{\mu_p}$$

$$Re_p = \frac{(5.960E - 3 \text{ m})(0.0595 \frac{\text{m}}{\text{s}})(1040.885 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{2.09E - 3 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

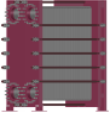
$$Re_p = \mathbf{166.058}$$

$$Pr_p = \frac{Cp_p \cdot \mu_p}{Kt_p}$$

$$3.82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \left| \frac{1000 \text{ Ws}}{1 \text{ kJ}} \right| = 3820 \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Pr_p = \frac{\left(3820 \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \left(2.09E - 3 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}\right)}{0.6354 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$Pr_p = \mathbf{12.586}$$



Paso 17. Con los valores de Re_s Re_p y el ángulo de inclinación de las corrugaciones de la placa, seleccionar las constantes para la ecuación de Dittus - Boelter correspondiente para cada uno de los fluidos Anexo 5.

Cuadro 13. Constantes de la ecuación de Dittus- Boelter.

Ángulo	30
ch	0.718
y	0.349

$$Nu_s = ch \cdot Re_s^y \cdot Pr_s^{0.33}$$

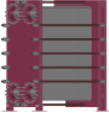
$$Nu_s = (0.718)(687.857^{0.349})(3.713^{0.33})$$

$$Nu_s = \mathbf{10.825}$$

$$Nu_p = ch \cdot Re_p^y \cdot Pr_p^{0.33}$$

$$Nu_p = (0.718)(166.058^{0.349})(12.586^{0.33})$$

$$Nu_p = \mathbf{9.861}$$



Paso 18. Calcular el coeficiente convectivo para ambos fluidos.

$$h_s = \frac{Nu_s \cdot kt_s}{D_H}$$

$$h_s = \frac{(10.825) \left(0.6354 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)}{5.960E - 3 \text{ m}}$$

$$h_s = \mathbf{1154.055} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_p = \frac{Nu_p \cdot kt_p}{D_H}$$

$$h_p = \frac{(9.861) \left(0.6354 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)}{5.960E - 3 \text{ m}}$$

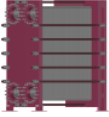
$$h_p = \mathbf{1051.331} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Paso 19. Buscar el valor de la conductividad térmica del acero inoxidable grado alimenticio y determinar el coeficiente global de transferencia de calor.

Kt acero inoxidable grado alimenticio: 14.7

$$U_c = \frac{1}{\frac{1}{h_s} + \frac{Ep}{kt_{ac. \text{ inox}}} + \frac{1}{h_p} + \text{Fact.incrustración}}$$

*Factor de incrustaciones componentes orgánicos 0.0004



$$U_c = \frac{1}{\frac{1}{1154.055 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + \frac{0.003 m}{14.7 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} + \frac{1}{1051.331 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + 0.0004}$$
$$U_c = 412.921 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

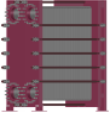
Paso 20. Comparar el valor de U_c obtenido con el valor U_{sup} .

$$\frac{U_c}{U_{sup}} = \frac{412.921 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}{415 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} = 0.995$$

Si U_c/U_{sup} se encuentra entre un valor de 0.995 y 1.10 el valor se considera aceptable, por lo que las dimensiones y el número de placas del equipo son correctas.

Paso 21. Calcular el número de pasos que se llevarán a cabo en los fluidos; de acuerdo con los valores se lleva a cabo el arreglo interno de las placas y se establece el número de placas que tendrán 4, 3, 2 y 1 orificios.

$$N_{ps} = \frac{NTU \cdot W_s \cdot Cp_s}{2 \cdot Atp \cdot U_c \cdot Ncs}$$
$$3.81 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \left| \frac{1000 Ws}{1 kJ} \right| \left| \frac{1 h}{3600 s} \right| = 1.0583 \frac{W h}{kg \cdot ^\circ C}$$



$$N_{ps} = \frac{(0.9116)(15683.068 \frac{kg}{h})(1.0583 \frac{Wh}{kg \cdot ^\circ C})}{(2)(0.324269 m^2)(412.921 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C})(45)}$$

$$N_{pasos_s} = 1.254 \cong 2$$

$$N_{pp} = \frac{NTU \cdot Wp \cdot Cp_p}{2 \cdot Atp \cdot Uc \cdot Ncp}$$

$$3.82 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \left| \frac{1000 Ws}{1 kJ} \right| \left| \frac{1 h}{3600 s} \right| = 1.0611 \frac{Wh}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$N_{pp} = \frac{(0.9116)(12490.621 \frac{kg}{h})(1.0611 \frac{Wh}{kg \cdot ^\circ C})}{(2)(0.324269 m^2)(412.921 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C})(44)}$$

$$N_{pp} = 1.026 \cong 2$$

Paso 22. Calcular el tiempo de residencia para el fluido de proceso y de servicio.

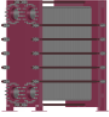
$$Volumen\ muerto = Lp \cdot Ap \cdot Ep \cdot Nc$$

$$Volumen\ muerto_s = 0.719 m \cdot 0.451 m \cdot 0.003 m \cdot 45$$

$$Volumen\ muerto_s = \mathbf{0.04378 m^3}$$

$$t_{res} = \frac{Volumen\ muerto}{Flujo\ volumetrico}$$

$$Q = \mathbf{12000} \frac{l}{h} \left| \frac{1m^3}{1000 l} \right| = 12 \frac{m^3}{h}$$



$$t_{res} = \frac{0.04378 \text{ m}^3}{12 \frac{\text{m}^3}{h}}$$

$$t_{res} = 3.65E - 3 \text{ h}$$

$$\text{Volumen muerto}_p = 0.719 \cdot 0.451 \cdot 0.003 \cdot 44$$

$$\text{Volumen muerto}_p = 0.04280 \text{ m}^3$$

$$t_{rep} = \frac{\text{Volumen muerto}}{\text{Flujo volumetrico}}$$

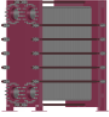
$$t_{rep} = \frac{0.04280 \text{ m}^3}{12 \frac{\text{m}^3}{h}}$$

$$t_{rep} = 3.57E - 3 \text{ h}$$

Paso 23. Calcular el factor de fricción, correspondiente a cada fluido para cada uno de los fluidos al pasar por las placas, de acuerdo con el valor del Re_s , Re_p y ángulo de las corrugaciones de las placas; ver anexo 6.

Cuadro 14. Constantes para cálculo del factor de fricción para placas.

Ángulo	30
Kp	2.99
z	0.183



$$Ff_s = \frac{(kp)}{(Re_s)^z}$$

$$Ff_s = \frac{(2.99)}{(687.857)^{0.183}}$$

$$Ff_s = \mathbf{0.9045}$$

$$Ff_p = \frac{(kp)}{(Re_p)^z}$$

$$Ff_p = \frac{(2.99)}{(166.058)^{0.183}}$$

$$Ff_p = \mathbf{1.1731}$$

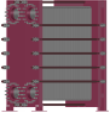
Paso 24. Calcular las caídas de presión que produce cada uno de los fluidos al pasar por el intercambiador.

$$\Delta P_s = \frac{Ff_s \cdot Lp \cdot \rho_s \cdot Vm_s^2 \cdot Nc_s}{D_H g_c}$$

$$\Delta P_s = \frac{(0.9045)(0.719 \text{ m})(1022.1147 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(0.0700^2 \frac{\text{m}}{\text{s}})(45)}{(5.960E - 3 \text{ m})}$$

$$\Delta P_s = \mathbf{24593.209 \text{ Pa}}$$

$$\Delta P_p = \frac{Ff_p \cdot Lp \cdot \rho_p \cdot Vm_p^2 \cdot Nc_p}{D_H g_c}$$



$$\Delta P_p = \frac{(1.1731)(0.719 \text{ m})(1042.885 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(0.0559^2 \frac{\text{m}}{\text{s}})(44)}{(5.960E - 3 \text{ m})}$$

$$\Delta P_p = \mathbf{20320.397 \text{ Pa}}$$

Paso 25. Calcular Hfs en ambos fluidos.

$$Hf_{s_s} = \frac{\Delta P_s}{\rho_s}$$

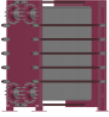
$$Hf_{s_s} = \frac{24593.209 \text{ Pa}}{1022.1147 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Hf_s = \mathbf{24.061 \frac{J}{kg}}$$

$$Hf_{s_p} = \frac{\Delta P_p}{\rho_p}$$

$$Hf_p = \frac{20320.397 \text{ Pa}}{1040.885 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Hf_{s_p} = \mathbf{19.522 \frac{J}{kg}}$$



3.3 Cálculo Letalidad.

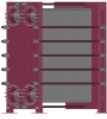
La pasteurización es un tratamiento que aumenta la seguridad de las bebidas de frutas. Al elegir el microorganismo para calcular la letalidad, los procesadores pueden considerar *E. coli* 0157: H7 o *Salmonella*, debido a los numerosos brotes que se han asociado con ellos en bebidas no pasteurizadas. El microorganismo debe ser el patógeno más termorresistente al calor, porque en las condiciones de inactivación que se aplican al patógeno, también se eliminan otros microorganismos (IFT/FDA, 2000).

Se seleccionó la *Salmonella* como microorganismo patógeno considerando los valores establecidos de Z y D, mostrados en el cuadro 15 (IFT/FDA, 2000).

Cuadro 15. Valores D y Z Salmonella.

T. Referencia	65.6 °C
D	0.018-0.56 (min)
Z	4.4-5.6 (°C)

El perfil de temperatura de la bebida de lichi- extracto de alpiste se obtuvo mediante la plataforma EXCEL™. El cuadro 16 presenta el perfil de temperatura de la bebida de lichi- extracto para la etapa de regeneración, calentamiento, mantenimiento y enfriamiento.



Cuadro 16. Perfil de temperatura de la bebida de lichi-extracto de alpiste en la etapa de regeneración, calentamiento, mantenimiento y enfriamiento.

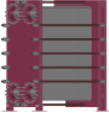
Regeneración		Calentamiento		Mantenimiento		Regeneración		Enfriamiento	
Tpo. (s)	°C	Tpo. (s)	°C	Tpo. (s)	T °C	Tpo. (s)	T °C	Tpo. (s)	°C
0	25	0	50	0	75	0	75	Tiempo (s)	Temp °C
1.2841	27.5	2.247	52.5	1	75	1.0271	73.0	0	55
2.5682	30.0	4.494	55	2	75	2.0542	71.0	3.852	44.9
3.8523	32.5	6.742	57.5	3	75	3.0813	69.0	7.705	39.8
5.1364	35.0	8.989	60	4	75	4.1084	67.0	11.557	34.7
6.4205	37.5	11.236	62.5	5	75	5.1355	65.0	15.409	29.6
7.7046	40.0	13.483	65	6	75	6.1626	63.0	19.262	24.5
8.9887	42.5	15.730	67.5	7	75	7.1897	61.0	23.114	19.4
10.2728	45.0	17.977	70	8	75	8.2168	59.0	26.966	14.3
12.8411	50	20.225	72.5	9	75	10.2709	55	30.819	9.2
0	25	22.472	75	10	75			34.671	4.1
				11	75			38.523	4
				12	75				
				13	75				
				14	75				
				15	75				

Paso 1. Calcular la letalidad para cada valor de temperatura

$$Letalidad = 10^{-\left(\frac{T_{Pas}-T_{alim}}{Z}\right)}$$

$$Letalidad = 10^{-\left(\frac{75-25}{5.6}\right)}$$

$$Letalidad = 1.179E - 9$$



Paso 2. Calcular $F_{0\text{ puntual}}$ a cada valor de temperatura.

$$F_{0\text{ puntual}} = \Delta T * \text{Letalidad}$$

$$F_{0\text{ puntual}} = (1.284 * 3.295 E - 3)$$

$$F_{0\text{ puntual}} = 4.231E - 9$$

Paso 3. Calcular $F_{0\text{ acumulado}}$ a cada valor de temperatura.

$$F_{0\text{ acumulado}} = F_{0\text{ puntual } 1} + F_{0\text{ puntual } 2}$$

$$F_{0\text{ acumulado}} = 0 + 4.231E - 9$$

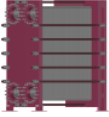
$$F_{0\text{ acumulado}} = 4.231E - 9$$

Paso 4. Calcular el valor D

$$D_{75^{\circ}\text{C}} = D * 10^{\left(\frac{T_2 - T_1}{Z}\right)}$$

$$D_{75^{\circ}\text{C}} = 0.56 \text{ min} * 10^{-\left(\frac{65.6^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}}{5.6^{\circ}\text{C}}\right)}$$

$$D_{75^{\circ}\text{C}} = 0.01173 \text{ min} \left| \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right|$$



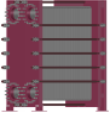
$$D_{75^{\circ}\text{C}} = 0.7043 \text{ s} \rightarrow \mathbf{90\%} \text{ salmonella inactivada}$$

Paso 5. Calcular ciclos inactivos.

$$\log \frac{N}{N_0} = \frac{-t}{D} = \text{ciclos inactivados}$$

$$\text{Ciclos inactivados} = \frac{22.27 \text{ s}}{0.7043 \text{ s}}$$

$$\text{Ciclos inactivados} = 31.614$$



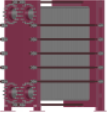
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El objetivo principal del proyecto fue desarrollar el dimensionamiento de un intercambiador de calor de placas para pasteurizar una bebida de lichi-extracto de alpiste, lográndose con el uso softwares, ecuaciones de transferencia de materia y calor. A continuación, se analizan los resultados obtenidos para cada objetivo.

Objetivo Particular 1

Para conocer la composición de la bebida de lichi-extracto de alpiste, con el software (Minitab 19.2) se obtuvieron 9 formulaciones, las cuales se compararon de acuerdo con el grado de aceptabilidad, realizándose un análisis sensorial a 100 personas del municipio de Ecatepec de Morelos y Cuautitlán Izcalli, mediante una prueba hedónica, la cual sirve para identificar la formulación base y como estudio de mercado.

En el gráfico de la figura 22 se observan los resultados obtenidos de acuerdo con el análisis sensorial realizado a las distintas formulaciones de la bebida de lichi-extracto de alpiste, donde se aprecia que los mejores resultados de aceptación son para la formulación 5 de acuerdo a la escala de la prueba sensorial hedónica mostrada en la figura 21, la cual es base para el cálculo de la determinación de la composición de la bebida.

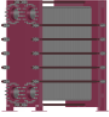


Cuadro 17. Escala de aceptabilidad aplicada en el análisis sensorial para cada formulación, realizado a la bebida de lichi-extracto de alpiste.

Escala	Rango
5	Me gusta mucho
4	Me gusta
3	No me gusta, ni me disgusta
2	No me gusta
1	Me disgusta mucho



Figura 21. Gráfico radial de los resultados del análisis sensorial para cada formulación, realizado a la bebida de lichi-extracto de alpiste.



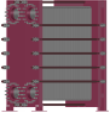
Se determinó la composición mediante balances de materia adquiriendo como resultado: 85.60% agua, 1.83% proteína, 0.56% grasa, 10.54% carbohidratos, 1.03% fibra y 0.41% cenizas.

De acuerdo con la composición obtenida se esperaba que el porcentaje de proteína fuera más alto, ya que la semilla de alpiste tiene gran cantidad de este componente en comparación a otros cereales, pero al tratarse de una bebida de lichi- extracto de alpiste y no ser el componente principal, el porcentaje obtenido es aceptable. Para dar veracidad a esto se realizó una comparación con los resultados obtenidos por Cogliatti (2011) de una bebida de alpiste.

En el cuadro 17 se aprecian los resultados obtenidos por Cogliatti (2011) y los propuestos, donde puede observarse que los valores obtenidos son similares.

Cuadro 18. Composición química leche de alpiste y bebida de lichi-extracto de alpiste.

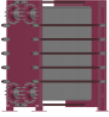
	Leche de Alpiste (%)	Bebida de lichi-extracto de alpiste (%)
Carbohidratos	8.45	10.54
Proteínas	2.85	1.83
Grasa	0.64	0.56
Humedad	86.95	85.60
Fibra	0.99	1.03
Cenizas	0.12	0.41



Objetivo Particular 2

Las propiedades térmicas de alimentos tienen una asociación directa con la composición química y la temperatura, el conocimiento de estas resulta muy importante para el diseño y desarrollo de procesos y equipos, cálculos de transferencia de calor y en la calidad del producto; están influenciadas por la temperatura y la composición del producto, durante un tratamiento térmico.

La determinación de las propiedades termofísicas provee información que no existe en la literatura especializada para el caso específico de la bebida lichi-extracto de alpiste, se determinaron mediante el modelo propuesto por Choi y Oikos (1985). Estas ecuaciones tienen como principio determinar las propiedades mediante la composición de la bebida de lichi-extracto de alpiste (Cuadro 10) para las temperaturas de los fluidos (proceso y de servicio).



Objetivo Particular 3

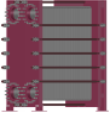
El diseño se realizó con base en el coeficiente de ensuciamiento (Fouling) para evitar la acumulación de incrustaciones en las superficies de transferencia de calor que imponen una resistencia adicional a la transferencia de calor, el estrechamiento del área de flujo y prever en su diseño capacidad extra para asegurar que el intercambiador cumpla con las especificaciones del proceso. El ensuciamiento puede estar influenciado por los siguientes factores: concentración de partículas en suspensión, velocidad de flujo del fluido y temperatura.

Las incrustaciones tienen un impacto significativo sobre la eficiencia térmica, muestran una tendencia al incremento en la caída de presión, el aumento de la velocidad de flujo tiende a incrementar el rendimiento térmico del intercambiador y disminuir la tasa de ensuciamiento (Awad, 2011).

Como se sabe, el coeficiente global de transferencia de calor implica una serie de parámetros, incluidos los coeficientes convectivos de ambos fluidos, espesor de la placa y la conductividad térmica del material del intercambiador de calor (acero inoxidable); el diseño del equipo puede contribuir a aumentar o disminuir las incrustaciones es por eso que, en la secuencia de cálculo para el diseño del intercambiador de calor se ocupó el coeficiente de ensuciamiento (Fouling).

Aumentar el área del intercambiador de calor siempre cuidando que esta área no exceda el tamaño de la placa, si esto ocurre puede causar un rápido ensuciamiento, la velocidad decae y por lo tanto puede haber un problema de degradación de la bebida (Awad, 2011).

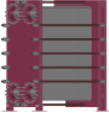
Se realizó una comparación de los resultados obtenidos del diseño del intercambiador, para cotejar que se efectuó de manera correcta el dimensionamiento, debido a que se trata de un producto novedoso y no se cuenta con información previa establecida, por lo que fue necesario establecer las condiciones de proceso de acuerdo con las



características de la bebida de lichi-extracto de alpiste para el dimensionamiento del intercambiador.

Se consideró la metodología propuesta por la asociación de fabricantes de intercambiadores de calor tubulares (TEMA, por sus siglas en inglés), para el dimensionamiento del intercambiador; Vilches (2013) considero esta misma metodología, pero hace la modificación con base en la economía del intercambiador y costos de operación, (Córdoba, 2019) de igual forma desarrolló el diseño del intercambiador basado en las normas TEMA, en este caso los fluidos de trabajo fueron bebida de lichi-extracto de alpiste y agua caliente, donde para el fluido caliente la temperatura de entrada es $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de salida de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, flujo másico de 12490.621 kg/h , el intercambiador tiene un total de 90 placas en la etapa de regeneración, cuyas medidas son 0.451 m de ancho, 0.719 m largo y área de transferencia de 0.324269 m^2 .

De acuerdo a la comparación que se realizó con estos autores y con la diferencia de las propiedades termofísicas en los fluidos y en las condiciones de proceso, se observa que la adaptación a la metodología con el coeficiente de ensuciamiento es de gran ayuda para evitar la formación de incrustaciones en el intercambiador evadiendo la disminución de la eficiencia térmica, incrementando el rendimiento térmico del intercambiador.



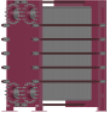
Consecutivamente en los cuadros 19, 20 y 21 se presentan las condiciones del diseño del intercambiador de calor de placas para las etapas de regeneración, calentamiento y enfriamiento.

Cuadro 19. Condiciones de diseño del intercambiador en la etapa de regeneración.

FLUIDO	PROCESO	SERVICIO	UNIDADES
Flujo volumétrico	12000		l/h
Flujo másico	12490.621	15683.068	kg/h
Temp. Entrada	25	75	$^{\circ}C$
Temp. Salida	50	55	$^{\circ}C$
Caída de presión	20320.397	24593.209	Pa

Cuadro 20. Condiciones de diseño del intercambiador en la etapa de calentamiento.

FLUIDO	PROCESO	SERVICIO	UNIDADES
Flujo volumétrico	12000		l/h
Flujo másico	12490.621	126.230	kg/h
Temp. Entrada	50	110	$^{\circ}C$
Temp. Salida	75	110	$^{\circ}C$
Caída de presión	13705.068	1.234	Pa



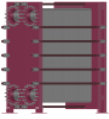
Cuadro 21. Condiciones de diseño del intercambiador en la etapa de enfriamiento.

FLUIDO	PROCESO	SERVICIO	UNIDADES
Flujo volumétrico	12000		l/h
Flujo másico	12490.621	181975.3705	kg/h
Temp. Entrada	55	3	$^{\circ}C$
Temp. Salida	7	0	$^{\circ}C$
Caída de presión	8884.6903	1086521.66	Pa

Sucesivamente se muestran en los cuadros 22, 23 y 24 las propiedades físicas de los fluidos involucrados (proceso y servicio) en las etapas de regeneración, calentamiento y enfriamiento.

Cuadro 22. Propiedades Físicas de los fluidos involucrados en la etapa de regeneración.

FLUIDO	PROCESO	SERVICIO	UNIDADES
Densidad	1040.885	1022.1147	kg/m^3
Calor específico	3.82	3.81	$kJ/Kg \cdot ^{\circ}C$
Viscosidad	2.09E-3	6.20E-4	cP
Conductividad térmica	0.6354	0.635404	$W/m \cdot ^{\circ}C$



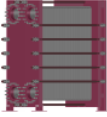
Cuadro 23. Propiedades Físicas de los fluidos involucrados en la etapa de calentamiento.

FLUIDO	PROCESO	SERVICIO	UNIDADES
Densidad	1033.7028	950.920	kg/m^3
Calor específico	3.82	4.24	$kJ/Kg \cdot ^\circ C$
Viscosidad	0.60138	6.84E-1	cP
Conductividad térmica	3.05E-3	2.55E-4	$W/m \cdot ^\circ C$

Cuadro 24. Propiedades Físicas de los fluidos involucrados en la etapa de enfriamiento.

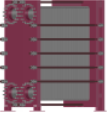
FLUIDO	PROCESO	SERVICIO	UNIDADES
Densidad	1031.7380	999.99	kg/m^3
Calor específico	3.82	4.19	$kJ/Kg \cdot ^\circ C$
Viscosidad	0.6065	5.74E-1	cP
Conductividad térmica	3.05E-3	1.62E-3	$W/m \cdot ^\circ C$

Consecuentemente el cuadro 25 se expone un resumen de las características obtenidas del diseño del intercambiador de calor de placas, en las etapas de regeneración, calentamiento y enfriamiento.



Cuadro 25. Características de diseño del intercambiador las etapas de regeneración, calentamiento y enfriamiento.

CONDICIÓN	Regeneración	Calentamiento	Enfriamiento
Material	Acero inoxidable 304	Acero inoxidable 304	Acero inoxidable 304
Área de transferencia de calor	29.137 m^2	50.281 m^2	85.952 m^2
Área de flujo de proceso	0.0595 m^2	0.1042 m^2	0.1786 m^2
Área de flujo de servicio	0.0609 m^2	0.1055 m^2	0.1799 m^2
Velocidad media de proceso	0.05599 m/s	0.0320 m/s	0.01866 m/s
Velocidad media de servicio	0.0700 m/s	0.0003 m/s	0.28091 m/s
Diámetro hidráulico	5.96E-3 m	5.96E-3 m	5.96E-3 m
N. de placas	90	156	266
Canales proceso	44	77	132
Canales servicio	45	78	133
N. pasos proceso	2	2	2
N. pasos servicio	2	2	16
Ángulo de inclinación	30 °	30 °	30 °
Longitud de placa	0.719 m	0.719 m	0.719 m
Ancho de placa	0.451 m	0.451 m	0.451 m
Espacio entre placa	0.003 m	0.003 m	0.003 m
Área de transferencia de la placa	0.324269 m^2	0.324269 m^2	0.324269 m^2
Tiempo de residencia proceso	3.65E-3 s	6.24E-3	1.07E-2
Tiempo de residencia servicio	3.57E-3 s	6.32E-3	1.08E-2



Con los resultados obtenidos se realizó el modelado 3D del intercambiador de calor de placas para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste mediante el software Autocad, como se observa en las figuras 22,23 y 24.

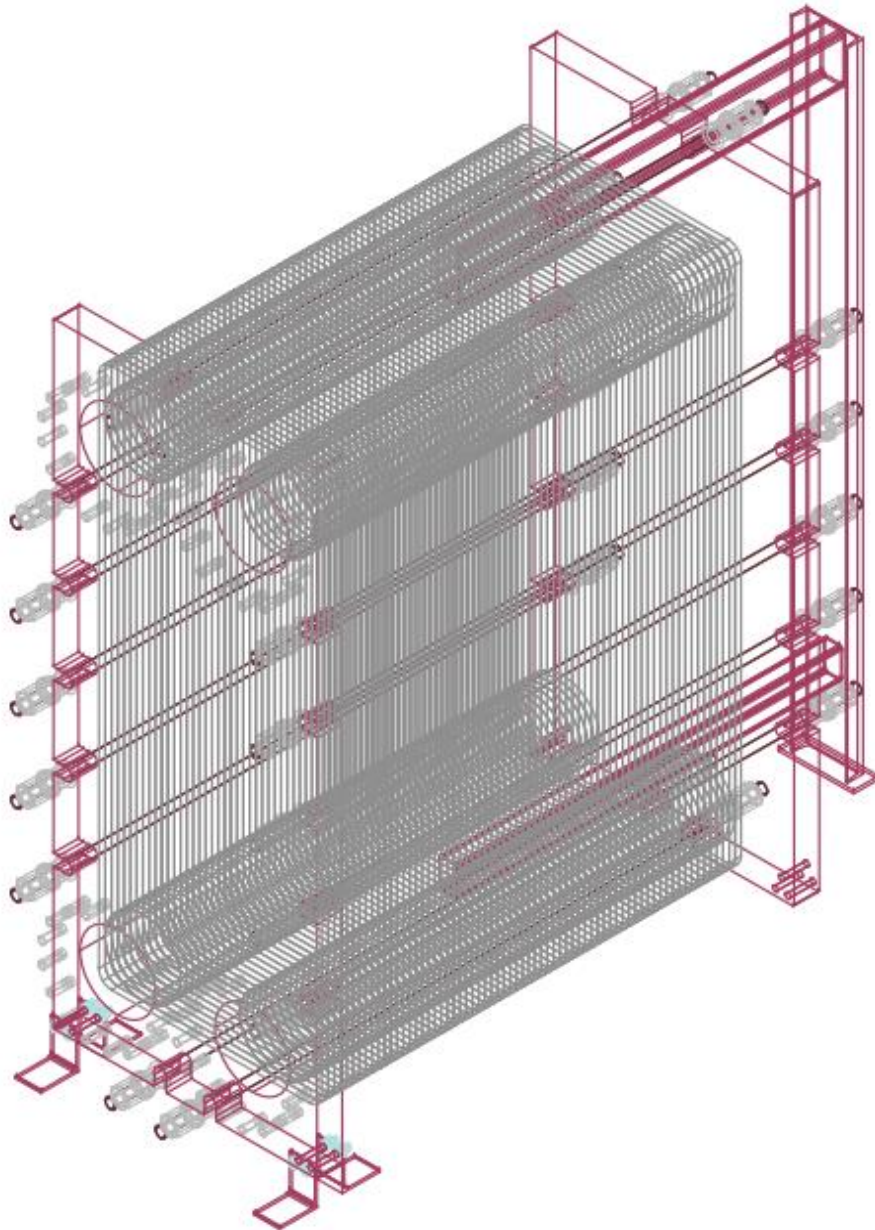


Figura 22. Modelado 3D del interior del intercambiador de calor de placas para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste.

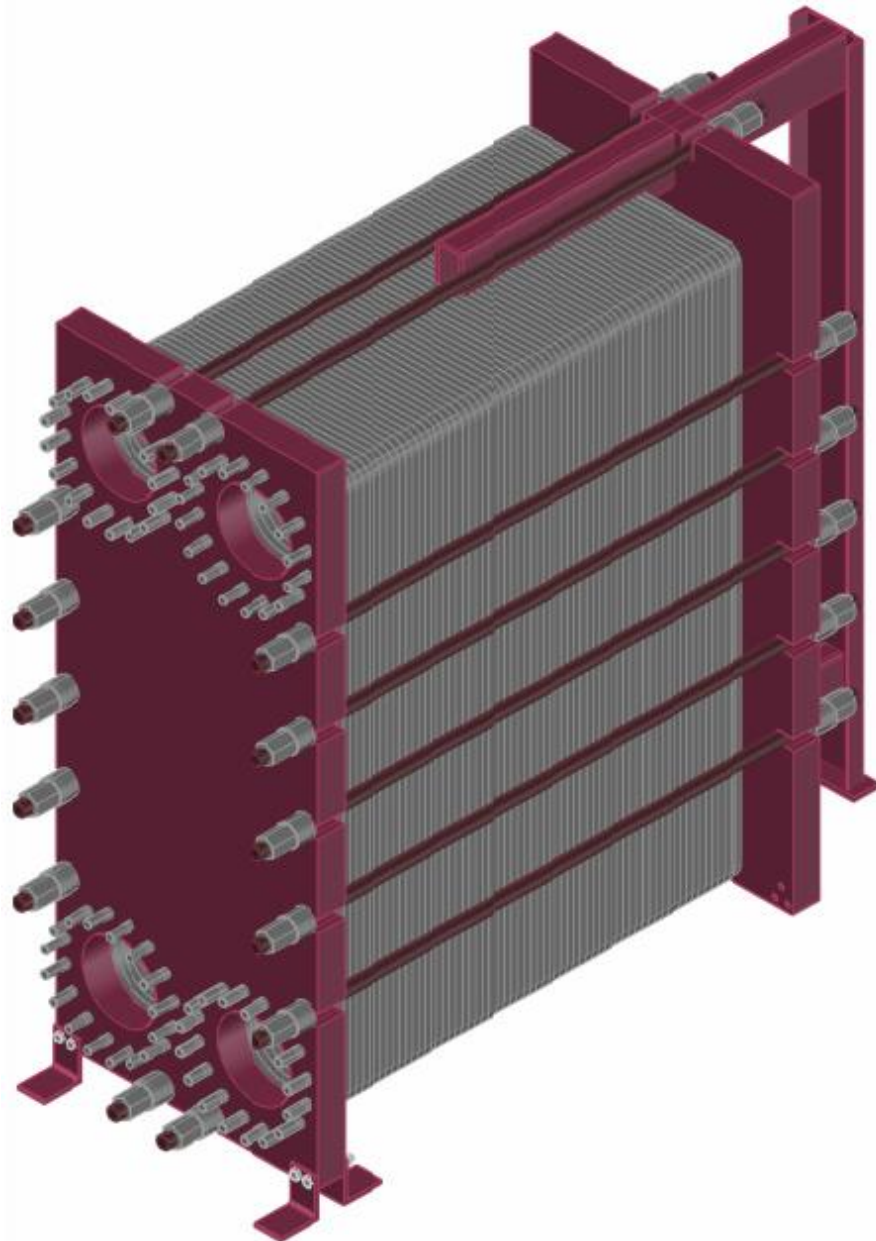
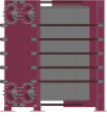


Figura 23. Modelado 3D de los soportes del intercambiador de calor de placas para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste.

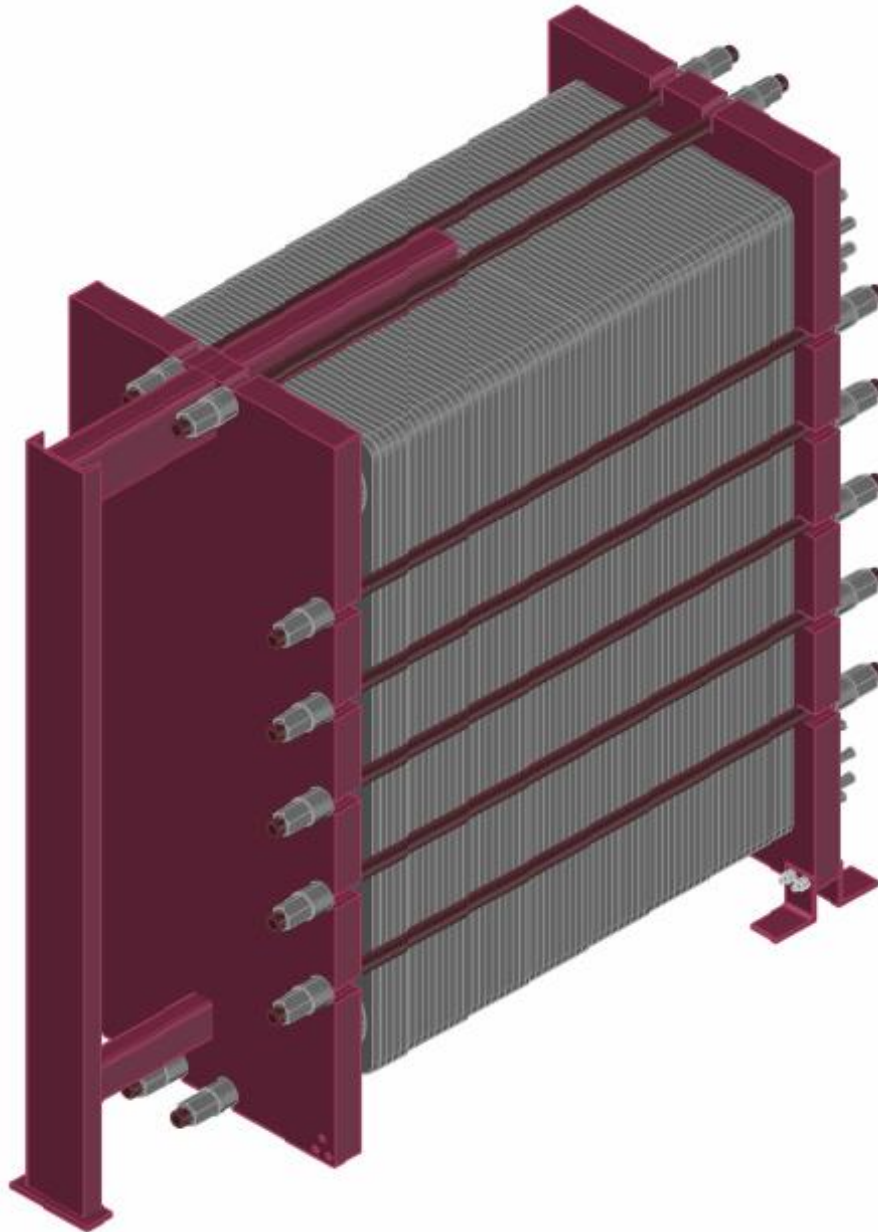
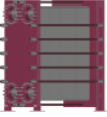
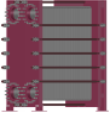


Figura 24. Modelado 3D del arreglo tubular del intercambiador de calor de placas para pasteurizar la bebida de lichi-extracto de alpiste.



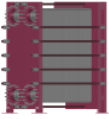
Objetivo Particular 4.

Los distintos métodos de conservación de alimentos procuran incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, idealmente, aplicando técnicas que impidan alteraciones microbiológicas y mantengan la calidad del producto.

La inactivación microbiana y la seguridad del alimento se incrementa entre más severo sea el tratamiento térmico, pero la calidad sensorial u organoléptica del producto generalmente disminuye; sin embargo, se deben tomar en cuenta ambos aspectos y considerar los agentes de alteración para así conservar la calidad final del producto, y basándose en ese agente alterante del producto se debe de plantear el proceso adecuado; existen diferentes procesos para eliminar o reducir el número de patógenos en los alimentos, tales como esterilización, pasteurización, congelación, refrigeración, ajuste de pH, entre otros e incluso la adición de conservantes naturales como los aceites esenciales con poder bactericida, ya que dificultan la actividad y el desarrollo del patógeno, en este caso se hizo uso del aceite esencial de canela que junto con la pasteurización HTS, pretende alargar la vida de anaquel de nuestro producto.

Para la inactivación del patógeno *Salmonella* en la bebida lichi-extracto de alpiste, se requiere una pasteurización HTST, tomando en cuenta los valores establecidos de Z y D, la determinación de la termorresistencia se obtuvo mediante la historia térmica tomando en cuenta las temperaturas en el proceso que se llevará cabo en el dimensionamiento del intercambiador de calor de placas. El perfil de temperatura de la bebida de lichi-extracto de alpiste se obtuvo mediante el programa EXCEL dando como resultado 31.614 ciclos de inactivación en un tiempo de 60.584 s a una temperatura de 75 °C, lo que significa que a este tiempo no se encuentra la presencia de *Salmonella* ni algún otro patógeno que tenga una termorresistencia mayor, la inactivación de 6 ciclos se realiza en un tiempo de 4.22 s manteniendo una temperatura constante de 75°C.

Para verificar estos valores, se hizo la comparación con los resultados publicados por, Moretro (2012) donde la pasteurización se realizó a 95 °C por 30 s, garantizando la inactivación de *Salmonella*. Los resultados obtenidos para la inactivación de la

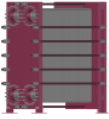


Salmonella en la bebida de lichi-extracto de alpiste no coinciden totalmente con lo publicado por Moretro (2012), Eso puede deberse a diferencias en el perfil de temperatura; se espera que con la adición del aceite esencial de canela, se inhiba la activación de la *Salmonella*.

Los cuadros 26, 27, 28, 29 y 30 presentan los valores obtenidos de $F_{0\text{ puntual}}$ y $F_{0\text{ acumulado}}$ de la bebida de lichi-extracto de alpiste para la etapa de regeneración, calentamiento, mantenimiento, regeneración y enfriamiento respectivamente.

Cuadro 26. Resultados de Letalidad, $F_{0\text{ puntual}}$ y $F_{0\text{ acumulado}}$ en la etapa de regeneración.

REGENERACIÓN				
Tiempo (s)	Temperatura °C	Letalidad	F0	F0 Acumulado
0	25	1.179E-09	0	0
1.2841	27.5	3.295E-09	4.231E-09	4.231E-09
2.5682	30.0	9.211E-09	1.183E-08	1.606E-08
3.8523	32.5	2.575E-08	3.306E-08	4.912E-08
5.1364	35.0	7.197E-08	9.242E-08	1.415E-07
6.4205	37.5	2.012E-07	2.583E-07	3.999E-07
7.7046	40.0	5.623E-07	7.221E-07	1.122E-06
8.9887	42.5	1.572E-06	2.019E-06	3.140E-06
10.2728	45.0	4.394E-06	5.642E-06	8.783E-06
12.8411	50	3.433E-05	4.409E-05	5.287E-05

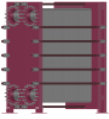


Cuadro 27. Resultados de Letalidad, F_0 puntual y F_0 acumulado en la etapa de calentamiento.

CALENTAMIENTO				
Tiempo (s)	Temperatura °C	Letalidad	F0	F0 Acumulado
0	50	3.433E-05	0	0
2.247	52.5	9.597E-05	1.232E-04	1.232E-04
4.494	55	2.683E-04	3.445E-04	4.677E-04
6.742	57.5	7.499E-04	9.629E-04	1.431E-03
8.989	60	2.096E-03	2.692E-03	4.122E-03
11.236	62.5	5.859E-03	7.524E-03	1.165E-02
13.483	65	1.638E-02	2.103E-02	3.268E-02
15.730	67.5	4.578E-02	5.879E-02	9.147E-02
17.977	70	1.280E-01	1.643E-01	2.558E-01
20.225	72.5	3.577E-01	4.594E-01	7.152E-01

Cuadro 28. Resultados de Letalidad, F_0 puntual y F_0 acumulado en la etapa de mantenimiento.

MANTENIMIENTO				
Tiempo (s)	Temperatura °C	Letalidad	F0	F0 Acumulado
0	75	1.00	0.00	0.00
1	75	1.00	1.28	1.28
2	75	1.00	1.28	2.57
3	75	1.00	1.28	3.85
4	75	1.00	1.28	5.14
5	75	1.00	1.28	6.42
6	75	1.00	1.28	7.70
7	75	1.00	1.28	8.99
8	75	1.00	1.28	10.27
9	75	1.00	1.28	11.56
10	75	1.00	1.28	12.84
11	75	1.00	1.28	14.13
12	75	1.00	1.28	15.41
13	75	1.00	1.28	16.69
14	75	1.00	1.28	17.98
15	75	1.00	1.28	19.26

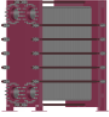


Cuadro 29. Resultados de Letalidad, F_0 puntual y F_0 acumulado en la etapa de regeneración.

REGENERACIÓN				
Tiempo (s)	Temperatura °C	Letalidad	F0	F0 Acumulado
0	75	1.000E+00	0	0.00
1.0271	73.0	4.394E-01	5.642E-01	0.56
2.0542	71.0	1.931E-01	2.479E-01	0.81
3.0813	69.0	8.483E-02	1.089E-01	0.92
4.1084	67.0	3.728E-02	4.787E-02	0.97
5.1355	65.0	1.638E-02	2.103E-02	0.99
6.1626	63.0	7.197E-03	9.242E-03	1.00
7.1897	61.0	3.162E-03	4.061E-03	1.00
8.2168	59.0	1.389E-03	1.784E-03	1.01
10.2709	55	2.683E-04	3.445E-04	1.01

Cuadro 30. Resultados de Letalidad, F_0 puntual y F_0 acumulado en la etapa de enfriamiento.

ENFRIAMIENTO				
Tiempo (s)	Temperatura °C	Letalidad	F0	F0 Acumulado
0	55	2.683E-04	0	1.01
3.852	44.9	4.217E-06	5.415E-06	1.01
7.705	39.8	5.179E-07	6.651E-07	1.01
11.557	34.7	6.362E-08	8.169E-08	1.01
15.409	29.6	7.814E-09	1.003E-08	1.01
19.262	24.5	9.597E-10	1.232E-09	1.01
23.114	19.4	1.179E-10	1.514E-10	1.01
26.966	14.3	1.448E-11	1.859E-11	1.01
30.819	9.2	1.778E-12	2.283E-12	1.01
34.671	4.1	2.184E-13	2.805E-13	1.01
38.523	4	2.096E-13	2.692E-13	1.01



CONCLUSIONES

Las condiciones de proceso se definieron teniendo en cuenta las propiedades de la bebida de lichi-extracto de alpiste, para evitar la degradación de antioxidantes, fenoles, proteínas, así como la inactivación del posible patógeno presente (*Salmonella*). Por lo cual se estableció un flujo volumétrico de 12000 l/h .

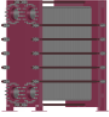
Para el dimensionamiento del intercambiador cuyos fluidos serán la bebida de lichi-extracto de alpiste y agua caliente, se establecieron como parámetros del sistema las siguientes temperaturas mostradas en el cuadro 31 para cada etapa

Cuadro 31. Temperaturas del fluido de proceso y fluido de servicio en cada etapa.

ETAPA	PROCESO		SERVICIO	
	T. inicial °C	T. final °C	T. inicial °C	T. final °C
Regeneración	25	50	75	55
Calentamiento	50	75	110	110
Mantenimiento	75	75	75	75
Enfriamiento	50	7	3	0

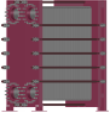
Se consideró un flujo másico de 12490.621 kg/h , para el fluido de servicio, flujo másico de 15683.068 kg/min en la etapa de regeneración, calentamiento de 126.230 kg/min y enfriamiento de $181973.370 \text{ kg/min}$, el tubo de mantenimiento tendrá un diámetro nominal de 2 in, diámetro interno de 0.0474 m y una velocidad de 1.889 m/s .

El intercambiador tendrá 90 placas en la regeneración, 156 en calentamiento y 266 en la etapa de enfriamiento, las placas serán tipo chevron, de acero inoxidable grado alimenticio (304), de 0.719 m de longitud, 0.451 m de ancho, 0.003m espacio entre



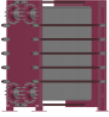
placas, con un ángulo de inclinación de 30° que permiten un área de transferencia de 29.137 m^2 .

El coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador es de $412.921 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ y caídas de presión de 24593.209 Pa para el fluido de servicio y 20320.390 Pa para el fluido de proceso. El proceso de diseño propuesto se rigió en la medida de lo posible a los lineamientos dictados por las normas TEMA y ASME, utilizando el método LMTD.



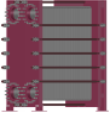
RECOMENDACIONES

- Realizar experimentalmente la determinación de las propiedades termofísicas de la bebida para comparar los resultados y tener mayor certeza en los resultados.
- Determinar el perfil de temperaturas experimentalmente utilizando termopares para comparar los resultados con el programa y tener un valor más exacto de la muerte térmica del microorganismo.
- Hacer un estudio de vida útil de anaquel y análisis microbiológico de la bebida de lichi-extracto de alpiste para verificar la efectividad de la pasteurización.
- Determinar las características organolépticas de la bebida de lichi-extracto de alpiste después del tratamiento térmico para asegurar su aceptabilidad por el consumidor.

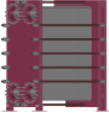


Bibliografía

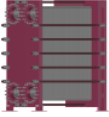
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Tanmay, B. (Junio de 2013). Microwave food processing a review. (Elsevier, Ed.) *Food Research International*.
- Agcam, E., Akyildiz, A., & Dündü, B. (2018). Fruit Juices. *Thermal Pasteurization and Microbial Inactivation of Fruit Juices*, Capítulo 17. Adana, Turquía: Elsevier.
- Aguilar, M. e. (2017). Calor latente y sensible. Ciudad de México, México.
- Ahmed, J., & Ramaswamy, H. (2007). Microwave Pasteurization and Sterilization of Foods. *Handbook of Food Preservation*, 691-711.
- Anchetta, R., & Núñez, A. M. (Julio de 2013). Bebida a base de alpiste (Phalaris canariensis). ANTIGUO CUSCATLAN, El Salvador.
- Awad, M. (2011). *Fouling of Heat Transfer Surfaces*. Mansoura University, Faculty of Engineering. Egypt: INTECH.
- Balmont, C. C. (2014). Cinamaldehído: No solo un simple aroma. *oleQla Rev Cienc*, 4.
- Bhupendra, K., & Joginder, S. (2017). *Lychee Biology and Biotechnology*. Singapur: Springer.
- Botanical_online. (28 de Marzo de 2019). Recuperado el 19 de Febrero de 2020, de Alpiste (Phalaris Canariensis): <https://www.botanical-online.com/plantas-medicinales>
- Botanical-online. (19/02/2020 de 02 de 2020). *Botánica del lichi: Características del árbol del lichi*. Obtenido de Características del árbol del lichi: <https://www.botanical-online.com/botanica/lichi-litchi-chinensis-caracteristicas>



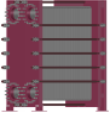
- Brennan, J. (2008). *Manual del procesado de los alimentos*. ZARAGOSA (España): ABRIBIA, S.A.
- Burt, S. (2004). Revista Internacional de Microbiología de Alimentos. *Science Direct*.
- Campagnaro, E. D. (3 de Septiembre de 2017). *Bebida vegetales y leches de otros mamíferos*. Obtenido de Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría: www.redalyc.org/articulo.oa?id
- Castro, L. Y. (2018). Análisis bromatológico del alpiste (*Phalaris Canariensis*) en semillas y de su extracto como alternativa nutricional. Pamplona, España.
- Cengel, Y., & Grhajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa* (4 ed.). Alvaro Obregon, Ciudad de México, México: Mc. Graw Hill.
- Cogliatti, M., Bongiorno, F., Dalla, H., & Rogers, W. (26 de Diciembre de 2011). Canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) accessions from nineteen countries show useful genetic variation for agronomic traits. *Canadian Journal of plant Science*.
- Córdoba, J. P. (2019). *Diseño Térmico y Mecánico de un Intercambiador de Calor de Placas*. Universidad de Ibagué, Facultad de Ingeniería, Ibagué-Tolima.
- Crespo Gutiérrez, F. R., & Gutiérrez Quílez, M. (Mayo de 2009). *Geminis Papeles de Salud*. (herbogeminis, Ed.) Obtenido de <http://www.herbogeminis.com/>
- Dongxiao, S., Mingwei, Z., Zhineng, W., Lihong, D., Fei, H., Guangxu, W., . . . Ruifen, Z. (Diciembre de 2019). Impact of thermal processing and storage temperature on the phenolic profile and antioxidant activity of different varieties of lychee juice. (ScienceDirect, Ed.) *LWT - Food Science and Technology*, 116, 9.
- ECN, A. (1991). Recuperado el 30 de Octubre de 2020, de <http://ecnavtation.com>



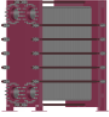
- Estrada, K. L., & Reyes, A. (2015). Propiedades Antioxidantes del Litchi (*Litchi chinensis* Sonn). *TLATEMOANI*, 91-102.
- Fellows, P. (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos* . ZARAGOZA (España): Acribia S.A.
- Firmino, D. F., Cavalcante, T., Gomes, G. A., Firmino, N. C., Rosa, L. D., Carvalho, M. G., & Jr, F. E. (2018). Actividades antibacterianas y antibióticas de *Cinnamomum*. Aceite esencial y cinamaldehído: actividades antimicrobianas. *The scientific World Journal*, 9.
- Francke, B., & Becker, B. (Octubre de 2001). Evaluation of Thermophysical Property Models for Foods. *HAC&R RESEARCH*, 7(4).
- Garcia, V. R., Malo, A. L., & Morales, M. E. (2010). Efecto del calentamiento con microondas en alimentos fluidos. *Temas selectos de ingeniería en alimentos*, 2, 38-47.
- Garza, S. G. (1998). Caracterización reologica, microbiológica y cinética de deterioro en cremogeoñado de melocotón. Lleida, España.
- Geankoplis, C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. México: CECSA.
- Gilmand, E., & Watson, D. (26 de Noviembre de 1993). *Lychee fruit nutrition facts*. Recuperado el 26 de Febrero de 2020, de Lychee fruit nutrition facts: <https://www.nutrition-and-you.com/Lychee.html>
- Group, T. L. (2020). *Intercambiador de calor de superficie raspada*. Recuperado el 10 de Abril de 2020, de Contherm: <https://www.tetrapak.com/mx/processing/heat-exchangers/contherm>
- Holdsworth, S., & Simpson, R. (2008). *Thermal Processing of Packaged Foods* (3 ed.). (G. V. Cánovas, Ed.) USA: Springer.



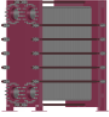
- Holman, J. (1999). *Transferencia de calor* (10 Reimpresión ed.). Azcapotzalco, Ciudad de México, México: CECOSA.
- IDFA. (2020). *Pasteurization / International Dairy Food Association*. Recuperado el 24 de Febrero de 2020, de Pasteurization / International Dairy Food Association: <http://www.adfa.org/new-views>
- IFT/FDA. (2 de Junio de 2000). Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies. U.S.
- Jaramillo , O. (2007). *Intercambiadores de calor*. Universidad Nacional Autonoma de México, Centro de Investigación en Energia , Ciudad de México.
- Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2012). *Principios de Transferencia de Calor* (7 ed.). México: Cengage Learning.
- Llenque, L. A., Quintana, A., Villanueva de Cueva, E., Moreno, N. A., & Segura, R. (Julio-Diciembre de 2017). Cinética de Inactivación Termica de Salmonella Sp. en Jugo de Fresa. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 8.
- Márquez, M. J. (Enero de 2007). Diseño de un pasteurizador para helados. Cádiz, España.
- Martínez, F. J. (2010). Manual Transferencia de Calor: Diseño de intercambiadores de calor. 76. Cuautitlan Izcalli, Estado de México, México.
- Martínez, R. C. (Junio de 2011). Guia para seleccionar intercambiadores de calor. *Revista Academica de Investigación*(6).
- Melara, B., & Saravia, P. M. (19 de Junio de 2017). Estudio de la factibilidad en la formulación de una bebida a base de alpiste (*Phalaris canariensis*) con saborizante artificial para la viabilidad en la aceptación por parte de los consumidores. Con sus respectivos análisis sensorial, microbiológico y brom. El Salvador.



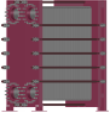
- Mendoza, K. M. (Enero de 2018). Desarrollo de un software para el diseño termico de intercambiadore de calor. 98. Ciudad De México, México.
- México, G. d. (2009). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado el 5 de Febrero de 2020, de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp
- Moretro, T., Vestby, L., Langsrud, S., & Nesse, L. (Marzo de 2012). Control of Salmonella in Food Related Environments by Chemical Disinfection. *Food Research International*, 45(2), 532-544.
- Narváes Salvador, F., & Narváes Vega, V. (2005). *Diseño y construcción de un prototipo de pasteurización de leche a pequeña escala*. Ecuador; Quito.
- Pelayo, M. (2010). *Métodos alternativos de conservación de alimentos*. Recuperado el 26 de Febrero de 2020, de Métodos alternativos de conservación de alimentos: http://www.adiveter.com/ftp_public/A11506.
- Perdomo, F., Mondragón, J., & Vibrans, H. (23 de Agosto de 2009). *Malezas de México*. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/phalaris-canariensis/fichas/ficha.htm>
- Pistolesi, D., & Mascherpa, V. (27 de Junio de 2014). F0 A Technical note. 33. (F. GROUP, Ed.)
- Qiang, L., Meimei, S., Youyou, Y., Fenglei, L., Guibing, H., Haoshu, W., . . . Xian, L. (11 de Enero de 2014). Effects of phenolicrich litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). (ScienceDirect, Ed.) *Journal of Functional Foods*, 7, 621-629.
- SACOME. (21 de Octubre de 2019). *Intercambiador de Calor, Usos, Ventajas y Aplicaciones*. Recuperado el 9 de Abril de 2020, de <https://www.sacome.com/intercambiador-tubular-usos-ventajas-aplicaciones/>



- SADER. (24 de Febrero de 2020). *Las aventuras del lichi en México*. Obtenido de Las aventuras del lichi en México: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/las-aventuras-del-lichi-en-mexico?idiom=es>
- Salas, P. A. (Julio de 2013). Identificación y caracterización de las propiedades biológicas de péptidos de alpiste: cereal empleado para el tratamiento de diabetes e hipertensión. San Luis Potosi, México.
- Shang, C., Pin, C., & Shan, C. (2001). Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from cinnamomum. *Journal of Ethnopharmacology*, 5.
- SIAP. (21 de 02 de 2020). *Boletín de exportaciones litchi*. Obtenido de Boletín de exportaciones litchi: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451512/Abril__litchi__2019.pdf
- Simpson, R. (2009). *Engineering Aspects of Thermal Food Processing*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Tetra Laval. (s.f.). *Contherm, Scraped-surface heat exchanger*. Recuperado el 1 de Mayo de 2021, de <https://www.tetrapak.com/es-mx/solutions/processing/main-technology-area/heat-exchangers/contherm>
- Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook. second ed.* Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Torres, M., Morales, F., & Arvizu, E. (2019). Situación actual del cultivo de litchi en municipios productores. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12.
- UNAM. (10 de Septiembre de 2005). Pasteurización. *Revista digital universitaria*, 6(9). Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art89/art89-4.htm>
- Vidaurre Ruiz, J., & Salas Valerio, W. (s.f.). Simulador de Transferencia de Calor en Estado no Estacionario "Mediante Metodo Analiticos". Lambayaque, Perú.



- Vidaurre, J., & Salas, W. (2015). Simulador de Transferencia de Calor en Estado no Estacionario "Mediante Metodo Analiticos". Lambayaque, Perú.
- Vilches, K. A. (2013). *Actualización de Parámetros de Diseño de Intercambiadores de Calor*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Ingeniería , Valparaiso, Chile.

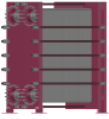


ANEXOS

Anexo 1. Uso de Minitab para determinación de la formulación.

Cuadro I Composición porcentual de las 9 formulaciones propuestas por el programa minitab 19.2

Formulación	%Alpiste	%Lichi	%Canela	%Agua	Total
1	5	20	0.05	74.95	100
2	9.08	20	0.02	70.90	100
3	5	80	0.01	14.99	100
4	9.08	31.02	0.01	59.89	100
5	7.04	37.76	0.02	55.18	100
6	6.02	28.88	0.04	65.07	100
7	8.06	28.88	0.02	63.04	100
8	6.02	58.88	0.02	35.09	100
9	8.06	34.39	0.02	57.54	100



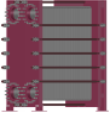
En el cuadro II se presenta la composición química de cada uno de los ingredientes a utilizar en la bebida de lichi a partir del extracto de alpiste y en el cuadro III la formulación de la bebida de lichi a partir del extracto de alpiste.

Cuadro II. Composición por ingredientes de la bebida de lichi-alpiste

	ALPISTE		LICHÍ		CANELA	
	%	X_i	%	X_i	%	X_i
Carbohidratos	61.00	0.6100	16.53	0.1653	25.55	0.2555
Proteína	21.67	0.2167	0.83	0.0083	4.00	0.0400
Grasa	5.59	0.0559	0.44	0.0044	3.19	0.0319
Humedad	3.01	0.0301	80.00	0.8000	10.00	0.1000
Fibra	7.62	0.0762	1.30	0.0130	55.30	0.5530
Ceniza	1.11	0.0111	0.90	0.0090	1.96	0.0196

Cuadro III. Formulación bebida lichi-extracto de alpiste

	%	g
Alpiste	7.04	70.4
Lichi	37.76	377.6
Canela	0.02	0.2
Agua	55.18	551.8
	100 %	1000 g



Anexo 2. Determinación de la composición química de la bebida de lichi-alpiste mediante Balances por componentes.

Carbohidratos

$$M_{alpiste}(X_{CHOS_{alpiste}}) + M_{lichi}(X_{CHOS_{lichi}}) + M_{canela}(X_{CHOS_{canela}}) = M_{TOTAL}(X_{CHOS_{Jugo}})$$

$$70.04(0.6100) + 377.6(0.1653) + 0.2(0.2555) = M_{TOTAL}(X_{CHOS_{Jugo}})$$

$$105.3927 = M_{TOTAL}(X_{CHOS_{Jugo}})$$

Se despeja $X_{CHOS_{Jugo}}$ donde $M_{TOTAL} = 1000$

$$X_{CHOS_{Jugo}} = \frac{105.3927}{1000}(100)$$

$$X_{CHOS_{Jugo}} = 10.5412$$

La secuencia de cálculo se realiza para cada uno de los componentes, dando como resultado los siguientes valores:

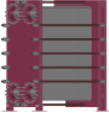
$$X_{Proteina_{Jugo}} = 1.8397$$

$$X_{Grasa_{Jugo}} = 0.5603$$

$$X_{Humedad_{Jugo}} = 85.6019$$

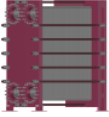
$$X_{Fibra_{Jugo}} = 1.0383$$

$$X_{Ceniza_{Jugo}} = 0.4183$$



Cuadro IV. Composición de la bebida lichi-extracto de alpiste

Composición química bebida lichi-extracto de alpiste		
	%	X_i
Carbohidratos	10.5412	0.105412
Proteína	1.8397	0.018397
Grasa	0.5603	0.005603
Humedad	85.6019	0.856019
Fibra	1.0383	0.010383
Ceniza	0.4183	0.004183



Anexo 3. Determinación de propiedades termofísicas de la bebida de lichi-extracto de alpiste.

Densidad.

Para determinar la densidad se requiere la fracción de masa y la densidad de los componentes de la bebida de lichi-extracto de alpiste; la densidad se calculó mediante la siguiente ecuación (Francke & Becker, 2001):

$$\rho = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{\rho_i}}$$

Donde

ρ = Densidad

X_i = Fracción masa de los componentes.

ρ_i = Densidad de los componentes.

En el cuadro V se presentan las ecuaciones para cada componente: agua, proteína, carbohidratos, grasa, fibra y cenizas para determinar su densidad.

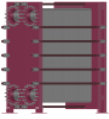
Cuadro V. Ecuaciones para estimar la densidad de los componentes principales de la bebida de lichi-extracto de alpiste a la Tmp

Componente	Ecuación	$\rho_{Componente}$
Agua	$\rho = 997.18 + 3.1439E^{-3} T - 3.7574E^{-3} T^2$	992.0139
Proteína	$\rho = 1329.9 - 0.518 T$	1310.475
Grasa	$\rho = 925.6 - 0.4176 T$	909.94
Carbohidrato	$\rho = 1599.1 - 0.3105 T$	1587.4562
Fibra	$\rho = 1311.5 - 0.3659 T$	1310.2193
Ceniza	$\rho = 2423.8 - 0.2806 T$	2413.2775

(Francke & Becker, 2001)

$$\rho_{Agua} = 997.18 + 3.1439E^{-3} (37.5) - 3.7574E^{-3} (37.5)^2 = 992.0139$$

$$\rho_{Proteina} = 1329.0 - 0.518 (37.5) = 1310.475$$



$$\rho = \frac{1}{\frac{0.8560}{997.1325} + \frac{0.0183}{1327.8264} + \frac{0.0056}{923.9197} + \frac{0.1054}{1597.8582} + \frac{0.0103}{1310.0364} + \frac{0.0041}{2422.6775}} = 1042.7199$$

Calor específico (Cp)

La ecuación para determinar el calor específico requiere la fracción de masa y el calor específico de los componentes de la bebida de lichi-extracto de alpiste; la ecuación es la siguiente (Francke & Becker, 2001):

$$Cp = \sum X_i Cp_i$$

Donde

Cp = Densidad

X_i = Fracción masa de los componentes.

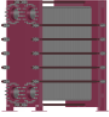
Cp_i = Calor específico de los componentes.

En el cuadro VI se presentan las ecuaciones para cada componente: agua, proteína, carbohidratos, grasa, fibra y cenizas para determinar su calor específico.

Cuadro VI. Ecuaciones para estimar el calor específico de los componentes principales de la bebida de lichi-extracto de alpiste

Componente	Ecuación	$cp_{Componente}$
Agua	$cp = 4.1762 - 9.0854E^{-5}T - 5.4731E^{-6}T^2$	4.1757
Proteína	$cp = 2.0082 + 1.2089E^{-3}T - 1.3129E^{-6}T^2$	2.0130
Grasa	$cp = 1.9842 + 1.4733E^{-3}T - 4.8008E^{-6}T^2$	1.9900
Carbohidrato	$cp = 1.5488 + 1.9625E^{-3}T - 5.9399E^{-6}T^2$	1.5566
Fibra	$cp = 1.8459 + 1.8306E^{-3}T - 4.6509E^{-6}T^2$	1.8531
Ceniza	$cp = 1.0926 + 1.8896E^{-3}T - 3.6817E^{-6}T^2$	1.1001

(Francke & Becker, 2001)



$$cp_{Agua} = 4.1762 - 9.0854E^{-5}(4) - 5.4731E^{-6}(4)^2 = 4.1757$$

$$cp_{Proteina} = 2.0082 + 1.2089E^{-3}(4) - 1.3129E^{-6}(4)^2 = 2.0130$$

$$Cp = (0.8560)(4.1757) + (0.0183)(2.0130) + (0.0056)(1.9900) + (0.1054)(1.5566) \\ + (0.0103)(1.8531) + (0.0041)(1.1001) = \mathbf{3.8106}$$

Conductividad térmica (Kt)

La conductividad térmica requiere la fracción de masa y la conductividad térmica de los componentes de la bebida de lichi-extracto de alpiste; la conductividad térmica se calcula mediante la siguiente ecuación (Francke & Becker, 2001):

$$kt = \sum X_i kt_i$$

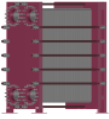
Donde

kt = Conductividad térmica

X_i = Fracción masa de los componentes.

kt_i = Conductividad térmica de los componentes.

En el Cuadro VII se presentan las ecuaciones para cada componente: agua, proteína, carbohidratos, grasa, fibra y cenizas para determinar la conductividad térmica.



Cuadro VII. Ecuaciones para estimar la conductividad térmica de los componentes principales de la bebida de lichi-extracto de alpiste

Componente	Ecuación	$kt_{Componente}$
Agua	$kt = 0.57109 + 1.7625E^{-3}T - 6.7036E^{-6}T^2$	0.5780
Proteína	$kt = 0.17881 + 1.1958E^{-3}T - 2.7178E^{-6}T^2$	0.1835
Grasa	$kt = 0.18071 + 2.7604E^{-3}T - 1.7749E^{-7}T^2$	0.1697
Carbohidrato	$kt = 0.20141 + 1.3874E^{-3}T - 4.3312E^{-6}T^2$	0.2069
Fibra	$kt = 0.18331 + 1.2497E^{-3}T - 3.1683E^{-6}T^2$	0.1883
Ceniza	$kt = 0.32962 + 1.4011E^{-3}T - 2.9069E^{-6}T^2$	0.3352

(Francke & Becker, 2001)

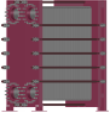
$$kt_{Agua} = 0.57109 + 1.7625E^{-3}(4) - 6.7036E^{-6}(4) = 0.5780$$

$$kt_{Proteina} = 0.17881 + 1.1958E^{-3}(4) - 2.7178E^{-6}(4)^2 = 0.1835$$

$$kt = (0.8560)(0.5780) + (0.0183)(0.1835) + (0.0056)(0.1697) + (0.1054)(0.2069) + (0.0103)(0.1883) + (0.0041)(0.3352) = \mathbf{0.5242}$$

Difusividad térmica (α)

Para determinar la difusividad térmica se requiere la fracción de masa y la difusividad térmica de los componentes de la bebida de lichi-extracto de alpiste; la difusividad térmica se calcula mediante la siguiente ecuación (Francke & Becker, 2001):



$$\alpha = \sum X_i \alpha_i$$

Donde

α = Difusividad térmica

X_i = Fracción masa de los componentes.

α_i = Difusividad térmica de los componentes.

En el cuadro VIII se presentan las ecuaciones para cada componente: agua, proteína, carbohidratos, grasa, fibra y cenizas para determinar su difusividad térmica.

Cuadro VIII. Ecuaciones para estimar la difusividad térmica de los componentes principales de la bebida de lichi-extracto de alpiste

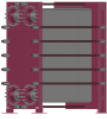
Componente	Ecuación	$\alpha_{Componente}$
Agua	$\alpha = 1.3168E^{-7} + 6.2477E^{-10}T - 2.4022E^{-12}T^2$	1.3414E-07
Proteína	$\alpha = 6.8714E^{-8} + 4.7578E^{-10}T - 1.4646E^{-12}T^2$	7.0594E-08
Grasa	$\alpha = 9.8777E^{-8} + 1.2569E^{-10}T - 3.8286E^{-12}T^2$	9.8274E-08
Carbohidrato	$\alpha = 8.0842E^{-8} + 5.3052E^{-10}T - 2.3218E^{-12}T^2$	8.2927E-08
Fibra	$\alpha = 7.3976E^{-8} + 5.1902E^{-10}T - 2.2202E^{-12}T^2$	7.6017E-08
Ceniza	$\alpha = 1.2461E^{-7} + 3.7321E^{-10}T - 1.2244E^{-12}T^2$	1.2608E-07

(Francke & Becker, 2001)

$$\alpha_{Agua} = 1.3168E^{-7} + 6.2477E^{-10}(4) - 2.4022E^{-12}(4)^2 = 1.3414E^{-7}$$

$$\alpha_{Proteina} = 6.8714E^{-8} + 4.7578E^{-10}(4) - 1.4646E^{-12}(4)^2 = 7.0594E^{-8}$$

$$\alpha = (0.8560)(1.3414E^{-7}) + (0.0183)(7.0594E^{-8}) + (0.0056)(9.8274E^{-8}) + (0.1054)(8.2927E^{-8}) + (0.0103)(7.6017E^{-8}) + (0.0041)(1.2608E^{-7}) = \mathbf{1.2673E^{-7}}$$



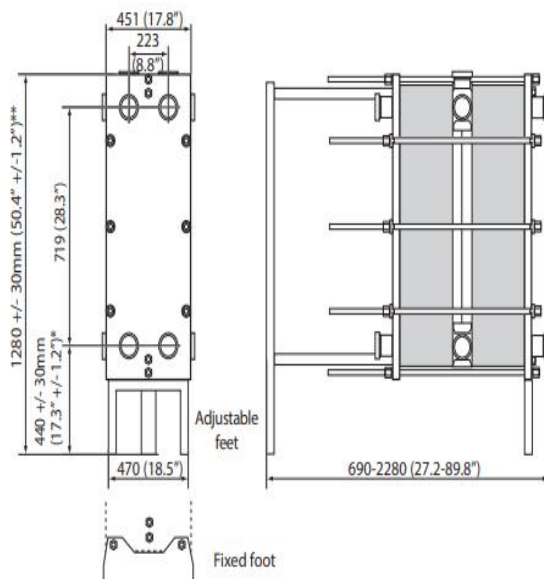
Anexo 4. Dimensiones de placa.

Dimensiones de la placa utilizada para el dimensionamiento del intercambiado de calor de placa para la bebida de Lichi-extracto de alpiste.

Alfa Laval Base 10

Dimensional drawing

Measurements mm (inches)



* = with fixed feet 214

** = with fixed feet 1054

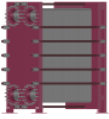
Operational data

Frame, PV-code	Max. design pressure (barg/psig)	Max. design temperature (°C/°F)
RM, pvcALS	10.0/145	160/320
RM, PED	10.0/145	160/320

Extended pressure and temperature rating may be available on request.

Connections

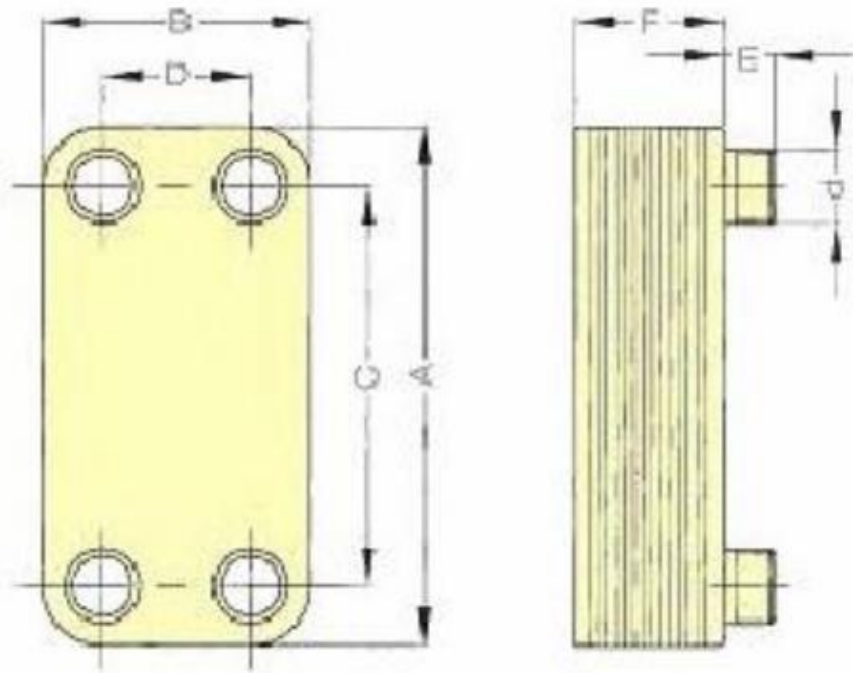
DIN, SMS, Tri-CLAMP, BS/RJT and IDF/ISO male parts.



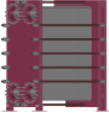
La selección de las dimensiones de la placa puede hacerse mediante:

- a) Información proporcionada por los diferentes fabricantes de equipo.

<http://www.muel.com/>



Brazed Plate Models	Dimensions (inches)					Plate Area (Sq.ft)	Channel Volume (USGAL)	Maximum Flow (GPM)	Maximum Number of Plates(NP)	Weight (empty) (Lbs)
	A	B	C	D	F					
M-14a	7.9	3.1	6.5	1.7	.36+.09np	0.15	0.006	18	80	1.5+0.1np
M-22a	11.8	3.1	10.2	1.7	.36+.09np	0.24	0.009	18	80	2.4+0.2np
M-22b	7.2	4.8	5.1	2.7	.36+.09np	0.24	0.009	18	80	2.6+0.2np
M-31b	11.3	4.8	9.1	2.7	.36+.09np	0.33	0.012	50	150	3.1+0.3np
M-47b	16.3	4.8	14.2	2.7	.36+.09np	0.51	0.019	50	150	4.6+0.4np
M-110c	18.2	10.0	14.9	6.7	.39+.09np	1.18	0.043	89	200	11.2+.9np
M-170c	28.7	10.0	23.8	6.7	.63+.10np	1.83	0.067	105	200	18.1+1.2np



b) Utilizando las siguientes consideraciones geométricas:

$$2 < L_p / A_p < 4$$

$$0.05m^2 < \text{Área transferencia de la placa} < 1.5m^2$$

$$3 \text{ mm} < E_p < 12 \text{ mm}$$

$$0.5 < S_p < 1.3 \text{ mm}$$

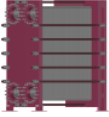
L_p = largo de placa

A_p = ancho de placa

E_p = espacio entre placas

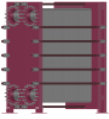
S_p = espesor de la placa

A_{tp} = Área de transferencia de la placa = $L_p \cdot A_p$



Anexo 5. Constantes de la ecuación de Dittus- Boelter para placas tipo chevron.

Ángulo	Reynolds	ch	y
=< 30	=< 10	0.718	0.349
	>10	0.348	0.663
=< 45	=< 10	0.718	0.349
	10 a 100	0.4	0.598
	>100	0.3	0.663
=< 50	=< 20	0.63	0.333
	20 a 300	0.291	0.591
	>300	0.13	0.732
=< 60	=< 20	0.562	0.326
	20 a 400	0.306	0.529
	>400	0.108	0.703
=< 65	=< 20	0.562	0.326
	20 a 500	0.331	0.503
	>500	0.087	0.718



Anexo 6. Constantes para cálculo del factor de fricción para placas.

Ángulo	Reynolds	Kp	z
=< 30	=< 10	50	1
	10 - 100	19.4	0.589
	>100	2.99	0.183
=< 45	=< 15	47	1
	15 a 300	18.29	0.652
	>300	1.441	0.206
=< 50	=< 20	34	1
	20 a 300	11.25	0.631
	>300	0.772	0.161
=< 60	=< 40	24	1
	40 a 400	3.24	0.457
	>400	0.76	0.215
=< 65	=< 50	24	1
	50 a 500	2.8	0.451
	>500	0.639	0.213