



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO PARA LA**

**ELABORACIÓN DE MERMELADA DE TUNA PARA LA**

**EMPRESA VITA TUNA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: BETTY MARIBEL TIERRA CALI**

**TUTOR: ING. MARCO CHUIZA**

Riobamba – Ecuador

2018

**©2018, Betty Maribel Tierra Cali**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: el trabajo de titulación: **DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO PARA LA ELABORACIÓN DE MERMELADA DE TUNA PARA LA EMPRESA VITA TUNA**, de responsabilidad de la señorita Betty Maribel Tierra Cali, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Marco Chuiza .....

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Mario Villacrés .....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Yo, Betty Maribel Tierra Cali, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 8 de Marzo del 2018

Betty Maribel Tierra Cali

060418798-9

“Yo, BETTY MARIBEL TIERRA CALI soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados obtenidos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

Betty Maribel Tierra Cali

## **DEDICATORIA**

El presente Trabajo de Titulación va dedicado en primer lugar a Dios y a la Santísima Virgen María por brindarme salud y vida para llegar a cumplir cada una de mis metas propuestas.

A mis padres Fausto Tierra y Martha Cali, el pilar fundamental de mi vida quienes me han acompañado durante toda mi carrera universitaria, por las palabras de aliento y cariño en los momentos más difíciles y por brindarme los recursos necesarios para cumplir una de las metas más importantes.

A mis hermanas Erika, Nataly y Nayeli, por brindarme su apoyo incondicional, amistad y por ser mi inspiración de superarme día tras día. A mí querido sobrino Daniel por su infinita inocencia y ternura.

A mi hermano que partió a muy temprana edad, Jefferson Ronaldo y que desde el cielo nos cuida y nos protege.

Betty

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios y a la Santísima Virgen, por brindarme vida y sabiduría al momento de elegir mi carrera y nunca abandonarme en el transcurso del mismo. A mi hermano Jefferson un bello ángel que desde el cielo nos cuida.

A mis padres quienes me han formado como persona, inculcándome valores y responsabilidades, mi padre Fausto T. quien ha forjado mi carácter y me ha enseñado a enfrentar cada uno de los obstáculos, mi madre Martha C. el ser más sublime que me dio la vida y gracias a su infinito amor estoy llegando a culminar una meta propuesta.

A mi hermana Erika quien ha sido mi ejemplo a seguir pues me ha demostrado que con perseverancia y dedicación se cumplen las metas propuestas, mis hermanas Nataly y Nayeli por su amor y confianza incondicional durante toda mi vida. A mi sobrino Daniel que ilumina mis días con su amor e inocencia.

A mis tíos, abuelitos y primos por estar al pendiente de cada paso que doy y por brindarme su apoyo durante mi carrera universitaria.

A mis queridos amigos: Jhonny, Chelito, Pame, Katty, Dandy Yajis, Gata por la amistad que formamos en el transcurso de nuestra carrera, la unión hace la fuerza y es así que juntos superamos todos los obstáculos culminando así nuestra vida universitaria.

Al Ing. Marco Chuiza por su profesionalismo y su calidad humana, por su asesoramiento durante la realización de mi proyecto de titulación, al Ing. Mario Villacrés por su colaboración en cuanto a conocimiento para la culminación de mi proyecto.

De manera especial a la Ing. Mónica Andrade, Ing. Antonio Santillán e Ing. Marcelo Ramos por su calidad humana, por su motivación para superarnos y llegar a cumplir cada una de nuestras metas, hacia ellos mi más profunda admiración.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a mi prestigiosa Escuela de Ingeniería Química por abrirme las puertas y formarme como profesional.

A la empresa Vita Tuna por abrirme las puertas y al Sr. Gerardo Vizúete por brindarme su apoyo y facilitarme la información necesaria para la culminación de este proyecto.

Betty

## ÍNDICE DE ABREVIATURA

$A_p$	Altura de la paleta (m).
$h_L$ :	Altura del líquido (m).
$h_{sp}$	Altura del serpentín (m).
$H_T$	Altura del tanque (m).
A	Área de transferencia de calor ( $m^2$ )
A	Área de transferencia de calor ( $m^2$ )
$A_T$	Área del tubo por metro lineal ( $m^2$ /metro lineal).
$\lambda_W$	Calor latente de Vaporización (Kcal/Kg)
U	Coefficiente global de transferencia de calor ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
$x_F$	Concentración final de la solución.
$x_i$	Concentración inicial de la solución.
$\delta$	Densidad del fluido ( $Kg/m^3$ )
$D_a$ :	Diámetro del rodete (m).
$D_t$	Diámetro del tanque (m)
$\phi_{ext}$	Diámetro externo del serpentín (m)
$\phi_{int}$ :	Diámetro interno del serpentín (m)
$D_H$	Diámetro medio de la hélice.
E	Distancia entre el fondo del tanque y la paleta (m).
$h_F$	Entalpía de alimentación a la temperatura $T_F$ , (Kcal/Kg)
$h_L$	Entalpía del concentrado a la temperatura $T_s$ , (Kcal/Kg)
$h_w$	Entalpía del condensado a la temperatura $T_w$ (Kcal/Kg).
$H_v$	Entalpía del evaporado (agua evaporada) a una temperatura $T_E$ , (Kcal/Kg)
$H_w$	Entalpía del vapor en la cámara de calefacción a la temperatura $T_w$ , (Kcal/Kg).
P	Espacio entre cada vuelta del serpentín, medido de centro a centro (m).
$f_s$	Factor de diseño.
$g_c$	Factor gravitacional 32,174 ( $lb/lb_f*s^2$ )
F	Flujo de alimentación que entra al evaporador (Kg/h).
Q	Flujo de calor (Kcal/h)
L	Flujo del líquido concentrado (Kg/h)

$x_F$	Fracción molar en la alimentación (adimensional)
$\Delta T$	Gradiente de temperatura (°C)
$L_B$	Longitud del brazo del agitador. (m).
$L_S$	Longitud del serpentín (m).
$m_F$	Masa de alimentación (Kg)
$N_P$	Número de potencia (adimensional).
$N_{RE}$	Número de Reynolds (adimensional).
$N$	Número de vueltas teóricas del serpentín.
$P_T$	Perímetro del tubo (m).
$P_{fruta}$	Peso de la pulpa de tuna (l)
$P$	Presión en la ciudad de Riobamba (mmHg)
$r$	Radio medio del serpentín, tomado desde la línea central de la hélice hasta la línea central del serpentín (m).
$R$	Rendimiento de la evaporación.
$T_F$	Temperatura de Alimentación (°C)
$T_b H_2O$	Temperatura de ebullición del agua en la ciudad de Riobamba (°C)
$T_1$	Temperatura de ebullición del concentrado (°C)
$T_2$	Temperatura de saturación del vapor de agua que entra (°C)
$T_W$	Temperatura de Vaporización. (°C)
$T_L$	Temperatura del Concentrado. (°C)
$T_V$	Temperatura del Evaporado (°C)
$t$	Tiempo de operación (h)
$W$	Vapor de agua (calor del vapor) que entra a la cámara de calefacción (kg/h).
$V$	Vapor de agua condensado que sale de la cámara de calefacción (Kg/h)
$\mu$	Viscosidad del fluido (Kg/m*s)
$V_D$	Volumen de diseño (L).
$V_{mermelada}$	Volumen de la mermelada (l)
$V_r$	Volumen real de operación. (L).
$V_T$	Volumen total del tanque (L).

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	XVI
CAPITULO I .....	1
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Identificación del problema .....	1
1.2. Justificación del proyecto .....	1
1.3. Línea de base del Proyecto .....	2
1.3.1. Antecedentes .....	2
1.3.2. Reconocimiento del lugar de investigación. ....	3
1.3.3. Metodología .....	3
1.3.4. Desarrollo metodológico. ....	4
1.3.5. Tipo de estudio .....	7
1.3.6. Parte experimental.....	7
1.3.7. Marco conceptual .....	16
1.4. BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS .....	24
1.4.1. Directos .....	24
1.4.2. Indirectos.....	24
CAPÍTULO II .....	25
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	25
2.1. Objetivo General.....	25
2.2. Objetivos Específicos. ....	25
CAPÍTULO III.....	26
3. ESTUDIO TÉCNICO .....	26
3.1. Localización del proyecto .....	26
3.1.1. Área de estudio.....	27
3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	27
3.2.1. Materiales.....	28
3.2.2. Ecuaciones de diseño .....	29
3.2.3. Balances de masa y energía.....	29
3.2.4. Dimensionamiento de un evaporador de simple efecto para la elaboración de mermelada de tuna.....	46
3.2.5. Resultados .....	69
3.2.6. Interpretación de los resultados .....	71
3.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	72
3.3.1. Situación actual del proceso de producción de mermelada de tuna en el Empresa Vita	
3.3.2. Línea de proceso de la elaboración de mermelada de tuna .....	74
3.4. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria .....	82

3.5.	Análisis de Costo/Beneficio del proyecto. ....	83
3.5.1.	Costo de construcción .....	83
3.5.2.	Costos del operador.....	84
3.6.	Cronograma del proyecto .....	85
	CONCLUSIONES .....	86
	RECOMENDACIONES .....	87
	BIBLIOGRAFÍA .....	88
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b> Metodología Utilizada .....	6
<b>Figura 2-1</b> Diagrama de un evaporador.....	21
<b>Figura 3-1</b> Diagrama simplificado de un evaporador de simple efecto.....	22
<b>Figura 1-3</b> Ubicación geográfica del Cantón Guano .....	26
<b>Figura 2-3</b> Ubicación de la empresa Vita Tuna .....	27
<b>Figura 3-3</b> Diagrama general de entradas y salidas del proceso de evaporación .....	32
<b>Figura 4-3</b> Diseño del evaporador de simple efecto .....	47
<b>Figura 5-3</b> Tipo de flujo: A) Flujo Axial y B) Flujo Radial. ....	50
<b>Figura 6-3</b> Direcciones de las velocidades que actúan sobre el rodete. ....	50
<b>Figura 7-3</b> Agitador tipo paletas planas.....	53
<b>Figura 8-3</b> Intercambiador de serpentín en espiral .....	63
<b>Figura 9-3</b> Evaporador con serpentín horizontal .....	64
<b>Figura 10-3</b> Altura del serpentín .....	64
<b>Figura 11-3</b> Diagrama de flujo de la elaboración de mermelada de tuna.....	73
<b>Figura 12-3</b> Selección de materia prima.....	74
<b>Figura 13-3</b> Pesado de la pulpa de tuna.....	75
<b>Figura 14-3</b> Pulpeado de la tuna.....	76
<b>Figura 15-3</b> Cocción de la pulpa de tuna .....	77
<b>Figura 16-3</b> Adición de ácido cítrico.....	77
<b>Figura 17-3</b> Prueba de la gota en el vaso de agua.....	79
<b>Figura 18-3</b> Prueba del refractómetro.....	80
<b>Figura 19-3</b> Adición de Sorbato de Potasio.....	81

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-3</b> Cálculo de la densidad de la pulpa de tuna .....	29
<b>Ecuación 2-3</b> Cálculo de la masa de alimentación (Padilla, 2013, p. 106).....	30
<b>Ecuación 3-3</b> Cálculo de la corriente de alimentación (Padilla, 2013, p. 106).....	30
<b>Ecuación 4-3</b> Cálculo de la corriente del concentrado (Padilla, 2013, p. 106).....	31
<b>Ecuación 5-3</b> Balance de masa (Geankoplis, 1998, p. 553).....	32
<b>Ecuación 6-3</b> Balance de soluto (Geankoplis, 1998, p. 553) .....	33
<b>Ecuación 7-3</b> Cálculo de las fracciones molares en la alimentación (Basantes, et al, 2010, p. 46) .....	33
<b>Ecuación 8-3</b> Cálculo de las fracciones molares en el concentrado (Geankoplis, 1998, p. 553).....	35
<b>Ecuación 9-3</b> Cálculo del calor latente (Geankoplis, 1998, p. 553).....	36
<b>Ecuación 10-3</b> Cálculo de la capacidad calorífica del calorímetro. (Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio de Bioingeniería) .....	37
<b>Ecuación 11-3</b> Cálculo de la capacidad calorífica de la pulpa de la tuna.....	38
<b>Ecuación 12-3</b> Cálculo de entalpía de alimentación. (Diego, J. 2008).....	39
<b>Ecuación 13-3</b> Cálculo de la capacidad calorífica de la mermelada de tuna .....	40
<b>Ecuación 14-3</b> Cálculo de la entalpía del concentrado. (Diego, J. 2008).....	41
<b>Ecuación 15-3</b> Cálculo del flujo de vapor de agua (Geankoplis, 1998, p. 553) .....	41
<b>Ecuación 16-3</b> Cálculo del flujo de calor (Geankoplis, 1998, p. 553) .....	42
<b>Ecuación 17-3</b> Cálculo del área de transferencia de calor (Padilla, 2013, p. 110) .....	43
<b>Ecuación 18-3</b> Cálculo del gradiente de temperatura (Padilla, 2013, p. 110) .....	43
<b>Ecuación 19-3</b> Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (Geankoplis, 1998, p. 553).....	44
<b>Ecuación 20-3</b> Cálculo del rendimiento de evaporación (Padilla, 2013, p. 113).....	45
<b>Ecuación 21-3</b> Cálculo del volumen de diseño (Bellera et al, 2010) .....	47
<b>Ecuación 22-3</b> Cálculo del volumen del tanque de alimentación (Erazo y Lata, 2012, p. 41) ...	48
<b>Ecuación 23-3</b> Cálculo del diámetro interno del tanque (Bellera, et al., 2010, p. 11) .....	48
<b>Ecuación 24-3</b> Cálculo de la altura del líquido (Coker, 2001).....	54
<b>Ecuación 25-3</b> Cálculo de la longitud del brazo del agitador (Benavides, 2014, p. 52).....	55
<b>Ecuación 26-3</b> Cálculo del diámetro del rodete (Coker, 2001).....	55
<b>Ecuación 27-3</b> Cálculo de la distancia entre el fondo del tanque y la paleta. (Castillo, 2013, p. 30).....	56
<b>Ecuación 28-3</b> Cálculo de la altura de la paleta (Galarza, 2016, p. 2) .....	56
<b>Ecuación 29-3</b> Cálculo del ancho de la paleta (Galarza, 2016, p. 2).....	57
<b>Ecuación 30-3</b> Cálculo del ancho de la placa. (Castillo. 2013. P.30).....	58
<b>Ecuación 31-3</b> Cálculo del espacio entre placa y tanque de alimentación (Castillo. 2013. P.30) .....	58
<b>Ecuación 32-3</b> Cálculo del número de Reynolds (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 258).....	58
<b>Ecuación 33-3</b> Cálculo del consumo de potencia. (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 256) ....	60
<b>Ecuación 34-3</b> Cálculo de la velocidad real en el extremo de las palas del rodete (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 256).....	60
<b>Ecuación 35-3</b> Cálculo de la potencia del motor (Geankoplis, 1998, p. 262) .....	61
<b>Ecuación 36-3</b> Cálculo de la energía consumida (Energieleveranciers.nl. 2014).....	62
<b>Ecuación 37-3</b> Cálculo de la altura del serpentín (Padilla, 2013, p. 117).....	65
<b>Ecuación 38-3</b> Cálculo del diámetro interno del serpentín (Padilla, 2013, p. 118) .....	65
<b>Ecuación 39-3</b> Cálculo del perímetro del tubo .....	66

<b>Ecuación 40-3</b> Cálculo de la longitud del serpentín .....	66
<b>Ecuación 41-1</b> Cálculo del diámetro medio de la hélice (Arboleda, 2003, p. 51) .....	67
<b>Ecuación 42-3</b> Cálculo del radio medio del serpentín (Arboleda, 2003, p. 51).....	67
<b>Ecuación 43-3</b> Cálculo del espacio entre cada vuelta del serpentín (Arboleda, 2003, p. 51) .....	68
<b>Ecuación 44-3</b> Cálculo del número de vueltas en el serpentín (Arboleda, 2003, p. 51) .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b> Variables independientes de diseño del evaporador .....	4
<b>Tabla 2-1</b> Variables dependientes de diseño.....	4
<b>Tabla 3-1</b> Caracterización físico-química de la pulpa.....	8
<b>Tabla 4-1</b> Determinación del pH .....	9
<b>Tabla 5-1</b> Determinación de °Bx. ....	10
<b>Tabla 6-1</b> Determinación de la Temperatura. ....	11
<b>Tabla 7-1</b> Determinación de la Densidad .....	12
<b>Tabla 8-1</b> Elaboración de mermelada de tuna.....	13
<b>Tabla 9-1</b> Datos experimentales de las cantidades a utilizar en la simulación del proceso .....	15
<b>Tabla 10-1</b> Datos experimentales para la elaboración de mermelada de tuna .....	15
<b>Tabla 11-1</b> Condiciones para la evaporación en la ciudad de Riobamba .....	16
<b>Tabla 12-1</b> Datos adicionales para el proceso de evaporación.....	16
<b>Tabla 13-1</b> Rango de valores de características físicas de diversas variedades.....	17
<b>Tabla 14-1</b> Valor nutritivo de 100 g de porción comestible de la tuna .....	18
<b>Tabla 15-1</b> Composición porcentual de la tuna .....	18
<b>Tabla 1-3</b> Resultados del agua en el calorímetro .....	37
<b>Tabla 2-3</b> Resultados del líquido problema (tuna) en el calorímetro .....	37
<b>Tabla 3-3</b> Resultados del líquido problema (mermelada) en el calorímetro .....	40
<b>Tabla 4-3</b> Balance global de masa y energía .....	46
<b>Tabla 5-3</b> Tipo de agitador de acuerdo a su viscosidad .....	51
<b>Tabla 6-3</b> Características del agitador tipo ancla.....	52
<b>Tabla 7-3</b> Características del agitador tipo paletas .....	52
<b>Tabla 8-3</b> Semejanzas geométricas impulsor tipo palas planas .....	54
<b>Tabla 9-3</b> Dimensionamiento de la cámara de ebullición .....	69
<b>Tabla 10-3</b> Dimensionamiento del agitador tipo palas o paletas.....	70
<b>Tabla 11-3</b> Dimensionamiento del intercambiador de calor tipo serpentín.....	70
<b>Tabla 12-3</b> Adición de ácido cítrico de acuerdo al pH de la pulpa. ....	78
<b>Tabla 13-3</b> Relación entre temperatura de ebullición, altura sobre el nivel del mar y concentración en ° Brix .....	80
<b>Tabla 14-3</b> Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria. ....	82
<b>Tabla 15-3</b> Costo del equipo para la elaboración de mermelada de tuna .....	83
<b>Tabla 16-3</b> Costo de la energía por motor utilizado en el sistema de agitación .....	83
<b>Tabla 17-3</b> Costos del operador.....	84
<b>Tabla 18-3</b> Costos totales de operación .....	84

## RESUMEN

Se diseñó un evaporador de simple efecto para la elaboración de mermelada de tuna para la empresa Vita Tuna, simulando el proceso de evaporación a nivel experimental y a nivel de laboratorio; en el segundo caso se utilizó un evaporador de simple efecto que está ubicado en el laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH, determinando ciertos parámetros que serán la base del dimensionamiento entre ellos tenemos: las concentraciones reales de materia prima que se utilizó para la elaboración del producto, la capacidad teórica y real del evaporador, las temperaturas que se deben controlar y la concentración a la que debe llegar; en la simulación del proceso se obtuvo los siguientes datos experimentales: Temperaturas (alimentación: 19°C, concentrado: 89°C, Evaporado: 92°C y de Vaporización: 96°C), Volumen (inicial: 7,871 l y final: 4,77 l) y el tiempo necesario para la evaporación fue de 4 horas concluyendo así la validación del evaporador de simple efecto mediante ensayos de laboratorio dando como resultado los siguientes datos concentración final de la mermelada 71,52 ° Brix, viscosidad final: 0,5396 Kg/m\*s y un pH de 3,7 dichos parámetros están dentro de la norma NTE INEN 2825 y serán controladas durante el proceso, también se realizaron balances de masa y energía con el fin de establecer los flujos de entrada y salida, cálculos de calor en el evaporador, vapor requerido en la elaboración de mermelada de tuna, finalmente con estos datos y balances se diseñó el evaporador de simple efecto que consta de un tanque de almacenamiento de capacidad de 0,120 m<sup>3</sup>, un agitador tipo palas planas con un accionador mecánico que funciona con un motor de 0,5 Hp y un intercambiador de calor tipo serpentín que evita las pérdidas sensibles de transferencia de calor, una vez complementada la investigación se recomienda a la empresa Vita Tuna tomar las medidas necesarias al momento de utilizar el equipo.

**Palabras claves:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO> <TEMPERATURA> <CONCENTRACIÓN DE PULPA> <DIMENSIONAMIENTO DEL EVAPORADOR> <AGITADOR> <SERPENTÍN> <INTERCAMBIADOR DE CALOR>

## ABSTRACT

A single-effect evaporator was designed for making tuna marmalade for Vita Tuna Company. To simulate the evaporation process at laboratory and experimental level (in the case of the laboratory level), it was necessary to use a single-effect evaporator which is located at the Industrial processes laboratory of ESPOCH; in this way it was possible to determine certain parameters that will be used as the basis for the dimensioning. These parameters are: raw material real concentrations that were used for making the product, the theoretical and real capacity of the evaporator, the temperatures that must be controlled and the concentration the product has to reach. During the simulation process the following experimental data were obtained: Temperatures (feeding: 19°C, concentration: 89°C; evaporation: 92°C and steaming: 96°C), Volume (initial: 7,871 l and final: 4,77 l) and the necessary time for the evaporation was four hours. This included the validation of the single-effect evaporator through laboratory tests which resulted in the following data: marmalade final concentration 72,52 °Bx, final viscosity: 0,5396 Kg/m\*s and a pH of 3,7, these parameters are under the NTE INEN 2825 norm and will be controlled during their process. In addition, mass and energy balances were carried out in order to establish the in and outflow, heat calculation in the evaporator, required steam for the elaboration of tuna marmalade. Finally, with these data and balances, it was possible to construct the single-effect evaporator that contains a storage tank with a capacity of 0,120 m<sup>3</sup> a flat-blade mixer with a mechanic actuator that works with a 0,5 Hp motor and a serpentine type heat interchanger which avoids sensitive heat transfer losses. Once the research was complemented, it is recommended for Vita Tuna Company to adopt the necessary measures when using the equipment.

**Key Words:** <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <SINGLE-EFFECT EVAPORATOR>, <TEMPERATURE>, <CONCENTRATION>, <PULP CONCENTRATION>, <EVAPORATOR DIMENSIONING>, <SERPENTINE>, <HEAT EXCHANGER>

## CAPITULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1. Identificación del problema

Vita Tuna es una asociación de productores agrícolas guaneños que se encargan de la producción y comercialización de los productos derivados de la tuna entre ellos tenemos la mermelada de tuna (*Opuntia ficus-indica*), los productos que se elaboran en Vita Tuna son de calidad con alto valor nutricional y suplementos medicinales; cuenta con mano de obra capacitada satisfaciendo así las necesidades de los consumidores y mejorando la rentabilidad de los asociados a la empresa. (Castillo, 2014)

De acuerdo a la demanda que posee la mermelada de tuna, la empresa produce un día a la semana (jueves) 20 envases de mermelada cada uno de 250 gr., este proceso se lo realiza en el transcurso de 5 horas, sin tomar en cuenta el tiempo de enfriado y envasado de la mermelada. (Adriano, 2014)

Considerando que la capacidad actual de la mermelada es de 20 envases cada jueves se puede observar que la demanda es insatisfecha, esto se debe a que la empresa Vita Tuna no cuenta con el equipo utilizado para la elaboración de mermelada de tuna y el tiempo de producción es mayor porque se lo realiza de forma manual en unas pailas de acero inoxidable incrementando así actividades extras que se pueden evitar si se utiliza un evaporador adecuado para el proceso, todos estos inconvenientes limitan la productividad, al momento de crear la empresa no se tomaron las medidas adecuadas entre ellas tenemos el diseño ingenieril de procesos lo que provoca una baja rentabilidad de la empresa y elevados costos de producción. (Ayala, 2014)

#### 1.2. Justificación del proyecto

Debido a la necesidad de mejorar los productos en las industrias alimenticias, estas industrias necesitan métodos y procesos adecuados para mejorar los productos indicados, los mismos que deben realizarse debido a la tecnología, la demanda y otros aspectos importantes. (Meyers, 2012)

La falta de un equipo adecuado para la producción de mermelada de tuna en la empresa Vita Tuna y el notable crecimiento de la producción de mermelada en el mercado presenta un problema para

nuestra pequeña industria, la producción de mermelada de tuna debe ser parte de una innovación tecnológica, un control en los costos de producción, transformación y comercialización. (Vizuete, 2014)

Debido a este problema Vita Tuna requiere del diseño de un evaporador de simple efecto, con lo cual se obtendrá mermelada de tuna para la comercialización en mercados nacionales, que beneficie al consumidor final recibiendo productos de alta calidad basados en las normativas NTE INEN 2825, a precios cómodos para los consumidores, mejorando así su calidad de vida.

Con los conocimientos obtenidos en la cátedra de operaciones unitarias se puede realizar el diseño del evaporador de simple efecto, teniendo en cuenta ciertos factores como: el tamaño, el modo de operación, las materias primas y los accesorios logrando de esta manera satisfacer la demanda de la población. (Gavilánez, 2014)

Al culminar el trabajo se espera reducir los tiempos de producción al elaborar la mermelada de tuna e incrementar las ganancias de los agremiados a la empresa, y que la mermelada de tuna que produzca Vita Tuna sea de calidad y que la empresa vaya mejorando día con día. Que la empresa tenga la facilidad de producir la mermelada todos los días y no solo un día a la semana dando a conocer sus productos y los beneficios que estos producen. (Vizuete, 2014)

Si no se realiza la construcción del evaporador la producción de la mermelada no mejorara en costos ni producción, por lo tanto la situación económica de los agremiados no será beneficiada.

### **1.3. Línea de base del Proyecto**

#### ***1.3.1. Antecedentes***

La empresa “**Vita Tuna**” se dedica al procesamiento y comercialización de los productos derivados de la tuna y suplementos medicinales de forma artesanal e industrial, para el mercado local, provincial y nacional. Está conformada por 62 socios según los estatutos de la asociación, de los cuales son: 36 mujeres y 26 hombres, pertenecen a 12 comunidades de la parroquia La Matriz, los mismos son los siguientes: Punagal San Pedro, Chingazo Alto, Chingazo Bajo, San José de Chacón, Santa Rosa de Guano, San Vicente, Carrera Ambato, Alacao, Ela, San Roque y San José de Juntas. (Bonilla, 2016).

Al poseer tierras áridas obligó a los agremiados a asociarse y crear el proyecto del cultivo de tuna, debido a que es una de las pocas plantas que se cultivan en este tipo de tierra y resiste a las constantes sequías. Los agremiados al inicio cultivaban la tuna y se dedicaban a vender solo la

fruta en sí, pero debido a la información existente en los diversos medios de comunicación les permitió conocer los diversos beneficios que ofrece no solo la fruta sino toda la planta en diversos productos, las hojas se las utiliza en ensaladas debido a que contiene propiedades medicinales, su cosecha dura de 6 a 7 meses, entre Diciembre y Junio. (Bonilla, 2016).

La corporación, se fortaleció a través de un proyecto financiado por el ayuntamiento de Madrid y por el GADM del Cantón Guano, denominado “Establecimiento, producción y comercialización del nopal (tuna) en el Cantón Guano”.

En la actualidad la empresa Vita Tuna ofrece diversos productos en el mercado como son: el tónico, mermelada, shampoo, vino, entre otras dando a conocer sus propiedades y beneficios a nivel nacional.

### ***1.3.2. Reconocimiento del lugar de investigación.***

Para la realización del presente proyecto técnico se realizó un recorrido previo por la empresa Vita Tuna donde se realiza la mermelada de tuna y se pudo corroborar que dicha empresa no cuenta con un equipo adecuado (evaporador de simple efecto) para la elaboración de su producto por lo que dificulta su procesamiento.

### ***1.3.3. Metodología***

#### **Variables.**

Las variables son de gran importancia al momento de realizar un proyecto, por lo que son considerados como enunciados del proceso y del diseño del equipo.

**Tabla 1-1** Variables independientes de diseño del evaporador

<b>DE PROCESO</b>	<b>DEL DISEÑO DEL EQUIPO</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Presión del vapor.</li><li>• Temperatura de ebullición del alimento.</li><li>• Volumen de alimentación.</li><li>• Flujo másico de alimentación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diámetro del tanque.</li><li>• Materiales a utilizar (acero inoxidable).</li><li>• Diámetro del serpentín.</li></ul>

Fuente: PADILLA, 2013. Universidad de Guatemala, p. 69

Realizado por: TIERRA, Betty, 2018

**Tabla 2-1** Variables dependientes de diseño

<b>DE PROCESO</b>	<b>DEL DISEÑO DEL EQUIPO</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eficiencia del proceso.</li><li>• Viscosidad.</li><li>• Calor latente de vaporización.</li><li>• Volumen del tanque.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Potencia del motor.</li><li>• Área de transferencia de calor.</li><li>• Costos de material.</li><li>• Tipo de agitador.</li><li>• Altura del tanque.</li><li>• Altura del serpentín.</li></ul>

Fuente: PADILLA, 2013. Universidad de Guatemala, p. 69

Realizado por: TIERRA, Betty, 2018

#### **1.3.4. Desarrollo metodológico.**

Para lograr dimensionar adecuadamente el evaporador de simple efecto para la elaboración de mermelada de tuna para la empresa Vita Tuna se utilizó la siguiente metodología.

- Fase I:** Recopilar información necesaria de ciertas fuentes bibliográficas y proyectos de investigación acerca del equipo (evaporador de simple efecto), que fueron utilizados en otras universidades, complementar dicha información en libros acerca de procesos de evaporación. (McCabe et al, 1991.)

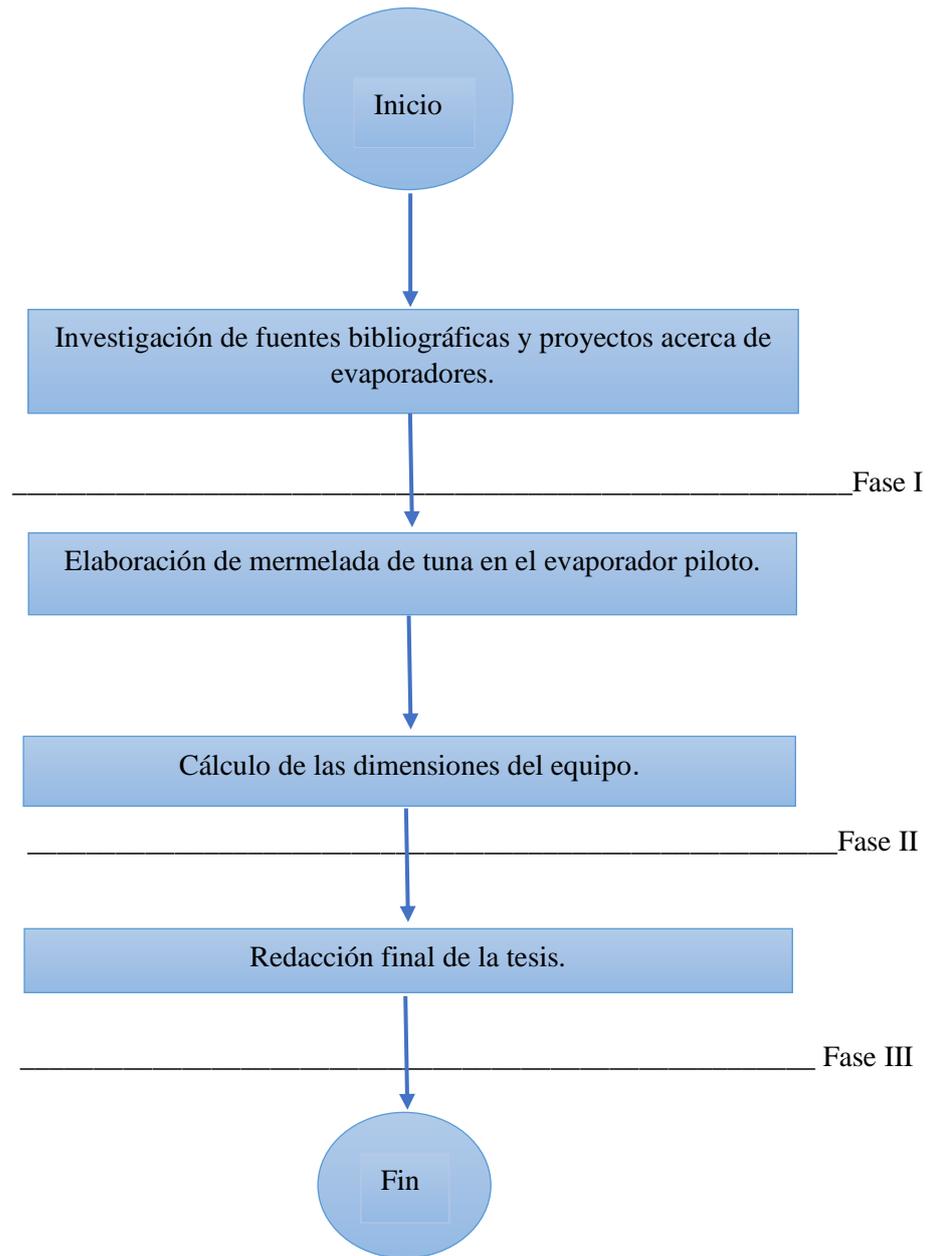
Debido a que el evaporador necesita soportar elevadas temperaturas el material más adecuado para la construcción es el acero inoxidable AISI 304, debido a que también es resistente a la corrosión. (Escobar y Santillán, 2011).

Una vez obtenido todos los datos necesarios realizamos los cálculos correspondientes, para dimensionar correctamente el evaporador de simple efecto.

- b) **Fase II:** Realizar mermelada de tuna en un evaporador piloto determinando así las variables que serán la base de los cálculos para el dimensionamiento del evaporador de simple efecto.

El evaporador piloto utilizado para las pruebas experimentales está ubicado en el Laboratorio de Procesos Industriales, en la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- c) **Fase III:** Con todos los datos obtenidos en las prácticas experimentales se procede a la redacción final de la tesis.



**Figura 1-1** Metodología Utilizada

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

### ***1.3.5. Tipo de estudio***

El presente proyecto cuenta con un estudio analítico descriptivo ya que se realizó a nivel de laboratorio permitiendo obtener datos experimentales como: el tiempo, la concentración, la temperatura, la presión, que son necesarios para realizar el dimensionamiento del equipo (Evaporador de simple efecto), variables que son controladas durante el proceso industrial de evaporación y ecuaciones de balance de masa y energía. (Gavilánez y Hernández, 2012).

### ***1.3.6. Parte experimental***

#### ***1.3.6.1. Métodos.***

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se realiza estudios tanto teórico como experimental para obtener una mejor metodología, se toma como referencia tres métodos: Método Inductivo, Método Deductivo y Método Experimental, para recopilar información necesaria y cumplir con nuestros objetivos.

#### **Método Inductivo**

Involucra los procedimientos que van desde lo más simple a lo más complejo, es decir va de lo particular a lo general, usando como base los resultados de otros diseños utilizados en otras universidades con la finalidad de establecer una relación general.

Para realizar este método partimos de la pulpa de tuna que es la alimentación del evaporador de simple efecto, tomando en cuenta ciertos parámetros como: temperatura, pH, concentración, etc., y las condiciones en que opera el equipo, de esta manera se logra un adecuado dimensionamiento, elección adecuada de los accesorios necesarios y el material para el diseño.

#### **Método Deductivo.**

A lo largo del desarrollo de este proyecto se utiliza herramientas de Cálculos Básicos, Operaciones Unitarias, Control de Procesos, Química de Alimentos, para el diseño del evaporador de simple efecto.

Se parte de fundamentos y principios del proceso de evaporación y del diseño de un evaporador de simple efecto construido a nivel industrial y de laboratorio; con el propósito de indicar las particularidades en la industria así como también en la obtención de productos concentrados en este caso la mermelada de tuna. (Gavilánez y Hernández, 2012).

### **Método Experimental.**

Este método se realiza a nivel de laboratorio estudiando el proceso de evaporación y analizando datos experimentales de la materia prima que en este caso es la pulpa de tuna y se verificará que la mermelada de tuna cumpla con la Norma de Calidad establecida en la norma NTE INEN 2825.

Estudia el proceso de evaporación y se analiza los parámetros físico-químicos para medir las propiedades básicas de la pulpa y del producto final como: el pH, densidad, °Bx, entre otras.

#### *1.3.6.2. Técnicas.*

Se define como el conjunto de procedimientos o recursos con los que se facilita el desarrollo del diseño, permitiendo la recopilación de toda la información necesaria.

### **Caracterización de la pulpa de tuna**

**Tabla 3-1** Caracterización físico-química de la pulpa

<b>pH</b>	<b>°Bx</b>	<b>Densidad (Kg/l)</b>	<b>Viscosidad (mPa*s)</b>
6,54	12,17	1,00	107,6

**Fuente:** Laboratorio de Investigación de la ESPOCH

**Realizado por:** TIERRA, Betty.2018

**Tabla 4-1** Determinación del pH

CONCEPTO	EQUIPO/ MATERIALES/ REACTIVOS	SUSTANCIA	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El pH es una característica propia de cada producto. Es un parámetro que nos indica la alcalinidad o la acidez de la pulpa, representada por una escala numérica que va desde el 1 hasta el 14.</p> <p>Si la pulpa es ácida su pH tiene un valor menor a 7, si es básica su pH es mayor a 7 y si el pH es igual a 7 la pulpa es neutra.</p>	<p><b>EQUIPO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH-metro digital</li> </ul> <p><b>MATERIALES.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación de 100 ml.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de pulpa de tuna.</li> <li>• Mermelada de tuna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que el pH-metro este calibrado.</li> <li>• Colocar 100 ml de la muestra en el vaso de precipitación.</li> <li>• Colocar el electrodo en el interior del vaso.</li> <li>• Mover el electrodo para que la mezcla se homogenice.</li> <li>• Leer el valor en la pantalla del equipo</li> </ul>	<p>Lectura directa.</p>

**Fuente:** BRITO, H. Técnica Guía Laboratorio Procesos Industriales. ESPOCH 2017.

**Realizado por:** TIERRA, Betty. 2018

**Tabla 5-1** Determinación de °Bx.

CONCEPTO	EQUIPOS/ MATERIALES/ REACTIVOS	SUSTANCIAS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Los grados Brix miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido.</p>	<p><b>EQUIPO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Refractómetro.</li> </ul> <p><b>MATERIALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulpa de tuna.</li> <li>• Mermelada de tuna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con la ayuda de una pipeta colocar una gota de la pulpa de tuna en el prisma del refractómetro, en el caso de la mermelada de tuna colocar una gota con la ayuda de una espátula.</li> <li>• Se espera que la temperatura alcance los 20 °C y se toma la lectura de la medición.</li> </ul>	<p>Lectura directa.</p>

Fuente: BRITO, H. Técnica Guía Laboratorio Procesos Industriales. ESPOCH 2017.

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

**Tabla 6-1** Determinación de la Temperatura.

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES/ EQUIPOS/ REACTIVOS</b>	<b>SUSTANCIA</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULOS</b>
<p>Es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de frío o calor que se siente en contacto con ella.</p>	<p><b>MATERIALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reverbero</li> <li>• Olla</li> <li>• Termómetro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulpa de tuna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar la pulpa de tuna en una olla y medir su temperatura inicial.</li> <li>• Hervir la pulpa de tuna medir la temperatura del concentrado, del evaporado y del proceso de vaporización.</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

**Tabla 7-1** Determinación de la Densidad

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES/ EQUIPOS/ REACTIVOS</b>	<b>SUSTANCIA</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULOS</b>
<p>Se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.</p> <p>La densidad de un cuerpo se relaciona directamente con la flotabilidad, si la densidad es menor este flotara sobre otro cuerpo.</p> <p>La densidad de un cuerpo es 1 gr/cm<sup>3</sup>.</p>	<p><b>EQUIPOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> </ul> <p><b>MATERIALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 10 ml.</li> <li>• Probeta de 50 ml.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulpa de tuna.</li> <li>• Mermelada de tuna.</li> </ul>	<p><b>PULPA DE TUNA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar la probeta completamente seca.</li> <li>• Colocar la pulpa en la probeta y medir el volumen.</li> <li>• Pesar la probeta con el volumen de la pulpa.</li> <li>• Determinar la densidad de la pulpa de tuna.</li> </ul> <p><b>MERMELADA DE TUNA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar la probeta completamente seca.</li> <li>• Colocar la mermelada en la probeta y medir el volumen.</li> <li>• Pesar la probeta con el volumen de la mermelada</li> <li>• Determinar la densidad de la mermelada de tuna.</li> </ul>	<p><b>PULPA DE LA TUNA/ MERMELADA</b></p> $\delta = \frac{m}{V}$ <p>Dónde:</p> <p><math>\delta</math>: densidad de la pulpa/mermelada Kg/L</p> <p><math>m</math>: masa de la pulpa/mermelada (Kg)</p> <p><math>V</math>: Volumen de la pulpa/mermelada (L)</p>

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

**Tabla 8-1** Elaboración de mermelada de tuna

CONCEPTO	EQUIPOS/ MATERIALES/ REACTIVOS	SUSTANCIA	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La mermelada de tuna es una conserva de fruta natural cocida en azúcar. Brindando propiedades nutritivas</p>	<p><b>EQUIPOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaporador</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul> <p><b>MATERIALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación.</li> <li>• Probeta.</li> </ul> <p><b>REACTIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pectina (1%)</li> <li>• Ácido cítrico</li> <li>• Sorbato de potasio (0,1%)</li> <li>• Azúcar (1 : 0,5)</li> </ul>	<p>Pulpa de tuna</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción de la materia prima.</li> <li>• <b>Lavado:</b> con agua potable, sirve para eliminar las partículas extrañas adheridas en la fruta.</li> <li>• <b>Pelado:</b> se utiliza cuchillos de acero inoxidable o peladores mecánicas.</li> <li>• <b>Pesado:</b> se pesa la fruta que se va a utilizar para la elaboración de la mermelada.</li> <li>• <b>Acondicionamiento de la pulpa:</b> la fruta se corta en pedazos pequeños de 1cm * 1cm. Se licúa toda la fruta.</li> <li>• <b>Cocción:</b> la fruta se calienta en un evaporador de simple efecto de acero inoxidable hasta una temperatura de 60°C donde se añade el 10% del azúcar y la cantidad de ácido cítrico que necesitamos en el proceso.</li> <li>• Al alcanzar los 80 °C agregar 30% más del azúcar</li> <li>• Cuando se alcanza los 85 °C agregar el 30% más del azúcar.</li> <li>• Cuando la temperatura alcance los 90 °C, agregar el 30% del azúcar restante, el Sorbato</li> </ul>	<p><b>BALANCE DE MASA</b></p> $F = L + V$ $V = F - L$ <p><b>BALANCE DE ENERGÍA</b></p> $F + W = V + L + C + Q_p$ $W = \frac{VH_v + Lh_l - Fh_f}{\lambda_w}$ <p><b>Dónde:</b></p> <p>F: Alimentación (Kg). L: Concentrado (Kg). V: Evaporado (Kg). W: Vapor (Kg). Q<sub>p</sub>: Flujo de calor (KJ/Kg). H<sub>i</sub>, h<sub>i</sub>: Entalpía de vapor y condensado (KJ/Kg).</p>

			<p>de potasio y la cantidad de pectina necesaria para el proceso.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Por último cuando la mezcla alcance los 65 °Bx dejar hervir hasta obtener un concentrado entre &gt;65 °Bx de la mezcla inicial.</li> <li>• <b>Envasado:</b> se realiza entre (70 – 85) °C, en envases previamente esterilizados por acción de vapor de agua sobrecalentado o agua en ebullición. Se deja un espacio de 1 cm desde el borde del frasco.</li> <li>• <b>Enfriado:</b> a temperatura ambiente.</li> </ul>	
--	--	--	--	--

**Fuente:** BRITO, H. Técnica Guía Laboratorio Procesos Industriales. ESPOCH 2017

**Realizado por:** TIERRA, Betty. 2018

### 1.3.6.3. Datos Experimentales

**Tabla 9-1** Datos experimentales de las cantidades a utilizar en la simulación del proceso

$P_{fruta}$ (Kg)	Azúcar (Kg)	Pectina (Kg)	Ácido Cítrico (Kg)	Sorbato de K (Kg)	T (h)
7,871	3,936	0,0787	0,015	0,0078	4

Realizado por: TIERRA, Betty. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2018

**Dónde:**

$P_{fruta}$ : Peso de la pulpa de tuna (Kg)

T: Tiempo de operación (h)

**Tabla 10-1** Datos experimentales para la elaboración de mermelada de tuna

$T_F$ (°C)	$T_L$ (°C)	$T_V$ (°C)	$T_W$ (°C)
19	89	92	96

Realizado por: TIERRA; Betty. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2018

**Dónde:**

$T_F$ : Temperatura de Alimentación (°C)

$T_L$ : Temperatura del Concentrado. (°C)

$T_V$ : Temperatura del Evaporado (°C)

$T_W$ : Temperatura de Vaporización. (°C)

$V_{mermelada}$ : Volumen de la mermelada (l)

#### 1.3.6.4. Datos adicionales

**Tabla 11-1** Condiciones para la evaporación en la ciudad de Riobamba

<b>P (mmHg)</b>	<b>T<sub>b</sub> H<sub>2</sub>O (°C)</b>
547,2	90,27

**Fuente:** Instituto Agro meteorológico, ESPOCH. 2017

**Realizado por:** TIERRA, Betty. 2018

**Dónde:**

**P:** presión atmosférica en la ciudad de Riobamba (mmHg)

**T<sub>b</sub> H<sub>2</sub>O:** Temperatura de ebullición del agua en la ciudad de Riobamba (°C)

**Tabla 12-1** Datos adicionales para el proceso de evaporación

<b>h<sub>F</sub> (Kcal/Kg)</b>	<b>h<sub>L</sub> (Kcal/Kg)</b>	<b>H<sub>V</sub> (Kcal/Kg)</b>	<b>H<sub>W</sub> (Kcal/Kg)</b>	<b>h<sub>w</sub> (Kcal/Kg)</b>	<b>N (rpm)</b>
812,16	89,02	1419,95	673,64	96,06	90

**Fuente:** Tabla de propiedades termodinámicas del agua. Propiedades del agua saturada (líquido-vapor). Tabla de temperaturas. Ver Anexo II

**Dónde:**

**h<sub>F</sub>:** Entalpía de alimentación a la temperatura T<sub>F</sub>, (Kcal/Kg)

**h<sub>L</sub>:** Entalpía del concentrado a la temperatura T<sub>L</sub>, (Kcal/Kg)

**H<sub>V</sub>:** Entalpía del evaporado a una temperatura T<sub>V</sub>, (Kcal/Kg)

**H<sub>W</sub>:** Entalpía del vapor en la cámara de calefacción a la temperatura T<sub>W</sub>, (Kcal/Kg).

**h<sub>w</sub>:** Entalpía del condensado a la temperatura T<sub>w</sub>, (Kcal/Kg).

**N:** Velocidad rotacional (rpm)

#### 1.3.7. Marco conceptual

##### 1.3.7.1. Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

El origen de la tuna proviene de México, su fruto se desarrolla en tierras áridas y semiáridas, desde épocas prehispánicas es considerado como un fruto para el consumo humano, en la preparación de bebidas, usos medicinales, etc. (Bravo, et al, 1991)

Son frutos dulces, jugosos, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpura, con mucha pulpa y cáscara de grosor variable pero generalmente delgada (Scheinvar, 1999).

### **Características físicas**

La tuna presenta características diversas debido a la subespecie a la que pertenece, se realizó un estudio de acuerdo a la morfología existente del fruto y se obtuvo las siguientes características:

**Tabla 13-1** Rango de valores de características físicas de diversas variedades.

<b>Características</b>	<b>Rango de valores</b>
Peso Total	40 – 190 g.
Peso Cáscara	14 – 100 g.
Peso pulpa	45 – 130 g.
Número de semillas	65 -480
Diámetro de semillas	0,1 – 0,5 cm.
Longitud del fruto	6,0 – 10,0 cm.
Diámetro del fruto	3,5 – 6,5 cm.
Sólidos solubles pulpa	10,0 – 17,0 °Bx

Fuente: Reyes, et al, 2004

Otros autores establecen que la cáscara y la pulpa representan el 40 y el 50% cada una y las semillas representan el 5 y 10%. (Villareal, et al, 1964; Paredes, 1977)

### **Composición**

En el 2006 se realizó un análisis por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos el valor nutritivo de la parte comestible de la tuna que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 14-1** Valor nutritivo de 100 g de porción comestible de la tuna

<b>Nutriente</b>	<b>Valor</b>
Agua	87,55 g.
Energía	41,00 Kcal.
Proteína	0,73 g.
Grasa total	0,51 g.
Carbohidratos	9,57 g.
Fibra dietética total	3,60 g.
Cenizas	1,64 g.
<b>MINERALES</b>	
Calcio	56,00 mg.
Hierro	0,30 mg.
Magnesio	85,00 mg.
Fósforo	24,00 mg.
Potasio	220,00 mg.
Sodio	5,00 mg.
Zinc	0,12 mg.
Cobre	0,08 mg.
Selenio	0,60 mcg.
<b>VITAMINAS</b>	
Vit. C. Ac. Ascórbico	14,000 mg.
Tiamina	0,014 mg.
Riboflavina	0,060 mg.
Niacina	0,460 mg.
Vit. B6	0,060 mg.
Folato Total	6,000 mcg.
Ácido Fólico	0,000 mcg.
Vit. B12	0,000 mcg.
Vit. A	43,000 IU
Retinol	0,000 mcg.

Fuente: USDA, 2006

Para este análisis solo se consideró la parte comestible, sin tomar en cuenta la cáscara ni la semilla.

En la siguiente tabla se muestra los valores nutricionales del fruto.

**Tabla 15-1** Composición porcentual de la tuna

<b>Nutriente</b>	<b>Valor Porcentual</b>			
	<b>Tuna Entera</b>	<b>Cáscara</b>	<b>Pulpa</b>	<b>Semilla</b>
<b>Agua (%)</b>	85,30	88,54	<b>87,30</b>	96,30
<b>Proteína (%)</b>	0,82	0,43	0,50	9,3
<b>Grasa Total (%)</b>	0,58	0,22	0,50	13,12
<b>Carbohidratos (%)</b>	8,78	1,41	0,10	50,3
<b>Ceniza (%)</b>	0,99	1,60	0,10	1,60

Fuente: Bravo, y otros, 1991, p. 10

Realizado por: TIERRA, Betty. 2017

### *1.3.7.2. Materias primas e insumos*

#### **Frutas**

Para la elaboración de mermelada las frutas deben estar maduras, pero también se las puede mezclar con frutas que estén empezando con el período de madurez, estas frutas deben estar en muy buen estado y libre de podredumbre.

#### **Azúcar**

Es de vital importancia porque al combinarse con la pectina actúa como gelificante de la mermelada. Debe colocarse la cantidad adecuada de azúcar para evitar la fermentación (poca cantidad de azúcar) y la cristalización (elevadas cantidades de azúcar). La cantidad de azúcar debe representar el 60% del peso final de la mermelada, se recomienda azúcar blanca para mantener las propiedades de color y sabor de la fruta. (Coronado e Hilario, 2001).

#### **Ácido Cítrico.**

La adición del ácido cítrico mejora el sabor de la mermelada y confiere brillo al color. Toda fruta debe poseer su acidez natural pero según la norma NTE INEN 2825 el pH de la mermelada debe llegar a un valor de 3,5 hasta 3,8. El ácido cítrico garantiza la conservación del producto (Coronado e Hilario, 2001).

#### **Pectina**

Son sustancias gelatinosas que se encuentran en las membranas, la fruta verde contiene una gran cantidad de pectina, mientras que la fruta madura contiene una menor cantidad. Se extrae fácilmente la pectina mientras más verde sea la fruta. (Coronado e Hilario, 2001).

## **Conservante**

Los conservantes más utilizados son el Sorbato de potasio y el benzoato de sodio, actúan sobre los alimentos prolongando su vida útil y previniendo que esté se deteriore, también evita el desarrollo de microorganismos entre los cuales tenemos a las levaduras y hongos. (Coronado e Hilario, 2001).

### *1.3.7.3. Mermelada*

Según (Coronado e Hilario), 2001. “Define a la mermelada como un producto de consistencia pastosa o gelatinosa, obtenida por cocción y concentración de frutas sanas, adecuadamente preparadas, con adición de edulcorante, con o sin adición de agua. La fruta debe ir entera, en trozos, tiras o partículas finas y debe estar dispersas uniformemente en todo el producto.

### *1.3.7.4. Evaporación*

El objetivo de la evaporación es concentrar una solución consistente. En la evaporación se elimina el vapor formado por ebullición de una solución líquida de la que se obtiene una solución más concentrada, en la mayoría de los casos es la eliminación del agua de una solución acuosa. (Geankoplis, 1998)

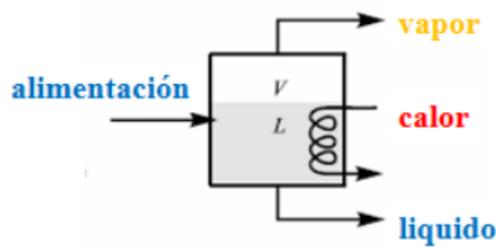
La evaporación se realiza vaporizando una parte del solvente, para producir una solución concentrada de licor pesado. En la evaporación no se intenta separar el vapor en fracciones; por lo general el producto valioso en la evaporación es el líquido concentrado mientras que el vapor se condensa. (McCabe et al, 2002).

Es un proceso industrial que es utilizado para la conservación de ciertos productos, transformándose físicamente con un transporte de masa y energía para obtener el producto final con las características necesarias. En el proceso de evaporación se elimina una parte del solvente de la solución para concentrarla.

## Evaporador

Son equipos vaporizantes que utilizan como fuente de energía un vapor latente a una temperatura mayor a la temperatura de vaporización del agua o solución acuosa para concentrar. (Pontiles).

Es utilizado para separar la fase vapor del líquido de ebullición, se da cambios de fase, adicionalmente se asocian otros fenómenos a la concentración entre ellas tenemos la formación de sólidos, la descomposición de sustancias., etc. (Gavilánez et al, 2012)



**Figura 2-1** Diagrama de un evaporador

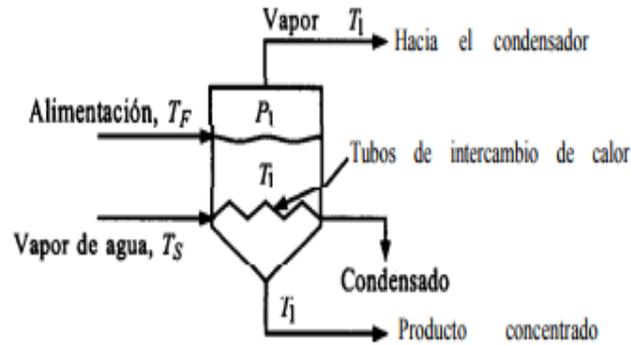
Fuente: Gavilánez et al, 2012, p. 35

## Evaporador de simple efecto

La evaporación de simple efecto se caracteriza porque el vapor procedente del líquido en ebullición pasa a un condensador para luego ser desechado, por lo tanto se utiliza de forma ineficaz el vapor.

Este tipo de evaporadores son utilizados cuando la capacidad de producción es relativamente pequeña y el costo de vapor es barato comparado con el precio del evaporador. (Geankoplis, 1998)

El vapor procedente de la ebullición se condensa y se desecha.



**Figura 3-1** Diagrama simplificado de un evaporador de simple efecto

**Fuente:** Geankoplis, C. 1998. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias p. 550

**Dónde:**

$T_F$ : Temperatura de Alimentación. ( $^{\circ}C$ )

$T_S$ : Temperatura del vapor que se condensa ( $^{\circ}C$ ).

$T_1$ : Temperatura de ebullición del líquido ( $^{\circ}C$ ).

$P_1$ : Presión del vapor de la solución.

**Efectos de las variables de proceso en la operación de evaporadores**

- **Efecto de la temperatura de alimentación:** para elevar la temperatura de alimentación a la temperatura de ebullición se consume una cuarta parte del vapor de agua. Si la alimentación entra a temperatura y presión mayor que la de ebullición se logra una vaporización adicional. (Geankoplis, 1998)
- **Efecto de la presión:** la presión debe tener un valor bajo para que la variación de temperatura aumente, pues debido a que aumenta la variación de temperatura, el área de superficie y el costo del evaporador disminuyen. (Geankoplis, 1998)
- **Efecto de la presión de vapor de agua:** al usar vapor de agua saturado a presión más alta la variación de temperatura aumenta, disminuyendo el costo y tamaño del evaporador. Sin embargo su costo es elevado, es recomendable usarla como fuente de potencia en otros equipos. (Geankoplis, 1998)

## **Economía de un evaporador de simple efecto**

Depende del número de efectos, el vapor que ingresa en el primer evaporador puede ser utilizado una o más veces, dependiendo del número de efectos con el que este diseñado.

Depende también de la temperatura de alimentación, si la alimentación ingresa a una temperatura menor que la de ebullición una parte de la entalpía de vaporización del vapor se utiliza para calentar la alimentación y solo resta una parte para la vaporización, y si la alimentación ingresa a una temperatura mayor a la de ebullición se da una vaporización adicional. (Gavilánez et al, 2012)

La economía y la capacidad de un evaporador se calculan mediante balances de masa y energía. (Gavilánez et al, 2012)

## **Coefficiente global de transferencia de calor.**

La transferencia de calor es muy importante a nivel industrial porque determinamos el calor que se transfiere de un fluido a través de una pared sólida hacia otro fluido. La temperatura no se puede medir directamente en el equipo, por eso es necesario calcular el coeficiente global de transferencia de calor para tener una idea del rendimiento del equipo. (Perry, 1996)

## **Vapor**

Es el resultado de aplicar un gradiente de temperatura al proceso de evaporación para que sufra un cambio de fase, su uso es importante debido a su bajo costo, en la industria alimenticia entra en contacto con el alimento al momento de procesarlos además brinda la energía necesaria para desarrollar ciertas operaciones unitarias que requieran vapor.

El vapor de agua entra en contacto con el alimento por eso es necesario que este vapor sea de buena calidad, libre de todo tipo de impurezas. Al utilizar un vapor de mala calidad la probabilidad de contaminar el alimento es alta, por lo mismo los productos tendrán muy mala calidad. El control de los sólidos suspendidos que quedan en el interior del equipo por la evaporación, permitirá tener un vapor de alta calidad.

## **1.4. BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS**

### ***1.4.1. Directos***

Empresa Vita Tuna y sus agremiados.

La Población Guaneña.

Los consumidores de la mermelada de tuna.

### ***1.4.2. Indirectos.***

Proveedores de la mermelada de tuna.

Consumidores nacionales de la mermelada de tuna.

## **CAPÍTULO II**

### **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1. Objetivo General**

Diseñar un evaporador de simple efecto para la elaboración de mermelada de tuna para la empresa Vita Tuna.

#### **2.2. Objetivos Específicos.**

- Simular el proceso de elaboración de mermelada de tuna a nivel de laboratorio
- Determinar las variables del proceso de fabricación de mermelada de tuna para utilizarlas en el dimensionamiento del evaporador de simple efecto.
- Realizar los balances de masa y energía para el sistema de evaporación de simple efecto.
- Determinar los costos de construcción y operación.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Localización del proyecto

Guano es uno de los cantones que conforman la Provincia de Chimborazo, conocido como “Capital Artesanal del Ecuador” ubicada al norte de la provincia de Chimborazo. Según el censo realizado en el 2014 Guano cuenta con una población de 46249 Habitantes

Está ubicada a 8 Km al norte de Riobamba, a 10 minutos de la ciudad de Riobamba, a una altura aproximada de 2720 m.s.n.m., pero es un valle que tiene rangos altitudinales que van desde los 2280 m.s.n.m (Cota Baja) en la comunidad de Cahujá Bajo parroquia Guanando hasta los 6.310 m.s.n.m. (Cota Alta) en el nevado Chimborazo parroquia San Andrés.

La temperatura promedio del cantón Guano varía entre 16 y 18°C, posee un clima templado y seco.

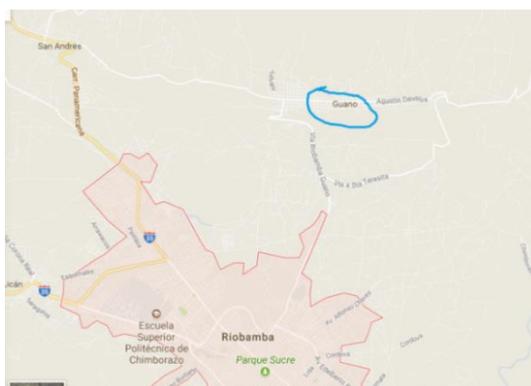
Los límites del cantón Guano son:

**Al norte con:** Provincia de Tungurahua, la montaña de Igualata, el Huahua Yacú y el río Mocha

**Al Sur con:** cantón Riobamba y la quebrada las Abras.

**Al este con:** el río Chambo y el Cantón Penipe.

**Al oeste con:** cantón Riobamba y una pequeña parte de la provincia de Bolívar.

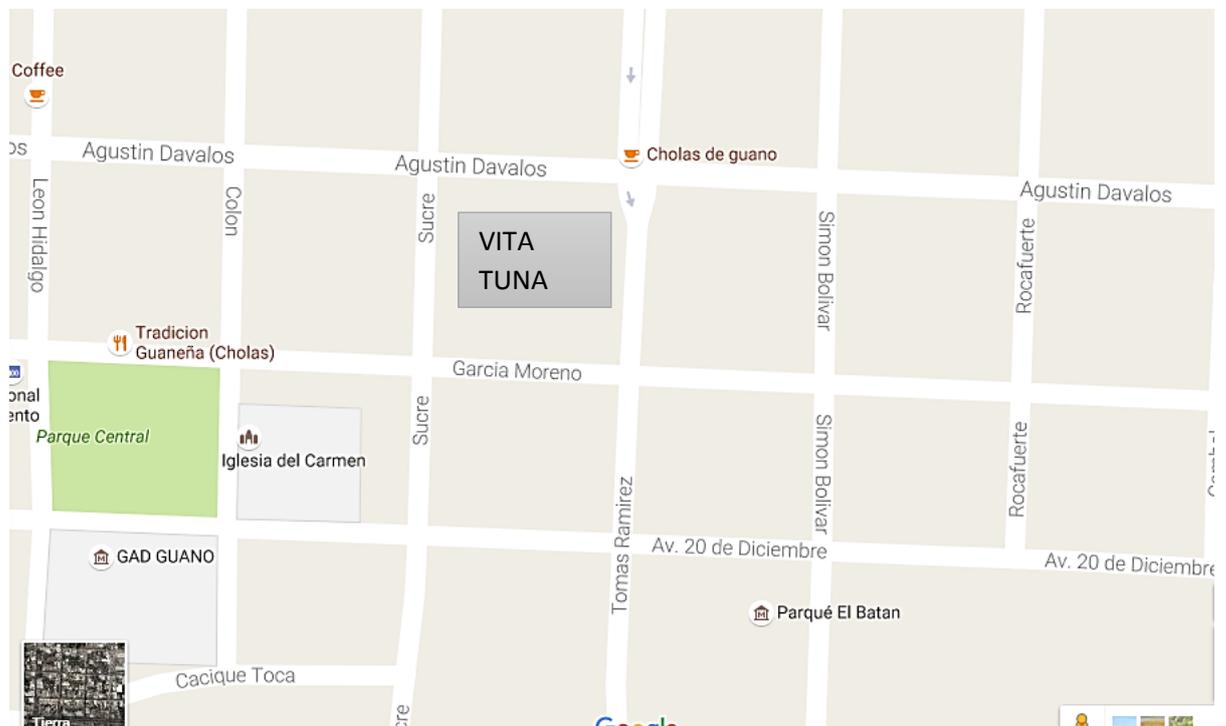


**Figura 1-3** Ubicación geográfica del Cantón Guano

Fuente: Google Maps, 2018.

### 3.1.1. Área de estudio

El presente proyecto se lleva a cabo en la empresa “Vita Tuna” en las calles Mariscal Sucre entre García Moreno y Agustín Dávalos N° 416, perteneciente a la provincia de Chimborazo en el Cantón Guano.



**Figura 2-3** Ubicación de la empresa Vita Tuna

Fuente: Google Maps, 2017.

## 3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO

La asociación de productores agrícolas guaneños son los principales beneficiarios de este proyecto técnico, poseen una gran cantidad de producción de tuna que es la materia prima utilizada en este trabajo. Este proyecto tiene su inicio debido a la materia prima existente.

Como primera etapa se debe conocer el lugar de producción y la cantidad que produce porque no es la misma cantidad durante todo el año, se debe conocer las medidas al momento de cosechar y transportar hacia la empresa Vita Tuna, lo realizan en unas gavetas evitando que la fruta sufra algún tipo de alteración durante esta trayectoria.

Para desarrollar el diseño del evaporador de simple efecto se debe realizar la caracterización de la pulpa de tuna (materia prima), que consta de los análisis físico-químicos, verificando así la calidad de la materia prima antes de su procesamiento con la ayuda de los equipos que se encuentran en el laboratorio de Investigaciones de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La simulación del proceso de evaporación se lo realizó en el laboratorio de procesos industriales en un evaporador piloto obteniendo así la mermelada de tuna, en esta etapa nos permite identificar las variables necesarias para el proceso de la evaporación a partir de datos experimentales del prototipo de prueba, entre ellas tenemos las más importantes: concentración final (°Bx), Volumen inicial y final, temperaturas de alimentación, concentración, evaporado y vaporización.

En la tercera etapa se realiza el diseño de ingeniería del evaporador, donde se realizarán los cálculos correspondientes al proceso (balances de masa y energía), el dimensionamiento y el tamaño del equipo, el tipo de material a utilizar y el presupuesto.

En la etapa final se validará el diseño del evaporador de simple efecto en base a lo que establece la norma NTE INEN 2825 específica para la mermelada de frutas.

### **3.2.1. *Materiales***

La industria alimentaria asegura la inocuidad de sus productos, mediante las buenas prácticas de manufactura durante su proceso, por eso es necesario utilizar el tipo de material adecuado para su producción, durante este proceso el alimento está en contacto directo y es importante que no se desprenda sustancias nocivas que alteren las características organolépticas, asegurando así la calidad del producto durante su proceso hasta el consumo final. El material que cumple con las características de preservar la calidad de los alimentos es el acero inoxidable.

#### **Acero Inoxidable AISI 304**

Conocidos como austénicos, es una aleación de cromo (18%), níquel (8%). Presentan una alta resistencia a la corrosión en una gran variedad de condiciones de oxidación y reducción moderadas. (Armagard. 2014). Tienen una presencia vital en la industria de alimentos, debido a sus características brinda la seguridad en la calidad durante el proceso de producción hasta su destino.

### 3.2.2. Ecuaciones de diseño

Estas ecuaciones son expresiones matemáticas que facilitan la elaboración del diseño del evaporador de simple efecto, han sido utilizadas en diferentes trabajos de titulación.

### 3.2.3. Balances de masa y energía

#### 3.2.3.1. Cálculo de las densidades determinados a nivel de laboratorio

#### Densidad de la pulpa de tuna

Para calcular la densidad de la pulpa de tuna se determinó con la ayuda de una probeta que ocupó un volumen determinado.

**Ecuación 1-3** Cálculo de la densidad de la pulpa de tuna

$$\delta_P = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 1}$$

**Dónde:**

**$\delta$ :** Densidad de la pulpa de tuna (Kg/l).

**$m$ :** Masa de la pulpa de tuna medida experimentalmente en el laboratorio (Kg).

**$V$ :** Volumen de la pulpa de tuna medida experimentalmente en el laboratorio (l).

$$\delta_P = \frac{25 \text{ g}}{25 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\delta_P = 1,00 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

### Cálculo de la densidad de la mermelada

Se determinó de la misma forma que la densidad de la pulpa de tuna.

$$\delta_M = \frac{56,904g}{40 ml}$$

$$\delta_M = 1,423 \frac{Kg}{l}$$

#### 3.2.3.2. Cálculo de la masa de alimentación ( $m_F$ )

**Ecuación 2-3** Cálculo de la masa de alimentación (Padilla, 2013, p. 106)

$$m_F = \sum Kg(m_{pulpas} + m_{pectina} + m_{sorbato K} + m_{ácido cítrico} + m_{azúcar}) \quad Ec. 2$$

$$m_F = (7,871 + 0,0787 + 0,0078 + 0,015 + 3,936)Kg$$

$$m_F = 11,909 Kg$$

#### 3.2.3.3. Cálculo de la corriente de alimentación

**Ecuación 3-3** Cálculo de la corriente de alimentación (Padilla, 2013, p. 106)

$$F = \frac{m_F}{t} \quad Ec. 3$$

**Donde:**

**F:** Flujo de alimentación (Kg/h)

**$m_F$ :** Masa de alimentación (Kg)

**t:** Tiempo de operación (h)

$$F = \frac{11,909}{4}$$

$$F = 2,977 \frac{Kg}{h}$$

### **Cálculo de la corriente del concentrado.**

**Ecuación 4-3** Cálculo de la corriente del concentrado (Padilla, 2013, p. 106)

$$L = \frac{m_L}{t} \quad Ec. 4$$

#### **Donde:**

**L:** Flujo de concentrado (Kg/h)

**$m_s$ :** Masa del concentrado (Kg)

**t:** Tiempo de operación (h)

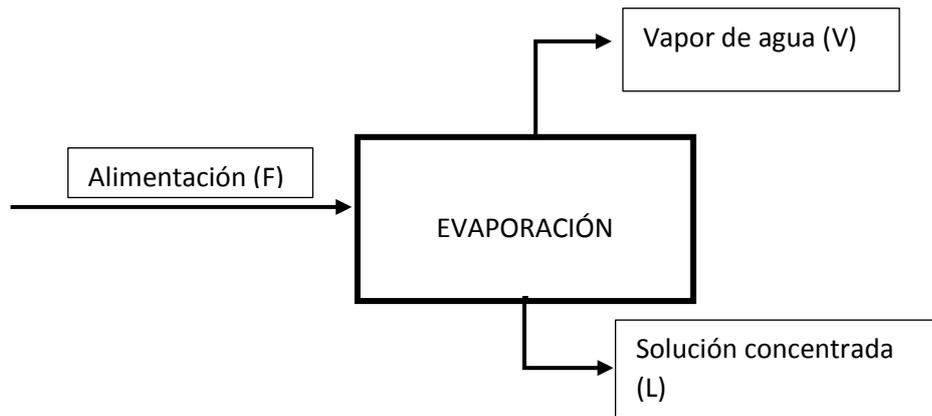
$$L = \frac{6,843}{4}$$

$$L = 1,711 \frac{Kg}{h}$$

#### **3.2.3.4. Balance de masa** (Geankoplis, 1998, p. 553)

Establece que la masa que entra al evaporador es igual a la masa del producto más la masa del agua evaporada. (McCabe)

Para el balance de materia y puesto que se trata de un estado estacionario, la velocidad de entrada de masa = velocidad de masa de salida. Para un balance de masa global tenemos:



**Figura 3-3** Diagrama general de entradas y salidas del proceso de evaporación

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

Para el balance de masa se utilizaron los datos obtenidos en la simulación del proceso de evaporación:

**Ecuación 5-3** Balance de masa (Geankoplis, 1998, p. 553)

$$F = L + V \quad \text{Ec. 5}$$

**Dónde:**

**V:** Corriente del vapor de la solución que sale del evaporador (Kg).

De la ecuación 5 despejamos V y tenemos:

$$V = F - L$$

$$V = (2,977 - 1,711)Kg/h$$

$$V = 1,266 \frac{Kg}{h}$$

También se puede formar un balance de soluto, en base a las soluciones que entran y salen del evaporador.

**Ecuación 6-3** Balance de soluto (Geankoplis, 1998, p. 553)

$$Fx_F = Lx_L + Vx_V \quad Ec. 6$$

**Dónde:**

$x_F$ : Fracción molar en la alimentación (adimensional)

$x_V$ : Fracción molar en el evaporado (adimensional)

$x_L$ : Fracción molar en el concentrado (adimensional)

Considerando al proceso de evaporación como eficiente, se asume que no habrá arrastre de soluto en el vapor por lo tanto  $Vx_V=0$ , quedando la ecuación 6 de la siguiente manera:

$$Fx_F = Lx_L$$

**Cálculo de las fracciones molares en la alimentación**

**Ecuación 7-3** Cálculo de las fracciones molares en la alimentación (Basantes, et al, 2010, p. 46)

$$x_F = \frac{m_i}{m_F} \quad Ec. 7$$

**Dónde:**

$x_F$ : Fracción molar en la alimentación i (adimensional)

$m_i$ : Masa del componente i (Kg).

$m_F$ : Masa de alimentación (Kg).

$$x_F = \frac{7,871}{11,909}$$

$$x_F = 0,66$$

La fracción molar de la pulpa de tuna es de 0,66 (66%), en la tabla 15.1 nos indica que la pulpa de tuna contiene 87,30% de agua, la misma que se eliminará durante el proceso de evaporación. Por lo tanto se calcula las fracciones de agua y extracto seco contenido en el 66%.

$$x_{Agua} = 0,66 * 0,873$$

$$x_{Agua} = 0,58$$

$$x_{extractoseco} = 0,66 * 0,127$$

$$x_{extractoseco} = 0,08$$

De la misma manera se utiliza la ecuación 7 para calcular todas las fracciones molares de la alimentación:

$$x_{Azúcar} = \frac{3,939}{11,909}$$

$$x_{Azúcar} = 0,33$$

$$x_{Pectina} = \frac{0,0787}{11,909}$$

$$x_{Pectina} = 0,0066$$

$$x_{Ácido cítrico} = \frac{0,015}{11,909}$$

$$x_{Ácido cítrico} = 0,0013$$

$$x_{Sorbato K} = \frac{0,0078}{11,909}$$

$$x_{Sorbato K} = 0,0006$$

### **Cálculo de las fracciones molares en el concentrado:**

De la Ec.6 calculamos las fracciones molares en el concentrado.

**Ecuación 8-3** Cálculo de las fracciones molares en el concentrado (Geankoplis, 1998, p. 553)

$$x_{SPulpa} = \frac{F x_F}{L} \quad Ec. 8$$

$$x_{S Pulpa} = \frac{2,977 * 0,08}{1,711}$$

$$x_{S Pulpa} = 0,14$$

De la misma manera se calcula para cada uno de los demás componentes:

$$x_{S Azúcar} = 0,57$$

$$x_{S Pectina} = 0,01$$

$$x_{S ÁcidoCítrico} = 0,002$$

$$x_{S SorbatodeK} = 0,001$$

#### *3.2.3.5. Balance de energía*

El balance de energía de basa en la “Ley de la conservación de la energía” (Primera Ley de la Termodinámica” establece que “La energía no se crea ni se destruye únicamente se transforma”,

nos permite determinar las cantidades de energía que se intercambia y acumula dentro del sistema.  
(Procesosbio, 2017)

### **Cálculo del calor latente**

**Ecuación 9-3** Cálculo del calor latente (Geankoplis, 1998, p. 553)

$$\lambda_W = H_W - h_W \quad \text{Ec. 9}$$

**Dónde:**

$\lambda_W$ : Calor latente de Vaporización (Kcal/Kg)

$H_W$ : Entalpía del vapor en la cámara de calefacción a la temperatura  $T_w$ , (Kcal/Kg).

$h_w$ : Entalpía del condensado a la temperatura  $T_w$  (Kcal/Kg).

Trabajamos con una temperatura de vaporización de 96°C, con esta temperatura vamos a las tablas de vapor saturado (ANEXO A) y encontramos el valor de las entalpías.

$H_W$ : 673,64 (Kcal/Kg).

$h_w$ : 96,06 Kcal/Kg.

$$\lambda_W = (673,64 - 96,06) \text{Kcal/Kg}$$

$$\lambda_W = 541,58 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

### **Cálculo de las entalpías de alimentación y concentrado a nivel de laboratorio**

#### **Datos obtenidos en el calorímetro**

**Tabla 1-3** Resultados del agua en el calorímetro

Volumen agua al ambiente (ml)	Volumen de agua fría (ml)	Masa agua fría (g)	Masa agua caliente (g)	Temperatura agua fría (°C)	Temperatura agua caliente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)
50	50	50	50	22	40	30

Realizado por: Tierra, Betty. ESPOCH. 2018

**Tabla 2-3** Resultados del líquido problema (tuna) en el calorímetro

Volumen agua al ambiente (ml)	Volumen de agua fría (ml)	Masa agua fría (g)	Masa pulpa caliente (g)	Temperatura agua fría (°C)	Temperatura agua caliente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)
50	50	50	52,22	22	40	32

Realizado por: Tierra, Betty. ESPOCH. 2018

$C_{p_{H_2O}}$  a 22°C: 4,183 J/g °C

**Cálculo de la capacidad calorífica del calorímetro.** (Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio de Bioingeniería) (<https://es.slideshare.net/valida51/practica-1-determinacion-de-la-capacidad-calorifica>)

**Ecuación 10-3** Cálculo de la capacidad calorífica del calorímetro. (Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio de Bioingeniería)

$$C = \frac{(m_2 * C_{p_{H_2O}} * (T_2 - T_{f1})) - (m_1 * C_{p_{H_2O}} * (T_{f1} - T_1))}{(T_{f1} - T_1)} \quad Ec. 10$$

**Dónde:**

**C:** capacidad calorífica correspondiente al calorímetro (J/°C)

**m<sub>2</sub>:** Masa del agua caliente (g)

**C<sub>pH2O</sub>:** Capacidad calorífica del agua a 22°C (J/g °C)

**T<sub>2</sub>:** Temperatura del agua caliente (°C)

**T<sub>f1</sub>:** Temperatura final a la que llega la mezcla (°C)

**m<sub>1</sub>:** Masa del agua fría (g)

**T<sub>1</sub>:** Temperatura del agua fría (°C)

$$C = \frac{(50 * 4,183 * (40 - 30)) - (50 * 4,183 * (30 - 22))}{(30 - 22)}$$

$$C = 52,875 \frac{J}{^{\circ}C}$$

**Capacidad calorífica de la pulpa de tuna** (Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio de Bioingeniería) (<https://es.slideshare.net/valida51/practica-1-determinacion-de-la-capacidad-calorifica>)

**Ecuación 11-3** Cálculo de la capacidad calorífica de la pulpa de la tuna

$$C_e = \frac{(C * (T_f - T_1)) - (m_1 * C_{pH2O} * (T_{f1} - T_1))}{m_p(T_2 - T_1)} \quad Ec. 11$$

*Dónde:*

**C<sub>e</sub>:** Capacidad calorífica correspondiente a la pulpa de tuna (J/°C)

**C:** capacidad calorífica correspondiente al calorímetro (J/°C)

$m_p$ : Masa de la pulpa caliente (g)

$C_{p_{H_2O}}$ : Capacidad calorífica del agua a 22°C (J/g °C)

$T_2$ : Temperatura de la pulpa caliente (°C)

$T_f$ : Temperatura final a la que llega la mezcla (°C)

$m_1$ : Masa del agua fría (g)

$T_1$ : Temperatura del agua fría (°C)

$$C_e = \frac{(52,875 * (32 - 22)) - (50 * 4,183 * (30 - 22))}{52,22 * (40 - 22)}$$

$$C_e = 424,78 \frac{J}{g * ^\circ C}$$

$$C_e = 101,52 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ C}$$

**Cálculo de la entalpía de alimentación** (Diego, J. 2008)

**Ecuación 12-3** Cálculo de entalpía de alimentación. (Diego, J. 2008)

$$h_F = C_e * (T_2 - T_1) \quad Ec. 12$$

**Dónde:**

$C_e$ : Capacidad calorífica correspondiente a la pulpa de tuna (J/ g °C)

$$h_F = 101,52 * (8)$$

$$h_F = 812,16 \frac{Kcal}{Kg}$$

**Entalpía del concentrado**

Datos obtenidos en el calorímetro

**Tabla 3-3** Resultados del líquido problema (mermelada) en el calorímetro

Volumen agua al ambiente (ml)	Volumen de agua fría (ml)	Masa agua fría (g)	Masa pulpa caliente (g)	Temperatura agua fría (°C)	Temperatura agua caliente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)
50	50	50	64,68	22	50	38

Realizado por: Tierra, Betty. ESPOCH. 2018

$C_{p_{H_2O}}$  a 22°C: 4,183 J/g °C

**Capacidad calorífica de la mermelada de tuna** (Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio de Bioingeniería) (<https://es.slideshare.net/valida51/practica-1-determinacion-de-la-capacidad-calorifica>)

**Ecuación 13-3** Cálculo de la capacidad calorífica de la mermelada de tuna

$$C_m = \frac{(C * (T_f - T_1)) - (m_1 * C_{p_{H_2O}} * (T_{f1} - T_1))}{m_3(T_2 - T_1)} \quad Ec. 13$$

**Dónde:**

$C_m$ : Capacidad calorífica correspondiente a la mermelada de tuna (J/ g °C)

$C$ : capacidad calorífica correspondiente al calorímetro (J/°C)

$m_3$ : Masa de la mermelada (g)

$C_{p_{H_2O}}$ : Capacidad calorífica del agua a 22°C (J/g °C)

$T_2$ : Temperatura de la pulpa caliente (°C)

$T_f$ : Temperatura final a la que llega la mezcla (°C)

$m_1$ : Masa del agua fría (g)

$T_1$ : Temperatura del agua fría (°C)

$$C_m = \frac{(52,875 * (38 - 22)) - (50 * 4,183 * (30 - 22))}{64,68 * (50 - 22)}$$

$$C_m = 848,92 \frac{J}{g * ^\circ C}$$

$$C_m = 202,85 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ C}$$

**Cálculo de la entalpía del concentrado** (Diego, J. 2008)

**Ecuación 14-3** Cálculo de la entalpía del concentrado. (Diego, J. 2008)

$$h_L = C_m * (T_2 - T_1) \quad Ec. 14$$

Dónde:

$C_m$ : Capacidad calorífica correspondiente a la pulpa de tuna (J/ g °C)

$$h_L = 202,85 * (7)$$

$$h_L = 1419,95 \frac{Kcal}{Kg}$$

**Cálculo flujo del vapor de agua que entra en la cámara de calefacción**

**Ecuación 15-3** Cálculo del flujo de vapor de agua (Geankoplis, 1998, p. 553)

$$F + W = V + L + C + Q_p \quad Ec. 15$$

Tenemos que las pérdidas son despreciables por lo tanto tenemos:

$$Q_p = 0$$

$$Fh_F + WH_W = VH_V + Lh_L + Wh_W$$

**Dónde:**

**F:** Flujo de alimentación que entra en el evaporador (Kg/h).

**W:** Vapor de agua que entra a la cámara de calefacción (Kg/h).

**V:** Vapor de la solución que sale del evaporador (Kg/h).

**L:** Flujo de líquido o solución concentrado (Kg/h).

**$h_F$ :** Entalpía de alimentación a la temperatura  $T_F$ , (Kcal/Kg)

**$h_L$ :** Entalpía del concentrado a la temperatura  $T_s$ , (Kcal/Kg)

**$H_v$ :** Entalpía del evaporado (agua evaporada) a una temperatura  $T_E$ , (Kcal/Kg)

**$h_F$ :** 812, 16 (Kcal/Kg)

**$h_L$ :** 1419, 95 (Kcal/Kg)

$$W = \frac{VH_V + Lh_L - Fh_f}{\lambda_w}$$

$$W = \frac{(1,266 * 636,12) + (1,711 * 1419,95) - (2,977 * 812,16)}{541,58}$$

$$W = 1,51 \frac{Kg}{h}$$

**Cálculo del flujo de calor**

**Ecuación 16-3** Cálculo del flujo de calor (Geankoplis, 1998, p. 553)

$$Q = W * \lambda_w$$

*Ec. 16*

**Dónde:**

**Q:** Flujo de calor (Kcal/h)

$$Q = 1,51 * 541,58$$

$$Q = 817,79 \frac{Kcal}{h}$$

**Cálculo del área de transferencia de calor.**

**Ecuación 17-3** Cálculo del área de transferencia de calor (Padilla, 2013, p. 110)

$$A = 2 * \pi * r_{se} * l \quad Ec. 17$$

**Dónde:**

**A:** Área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)

**r<sub>se</sub>:** Radio del serpentín (m)

**l:** Longitud del serpentín (m)

$$A = 2 * \pi * 0,01335 * 3,21$$

$$A = 0,27m^2$$

**Cálculo del gradiente de temperatura.**

**Ecuación 18-3** Cálculo del gradiente de temperatura (Padilla, 2013, p. 110)

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad Ec. 18$$

**Dónde:**

**$\Delta T$ :** Gradiente de temperatura (°C)

$T_2$ : Temperatura de saturación del vapor de agua que entra (°C)

$T_1$ : Temperatura de ebullición del concentrado (°C)

$$\Delta T = 96 - 89$$

$$\Delta T = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor.**

Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor teórico, se realizó pruebas experimentales en el evaporador de simple efecto que se encuentra ubicado en el laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Ecuación 19-3** Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (Geankoplis, 1998, p. 553)

$$Q = U * A * \Delta T \quad \text{Ec. 19}$$

$$U = \frac{Q}{A * \Delta T}$$

**Dónde:**

**U:** Coeficiente global de transferencia de calor ( $\text{J/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

**Q:** Flujo de calor ( $\text{Kcal/h}$ )

**A:** Área de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )

**$\Delta T$ :** Gradiente de Temperatura (°C)

$$U = \frac{816,79}{0,27 * 7}$$

$$U = 432,69 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C}} * \frac{1,163 \text{ J/s} * \text{m}^2 * \text{K}}{1 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * \text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$U = 502,64 \text{ J/s} * \text{m}^2 * \text{K}$$

$$U = 502,64 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

### 3.2.3.6. Cálculo del rendimiento del proceso de evaporación

**Ecuación 20-3** Cálculo del rendimiento de evaporación (Padilla, 2013, p. 113)

$$R = \frac{V}{W} * 100 \quad \text{Ec. 20}$$

**Dónde:**

**R:** Rendimiento del equipo

$$R = \frac{1,266}{1,51} * 100$$

$$R = 83,84 \%$$

Al realizar el balance de energía no indica la cantidad de vapor que se utiliza en el evaporador. También se conocerá las temperaturas y presiones con las que va a trabajar el evaporador de simple efecto.

**Tabla 4-3** Balance global de masa y energía

BALANCES	VARIABLES	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Balance de Masa	Corriente del Concentrado	L	1,711	Kg/h
	Corriente de Alimentación	F	2,977	Kg/h
	Corriente del Evaporado	V	1,266	Kg/h
Balance de Energía	Flujo de calor	Q	817,79	Kcal/h
	Coeficiente Global de Transferencia de Calor	U	502,64	J/s*m <sup>2</sup> *K
	Flujo de Vapor	W	1,51	Kg/h
Rendimiento de la evaporación		R	83,84	%

Realizado por: TIERRA; Betty. 2018

Al realizarse los balances de masa y energía expuesta en la tabla de resultados 4-3 describiendo así a un evaporador de simple efecto, permitiendo al operario determinar ciertas variables entre las cuales tenemos: flujos de alimentación y concentrado, flujos de vapor, fracciones de masa del soluto solvente, entalpías, velocidades de transferencia de calor, coeficientes, conductividades térmicas, gradientes de temperaturas, áreas de transferencia entre otras.

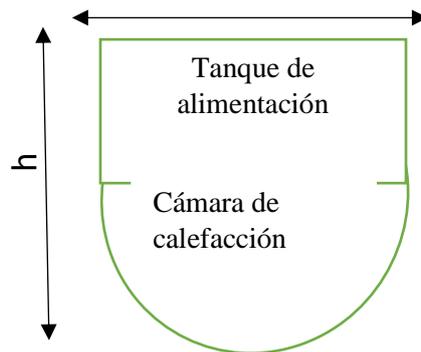
Por medio de la empresa especializada en construcción de equipos y manejo de acero inoxidable, se realizó una proforma de presupuestos que incluye materia prima, manos de obra, accesorios, instalaciones en base a los planos proporcionados por el estudio realizado en este proyecto de titulación.

#### ***3.2.4. Dimensionamiento de un evaporador de simple efecto para la elaboración de mermelada de tuna***

La ingeniería del diseño consiste en dimensionar todas las partes que constituyen el equipo piloto de evaporación, aplicando las leyes correspondientes y métodos de cálculo. (Vodopivec, 2011)

Para realizar el diseño de cualquier equipo es necesario conocer el control de proceso, componentes de operación se debe analizar económicamente distintas alternativas de proceso determinando así el menor costo de producción.

### 3.2.4.1. Diseño del tanque



**Figura 4-3** Diseño del evaporador de simple efecto

Realizado por: TIERRA, Betty. 2017

#### Cálculo del volumen de diseño

Se desea dimensionar un tanque de alimentación con una capacidad de 100 litros, el tanque no debe estar completamente lleno es por eso que se debe sobredimensionar con un 20%, evitando así pérdidas de materia prima y productos.

**Ecuación 21-3** Cálculo del volumen de diseño (Bellera et al, 2010)

$$V_D = f_s * V_r \quad Ec. 21$$

**Dónde:**

**V<sub>D</sub>**: Volumen de diseño (L).

**f<sub>s</sub>**: Factor de diseño.

**V<sub>r</sub>**: Volumen real de operación. (L).

$$V_D = 0,20 * 100 \text{ litros}$$

$$V_D = 20 \text{ litros}$$

## Cálculo del volumen total del tanque

**Ecuación 22-3** Cálculo del volumen del tanque de alimentación (Erazo y Lata, 2012, p. 41)

$$V_T = V_r + V_D \quad Ec. 22$$

**Dónde:**

**V<sub>T</sub>**: Volumen total del tanque (L).

$$V_T = (100 + 20) L$$

$$V_T = 120 \text{ litros}$$

## Cálculo del diámetro interno del tanque.

Dimensionamos la parte cilíndrica del tanque, para ello se escoge la siguiente relación  $H/D_t = 1,5$ , y la reemplazamos en la siguiente fórmula:

**Ecuación 23-3** Cálculo del diámetro interno del tanque (Bellera, et al., 2010, p. 11)

$$V_T = \frac{\pi}{4} * D_t^2 * H \quad Ec. 23$$

**Dónde:**

**D<sub>t</sub>**: Diámetro del tanque (m)

**H**: altura del tanque (m).

**V<sub>T</sub>**: Volumen total del tanque (m<sup>3</sup>).

Relacionamos los parámetros  $1,5 D_t = H$  y reemplazamos en la ecuación 23:

$$V_T = \frac{\pi}{4} * D_t^3$$

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{V_T * 4}{\pi * 1,5}}$$

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{0,120 * 4}{\pi * 1,5}}$$

$$D_t = 0,47 \text{ m.}$$

### **Cálculo de la altura del tanque de alimentación** (Bellera, et al., 2010, p. 11)

De la relación  $1,5 D_t = H$  despejamos H y calculamos la altura total del tanque de alimentación:

$$H_T = 1,5 * D_t$$

$$H_T = 1,5 * 0,46$$

$$H_T = 0,71 \text{ m}$$

#### *3.2.4.2. Cálculo del sistema de agitación.*

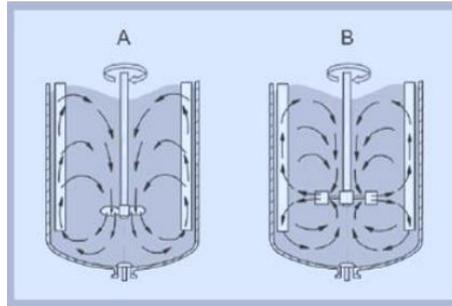
El sistema de agitación es utilizado para forzar de forma mecánica el movimiento constante de un fluido en el interior del tanque formando así una mezcla homogénea, evitando que el producto deseado se quemé o se adhiera a las paredes del tanque.

El agitador es el encargado de hacer circular el líquido por todo el recipiente, creando así un tipo de flujo que vuelve de vez en cuando al agitador. (EcuRed, 2017).

Existen 2 tipos de flujo que producen:

- Flujo Axial: generan corrientes paralelas al eje del impulsor.
- Flujo Radial: generan corrientes en dirección radial o tangencial. (McCabe et al, 2002).

Se utilizan 3 tipos de agitadores en líquidos de poca a moderada viscosidad; entre ellas tenemos: Paletas, Turbinas y Hélices.



**Figura 5-3** Tipo de flujo: A) Flujo Axial y B) Flujo Radial.

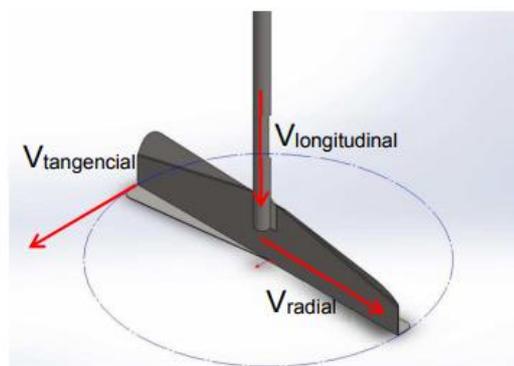
Fuente: Universidad Valparaíso de Chile, 2008. P. 47

En los tanques de agitación actúan tres tipos de movimientos:

**Velocidad radial:** dirección perpendicular al eje del rodete.

**Velocidad longitudinal:** dirección paralela al eje del rodete.

**Velocidad tangencial o rotacional:** dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete. (Álvarez y Aguilera, p. 17)



**Figura 6-3** Direcciones de las velocidades que actúan sobre el rodete.

Fuente: Álvarez et al, ESPE. 2014, p. 17

## Elección del tipo de agitador

Selección del agitador de acuerdo a sus viscosidades

**Tabla 5-3** Tipo de agitador de acuerdo a su viscosidad

TIPO DE RODETE	VISCOSIDAD (Pa*s)
Ancla	$10^{-1} - 2$
Hélice	$10^{-3} - 10^1$
Turbina	$10^{-3} - 3*10^1$
Paletas	$10^{-1} - 3*10^1$
Compuerta	$10^0 - 10^2$
Tornilla Helicoidal	$3 - 3*10^2$
Helicoidal de cinta	$10^1 - 2*10^3$
Extrusoras	$>10^3$

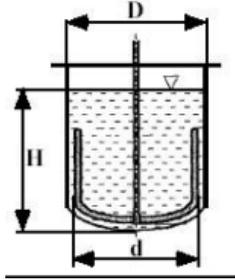
Fuente: Coker, 2001. Benavides, Paola p. 103.

Realizado por: TIERRA, Betty. 2017

Al realizar la mermelada de tuna se obtuvo una viscosidad de 0,5396 Pa\*s que se determinó por medida directa con la ayuda de un viscosímetro y una densidad de 1422,6 Kg/m<sup>3</sup> calculada en la Ec. 1 de acuerdo a la viscosidad se pueden utilizar los siguientes agitadores: de tipo ancla y de paletas.

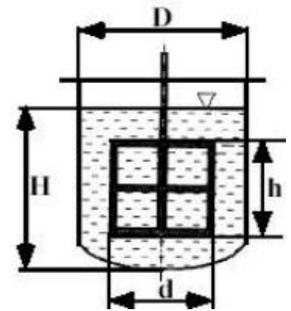
La capacidad de mezcla de un agitador tipo ancla con respecto a otros agitadores no es óptima y requiere de otro agitador de alta velocidad para trabajar en conjunto girando en sentido contrario (Castillo, 2013, p.15).

**Tabla 6-3** Características del agitador tipo ancla.

<b>Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos brazos que llegan cerca de la pared.</li> <li>• Forma adaptada al fondo y a las paredes del enfoque.</li> </ul>	
<b>Campo de flujo generado</b>	Tangencial y radial	
<b>Régimen alcanzado</b>	Laminar	
<b>Viscosidad</b>	$10^{-1} - 2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	
<b>Aplicaciones</b>	Favorece al intercambio de calor.	

Fuente: CASTILLO, Vladimir. 2013, p. 15

**Tabla 7-3** Características del agitador tipo paletas

<b>Descripción</b>	6 palas inclinada	
<b>Campo de flujo generado</b>	Radial y tangencial placas verticales Radial tangencial y longitudinal placas inclinadas.	
<b>Viscosidad</b>	$10^{-1} - 3 \cdot 10^1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	
<b>Aplicaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorece el intercambio de calor.</li> <li>• Homogeneizar.</li> <li>• Tanques pequeños y tanques medianos.</li> </ul>	

Fuente: CASTILLO, Vladimir. 2013. P. 16

Una vez analizada las características presentes en las **tablas 3-3 y 4-3** de los dos tipos de agitadores utilizaremos el agitador tipo paleta.

### **Agitador de palas o de paletas.**

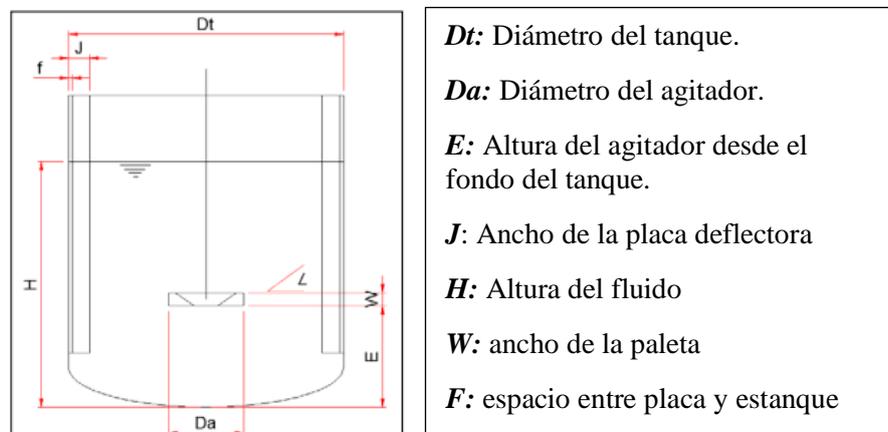
Operan a velocidades moderadas, es un agitador de flujo radial. (McCabe, 1993). Se usan de 2 a 4 paletas que giran en eje vertical. Ubicadas en el centro del tanque.

Los agitadores de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 200 rpm. La longitud total del propulsor es del orden de 50 al 80% del diámetro interno del tanque. La anchura del agitador es de 1/6 a 1/10 de su longitud. (Geankoplis, 1998)

Este tipo de agitación es utilizado en tanques de alimentación pequeños y medianos, se utiliza el rodete de palas planas verticales que producen movimientos tangenciales y radiales.

- **Ecuaciones de diseño para el agitador.**

Para realizar el diseño del agitador es necesario determinar ciertos parámetros entre los cuales tenemos: Número de Reynolds, diámetro del rodete, potencia del motor, altura del fluido en el tanque, longitud del brazo del agitador, distancia entre el fondo del tanque y la paleta de agitación.



**Figura 7-3** Agitador tipo paletas planas

Fuente: CASTILLO, Vladimir, 2013. P. 30

**Tabla 8-3** Semejanzas geométricas impulsor tipo palas planas

$\frac{W}{f}=0,177$	$E/D_t = 0,17/0,34$	$J/D_t = 0,1$
---------------------	---------------------	---------------

Fuente: CASTILLO, Vladimir. 2013. P.30

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

### Cálculo de la altura del líquido

Calcula el volumen que ocupa la mermelada de toda la capacidad del tanque.

**Ecuación 24-3** Cálculo de la altura del líquido (Coker, 2001).

$$h_L = \frac{V_T}{\pi * \left(\frac{D_t}{2}\right)^2} \quad Ec. 24$$

#### Dónde:

$V_T$ : Volumen total (m<sup>3</sup>)

$h_L$ : Altura del líquido (m).

$D_t$ : Diámetro del tanque (m).

$$h_L = \frac{0,120}{\pi * \left(\frac{0,47}{2}\right)^2}$$

$$h_L = 0,69 \text{ m}$$

### Cálculo de la longitud del brazo del agitador.

La longitud del rodete comprende al 50% del diámetro del tanque.

**Ecuación 25-3** Cálculo de la longitud del brazo del agitador (Benavides, 2014, p. 52).

$$L_B = \frac{1}{2} * D_t \quad Ec. 25$$

**Dónde:**

$L_B$ : longitud del brazo del agitador. (m).

$D_t$ : Diámetro del tanque (m).

$$L_B = \frac{1}{2} * 0,47$$

$$L_B = 0,235 \text{ m.}$$

**Cálculo del diámetro del rodete (agitador).**

**Ecuación 26-3** Cálculo del diámetro del rodete (Coker, 2001)

$$D_a = \frac{3}{4} * D_t \quad Ec. 26$$

**Dónde:**

$D_a$ : Diámetro del rodete (m).

$D_t$ : Diámetro del tanque (m).

$$D_a = \frac{3}{4} * 0,47$$

$$D_a = 0,35 \text{ m.}$$

### **Cálculo de distancia entre el fondo del tanque y la paleta.**

Calcula la distancia existente entre el fondo del tanque con la posición del rodete.

**Ecuación 27-3** Cálculo de la distancia entre el fondo del tanque y la paleta. (Castillo, 2013, p. 30).

$$\frac{E}{D_t} = \frac{0,17}{0,34} \quad Ec. 27$$

**Dónde:**

**E:** Distancia entre el fondo del tanque y la paleta (m).

**D<sub>t</sub>:** Diámetro interno del tanque (m).

$$E = \frac{0,17}{0,34} * D_t$$

$$E = \frac{0,17}{0,34} * 0,47$$

$$E = 0,235 \text{ m.}$$

### **Cálculo de la altura de la paleta.**

**Ecuación 28-3** Cálculo de la altura de la paleta (Galarza, 2016, p. 2)

$$A_p = \frac{1}{5} * L_B \quad Ec. 28$$

**Dónde:**

**A<sub>p</sub>:** Altura de la paleta (m).

$L_B$ : Longitud del brazo (m).

$$A_p = \frac{1}{5} * 0,235$$

$$A_p = 0,05 \text{ m.}$$

### **Cálculo del ancho de la paleta.**

La anchura de la paleta varía de 1/6 a 1/10 de la longitud del brazo del agitador.

**Ecuación 29-3** Cálculo del ancho de la paleta (Galarza, 2016, p. 2)

$$W = \frac{1}{10} * L_B \quad \text{Ec. 29}$$

$$W = \frac{1}{10} * 0,235$$

$$W = 0,02 \text{ m.}$$

- **Utilización de placas deflectores**

Son pletinas planas verticales que se colocan radialmente en el interior del tanque de alimentación mejorando la mezcla del fluido.

Se utilizarán 2 placas deflectoras de 45°. Para realizar el dimensionamiento de las placas deflectoras se utilizarán las semejanzas geométricas expuestas en la **tabla 8-3**.

### **Cálculo del ancho de la placa**

**Ecuación 30-3** Cálculo del ancho de la placa. (Castillo. 2013. P.30)

$$\frac{J}{D_t} = 0,1 \quad \text{Ec. 30}$$

$$J = 0,1 * D_t$$

$$J = 0,05$$

**Cálculo del espacio entre placa y tanque de alimentación.**

**Ecuación 31-3** Cálculo del espacio entre placa y tanque de alimentación (Castillo. 2013. P.30)

$$\frac{W}{f} = 0,177 \quad \text{Ec. 26}$$

$$f = \frac{W}{0,177}$$

$$f = \frac{0,02}{0,177}$$

$$f = 0,11 \text{ m}$$

**Cálculo del número del Reynolds**

**Ecuación 32-3** Cálculo del número de Reynolds (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 258)

$$N_{RE} = \frac{D_a^2 * N * \delta}{\mu} \quad \text{Ec. 27}$$

**Dónde:**

$N_{RE}$ : Número de Reynolds (adimensional).

$D_t^2$ : Diámetro del rodete (m)<sup>2</sup>

**N**: Número rotacional (rps).

$\delta$ : Densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$ : Viscosidad del fluido (Kg/m\*s)

La velocidad rotacional de un agitador tipo paletas está comprendido entre 20 y 200 rpm, por lo que utilizaremos una velocidad de 150 rpm.

$$N_{RE} = \frac{0,35^2 * 2,5 * 1422,6}{0,5396}$$

$$N_{RE} = 807,39$$

Calculando el Número de Reynolds determinamos al tipo de flujo que corresponde:

Si el  $N_{RE} < 10$  corresponde a un flujo laminar.

$10 < N_{RE} < 10000$  el flujo es turbulento en el agitador y laminar en las partes más lejanas.

$N_{RE} > 10000$  es flujo turbulento. (Rockwell International Corporation, 2000; Benavides, 2014, p.109)

### **Cálculo de la potencia del motor**

#### **Consumo de potencia en tanques agitados**

Tanto la circulación como la generación de turbulencia consumen energía. Aun cuando tanto la velocidad de flujo como la disipación de potencia aumentan con la velocidad del agitador, la selección del tipo y tamaño del agitador influye sobre los valores relativos de la velocidad de flujo y la disipación de potencia. (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 252)

Un factor importante en el diseño de un tanque agitado es la potencia que se requiere para mover el rodete. Cuando el flujo en el tanque es turbulento, la potencia necesaria puede estimarse a partir

del producto del flujo  $q$  generado por el rodete y la energía cinética  $E_k$  por unidad de volumen de fluido. (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 256)

**Ecuación 33-3** Cálculo del consumo de potencia. (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 256)

$$E_k = \frac{\delta * (V'_2)^2}{2 * g_c} \quad Ec. 33$$

Dónde:

$E_k$ : Energía cinética del fluido (ft-lb<sub>f</sub>/ft<sup>3</sup>) o J/m<sup>3</sup>.

$\delta$ : Densidad (lb/ft<sup>3</sup>) o Kg/m<sup>3</sup>.

$V'_2$ : Velocidad real en el extremo de las palas del rodete (m/s) o (ft/s)

$g_c$ : Factor de proporcionalidad de la ley de Newton 32,174 (ft-lb/lb<sub>f</sub> \* s<sup>2</sup>)

**Ecuación 34-3** Cálculo de la velocidad real en el extremo de las palas del rodete (McCabe, Smith y Harriot, 1998, p. 256)

$$V'_2 = \pi * N * D_a \quad Ec. 34$$

Dónde:

N: numero rotacional (rps).

$D_a$ : Diámetro del rodete (ft)

$$V'_2 = \pi * 2,5 * 1,15$$

$$V'_2 = 9,03 \frac{ft}{s}$$

Una vez calculada la velocidad real en el extremo de las palas del rodete reemplazamos en la Ec. 33:

$$E_k = \frac{88,81 * (9,03)^2}{2 * 32,174}$$

$$E_k = 112,54 \frac{ft - lb_f}{ft^3}$$

$$E_k = 112,54 \frac{ft - lb_f}{ft^3} * \frac{1,356 J}{1 ft - lb_f} * \frac{32,52 ft^3}{1 m^3}$$

$$E_k = 4,96 * 10^3 J/m^3$$

**Ecuación 35-3** Cálculo de la potencia del motor (Geankoplis, 1998, p. 262)

Con el Número de Reynolds calculado anteriormente, tenemos un valor de  $N_p = 4$  que encontramos en el **Anexo D** y reemplazamos en la siguiente fórmula. (Geankoplis, 1998, p. 262)

$$P = \frac{N_p * N^3 * D_a^5 * \delta}{g_c} \quad Ec. 35$$

**Dónde:**

**$N_p$ :** Número de potencia (adimensional).

**$N$ :** Velocidad rotacional (rps).

**$D_a$ :** Diámetro del rodete (ft).

**$\delta$ :** Densidad  $lb/ft^3$

**$g_c$ :** Factor gravitacional 32,174 ( $lb/lb_f * s^2$ ) (Geankoplis, 1998, p. 7)

$$P = \frac{4 * 2,5^3 * 1,15^5 * 88,81}{32,17}$$

$$P = 347,04 ft * \frac{lb}{s}$$

$$P = 0,5 Hp * \frac{kW}{1,341 Hp}$$

$$P = 0,37 kW$$

## Cálculo del consumo de energía

El consumo de energía eléctrica se mide en kWh siendo:

K: Kilo = 1000.

W: Watt, Vatio = unidad de potencia.

H: hora = unidad de tiempo.

Un kilovatio hora (kWh) es el equivalente a mantener un consumo de potencia de 1000 vatios durante una hora.

El kilovatio hora es la unidad medida que utilizan las empresas eléctricas para cobrar lo que consumen los usuarios y la forma conveniente de expresar un consumo energético, en todos los casos se refiere a la cantidad de energía consumida durante un período determinado. (Energieleveranciers.nl. 2014)

**Ecuación 36-3** Cálculo de la energía consumida (Energieleveranciers.nl. 2014)

$$\text{Energía consumida} = P * H \quad \text{Ec. 36}$$

Dónde:

P: Potencia de la bomba (kW)

H: Horas de uso diario

$$\text{Energía consumida} = 0,37 * 5$$

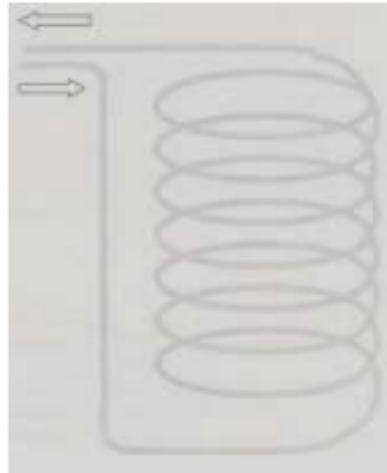
$$\text{Energía consumida} = 1,85\text{kWh/día}$$

$$\text{Energía consumida} = \frac{1,85\text{kWh}}{\text{día}} * 20 \text{ días}$$

$$\text{Energía consumida} = 37 \text{ kWh}$$

3.2.4.3. Diseño del intercambiador de calor tipo serpentín.

El serpentín acoplado al tanque de almacenamiento es la cámara de calefacción, es utilizado para el transporte del vapor de agua, su ubicación adecuada es muy importante al momento de evaporador porque así evitará pérdidas de calor durante el proceso. (Padilla, 2013, p. 116). Se lo coloca enrollado en espiral evitando utilizar codos y colectores.



**Figura 8-3** Intercambiador de serpentín en espiral

Fuente: Escobar et al, 2011, p. 44

Los serpentines helicoidales son utilizados generalmente en tanques de proceso y recipientes a presión, en áreas donde se requiere el enfriamiento o el calentamiento rápido. Por lo general se coloca en la parte baja de los tanques cuando se refiere a serpentines de calentamiento y en la parte superior si se trata de serpentines de enfriamiento o distribuidos uniformemente en la altura vertical. La entrada del serpentín debe estar por encima del nivel del líquido para la expulsión de vapores. (Perry, 1992, p. 11-32)

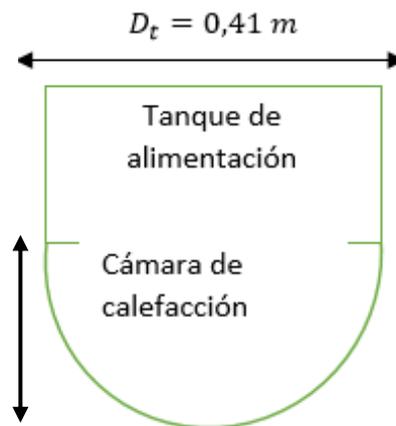
El serpentín es utilizado como intercambiador de calor entre dos medios que se encuentren separados o en contacto. Es un tubo generalmente de forma espiral de vidrio, cobre u otro material que conduzca fácilmente calor. Desde la antigüedad han sido utilizados para la destilación de bebidas alcohólicas, en la actualidad puede ser utilizado para cualquier proceso químico o para la elaboración de alimentos ya sea para calentar o enfriar un líquido.



**Figura 9-3** Evaporador con serpentín horizontal

Fuente: Escobar et al, 2011, p. 44

### Cálculo de la altura del serpentín



**Figura 10-3** Altura del serpentín

Fuente: TIERRA; Betty. 2018

Por criterios de diseño el serpentín no debe quedar al descubierto en el proceso de evaporación porque puede ocasionar que el producto entre en contacto con el serpentín y por ende se queme el producto, por ese motivo se coloca en la parte inferior, con una distancia de  $\frac{1}{2}$  desde la base del tanque de alimentación. (Padilla, 2013, p. 117).

**Ecuación 37-3** Cálculo de la altura del serpentín (Padilla, 2013, p. 117).

$$h_{sp} = \frac{1}{2} * H_T \quad Ec. 37$$

**Dónde:**

$h_{sp}$ : Altura del serpentín (m).

$H_T$ : Altura del tanque (m).

$$h_{sp} = \frac{1}{2} * 0,71$$

$$h_{sp} = 0,355 \text{ m}$$

### **Cálculo del diámetro interno del serpentín**

**Ecuación 38-3** Cálculo del diámetro interno del serpentín (Padilla, 2013, p. 118)

$$\emptyset_{ext} = \emptyset_{int} + 2\varepsilon \quad Ec. 38$$

**Dónde:**

$\emptyset_{ext}$ : Diámetro externo del serpentín (m)

$\emptyset_{int}$ : Diámetro interno del serpentín (m)

$\varepsilon$ : Espesor de la pared

Tomando en cuenta el diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$ " de tubería de acero inoxidable, vamos a la tabla F.1 Cedula 40 (ANEXO B) y encontramos el diámetro externo (26,7 mm = 0,0267m) y el espesor de la pared (2,87 mm = 0,00287m).

$$\phi_{int} = (0,0267 - (2 * 0,00287))$$

$$\phi_{int} = 0,0209 \text{ m.}$$

**Cálculo del perímetro del tubo** (tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/592/Capitulo3.pdf, p. 23).

**Ecuación 39-3** Cálculo del perímetro del tubo

$$P_T = \pi * \phi_{ext} \quad \text{Ec. 39}$$

**Dónde:**

$P_T$ : Perímetro del tubo (m).

$\phi_{ext}$ : Diámetro externo del serpentín (m)

$$P_T = \pi * 0,0267 \text{ m}$$

$$P_T = 0,084 \text{ m}$$

Área del tubo por metro lineal = 0,084m<sup>2</sup>/ metro lineal

**Cálculo de la longitud del serpentín** (tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/592/Capitulo3.pdf, p. 23).

**Ecuación 40-3** Cálculo de la longitud del serpentín

$$L_S = \frac{A}{A_T} \quad \text{Ec. 40}$$

**Dónde:**

$L_S$ : Longitud del serpentín (m).

$A$ : Área de transferencia de calor ( $m^2$ )

$A_T$ : Área del tubo por metro lineal ( $m^2/metro$  lineal).

$$L_S = \frac{0,27}{0,084}$$

$$L_S = 3,21 \text{ metros lineales}$$

### **Cálculo del diámetro medio de la hélice.**

**Ecuación 41-1** Cálculo del diámetro medio de la hélice (Arboleda, 2003, p. 51)

$$D_H = D_t + \phi_{ext} \quad \text{Ec. 41}$$

**Dónde:**

$D_t$ : Diámetro del tanque. (m).

$\phi_{ext}$ : Diámetro externo del serpentín (m).

$$D_H = 0,47 + 0,0267$$

$$D_H = 0,50 \text{ m}$$

### **Cálculo del radio medio del serpentín**

**Ecuación 42-3** Cálculo del radio medio del serpentín (Arboleda, 2003, p. 51)

$$r = \frac{D_H}{2} \quad \text{Ec. 42}$$

**Dónde:**

$D_H$ : Diámetro medio de la hélice.

$$r = \frac{0,50}{2}$$

$$r = 0,25 \text{ m}$$

**Cálculo del espacio entre cada vuelta del serpentín.**

**Ecuación 43-3** Cálculo del espacio entre cada vuelta del serpentín (Arboleda, 2003, p. 51)

$$P_S = 1,5 * \phi_{ext} \quad \text{Ec. 43}$$

$$P_S = 1,5 * 0,0267$$

$$P_S = 0,040 \text{ m}$$

**Cálculo del número de vueltas en el serpentín.**

**Ecuación 44-3** Cálculo del número de vueltas en el serpentín (Arboleda, 2003, p. 51)

$$L_S = N * \sqrt{(2 * \pi * r)^2 + P^2} \quad \text{Ec. 44}$$

**Dónde:**

$L_S$ : Longitud del serpentín necesaria para el número de vueltas (m).

$N$ : Número de vueltas teóricas del serpentín.

$r$ : Radio medio del serpentín, tomado desde la línea central de la hélice hasta la línea central del serpentín (m).

$P$ : espacio entre cada vuelta del serpentín, medido de centro a centro (m).

De la Ec. 44 despejamos N y calculamos el número de vueltas

$$N = \frac{L_s}{\sqrt{(2 * \pi * r)^2 + P^2}}$$

$$N = \frac{3,21}{\sqrt{(2 * \pi * 0,25)^2 + 0,040^2}}$$

$$N = 2,04$$

$$N \cong 3$$

### 3.2.5. Resultados

Diseño del evaporador de simple efecto, agitador e intercambiador de calor tipo serpentín

Para realizar el diseño del evaporador de simple efecto se efectuó las ecuaciones correspondientes de ingeniería obteniendo así las siguientes variables

**Tabla 9-3** Dimensionamiento de la cámara de ebullición

VARIABLE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen Total	$V_T$	120	$l$
Altura Total	$h_T$	0,71	$m$
Diámetro del tanque	$D_t$	0,47	$m$
Material	Acero Inoxidable 304		

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

**Tabla 10-3** Dimensionamiento del agitador tipo palas o paletas

VARIABLE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Altura del líquido	$h_L$	0,69	M
Longitud del Brazo de Rotación	$L_B$	0,235	m
Altura del Fondo al Rodete	$E$	0,235	m
Diámetro del Rodete	$D_a$	0,35	m
Ancho de la Paleta	W	0,02	m
Altura de la Paleta	$A_p$	0,05	m
Ancho de la placa deflectora	J	0,05	m
Espacio entre la placa y el tanque	f	0,11	m
Número de Reynolds	$N_{RE}$	807,39	Adimensional
Potencia del Motor	P	0,5	Hp

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

**Tabla 11-3** Dimensionamiento del intercambiador de calor tipo serpiente

VARIABLE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Altura	$h_{sp}$	0,355	m
Longitud Total del Serpentin	$L_s$	3,21	m
Diámetro Interno	$\phi_{int}$	0,0209	m
Diámetro Externo	$\phi_{ext}$	0,0267	m
Espesor	$\varepsilon$	0,00287	m
Diámetro medio de la hélice	$D_H$	0,50	m
Radio medio del serpiente	$r$	0,25	m
Anillos	N	3	Adimensional
Cédula			40
Material			Acero Inoxidable 304

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

### **3.2.6. Interpretación de los resultados**

El evaporador de simple efecto cuenta con un tanque de alimentación que ha sido diseñado para un volumen total de 120 litros ( $0,120 \text{ m}^3$ ) con el fin de eliminar total o parcialmente la cantidad de agua presente en el pulpa de tuna aumentando así su concentración. Para evitar una reducción en su coeficiente de transferencia de calor provocado por la acumulación de producto en las paredes y quemado del mismo, el tanque diseñado debe tener forma cilíndrica con fondo semiesférico evitando la formación de zonas muertas.

Se realizaron pruebas experimentales en el evaporador piloto para la concentración de mermelada de tuna, se inició con un volumen de 7,871 litros de pulpa y en el transcurso de 5 horas se pudo observar que la concentración iba aumentando conforme aumentaba la temperatura, partimos de  $12,17 \text{ }^\circ\text{Bx}$  y llegamos a  $71,52 \text{ }^\circ\text{Bx}$ .

Las variables que se controlan durante el proceso de evaporación son: Temperatura, pH, conductividad,  $^\circ\text{Bx}$ , que permitirán el correcto funcionamiento del equipo y obtener nuestro producto deseado, sin pérdidas de nutrientes.

Debido a las propiedades presentes en el acero inoxidable AISI 304, se diseñó el evaporador con un espesor 3 mm, ideal para equipos de cocina y tanques de almacenamiento por su resistencia a la deformación, al desgaste al impacto, por su dureza y de fácil limpieza.

Para el proceso de evaporación es necesario un intercambiador de calor, en nuestro caso se optó por el intercambiador tipo serpentín debido a su estructura geométrica, que es utilizado para el transporte de vapor de agua que circula en el interior del tubo.

Los tubos a utilizar en el serpentín son de acero inoxidable, cédula 40; que tiene un diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$ " teniendo una longitud total de 3,21 m con un espesor de 0,00287 m distribuido en 3 anillos. Para aumentar el área de transferencia de calor el serpentín se debe colocar en la parte inferior del tanque de alimentación, de esta manera se produce transferencia homogénea en toda la alimentación y se da un proceso de evaporación total.

Se utilizó este tipo de intercambiador debido a su tamaño pequeño facilitando así su instalación, se logra reducir el espacio que ocupará en la empresa Vita Tuna, disminuye el costo de mantenimiento, al ser una transferencia homogénea existe un aumento en su eficiencia de transferencia térmica. Por sus propiedades de conductividad térmica, resistente a la corrosión, fácil limpieza es recomendable utilizar acero inoxidable AISI 304.

La alimentación debe estar en constante movimiento durante toda la operación por lo tanto es necesario incorporar un sistema de agitación, diseñado de acuerdo a las propiedades del producto final que deseamos obtener.

Se diseñó el agitador con el fin de distribuir uniformemente los componentes de la alimentación, aumentando así el valor del coeficiente global de transferencia de calor debido a las corrientes de convección que se da en el interior del evaporador. El flujo es producido por un accionador mecánico con un motor de 0,5 Hp. El sistema de agitación utilizado es tipo palas planas, de diferente tamaño que permite el movimiento dentro del evaporador. Utilizamos acero inoxidable AISI 304 por su resistencia a la corrosión y por su facilidad de limpieza.

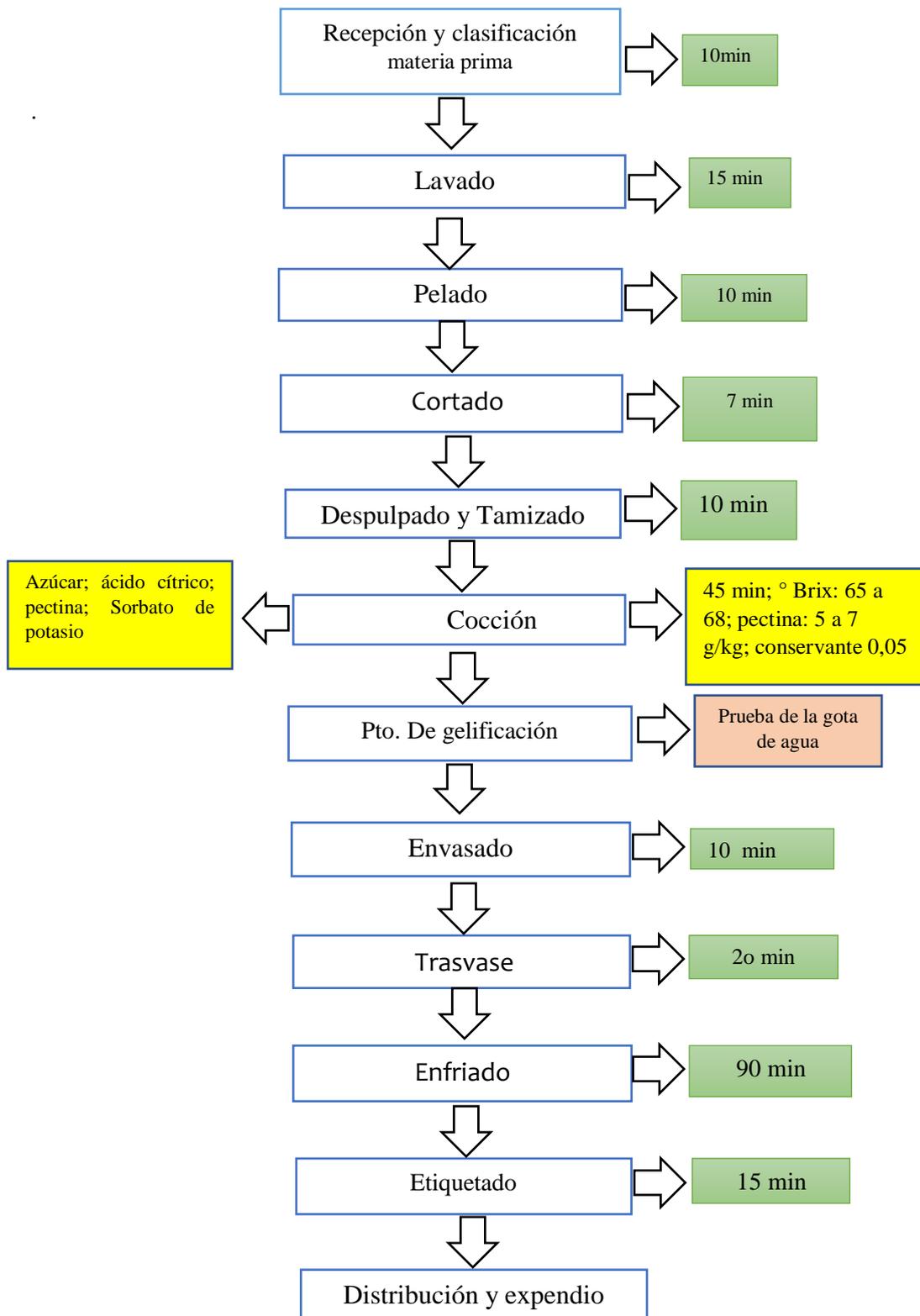
A nivel industrial y alimentación el acero inoxidable es el material más utilizado en la construcción de equipos, por su alta resistencia a la oxidación, dureza, facilidad de limpieza, etc., los aceros del grupo 300 son conocidos como Austeníticos, por su resistencia a la corrosión el tipo 316 L es utilizado a nivel industrial, farmacéutico, alimenticio, química, textil, etc. El tipo 304 L es utilizado en equipos químicos y tuberías, manipulación de alimentos, intercambiadores térmicos entre otros.

Finalmente para corroborar nuestro diseño se realizó la validación del producto validando así nuestro proceso y nuestro equipo según la norma NTE INEN 2825, dicha validación se realizó en AQMIC (Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos) determinando que nuestro producto es apto para el consumo humano (Ver Anexo F y G)

### **3.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN**

#### ***3.3.1. Situación actual del proceso de producción de mermelada de tuna en el Empresa Vita Tuna***

Al realizar el diagrama de procesos se verificó la falta de un evaporador de simple efecto para elaborar mermelada de tuna en menor tiempo y ahorrar los costos de producción.



**Figura 11-3** Diagrama de flujo de la elaboración de mermelada de tuna

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

### 3.3.2. *Línea de proceso de la elaboración de mermelada de tuna*

Según (Coronado e Hilario, 2001), para la elaboración de mermelada se cumple con el siguiente procedimiento:

- **Selección.**



**Figura 12-3** Selección de materia prima

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

Se eliminan las tunas en el estado de podredumbre. Es importante la selección de las tunas porque la calidad de la mermelada dependerá de la fruta.

- **Pesado.**



**Figura 13-3** Pesado de la pulpa de tuna

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

Es importante para determinar el rendimiento y calcular la cantidad de los otros ingredientes que se añadirán posteriormente.

- **Lavado.**

Se lo realiza con el objetivo de eliminar todas las partículas extrañas, suciedad y restos de tierra que puede estar adherido a la tuna.

- **Pelado.**

Se lo realiza de forma manual empleando cuchillos de acero inoxidable, se retira completamente la cáscara evitando desperdiciar la pulpa.

- **Pulpeado.**



**Figura 14-3** Pulpeado de la tuna

**Realizado por:** TIERRA, Betty. 2018

Obtener la pulpa o jugo de la tuna libre de cáscaras y semillas. Se lo realiza utilizando una licuadora industrial o pulpeadoras. Es importante pesar la pulpa de la tuna porque de ella va a depender el cálculo de los demás ingredientes.

- **Pre cocción de la fruta.**

Es importante cocer a la tuna suavemente, para romper las membranas celulares de la fruta y extraer toda la pectina. Debido a la cantidad de agua que posee la tuna no es necesario añadir agua.

Se calienta la pulpa de la tuna hasta que comience a hervir, después se mantendrá la ebullición a fuego lento.

- **Cocción.**



**Figura 15-3** Cocción de la pulpa de tuna

**Realizado por:** TIERRA, Betty, 2018

De esta operación depende la calidad de la mermelada. El tiempo de cocción depende de la variedad y textura de la materia prima. Un tiempo corto de cocción conserva el color y sabor natural de la fruta y una cocción excesiva provoca la caramelización de azúcares produciendo un color oscuro.

- **Adición de azúcar y ácido cítrico.**



**Figura 16-3** Adición de ácido cítrico

**Realizado por:** TIERRA, Betty, 2018

Cuando el producto este en proceso de cocción se añade el ácido cítrico y la mitad del azúcar en forma directa. La cantidad de estos insumos se calcula teniendo en cuenta la cantidad de pulpa obtenida. Se recomienda utilizar proporción 1:0,5

- **Cálculo de ácido cítrico.**

Toda fruta tiene su acidez natural, sin embargo en la mermelada esta acidez debe ser regulada, el pH se mide empleando un pH-metro.

La mermelada debe llegar hasta un pH de 3,5 garantizando la conservación del producto. Con la finalidad de facilitar el cálculo para la adición del ácido cítrico se emplea la siguiente tabla:

**Tabla 12-3** Adición de ácido cítrico de acuerdo al pH de la pulpa.

<b>pH de la pulpa</b>	<b>Cantidad de Ácido Cítrico a añadir</b>
3,5 a 3,6	1 a 2 g/Kg de Pulpa
3,6 a 4,0	3 a 4 g/Kg de Pulpa
4,0 a 4,5	5 g/Kg de Pulpa
Más de 4,5	Más de 5g/Kg de Pulpa

**Fuente:** Coronado, M; Hilario, R. Procesamiento de alimentos para pequeñas y micro empresas Agroindustriales, 2001.

**Realizado por:** TIERRA, Betty. 2018

- **Punto de gelificación.**

Finalmente añadir la pectina mezclándolo con el azúcar restante para evitar la formación de grumos. La cocción finaliza cuando se haya obtenido >65% de sólidos solubles. Para la determinación del punto final de concentración se debe tomar muestras periódicas hasta alcanzar la concentración correcta de azúcar y de esta manera obtener una buena gelificación.

- **Prueba de la gota en el vaso de agua.**



**Figura 17-3** Prueba de la gota en el vaso de agua

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

Se debe colocar una gota de mermelada en un vaso con agua, el indicador es que la gota no debe desintegrarse en el fondo del vaso.

- **Prueba del termómetro.**

Este método se basa en un aumento del punto de ebullición cuando la solución va concentrándose. La temperatura de ebullición también depende de las distintas alturas en las que nos encontremos.

El siguiente cuadro nos muestra la relación entre la temperatura de ebullición, altura sobre el nivel del mar y concentración en °Bx.

**Tabla 13-3** Relación entre temperatura de ebullición, altura sobre el nivel del mar y concentración en ° Brix

° Brix	Nivel del mar Temperatura	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m	3000 m
50	102,2	100,5	98,8	97,1	95,4	93,7	91,9
60	103,7	102,0	100,3	98,6	96,9	95,2	93,4
62	104,1	102,4	100,7	99,0	97,3	95,6	93,8
64	104,6	102,9	101,2	99,5	97,8	96,1	94,3
66	105,1	103,4	101,7	100,0	98,3	96,6	94,8
68	105,7	104,0	102,3	100,6	98,9	97,2	95,4
70	106,4	104,7	103,0	101,3	99,6	97,9	96,2
72	107,3	105,5	103,8	102,1	100,4	98,7	96,9
74	108,3	106,6	104,8	103,1	101,4	99,7	98,0
76	109,5	107,8	106,1	104,4	102,7	101,0	99,2

Fuente: Coronado, M; HILARIO, R. Procesamiento de alimentos para pequeñas y micro empresas Agroindustriales. 2001

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

- **Prueba del refractómetro.**



**Figura 18-3** Prueba del refractómetro

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

Con la ayuda de una cuchara o espátula se extrae un poco de mermelada, se deja enfriar y se coloca en un refractómetro para medir, el punto final de la mermelada será cuando marque mayor a 65 °Bx según establece la norma INEN NTE 2825.

- **Adición del conservante.**



**Figura 19-3** Adición de Sorbato de Potasio

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

El porcentaje de conservante (Sorbato de potasio) no debe exceder el 0,05% del peso de la mermelada.

- **Envasado.**

Se realiza en caliente a una temperatura no menor a 85°C. Esta temperatura mejora la fluidez del producto durante el llenado y a la vez permite la formación de un vacío adecuado dentro del envase por defecto de la contracción de la mermelada una vez que ha enfriado.

- **Enfriado.**

Enfriar con chorros de agua fría, el producto envasado debe ser enfriado rápidamente para conservar su calidad y asegurar la formación del vacío dentro del envase.

- **Almacenado.**

El producto envasado debe almacenarse en un lugar fresco, limpio y seco con suficiente ventilación para garantizar la conservación del producto hasta el momento de su comercialización.

### 3.4. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

**Tabla 14-3** Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.

Descripción	Cantidad	Función
Termómetro 360°C	1	Nos permite controlar la temperatura a la que se va a dar la evaporación.
Varilla de agitación	1	Sirve como un agitador permitiendo una mezcla homogénea.
Reverbero	1	Fuente de calor necesario para la evaporación.
Balanza analítica	1	Pesa de manera exacta los suministros a utilizar.
Olla	1	Tanque de alimentación donde se da el proceso de evaporación
pH-metro	1	Mide la cantidad de acidez de la pulpa y la mermelada.
Refractómetro	1	Mide el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido.
Despulpadora	1	Extrae la pulpa de la tuna.
Probeta	2	Permite medir la densidad de la pulpa y la mermelada
Evaporador piloto	1	Realizamos pruebas experimentales en este equipo.

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

### 3.5. Análisis de Costo/Beneficio del proyecto.

Para determinar el análisis económico del proyecto es necesario determinar la inversión fija, los costos totales de producción, ingresos y egresos que recibirá la planta en el transcurso de un año de producción.

#### 3.5.1. Costo de construcción

Se determinaran los costos del ensamblaje del evaporador de simple efecto incluido mano de obra y materia prima para la construcción.

**Tabla 15-3** Costo del equipo para la elaboración de mermelada de tuna

Concepto	Total
Evaporador de simple efecto para la elaboración de mermelada de tuna (120 litros)	2450

Fuente: Élite. 2018 (Anexo K)

#### 3.5.2. Costo de operación

##### Costo de la energía consumida por el motor

El motor que se utiliza para el sistema de agitación es de 0,5 Hp trabaja durante 5 horas diarias y la electricidad cuesta 9 centavos el kilowatt-hora (9 ctvs/kw-h)

**Tabla 16-3** Costo de la energía por motor utilizado en el sistema de agitación

Potencia de entrada	0,5 Hp
Energía consumida	37 Kw-h
Costo de por Kw-h	9 centavos

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

Para determinar el costo de la energía producida por el motor se multiplica la energía consumida por el costo de cada kilovatio-hora de electricidad.

$$\text{Costo de la energía consumida} = 37 \frac{\text{Kw}}{\text{h}} * 9 \text{ centavos}$$

$$\text{Costo de la energía consumida} = 3,33 \text{ dolares/Kw} - h$$

### Costos del operador

**Tabla 17-3** Costos del operador

Trabajador	Mensual (\$)
Jefe de producción	350
Ayudantes	200

**Fuente:** Vizuete, Gerardo. Vita Tuna

### Costos totales de operación

**Tabla 18-3** Costos totales de operación

	Cantidad (\$)
Costos de energía consumida	3,33
Costos del operador	550
Costos totales	553,33

**Realizado por:** TIERRA, Betty. 2018

### 3.6. Cronograma del proyecto

ACTIVIDADES	TIEMPO (MESES)																																			
	JUNIO				JULIO				AGT.				SEPT.				OCT.				NOV.				DIC.				ENE.				FEB.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión Bibliográfica																																				
Investigación de proyectos acerca de evaporadores de simple efecto.																																				
Pruebas experimentales en el evaporador piloto																																				
Datos experimentales del evaporador piloto																																				
Diseñar el evaporador																																				
Determinación del presupuesto																																				
Elaboración y corrección de borradores																																				
Redacción del Trabajo final																																				
Empastado y Presentación del Trabajo final																																				
Auditoría Académica																																				
Defensa del proyecto																																				

Realizado por: TIERRA, Betty. 2018

## CONCLUSIONES

- El proceso de simulación para la elaboración de mermelada de tuna se realizó en dos partes: a nivel experimental en el laboratorio de investigaciones de la ESPOCH en la escuela de Ingeniería Química para lo cual utilizamos un reverbero como intercambiador de calor, una olla como tanque de almacenamiento y una varilla de agitación como agitador, adicionalmente utilizamos un termómetro y finalmente a nivel de laboratorio utilizando el evaporador piloto que se encuentra en el laboratorio de procesos industriales de la ESPOCH, por medio de este equipo se pudo recolectar los datos necesarios para el dimensionamiento del evaporador de simple efecto.
- Al realizar las pruebas experimentales se determinaron las siguientes variables: Temperaturas (alimentación: 19°C, concentrado: 89°C, Evaporado: 92°C y de Vaporización: 96°C), tiempo de operación (4 horas), Volumen (inicial: 7,871 l y final: 4,77 l), potencia del agitador (0,5 Hp), concentración de la materia prima (inicial: 12,17 °Bx, final: 71,52 °Bx) y la viscosidad ( inicial: 0,1076 Kg/m\*s y final: 0,5396 Kg/m\*s) variables que son necesarias para el dimensionamiento del evaporador de simple efecto las mismas que serán controladas durante el proceso.
- Se realizaron los balances de masa y energía, así como los fundamentos de transferencia de calor, con el fin de establecer los flujos de entrada y salida, cálculos de calor en el evaporador, vapor requerido en la elaboración de mermelada de tuna.
- Para la validación del evaporador de simple efecto se realizó la validación del producto en el laboratorio AQMIC (Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos) (Anexos V y VI) cumpliendo con la norma NTE INEN 2825 para mermeladas y jaleas concluyendo así que el producto obtenido es apto para la comercialización y el consumo humano.
- El análisis económico permite determinar la rentabilidad o viabilidad del proyecto en base a la inversión, se evaluó que el precio de construcción es de \$2450,00 y el costo de operación tiene un costo de \$553,33 incluido la energía consumida y los costos de operador, la inversión actual se espera recuperar en el transcurso de un año incrementando la venta de la mermelada de tuna a nivel nacional.

## RECOMENDACIONES

- Al estar trabajando directamente con alimentos debemos operar desde un inicio bajo condiciones de Buenas Prácticas de Manufacturas para evitar la contaminación garantizando así la calidad del producto, mantener los criterios de diseño anteriormente mencionados en cuanto al tipo de material que se debe utilizar, para ello se recomienda utilizar acero inoxidable del grupo 300 que se caracterizan por sus propiedades anticorrosivas.
- Al momento de realizar el mantenimiento al equipo es importante utilizar agua o vapor de agua a altas presiones, porque ayuda a la remoción de costras que se forman en las paredes del evaporador durante la operación unitaria.
- La alimentación no debe sobrepasar el 70% de la capacidad del evaporador para evitar que el producto se derrame durante la agitación, tampoco debe ser menor del 50% de su capacidad para evitar que el serpentín quede al descubierto y existan pérdidas de calor o se quemé el producto.
- Antes de operar el equipo es necesario revisar sus accesorios como mangueras, tuberías, válvulas, trampas de vapor a fin de evitar una para innecesaria por posibles inconvenientes que pudiera ocurrir

## BIBLIOGRAFÍA

**BASANTES, Fausto, MONTESDEOCA, Nilo y SANTOS, Myrian.** TESIS. ESPOL. *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Evaporador de Simple*. [En línea] 2013. [Citado el: 24 de Agosto de 2017.] <https://es.scribd.com/document/236136760/Diseno-Construccion-y-Puesta-en-Marcha-de-Un-Evaporador-de-Simple-Efecto>.

**BELLERA, Carla, y otros.** Universidad Autónoma de Barcelona. *Manual de cálculos*. [En línea] 14 de Junio de 2010. [Citado el: 15 de Septiembre de 2017.] [http://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/151832/PFC\\_esAAcle\\_v04.pdf](http://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/151832/PFC_esAAcle_v04.pdf).

**BROWN, George.** *Operaciones básicas de la ingeniería química*. Barcelona, Bogota : Manuel gMarín, 1955. págs. 499-512; 528-534.

**CASTILLO, Vladimir.** Universidad del Bio Bio. *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. [En línea] Octubre de 2013. [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] [http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Uribe\\_Vladimir.pdf](http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf).

**COKER, Kayode.** *Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants*. Fourth. Boston : Elsevier Inc, 2007. Vol. I.

**CORONADO, Myriam y HILARIO, Roaldo.** Centro de investigación, educación y desarrollo. *Elaboración de mermeladas. Procesamientos de alimentos para pequeñas y ,icro empresas agroindustriales*. [En línea] CIED, 2001. [Citado el: 23 de Agosto de 2017.] [http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/Objetos\\_Didacticos/EIA\\_08/Recursos\\_Conceptuales/elaboracion\\_semindu\\_mermeladas.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/Objetos_Didacticos/EIA_08/Recursos_Conceptuales/elaboracion_semindu_mermeladas.pdf).

**CORREA, Austreberto.** *Procesos de Separación y Operaciones Unitarias*. Primera. México : Jesús Espinoza Morales , 2004.

**CORRERO, Eva.** Universidad de Cádiz. *Diseño basico de un sistema de vapor para calefacción de tanques de almacenamiento de aceite vegetal*. [En línea] Octubre de 2009. [Citado el: 13 de Agosto de 2017.] <http://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/6780>.

**DUESTCHMAN, Alan.** *Diseño de Máquinas*. Cuarta. México : Continental, 1991. págs. 13-28

**FELDER, Richard y ROUSSEAU, Ronald.** *Principios elementales de los procesos químicos*. Mexico : Limusa Wiley, 2004.

**FOUST, Alan, y otros.** *Principios de Operaciones Unitarias*. tercera. México : CECSA, 1990. págs. 500-510.

**FRONTAL, Bernardo, y otros.** *Principios de termodinámica*. Venezuela : Smart Service C.A., 2005, págs. 13-15.

**GARCÍA, Alvaro.** *El ciclo de la evaporación*. Primera. s.l. : Pre-Textos, 2016.

**GAVILÁNEZ, Nandy y HERNÁNDEZ, Ángela.** TESIS. ESPOCH. *Diseño y construcción de un evaporador de simple efecto para concentrar vinaza en la empresa SODERAL S.A.* . [En línea] 2012. [Citado el: 23 de Julio de 2017.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2519/1/96T00201.pdf>.

**GEANKOPLIS, Christie.** *Proceso de transporte y operaciones unitarias*. Tercera. Mexico : Continental, 1998. págs. 545-572.

**HOLMAN, J.** *Transferencia de Calor*. Décimo. México : Compañía Editorial Continental, 1999. pág. 484.

**KERN, Donald.** *Procesos de transferencia de calor*. México : Compañía Editorial Continental, 1999. págs. 437-523.

**MCCABE, Warren, SMITH, Julian y HARRIOTT, Peter.** *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Cuarta. Madrid : McGraw Hill, 1991. págs. 242-295.

**MUÑOZ, Alfonso.** Aplicación informática para el diseño y operación de evaporadores de múltiple efecto en Industria. *Universidad de Sevilla*. [En línea] 2016. [Citado el: 10 de Diciembre del 2017..] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5681/fichero/Aplicacion+inform%C3%A1tica+para+el+dise%C3%B1o+y+operaci%C3%B3n+de+evaporadores+de+m%C3%BAltiples+efectos+en+industria+%252FMEMORIA.pdf>.

**NACIONAL INSTITUTO POLITÉCNICO.** Unidad profesional interdisciplinaria de biotecnología. *Laboratorio de Bioingeniería*. [En línea] 25 de Abril de 2015. [Citado el: 06 de enero de 2018.] <https://es.slideshare.net/valida51/practica-1-determinacion-de-la-capacidad-calorifica>.

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *Norma para las confituras, jaleas y mermeladas (Codex STAN 296-2009, MOD)*. [En línea] Noviembre de 2013. [Citado el: 15 de Agosto de

2017.] [http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/NORMAS\\_2014/ACO/17122014/n-te-inen-2825.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/ACO/17122014/n-te-inen-2825.pdf).

**PADILLA, Brenda.** TESIS. Universidad San Carlos de Guatemala. *Diseño de un evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno para la elaboración de diversos alimentos en planta piloto.* [En línea] 29 de Enero de 2014. [Citado el: 05 de Agosto de 2017.] [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1375\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1375_Q.pdf).

**RASE, Howard.** *Ingeniería de Proyectos para Plantas de Procesos.* Texas : McGraw, 1976. págs. 441-443.

**RODRIGUEZ, Jorge.** Intercambiadores de Calor. [En línea] [Citado el: 06 de Febrero de 2018.] <http://radiadoresgallardo.cl/topintercambiaodres.pdf>.

**RODRÍGUEZ, Milton y Vera, Diego.** Tesis ESPE. *Diseño y construcción de un tanque de 800 litros de capacidad con sistema automático de refrigeración para almacenamiento de leche cruda.* [En línea] Junio de 2015. [Citado el: 23 de Octubre de 2017.] <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8645/1/T-ESPE-048040.pdf>.

**SALAZAR, José Fernando.** TESIS. Universidad Autónoma de Nueva León . *Diseño de equipos de transferencia de calor.* [En línea] Agosto de 2001. [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] <http://eprints.uanl.mx/4681/1/1020145448.PDF>.

**SHILLING, Richard, y otros..** *Perry's chemical engineers.* Octava. New York : McGraw Hill Companies, 2008. págs. 11-21;11-39.

**2014.** TESIS, Universidad San Francisco de Quito. *Diseño de un sistema de tanques de mezcla para fluidos de perforación petrolera en base al estudio de arcillas del pozo SE01.* [En línea] Mayo de 2014. [Citado el: 19 de Septiembre de 2017.] <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3302/1/110930.pdf>.

**TREYBAL, Robert.** *Operaciones de transferencia de masa.* Segunda. Madrid : McGraw Hill. págs. 166-179.

**VALDIVIESO, Sofía.** Tesis. Instalación y puesta en marcha de del evaporador de película descendente. *Universidad San Francisco de Quito.* [En línea] Enero de 2010. [Citado el: 20 de Diciembre de 2017.] <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/744/1/94506.pdf>.

**VALIENTE, Antonio.** *Operaciones Unitarias, Evaporación. Aplicaciones y Cálculos.* s.l. : Editorial Academia Espanola, 2011

**ANEXO A: Propiedades de agua saturada (líquido- vapor). Tabla de temperaturas**

Agua saturada-Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>s</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		
		Liq. sat., v <sub>f</sub>	Vap. sat., v <sub>g</sub>	Liq. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vap. sat., u <sub>g</sub>	Liq. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vap. sat., h <sub>g</sub>	Liq. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vap. sat., s <sub>g</sub>
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2 375.3	2 375.3	0.01	2 501.3	2 501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.6721	0.001000	147.12	20.97	2 361.3	2 382.3	20.98	2 489.6	2 510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2 347.2	2 389.2	42.01	2 477.7	2 519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2 333.1	2 396.1	62.99	2 465.9	2 528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2 319.0	2 402.9	83.96	2 454.1	2 538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2 304.9	2 409.8	104.89	2 442.3	2 547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2 290.8	2 416.6	125.79	2 430.5	2 556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2 276.7	2 423.4	146.68	2 418.6	2 565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2 262.6	2 430.1	167.57	2 406.7	2 574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2 248.4	2 436.8	188.45	2 394.8	2 583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2 234.2	2 443.5	209.33	2 382.7	2 592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2 219.9	2 450.1	230.23	2 370.7	2 600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001017	7.671	251.11	2 205.5	2 456.6	251.13	2 358.5	2 609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2 191.1	2 463.1	272.06	2 346.2	2 618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2 176.6	2 469.6	292.98	2 333.8	2 626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2 162.0	2 475.9	313.93	2 321.4	2 635.3	1.0155	6.6683	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2 147.4	2 482.2	334.91	2 308.8	2 643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2 132.6	2 488.4	355.90	2 296.0	2 651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.17	0.001036	2.361	376.85	2 117.7	2 494.5	376.92	2 283.2	2 660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2 102.7	2 500.6	397.96	2 270.2	2 668.1	1.2500	6.1659	7.4159

<p><b>NOTAS:</b></p> <p>Propiedades del agua saturada (líquido-vapor). Tabla de temperaturas</p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p> <p><input type="checkbox"/> Certificado   <input type="checkbox"/> Por Eliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado   <input type="checkbox"/> Por Aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por Calificar   <input type="checkbox"/> Para Información</p>	<p><b>ESPOCH</b></p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>TIERRA BETTY</p>	<p><b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b></p>		
			<p><b>Lámina</b></p> <p>1</p>	<p><b>Escala</b></p> <p>A4</p>	<p><b>Fecha</b></p> <p>27/02/2018</p>

**ANEXO B: DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE**

TABLA F.1 Cédula 40.

Nom. (in)	Diámetro Exterior (in)	Diámetro Interior (in)	Espesor (in)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 <sup>-3</sup>	
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 <sup>-3</sup>	
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 <sup>-4</sup>	
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 <sup>-4</sup>	
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 <sup>-4</sup>	
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.039	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 <sup>-4</sup>	
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 <sup>-4</sup>	
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 <sup>-3</sup>	
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 <sup>-3</sup>	
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 <sup>-3</sup>	
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 <sup>-3</sup>	
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 <sup>-3</sup>	
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 <sup>-3</sup>	
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 <sup>-2</sup>	
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 <sup>-2</sup>	
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 <sup>-2</sup>	
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 <sup>-2</sup>	
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.7	0.777 1	7.219 × 10 <sup>-2</sup>	
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 <sup>-2</sup>	
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140	
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443	
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794	
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594	

NOTAS:  Dimensiones de las tuberías de acero inoxidable	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	<b>ESPOCH</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIERRA BETTY	<b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b>		
			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			2	A4	27/02/2018

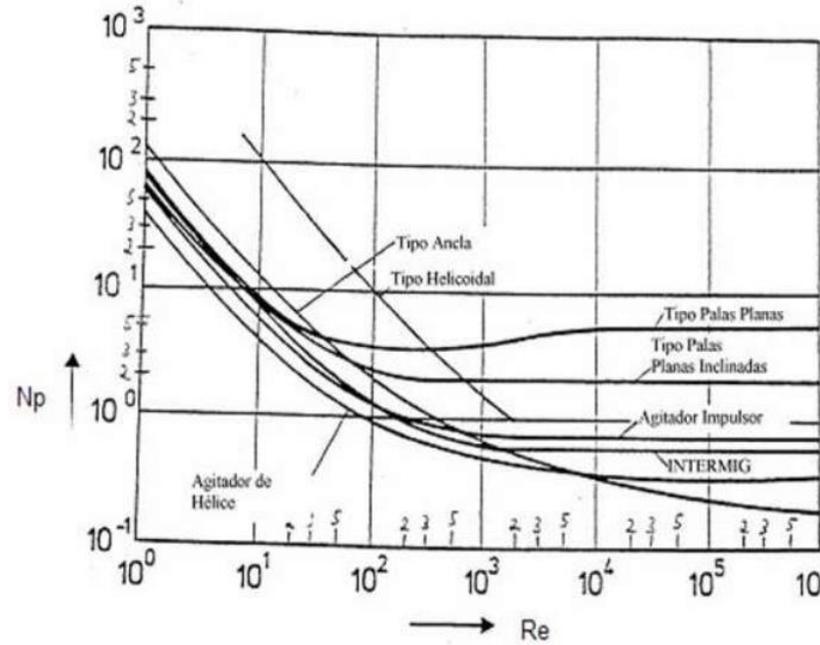
**ANEXO C: TASA DE EMISIÓN DE CALOR PARA BOBINAS DE VAPOR SUMERGIDAS EN AGUA**

**Tabla 2.10.1 Heat emission rates for steam coils submerged in water**

<b>Customary overall heat transfer coefficients</b>		<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>
Mean steam/water temperature difference around 30°C		550 - 1 300
Mean steam/water temperature difference around 60°C		1 000 - 1 700
Mean steam/water temperature difference around 110°C		1 300 - 2 700
<b>Recommended rates</b>		<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>
Lower pressure coils	(<2 bar g) with natural circulation of water	550
Higher pressure coils	(>5 bar g) with natural circulation of water	1 100
Lower pressure coils	(<2 bar g) with assisted circulation of water	1 100
Higher pressure coils	(>6 bar g) with assisted circulation of water	1 700

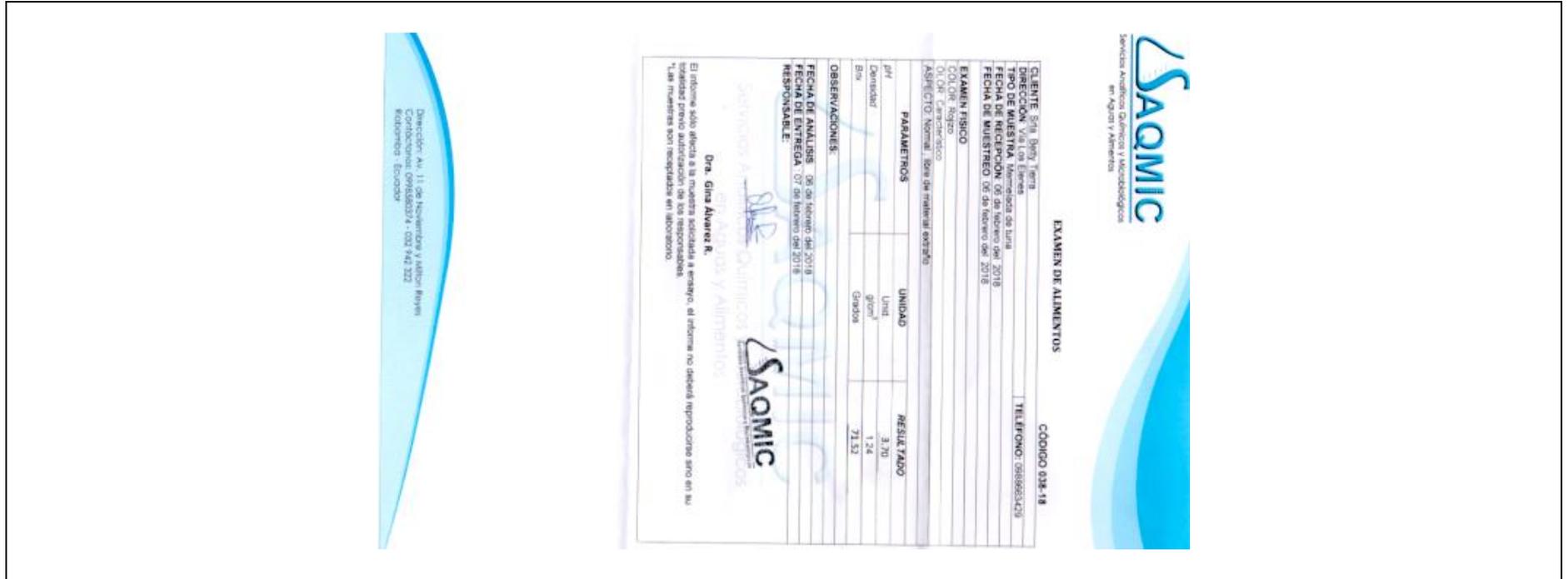
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b>		
Tasas de emisión de calor para bobinas de vapor sumergidas en agua	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIERRA BETTY			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		3	A4	27/02/2018

**ANEXO D: CORRELACIONES DE POTENCIA PARA DIFERENTES TIPOS DE IMPULSORES**



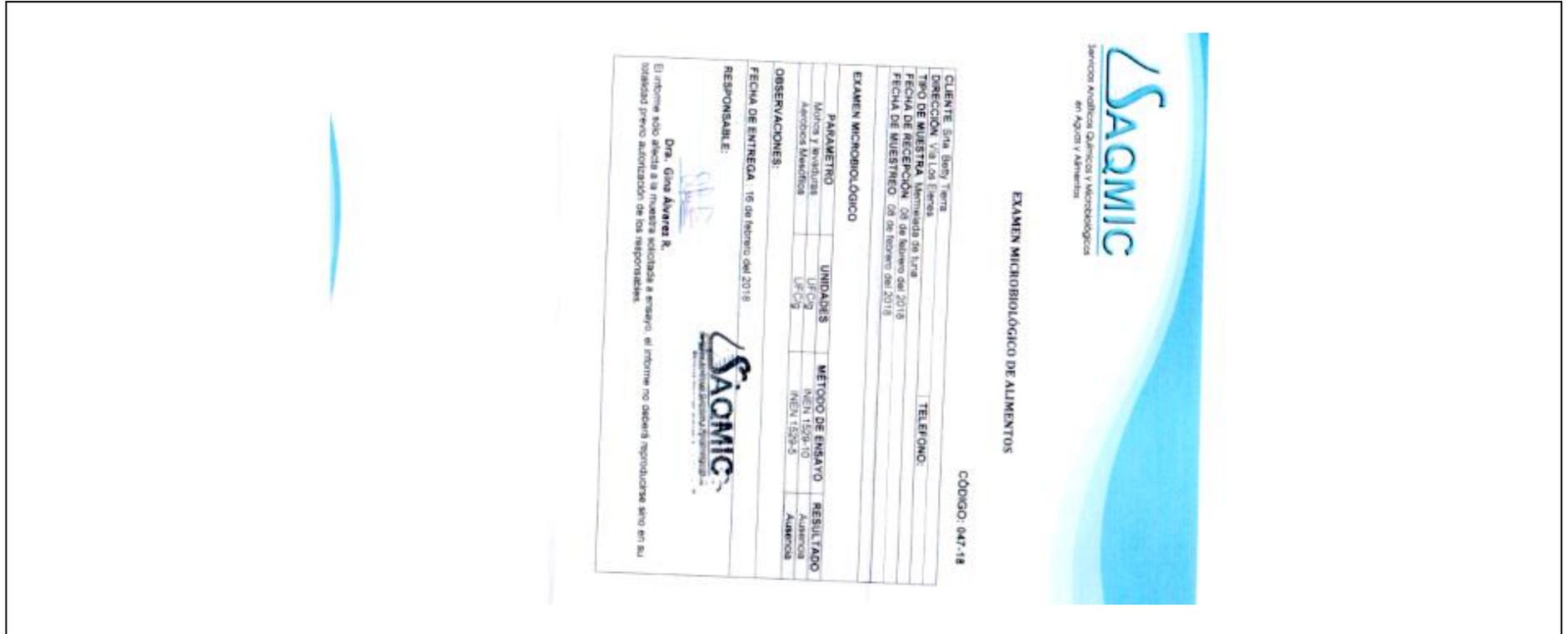
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b>		
Correlación de potencia para diferentes tipos de impulsores.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar			
	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información	TIERRA BETTY	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>
			4	A4	27/02/2018

**ANEXO E: ANÁLISIS FÍSICOS DE LA MERMELADA DE TUNA**



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b>			
			<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA TIERRA BETTY		
				<table border="1"> <tr> <td><b>Lámina</b></td> <td><b>Escala</b></td> <td><b>Fecha</b></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>A4</td> <td>27/02/2018</td> </tr> </table>	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>
<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>				
5	A4	27/02/2018				

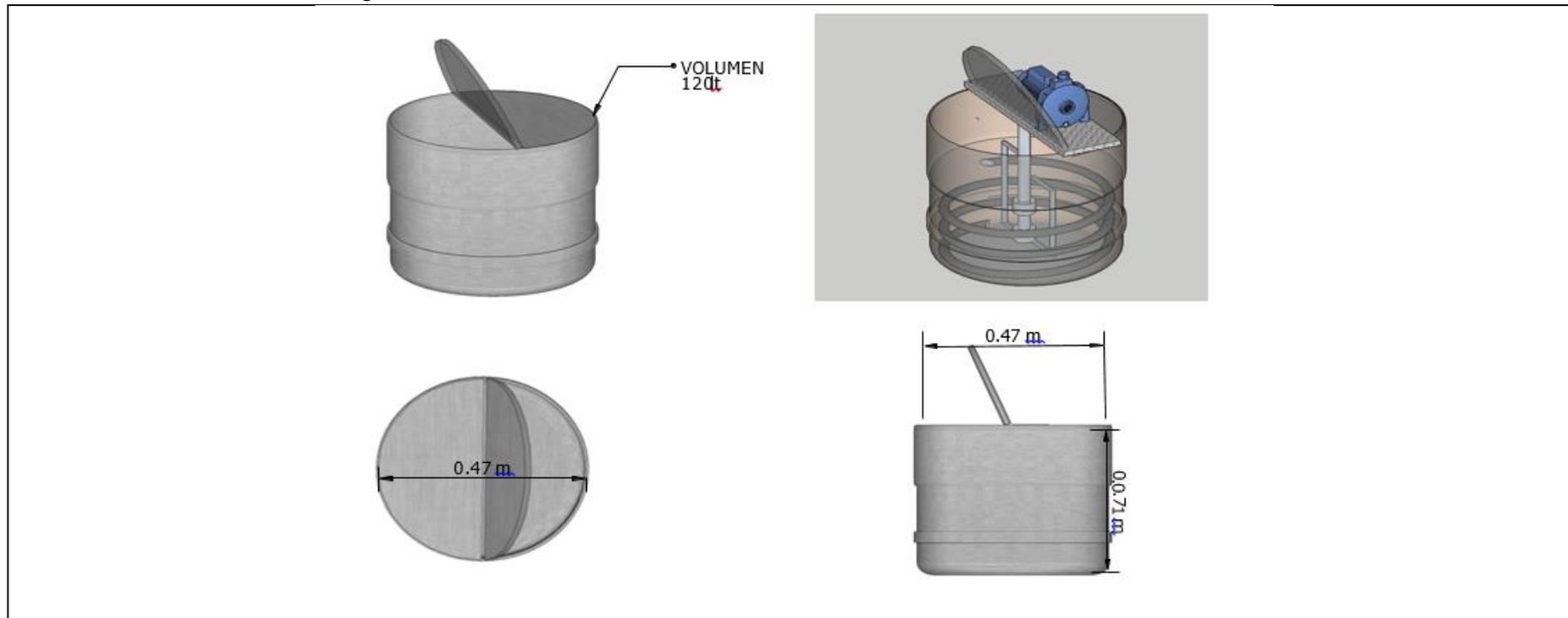
**ANEXO F: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA MERMELADA DE TUNA**



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b>			
			<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA TIERRA BETTY		
				Lámina 6	Escala A4	Fecha 27/02/2018

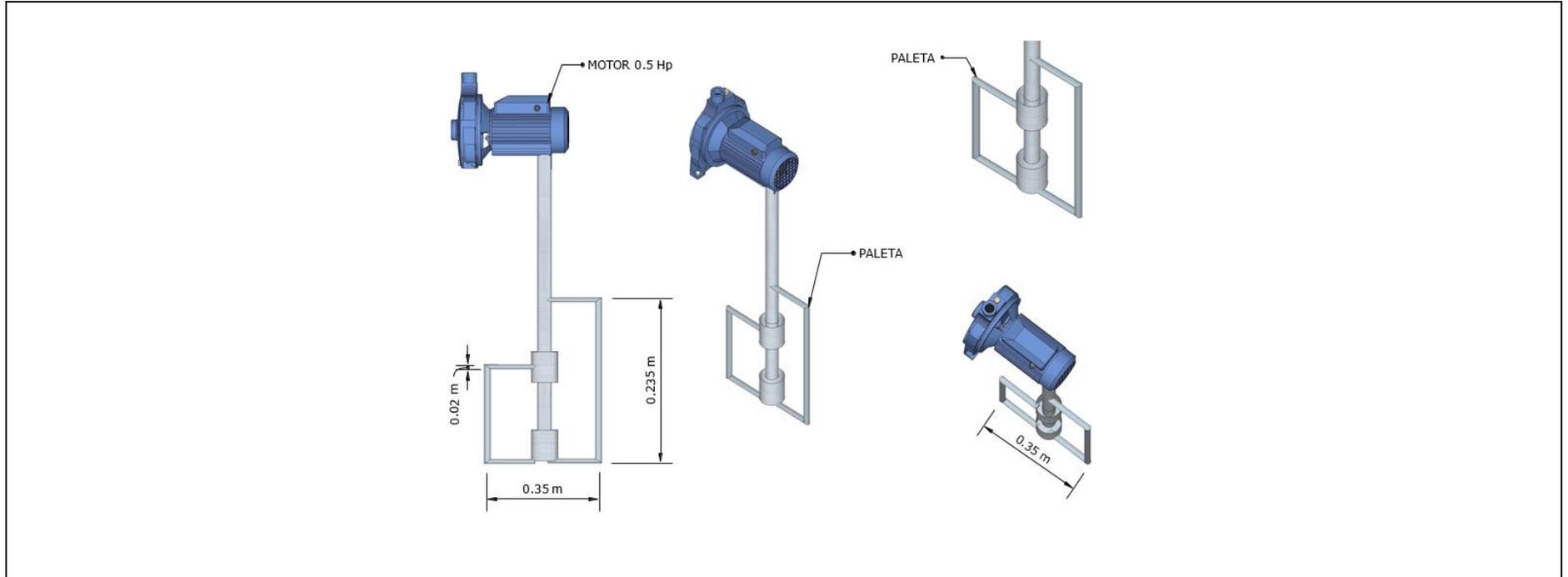
Análisis microbiológico de la mermelada de tuna

**ANEXO G : DISEÑO DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN**



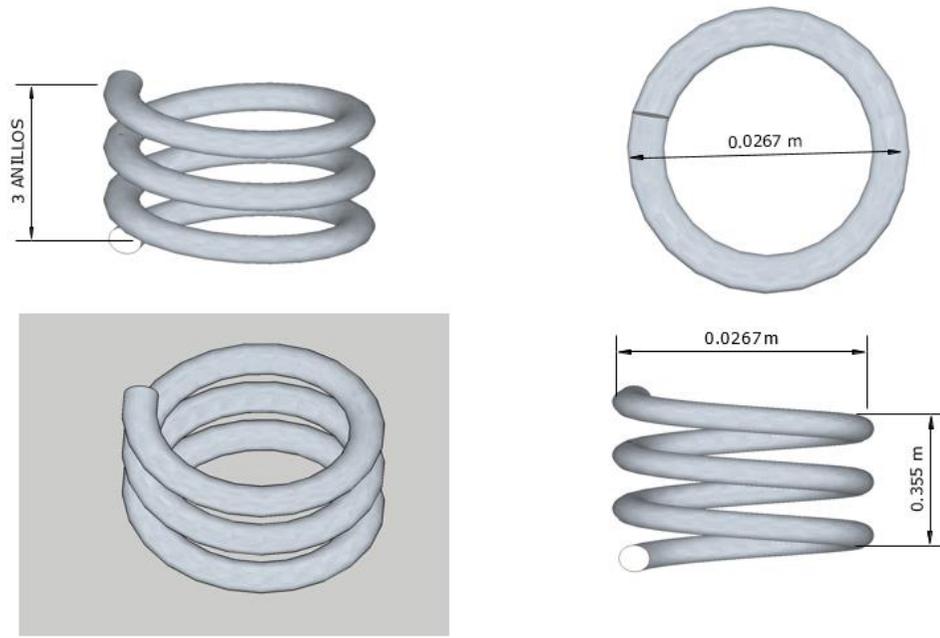
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b>		
Diseño del tanque de alimentación	<input type="checkbox"/> Certificado	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA TIERRA BETTY	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<input type="checkbox"/> Aprobado		7	A4	27/02/2018
	<input type="checkbox"/> Por Calificar		<input type="checkbox"/> Por Eliminar		
	<input type="checkbox"/> Por Aprobar				
	<input type="checkbox"/> Para Información				

**ANEXO H: DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN**



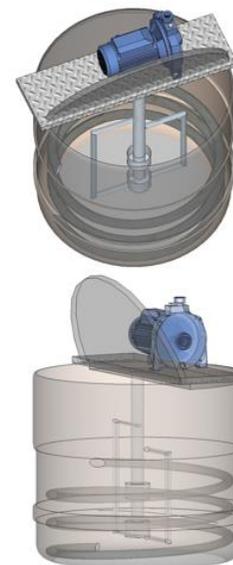
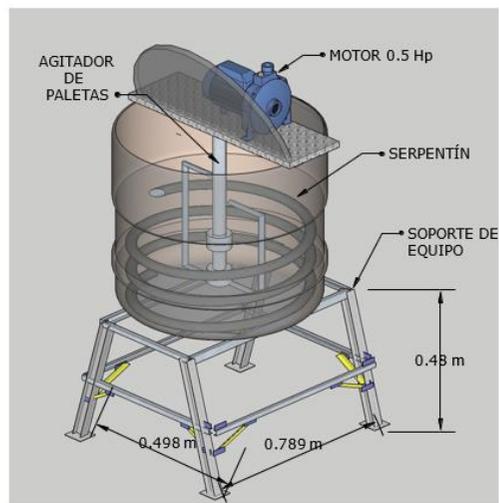
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO								
Diseño del sistema de agitación	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS									
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1512 1061 1691 1141">Lámina</th> <th data-bbox="1691 1061 1915 1141">Escala</th> <th data-bbox="1915 1061 2139 1141">Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1512 1141 1691 1236">8</td> <td data-bbox="1691 1141 1915 1236">A4</td> <td data-bbox="1915 1141 2139 1236">27/02/2018</td> </tr> </tbody> </table>			Lámina	Escala	Fecha	8	A4	27/02/2018
	Lámina	Escala	Fecha								
8	A4	27/02/2018									
<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	TIERRA BETTY										

**ANEXO I: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR TIPO SERPENTÍN**



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO		
Diseño del intercambiador de calor tipo serpentín	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA TIERRA BETTY			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		9	A4	27/02/2018

## ANEXO J: DISEÑO DEL EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO</b>			
Diseño de evaporador simple efecto	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA TIERRA BETTY	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar		10	A4	27/02/2018
	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información				

# ANEXO K: COTIZACIÓN DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO



"Su satisfacción es nuestra mejor garantía"



Planta de producción: Av. Juan Félix Proaño e Islandia  
Barrio: la Libertad  
Vía a San Luis

RUC: 0603484783001

Teléfono:  
ofi. 2922-558/Almacén 2952465  
0997197182 - 0984304443  
Riobamba - Ecuador

Email: elite maquinarias@gmail.com

COTIZACION: 021

Empresa: \_\_\_\_\_  
Nombre: BETTY TIERRA  
Ruc: 060418798-9  
Ciudad: RIOBAMBA  
Teléfono: 0988663429

Propuesta N° 01  
Fecha: 21 de mayo 2018  
Asesor Técnico: Jorge Tenegusnay  
Teléfono: 2922-558 - 2952465  
Celular: 0997197182 - 0984304443

Ítem	Descripción	Logotipo	Cant	Precio Unit	Precio total
a	<b>EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO 120 litros</b> Construcción esférica volcable capacidad 150 litros brutos doble pared en acero inox. 304 incluye moto reductor de 1/2 HP monofásico 110-220 voltios, velocidad de salida 38 rpm. Aspas agitadora inox con nylon alimenticio para evitar la adherencia del producto a las paredes, desmontable, tapa fija (soporte de moto reductor) válvula de seguridad de 20 Psi, manómetro de presión, 2 neopos de drenaje de 3/4 pulg. Con llave esférica, soldadura TIG. Y acabados totalmente sanitarios, el equipo esta soportado en una estructura de acero inox, funcional caldero-quemador		1	2450,00	2450,00
				Subtotal	2450,00
				Descuento	*****
				IVA	*****
				<b>TOTAL</b>	<b>2450,00</b>

Opción: Efectivo o Cheque personal  
70% Anticipo a la orden o firma del contrato. 1715,00  
30% Contra entrega de los equipos en nuestra planta de producción. 735,00

Validez de la oferta: 28 días calendario  
Tiempo de entrega: 15 días laborables.  
Instalación: Ninguno.

DEPÓSITOS O TRANSFERENCIAS A NOMBRE DE JORGE TENEGUSNAY C.I. 060348478-3  
CUENTA CORRIENTE BANCO INTERNACIONAL # 3000624097  
CUENTA CORRIENTE BANEQUADOR # 3001242756

NOTAS:  Cotización de un evaporador de simple efecto	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA  <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	ESPOCH  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIERRA BETTY	DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO		
			Lámina	Escala	Fecha
			11	A4	27/02/2018

Observaciones:

Garantía: 1 año contra cualquier defectos de fabricación previa inspección.  
La carga así como la descarga de los equipo corre por cuenta del cliente.

Asesor Técnico



Cliente

**S.A.S.**  
AGUINARIA & EQUIPOS  
Ttd. Jorge Tenegusñay  
Tel. 07197182

DEPÓSITOS O TRANSFERENCIAS A NOMBRE DE JORGE TENEGUSÑAY C.I. 060348478-3  
CUENTA CORRIENTE BANCO INTERNACIONAL # 3000624097  
CUENTA CORRIENTE BANEQUADOR # 3001242756

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<p align="center"><b>ESPOCH</b></p> <p align="center">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p align="center">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p align="center">TIERRA BETTY</p>	DISEÑO DE UN EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO		
Cotización de un evaporador de simple efecto	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		11	A4	27/02/2018

## ANEXO L: NORMA TÉCNICA ECUATORIANO NTE INEN 2825



Quito – Ecuador

NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA

**NTE INEN 2825**  
2013-11

**NORMA PARA LAS CONFITURAS, JALEAS Y MERMELADAS  
(CODEX STAN 296-2009, MOD)**

STANDARD FOR JAMS, JELLIES AND MARMALADES (CODEX STAN 296-2009, MOD)

---

Correspondencia:

Esta norma técnica ecuatoriana es una adopción modificada de la Norma Internacional CODEX STAN 296-2009 (Adoptado en 2009. Esta Norma reemplaza las normas individuales para la mermelada de agrios (CODEX STAN 80-1981) y las compotas (conservas de frutas) y jaleas (CODEX STAN 79-1981)).

---