



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**SIMULACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
PARA LA PRODUCCIÓN DE MERMELADA, PULPA DE FRUTA Y
NÉCTARES DE LA EMPRESA ASOPRUV**

Trabajo de Titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MICHELLE FERNANDA QUIMBITA BENAVIDES

DIRECTORA: Ing. MÓNICA LILIAN ANDRADE AVALOS MSc.

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, Michelle Fernanda Quimbita Benavides

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

Yo, MICHELLE FERNANDA QUIMBITA BENAVIDES, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de enero de 2022

Michelle Fernanda Quimbita Benavides

050418935-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; Tipo: Propuesta Tecnológica, “**SIMULACIÓN Y DISEÑO DE UN CUARTO DE CONGELACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA DE FRUTA DE LA EMPRESA ASOPRUV**”, realizado por la señorita **MICHELLE FERNANDA QUIMBITA BENAVIDES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Iliana Elizabeth Carrera Flores MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-01-18
Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos MSc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022-01-18
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-01-18

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis abuelitos Hilda y Cristóbal, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, a mi Tía Mercedes, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de crecer con ustedes.

Michelle

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi existencia y ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Químicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haber abierto sus puertas educativas y por brindarme profesores de excelencia que han compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, a mis tutores de la tesis por haberme guiado en este trabajo académico con paciencia, y su rectitud como docente.

Michelle

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Identificación del Problema	1
1.3. Justificación del Proyecto.....	2
1.4. Beneficiarios directos e indirectos	2
1.4.1. <i>Beneficiarios directos</i>	2
1.4.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	2
1.5. Objetivos	2
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.6. Alcance	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Pulpa de fruta	4
2.1.1. <i>Generalidades de la pulpa de fruta</i>	4
2.1.1.1. <i>Pulpa de guanábana</i>	4
2.1.1.2. <i>Pulpa de maracuyá</i>	5
2.1.2. <i>Proceso de obtención de la pulpa de fruta</i>	6
2.2. Congelación.....	7
2.2.1. <i>Tiempos de congelación</i>	8

2.2.2.	<i>Fin de la congelación</i>	10
2.2.3.	<i>Cinética del proceso de congelación</i>	10
2.2.4.	<i>Secuencia de congelación de un alimento</i>	11
2.3.	Ciclo de refrigeración por compresión	11
2.4.	Cargas térmicas asociadas al diseño de la cámara de congelación	12
2.4.1.	<i>Factores dependientes del producto a congelar</i>	14
2.4.1.1	<i>Calor sensible de la fruta a congelar</i>	14
2.4.1.2	<i>Calor latente de congelación de toda la mercadería</i>	15
2.4.2.	<i>Factor de seguridad</i>	15
2.4.3.	<i>Cálculo del tonelaje</i>	15
2.5.	Sistemas de enfriamiento por amoníaco	15
2.5.1.	<i>Amoníaco</i>	15
2.6.	Componentes del sistema de refrigeración	16
2.6.1.	<i>Tanque de almacenamiento</i>	16
2.6.2.	<i>Evaporador</i>	16
2.6.3.	<i>Compresor</i>	16
2.6.4.	<i>Condensador</i>	16
2.6.5.	<i>Tuberías y Válvulas</i>	17
2.7.	DWSIM	17
2.7.1.	<i>Ventajas y desventajas</i>	17

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	18
3.1	Cálculos de la carga térmica	18
3.1.1.	<i>Carga térmica de la fruta</i>	18
3.1.2.	<i>Flujo de calor por conducción en las paredes y techos de la cámara</i>	19
3.1.3	<i>Pérdida por convección dentro de la cámara</i>	20
3.1.4.	<i>Carga térmica por servicios</i>	21
3.1.5.	<i>Carga térmica total</i>	21
3.1.6.	<i>Factor de seguridad</i>	22
3.1.7.	<i>Tonelaje</i>	22
3.2.	Cálculo del ciclo de refrigeración	22
3.3.	Diseño de los equipos	26
3.3.1.	<i>Diseño del tanque de almacenamiento</i>	26
3.3.1.1.	<i>Presión de operación (PO)</i>	26

3.3.1.2.	Presión de diseño (P).....	26
3.3.1.3.	<i>Presión de prueba (PP)</i>	27
3.3.2.	Tapas	27
3.3.3.	Boquillas para recipientes a presión	28
3.3.3.1.	<i>Selección de bridas para boquillas</i>	28
3.3.3.2.	<i>Tipos de caras de bridas</i>	29
3.3.4.	Cálculo de los espesores según la presión interna	29
3.3.4.1.	<i>Espesor del cilindro</i>	29
3.3.4.2.	<i>Cálculo de la máxima presión hidrostática corregida por la temperatura (P.H.C.)</i> ...30	
3.3.4.3.	<i>Cálculo para el espesor de cabeza toriesférica bajo presión interior</i>	31
3.3.4.4.	<i>Cálculo del cilindro por presión externa</i>	32
3.3.4.5.	<i>Cálculo de tapas 80:10</i>	32
3.3.5.	Cálculo de Soportes	33
3.3.5.1.	<i>Localización de las silletas</i>	33
3.3.5.2.	<i>Esfuerzos</i>	33
3.3.5.3.	<i>Esfuerzos longitudinales por flexión</i>	34
3.3.5.4.	<i>Esfuerzos de corte tangenciales</i>	34
3.3.5.5.	<i>Esfuerzos circunferenciales</i>	35
3.4.	Simulación del sistema de refrigeración	35
3.4.1.	Corriente 1	36
3.4.2.	Compresión	37
3.4.3.	Corriente 2	38
3.4.4.	Condensador	39
3.4.5.	Corriente 3	40
3.4.6	Expansión	41
3.4.7.	Corriente 4	42
3.4.8.	Evaporador	43
3.4.9.	Corriente 5	44
3.4.10.	Corriente de reciclo	45

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE COSTOS	47
4.1	Costos de fabricación y montaje	47
4.2	Ingresos	50
4.3	Resumen de Egresos	51

4.4.	Cálculo del VAN	53
4.5.	Cálculo del TIR	54
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	56
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Información Nutricional de la pulpa de Guanábana	5
Tabla 2-2:	Información Nutricional de la pulpa de Maracuyá	6
Tabla 4-1:	Costo de planchas de acero para el cuerpo del tanque	48
Tabla 4-2:	Costos de los materiales para los accesorios del tanque	48
Tabla 4-3:	Costos de las tuberías anexas al tanque	48
Tabla 4-4:	Costos de corte de los materiales	49
Tabla 4-5:	Costos de rolado y embutición.....	49
Tabla 4-6:	Costos de soldadura	49
Tabla 4-7:	Costos de pintado del tanque	50
Tabla 4-8:	Costos totales de fabricación y montaje del tanque	50
Tabla 4-9:	Ingresos por la venta de pulpa durante 5 años	51
Tabla 4-10:	Flujo de ingresos	51
Tabla 4-11:	Egresos durante el primer año	51
Tabla 4-12:	Egresos durante el segundo año.....	52
Tabla 4-13:	Egresos durante el tercer año	52
Tabla 4-14:	Egresos durante el cuarto año	52
Tabla 4-15:	Egresos durante el quinto año	53
Tabla 4-16:	Flujo de egresos	53
Tabla 4-17:	Flujo efectivo neto	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1:	Proceso de obtención de la pulpa de fruta.....	7
Figura 2-3:	Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	11
Figura 3-1:	Sistema de refrigeración representado en el simulador.....	36
Figura 3-2:	Características de la corriente 1	37
Figura 3-3:	Características de operación en el compresor	38
Figura 3-4:	Características de la corriente 2	39
Figura 3-5:	Condiciones de operación en el condensador	40
Figura 3-6:	Características de la corriente 3	41
Figura 3-7:	Características en la válvula de expansión.....	42
Figura 3-8:	Características de la corriente 4	43
Figura 3-9:	Condiciones de operación del evaporador	44
Figura 3-10:	Características de la corriente 5	45
Figura 3-11:	Características de la corriente de reciclo.....	46

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1:	Modelo de Pham	8
Ecuación 2-2:	Calor de transmisión	12
Ecuación 2-3:	Calor de infiltración	13
Ecuación 2-4:	Carga por humedad	13
Ecuación 2-5:	Carga del producto	14
Ecuación 2-6:	Calor sensible de la fruta	14
Ecuación 3-1:	Presión de diseño	26
Ecuación 3-2:	Presión de prueba	27
Ecuación 3-3:	Espesor mínimo requerido en la tapa	27
Ecuación 3-4:	Presión hidrostática corregida por la temperatura	30
Ecuación 3-5:	Cálculo del cilindro por presión externa	32

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE SEGURIDAD DEL AMONIACO

ANEXO B: CIRCULACIÓN DE AIRE PROMEDIO EN 24 H EN LA CAMÁRA DE REFRIGERACIÓN

ANEXO C: DIAGRAMA P-H DEL R-717

ANEXO D: CARTA PSICROMÉTRICA

ANEXO E: PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R717

ANEXO F: VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FÓRMULAS PARA RECIPIENTE SUJETOS A PRESIÓN EXTERNA

ANEXO G: VALORES DEL FACTOR B QUE SE EMPLEAN EN LAS FÓRMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN EXTERNA

ANEXO H: USO DEL SIMULADOR DWSIM

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<i>A</i>	Área de las paredes y techo
<i>Q_g</i>	Calor absorbido por la guanábana
<i>Q_m</i>	Calor absorbido por el maracuyá
<i>C_{eg1}</i>	Calor específico de la guanábana antes del punto de congelación
<i>C_{eg2}</i>	Calor específico de la guanábana debajo del punto de congelación
<i>C_{em1}</i>	Calor específico del maracuyá antes del punto de congelación
<i>C_{em2}</i>	Calor específico del maracuyá debajo del punto de congelación
<i>Q_c</i>	Calor generado por conducción en las paredes y techos
<i>Q_{cg}</i>	Calor latente de congelación de la guanábana
<i>Q_{cm}</i>	Calor latente de congelación del maracuyá
<i>Q_{co}</i>	Calor por renovación de aire
<i>Q_s</i>	Carga térmica por servicios
<i>Q_T</i>	Carga térmica total
<i>Q_T[*]</i>	Carga térmica total corregida
<i>Q_{TF}</i>	Carga térmica total de la fruta
<i>k</i>	Coefficiente de conductividad térmica
<i>D</i>	Diámetro interior
<i>Δh</i>	Diferencia de entalpía entre el aire externo e interno
<i>ΔT</i>	Diferencia de temperatura entre al aire y la temperatura de condensación
<i>ΔT_c</i>	Diferencia de temperatura interna y externa
<i>ΔT_R</i>	Diferencia de temperatura recomendada
<i>E</i>	Eficiencia de las soldaduras
<i>E_c</i>	Eficiencia del ciclo
<i>S</i>	Esfuerzo máximo permisible a tensión del material seleccionado, a la temperatura de diseño
<i>t</i>	Espesor mínimo requerido
<i>L₁</i>	Longitud entre líneas de tangencia del recipiente
<i>ma</i>	Masa de aire que entra a la cámara
<i>m_g</i>	Masa de la guanábana
<i>m_m</i>	Masa del maracuyá
<i>n</i>	Número de renovaciones de aire al día (recomendado)
<i>P</i>	Presión de diseño
<i>PO</i>	Presión de operación

L	Radio de abombado de la tapa
r	Radio de esquina o de nudillos
R	Radio interior del cilindro
T_H	Temperatura a la entrada del intercambiador de calor
T_L	Temperatura a la salida del intercambiador de calor
T_{cond}	Temperatura de condensación
T_{cg}	Temperatura de congelación de la guanábana
T_{cm}	Temperatura de congelación del maracuyá
T	Temperatura de diseño
T_{evp}	Temperatura de evaporación
T_H	temperatura externa de las paredes y techos
T_l	Temperatura interna de las paredes y techos
T_I	temperatura interna del sistema
\underline{V}	volumen específico del aire que entra a la cámara
V	volumen interno de la cámara

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo simular y diseñar un cuarto de congelación para la producción de pulpa de fruta de la empresa ASOPRUV, con la finalidad de conservar la producción de dos nuevas pulpas de fruta de guanábana y maracuyá para exportación. Durante la evaluación del sistema se encontró que el sistema de refrigeración actual funciona con amoníaco además cuenta con un compresor, un condensador y un evaporador. Con base en los cálculos realizados para establecer los parámetros de funcionamiento, se determinó que estos equipos pueden abastecer a la cámara de congelación que se va a implementar, sin embargo, es necesario diseñar un tanque de almacenamiento de refrigerante para mantener el flujo del sistema en caso de existir alguna fuga, y para vaciar el sistema en caso de mantenimiento. La simulación se realizó con DWSIM, debido a que es un software libre para aplicaciones de ingeniería química, con la finalidad de validar los datos calculados. Se determinó que las energías calculadas y simuladas varían hasta en un 13,38%, y las temperaturas varían hasta en 0,17%, siendo estas unas diferencias aceptables, los valores que se calcularon para el ciclo de refrigeración son óptimos, por lo tanto, se usaron para calcular las dimensiones del tanque de almacenamiento de amoníaco. El análisis económico indica que el proyecto es viable con un VAN de 83248,68 y un TIR de 2,3452207, analizados para periodos de un año cada uno, con una inversión inicial de 18064,6 dólares, correspondiente a los costos del tanque de almacenamiento. Se recomienda realizar capacitaciones al personal sobre el uso correcto de las cámaras de refrigeración.

Palabras clave: <CÁMARA DE CONGELACIÓN>, <SIMULADOR DWSIM>, <PULPA DE FRUTA>, <REFRIGERANTE R-717>, <DISEÑO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION ECIBCE, I=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.11.05 15:21:26 -05'00'



2043-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this work is to simulate and design a freezing room for the production of fruit pulp of the company ASOPRUV, in order to preserve the production of two new fruit pulps of soursop and passion fruit for export. During the evaluation of the system it was found that the current refrigeration system works with ammonia and also has a compressor, a condenser and an evaporator. Based on the calculation made to establish the operating parameters, it was determined that this equipment can supply the freezing chamber to be implemented; however, it is necessary to design a refrigerant storage tank to maintain the flow of the system in case of any leakage, and to empty the system in case of maintenance. The simulation was performed with DWSIM, because it is a free software for chemical engineering applications, in order to validate the calculated data. It was determined that the calculated and simulated energies vary up to 13.38%, and the temperatures vary up to 0.17%, being these acceptable differences; the values that were calculated for the refrigeration cycle are optimal; therefore, they were used to calculate the dimensions of the ammonia storage tank. The economic analysis indicates that the project is viable with an NPV of 83248.68 and IRR of 2.3452207, analysed for periods of one year each, with an initial investment of US\$1,864.6, corresponding to the costs of the storage tank. It is recommended to train the personnel on the correct use of the refrigeration chambers.

Key word: <FREEZING CHAMBER>, <DWSIM SIMULATOR>, <FRUIT PULP>, <REFRIGERANT R-717>, <REFRIGERATION SYSTEM DESIGN>



Firmado electrónicamente por:
**ANA GABRIELA
REINOSO
ESPINOSA**

Documento firmado electrónicamente

Mgs. Ana Gabriela Reinoso Espinosa
DOCENTE OCASIONAL

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La empresa ASOPRUV, nace de una idea de un grupo de agricultores que buscan comercializar productos tradicionales como la uvilla, maracuyá, guanaba, pitahaya, mora, etc. Sus inicios se dieron en los años 70, la planta procesadora se ubica en la provincia de Cotopaxi, cantón Salcedo, parroquia Panzaleo, barrio Pataín, actualmente está conformada por 10 socios activos.

ASOPRUV, ofrece productos como pulpas de frutas, mermeladas y néctares, tiene 4 trabajadores de planta, los cuales se encargan elaboración, producción y almacenamiento de dichos productos. La empresa garantiza la calidad e inocuidad de cada uno de sus productos debido a que cada uno de los procesos se los trabaja bajo la normativa ecuatoriana que establece el ARCSA en la Resolución ARCSA-DE-067-2015-GGG de buenas prácticas de manufactura.

La empresa actualmente posee las siguientes maquinarias y equipos dentro de sus instalaciones:

2 Marmitas

3 Mesas de selección de Frutas

1 Despulpadora

1 licuadora industrial

2 Esterilizadores

2 Dosificadores Volumétricos

2 Cuarto de congelación

1 Cuarto Frio

2 Selladoras

1 Laboratorio bien equipado para los diferentes análisis.

1.2. Identificación del Problema

ASOPRUV, procesa 500 pulpas diarias, 100 de 125 g, 150 de 260 g, 150 de 500 g y 150 de 1 kilo, las cuales son procesadas de acuerdo a la fruta de temporada, entre las frutas más frecuentes con las que trabaja la empresa se encuentran las pulpas de guanábana y maracuyá, el tiempo de congelación de dichas pulpas es de 24 h, quedando el cuarto de congelación repleto.

En el último periodo se incrementó la demanda, por lo que la empresa debió aumentar la producción diaria de pulpas por lo que requirió contratar un mayor número de trabajadores, al aumentar la producción diaria la empresa presentó un grave problema al momento de congelar la pulpa debido a que el espacio de congelación fue insuficiente.

La empresa requiere del diseño de un cuarto de congelación con mayor capacidad de almacenamiento.

1.3. Justificación del Proyecto

La conservación de pulpas, en cuartos de congelación es fundamental para la empresa, la cual tiene una capacidad actual de 5 toneladas distribuidos entre dos cuartos de congelación y un cuarto frío, para el almacenamiento de las mismas.

Al simular y diseñar un cuarto de congelación se contribuirá en la reducción en gran medida al problema que actualmente se identificó en la empresa, esto servirá de guía para la construcción del nuevo cuarto de congelación para la empresa. La simulación del sistema servirá de base para verificar que los parámetros se ajustan con los cambios que requiere la empresa, y de esta forma se ahorraría tiempo y recursos en el diseño.

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos del presente Trabajo de Integración Curricular son los socios de la empresa ASOPRUV, mismos que podrán sacar el máximo provecho de la simulación y diseño del cuarto de congelación.

1.4.2. Beneficiarios indirectos

El beneficiario indirecto se considera a los consumidores de la pulpa de fruta y los profesionales que emplean el diseño y simulación de cuartos de congelación en su área de conocimiento.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Simular y diseñar un cuarto de congelación para la producción de pulpa de fruta de la empresa ASOPRUV.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diagnóstico actual de los sistemas de congelación del proceso productivo de la empresa ASOPRUV.
- Determinar las variables para del diseño y simulación del cuarto de congelación.
- Diseñar el proceso y equipos de la nueva cámara de congelación para la empresa ASOPRUV.
- Simular el ciclo de refrigeración del cuarto de congelación.

1.6. Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad realizar la simulación, el diseño y el análisis económico de un nuevo cuarto de congelación para la empresa ASOPRUV del cantón Salcedo, la cual se dedicada a la elaboración y distribución de pulpa de fruta y otros productos derivados. En este espacio se pronostica el almacenaje de 5000 kg de pulpa de guanábana y maracuyá, que se suman a la lista de productos ofertados por la empresa.

Para realizar el diseño se considera un ciclo de refrigeración de 4 tiempos, con amoníaco como refrigerante, debido a que cumple los estándares medioambientales vigentes en el país. Los datos obtenidos de temperatura, presión y de las distintas energías requeridas, son usadas para calcular las medidas de los componentes físicos del cuarto de congelación. Mientras que la simulación se realiza en el sistema DWSIM, dirigido a procesos químicos, con la finalidad de verificar la funcionalidad del diseño antes de que la empresa decida su implementación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pulpa de fruta

2.1.1. Generalidades de la pulpa de fruta

De acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) de 2008, a la pulpa de fruta se la puede definir como: “El producto carnosos y comestible de la fruta sin fermentar, pero susceptible de fermentación, obtenido por procesos tecnológicos adecuados” (NTE INEN 2337, 2008). Por ende, para obtener la pulpa del fruto, se deben realizar varias operaciones como la extracción, además se requiere eliminar del proceso la fermentación para ello se aplica técnicas de conservación como la refrigeración.

Dentro de las características principales de la pulpa de fruta está su aporte nutricional, como vitaminas, minerales, enzimas, carbohidratos, además está constituida de un 70 a 95% de agua. De acuerdo a la variedad de la fruta, la pulpa se puede valorar según sus características organolépticas, fisicoquímicas, grados brix, acidez, índices de madurez y el rendimiento con respecto al peso inicial de la fruta (Vásquez, 2014, pp. 2).

2.1.1.1. Pulpa de guanábana

Annona muricata, conocida popularmente como guanábana, es un árbol pequeño, erguido y de hoja perenne que puede crecer hasta unos 9 metros de altura de forma elíptica y de olor desagradable (Leiva González, 2018, pp. 3). El fruto es de color verde oscuro con espinas en su superficie, de forma ovoide, acorazonada o irregular, que pueden llegar a medir hasta 30 centímetros de largo, de textura moderadamente firme, su pulpa es color blanquecino jugosa, de aroma leve y de sabor agradable (Leiva González, 2018, pp. 3).

Características del producto:

Marca: ASOPRUV

Países de Venta: Ecuador y Estados Unidos

Tabla 2–1: Información Nutricional de la pulpa de Guanábana

Descripción	Unidades
Tamaño de la porción	85 g
Porciones por envase	Aproximadamente 6
Cantidad por porción	
Energía	30 cal
Energía de la grasa	0 cal
% Valor Diario	
Grasa total	0 %
Ácidos grasos saturados	0%
Ácidos grasos trans	0%
Colesterol	0 %
Sodio	0 %
Carbohidratos totales	2 %
Fibra dietética	0 %
Azúcares	
Proteína	0 %
Los porcentajes de valores diarios están basados en una dieta de 2000 calorías	

Fuente: ASOPRUV.

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

2.1.1.2. Pulpa de maracuyá

Passiflora edulis, usualmente conocida como maracuyá, es una especie de vid de pasiflora, presenta hojas de forma dentada, que llegan a medir entre 7 a 20 cm de longitud. Su fruto es una baya de forma redonda o elíptica, el color del fruto al llegar a la madurez varia puede ser morado o amarillo. La pulpa tiene una consistencia gelatinosa con pequeñas semillas de color oscuro, es de sabor ácido y aromática (Davidson, 2019, pp. 597). En ASOPRUV se procesa el maracuyá que proviene de la costa ecuatoriana, región originaria de esta fruta.

Características del producto

Marca: ASOPRUV

Países de Venta: Ecuador y Estados Unidos

Tabla 2–2: Información Nutricional de la pulpa de Maracuyá

Descripción	Unidades
Tamaño de la porción	85 g
Porciones por envase	Aproximadamente 6
Cantidad por porción	
Energía	30 cal
Energía de la grasa	0 cal
% Valor Diario	
Grasa total	0 %
Ácidos grasos saturados	0%
Ácidos grasos trans	0%
Colesterol	0 %
Sodio	0 %
Carbohidratos totales	2 %
Fibra dietética	0 %
Azúcares	
Proteína	0 %
Los porcentajes de valores diarios están basados en una dieta de 2000 calorías	

Fuente: ASOPRUV.

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

2.1.2 Proceso de obtención de la pulpa de fruta

Para obtener la pulpa de fruta, tanto de la guanábana como del maracuyá, se realiza el proceso descrito a continuación, y se resume en la Figura 2-1:

Recepción y preselección de la fruta: La fruta que llega a la planta es seleccionada para evitar las unidades dañadas.

Lavado de la fruta: Se lava la fruta con agua corriente para deshacerse de las impurezas.

Escaldado: Se realiza una inmersión de la fruta en agua caliente durante 5 o 10 minutos para facilitar el despulpado.

Despulpado: Se separa la pulpa de la piel de la fruta.

Enfriado: Se reserva la fruta para que se pueda enfriar antes de empacar.

Empacado: La pulpa obtenida se empaca según el peso indicado.

Congelado: La pulpa empacada se congela en la cámara de refrigeración.

Almacenamiento final: Se almacena la pulpa dentro de la cámara de refrigeración para evitar su deterioro.

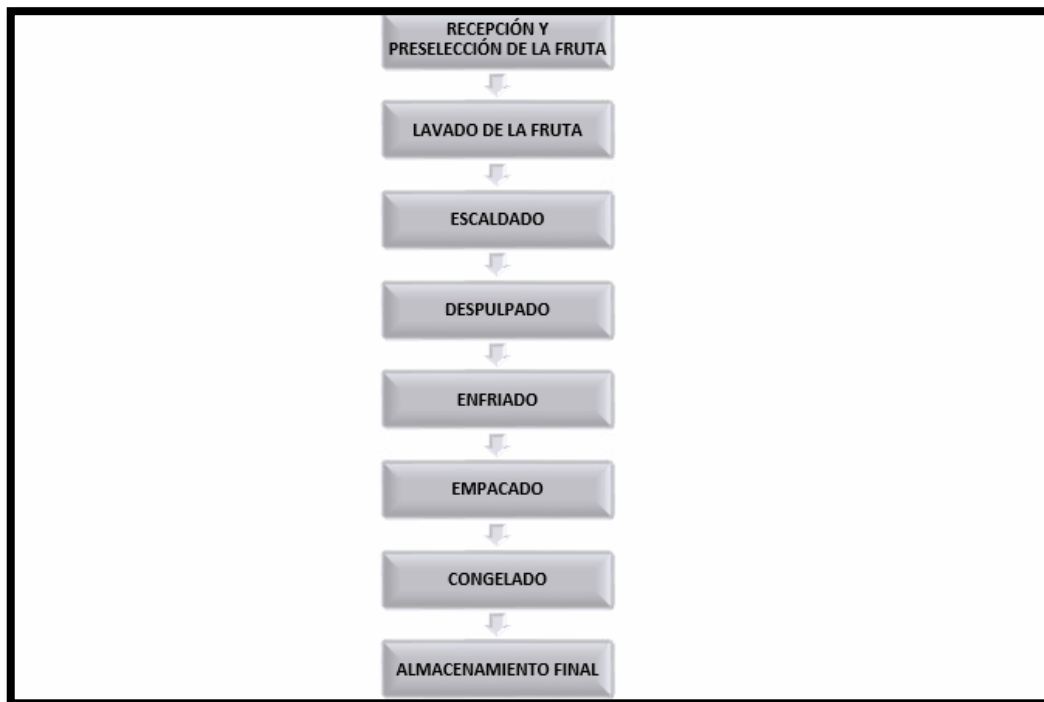


Figura 2-1: Proceso de obtención de la pulpa de fruta

Fuente: ASOPRUV.

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

2.2. Congelación

La congelación permite mantener los alimentos por periodos de tiempos más extensos, debido a que ralentiza el crecimiento de los agentes responsables del deterioro, sin dañar los aspectos nutricionales, químicos y físicos como por ejemplo la apariencia, olor y sabor. Se debe tomar en cuenta que congelación por sí sola no puede mejorar la calidad de los productos, pero es considerado como el mejor método de conservación, por ende, antes de congelar las frutas se las debe someter a una serie de tratamientos previos como limpieza, lavado, clasificación, pelar, escaldar, enfriar y tal vez empaquetar (Dincer y Kanoglu, 2017, pp. 340).

La congelación es uno de los procesos de refrigeración, donde se reduce la temperatura de los productos alimenticios por debajo de su punto de congelación, para optimizar este proceso se debe realizar una congelación rápida, donde el contenido de agua del producto se cambia a hielo y la temperatura interna del producto se reduce a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos para el almacenamiento. Al bajar la temperatura de los productos alimenticios, las actividades químicas y microbiológicas se disminuyen o se eliminan, lo que prolonga la vida útil de los productos (Dincer y Kanoglu, 2017, pp. 340).

El contenido de agua de los productos alimenticios es un factor que se debe considerar al momento de congelar dichos productos, si el rango del contenido esta entre el 50% y el 95% (Dincer y Kanoglu, 2017, pp. 282).

En las frutas las enzimas pueden causar pardeamiento y pérdida de vitamina C, por lo que en la congelación se la controla mediante el manejo de compuestos químicos, generalmente en la industria de los alimentos emplean el ácido ascórbico en su forma pura o en mezclas comerciales de ácido ascórbico y otros compuestos (Berk, 2009, pp. 116).

2.2.1. Tiempos de congelación

Los tiempos de congelación son uno de los parámetros más importantes en el proceso de congelación, se lo define como el tiempo requerido para bajar la temperatura del producto desde su temperatura inicial hasta una temperatura dada en su centro térmico. Debido que la distribución de temperatura dentro del producto varía durante el proceso de congelación, habitualmente se toma como referencia el centro térmico. Por ende, cuando el centro geométrico del producto alcanza la temperatura final dada, esto asegura que la temperatura promedio del producto se haya disminuido a la temperatura de almacenamiento (Arias et al., 2019, pp. 3). Para el tiempo de congelación se debe verificar varios parámetros de los cuales se pueden detallar los más importante como:

- Temperaturas del producto inicial y final y cambios en la entalpía
- Temperatura y velocidad del flujo de aire del medio de congelación
- Propiedades físicas del producto
- Propiedades térmicas del producto

Modelo de Pham

Pham amplió la fórmula de Plank y afirmó que el tiempo total de congelación consta de tres etapas: precongelación, cambio de fase y almacenamiento o subenfriamiento dado de la siguiente manera en la ecuación 2-1:

Precongelación:

$$t_1 = \frac{C_1 V (T_i - T_m)}{A h T_{ml}} + \left(1 + \frac{Bi_1}{6}\right)$$

Ecuación 2-1: Modelo de Pham

Donde

$$Bi_1 = h y \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_i - T_a) - (T_m - T_a)}{\ln \frac{(T_i - T_a)}{(T_m - T_a)}}$$

$$T_m = T_b - 1.5$$

t_1 = Periodo de tiempo de pre-congelación (s)

C_1 = Capacidad calorífica volumétrica antes de la pre-congelación $\left(\frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C}\right)$

T_i = Temperatura inicial del producto ($^\circ C$)

T_m = Temperatura media del rango de congelación ($^\circ C$)

V = Volumen del producto (m^3)

Bi_1 = número de Biot antes de congelar

A = Área de superficie (m^2)

h = Coeficiente de transferencia de calor de la superficie $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$

y = Mitad del espesor de la losa y el radio del cilindro y la esfera (m)

k_1 = Constante de conductividad del producto antes de la congelación $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)$

k_2 = Constante de conductividad térmica del producto en su estado completamente congelado $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)$

ΔT_{ml} = Temperatura media logarítmica en la diferencia de la pre congelación ($^\circ C$)

T_b = Temperatura evaluada al inicio de congelación ($^\circ C$)

Cambio de fase

$$t_2 = \frac{H_2 V}{Ah(T_b - T_a)} + \left(1 + \frac{Bi_2}{4}\right)$$

$$Bi_2 = \frac{hy}{k_2}$$

t_2 = Tiempo de congelación en el cambio de fase

Bi_2 = Número de Biot en el estado completamente congelado

H_2 = Cambio de entalpía volumétrica

T_b = Temperatura final del cambio de fase

Almacenamiento

$$t_3 = \frac{C_2 V (T_m - T_{fp})}{Ah T_{m3}} + \left(1 + \frac{Bi_2}{6}\right)$$

$$T_{cf} = T_c - (T_c - T_a) \left(2 - \frac{4}{Bi_2} \right)$$

$$\Delta T_{m3} = \frac{(T_m - T_a) - (T_{cf} - T_a)}{\ln \frac{(T_m - T_a)}{(T_c - T_a)}}$$

t_3 = Tiempo de congelación en el almacenamiento (s)

C_2 = Capacidad calorífica volumétrica en el estado completamente congelado $\left(\frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C} \right)$

ΔT_{m3} = Diferencia de temperatura media logarítmica para el almacenamiento ($^\circ C$)

2.2.2. Fin de la congelación

Esta etapa indica la solidificación total del producto, a partir de este punto, la temperatura de la pulpa va a disminuir hasta la temperatura asignada en el sistema. Están involucrados el calor latente de congelación, que mantiene la temperatura del sistema hasta que hay un cambio de fase dentro de todo el producto. Y el calor sensible que aumenta la temperatura del producto después del cambio de fase (Dincer & Kanoglu, 2017, pp. 10).

2.2.3. Cinética del proceso de congelación

El proceso de congelación debe ser relativamente rápido para evitar el desarrollo de organismos microbiológicos y cambios enzimáticos en el producto alimenticio, se debe entender que la velocidad de congelación no afecta la calidad de la mayoría de los alimentos congelados (Gopala, 2015, pp. 77).

Cabe recalcar que en los alimentos se dan una serie de reacciones químicas, bioquímicas y microbiológicas que pueden causar el deterioro de los mismos. Las velocidades de estas reacciones dependen de factores internos (composicionales) y externos. (Factores medioambientales). Es fundamental conocer la rapidez de estas reacciones de deterioro para poder controlarlas, siendo necesario un análisis cualitativo de la cinética del deterioro de los alimentos. Un indicativo de deterioro medible es necesario para el análisis cuantitativo de reacciones de deterioro, este puede ser una medida química, física o sensorial y estas deben expresarse en función de las condiciones existentes durante el procesamiento y almacenamiento para que los cambios se puedan predecir o simular (Berk, 2009, pp. 351).

2.2.4. Secuencia de congelación de un alimento

Primera fase (pre-enfriamiento): Empieza al enfriar la temperatura inicial del producto hasta la temperatura donde comienza la congelación, sin producir un cambio de fase.

Segunda Fase (cambio de fase): En esta fase aparece la formación de hielo y se desarrolla desde el punto de congelación inicial hasta una temperatura media de unos 5 ° C más fría en el centro del producto. La mayor parte del agua congelable se convierte en hielo y esta pequeña reducción de la temperatura se logra mediante un cambio de entalpia.

Tercera Fase (Etapa de revenido): Este es un período de enfriamiento hasta la temperatura máxima de almacenamiento.

2.3. Ciclo de refrigeración por compresión

En termodinámica, la refrigeración se la lleva a cabo por diferentes procesos. Se utilizan comercialmente tres efectos termodinámicos diferentes para producir refrigeración: el ciclo de compresión de vapor, el ciclo de absorción y el Efecto Peltier. El principio básico del tipo más frecuente de refrigeración mecánica es un proceso termodinámico cíclico conocido como ciclo de Rankine o un ciclo de compresión de vapor. El ciclo inverso de Rankine consta de cuatro secciones:

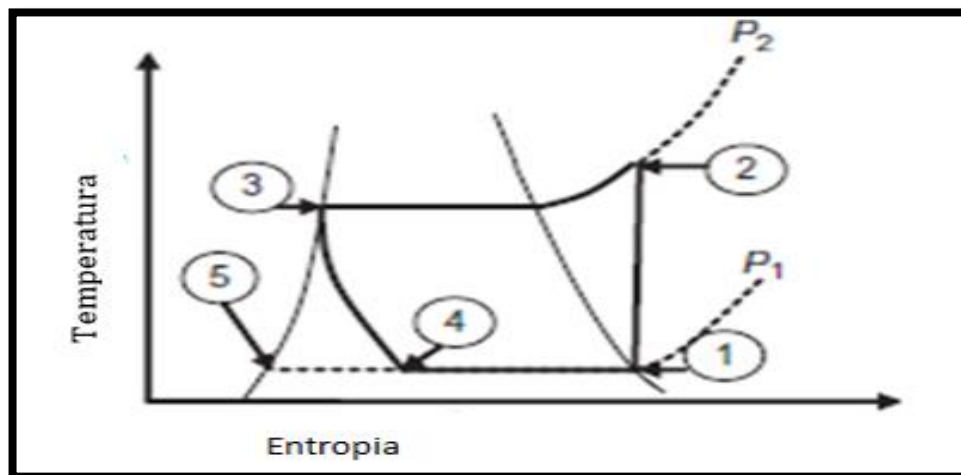


Figura 2-3: Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Fuente: (Berk, 2009)

Según Berk (2009) existen los siguientes pasos:

Punto 1: Compresión: El vapor ingresa a la presión P_1 (punto 1) se comprime hasta la presión P_2 (punto 2). Idealmente, isentrópico (adiabático y reversible) se supone compresión. Se suministra trabajo mecánico al compresor.

Punto 2: Condensación: El vapor comprimido se enfría hasta que esté completamente condensado como un líquido saturado (punto 3). Idealmente, se supone que el enfriamiento requiere colocar a presión constante. El calor eliminado del vapor condensado es transferido a un medio de enfriamiento como aire o agua. Físicamente, este paso lleva colocar en un intercambiador de calor que sirva de condensador.

Punto 3: Expansión: La presión del líquido se libera mediante un estrangulamiento elemento (por ejemplo, una válvula de expansión), hasta la presión P1 (punto 4). El estrangulamiento se supone que el proceso es isentálpico y no implica ningún intercambio de energía. El punto 4 representa una mezcla de vapor saturado (punto 1) y líquido saturado (Punto 5).

Punto 4: Evaporación: el calor se transfiere a la mezcla de líquido y vapor hasta que el líquido se evapora (de regreso al punto 1). Este es el paso del ciclo donde se genera refrigeración útil. Físicamente, este paso ocurre en un intercambiador de calor conocido como el evaporador o difusor.

2.4. Cargas térmicas asociadas al diseño de la cámara de congelación

Para calcular los parámetros de las cargas térmicas del diseño de la cámara de congelación, se toma en cuenta la cantidad de calor producido desde todas las fuentes de emisión posible, entre las cuales tenemos las siguientes: el calor de transmisión, el calor de infiltración, el calor de los productos, otras fuentes de calor y el calor desconocido e inesperado para el cálculo de la carga de enfriamiento (Akdemir, 2008, pp. 789).

Calor de Transmisión (Q_1): Es el primer elemento de la carga térmica que ingresa a la habitación por transferencia de calor a través de paredes, techo y piso (Akdemir, 2008, pp. 789). La ecuación que se la puede aplicar para calcularlo es la ecuación 2-1:

$$Q_1 = UAdt$$

Ecuación 2-2: Calor de transmisión

Donde

Q_1 = Carga de Calor, W

U = Coeficiente de transferencia de calor $\frac{W}{m^2K}$

A = Superficie exterior aislada m^2

$dt = t_0 - t_i$

t_0 = Temperatura exterior K

t_i = Temperatura interior K

Calor de infiltración (Q_2): Se lo puede definir como la filtración de aire del valor obtenido por la entrada del aire con mayor entalpía dentro del cuarto de congelación. Sin embargo, la cantidad de entrada de aire depende del producto almacenado y varía de uno a cinco veces el volumen total de la habitación por 24 h. Esta carga de calor se puede determinar empleando la ecuación 2-3 (Akdemir, 2008, pp. 789):

$$Q_2 = mdh$$

Ecuación 2-3: Calor de infiltración

Donde

Q_2 = Calor de infiltración (W)

m = Caudal másico de entrada de aire

dh = Diferencia de entalpía entre el aire exterior y el aire en condiciones de almacenamiento en frío.

El valor de Q_2 resulta ser muy pequeña por lo que se puede asumir el 10% de la carga térmica total, un factor que puede afectar a esta carga, son si las puertas son manuales o automáticas; ya que se pueden emplear cortinas de tiras de plástico o una cortina de aire (Gopala, 2015, pp. 400).

Carga de Humedad (Q_3): Existen diferentes maneras de ingresar la humedad al cuarto de congelación antes de que lleguen al serpentín del evaporador que pueden estar definidos por:

Fuga de aire a través del aislamiento

Entrada de humedad como resultado de la difusión del vapor de agua a través del aislamiento y la barrera de vapor.

Entrada de humedad como contenido de vapor de agua del aire de infiltración. Esta cantidad es significativa suficiente para ser incluido en el cálculo de la carga térmica.

Humedad proveniente de los productos almacenados para el cual definirá mediante a ecuación 2-4

$$Q_3 = m\Delta w = 333.4$$

Ecuación 2-4: Carga por humedad

Donde se puede asumir el 333,4 que es el calor latente de vaporización de vapor de agua a la presión interior del almacenamiento en frío.

Carga del producto (Q_4): Al mantener el producto almacenado se debe considerar la carga del producto donde se toman en consideración los siguientes ítems, además se aplica la ecuación 2-5 (Gopala, 2015, pp. 407):

- Calor sensible, cuando solo hay que bajar la temperatura del producto almacenado

- Calor latente, cuando se produce la cristalización o congelación

Para calcular la energía térmica a extraer de los productos durante el enfriamiento o incluso congelación, necesitamos saber:

Masa m (kg)

- Calor específico por encima del punto de congelación c_1
- Calor específico por debajo del punto de congelación c_2
- Calor de solidificación, calor de cristalización o al menos el contenido de agua del producto, de modo que podemos calcular el calor de solidificación del contenido de agua del producto, sabiendo que el: El calor de solidificación del agua es de 333 kJ / kg.
- La temperatura inicial del producto t_1 cuando se lleva a la tienda.
- El punto de congelación del producto t_f
- La temperatura final del producto t_2

$$Q_4 = m(c_1(t_1 - t_f) + (x * 333) + c_2(t_2 - t_f))$$

Ecuación 2-5: Carga del producto

Otras cargas de calor Q_5 : Se debe tomar en cuenta las otras fuentes que adicionan energía térmica a la cámara frigorífica por ejemplo (Akdemir, 2008, pp. 790):

- Personas
- Motores eléctricos, como los de los ventiladores del enfriador de aire o los ventiladores secundarios, o motores en producción.
- Equipo que se encuentra en salas de corte o empaque
- Luces eléctricas cuya fuente implica pequeñas cantidades de energía ya que una persona da sólo unos 350 W; y la fuente (b) solo se puede estimar al inicio del cálculo porque en ese momento los ventiladores aún no han estado en funcionamiento. Asume un valor basado sobre 0,145 W / m³ de volumen de cámara frigorífica. La fuente (c) depende de la intensidad de la iluminación, estas cargas se pueden aproximar el 2% de la carga de calor total proviene de estas tres fuentes (Gopala, 2015, pp. 404).

2.4.1. Factores dependientes del producto a congelar

2.4.1.1 Calor sensible de la fruta a congelar:

Se lo puede definir como el intercambio de calor de un cuerpo o un sistema termodinámico donde únicamente cambia la temperatura del sistema sin afectar otras variables como por ejemplo el volumen o la presión (Merriam- Webster).

$$Q_{sensible} = mc\Delta T$$

Ecuación 2-6: Calor sensible de la fruta

Donde:

m = masa de la fruta

c = Capacidad calorífica específica

ΔT = Cambio de temperatura

2.4.1.2 Calor latente de congelación de toda la mercadería

Es la energía liberada o absorbida, por un cuerpo o un sistema termodinámico cuando cambia de estado, por ejemplo, de un líquido a un gas, mientras que la temperatura de la sustancia permanece constante (Yunus, 2008, pp. 116).

2.4.2. Factor de seguridad

Se lo emplea como medida de seguridad para que el diseño de la cámara de congelación funcione correctamente con cargas más allá de lo planificadas, y no existas fallos en el sistema por fatiga de los materiales cuando se exponen a la carga térmica extrema (Ruthervan, 2015, pp. 2). Suele considerarse como el 15% de Q_1 , es decir que el sistema puede soportar una carga extra pero no es recomendable sobrepasar la carga para la que fue diseñada (Gopala, 2015, pp. 399).

2.4.3. Cálculo del tonelaje

Este cálculo se realiza con la finalidad de conocer la cantidad de producto que se puede almacenar en la cámara, a partir de las cargas térmicas calculadas. Es importante definir el valor límite de operación del sistema para evitar un futuro daño debido a una sobrecarga (Dincer & Kanoglu, 2017, pp. 173). Este valor depende del calor necesario para llegar a su punto de congelación y a la temperatura de almacenamiento.

2.5. Sistemas de enfriamiento por amoníaco

2.5.1. Amoníaco

El amoníaco es un compuesto binario formado por un átomo de nitrógeno y tres de hidrógeno, la suma de estos componentes da un peso molecular aproximado de 17 g/mol . Tiene una densidad de 0.89 g/cm^3 en condiciones normales, es menor que la del agua, y a esta misma temperatura es un gas. Su punto de ebullición es a -33.34°C , esta es la principal razón por la que es usado como refrigerante en este tipo de aplicaciones. A diferencia de los hidroclorofluorocarbonos

(HCHC), el amoníaco es menos contaminante, y uso ha crecido con el tiempo (Dincer & Kanoglu, 2017, pp. 92).

2.6. Componentes del sistema de refrigeración

2.6.1. Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento de amoníaco estará ubicado entre el compresor y el evaporador, tomando en cuenta que desde este tanque sale la corriente de alimentación hacia el compresor, y la corriente que sale del evaporador deberá ir hacia el tanque de almacenamiento cuando se requiera realizar un mantenimiento en cualquier punto del sistema. Además de esto, la función del tanque es proveer de refrigerante cuando haya fugas en el sistema o producto del mantenimiento.

2.6.2. Evaporador

La función del evaporador es vaporizar un líquido y de esta forma elimina el calor de un elemento deseado. ASOPRUV cuenta con un sistema de evaporación que inicia cuando el refrigerante líquido ingresa al tanque y es transportado hacia las placas de enfriamiento donde entra en contacto con el aire para obtener una mezcla de líquido-vapor que es regresado al tanque y el gas resultante entrará al sistema de compresión.

2.6.3. Compreso

El compresor es el equipo encargado de elevar la presión del gas, y como resultado se tiene la reducción del volumen específico y el aumento de la temperatura del gas. En la empresa se utiliza un compresor de tipo recíprocante de desplazamiento positivo, y que suele ser bastante utilizado en la industria. La ventaja de este equipo es que se adapta para refrigerantes donde los desplazamientos son relativamente pequeños y las presiones condensantes son relativamente altas, el refrigerante que se lo emplea es amoníaco (Dincer & Kanoglu, 2017, pp. 341).

2.6.4. Condensador

El condensador es un equipo de transferencia de calor como el evaporador, con la diferencia de que su función está en cambiar el estado del refrigerante de gas a líquido, cuando el calor del gas refrigerante pasa a través de los tubos del condensador, se tiene como resultado de la pérdida de

calor hacia el ambiente. El vapor es enfriado hasta la saturación y después es condensado hasta su estado líquido (Dincer & Kanoglu, 2017, pp. 341).

2.6.5. Tuberías y Válvulas

Las tuberías son los accesorios que complementan cualquier sistema y sirven de conexión entre Los equipos. Su principal función es transportar la materia de una etapa hacia otra. Deben tener características resistentes a la corrosión por el material que va a ser transportado, se debe tomar en cuenta, también, las temperaturas y presiones de trabajo. Por otro, lado las válvulas son elementos que sirven para detener o dar paso a las corrientes que atraviesan las tuberías, son útiles en caso de una emergencia o el paro por mantenimiento de los sistemas (Código ASME Sección VIII División 1, 2007, pp. 232).

2.7. DWSIM

Es un simulador de procesos químicos de libre acceso, y tiene una interfaz gráfica fácil de usar. Cuenta con varios paquetes termodinámicos según la aplicación que se desarrolle, además de las múltiples operaciones unitarias, tanto en estado estable como en estado dinámico, y dispone de varios compuestos químicos, además de que se pueden introducir nuevos componentes con propiedades diferentes a las que están disponibles en el propio software (Wagner, 2019).

2.7.1. Ventajas y desventajas

Actualmente, existen varios softwares comerciales para este tipo de aplicaciones, tales como Aspen Plus, o Aspen Hysys, sin embargo, es costoso obtener y mantener una licencia válida, por otro lado, los softwares de acceso libre como COCO simulator no son lo suficientemente robustos para este tipo de aplicaciones. Se ha comprobado que DWSIM puede realizar tareas similares a la de un software comercial, con la gran ventaja de que es de acceso libre, aunque en varios trabajos se reporta una eficiencia más baja que un software como Aspen Plus (Tangsiwong et al., 2020, pp. 2).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3.1 Cálculos de la carga térmica

El objetivo es realizar el balance de energía en el sistema de refrigeración de 4 tiempos con amoníaco como refrigerante. Hay que considerar que se pretende almacenar 2500 kg de pulpa de guanábana y 2500kg de pulpa de maracuyá, cada mes en este nuevo cuarto frío. Y todos los datos se los tomó de la planta de producción de pulpa.

3.1.1. Carga térmica de la fruta

La carga térmica de cada tipo de fruta está formada por tres componentes: el calor sensible desde la temperatura ambiente hasta su punto de congelación, el calor latente utilizado para congelar el 100% de la fruta, y otro calor sensible para pasar desde el punto de congelación hasta la temperatura de almacenamiento.

- Carga térmica de la guanábana

$$Q_g = m_g \times [C_{e_{g1}} \times (T_{cg} - T_H) + Q_{cg} + C_{e_{g2}} \times (T_L - T_{cg})]$$

Donde:

Q_g : calor absorbido por la guanábana

m_g : masa de la guanábana

$C_{e_{g1}}$: calor específico de la guanábana antes del punto de congelación

T_{cg} : temperatura de congelación de la guanábana

T_H : temperatura a la entrada del intercambiador de calor

Q_{cg} : calor latente de congelación de la guanábana

$C_{e_{g2}}$: calor específico de la guanábana debajo del punto de congelación

T_L : temperatura a la salida del intercambiador de calor

Se requiere almacenar 2500 kg por mes de pulpa de guanábana, considerando 20 días laborables al mes, se tendría 125 kg de pulpa al día y 5.21 kg de pulpa por hora, entonces:

$$Q_g = 5.21 \text{ kg/h} \times [(3.61 \text{ kJ/kgK})(255 - 293)K + (435.43 \text{ kJ/kg}) + (1.81 \text{ kJ/kgK})(248 - 255)K]$$

$$Q_g = 1487.87 \text{ kJ/h}$$

- Carga térmica del maracuyá

$$Q_m = m_m \times [C_{e_{m1}} \times (T_{cm} - T_H) + Q_{cm} + C_{e_{m2}} \times (T_L - T_{cm})]$$

Donde:

Q_m : calor absorbido por el maracuyá

m_m : masa del maracuyá

$C_{e_{m1}}$: calor específico del maracuyá antes del punto de congelación

T_{cm} : temperatura de congelación del maracuyá

T_H : temperatura a la entrada del intercambiador de calor

Q_{cm} : calor latente de congelación del maracuyá

$C_{e_{m2}}$: calor específico del maracuyá debajo del punto de congelación

T_L : temperatura a la salida del intercambiador de calor

Se requiere almacenar 2500 kg por mes de pulpa de maracuyá, considerando 20 días laborables al mes, se tendría 125 kg de pulpa al día y 5.21 kg de pulpa por hora, entonces:

$$Q_m = 5.21 \text{ kg/h} \times [(3.65 \text{ kJ/kgK})(257.78 - 293) \text{ K} + (297.6 \text{ kJ/kg}) + (1.89 \text{ kJ/kgK})(248 - 257.78) \text{ K}]$$

$$Q_m = 784.43 \text{ kJ/h}$$

- Flujo de calor total para la fruta

$$Q_{TF} = Q_g + Q_m$$

Donde:

Q_{TF} : carga térmica total de la fruta

Q_g : calor absorbido por la guanábana

Q_m : calor absorbido por el maracuyá

$$Q_{TF} = 1487.87 \text{ kW} + 784.43 \text{ kJ}$$

$$Q_{TF} = 2272.3 \text{ kJ/h}$$

3.1.2. Flujo de calor por conducción en las paredes y techos de la cámara

Es importante considerar el calor que se puede perder por las paredes y techos de la cámara de refrigeración, para esto se realiza el cálculo del calor perdido por conducción. Las dimensiones de la cámara están dadas por los requerimientos de la administración de la planta procesadora.

$$Q_c = A \times k \times \Delta T_c$$

Donde:

Q_c : calor generado por conducción en las paredes y techos

A : área de las paredes y techo

k : coeficiente de conductividad térmica

ΔT_c : diferencia de temperatura interna y externa

$$\Delta T_c = T_H - T_L$$

Donde:

ΔT_c : diferencia de temperatura interna y externa

T_H : temperatura externa de las paredes y techos

T_L : temperatura interna de las paredes y techos

$$\therefore Q_c = A \times k \times (T_H - T_L)$$

Dimensiones de las paredes del cuarto frío según el espacio dentro de la planta

Paredes:

Largo: 5 m

Alto: 3 m

Profundidad: 5 m

Ancho de las paredes: 120 mm = 0.12 m

Área de las paredes: $4(5m)(3m) = 60m^2$

Áreas del techo: $5m \times 5m = 25m^2$

$$A = 60m^2 + 25m^2 = 85m^2$$

$$k = 0.14W/m^2K$$

$$Q_c = (85m^2)(0.14W/m^2K)(3600s/h)(293 - 248)K$$

$$Q_c = 1927800J/h = 1927.8kJ/h$$

3.1.3 Pérdida por convección dentro de la cámara

La cámara se diseña con el objetivo de almacenar pulpa de fruta que luego será exportada, por lo tanto, el personal estará entrando y saliendo de la cámara continuamente, lo que conlleva que entre calor a la cámara por medio de la renovación de aire por estas operaciones.

$$Q_{co} = n \times ma \times \Delta h$$

Donde:

Q_{co} : calor por renovación de aire

n : número de renovaciones de aire al día (recomendado)

ma : masa de aire que entra a la cámara

Δh : diferencia de entalpía entre el aire externo e interno

$$ma = V/\underline{V}$$

Donde:

V : volumen interno de la cámara

\underline{V} : volumen específico del aire que entra a la cámara

$$\therefore Q_{co} = n \times (V/\underline{V}) \times \Delta h$$

De la carta psicrométrica del aire se obtienen que a 20°C (temperatura ambiente) y humedad de Salcedo del 60%, el volumen específico es 0.85m³/kg y entalpía de 58kJ/kg.

De los valores sugeridos para n a partir del volumen total del cuarto se tiene:

$$V = \text{largo} \times \text{alto} \times \text{profundidad} = 5m \times 3m \times 5m = 75m^3$$

$$n = 8.07/24h$$

$$Q_{co} = 8.07/24h \times \left(\frac{75m^3}{0.85m^3/kg} \right) \times 58kJ/kg$$

$$Q_{co} = 1720.81kJ/h$$

3.1.4. Carga térmica por servicios

Hace referencia a intercambios de calor por la iluminación, personas que ingresan, recipientes, etc. Se recomienda en valores de entre 10 y 25% de las pérdidas por transmisión, en este caso se establece una pérdida del 20%.

$$Q_s = 0.2(Q_{F_T} + Q_c)$$

Donde:

Q_s : carga térmica por servicios

Q_{F_T} : carga térmica total de la fruta

Q_c : calor generado por conducción en las paredes y techos

$$Q_s = 0.2(2272.3 + 1927.8)kJ/h$$

$$Q_s = 840.02kJ/h$$

3.1.5. Carga térmica total

Se suman todas las cargas que participan en el proceso de congelación dentro de la cámara.

$$Q_T = Q_{TF} + Q_c + Q_{co} + Q_s$$

Donde:

Q_T : carga térmica total

Q_{TF} : carga térmica total de la fruta

Q_c : calor generado por conducción en las paredes y techos

Q_{co} : calor por renovación de aire

Q_s : carga térmica por servicios

$$Q_T = (2272.3 + 1927.8 + 1720.81 + 840.02)kJ/h$$

$$Q_T = 6760.93kJ/h$$

3.1.6. Factor de seguridad

Se calcula para una carga adicional que considera los posibles errores en las consideraciones anteriores. Se estima un factor del 10% adicional de la carga total estimada:

$$Q_{T*} = 1.1Q_T$$

Donde:

Q_{T*} : carga térmica total corregida

Q_T : carga térmica total

$$Q_{T*} = 1.1(6760.93kJ/h)$$

$$Q_{T*} = 74370.23kJ/h = 20.658kW = 206580BTU/h$$

3.1.7. Tonelaje

$$TR = \frac{Q_{T*}}{3.517kW}$$

$$TR = \frac{20.658kW}{3.517kW}$$

$$TR = 5.87 \approx 6 \text{ Toneladas de Refrigeración}$$

3.2. Cálculo del ciclo de refrigeración

Temperatura de condensación

$$T_{cond} = T_H + \Delta T$$

Donde:

T_{cond} : temperatura de condensación

T_H : temperatura a la entrada del intercambiador de calor

ΔT : diferencia de temperatura entre al aire y la temperatura de condensación

Se recomienda una diferencia de temperatura de entre 11 y 15°C para condensadores enfriados por aire como en este caso.

$$\Delta T = \frac{(11 + 15)^\circ\text{C}}{2}$$

$$\Delta T = 13^\circ\text{C}$$

$$T_{cond} = (20 + 13)^\circ\text{C}$$

$$T_{cond} = 33^\circ\text{C}$$

Temperatura de evaporación

El evaporador es un intercambiador de calor, para este tipo de aplicaciones es común usar un intercambiador de tubos. Teniendo en cuenta que el refrigerante es un gas. En este caso la diferencia recomendada entre la temperatura de evaporador y el medio que se va a enfriar es de 5°C.

$$T_{evap} = T_L - \Delta T_R$$

Donde:

T_{evap} : temperatura de evaporación

T_L : temperatura interna del sistema

ΔT_R : diferencia de temperatura recomendada

$$T_{evap} = (-25 - 5)^\circ\text{C}$$

$$T_{evap} = -30^\circ\text{C}$$

Punto 1

Para determinar las condiciones en el punto 1 (entrada al compresor), se toma de la tabla de propiedades para el refrigerante R-717, para este caso, los valores de entalpía, entropía y volumen específico a -30°C que entra en forma de vapor.

$$T_1 = T_{evap} = -30^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 119.43\text{kPa}$$

$$h_1 = 1566.5\text{kJ/kg}$$

$$s_1 = 6.5367\text{kJ/kgK}$$

$$\underline{V}_1 = 0.964\text{m}^3/\text{kg}$$

Punto 2

De 1 a 2 es un proceso isentrópico, con lo que a partir de $s_2 = s_1$ se obtendrán las demás propiedades, de la tabla para R-717:

$$T_2 = 200^\circ\text{C}$$

$$P_2 = 1274.9\text{kPa}$$

$$h_2 = 1990\text{kJ/kg}$$

$$s_2 = s_1 = 6.5367\text{kJ/kgK}$$

Punto 3

Corresponde a un líquido saturado, proceso isoentálpico.

$$T_3 = T_{cond} = 33^\circ\text{C}$$

$$P_3 = P_2 = 1274.9\text{kPa}$$

$$h_3 = 499.47\text{kJ/kg}$$

$$s_3 = 2.0069\text{kJ/kgK}$$

Punto 4

Es una mezcla líquido - vapor

$$T_4 = T_1 = -30^\circ\text{C}$$

$$P_4 = P_1 = 119.43\text{kPa}$$

$$h_4 = h_3 = 499.47\text{kJ/mol}$$

$$s_4 = s_3 = 2.0069\text{kJ/kgK}$$

Calor absorbido

$$Q_L = h_1 - h_4$$

$$Q_L = (1566.5 - 499.47)\text{kJ/kg}$$

$$Q_L = 1067.03 \text{kJ/kg}$$

Flujo másico

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \frac{Q_{T^*}}{Q_L} \\ \dot{m} &= \frac{74370.23 \text{kJ/h}}{1067.03 \text{kJ/kg}} \\ \dot{m} &= 69.698 \text{kg/h} = 0.0194 \text{kg/s}\end{aligned}$$

Potencia del compresor

$$\begin{aligned}W_e &= h_2 - h_1 \\ W_e &= (1990 - 1566.5) \text{kJ/kg} \\ W_e &= 423.5 \text{kJ/kg} \\ W_e \times \dot{m} &= (423.5 \text{kJ/kg})(0.0194 \text{kg/s}) = 8.216 \text{kW}\end{aligned}$$

Calor que sale del sistema

$$\begin{aligned}Q_H &= h_2 - h_3 \\ Q_H &= (1190 - 499.47) \text{kJ/kg} \\ Q_H &= 1490.53 \text{kJ/kg} \\ Q_H \times \dot{m} &= (1490.53 \text{kJ/kg})(0.0194 \text{kg/s}) = 28.92 \text{kW}\end{aligned}$$

Cálculo del COP

$$\begin{aligned}COP_R &= \frac{Q_L}{W_e} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ COP_R &= \frac{1566.5 - 499.47}{1990 - 1566.5} \\ COP_R &= 2.52\end{aligned}$$

Eficiencia del ciclo

$$\begin{aligned}E_c &= \frac{Q_L}{Q_H} \times 100 \\ E_c &= \frac{1067.03}{1490.53} \times 100\end{aligned}$$

$$E_c = 71.59\%$$

3.3. Diseño de los equipos

Se estima que los sistemas de compresión y evaporación existentes actualmente dentro de la planta, son suficientes para trabajar con la nueva carga térmica que se incrementará con el incremento de la producción. Pero se añadirá un tanque de almacenamiento para el refrigerante que abastecerá a todo el sistema, tanto el existente como el que se plantea implementar.

3.3.1. Diseño del tanque de almacenamiento

Se coloca un tanque de almacenamiento entre el condensador y el evaporador, para almacenar el refrigerante líquido que sale del condensador, y en caso de que alguna parte del sistema requiera mantenimiento. Se construye con hierro negro diseñado para soportar presiones de hasta 300 psig, y para asegurar la resistencia del material se considerará una presión de operación de 250 psi (Chattopadhyay, 2020, pp. 9). Para este fin se considera un tanque de 1200 kg de capacidad, y será diseñado según lo descrito en el Código ASME sección VIII para tanques y tuberías. El tanque tendrá una forma cilíndrica horizontal recomendada para estos tanques, con orificios para la entrada y salida de amoníaco, además de orificios para equipos de medición y válvula de alivio de presión.

3.3.1.1. Presión de operación (PO)

La primera variable que condiciona el diseño del tanque es la presión a la que va a trabajar el sistema, se considera como la presión manométrica a la cual está trabajando el equipo. Este valor será determinado posteriormente según lo requerido por la naturaleza del proceso de refrigeración.

3.3.1.2. Presión de diseño (P)

Por cuestiones de seguridad, el tanque debe soportar una presión mayor a la presión de operación, con las siguientes consideraciones determinadas en el Código ASME sección VIII:

$$\text{Si } PO > 300 \text{ lb/in}^2$$

$$P = 1.1PO$$

Ecuación 3-1: Presión de diseño

$$\text{Si } PO \leq 300 \text{ lb/in}^2$$

$$P = PO + 30 \text{ lb/in}^2$$

Donde:

P : presión de diseño

PO : presión de operación

En este caso es:

$$P = 250 \text{ lb/in}^2 + 30 \text{ lb/in}^2$$

$$P = 280 \text{ lb/in}^2$$

3.3.1.3. Presión de prueba (PP)

La presión de prueba es la presión hidrostática del fluido dentro del tanque, sobre todo en tanques verticales que contienen fluidos en estado líquido, por lo que se pronostica que, en este caso, la presión de prueba tendrá poca influencia.

$$PP = P(1.5)Sta/Std$$

Ecuación 3-2: Presión de prueba

Donde:

PP : presión de prueba

P : presión de diseño

Sta : esfuerzo a la tensión del material a la temperatura ambiente

Std : esfuerzo a la tensión del material a la temperatura de diseño

3.3.2. Tapas

Pueden ser tapas planas, planas con ceja, abombadas, abombadas con ceja invertida, toriesféricas, semielípticas, semiesféricas, tapas 80-10, tapas cónicas o toricónicas.

En este caso se elige una tapa 80:10 que tiene como características que el radio de abombado es el 80% del diámetro y el radio de esquina o radio de nudillos es igual al 10% del diámetro.

$$t = \frac{0.73 \times P \times L}{S \times E - 0.1 \times P}$$

Ecuación 3-3: Espesor mínimo requerido en la tapa

Donde:

t : espesor mínimo requerido en la tapa, sin corrosión

P : presión de diseño

L : diámetro de la tapa (0.8 in).

S : esfuerzo máximo permisible, del material de la tapa, a la tensión y a la temperatura de diseño.

Se tomará el 25% del valor del esfuerzo último a la tensión del material que se elige.

E: eficiencia de las soldaduras. Es el grado de confiabilidad que se puede tener de las soldaduras según su tipo de unión, estos valores están estandarizados.

3.3.3. Boquillas para recipientes a presión

Según el tipo y las necesidades del tanque se instalan boquillas con dimensiones estándar para acoplar tuberías e instrumentos.

Hay que considerar que, según Chattopadhyay (2020), todas las boquillas mayores a 3 pulgadas de diámetro, instaladas en recipientes a presión, deberán tener una placa de refuerzo en la unión del cuello de la boquilla con el recipiente. Todas las placas de refuerzo de boquilla de 304,7 mm (12") de diámetro y menores, deberán llevar un barreno de prueba de 6.35 mm (1/4") de diámetro con cuerda NPT, las placas de refuerzo de boquillas de 355.50 mm (14") de diámetro y mayores, deberán tener dos barrenos de prueba.

- Entrada de producto
- Salida de producto
- Drene
- Venteo
- Entrada de hombre
- Conexión para válvula de seguridad
- Conexión para manómetro
- Conexión para termómetro
- Conexiones para indicadores de nivel
- Conexiones para control de nivel

3.3.3.1. Selección de bridas para boquillas

Es recomendable las boquillas de (25.5 – 6.35) mm (1 – 1/4") de diámetro y menores sean instaladas por medio de acoples roscados de 3000 y 6000 lb/in². Las boquillas de (25.4 – 12.7) mm (1- 1/2") y mayores deberán ser bridadas o soldadas.

Tipos de bridas:

- Brida de cuello soldable
- Brida deslizable
- Brida traslape
- Bridas roscadas
- Bridas de enchufe soldable
- Bridas de orificio
- Bridas ciegas

- Bridas especiales

3.3.3.2. Tipos de caras de bridas

Se debe tomar en cuenta la presión y el fluido que se maneja. Se tiene los siguientes tipos:

- Cara plana
- Cara realzada
- Cara macho y hembra
- Cara de ranura y lengüeta
- Cara de junta de anillo

Para tanques a presión se recomiendan las bridas de cara realzada.

3.3.4. Cálculo de los espesores según la presión interna

Se realiza por separado el cálculo del cuerpo del tanque y las tapas. Se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

D : diámetro interior

t : espesor mínimo requerido

P : presión de diseño

PO : presión de operación

R : radio interior del cilindro

E : eficiencia de las soldaduras

S : esfuerzo máximo permisible a tensión del material seleccionado, a la temperatura de diseño.

Se selecciona como material A-285-C, que es un acero recomendado para calderas y recipientes a presión. Donde el $S = 13500lb/in^2$.

L : radio de abombado de la tapa

r : radio de esquina o de nudillos

L_1 : longitud entre líneas de tangencia del recipiente

T : temperatura de diseño

3.3.4.1. Espesor del cilindro

Se calcula para un E de 0.7, 0.85 y 1 para hacer una comparación de los beneficios del espesor y los costos que puede tener.

- $E = 0.7$

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0.6 \times P}$$

$$t = \frac{280 \frac{lb}{in^2} \times 17.7165 \text{ in}}{13500 \frac{lb}{in^2} \times 0.7 - 0.6 \times 280 \frac{lb}{in^2}}$$

$$t = 0.534 \text{ in} = 13.56 \text{ mm}$$

- $E = 0.85$

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0.6 \times P}$$

$$t = \frac{280 \frac{lb}{in^2} \times 17.7165 \text{ in}}{13500 \frac{lb}{in^2} \times 0.85 - 0.6 \times 280 \frac{lb}{in^2}}$$

$$t = 0.439 \text{ in} = 11.15 \text{ mm}$$

- $E = 1$

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0.6 \times P}$$

$$t = \frac{280 \frac{lb}{in^2} \times 17.7165 \text{ in}}{13500 \frac{lb}{in^2} \times 1 - 0.6 \times 280 \frac{lb}{in^2}}$$

$$t = 0.372 \text{ in} = 9.45 \text{ mm}$$

3.3.4.2. Cálculo de la máxima presión hidrostática corregida por la temperatura (P.H.C.)

$$PHC = 1.5 \times \frac{SATM}{S} \times P$$

Ecuación 3-4: Presión hidrostática corregida por la temperatura

Donde:

PHC: presión hidrostática corregida

SATM: esfuerzo a temperatura atmosférica

$$PHC = 1.5 \times \frac{13800}{13500} \times 280$$

$$PHC = 429.33 \text{ psi}$$

Se selecciona un espesor óptimo de 11.15 mm, que evita los costos de ensayos para determinar defectos en el tanque durante el uso, y por otro lado se reducen los costos del material. El espesor estándar es 11.1 mm (7/16 “).

3.3.4.3. Cálculo para el espesor de cabeza toriesférica bajo presión interior

De igual manera, se calcula para un E de 0.7, 0.85 y 1 para hacer una comparación de los beneficios del espesor y los costos que puede tener.

$$t = \frac{1.46 \times P \times L}{2 \times S \times E - 0.2 \times P}$$

Donde

P : presión de diseño

L : radio de abombado de la tapa (720 mm)

S : esfuerzo máximo permisible a tensión del material seleccionado, a la temperatura de diseño. Se selecciona como material A-285-C, que es un acero recomendado para calderas y recipientes a presión. Donde el $S = 13500 \text{ lb/in}^2$.

E : eficiencia de las soldaduras

- $E = 0.7$

$$t = \frac{1.46 \times (280 \text{ lb/in}^2) \times 28.34 \text{ in}}{2 \times (13500 \text{ lb/in}^2) \times 0.7 - 0.2 \times (280 \text{ lb/in}^2)}$$

$$t = 0.61 \text{ in}$$

- $E = 0.85$

$$t = \frac{1.46 \times (280 \text{ lb/in}^2) \times 28.34 \text{ in}}{2 \times (13500 \text{ lb/in}^2) \times 0.85 - 0.2 \times (280 \text{ lb/in}^2)}$$

$$t = 0.51 \text{ in}$$

- $E = 1$

$$t = \frac{1.46 \times (280 \text{ lb/in}^2) \times 28.34 \text{ in}}{2 \times (13500 \text{ lb/in}^2) \times 1 - 0.2 \times (280 \text{ lb/in}^2)}$$

$$t = 0.43 \text{ in}$$

En este caso, también se selecciona una E de 0.85, con el objetivo de optimizar el costo del material. Para las tapas se usa una E de 1 porque se considera que vienen en una sola pieza, es decir, no tiene soldaduras.

3.3.4.4. Cálculo del cilindro por presión externa

Para los siguientes cálculos, es necesario determinar L/D_o y D_o/t , por lo tanto se debe establecer el valor de L, que corresponde al cilindro, el valor es de 162 in.

$$\therefore \frac{L}{D_o} = \frac{162}{35.43} = 4.57$$

Ecuación 3-5: Cálculo del cilindro por presión externa

$$\frac{D_o}{t} = \frac{35.43}{0.43} = 82.4$$

A partir de estos datos, se obtiene los valores de los factores A disponibles en el Anexo F y B disponibles en el Anexo G, con la finalidad de obtener la máxima presión externa aplicable al recipiente.

$$\therefore A = 0.00035$$

$$B = 5000$$

$$Pa = \frac{4B}{3\left(\frac{D_o}{t}\right)} = \frac{4(5000)}{3(82.4)} = 80.91 \text{ lb/in}^2$$

Con este valor se determina que no es necesario el uso de anillos atiesadores en el cuerpo del cilindro, ya que soporta presiones mayores que la atmosférica.

3.3.4.5. Cálculo de tapas 80:10

Se obtiene el espesor de las tapas:

$$P = \frac{0.885 \times P' \times L}{S \times E - 0.1 \times P'} = \frac{0.885 \times 25.05 \times 35.43}{13500 \times -0.1 \times 250.5} = 0.058$$

Este valor es menor que el requerido para soportar la presión externa, por lo tanto, se utiliza mayor espesor calculado, que fue 0.43in.

$$A = \frac{0.125}{R_o/t} = \frac{0.125}{82.4} = 0.001517$$

$$\therefore B = 10300$$

$$Pa = \frac{B}{R_o/t} = \frac{10300}{82.4} = 125 \text{ lb/in}^2$$

Para esta tapa, el espesor es determinado por la presión interna calculada.

3.3.5. Cálculo de Soportes

Para el cálculo de los soportes se usa el método de análisis “Pressure Vessel and piping desing and análisis” de la (Código ASME Sección VIII División 1, 2007), que considera a un recipiente horizontal soportado en silletas como una viga apoyada tomando en cuenta los siguientes puntos:

1. Las condiciones de carga son diferentes cuando se considera el recipiente total o parcialmente lleno.
2. Los esfuerzos en el recipiente son función del ángulo de agarre de las silletas.
3. Las cargas generadas por el peso propio del recipiente están combinadas con otras cargas.

Las cargas que se deben considerar son:

- Reacción en las silletas
- Presión interna
- Presión externa
- Cargas de viento
- Cargas por impacto

3.3.5.1. Localización de las silletas

Por razones económicas, es recomendable usar dos silletas para soportar el tanque, junto con el uso de anillos atiesadores. Con esto se reduce costos en el uso de más silletas, además se evita que alguna silleta se sienta y se convierta en una carga.

La ubicación de las silletas implica varias consideraciones previas tales como la posición de las boquillas o sumideros en el fondo del recipiente, la posición de las tuberías, y la estética del tanque. Cuando el espesor de la pared es pequeño y su diámetro grande, es recomendable localizar los soportes cerca de las líneas de tangencia de las tapas, con el fin de utilizar éstas como atiesadores.

Las consideraciones mecánicas sugieren que la ubicación óptima de las silletas en este tipo de recipientes, es aquella en la cual los momentos flexionantes resultantes son iguales tanto en los puntos donde están localizadas las silletas como en el centro de la distancia entre ellas, estos puntos están en función del ángulo de agarre de las silletas. Una recomendación importante es que la distancia entre la línea de tangencia de las tapas y la silleta nunca sea mayor a 0.2 veces la longitud del recipiente. En estos casos, las ASME sugieren que el ángulo mínimo de contacto entre la silleta y el cuerpo sea de 120°, con excepción de recipientes muy pequeños.

3.3.5.2. Esfuerzos

Los esfuerzos a los que están sometidos este tipo de tanques soportados por silletas, están sometidos a tres tipos de esfuerzos: esfuerzos longitudinales por flexión, esfuerzos de corte tangenciales, y esfuerzos circunferenciales.

En el Anexo se muestra un formato diseñado para hacer el análisis de los esfuerzos generados en el cuerpo de un recipiente cilíndrico horizontal soportado por medio de dos silletas. Cuando los esfuerzos son positivos indican que se encuentran a tensión y cuando son negativos se trata de compresión.

3.3.5.3. Esfuerzos longitudinales por flexión

Se deben hacer las siguientes consideraciones para aplicar las ecuaciones:

1. E es el módulo de elasticidad del material del anillo atiesador en lb/in^2 .
2. El máximo esfuerzo longitudinal S_1 puede ser de tensión o compresión.
3. Cuando se calcule el esfuerzo a la tensión, en la ecuación de S_1 , se debe usar el valor de K_1 en lugar del factor K .
4. Cuando se calcule el esfuerzo a compresión en la ecuación de S_1 , se debe usar el valor de K_g en lugar del factor K .
5. Cuando se usen anillos atiesadores en el cuerpo del tanque, el valor de K , será igual a 3.14 en la ecuación para S_1 .
6. Cuando la relación t/R sea mayor o igual a 0.005 en un recipiente de acero, el esfuerzo de la compresión no se deberá tomar en consideración y el recipiente será diseñado para trabajar solamente a presión interna.
7. Si el valor del esfuerzo máximo permisible es excedido por el valor de S_1 , se debe usar anillos atiesadores en el cilindro del recipiente.

3.3.5.4. Esfuerzos de corte tangenciales

Las consideraciones para este tipo de esfuerzos son las siguientes.

1. Si se utilizan placas de respaldo en las silletas, el valor de la suma del espesor del cuerpo más el espesor de la placa de respaldo, deberá ser utilizado como ts , en las ecuaciones para calcular S_2 , haciendo que la placa de respaldo se proyecte $R/10$ sobre el extremo de la silleta y hacia los lados de la misma.
2. En recipientes sin anillos atiesadores, el máximo esfuerzo cortante se presenta en la parte superior de las silletas. Cuando la tapa es usada como anillo atiesador, colocando las silletas cerca de las tapas, el esfuerzo de corte tangencial puede causar un esfuerzo adicional en las tapas (S_3). Este esfuerzo debe considerarse sumándolo al causado por la presión interna en las tapas.

3. Cuando se usan anillos atiesadores, el máximo esfuerzo cortante se presenta en la parte central del recipiente.

3.3.5.5. Esfuerzos circunferenciales

Aquí se considera lo siguiente:

1. Si se usan placas de respaldo en las silletas, se puede usar el valor de la suma del espesor del cuerpo más el espesor de la placa de respaldo como ts , en las ecuaciones para calcular S_4 y para el valor de ts_2 , se deberá tomar la suma de los cuadrados de los espesores, tanto del cuerpo como de la placa de respaldo y se deberá dar a ésta una proyección $R/10$ sobre la parte superior de la silleta, además de que deberá cumplir con la relación $A < R/12$. Los esfuerzos combinados circunferenciales en la parte superior de la placa de respaldo, deberán ser chequeados cuando se efectúe este chequeo se tomará:

ts : espesor de la envolvente

b : ancho de la silleta.

θ : ángulo central de la placa de respaldo, el cual nunca será mayor que el ángulo de la silleta más 12° .

2. Si se usa una placa de respaldo en las silletas, el valor de ts , usado en la fórmula para obtener S_5 , puede ser tomado como la suma de los espesores del cuerpo y la placa de respaldo, siempre y cuando ésta tenga un ancho mínimo igual a $b + 1.56 Rts$.

3. Si el cuerpo no tiene anillo atiesador, el máximo esfuerzo se presentará en la parte superior de la silleta y su valor no se deberá agregar al esfuerzo producido por la presión interna.

4. En un cilindro equipado con anillos atiesadores, los máximos valores del esfuerzo a compresión se presentan en el fondo del cuerpo.

5. Si el esfuerzo circunferencial excede del máximo permisible según el Anexo, se deberá usar anillos atiesadores.

3.4. Simulación del sistema de refrigeración

El objetivo de la simulación es validar los datos calculados, que fueron utilizados como parámetros en este proceso. Como se mencionó, la simulación se realizó en el software DWSIM, el único componente que circula durante todo el proceso es el refrigerante R717, y se utilizó el paquete de propiedades Peng-Robinson para obtener los datos a calcularse.

Se realizó la simulación para un ciclo de refrigeración ideal en cuatro etapas (compresión isentrópica, rechazo de calor a presión constante, expansión adiabática, y absorción de calor a presión constante), tomando como datos de entrada, las temperaturas y las energías requeridas

para la congelación de la pulpa. En la Figura 3-1 se puede observar las diferentes etapas que corresponden a la simulación del ciclo de refrigeración para este proyecto.

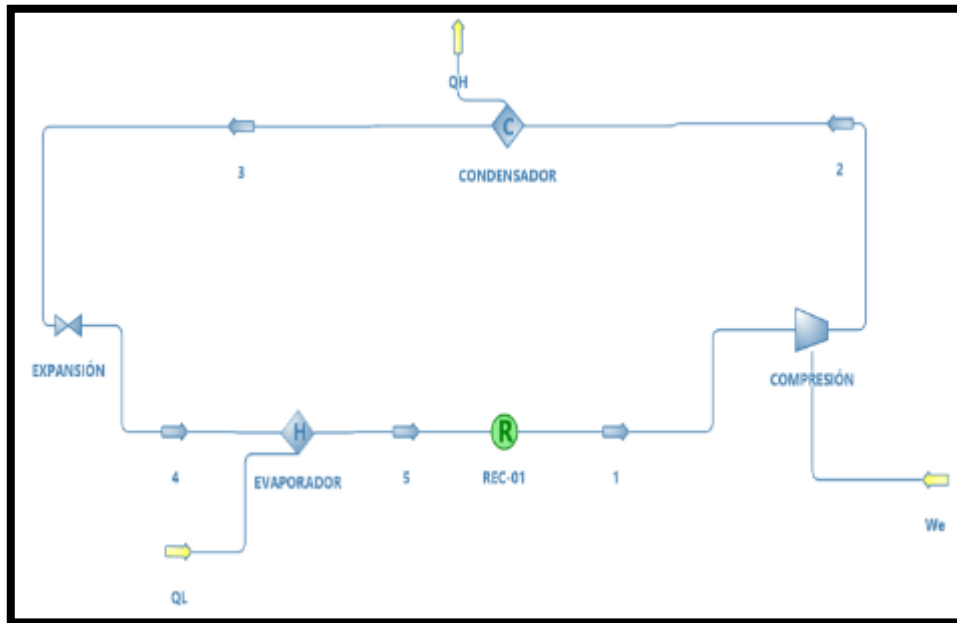


Figura 3-1: Sistema de refrigeración representado en el simulador

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Para establecer los parámetros de entrada se debe elegir entre las opciones del Flash Spec o Calculation Type, de cada corriente y de cada equipo, respectivamente. El simulador desactiva los datos que serán calculados según los grados de libertad de cada punto. Hay que notar que en azul están los valores que se pueden establecer, y en gris se marcan los valores que el simulador calcula.

3.4.1. Corriente 1

Para la corriente de inicio se estableció una presión de 119430 Pa, tomando en cuenta que es completamente gas, y el flujo másico para este proceso es de 0.0194 Kg/s. La temperatura de respuesta del simulador para estas condiciones es de 243.15 K, que se recalcula al final, luego de cerrar el ciclo, obteniendo 243.124 K. En la Figura 3-2 se puede observar de manera gráfica los parámetros que se fijaron manualmente, así como los parámetros que se bloquearon para ser calculadas automáticamente.

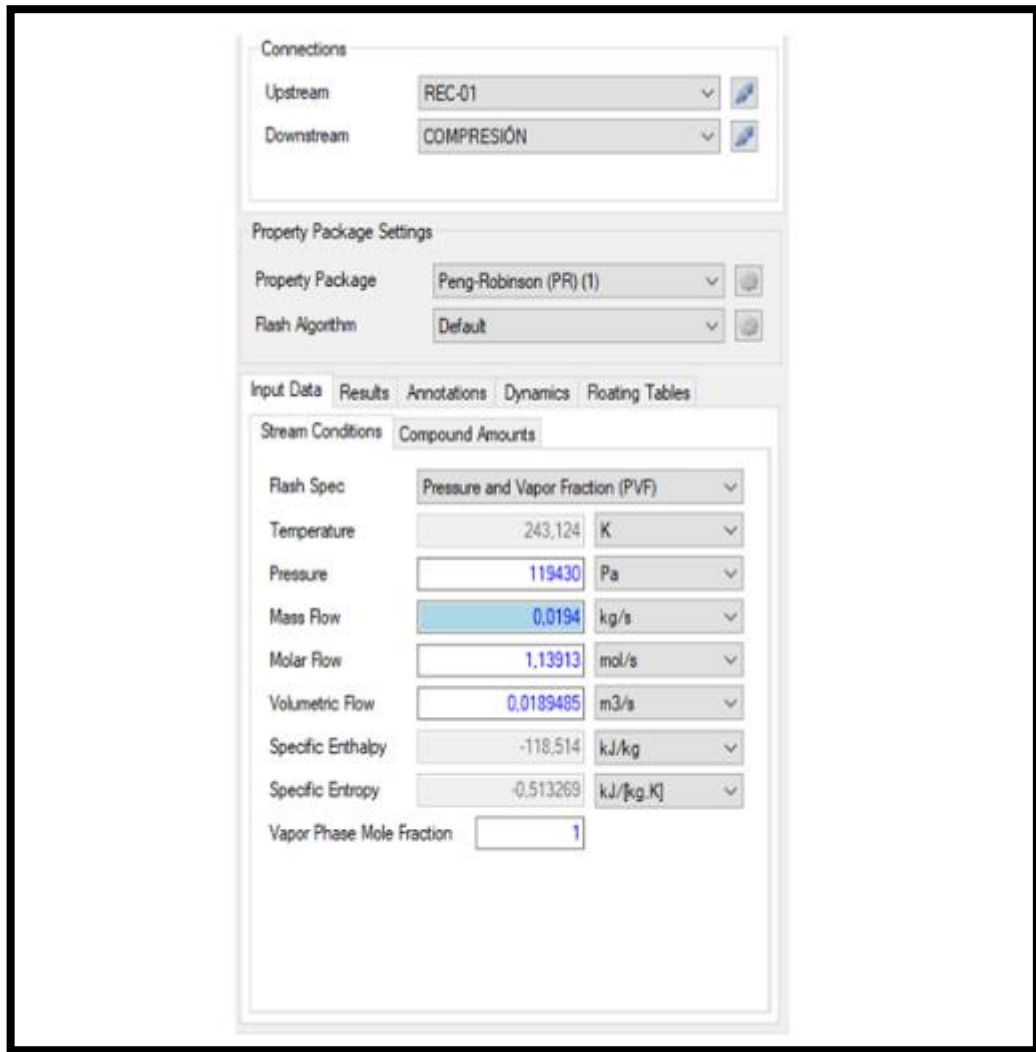


Figura 3-2: Características de la corriente 1

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.2. Compresión

En la Figura 3-3 se puede apreciar que hacia el compresor llega la corriente 1 y sale la corriente 2, estas corrientes son 100% amoniaco. Es un proceso adiabático, para lo que se estableció la presión se salida deseada con un valor de 1274.9 kPa, como resultado se obtiene una temperatura de salida de 472.349 K, la energía requerida es de 9.4852 kW que corresponde a W_e .

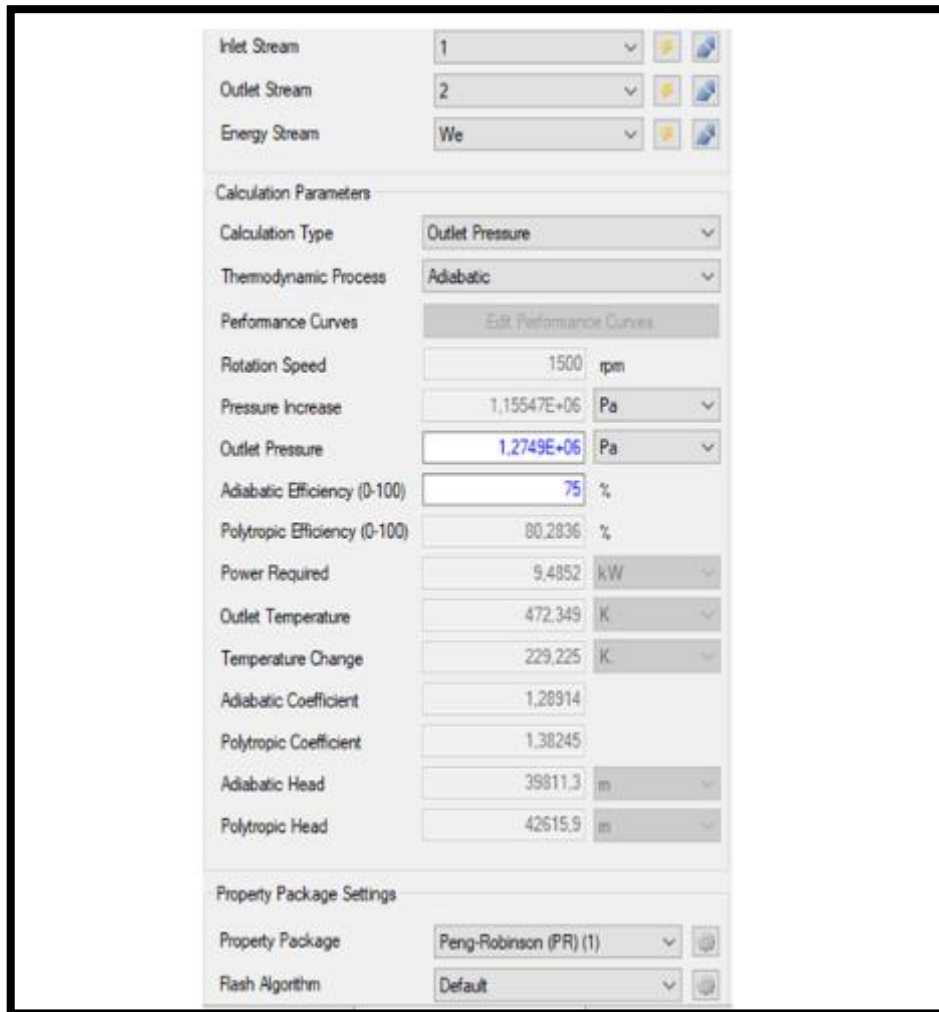


Figura 3-3: Características de operación en el compresor

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.3. Corriente 2

Esta corriente sale desde el compresor e ingresa hacia el condensador. En la Figura 3-4 se observa que en la corriente 2 no se puede establecer ningún parámetro, todos los datos son calculados por el simulador.

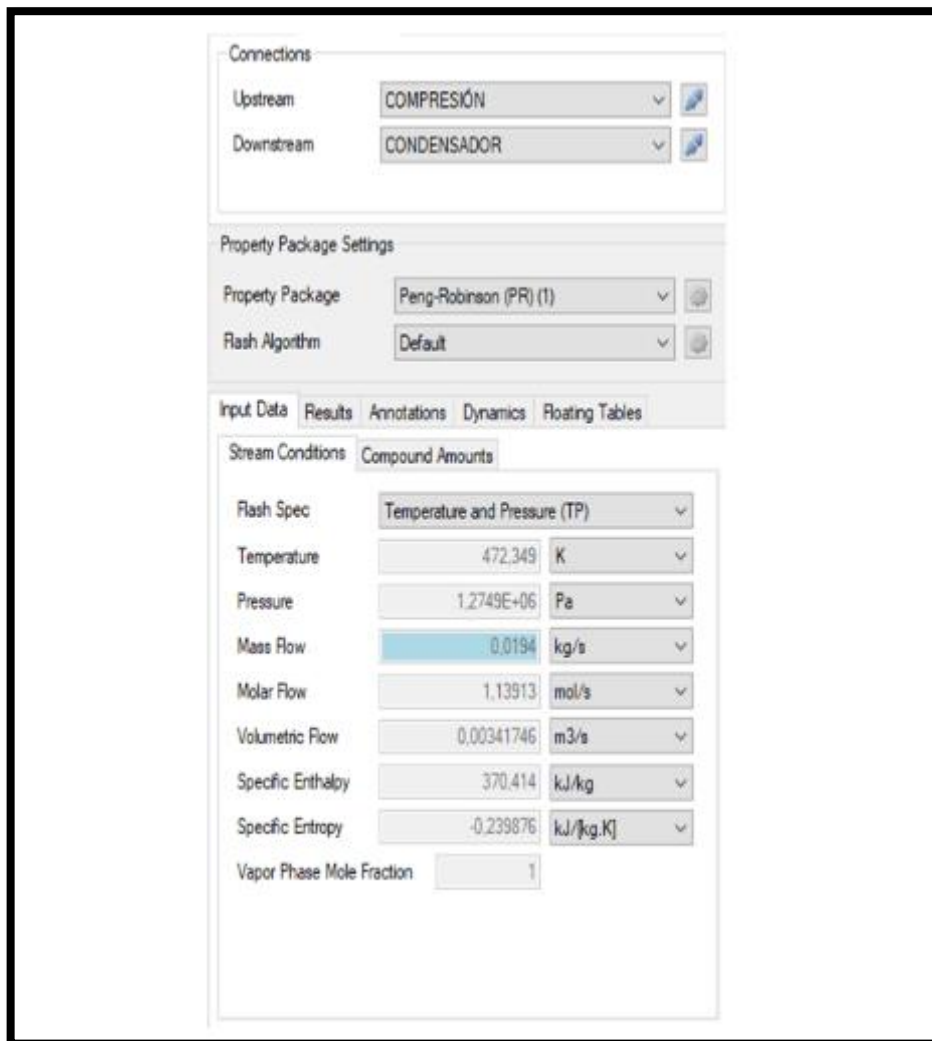


Figura 3-4: Características de la corriente 2

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.4. Condensador

En la Figura 3-5 se observan los parámetros de funcionamiento del condensador, al que ingresa la corriente 2 y de él sale la corriente 3 con una temperatura establecida de 306.15 K, es decir que hay una disminución en la temperatura, y es un proceso isobárico, por lo tanto, el amoniaco se transforma en líquido. La energía que sale del sistema es 30.518 kW, que corresponde a Q_H .

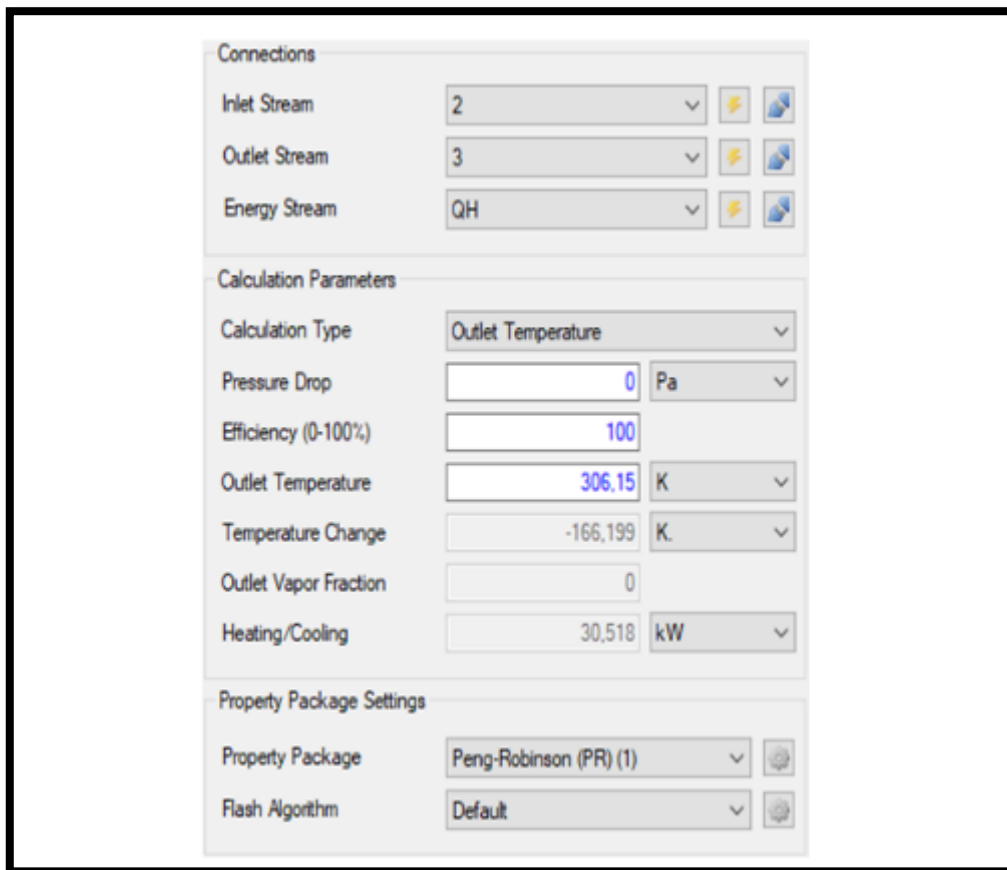


Figura 3-5: Condiciones de operación en el condensador

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.5. Corriente 3

Esta corriente sale desde el condensador hacia la válvula de expansión, los parámetros ya están definidos por lo que se estableció anteriormente, y han sido calculados automáticamente por el simulador. En la Figura 3-6 se puede observar que la temperatura de salida es de 306.15 K, no hay cambio de presión con respecto a la anterior etapa.

Connections	
Inlet Stream	2
Outlet Stream	3
Energy Stream	QH
Calculation Parameters	
Calculation Type	Outlet Temperature
Pressure Drop	0 Pa
Efficiency (0-100%)	100
Outlet Temperature	306,15 K
Temperature Change	-166,199 K
Outlet Vapor Fraction	0
Heating/Cooling	30,518 kW
Property Package Settings	
Property Package	Peng-Robinson (PR) (1)
Flash Algorithm	Default

Figura 3-6: Características de la corriente 3

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.6 Expansión

La Figura 3-7 representa los parámetros de que se presentan durante la expansión, la corriente de entrada es la 3, y la corriente de salida es la 4. Como parámetro se estableció 119430 Pa de presión de salida por lo que se nota una caída de presión con respecto a la etapa anterior. No hay intercambio de energía, pero la temperatura va a cambiar en el punto 4 debido al cambio de presión.

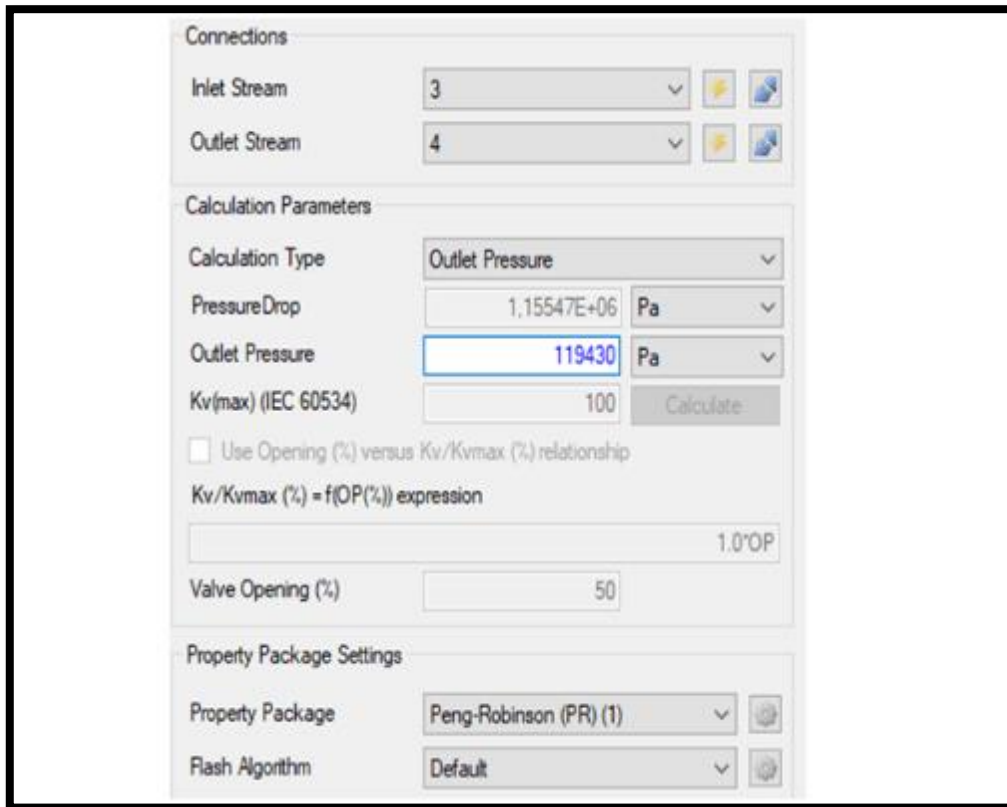


Figura 3-7: Características en la válvula de expansión

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.7. Corriente 4

En la Figura 3-8 se observa la corriente 4 que proviene de la válvula hacia el evaporador. En esta corriente no se puede establecer ningún parámetro, todos los datos han sido calculados por el simulador o vienen dados por los procesos anteriores, por lo que se bloquean automáticamente. Se puede observar que la temperatura cambia a 243.124 K y la presión es 119430 Pa.

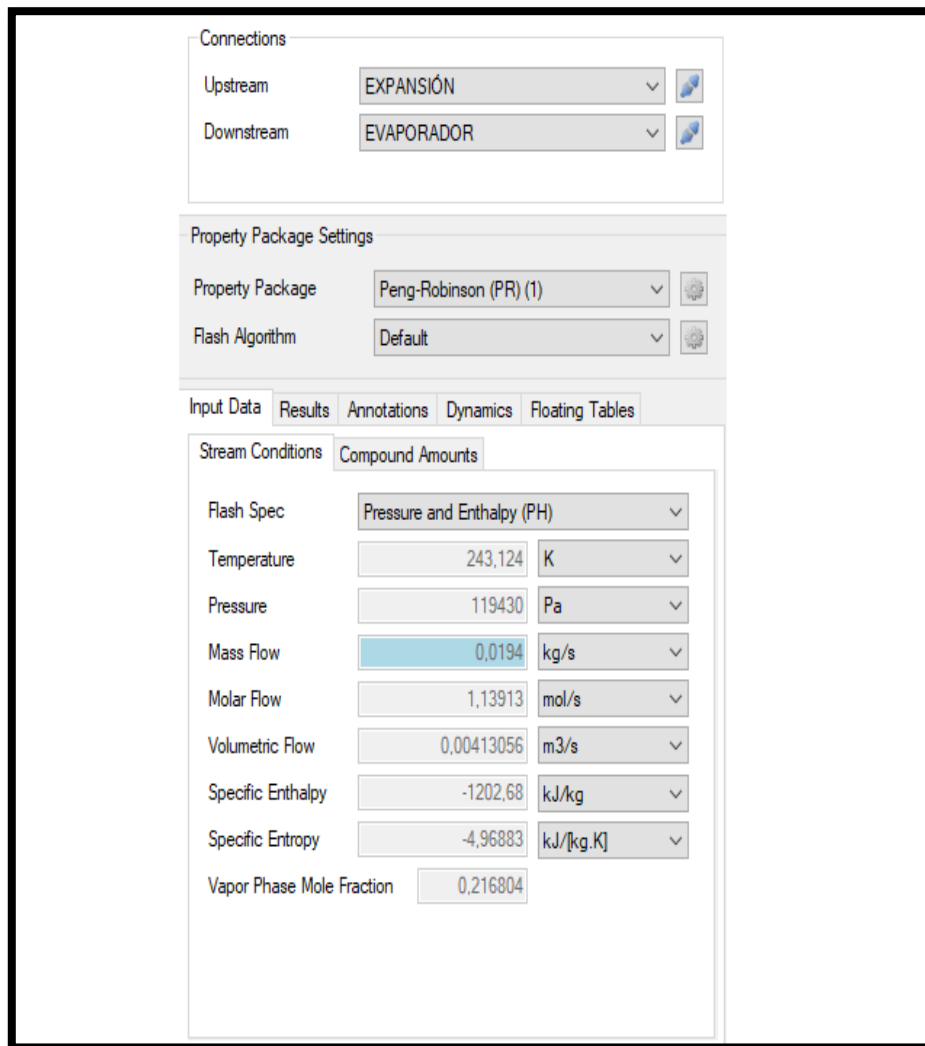


Figura 3-8: Características de la corriente 4

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.8. Evaporador

En la Figura 3-9 se aprecian los parámetros del evaporador dentro del ciclo de refrigeración. A este equipo entra la corriente 4 y va a salir la corriente 5 que será reciclada, y, por lo tanto, tendrá las mismas características que la corriente 1. Se considera que no hay caída de presión, una eficiencia del 100%, y la corriente de salida va a ser 100% gas como en las condiciones iniciales. Para este proceso se requiere una energía de 21.0328 que corresponde a Q_L .

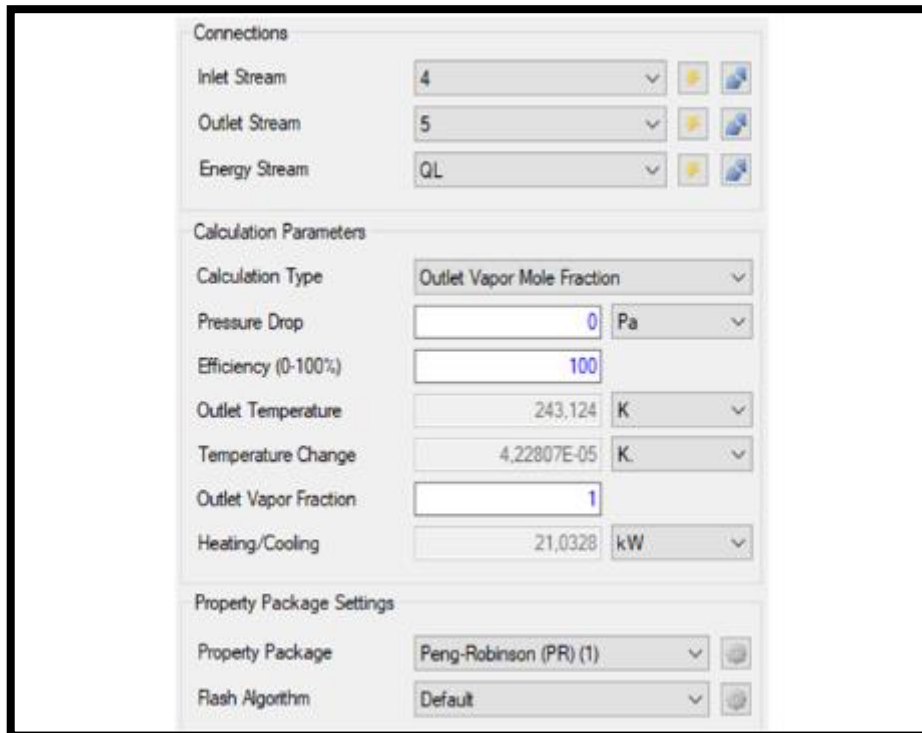


Figura 3-9: Condiciones de operación del evaporador

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.9. Corriente 5

En la Figura 3-10 se puede observar la corriente 5 que proviene del evaporador y tendrá que entrar al compresor para empezar el ciclo una vez más. Sin embargo, es necesario anexar una operación lógica de reciclaje para converger los resultados obtenidos al final con los del inicio. Esta corriente no tiene parámetros establecidos, todos son calculados por el simulador.

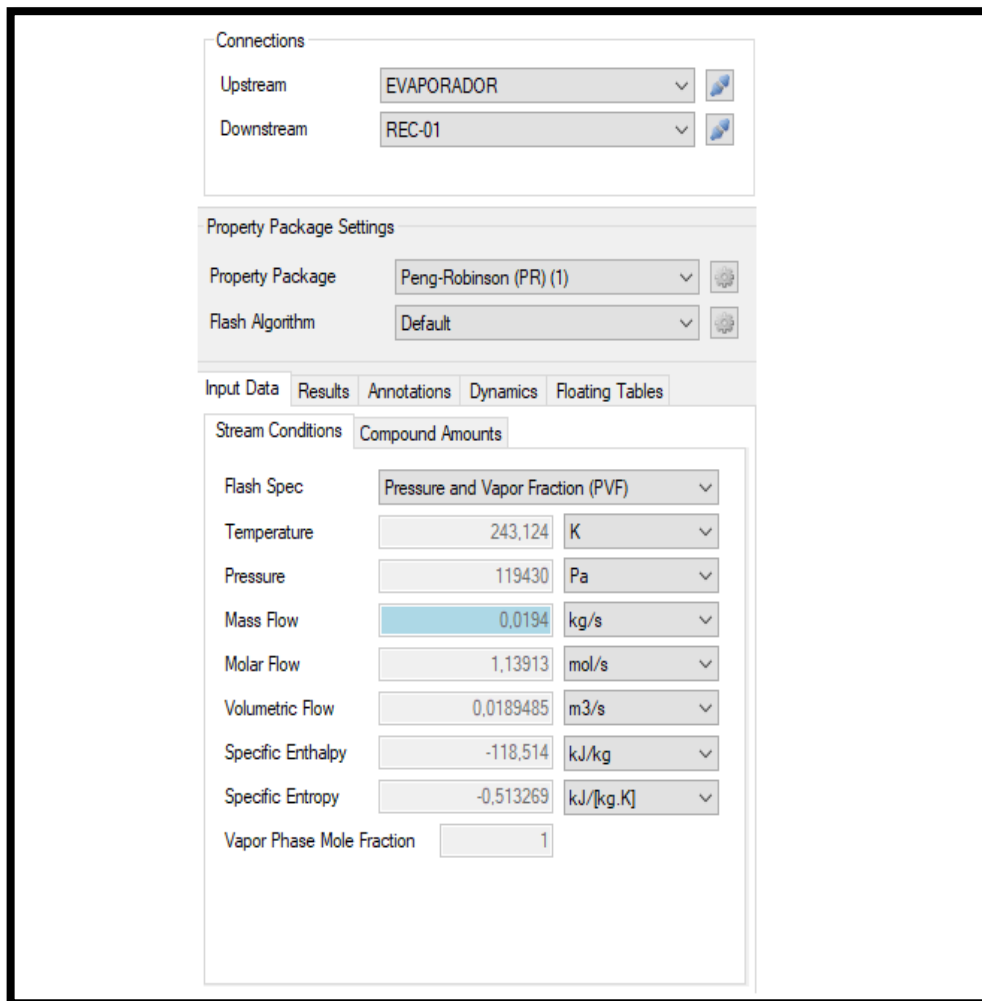


Figura 3-10: Características de la corriente 5

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

3.4.10. Corriente de recicló

En la Figura 3-11 se muestra la corriente de recicló, esta operación lógica se encarga de converger los datos de inicio con los valores finales para que sean iguales. Se establecieron límites de tolerancia de 0.01 para el flujo molar, 0.1 para la temperatura, y 0.1 para la presión, con un máximo de 50 iteraciones. Como resultado se tiene una pequeña variabilidad en estos resultados.

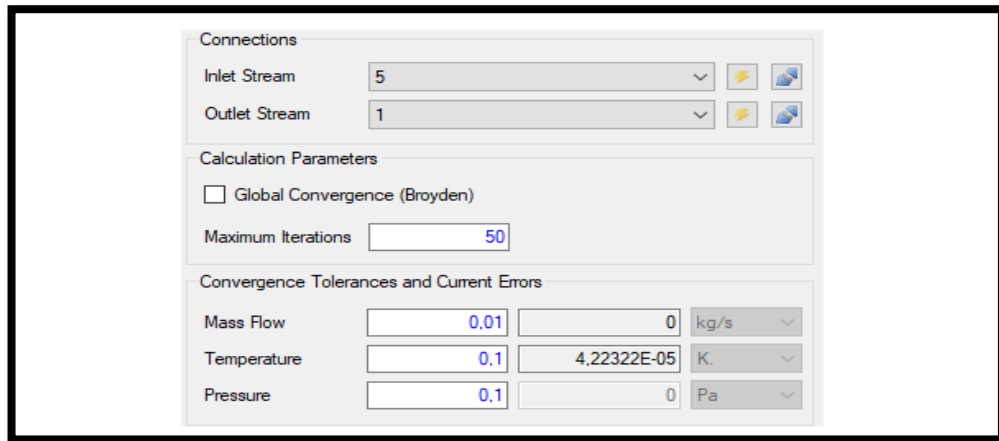


Figura 3-11: Características de la corriente de reciclo

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTOS

El objetivo es determinar la factibilidad del proyecto para que la empresa pueda determinar su implementación. Para este fin se realizará un análisis del VAN y TIR.

$$VAN = BNA - INVERSION INICIAL$$

Donde,

BNA: Beneficio neto actualizado

$$BNA = +\frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \frac{Q_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n}$$
$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \frac{Q_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n}$$

Donde,

Q_n : Flujos de caja

k : interés

A : inversión

$$TIR = \sum \text{flujos} - \text{inversión inicial}$$

4.1 Costos de fabricación y montaje

Los costos de fabricación consideran todos los gastos realizados para elaborar y montar el tanque de almacenamiento, este es un costo que se realiza una sola vez al inicio del proyecto, por lo que se considera como inversión inicial para los cálculos del VAN y TIR. En las Tablas de la 4-1 a la 4-8 se muestra el detalle de los gastos que integran este parámetro, desde los materiales de construcción hasta a mano de obra, con lo que se obtiene un total de \$18064,60 en gastos.

Tabla 4–1: Costo de planchas de acero para el cuerpo del tanque

PARTE	MATERIAL ASTM A-285-C	Cant.	Peso unitario (kg)	Peso total (kg)
MATERIAL CUERPO	3000X7620X11,11mm	1	1216,00	1216,00
MATERIAL CUERPO	3000X7620X11,11mm	1	1216,00	1216,00
Peso total (kg)				2432,00
Precio unitario (USD/kg)				1,80
Precio total (USD)				4377,60

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4–2 Costos de los materiales para los accesorios del tanque

ACCESORIO	MATERIAL ASTM A-285-C	Cant.	Peso unitario (kg)	Peso total (kg)	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
OREJA	152X114X19,05 mm	2	2,55	5,10	90,00	180,00
SOPORTE	864X420X19,05 mm	2	4,50	9,00	250,00	500,00
REFUERZOS	278X178X9,5 mm	2	1,50	3,00	50,00	100,00
Precio total (USD)						780,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4–3: Costos de las tuberías anexas al tanque

TUBERÍA A-53	Cant.	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
TUBERÍA CEDULA 40 D: 1/2"	1	20	20
TUBERÍA CEDULA 40 D: 3/4"	1	25	25
TUBERÍA CEDULA 40 D: 1"	1	30	30
TUBERÍA CEDULA 40 D: 1 1/2"	10	60	600
TUBERÍA CEDULA 40 D: 2"	10	70	700
TUBERÍA CEDULA 40 D: 3"	10	150	1500
TUBERÍA CEDULA 40 D: 6"	10	450	4500
TOTAL			7375

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4-4: Costos de corte de los materiales

OXICORTE	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSO FINAL (USD)
Oxígeno	1	U/10m ³	20,00	20,00
Acetileno (1,11 kg/m ³)	1	U/6kh	20,00	20,00
Discos de corte	1	caja/25U	30,00	30,00
Mano de obra	3	días	80,00	240,00
			TOTAL	310,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4-5: Costos de rolado y embutición

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSO FINAL (USD)
Uso de equipos e insumos	1	Unidad	30,00	30,00
Mano de obra	2	Días	80,00	160,00
			TOTAL	190,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4-6: Costos de soldadura

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO (USD/DIA)	DIAS	COSTO
Máquina de soldar SMAW	1	15,00	3	45,00
Máquina de soldar FCAW	1	7,00	3	21,00
Amoladora	1	50,00	3	150,00
Equipos de corte	1	120,00	3	360,00
Herramientas menores	1	100,00	3	300,00
Insumos (electrodos y gas)	1	300,00	3	900,00
Mano de obra	1	50,00	3	150,00
			TOTAL	1926,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4-7: Costos de pintado del tanque

DESCRIPCIÓN	PINTURA	LITROS A USAR	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CUERPO	Sigmaward 205 Color Oro	20	20,00	400,00
	Thinner	10	5,00	50,00
TAPA	Sigmaward 205 Color Oro	2	2,00	4,00
	Thinner	1	7,00	7,00
TAPA	Sigmaward 205 Color Oro	2	20,00	40,00
	Thinner	1	5,00	5,00
TUBERÍA SUCCIÓN	Sigmaward 205 Color Oro	40	20,00	800,00
	Thinner	10	5,00	50,00
TUBERÍA DESCARGA	Sigmaward 205 Color Oro	40	20,00	800,00
	Thinner	10	5,00	50,00
TUBERÍA LÍQUIDO	Sigmaward 205 Color Oro	40	20,00	800,00
	Thinner	10	10,00	100,00
			TOTAL	3106,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4-8: Costos totales de fabricación y montaje del tanque

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD (USD)
PLANCHAS DE ACERO	4377,60
ACCESORIOS DEL TANQUE	780,00
TUBERÍAS ANEXAS	7375,00
COSTOS DE CORTE	310,00
ROLADO Y EMBUTICIÓN	190,00
COSTOS DE SOLDADURA	1926,00
COSTOS DE PINTURA	3106,00
TOTAL	18064,60

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

4.2 Ingresos

En los ingresos se consideran todas las ventas proyectadas a 5 años, tomando en cuenta que la producción aumenta cada año, conforme la demanda. En la Tabla 4-9 se detalla los ingresos que se proyectan para los próximos 5 años, mientras que en la Tabla 4-10 se observa el total de los ingresos por año y el total de los 5 años.

Tabla 4-9: Ingresos por la venta de pulpa durante 5 años

Año	Producto (pulpa)	Cantidad (kg/mes)	Precio unitario (USD/kg)	Precio total (USD)
1	Guanábana	2000,00	1,75	42000,00
	Maracuya	1500,00	1,60	28800,00
2	Guanábana	2000,00	1,75	42000,00
	Maracuya	1800,00	1,60	34560,00
3	Guanábana	2200,00	1,75	46200,00
	Maracuya	2000,00	1,60	38400,00
4	Guanábana	2500,00	1,75	52500,00
	Maracuya	2500,00	1,60	48000,00
5	Guanábana	2500,00	1,75	52500,00
	Maracuya	2500,00	1,60	48000,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4-10: Flujo de ingresos

AÑO	VALOR
1	70800,00
2	76560,00
3	84600,00
4	100500,00
5	100500,00
TOTAL	432960,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

4.3 Resumen de Egresos

El resumen de egresos se realizó con una proyección para cinco años al igual que los ingresos. En las Tablas de la 4-11 a la 4-15 se observa el detalle de egresos durante cada año, mientras que en la Tabla 4-16 se muestra un resumen de estos gastos hasta el año 5.

Tabla 4-11: Egresos durante el primer año

Producto	Cantidad por mes	Costo unitario (USD)	Costo total por año
Guanábana (kg)	2000,00	0,60	14400,00
Maracuyá (kg)	3750,00	0,50	22500,00
Mano de obra (hora hombre)	240,00	2,58	7430,40
Insumos	1,00	100,00	1200,00
Servicio eléctrico (kw/h)	500,00	0,10	600,00
Agua (m ³)	60,00	0,40	288,00
Otros gastos	1,00	100,00	1200,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4–12: Egresos durante el segundo año

Producto	Cantidad por mes	Costo unitario (USD)	Costo total por año
Guanábana (kg)	2000,00	0,60	14400,00
Maracuyá (kg)	4500,00	0,50	27000,00
Mano de obra (hora hombre)	240,00	2,58	7430,40
Insumos	1,00	100,00	1200,00
Servicio eléctrico (kw/h)	600,00	0,10	720,00
Agua (m ³)	70,00	0,40	336,00
Otros gastos	1,00	100,00	1200,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4–13: Egresos durante el tercer año

Producto	Cantidad por mes	Costo unitario (USD)	Costo total por año
Guanábana (kg)	2200,00	0,60	15840,00
Maracuyá (kg)	5000,00	0,50	30000,00
Mano de obra (hora hombre)	240,00	2,58	7430,40
Insumos	1,00	100,00	1200,00
Servicio eléctrico (kw/h)	600,00	0,10	720,00
Agua (m ³)	70,00	0,40	336,00
Otros gastos	1,00	100,00	1200,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4–14: Egresos durante el cuarto año

Producto	Cantidad por mes	Costo unitario (USD)	Costo total por año
Guanábana (kg)	2500,00	0,6	18000
Maracuyá (kg)	6250,00	0,5	37500
Mano de obra (hora hombre)	240	2,58	7430,4
Insumos	1	100	1200
Servicio eléctrico (kw/h)	650	0,1	780
Agua (m ³)	70	0,4	336
Otros gastos	1	100	1200

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4–15: Egresos durante el quinto año

Producto	Cantidad por mes	Costo unitario (USD)	Costo total por año
Guanábana (kg)	2500,00	0,60	18000,00
Maracuyá (kg)	6250,00	0,50	37500,00
Mano de obra (hora hombre)	240,00	2,58	7430,40
Insumos	1,00	100,00	1200,00
Servicio eléctrico (kw/h)	650,00	0,10	780,00
Agua (m ³)	70,00	0,40	336,00
Otros gastos	1,00	100,00	1200,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

Tabla 4–16: Flujo de egresos

AÑO	VALOR (USD)
1	47618,40
2	52286,40
3	56726,40
4	66446,40
5	66446,40
TOTAL	289524,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

4.4. Cálculo del VAN

Para el cálculo del VAN se consideró un interés de 11.83%, que se presenta en los datos económicos para Ecuador. Según la Tabla 4-17 el capital invertido se recupera en el primer año.

Tabla 4–17: Flujo efectivo neto

AÑO	VALOR (USD)
1	23181,60
2	24273,60
3	27873,60
4	34053,60
5	34053,60
TOTAL	143436,00

Realizado por: Quimbita, Michelle, 2021.

$$VAN = \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \frac{Q_3}{(1+k)^3} + \frac{Q_4}{(1+k)^4} + \frac{Q_5}{(1+k)^5} - A$$

$Q_1 = 23181,60$: flujo de caja en el año 1

$Q_2 = 24273,60$: flujo de caja en el año 2

$Q_3 = 27873,60$: flujo de caja en el año 3

$Q_4 = 34053,60$: flujo de caja en el año 4

$Q_5 = 34053,60$: flujo de caja en el año 5

$k = 0,1183$: interés

$A = 18064,6$: Inversión inicial

$$VAN = \frac{23181,60}{(1 + 0,1183)^1} + \frac{24273,60}{(1 + 0,1183)^2} + \frac{27873,60}{(1 + 0,1183)^3} + \frac{34053,60}{(1 + 0,1183)^4} + \frac{34053,60}{(1 + 0,1183)^5} - 18064,6$$
$$VAN = 83248,68$$

4.5. Cálculo del TIR

$$VAN = \frac{Q_1}{(1 + k)^1} + \frac{Q_2}{(1 + k)^2} + \frac{Q_3}{(1 + k)^3} + \frac{Q_4}{(1 + k)^4} + \frac{Q_5}{(1 + k)^5} - A$$
$$0 = \frac{23181,60}{(1 + TIR)^1} + \frac{24273,60}{(1 + TIR)^2} + \frac{27873,60}{(1 + TIR)^3} + \frac{34053,60}{(1 + TIR)^4} + \frac{34053,60}{(1 + TIR)^5} - 18064,6$$
$$TIR \sim 2,3452207$$

Con estos resultados se determina que la realización del proyecto es factible.

CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico actual de los sistemas de congelación del proceso productivo de la empresa ASOPRUV, la cual indica que existen un sistema de compresión de $30kW$, un condensador que puede trabajar hasta una potencia de $62kW$, y la evaporación que tiene una potencia de $40kW$. Por consiguiente, el sistema de congelación con la que cuenta la empresa es eficiente y suficiente para el funcionamiento de la cámara de congelación que se pretende implementar, a excepción del flujo de amoníaco, por lo que se plantea la construcción de un tanque de almacenamiento que provea de refrigerante a todos los cuartos del sistema de refrigeración.
- Se determinó que para el diseño de la cámara de congelación es necesario considerar como variables la producción de pulpa de guanábana y maracuyá, las temperaturas de almacenamiento, y las dimensiones de la cámara.
- Se realizó el diseño y se simuló el sistema de refrigeración con base en cálculos realizados para obtener los valores de los parámetros del ciclo de refrigeración, estos siendo los siguientes: el calor absorbido por el sistema es $20.7kW$, la potencia del compresor es $8,216kW$, el calor de salida es $28,92kW$, el flujo másico del amoníaco es $0.0194kg/s$ y que la temperatura antes de la compresión se estableció en $243,15 K$, después de la compresión es $473,15 K$, después de la condensación se tiene $306,15 K$, y después de la expansión es $243,15 K$, y no cambia hasta el momento en que entra nuevamente al compresor. Las cargas energéticas calculadas y las proporcionadas por la simulación varían hasta en un $13,38\%$, y las temperaturas varían hasta en $0,17\%$, siendo una diferencia aceptable y, por lo tanto, la simulación valida lo que se obtuvo en los cálculos realizados de manera convencional.
- Se obtuvo un VAN de $83248,68$ y un TIR de $2,3452207$, analizados para 5 periodos de un año, con una inversión inicial de $\$18064,6$ por la construcción y montaje de un tanque de almacenamiento para la cámara de congelación, esto sugiere que el proyecto es viable.

RECOMENDACIONES

- Realizar una simulación completa de las cargas diferentes cargas térmicas que aportan energía al sistema de refrigeración, para verificar los valores calculados, además permitiría cambiar los parámetros de trabajo y obtener los resultados de todo el sistema en poco tiempo.
- Realizar un mantenimiento preventivo en toda la planta, antes de implementar el nuevo sistema de refrigeración, para evitar paros no programados en la planta debido a alguna falla de los equipos más antiguos.
- Capacitar al personal sobre el funcionamiento del antiguo y nuevo sistema de refrigeración, con la finalidad de mejorar la operación de las cámaras y con esto reducir los posibles mantenimientos correctivos. Además, se puede evitar accidentes laborales por la fuga de amoníaco que es tóxico para el ser humano.
- Realizar convenios con proveedores que mantengan precios más estables y capacidad de abastecimiento durante todo el año, con la finalidad de reducir los costos de la materia prima y la disponibilidad del producto final.

BIBLIOGRAFÍA

AKDEMIR, S. “Designing of Cold Stores and Choosing of Cooling System Elements”. *Journal of Applied Science* [en línea], vol. 8, n°5 (2008), pp.788–794. [Consulta: 14 octubre de 2021]. ISSN 1812-5654. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/46029112_Designing_of_Cold_Stores_and_Choosing_of_Cooling_System_Elements

ARIAS, Sebastián G.; CEBALLOS, Adela M; & GUTIÉRREZ, Luis F. “Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açaí”. *TecnoLógicas*, vol. 22, n°46 (2019), pp. 25–38. [Consulta: 12 agosto de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.22430/22565337.1117>

BERK, Z. *Food Process Engineering and Technology. In Food Process Engineering and Technology.* [en línea]. Tercera Edición. London - United Kingdom: Elsevier, 2009. [Consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373660-4.X0001-4>

CHATTOPADHYAY, S. “*Pressure Vessels Design and Practice*”. [en línea]. Florida – Estados Unidos: CRC Press, 2009. [Consulta: 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9780203492468-4>

CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII DIVISIÓN 1. *Reglas para la construcción de tanques a presión.*

DAVIDSON, A; & JAINE T. *The Oxford Companion to food.* [en línea]. Tercera Edición. New York – Estados Unidos: Oxford University Press, 2019. [Consulta: 16 de junio de 2021]. Disponible en : <https://www.vitalsource.com/ar/products/the-oxford-companion-to-food-alan-davidson-v9780191040726>

DINCER, I., & KANOGLU, M. *Refrigeration systems and applications.* [en línea]. Tercera Edición. Ontario – Canadá: JhonWiley & Sons, 2017. [Consulta: 21 de junio de 2021]. Disponible en: https://sv.20file.org/up1/1102_0.pdf

GOPALA, C. *Engineering for Storage of Fruits and Vegetables: Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Storage.* [en línea]. London - United Kingdom: Elsevier, 2015. [Consulta: 13 de junio de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03394-1>

GONZÁLEZ, L.; GAYOSO, G. & CHANG, L. “*Annona muricata* L. “guanábana” (Annonaceae), una fruta utilizada como alimento en el Perú prehispánico”. *Arnaldoa*, vol. 25, n° 1, 2018, (Perú),

pp.127–140. [Consulta: 20 de junio de 2021]. ISSN 2413-3299. Disponible en: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25108>

NTE INEN 2337. *Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos.*

RUTHERVAN, M. “Summary of safety criteria in design”. ResearchGate. [en línea], vol. 10, n° 1 (2015), (Malasia). pp.18–23. [Consulta: 20 de julio de 2021]. Disponible en : <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1501.5285>

TANGSRIWONG, K.; LAPCHIT, P.; KITTIJUNGJIT, T.; KLAMRASSAMEE, T.; SUKJAI, Y. & LAOONUAL, Y. “Modeling of chemical processes using commercial and open-source software: A comparison between Aspen plus and DWSIM”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea], 2020, 463(1). [Consulta: 26 de julio de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012057>

WAGNER, D. *Dwsim simulador de procesos gratuito.* [blog]. Salamanca: Biblioteca Abraham Zacut. Universidad de Salamanca, 6 de septiembre de 2019. [Consulta: 20 de julio de 2021]. Disponible en : <https://dwsim.inforside.com.br/new/index.php/about/>

YUNUS, C. & BOLES, M. *Termodinámica.* Sexta Edición. México: Mc Graw-Hill, 2008. ISBN 978-970-10-7286-8, pp. 51,281-300.

ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE SEGURIDAD DEL AMONIACO

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES AMONIACO ANHIDRO

SECCIÓN I - INFORMACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

Nombre Comercial: AMONIACO ANHIDRO, Solución amoniacal

Nombre Químico: Amoniacó

N° CAS: 7664-41-7

N° EC: 215-647-6

Recomendaciones de Uso: Agricultura: Fertilizante. Aplicaciones Industriales: Manufactura de productos químicos. Manufactura de fibras sintéticas. Refrigerante. Productos de limpieza

<Nombre de la empresa>

Fabricante: <Dirección><Pcia><CP>

<Teléfono>

Teléfono para emergencias (24 horas): <Teléfono>

SECCIÓN II –IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

CLASIFICACIÓN (según la Directiva 1272/2008/EC) Producto Corrosivo

Pictograma:



Palabra de advertencia: PELIGRO Corrosivo

Indicaciones de peligro:

Puede ser fatal si inhalado. El amoniaco anhidro líquido es extremadamente frío y puede causar congelamiento de tejidos en su contacto. Use ventilación adecuada para mantener la exposición debajo de los límites recomendados. No respire el gas. No ponga en contacto con ojos, piel o ropa. No pruebe o trague. Lave cuidadosamente luego del manipuleo. Use equipamiento protector personal adecuado.
Gas comprimido o líquido refrigerado. Manténgase alejado del calor, chispas, llamas u otras fuentes de ignición (i.e. electricidad estática, llamas piloto, Equipo mecánico/eléctrico).
Gas o líquido incoloro con un olor intenso, pungente, y sofocante.

Consejos de prudencia:

CONTENIDO BAJO PRESION.
PELIGROSA SU INGESTION.
CAUSA DANOS A LOS SIGUIENTES ORGANOS: PULMONES, TRACTO RESPIRATORIO
PIEL, OJOS, CORNEAS.
No ingerir. Líquido extremadamente peligroso y vapor bajo presión. No perforo o incinere el envase. Lávese cuidadosamente luego de manipuleo.

Prevención

Use guantes protectores: 4-8 hs de exposición: goma nitrilo, goma butilo, neopreno, Viton®, PVC, Teflón; <1 hs de exposición: polietileno (PE), alcohol polivinilo (PVA). Use protección en ojos y cara. Use ropa protectora:
Recomendado: Traje protector resistente a químicos.
Use solo en el exterior o en áreas bien ventiladas. No respire polvos/humo/gas/niebla/vapores/sprays.

Intervención

Si se inhala: Lleve a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
En caso de ingestión: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN

TOXICOLÓGICA o a un médico. NO provocar el vómito. Enjuagar la boca.
EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Qúitese inmediatamente la ropa contaminada. Lave la piel con agua. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico. Lave cuidadosamente con agua durante varios minutos. Qúitese los lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Proseguir con el lavado.

Almacenamiento	Almacénese bajo llave. En local bien ventilado.
Eliminación	Dispóngase el contenido y envases de acuerdo con las regulaciones locales, regionales, nacionales e internacionales.

CLASIFICACIÓN (Según la Directiva 1999/45/CE) Producto clasificado como peligroso.

Símbolo de peligro:



Frases R:
 R34- Causa quemaduras.
 R50- Muy tóxico para los organismos acuáticos.

Frases S:

SECCIÓN III - COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nuestra evaluación del peligro ha identificado los siguientes ingredientes químicos como peligrosos según OSHA 29 CFR 1910.1200 y el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

INGREDIENTES PELIGROSOS	No. CAS	% PESO
Amoniaco	7664-41-7	99.5 - 99.995
Hidróxido de Amonio	1336-21-6	0.005-0.5

SECCIÓN IV - MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Medidas generales:	El amoniaco es tóxico por inhalación, corrosivo en todas las partes del cuerpo y las salpicaduras líquidas puede causar quemaduras severas
Contacto con los ojos:	Salpicaduras de amoniaco líquido puede causar daño permanente a los ojos sin que los efectos que no sean evidentes por varios días. Los vapores pueden causar irritación y el mojado de los ojos a altas concentraciones puede causar severos daños.
Contacto con la piel:	Salpicaduras de amoniaco puede producir quemaduras. La presencia de vapores es irritante para la piel.
Inhalación:	Las concentraciones umbral de percepción del olor están entre 5 y 25ppm. Concentraciones de amoniaco en el rango de 50 a 100ppm pueden causar irritación leve luego de una exposición prolongada. La irritación inmediata de ojos, nariz y garganta puede ocurrir con niveles de amoniaco entre 400 y 700ppm con síntomas de la irritación leve de la zona respiratoria superior si persiste más allá del período de exposición. A concentraciones más altas, mas de 1000ppm, puede desarrollarse severo y la irritación de ojos y zona respiratoria superior luego de un período corto de exposición. La exposición al amoniaco en exceso a 2000ppm incluso por cortos períodos puede dar lugar a daños severo de pulmón que podría ser fatal. La acumulación del fluido en los pulmones (edema pulmonar) puede ocurrir hasta 48 horas después de la exposición y podría ser fatal. La exposición a concentraciones en exceso del límite de exposición ocupacional puede conducir a debilitación respiratoria

permanente.

Ingestión: No inducir vomito. Si la persona está consciente, lave la boca con agua y dele 2 o 3 vasos de agua para beber. Obtenga atención médica inmediata.

Síntomas:

SECCIÓN V - MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

Medios de extinción apropiados: No combustible. Aísle y cierre la fuente de escape. Utilice espuma, polvo seco o CO₂. Utilice chorros de agua para refrescar los envases y estructuras expuestos al fuego, dispersar los vapores y proteger al personal. No eche agua sobre amoníaco líquido.

Peligros específicos: Los vapores de amoníaco y los derrames líquidos son difíciles de encender, en particular en espacios abiertos. En espacio confinado, las mezclas de amoníaco y aire dentro de ciertos límites (16-27%), pueden causar explosión si fueran encendidas. Una nube fría y densa de amoníaco puede deteriorar la visibilidad. Los productos de descomposición pueden incluir amoníaco y óxidos de nitrógeno.

Equipamiento especial de protección para bomberos: Los bomberos deben llevar equipo de protección apropiada y aparatos de respiración autónomos (SCBA) con máscara facial completa que opere en presión positiva. El equipo de bomberos debe incluir cascos, botas de protección y guantes para proporcionar un nivel básico de protección para incidentes químicos.

Medidas especiales de lucha contra incendios: En caso de incendio, aislar rápidamente la zona, evacuando a todas las personas de las proximidades del lugar del incidente. No se realizara ningún acto que suponga un riesgo personal sin un adecuado entrenamiento.

SECCIÓN VI - MEDIDAS PARA CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Precauciones personales: Donde hubiera escapes importantes debe usarse ropa protectora completa incluyendo protección respiratoria. Evacue el área del derrame hacia favor del viento, si es seguro hacerlo. Si no, permanezca dentro, cierre todas las ventanas y apague los ventiladores y exhaustores. Aísle la fuente de escape lo más rápido posible con personal entrenado. Ventile el área del derrame o del escape para dispersar los vapores. Anule las fuentes de ignición. Considere cubrir con espuma para reducir la evaporación. Contenga los derrames si es posible. Utilice chorros de agua para combatir las nubes del gas. Evitar fuentes de ignición. Usar equipo de respiración autónoma y de protección dérmica y ocular. Usar guantes protectores impermeables. Ventilar inmediatamente, especialmente en zonas bajas donde puedan acumularse los vapores.

Precauciones del medio ambiente: No aplique agua directamente en derrames grandes de amoníaco. Tome precauciones para evitar la contaminación de arroyos. Informe a la autoridad apropiada en caso de contaminación accidental de arroyos o drenajes. Prevenir la entrada hacia vías navegables, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas. Contenga los sólidos contaminados y cúbralos para evitar su dispersión al ambiente. Prevenga que el polvo llegue a cursos de agua.

Contención y limpieza: Recoger el producto a través de arena, tierra o material absorbente inerte y limpiar o lavar completamente la zona contaminada. Recoger el producto con pala y colocarlo en un recipiente apropiado. Barrer o aspirar evitando la dispersión del polvo. Puede ser necesario humedecerlo ligeramente. Limpiar o lavar completamente la zona contaminada. Disponer el agua y el residuo recogido en envases señalizados para su eliminación como residuo químico.

SECCIÓN VII – MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación:	<p>Prohibido comer, beber o fumar durante su manipulación. Evitar contacto con ojos, piel y ropa. Lavarse los brazos, manos, y uñas después de manejar este producto. El uso de guantes es recomendado. Evitar la inhalación de los vapores. Mantener cerrado el recipiente. Usar con ventilación apropiada. Maneje los recipientes con cuidado. Abra lentamente con el fin de controlar posible alivio de presión. Evite pequeños derrames y fugas para evitar riesgos de resbalamiento. Las descargas estáticas pueden encender el producto. Procure una descarga a tierra antes de manipular el producto. Evitar la dispersión y generación de nubes de polvo. Mantener cerrado el recipiente. Usar con ventilación apropiada.</p>
Condiciones de almacenamiento:	<p>Material de envasado apropiado suministrado por el fabricante. Acero al carbono; Polietileno; Polipropileno; Teflón; Acero inoxidable; Poliéster. Materiales y recubrimientos inadecuados: Poliestireno; Caucho Natural; Caucho Butilo; Monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM).</p> <p>Almacenar en el envase original protegido de la luz directa del sol en un área seca, fresca y bien ventilada, lejos de materiales incompatibles y alimentos o bebidas. Guardar bajo llave. Apartado de ácidos. Mantener el contenedor bien cerrado y sellado hasta el momento de uso. Contenedores que han sido abiertos deben cuidarse de mantenerse en posición vertical para evitar derrames.</p> <p>No almacenar en contenedores sin etiquetar. Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar contaminaciones. Manténganse en un lugar fresco y bien ventilado. Mantener alejado de: ácidos fuertes, bases fuertes, halógenos. materiales orgánicos, cromatos, zinc, estaño, cobre, níquel</p>

SECCIÓN VIII – CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Parámetros de control:	<p>ACGIH TLV: 25 ppm (17 mg/m³) TWA; 35 ppm (24 mg/m³) STEL OSHA PEL: 50 ppm (35 mg/m³) TWA.</p> <p>NIOSH IDLH: 300 ppm.</p> <p>Exposiciones a un nivel de 100 ppm provocan irritaciones de las mucosas de la nariz y garganta. Concentraciones por encima de 700 ppm (0.07%) causan severas irritaciones en los ojos, hemorragias e hinchazón, y si no es tratado inmediatamente, puede llevar a pérdidas parciales o totales de la vista.</p>
Medidas de protección:	<p>Úsese sólo con ventilación adecuada. Si la operación genera polvo, humos, gas, vapor o nieblas, use procesos de confinamiento, ventilación local, u otros controles de ingeniería para mantener la exposición del obrero a los contaminantes aerotransportados por debajo de todos los límites recomendados o estatutarios.</p> <p>En áreas bajas o confinadas debe proveerse ventilación mecánica. Disponer de duchas y estaciones lavaojos.</p>
Protección respiratoria:	<p>Utilice instalaciones adecuadamente equipadas, con purificador de aire o un respirador con suministro de aire que cumpla con los estándares aprobados indicados por las evaluaciones de riesgo. La selección del respirador debe basarse en los niveles de exposición previamente conocidos o anticipados y en los límites de seguridad laboral del respirador seleccionado. Recomendado: equipo de respiración autónomo.</p>
Protección dérmica:	<p>Lave las manos, antebrazos y cara completamente después de manejar productos químicos, antes de comer, fumar y usar el lavabo y al final del período de trabajo. Técnicas apropiadas deben ser utilizadas para retirar la ropa contaminada.</p> <p>Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla. Asegúrese de estaciones de lavado de ojos y que haya duchas de seguridad localizadas cerca del sitio de trabajo.</p> <p>Al manipular este producto se deben usar guantes protectores impermeables, ropa de trabajo y zapatos de seguridad resistentes a productos químicos. Guantes: (4-8 hs exposición): caucho nitrilo, caucho de butilo, neopreno, Viton®, PVC, teflón. (<1 hs exposición): polietileno (PE),</p>

alcohol de polivinilo (PVA).

Protección ocular: Se debe usar equipo protector ocular que cumpla con las normas aprobadas cuando la evaluación del riesgo indique que es necesario para evitar toda exposición a salpicaduras del líquido, nieblas, gases o polvos.

SECCIÓN IX – PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Forma y apariencia: Gas o líquido incoloro	Olor: Pungente y sofocante olor característico.
Umbral de olor: 5 a 25 ppm	pH: 10.6-11.6 (0.02-1.7% solución acuosa)
Punto de fusión: - 77 °C	Punto de ebullición : - 33 °C
Punto de inflamación: No aplicable	Tasa de evaporación: No disponible
Temp. De autoignición: 651 °C	Intervalo de explosividad: No aplicable
Densidad (16 °c): 0.62 g/cm ³	Presión de vapor (20°C): 52 kPa - 124.9 psi a 20°C (líquido)
Solubilidad (en agua, 20°C): 51.0 g/100g	Densidad vapor (aire=1): 0.8 a -20°C - 0.6 a 0°C
Coef. De reparto (pk_{ow}): - 2.66	Viscosidad (cp): 0.255 cP a -33.5°C

SECCIÓN X – ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:	El material es estable bajo condiciones normales.
Riesgo de polimerización:	El material no desarrollará polimerización peligrosa.
Condiciones a evitar:	Exposición al calor, llamas, chispas y electricidad estática. Calefacción o daño físicos de los envases. Se expande muy rápidamente cuando es calentado, por eso los tanques no se deben llenar más de un 85 % con amoníaco líquido frío, ni se debe dejar alojado en mangueras o tubos. A menos que el equipo esté protegido mediante válvulas de presión, podría explotar debido a la presión generada a causa del calor.
Productos peligrosos de descomposición:	A raíz del almacenamiento, uso o calentamiento no se producen productos peligrosos. En caso de incendio, ver la Sección V.
Materiales incompatibles:	El amoníaco reacciona violentamente con los hipocloritos, mercurio y halógenos produciendo compuestos inestables capaces de estallar. Reactivo o incompatible con los siguientes materiales: Materiales reductores, metales y álcalis. Óxidos de halógeno, óxido de etileno, óxidos de fósforo, óxidos de azufre, sulfuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno. Ataca el cobre, zinc, aluminio, plomo, níquel, oro, cadmio y sus aleaciones. Reacciona con el mercurio y óxido de plata formando compuestos sensibles al choque mecánico.

SECCIÓN XI – INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Vías de exposición:	Ingestión, inhalación, contacto con la piel.
Carcinogenicidad, mutagenicidad y otros efectos:	No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores o iguales que 0,1%, como carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la IARC (Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos). No se conocen datos o niveles críticos de efectos sobre mutagenicidad o teratogenicidad (efecto sobre la reproducción).
Datos en animales:	LD50 (oral, rata, OECD 425): 350 mg/kg LC50 (inhalación, 4hs., rata, OCDE 403): 2000 mg/l IRRITACIÓN OCULAR (conejo, OECD 405): Severo irritante 250 microgramos.

SECCIÓN XII – INFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA

Ecotoxicidad:	Toxicidad aguda para peces: EC50 peces: 0.09 a 3.51 mg/l. Varía según especie analizada, tipo de test (estático o dinámico), temperatura y pH. EC50 (48hs., <i>Daphnia magna</i> , OCDE 202): 2, 94 mg/l EC50 (72hs. o 96hs., <especie algas>, OCDE 201): 0,5 a 500 mg/l NOEC (fases tempranas del pez, OCDE 210): 0.025 a 1.2 mg/l NOEC (<i>Daphnia magna</i> , OECD 211): 0.163 a 0.42 mg/l
Persistencia y degradabilidad:	La biodegradación del amoníaco bajo condiciones aeróbicas en el agua resulta en nitrato produciendo una demanda biológica de oxígeno (DBO).
Bioacumulación:	No aplicable
Movilidad:	El amoníaco se disipa relativamente rápido en el aire y rápidamente vuelve a la tierra a través de la combinación con iones sulfato o lavado por las lluvias. El amoníaco se adsorbe fuertemente al suelo, partículas de sedimento y coloides en el agua en condiciones aeróbicas.
Aox, contenido de metales:	El producto no contiene halógenos orgánicos ni metales.

SECCIÓN XIII – CONSIDERACIONES PARA DESECHO

La generación de desechos se debe evitar siempre que sea posible o minimizar. Cantidades significativas de desechos del producto, no se deben derivar a las aguas residuales, sino a una planta de tratamiento de efluentes apropiada. Tanto el sobrante de producto como los envases vacíos deberán ser eliminarse según la legislación vigente en materia de Protección del Medio ambiente y en particular de Residuos Peligrosos (Ley Nacional N° 24.051 y sus reglamentaciones). Deberá clasificar el residuo y disponer del mismo mediante una empresa autorizada.

SECCIÓN XIV – INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE



TRANSPORTE TERRESTRE:

Nombre Apropiado para Embarque:	Amoníaco anhidro/ Solución Amoniacal
No UN/ID:	1005/ 2672
Clase de Peligro:	2.3 / 8
Grupo de Empaque:	- / III
Cantidad Exenta:	< 45 kg

TRANSPORTE AÉREO (ICAO/IATA):

Nombre Apropiado para Embarque:	Amoníaco anhidro / Solución Amoniacal
No UN/ID:	1005 / 2672
Clase de Peligro:	2.3 / 8
Grupo de Empaque:	- /III
Avión de Pasajero y Carga:	Prohibido / 5 It
Avión de Carga Solamente:	60 It / 60 It

CRE:

TRANSPORTE MARÍTIMO (IMDG/IMO):

Nombre Apropiado para Embarque:	Amoníaco anhidro
No UN/ID:	1005

Clase de Peligro:	2.3
Grupo de Empaque:	
Contaminante Marino:	
Código EMS:	
Estiba y Segregación:	

SECCIÓN XV – REGULACIÓN DE USO

Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla:

Sin peligro para la capa de ozono (1005/2009/CE).

Contenidos orgánicos volátiles de los compuestos (COV) (1999/13/EC): < 0.1%

Hoja de Datos de Seguridad conforme a la Norma IRAM 41400: 2012.

Resolución 295/2003 Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, República Argentina.

Ley Nacional N° 24.051 y sus reglamentaciones, República Argentina.

Resolución 195/97 Secretaría de Obras Públicas y Transporte, República Argentina.

Reglamento (CE) 1272/2008 sobre Clasificación, etiquetado y envasado de las sustancias químicas y sus mezclas.

Reglamento (CE) 1907/2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).

Dir. 91/689/CEE de residuos peligrosos y Dir. 91/156/CEE de gestión de residuos.

Acuerdo europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR 2013).

Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID 2013).

Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG 34 ed.).

Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA 52 ed.) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.

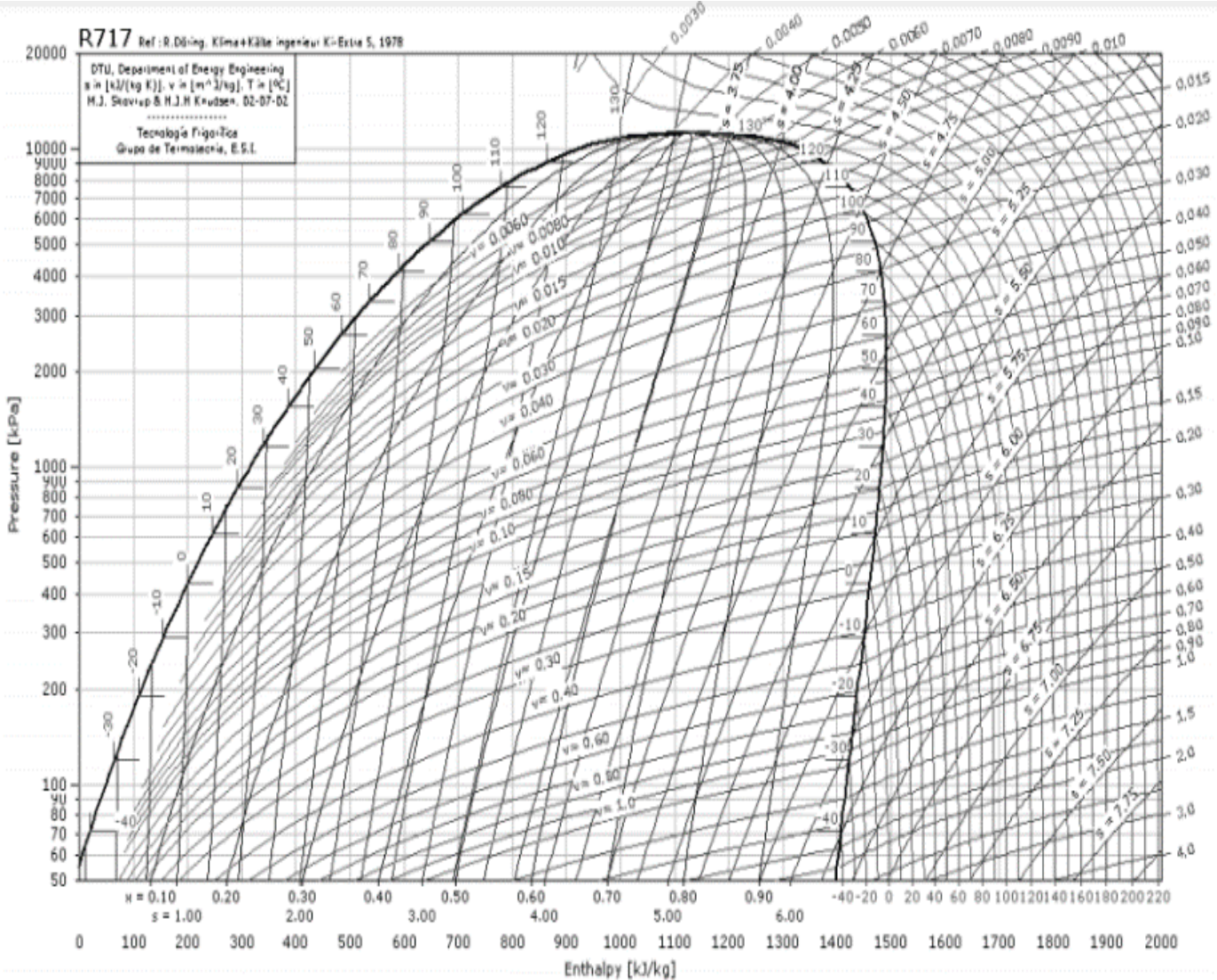
Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, quinta edición revisada, 2013 (SGA 2013).

SECCIÓN XVI – OTRA INFORMACIÓN

Esta información solamente se refiere al producto antes mencionado y no ha de ser válida para otro(s) producto(s) ni para cualquier proceso. Esta hoja de datos de seguridad proporciona información de salud y seguridad. La información es, según nuestro mejor conocimiento, correcta y completa. Se facilita de buena fe, pero sin garantía. El producto debe ser usado en aplicaciones consistentes con nuestra bibliografía del producto. Los individuos que manejen este producto, deben ser informados de las precauciones de seguridad recomendadas y deben tener acceso a esta información. Para cualquier otro uso, se debe evaluar la exposición de forma tal que se puedan implementar prácticas apropiadas de manipulación y programas de entrenamiento para asegurar operaciones seguras en el lugar de trabajo.

Continúa siendo responsabilidad propia del usuario el que esta información sea la apropiada y completa para la utilización especial de este producto.

ANEXO C: DIAGRAMA P-H DEL R-717

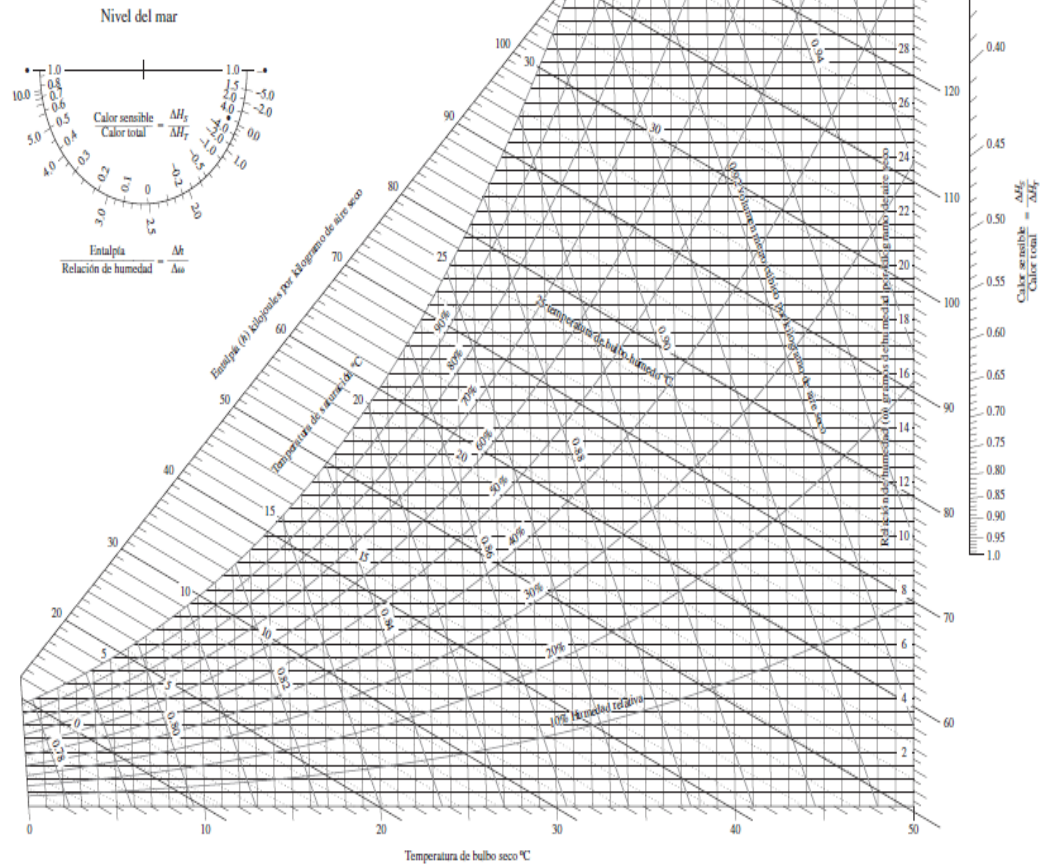


ANEXO D: CARTA PSICROMÉTRICA

ASHRAE Gráfica psicrométrica núm. 1
 Temperatura normal
 Presión barométrica 101.325 kPa



© 1992 American Society of Heating,
 Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.



ANEXO E: PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R717

R 717 (NH₃)							
	Líquido	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor
Temperatura	Presión	Densidad	Densidad	Entalpía	Entalpía	Entropía	Entropía
(°C)	(bar abs)	(Kg/M ³)	(Kg/M ³)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg-K)	(KJ/Kg-K)
-70	0,10941	724,72	0,11101	32,343	1498,7	0,16220	7,3803
-69	0,11768	723,63	0,11886	36,591	1500,6	0,18306	7,3541
-68	0,12647	722,53	0,12715	40,846	1502,4	0,20384	7,3281
-67	0,13581	721,43	0,13593	45,106	1504,2	0,22455	7,3025
-66	0,14572	720,33	0,14520	49,372	1506,1	0,24519	7,2772
-65	0,15624	719,22	0,15499	53,645	1507,9	0,26576	7,2522
-64	0,16739	718,11	0,16532	57,922	1509,7	0,28625	7,2276
-63	0,17921	716,99	0,17621	62,206	1511,5	0,30668	7,2032
-62	0,19171	715,87	0,18769	66,496	1513,3	0,32703	7,1791
-61	0,20495	714,75	0,19978	70,792	1515,1	0,34732	7,1553
-60	0,21893	713,62	0,21251	75,093	1516,9	0,36754	7,1318
-59	0,23371	712,48	0,22589	79,400	1518,7	0,38769	7,1085
-58	0,24932	711,35	0,23997	83,714	1520,4	0,40778	7,0856
-57	0,26579	710,20	0,25475	88,033	1522,2	0,42779	7,0629

-56	0,28315	709,06	0,27028	92,35 7	1524,0	0,44774	7,0405
-55	0,30145	707,90	0,28657	96,68 8	1525,7	0,46763	7,0183
-54	0,32072	706,75	0,30366	101,0 2	1527,5	0,48745	6,9964
-53	0,34101	705,59	0,32157	105,3 7	1529,2	0,50720	6,9747
-52	0,36235	704,43	0,34034	109,7 1	1530,9	0,52690	6,9533
-51	0,38479	703,26	0,35999	114,0 7	1532,6	0,54652	6,9321
-50	0,40836	702,09	0,38055	118,4 3	1534,3	0,56609	6,9112
-49	0,43312	700,91	0,40207	122,7 9	1536,0	0,58559	6,8905
-48	0,45911	699,73	0,42456	127,1 6	1537,7	0,60503	6,8700
-47	0,48637	698,55	0,44806	131,5 4	1539,4	0,62440	6,8498
-46	0,51495	697,36	0,47261	135,9 2	1541,1	0,64371	6,8298
-45	0,54489	696,17	0,49824	140,3 1	1542,7	0,66297	6,8100
-44	0,57626	694,97	0,52498	144,7 0	1544,4	0,68216	6,7904
-43	0,60909	693,77	0,55287	149,1 0	1546,0	0,70129	6,7710
-42	0,64345	692,57	0,58194	153,5 0	1547,7	0,72036	6,7518
-41	0,67937	691,36	0,61224	157,9 1	1549,3	0,73937	6,7329
-40	0,71692	690,15	0,64380	162,3 2	1550,9	0,75832	6,7141
-39	0,75615	688,94	0,67665	166,7 4	1552,5	0,77721	6,6955

-38	0,79711	687,72	0,71085	171,1 7	1554,1	0,79604	6,6772
-37	0,83986	686,49	0,74641	175,6 0	1555,7	0,81482	6,6590
-36	0,88447	685,27	0,78340	180,0 3	1557,3	0,83353	6,6410
-35	0,93098	684,04	0,82184	184,4 8	1558,8	0,85219	6,6232
-34	0,97946	682,80	0,86178	188,9 2	1560,4	0,87079	6,6055
-33	1,03000	681,57	0,90326	193,3 7	1561,9	0,88933	6,588
-32	1,08260	680,32	0,94633	197,8 3	1563,4	0,90782	6,5708
-31	1,13730	679,08	0,99102	202,2 9	1565,0	0,92625	6,5536
-30	1,19430	677,83	1,03740	206,7 6	1566,5	0,94462	6,5367
-29	1,25350	676,58	1,08550	211,2 3	1568,0	0,96294	6,5199
-28	1,31510	675,32	1,13530	215,7 1	1569,4	0,98120	6,5033
-27	1,37920	674,06	1,18700	220,1 9	1570,9	0,99941	6,4868
-26	1,44570	672,80	1,24050	224,6 8	1572,4	1,01760	6,4705
-25	1,51470	671,53	1,29590	229,1 7	1573,8	1,03570	6,4543
-24	1,58640	670,26	1,35330	233,6 6	1575,2	1,05370	6,4383
-23	1,66080	668,98	1,41260	238,1 7	1576,7	1,07170	6,4224
-22	1,73790	667,71	1,47400	242,6 7	1578,1	1,08960	6,4067
-21	1,81790	666,42	1,53760	247,1 9	1579,5	1,10750	6,3911

-20	1,90080	665,14	1,60330	251,7 1	1580,8	1,12530	6,3757
-19	1,98670	663,85	1,67110	256,2 3	1582,2	1,14310	6,3604
-18	2,07560	662,55	1,74130	260,7 6	1583,5	1,16090	6,3452
-17	2,16770	661,25	1,81380	265,2 9	1584,9	1,17850	6,3302
-16	2,26300	659,95	1,88860	269,8 3	1586,2	1,19620	6,3153
-15	2,36170	658,65	1,96590	274,3 7	1587,5	1,21370	6,3005
-14	2,46370	657,34	2,04560	278,9 2	1588,8	1,23130	6,2859
-13	2,56910	656,02	2,12790	283,4 7	1590,1	1,24870	6,2713
-12	2,67820	654,70	2,21280	288,0 3	1591,4	1,26620	6,2569
-11	2,79080	653,38	2,30030	292,6 0	1592,6	1,28350	6,2426
-10	2,90710	652,06	2,39060	297,1 6	1593,9	1,30090	6,2285
-9	3,02730	650,73	2,48370	301,7 4	1595,1	1,31810	6,2144
-8	3,15130	649,39	2,57950	306,3 2	1596,3	1,33540	6,2004
-7	3,27930	648,06	2,67830	310,9 0	1597,5	1,35260	6,1866
-6	3,41140	646,71	2,78010	315,4 9	1598,7	1,36970	6,1729
-5	3,54760	645,37	2,88490	320,0 9	1599,8	1,38680	6,1592
-4	3,68800	644,02	2,99280	324,6 9	1601,0	1,40380	6,1457
-3	3,83270	642,66	3,10380	329,3 0	1602,1	1,42090	6,1323

-2	3,98190	641,30	3,21810	333,9 1	1603,2	1,43780	6,1190
-1	4,13560	639,94	3,33570	338,5 3	1604,3	1,45470	6,1058
0	4,29380	638,57	3,45670	343,1 5	1605,4	1,47160	6,0926
1	4,45680	637,20	3,58110	347,7 8	1606,5	1,48840	6,0796
2	4,62460	635,82	3,70900	352,4 2	1607,5	1,50520	6,0667
3	4,79720	634,44	3,84050	357,0 6	1608,5	1,52190	6,0538
4	4,97480	633,06	3,97570	361,7 1	1609,6	1,53860	6,0410
5	5,15750	631,66	4,11460	366,3 6	1610,5	1,55530	6,0284
6	5,34530	630,27	4,25730	371,0 2	1611,5	1,57190	6,0158
7	5,53850	628,87	4,40390	375,6 9	1612,5	1,58850	6,0033
8	5,73700	627,46	4,55450	380,3 6	1613,4	1,60500	5,9908
9	5,94090	626,05	4,70920	385,0 4	1614,4	1,62150	5,9785
10	6,15050	624,64	4,86790	389,7 2	1615,3	1,63800	5,9662
11	6,36570	623,22	5,03090	394,4 1	1616,2	1,65440	5,9540
12	6,58660	621,79	5,19830	399,1 1	1617,0	1,67080	5,9419
13	6,81350	620,36	5,37000	403,8 1	1617,9	1,68710	5,9299
14	7,04630	618,93	5,54610	408,5 2	1618,7	1,70340	5,9179
15	7,28520	617,49	5,72690	413,2 4	1619,5	1,71970	5,9060

16	7,53030	616,04	5,91230	417,9 7	1620,3	1,73590	5,8941
17	7,78170	614,59	6,10250	422,7 0	1621,1	1,75210	5,8824
18	8,03950	613,13	6,29750	427,4 4	1621,9	1,76820	5,8707
19	8,30380	611,67	6,49750	432,1 8	1622,6	1,78440	5,8590
20	8,57480	610,20	6,70250	436,9 4	1623,3	1,80050	5,8475
21	8,85240	608,72	6,91270	441,7 0	1624,0	1,81650	5,8359
22	9,13690	607,24	7,12810	446,4 7	1624,7	1,83260	5,8245
23	9,42830	605,76	7,34880	451,2 4	1625,3	1,84850	5,8131
24	9,72680	604,26	7,57510	456,0 3	1626,0	1,86450	5,8017
25	10,0320	602,76	7,80690	460,8 2	1626,6	1,88040	5,7904
26	10,3450	601,26	8,04430	465,6 2	1627,2	1,89630	5,7792
27	10,6660	599,75	8,28760	470,4 3	1627,7	1,91220	5,7680
28	10,9930	598,23	8,53680	475,2 5	1628,3	1,92810	5,7569
29	11,3290	596,70	8,79200	480,0 8	1628,8	1,94390	5,7458
30	11,6720	595,17	9,05330	484,9 1	1629,3	1,95970	5,7347
31	12,0230	593,63	9,32090	489,7 6	1629,8	1,97540	5,7237
32	12,3820	592,08	9,59500	494,6 1	1630,3	1,99110	5,7128
33	12,7490	590,53	9,87550	499,4 7	1630,7	2,00690	5,7019

34	13,1240	588,97	10,16300	504,3 4	1631,1	2,02250	5,6910
35	13,5080	587,40	10,45700	509,2 3	1631,5	2,03820	5,6801
36	13,9000	585,82	10,75800	514,1 2	1631,9	2,05380	5,6693
37	14,3000	584,24	11,06600	519,0 2	1632,2	2,06940	5,6586
38	14,7090	582,65	11,38100	523,9 3	1632,5	2,08500	5,6479
39	15,1270	581,05	11,70300	528,8 6	1632,8	2,10060	5,6372
40	15,5540	579,44	12,03400	533,7 9	1633,1	2,11610	5,6265
41	15,9900	577,82	12,37100	538,7 4	1633,3	2,13170	5,6159
42	16,4350	576,20	12,71700	543,6 9	1633,5	2,14720	5,6053
43	16,8900	574,56	13,07100	548,6 6	1633,7	2,16270	5,5947
44	17,3530	572,92	13,43200	553,6 4	1633,9	2,17810	5,5841
45	17,8270	571,27	13,80300	558,6 3	1634,0	2,19360	5,5736
46	18,3100	569,61	14,18100	563,6 3	1634,1	2,20900	5,5631
47	18,8020	567,94	14,56900	568,6 5	1634,2	2,22440	5,5526
48	19,3050	566,25	14,96500	573,6 8	1634,2	2,23980	5,5422
49	19,8180	564,56	15,37100	578,7 2	1634,2	2,25520	5,5317
50	20,3400	562,86	15,78500	583,7 7	1634,2	2,27060	5,5213
51	20,8730	561,15	16,20900	588,8 4	1634,2	2,28600	5,5109

52	21,4170	559,43	16,64300	593,9 2	1634,1	2,30130	5,5005
53	21,9710	557,70	17,08700	599,0 2	1634,0	2,31670	5,4901
54	22,5360	555,95	17,54100	604,1 3	1633,9	2,33200	5,4797
55	23,1110	554,20	18,00600	609,2 6	1633,7	2,34730	5,4693
56	23,6980	552,43	18,48100	614,4 0	1633,5	2,36270	5,4589
57	24,2950	550,65	18,96700	619,5 6	1633,3	2,37800	5,4486
58	24,9040	548,86	19,46400	624,7 3	1633,0	2,39330	5,4382
59	25,5240	547,06	19,97300	629,9 2	1632,7	2,40860	5,4278
60	26,1560	545,24	20,49300	635,1 2	1632,4	2,42390	5,4174
61	26,7990	543,41	21,02500	640,3 5	1632,1	2,43920	5,4071
62	27,4540	541,57	21,5700	645,5 9	1631,7	2,45450	5,3967
63	28,1210	539,72	22,12700	650,8 4	1631,2	2,46980	5,3863
64	28,8000	537,85	22,69700	656,1 2	1630,8	2,48510	5,3759
65	29,4910	535,96	23,2800	661,4 2	1630,2	2,50040	5,3655
66	30,1950	534,06	23,87700	666,7 3	1629,7	2,51570	5,3550
67	30,9110	532,15	24,48800	672,0 7	1629,1	2,53100	5,3446
68	31,6390	530,22	25,11300	677,4 2	1628,5	2,54630	5,3341
69	32,3810	528,27	25,75300	682,8 0	1627,8	2,56170	5,3236

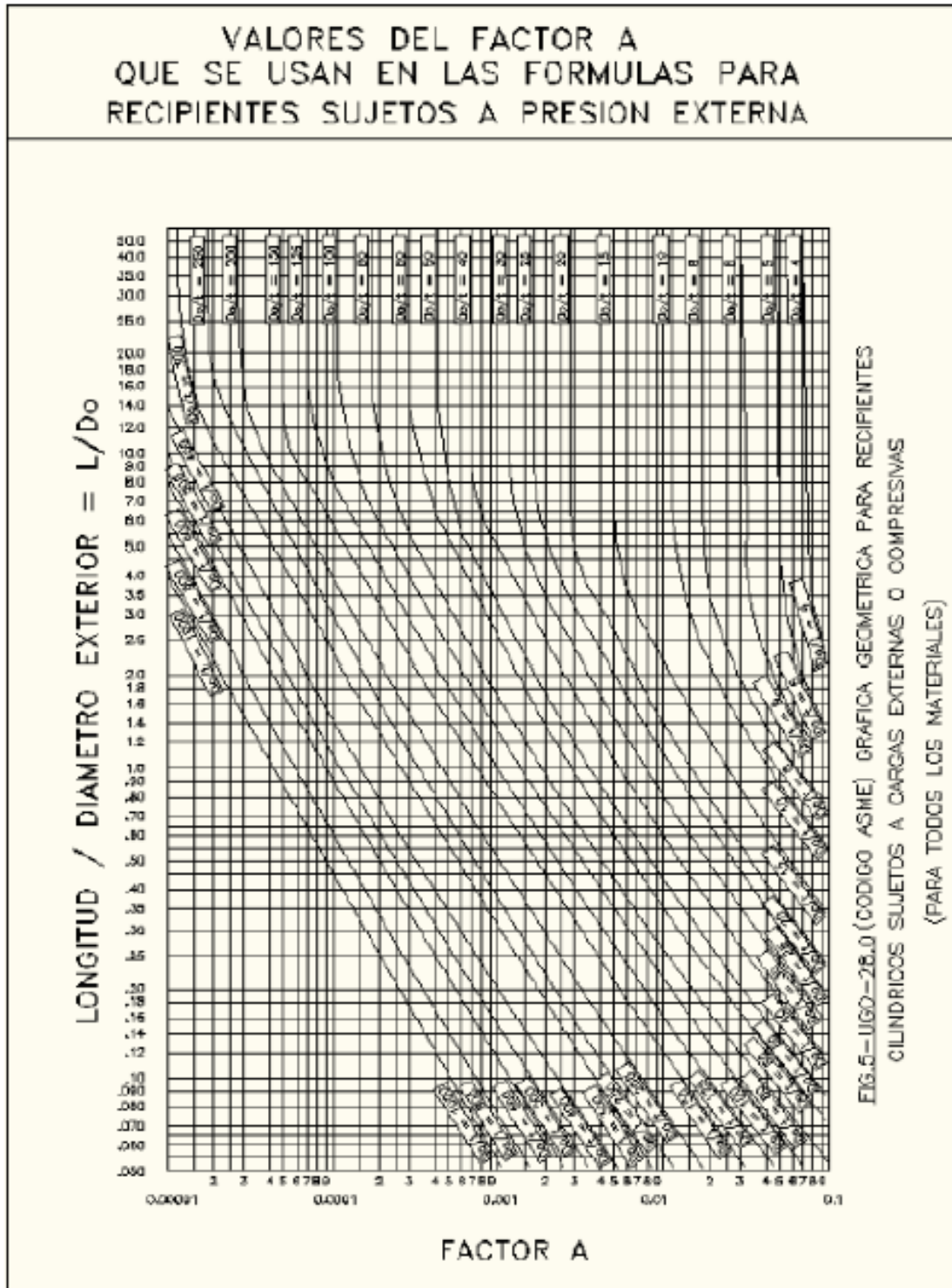
70	33,1350	526,31	26,40700	688,2 0	1627,1	2,57700	5,3131
71	33,9020	524,33	27,07800	693,6 2	1626,3	2,59230	5,3026
72	34,6820	522,33	27,76400	699,0 6	1625,5	2,60770	5,2920
73	35,4760	520,32	28,46700	704,5 3	1624,7	2,62310	5,2814
74	36,2840	518,28	29,18600	710,0 2	1623,8	2,63850	5,2707
75	37,1050	516,23	29,92300	715,5 3	1622,9	2,65390	5,2601
76	37,9390	514,16	30,67800	721,0 7	1621,9	2,66930	5,2493
77	38,7880	512,07	31,45100	726,6 4	1620,9	2,68470	5,2386
78	39,6510	509,96	32,24400	732,2 3	1619,8	2,70020	5,2278
79	40,5280	507,83	33,05600	737,8 5	1618,6	2,71570	5,2169
80	41,4200	505,67	33,88800	743,5 0	1617,5	2,73120	5,2060
81	42,3260	503,49	34,74100	749,1 8	1616,2	2,74680	5,1950
82	43,2470	501,29	35,61500	754,8 8	1614,9	2,76230	5,1840
83	44,1830	499,07	36,51200	760,6 2	1613,6	2,77800	5,1729
84	45,1340	496,82	37,43200	766,3 9	1612,2	2,7936	5,1617
85	46,1000	494,54	38,37600	772,2 0	1610,7	2,8093	5,1504
86	47,0820	492,24	39,34400	778,0 4	1609,1	2,8250	5,1391
87	48,0790	489,91	40,33800	783,9 1	1607,5	2,8408	5,1277

88	49,0930	487,56	41,35900	789,8 2	1605,9	2,8566	5,1162
89	50,1220	485,17	42,40700	795,7 7	1604,1	2,8725	5,1046
90	51,1670	482,75	43,48400	801,7 6	1602,3	2,8884	5,0929
91	52,2290	480,31	44,5900	807,7 9	1600,5	2,9043	5,0811
92	53,3070	477,82	45,72800	813,8 6	1598,5	2,9204	5,0692
93	54,4020	475,31	46,89800	819,9 7	1596,5	2,9365	5,0572
94	55,5140	472,76	48,10100	826,1 3	1594,4	2,9526	5,0450
95	56,6430	470,17	49,34000	832,3 4	1592,2	2,9689	5,0327
96	57,7900	467,55	50,61500	838,6 0	1589,9	2,9852	5,0203
97	58,9540	464,88	51,92800	844,9 1	1587,5	3,0016	5,0078
98	60,1350	462,18	53,28200	851,2 7	1585,0	3,0180	4,9950
99	61,3350	459,43	54,67700	857,6 8	1582,5	3,0346	4,9821
100	62,5530	456,63	56,11700	864,1 6	1579,8	3,0513	4,9691
101	63,7890	453,79	57,60300	870,6 9	1577,0	3,0680	4,9558
102	65,0440	450,90	59,13800	877,2 9	1574,1	3,0849	4,9424
103	66,3180	447,95	60,72400	883,9 6	1571,1	3,1019	4,9287
104	67,6100	444,95	62,36500	890,7 0	1568,0	3,1190	4,9148
105	68,9230	441,90	64,06300	897,5 1	1564,7	3,1363	4,9007

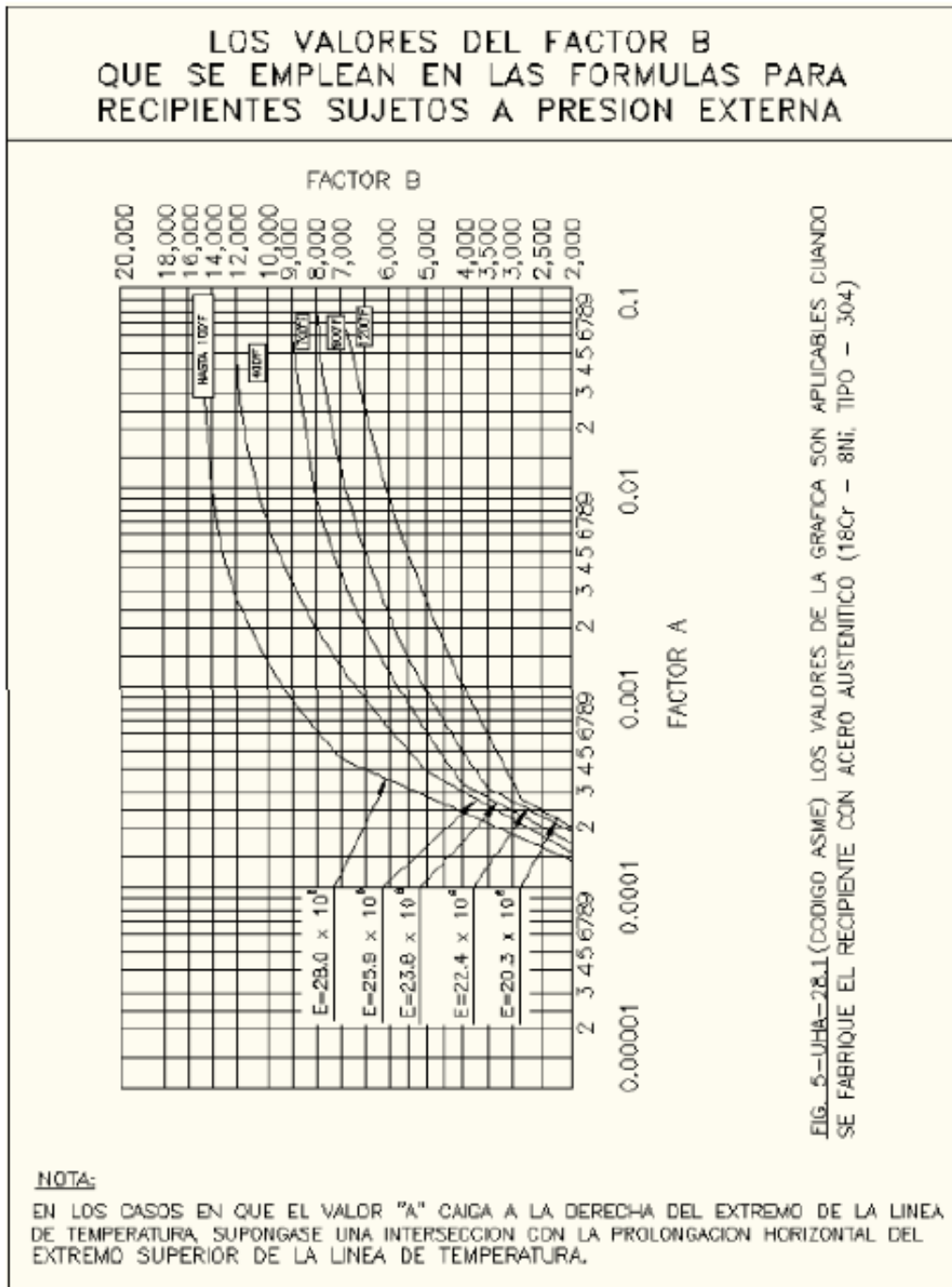
106	70,2550	438,78	65,82200	904,4 0	1561,3	3,1537	4,8863
107	71,6060	435,59	67,64600	911,3 7	1557,8	3,1712	4,8716
108	72,9780	432,34	69,53900	918,4 3	1554,1	3,1889	4,8567
109	74,3700	429,01	71,50500	925,5 8	1550,2	3,2068	4,8414
110	75,7830	425,61	73,55000	932,8 4	1546,2	3,2249	4,8258
111	77,2170	422,12	75,67900	940,2 0	1542,0	3,2432	4,8099
112	78,6730	418,54	77,89900	947,6 8	1537,6	3,2618	4,7935
113	80,1500	414,86	80,21700	955,2 8	1533,0	3,2805	4,7768
114	81,6490	411,08	82,64200	963,0 1	1528,2	3,2996	4,7595
115	83,1700	407,18	85,18200	970,8 9	1523,1	3,3190	4,7418
116	84,7140	403,15	87,84900	978,9 3	1517,8	3,3387	4,7235
117	86,2810	398,99	90,65400	987,1 5	1512,2	3,3588	4,7046
118	87,8720	394,67	93,61400	995,5 6	1506,3	3,3793	4,6850
119	89,4860	390,18	96,74500	1004, 20	1500,0	3,4003	4,6647
120	91,1250	385,49	100,0700	1013, 10	1493,4	3,4218	4,6435
121	92,7890	380,57	103,6100	1022, 20	1486,3	3,4440	4,6214
122	94,4780	375,40	107,4000	1031, 70	1478,7	3,4669	4,5982
123	96,1920	369,93	111,4800	1041, 60	1470,6	3,4907	4,5737

124	97,9340	364,08	115,9000	1051, 90	1461,8	3,5156	4,5477
125	99,7020	357,80	120,7300	1062, 8	1452,3	3,5417	4,5199

ANEXO F: VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FÓRMULAS PARA
 RECIPIENTE SUJETOS A PRESIÓN EXTERNA



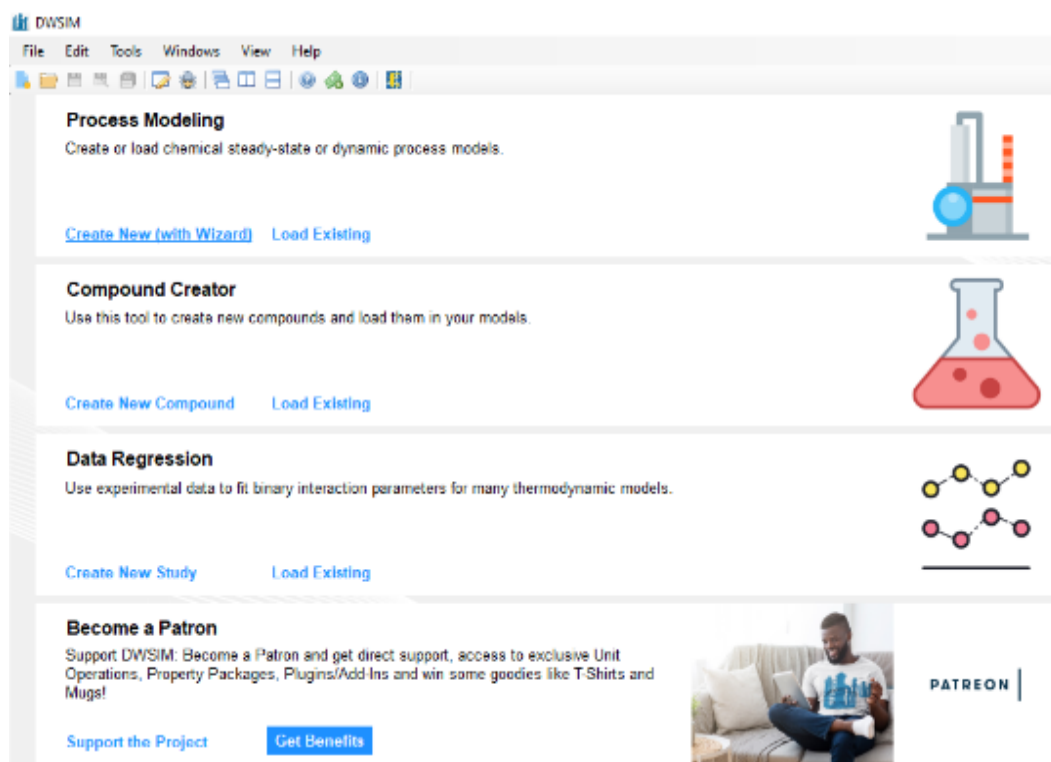
ANEXO G: VALORES DEL FACTOR B QUE SE EMPLEAN EN LAS FÓRMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN EXTERNA



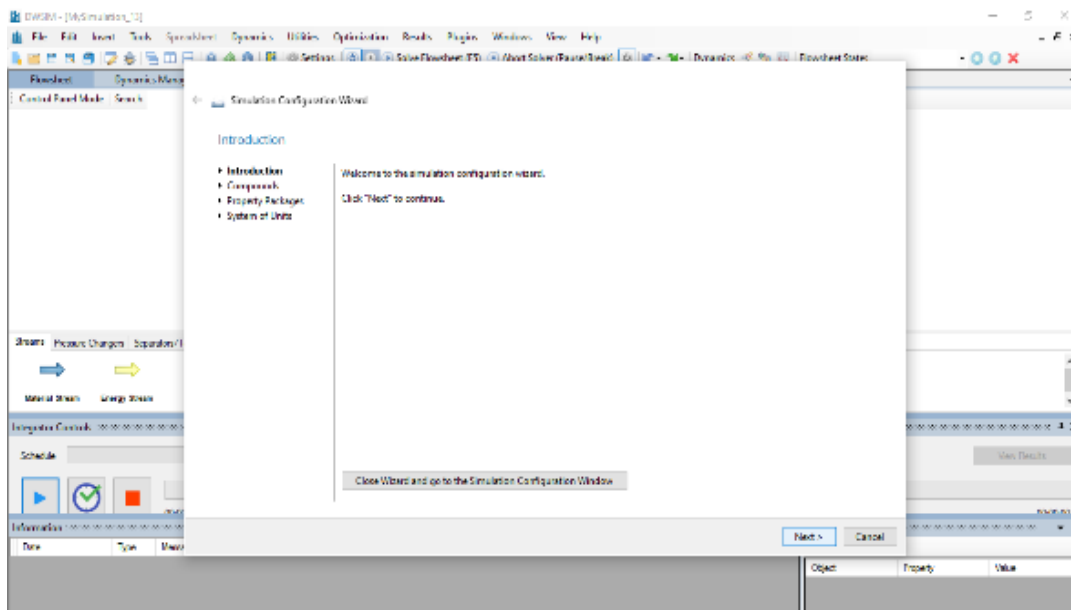
ANEXO H: USO DEL SIMULADOR DWSIM

En este anexo se explica el uso de DWSIM para simular el ciclo de refrigeración que se describe en el presente proyecto.

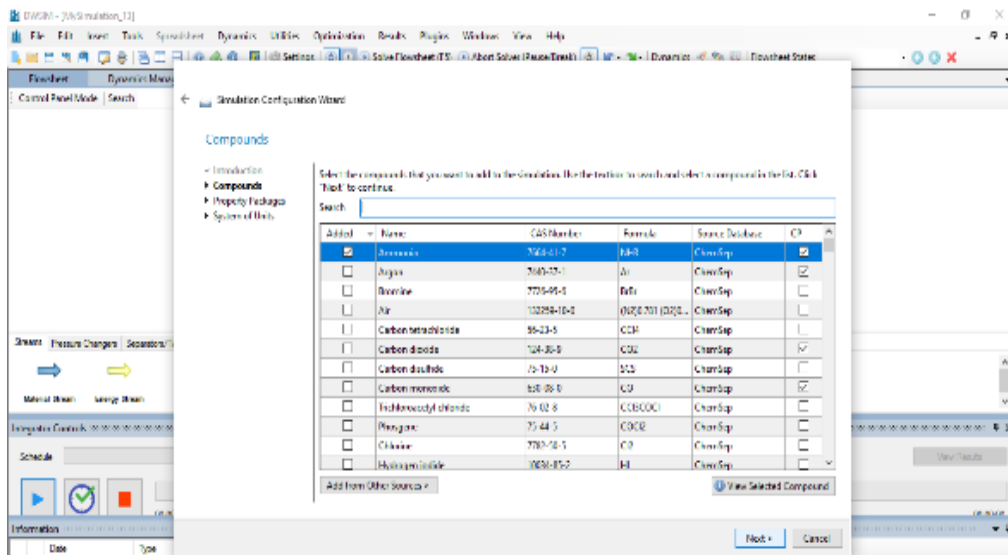
Pantalla de inicio: Al abrir el software aparecerá la pantalla de inicio con varias opciones según lo que se requiera, en este caso se desea crear una nueva simulación por lo que se selecciona la primera opción “Create New” con un clic sobre ésta.



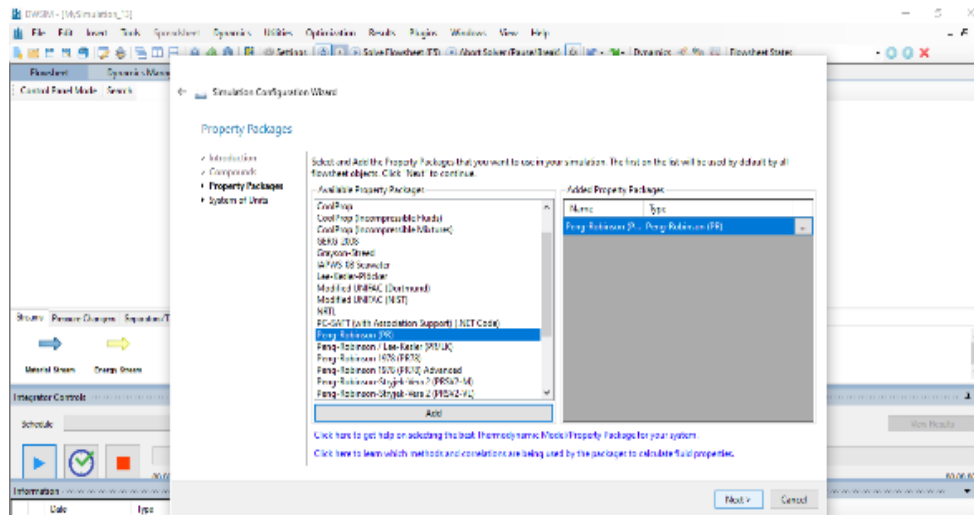
Inicio de la configuración para la simulación: Luego se muestra una pantalla que da inicio a la configuración de los parámetros generales de toda la simulación, por lo que se debe seleccionar “Next” para continuar.



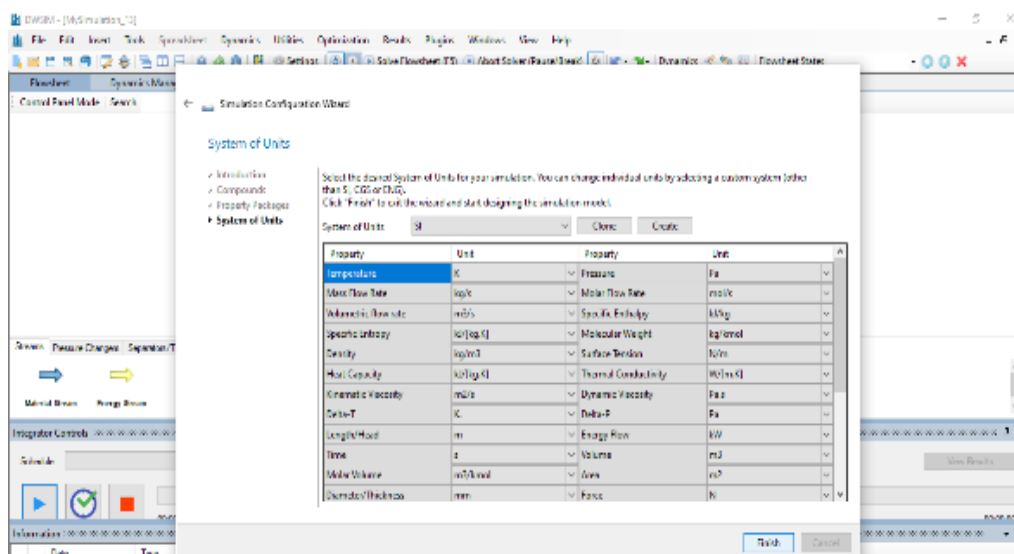
Selección de los componentes: En esta pantalla se pueden seleccionar los compuestos que son parte del sistema que se va a simular, para el caso del ciclo de refrigeración únicamente se trabaja con amoníaco, por lo tanto, se selecciona este compuesto y luego “Next”.



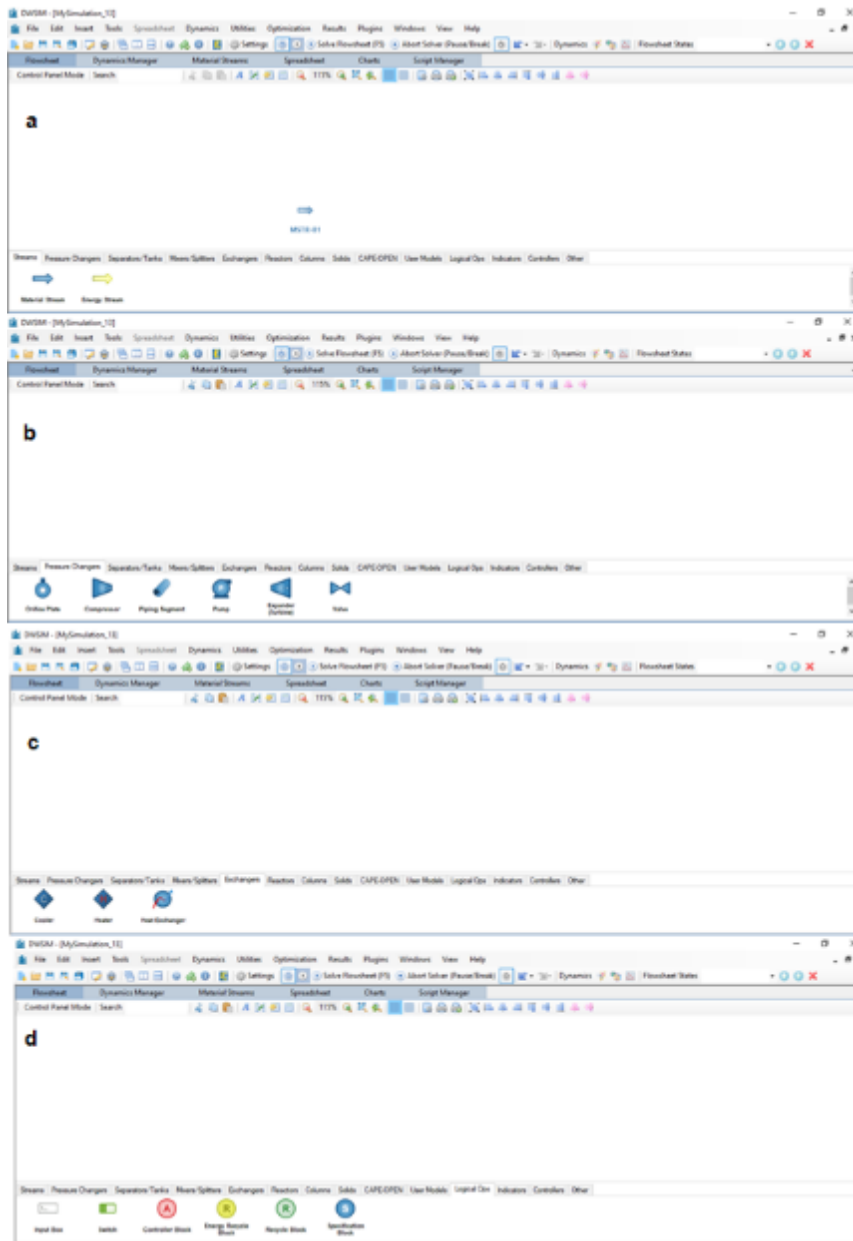
Selección del paquete termodinámico: El paquete termodinámico depende de las condiciones del sistema, se debe tomar en cuenta las temperaturas y presiones a las que se va a operar, así como los componentes con los que se está trabajando. En este caso se seleccionó Peng-Robinson ya que se trabaja con un sólo componente y las condiciones de temperatura y presión no son extremas.



Selección del sistema de unidades: Las unidades dependerán de las preferencias del lugar en el que se aplicará el sistema, para este trabajo se seleccionó el sistema internacional.



Corrientes y equipos: En la ventana de trabajo se puede seleccionar las corrientes de masa y de energía, intercambiadores de presión, intercambiadores de calor, y operadores lógicos. En este trabajo únicamente se selecciona lo requerido y se arrastra al área de trabajo.





(a) Selección de corrientes de materia y energía. (b) Selección de intercambiadores de presión. (c) Selección de intercambiadores de calor. (d) Selección de operadores lógicos

Selección de los parámetros de operación: Para cada corriente y equipo se seleccionan los parámetros de trabajo que se requiera establecer, mientras que se bloquean automáticamente los parámetros que se calcularán en la simulación, para no sobrepasar los grados de libertad del sistema.


Information Connections


Connections

Upstream 

Downstream 

Property Package Settings

Property Package Peng-Robinson (PR) (1) 

Flash Algorithm Default 

Input Data Results Annotations Dynamics Floating Tables

Stream Conditions Compound Amounts

Flash Spec Temperature and Pressure (TP)

Temperature K

Pressure Pa

Mass Flow kg/s

Molar Flow mol/s

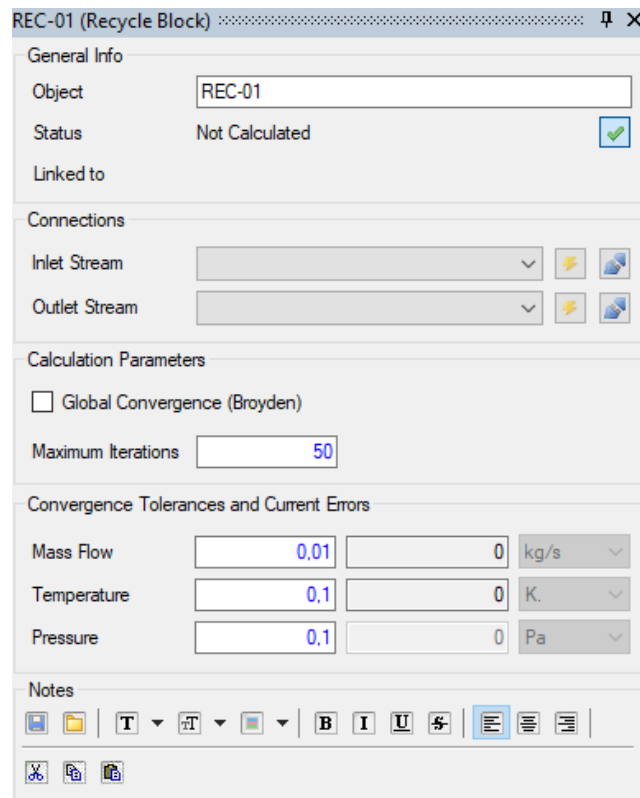
Volumetric Flow m3/s

Specific Enthalpy kJ/kg

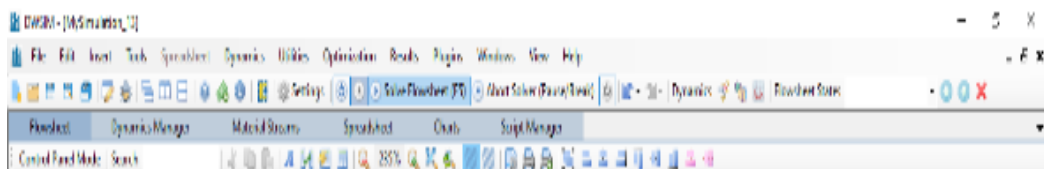
Specific Entropy kJ/[kg.K]

Vapor Phase Mole Fraction

Selección de los parámetros de iteración en la corriente de reciclo: En el caso del reciclo se debe establecer el flujo molar, la temperatura y la presión de la corriente, y también el número de iteraciones para estabilizar el sistema, el simulador sugiere 50. Por último, se inicia la simulación presionando “Solve Flowsheet”.



Inicio de la simulación: Se selecciona Solve Flowsheet para dar inicio a la simulación con los parámetros que se han seleccionado.



ANEXO H: CERTIFICADO



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 21 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Michelle Fernanda Quimbita Benavides</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Número de identificación DNI

Ecuador, con función de
COORDINADOR DE INFORMACIÓN
EIBCI, LA QUITA.
Correo Electrónico: *****@

Fecha: 2022.04.21 14:58:49 -0500'



2043-DBRA-UTP-2021