



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**Diseño, Construcción y Puesta En Marcha de  
un Equipo de Escaldado con Enfriamiento  
Instantáneo por Lotes.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA**  
**BIANCA ITZEL ISIDRO IBARRA**

**ASESORES**  
**DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO**  
**ZARAGOZA**  
**I.A ALFREDO ALVAREZ CÁRDENAS**

**CUAUTITLÁN IZCALLI EDO. DE MÉXICO, 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	
Introducción	ii
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO</b>	<b>1</b>
1.1 Conservación de alimentos	1
<u>1.1.1</u> Pretratamientos	1
<u>1.1.2</u> Escaldado	2
<u>1.1.3</u> Generación de agua caliente.	5
1.2 Enfriamiento de alimentos	7
1.2.1 Métodos de enfriamiento	7
1.2.2 Hidroenfriamiento	8
<u>1.2.3</u> Potencia frigorífica	12
1.3 Tiempos y temperaturas de escaldado y enfriamiento	12
1.4 Producción de frío por compresión mecánica	13
1.4.1 Refrigerantes	13
1.4.2 Componentes principales del sistema producción de frío.	14
1.5 Diseño de equipo	17
1.5.1 Tipos de diseño	18
1.5.2 Metodología del diseño	19
1.5.3 Factores de seguridad	21
1.5.4 Especificaciones de equipos	22
1.5.5 Equipos didácticos	22
1.5.6 Escalamiento	23
1.6 Construcción	27
1.6.1 Materiales de construcción	27
1.6.1.2 Instrumentación y control	33
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL</b>	<b>36</b>
2.1 Planteamiento de problema y objetivos	36
Problema	36
<u>2.2</u> Objetivos	36
Objetivo General	36
Objetivos particulares	37

2.3 Materiales y métodos	37
2.3.1 Diseño de equipo	37
2.3.2 Construcción del equipo	40
2.3.3 Puesta en marcha	42
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b>	44
3.1 Diseño de equipo	44
3.1.1 Necesidades y restricciones del proyecto	44
3.1.2 Condiciones de operación determinadas por el alimento	44
3.1.3 Determinación experimental de condiciones de operación	45
3.1.4 Especificaciones técnicas del equipo	48
3.1.5 Selección de equipo	52
3.1.6 Selección de dispositivos de control	54
3.1.7 Selección de Materiales	55
3.1.8 Estructura de soporte	59
3.1.7 Selección de accesorios	61
3.2 Construcción de equipo	64
3.2.1 Adquisición de materiales de construcción	64
3.2.2 Instalación mecánica, eléctrica e hidráulica	65
3.3 Puesta en marcha del equipo.	77
3.3.1 Prueba de operación del equipo.	78
<b>CONCLUSIONES</b>	88
<b>REFERENCIAS</b>	89
Anexos	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1.	Ángulo de aspersion.	10
Figura 2.	Clasificación de bombas.	11
Figura 3.	Compresor hermético.	14
Figura 4.	Evaporador.	15
Figura 5.	Condensador.	16
Figura 6.	Criterios de diseño de equipo.	39
Figura 7.	Criterios para la construcción del equipo.	41
Figura 8.	Puesta en marcha del equipo.	43
Figura 9.	Diagrama de bloques de la operación.	49
Figura 10.	Diagrama de tubería e instrumentación con condiciones operativas del sistema.	50
Figura 11.	Diagrama del diseño preliminar del equipo.	51
Figura 12.	Diagramas eléctricos que representan el diseño preliminar de la instalación eléctrica a) Sistema de calentamiento, b) sistema de enfriamiento c) sistema de aspersion.	59
Figura 13.	Diagrama preliminar de la estructura de soporte.	60
Figura 14.	Estructura metálica con base, paredes y puerta.	61
Figura 15.	Prototipo del sistema de bombeo.	62
Figura 16.	Estructura Primaria metálica.	65
Figura 17.	Estructura metálica con base, paredes, puerta y accesorios.	66
Figura 18.	Instalación eléctrica del sistema de calentamiento.	67
Figura 19.	Montaje de los componentes para el sistema de calentamiento.	68
Figura 20.	Aislamiento térmico (Etilvinilacetato) del recipiente de calentamiento.	69
Figura 21.	Recipiente de enfriamiento con desagüe de agua.	70
Figura 22.	Aislamiento térmico (Polietileno expandido) del recipiente de enfriamiento.	71
Figura 23.	Unidad condensadora completa	72
Figura 24.	Instalación eléctrica de la bomba.	73
Figura 25.	Instalación de tubería para el transporte del agua del evaporado a los aspersores	74
Figura 26.	Vista superior del equipo, que muestra el interior.	75
Figura 27.	Vista delantera y trasera del equipo.	76
Figura 28.	Historia térmica de la puesta en marcha del sistema de calentamiento	78
Figura 29.	Historia térmica de la puesta en marcha del sistema de enfriamiento	80

Figura 30.	Historia térmica del proceso de escaldado de la papa.	84
Figura 31.	Historia térmica en el tiempo de procesamiento del producto.	8

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título	Págin a
Tabla 1.	Tipos de escaldado.	4
Tabla 2.	Tipos de enfriamiento aplicados en el escaldado de alimentos	8
Tabla 3.	Patrones de aspersión.	9
Tabla 4.	Condiciones de operación.	45
Tabla 5.	Datos de la unidad condensadora.	46
Tabla 6.	Resultados de la caracterización de las bombas	47
Tabla 7.	Datos técnicos del equipo.	48
Tabla 8.	Datos requeridos para el cálculo de la potencia.	52
Tabla 9.	Características de la resistencia eléctrica adquirida.	53
Tabla 10.	Características de los recipientes seleccionados.	53
Tabla 11.	Características técnicas del termostato para el sistema de calentamiento	54
Tabla 12.	Características técnicas del termostato para el sistema de enfriamiento.	55
Tabla 13.	Características de las mangueras instaladas en el equipo	56
Tabla 14.	Características de los diferentes tipos de aislamientos utilizados en la instalación.	57
Tabla 15.	Características generales de los materiales eléctricos utilizados en la instalación.	58
Tabla 16.	Características de los accesorios utilizados en la instalación.	62
Tabla 17.	Características de la cesta de inmersión.	63
Tabla 18.	Características generales de los consumibles utilizados en la instalación.	64
Tabla 19.	Valores de la puesta en marcha del sistema de bombeo.	82
Tabla 20.	Condiciones de proceso del equipo.	85

## Nomenclatura

Símbolo	Significado	Unidad
$T_{IMC}$	Temperatura inicial del medio de calentamiento	(°C)
$T_{FMC}$	Temperatura final del medio de calentamiento	(°C)
$T_{IME}$	Temperatura inicial del medio de enfriamiento	(°C)
$T_{FME}$	Temperatura final del medio de enfriamiento	(°C)
$T_{IAC}$	Temperatura inicial del alimento en el calentamiento	(°C)
$T_{FAC}$	Temperatura final del alimento en el calentamiento	(°C)
$T_{IAE}$	Temperatura inicial del alimento en el enfriamiento	(°C)
$T_{FAE}$	Temperatura final del alimento en el enfriamiento	(°C)
$T_{MAX}$	Temperatura máxima del equipo	(°C)
$T_{AMB}$	Temperatura ambiente	(°C)
$T_{IA}$	Temperatura inicial de aspersion	(°C)
$T_{FMA}$	Temperatura final del medio en aspersion	(°C)
$T_o$	Temperatura de evaporación	(°C)
$T_C$	Temperatura de condensación	(°C)
$V_{MC}$	Volumen del medio de calentamiento	(L)
$V_{ME}$	Volumen del medio de enfriamiento	(L)
$V_E$	Volumen del evaporador	(L)
$t_{CM}$	Tiempo calentamiento del medio	(min)
$t_{EM}$	Tiempo enfriamiento del medio	(min)
$t_{CP}$	Tiempo calentamiento del producto	(min)
$t_{EP}$	Tiempo enfriamiento del producto	(min)
$t_E$	Tiempo de escaldado	(min)
$t_{PB}$	Tiempo de prueba de bombeo	(min)
$\Delta T$	Diferencial de temperatura	(°C)
$\alpha_{asp}$	Ángulo de aspersion	
$h_{asp}$	Altura de aspersion	(m)
$C_{p_{H_2O}}$	Calor especifico del agua	(J/Kg°K)
$C_{p_{prod}}$	Calor especifico del producto	(J/Kg°K)
$\rho_{H_2O}$	Densidad del agua	(Kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_{R134a}$	Densidad del refrigerante R134a	(Kg/m <sup>3</sup> )
$P$	Potencia	(W)
$T$	Tensión	(V)
$C$	Intensidad	(A)
$q$	Potencia frigorífica	(Kw)
$Q$	Caudal	(m <sup>3</sup> /s)

D	Diámetro	(m)
DN	Diámetro nominal	(in)
D <sub>i</sub>	Diámetro interno	(m)
L	Longitud	(m)
A	Área	(m <sup>2</sup> )
M <sub>MP</sub>	Masa de materia prima	(Kg)
P/V	Relación producto volumen	
Re	Reynolds	
V <sub>PB</sub>	Volumen para la prueba de selección de la bomba	m <sup>3</sup>
v <sub>B</sub>	Velocidad de la bomba	m/s

## RESUMEN

El desarrollo de equipos didácticos es una herramienta para futuras generaciones de mejorar y optimizar los tiempos para la investigación de procesos en aplicaciones de conservación ya que bajo determinados requerimientos se pueden diseñar equipos que cumplan con los elementos principales de estudio como lo pueden ser temperaturas y tiempos para los procesos de conservación posteriormente se pueden encontrar más variables de estudio. El objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un equipo de escaldado para verduras con fines didácticos, dirigido a estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos que pretendan desarrollar investigaciones en el área de conservación. El diseño se basa en establecer las principales necesidades que se deben solventar para poder adquirir los equipos dispositivos y materiales necesarios para la siguiente etapa de construcción donde se lleva a cabo el montaje de lo anteriormente mencionado y así obtener las condiciones de operación. El escaldado por inmersión a 85°C y el enfriamiento se realiza por medio de la compresión mecánica de refrigerante R134a que enfría agua a 5°C, esta agua de enfriamiento es aplicada por aspersion al producto para disminuirlo a una temperatura menor a la temperatura ambiente. En este trabajo se describen el proceso de diseño que toma en consideración varios criterios para hacer posible este, de igual manera se establecen las limitantes para llevar a cabo la construcción y a su vez se describe el proceso de construcción donde se adquieren todos los materiales, equipos, dispositivos y mano de obra para llevar a cabo la construcción de acuerdo a lo establecido en el diseño para posteriormente poner en marcha el equipo y verificar de esta manera que opere de acuerdo a lo solicitado o requerido.

## INTRODUCCIÓN

La conservación de productos frescos es tarea difícil ya que el producto es generalmente el que da la pauta al tipo de tratamiento a elegir porque se debe considerar que este no afecte las propiedades organolépticas y fisicoquímicas que contribuyan al deterioro o descomposición del alimento. El incremento en el consumo de productos mínimamente procesados está asociado a los cambios en los hábitos de alimentación de los consumidores y es necesario asegurar la integridad de un producto. Al aplicar pretratamientos para la preparación de la materia prima se asegura un efecto sobre la calidad final del producto, que hagan al alimento seguro para los consumidores. El escaldado es un tratamiento térmico previo a los procedimientos de conservación por calor, esta operación es esencial para muchas frutas y verduras, ya que no solo contribuye a la inactivación de la polifenol oxidasa (PFO) y peroxidasa (POD), sino que también ayuda a extraer los gases ocluidos en los tejidos en particular oxígeno y gases volátiles formados durante el intervalo de recolección, modifica la consistencia y da flexibilidad, elimina residuos de plaguicidas, reduce al mínimo las reacciones de pardeamiento no enzimático, entre otras (Xiao *et al.*, 2017; Peñuela, 1994). Existen diversos tipos de escaldado, por ejemplo, inmersión en agua caliente, escaldado por vapor, escaldado óhmico y escaldado por microondas, de acuerdo a lo que se quiera obtener en el proceso se utilizara el más adecuado. En general el proceso de escaldado consiste en elevar la temperatura, mantenerla durante un tiempo determinado y después enfriar rápidamente a una temperatura cercana a la ambiental; este último paso permite controlar la duración del calentamiento y evitar la cocción del alimento, para que el producto ingrese a la siguiente etapa de proceso con la temperatura más baja posible, consiguiendo un ahorro de energía para el siguiente proceso (Arroqui *et al.*, 2003; Peñuela, 1994). El enfriamiento se puede

realizar en equipos independientes del escaaldador o bien en la fase final del equipo, por lo cual la refrigeración juega un papel importante en esta operación, ya que se requiere de la reducción de temperatura para remover calor del alimento (Dossat, 1994). Tomando en cuenta los requerimientos en las temperaturas se puede considerar la carga térmica que se va a remover, esto con la finalidad de seleccionar un equipo que sea útil para esta operación, implementando un sistema de refrigeración por compresión que conste de los cuatro elementos básicos compresor, condensador, sistema de expansión y evaporador (Franco, 2006). Para construir el equipo, es necesario un diseño, donde se definan y calculen movimientos, fuerzas y cambios de energía, a fin de determinar el tamaño, formas y tipos de materiales necesarios para cada uno de los componentes interrelacionados, de manera que se seleccionen las piezas y materiales apropiados para que el equipo funcione adecuadamente (Norton, 1999). Así mismo, es necesario tomar en cuenta otros factores que influyen, como la ubicación, operación, control, utilidad, diseño estructural, construcción, manejo de materiales y patentes; lo que permite completar el estudio para hacer efectivo el proceso, considerando la disponibilidad de materiales, factibilidad de recursos energéticos y costos de inversión (Jiménez, 2003). Esto con la finalidad de poder reproducir el proceso de escaaldado a escala laboratorio permitiendo el análisis de las operaciones que intervienen, ya que de esta forma el equipo puede convertirse de una escala de nivel de laboratorio a escala industrial (Anaya, 2008). Siendo de gran utilidad para futuras investigaciones que se realicen en el Taller de Procesos y Sistemas Frigoríficos, al realizar estudios de transferencia de masa, transferencia de energía, flujo de fluidos e incluso sirva para ampliar las investigaciones de conservación de alimentos y de esta manera mejorar este proceso en la industria alimentaria. El diseño en la actualidad se toma como innovación, creación, avance, solución renovadora, nuevo modo de relacionar un número de variables o factores, nueva forma de expresión o como el logro de una mayor eficacia. Recientemente se han tenido muchas innovaciones en los procesos industriales ya que se han ido adaptando a los cambios y demandas del mercado utilizando los principales

métodos de conservación y aunado a esto se integran innovadores métodos de conservación, por lo cual las técnicas de preservación de alimentos seguirán cambiando con el paso del tiempo.

# **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO**

## **1.1 Conservación de alimentos**

La conservación de alimentos es la ciencia de prolongar la vida útil de los alimentos, manteniendo la máxima calidad con el objetivo principal de preservar el sabor, los nutrientes, la textura evitando el crecimiento de microorganismos no deseados que afecten las características organolépticas del alimento interviniendo en la descomposición del mismo. Existen diferentes formas de conservarlos, algunos implican métodos de almacenamiento, envasado y otros con tratamientos químicos o térmicos. Se pueden utilizar mecanismos tradicionales, así como nuevas tecnologías, algunos procedimientos y recursos para lograr la conservación de alimentos son: refrigeración, congelación, secado o deshidratación, escaldado ahumado, esterilización, pasteurización, liofilización, aditivos, atmosferas modificadas, rayos X, luz ultravioleta, altas presiones hidrostáticas, ultrasonidos, por mencionar algunos (Alba, 2018).

### **1.1.1 Pretratamientos**

Los pretratamientos se realizan durante la preparación de la materia prima para obtener condiciones requeridas del proceso tienen un efecto significativo sobre la calidad del producto final, en cuanto a textura, color y sabor, también en los tejidos vegetales para soportar tensiones causadas por los procesos subsiguientes que son dependientes de la temperatura, tales como la cocción o congelación. Los pretratamientos han demostrado disminuir la absorción de aceite y mejorar la textura del alimento frito, entre los que se destacan el escaldado, la congelación y la inmersión en soluciones azucaradas, tratamientos que pueden ser aplicados independientemente o combinados entre sí (Pantoja, 2016).

### **1.1.2 Escaldado**

El escaldado es un tratamiento térmico corto, por un tiempo predeterminado a una temperatura específica, que involucra la exposición de los tejidos vegetales a alguna forma de calor, usualmente por exposición a vapor o agua caliente previo a los procedimientos de conservación: congelación, deshidratación, esterilización o liofilización al que se someten las hortalizas, que tienen como finalidad inactivar enzimas propias del alimento para detener así la actividad metabólica y degradación del mismo, ya que provocan cambios en el olor, sabor, color y textura, y la descomposición de nutrientes durante el procesamiento y almacenamiento de los productos. Otro propósito es destruir microorganismos contaminantes al destruir formas vegetativas de los existentes en la superficie del producto, lo que completa la acción del lavado. Por lo tanto, la inactivación o inhibición de crecimiento microbiano es esencial para asegurar los alimentos sin riesgo en la seguridad. Por lo tanto, la estabilización de la textura y la calidad nutricional podría lograrse durante el procesamiento si se aplica bajo condiciones apropiadas transporte y almacenamiento minimizando sus efectos (Xiao *et al.*, 2017; Valenzuela, 2013; Peñuela, 1994; Murcia *et al.*, 1999).

El proceso de escaldado generalmente se hace a temperaturas que oscilan entre 80°C y 100°C y tiempos entre 0.3 y 15 min. A temperaturas más altas se observa una considerable disminución en la actividad debido a la desnaturalización de su estructura proteica (Pantoja, 2016). De esta manera se logra conservar la calidad del producto durante el periodo de almacenamiento, por lo que esta aplicación debe de realizarse antes de cualquier otro tratamiento de conservación y por este motivo se le considera como una de las fases más importantes del proceso industrial (Peñuela, 1994). Las técnicas más comunes de escaldado involucran el uso de agua o vapor y características específicas, como temperatura y tiempo del procedimiento, se encuentran determinadas por cada alimento, pues la inactivación enzimática está en función de la velocidad de transferencia de calor desde el medio circundante hasta el producto (Valenzuela, 2013). Los principales objetivos del escaldado

dependen del método de conservación a emplear. A continuación, se enlistan (Xiao *et al.*, 2017; Peñuela, 1994):

- Extraer los gases ocluidos en los tejidos, en particular el oxígeno y gases volátiles formados durante el intervalo entre la recolección y el proceso. El escaldado puede expulsar el aire interior de los tejidos vegetales, especialmente el gas intercelular. Este es un paso vital antes de enlatado porque el escaldado puede impedir la expansión de aire durante el procesamiento, así como reducir la tensión en los contenedores y el riesgo de latas deformes y costuras defectuosas.
- Modificar la consistencia y dar flexibilidad al producto para facilitar el envasado.
- Eliminar residuos de plaguicidas ya que con el escaldado se degrada la sustancia tóxica, Xiao *et al.*, en 2017, describen que entre los diversos procesamientos el escaldado con agua caliente es la forma más eficaz para eliminar los residuos de plaguicidas de un 10-70%, mientras que el escaldado por microondas sin agua los reduce en un máximo de 39%, el lavado únicamente con agua potable los reduce de 10 a 50%.
- Mejorar la tasa de deshidratación, aumentando la velocidad de secado y deshidratación cambiando las propiedades físicas de los productos como resultado de la mayor permeabilidad de las membranas celulares, que a su vez aumenta la velocidad de la humedad.
- Reducir al mínimo las reacciones de oscurecimiento no enzimático, especialmente en la reacción de Maillard o caramelización, se produce en alimentos durante la fritura, cocción, secado y almacenamiento. Esta reacción podría conducir a la pérdida de color del producto. Pimpaporn *et al.*, en 2017 encontraron que el agua caliente de pretratamiento de escaldado tuvo un efecto significativo en la reducción del color rojo de las patatas fritas que los tratamientos previos que utilizan la congelación y la inmersión en monoglicérido o glicerol.

A continuación, se describen principios de operación, características, ventajas, y desventajas de cuatro métodos de escaldado.

**Tabla 1.** Tipos de escaldado (Xiao *et al.*, 2017; Valenzuela, 2013; Peñuela, 1994).

	<b>Agua Caliente</b>	<b>Vapor</b>	<b>Escaldado Ohmico</b>	<b>Escaldado por microondas</b>
<b>Características</b>	Se sumerge el alimento en agua, el agua utilizada en este método es agua blanda, el uso de “agua dura”, al tener en su constitución sales de calcio y magnesio, tiende a producir endurecimiento del producto.	Calentamiento local con vapor sobrecalentado, se utiliza comúnmente como un medio de calentamiento para escaldar debido a su contenido de alta entalpía. Se utiliza cuando se procesa una gran cantidad de materia prima.	El calentamiento óhmico es también conocido como calentamiento Joule, calentamiento por resistencia eléctrica, o electro-calefacción.	Las microondas son ondas electromagnéticas con longitudes de onda que van desde 1 mm a 1 m que tienen frecuencias correspondientes que van desde 300 MHz a 300 GHz. Se considera una tecnología limpia para el procesamiento de alimentos.
<b>Principio de operación</b>	Los materiales son sumergidos en el agua caliente hasta alcanzar la temperatura deseada en el centro térmico por intercambio de calor.	En la primer etapa el vapor se condensa en la superficie del producto y se transfiere el calor latente, en la segunda etapa la temperatura de los productos aumenta gradualmente hasta alcanzar la temperatura crítica de enzimas o microorganismos.	Se coloca entre dos electrodos, como una resistencia eléctrica, en el que se genera calor y la temperatura del producto aumenta. El calor generado en el interior del alimento depende de la corriente inducida y la conductividad eléctrica del producto.	Los materiales absorben la energía y la convierten en calor por efecto del calentamiento dieléctrico causado por la rotación dipolo molecular y la agitación de iones cargados dentro de una alta frecuencia de campo eléctrico alterno.

Continuación Tabla 1. Tipos de escaldado (Xiao *et al.*, 2017; Valenzuela, 2013; Peñuela, 1994).

<b>Ventajas</b>	Inmersión eficiente ya que el calentamiento en el producto es uniforme permitiendo el control sobre el escaldado.	Retiene la mayoría de los minerales y los componentes solubles en agua en comparación con el escaldado en agua, debido a los efectos de lixiviación insignificantes.	Tiempos más cortos que los de escaldado, mayor calidad del producto reduciendo pérdidas de sólidos y nutrientes conservando color y textura.	Calentamiento volumétrico, altas velocidades de calentamiento y tiempos cortos de procesamiento.
<b>Desventajas</b>	Se requiere de un gran volumen de agua, presenta lixiviación o difusión de ácidos, vitaminas y minerales importantes, además las aguas residuales del proceso de escaldado presentan altos niveles de materia orgánica.	Se produce un ablandamiento del tejido, provocando cambios de calidad no deseables, como resultado de un largo tiempo de calentamiento debido a la transferencia de calor más baja en el escaldado de vapor a velocidades baja. Utiliza una excesiva cantidad de agua para lograr el enfriamiento.	Dificultad de control de temperatura, degradación de nutrientes por generación de oxígeno e hidrógeno.	Perdida de humedad por evaporación. Destrucción de microestructura, la profundidad de penetración de ondas está en función de las propiedades dieléctricas que determina la distribución de temperatura dentro del material. Dificultad para controlar la temperatura de escaldado.

### 1.1.3 Generación de agua caliente.

Como se describió anteriormente es significativa la fuente de calor, para obtener el incremento de temperatura en el producto, para este caso en particular se selecciona como método de calentamiento la inmersión en agua caliente, ya que ofrece grandes ventajas para el proyecto en particular. En la industria del tipo de

conservación de frutas y hortalizas, el agua es un recurso indispensable para su manufactura, comenzando por el lavado de la materia prima, escalado, enfriamiento, tratamientos térmicos, así como en la utilización de servicios auxiliares. Y el consumo dependerá específicamente del tipo de producto a procesar, la técnica utilizada y si va o no existir reutilización de agua; ya sea para la misma aplicación u otra. Para este trabajo se tomó la decisión de utilizar una resistencia eléctrica de inmersión para generar el agua caliente dentro del mismo recipiente donde se realizaría posteriormente el escaldado del producto. Se selecciona este dispositivo ya que proveen una forma rápida y eficiente de calentar soluciones líquidas en equipos de procesamiento y contenedores en procesos químicos, petroquímicos, o en cualquier proceso que requiera poco tiempo de calentamiento. Las resistencias tubulares de inmersión permiten que el medio líquido alcance rápidamente la temperatura deseada. Con el mínimo de mantenimiento, estas resistencias son una excelente solución para casi cualquier entorno industrial. Ya que son utilizadas para el calentamiento de líquidos en tanques de diferentes tamaños y la transferencia de calor se logra ubicando la resistencia en la parte inferior del tanque, la potencia se calcula con los siguientes datos:

1. Tipo de líquido: Agua, aceite, crudo, solución química, etc.
2. Dimensiones del tanque: Alto, ancho y largo.
3. Material del tanque: Material en el que se está fabricando el tanque.
4. Temperatura inicial: Temperatura que mantiene el tanque en el lugar donde se encuentra.
5. Temperatura final: Temperatura que necesita mantener el líquido para que pueda ser utilizado de manera correcta.
6. Tiempo de calentamiento: Es el tiempo que se toma la resistencia para estabilizar el líquido en la temperatura.
7. Tensión de alimentación: conocido como voltaje de las fuentes de alimentación generalmente entre 110 V y 220 V.
8. Capacidad de la acometida eléctrica: se debe conocer la corriente que soporta el cableado y la capacidad de la protección.

## **1.2 Enfriamiento de alimentos**

El enfriamiento es la etapa posterior al escaldado, el rango de temperaturas de 10°C a 50°C constituye una fase crítica para la calidad del producto (Gallardo, 2004), ya que existe el peligro de contaminación microbiana, modificaciones de propiedades fisicoquímicas, pérdida de nutrientes, etc. Por estas razones, se impone el principio de enfriar hasta temperatura ambiente o menor; el enfriamiento también permite controlar la duración de escaldado ya que detiene la acción del calor consiguiendo un ahorro de energía. Generalmente existe una fase posterior de enfriamiento para evitar los procesos de sobre cocción y aceleración de la descomposición de la materia prima. Existen métodos de enfriamiento aplicables a hortalizas como la aplicación de aire frío, agua fría o el enfriamiento superficial, la selección del método depende de factores muy particulares como la misma naturaleza de la materia prima, condiciones de flujos, temperaturas y tiempos deseados, así como las mismas restricciones económicas y las necesidades que se requieran cubrir.

### **1.2.1 Métodos de enfriamiento**

El enfriamiento de frutas y hortalizas puede realizarse por aire frío, agua fría y enfriamiento superficial, la selección del método de enfriamiento adecuado influye directamente con la calidad del producto final. Es importante que se tomen en cuenta las características del proyecto ya que así podremos seleccionar adecuadamente entre estos métodos. Para el proceso de escaldado de hortalizas se sugiere el enfriamiento evaporativo, aunque este se ve limitado por la pérdida de peso del producto, si esta característica se compara con el hidrogenfriamiento este refleja una menor pérdida de sólidos en condiciones de reciclaje de agua. Para lo cual será necesario considerar limitaciones con la recirculación de agua para no aportar carga microbiana que afectaría la finalidad del proceso de escaldado. A continuación, en la Tabla 2 se describen los dos métodos que se seleccionaron como aplicables para la parte de enfriamiento del proceso de escaldado para establecer un panorama de oportunidades y restricciones más amplio.

**Tabla 2.** Tipos de enfriamiento aplicados en el escaldado de alimentos (Inestroza-Lizardo *et al.*, 2016).

	<b>Con aire frío (Aire forzado)</b>	<b>Con agua fría</b>
<b>Principio de operación</b>	Consiste en pasar altos volúmenes de aire frío a alta presión a través del producto, extrayendo de una forma rápida y uniforme el calor contenido en el producto. Este método fue desarrollado para productos que requieren una rápida eliminación de calor de campo inmediatamente después de la cosecha. Presenta varias configuraciones, pero el más utilizado es el de tipo túnel.	En este método los productos se rocían o se sumergen en un baño de agua fría con el fin de que transfiera calor al agua de enfriamiento. La tasa de transferencia de calor en la superficie del producto depende de su geometría, coeficiente superficial de transferencia de calor el cual se incrementa con la turbulencia superficial y con la velocidad del agua sobre el producto, en este proceso solo se remueve calor sensible.
<b>Ventajas</b>	Es de cuatro a diez veces más rápido que la refrigeración (1-6 horas) en una cámara frigorífica, pudiéndose realizar en tiempos relativamente cortos. Método aplicable a una amplia variedad de productos.	Método efectivo y relativamente simple de construir por lo tanto es económico para enfriar frutas y verduras. La regulación de la temperatura es homogénea, consumo energético bajo.
<b>Desventajas</b>	Enfriamiento desigual del producto que está en mayor contacto con el flujo de aire se enfría en un tiempo más corto, en comparación con el que se encuentra más alejado. Puede causar pérdidas de agua en algunos productos.	La calidad sanitaria del agua empleada juega un riesgo importante, ya que la reutilización continua podría concentrar microorganismos patógenos y ocasionar contaminación en los productos tratados

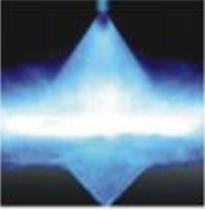
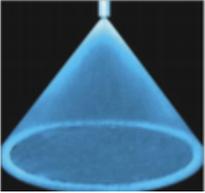
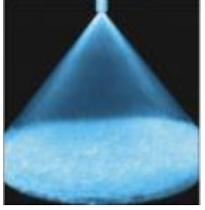
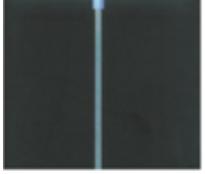
### 1.2.2 Hidroenfriamiento

Existen tres tipos los inundados, los de rocío y los de inmersión. Los inundados operan mediante una ducha de abundante agua fría aplicada en la parte superior del producto colocado en bandejas de inundación perforadas con paso de agua alrededor del producto. Los de rocío aplican agua por aspersion y los de inmersión requieren sumergir el producto en un tanque de agua fría agitada.

### 1.2.2.1 Aspersores

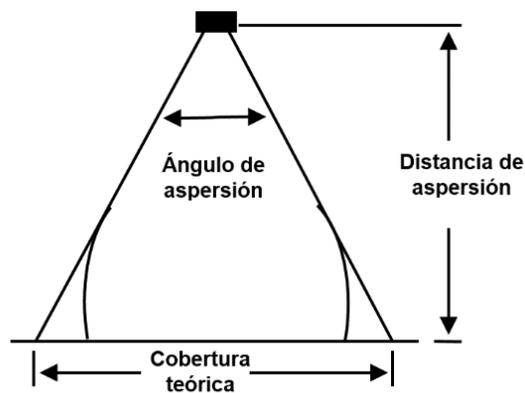
Un aspersor es un dispositivo que transforma un fluido líquido en rocío, el aspersor expulsa el agua por medio de una cortina hasta donde sus capacidades de presión y tipo de boquilla lo permitan. El chorro de agua atomizado es un conjunto de gotas de agua que son expulsadas de un medio presurizado a otro con presión atmosférica, donde este conjunto de agua pulverizada guarda direcciones similares y velocidades diferentes (Spray system Co. & Bete, 2017). En la Tabla 3 se describen los patrones de aspersión que se contemplaron para emplear en el sistema de aspersión para el enfriamiento del producto.

**Tabla 3.** Patrones de aspersión (Spray System Co. & Bete, 2017).

	<b>Descripción</b>	<b>Imagen</b>
<b>Plano</b>	Distribución uniforme a lo largo del patrón de aspersión, produce gotas medianas, ideal para la aplicación en donde se requiere un gran impacto, existen varios tipos, la aspersión plana de 15° a 110° y de tipo deflector que forma un orificio redondo al salir de la boquilla.	
<b>Cono hueco</b>	Proporciona gotas ligeramente más gruesas tienen una tapa deflectora, existen varios tipos, los de tipo recámara de turbulencia que tienen un ángulo de aspersión 40° a 165°, los de tipo deflector que manejan un ángulo de aspersión de 100° a 180° y los de tipo espiral con un ángulo de 15° a 125°.	
<b>Cono lleno</b>	Utiliza una vena para proporcionar un patrón de aspersión de cono lleno, uniforme y redondo con gotas de medianas a grandes con una cobertura de 15° a 125°.	
<b>Flujo sólido</b>	Proporcionan el mayor impacto por unidad de área su ángulo de aspersión es 0°.	

### 1.2.2.2 Ángulo de aspersión y cobertura

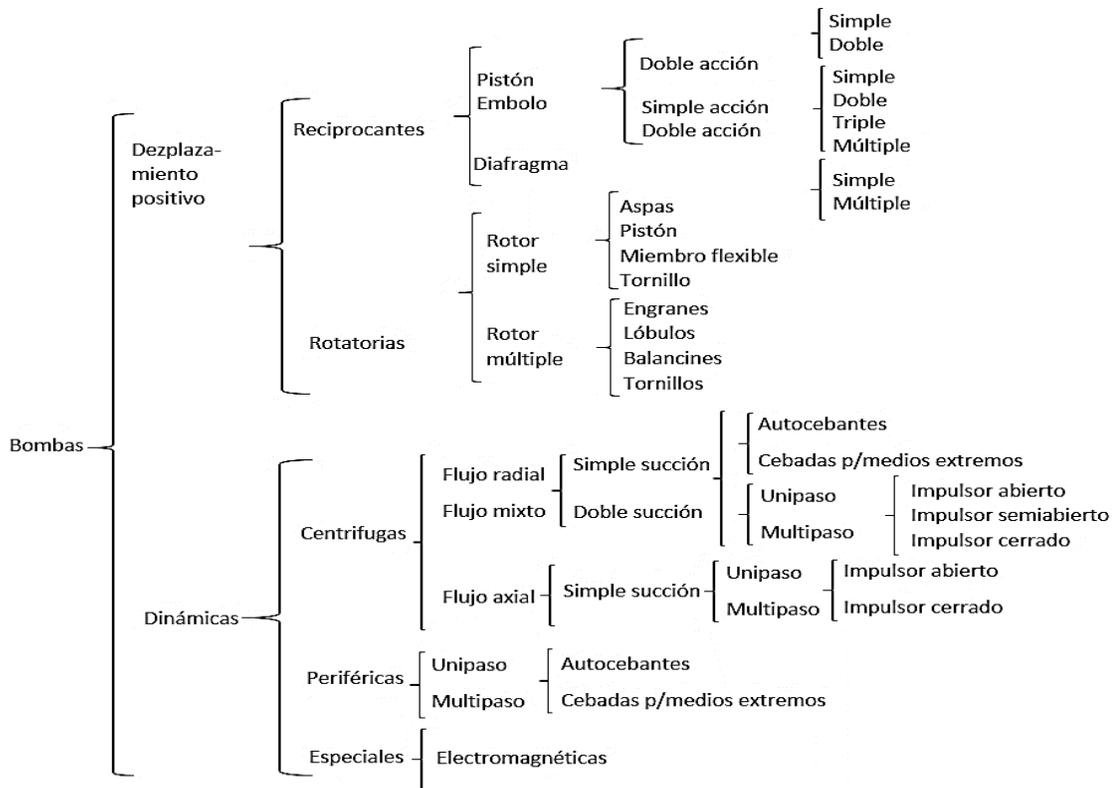
Los ángulos de aspersión indican la cobertura aproximada de aspersión y cambia con la distancia, como lo ejemplifica la Figura 1. Los líquidos más viscosos que el agua forman ángulos de aspersión relativamente más pequeños (o incluso un chorro solido), dependiendo de la viscosidad la capacidad de la boquilla y la presión de trabajo. Los líquidos con tensión superficial menor que la del agua producirán ángulos de aspersión relativamente más anchos.



**Figura 1.** Ángulo de aspersión (Spray System Co. & Bete, 2017).

### 1.2.2.3 Bombeo hidráulico

Una bomba es una máquina usada para mover un líquido a través de un sistema de tuberías e incrementar la presión. Un equipo de bombeo es un transformador de energía ya que recibe energía mecánica y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o velocidad. Y se puede definir mejor como una máquina que se usa para varias transformaciones de energía, y están destinadas a mover una cantidad de flujo volumétrico. La energía de entrada es la energía de poder. Existe una gran variedad de tipos de bombas, por lo tanto, es necesario realizar una clasificación de las bombas existentes, dividiéndose en las bombas de desplazamiento positivo y las dinámicas como lo muestra la Figura 2, con la clasificación de bombas dinámicas y de desplazamiento positivo.



**Figura 2.** Clasificación de bombas (Viejo, 2000).

#### 1.2.2.4 Bombas de desplazamiento positivo

Ideales para el uso de presiones relativamente altas para manejo de fluidos viscosos o abrasivos, cuando se requiere una dosificación precisa. Estas bombas son adecuadas para el bombeo de fluidos limpios. La energía se añade periódicamente al líquido por la aplicación directa de una fuerza o más volúmenes, esta provoca un aumento de presión hasta el valor requerido para moverlo a través de los puertos de la línea de descarga. Se basa en el principio del desplazamiento positivo, que consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara que aumenta el volumen de succión y disminuye el volumen de impulsión. Existen diferentes tipos de bombas de desplazamiento positivo; pistones, engranes externos, engranes internos, paletas, tornillo, lóbulo, estrella, cavidad progresiva, rotor flexible y diafragma. (Volk, 2005; Viejo, 2000).

### **1.2.3 Potencia frigorífica**

La primera característica térmica de un compresor es la potencia frigorífica que es capaz de desarrollar. Esta potencia es función, por parte de las características geométricas del compresor (volumen desplazado), pero depende igualmente de las características físicas del refrigerante utilizado de las condiciones de temperatura y presión en la que se mueve el fluido (temperaturas de succión, condensación y admisión en la válvula de expansión) y así mismo el rendimiento volumétrico del compresor que condiciona el volumen real aspirado. Constituye el calor que debe ser eliminado del producto a fin de que la temperatura del mismo baje hasta el nivel deseado. Esta debe considerar las fuentes de calor involucradas. Cuando se hace diseño se considera enfriar hasta la temperatura de almacenamiento o la necesaria para continuar con su procesamiento, por eso es de los primeros cálculos que se deben realizar (Dossat, 2009 & Rapin, 1997).

### **1.3 Tiempos y temperaturas de escaldado y enfriamiento**

La determinación de las condiciones óptimas de escaldado (*tiempo y temperatura*), están en relacionadas con el proceso de conservación a emplear y con las características de la materia prima como: madurez, textura, tamaño, especie y variedad, además de considerar utilizar menores cantidades de agua y energía en el tratamiento (Peñuela, 1994 & Aguilera-Barraza, 1996). El tiempo de escaldado y enfriamiento representa el tiempo de residencia del producto en el aparato escaldador/hidrogenfriador que depende de los siguientes parámetros: temperatura del baño de escaldado e hidrogenfriado, coeficiente convectivo de transferencia de calor, temperatura inicial de la materia prima, temperatura final del producto, tamaño, geometría, propiedades termofísicas (calor específico, conductividad térmica y densidad), método de calentamiento, métodos de enfriamiento, además de depender de la actividad enzimática, estructura histológica entre otros (Gallardo, 2004).

## **1.4 Producción de frío por compresión mecánica**

Es importante en los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o un material por debajo de la temperatura del entorno, y se define como un proceso que remueve calor. Para lograrlo debe sustraerse calor del cuerpo que va a ser refrigerado y ser transferido a otro cuerpo cuya temperatura es inferior (Dossat, 1994). La velocidad con la que el calor puede ser removido desde el espacio o material refrigerado en condiciones de temperatura deseada es llamado carga de refrigeración, carga de congelación o carga térmica. El proceso se logra evaporando refrigerante a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, para evaporarse requiere absorber calor latente de vaporización, durante el cambio de estado el refrigerante absorbe energía térmica del medio en contacto posteriormente un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo, aquí el sistema se libera del calor latente y sensible debido al aumento de presión. Algunos ejemplos son equipos de refrigeración, aire acondicionado, acondicionamiento de aire, refrigeradores, enfriadores de agua, cámaras de refrigeración, fábricas de hielo, etc.

### **1.4.1 Refrigerantes**

Se le llama refrigerante a cualquier sustancia que puede actuar como un agente de enfriamiento el cual absorbe calor latente de otro cuerpo, se vaporiza alternativamente y se condensa absorbiendo y cediendo calor respectivamente ya que conduce la energía calorífica desde el nivel de baja temperatura al nivel de alta temperatura. En esencia un refrigerante debe ser una sustancia química que se evapore a baja presión, procurando que la diferencia de presiones no sea excesiva; los refrigerantes son sustancias químicas o naturales y su elección depende de las condiciones de trabajo Según la norma americana NRSC (National Refrigeration Safety Code) los refrigerantes se dividen en tres tipos: agua, amoníaco y freones (Barreras., 2012; William *et al.*, 2000).

### 1.4.2 Componentes principales del sistema producción de frío.

- Compresor

Es el elemento más importante en el sistema de producción de frío y es el primero que debe determinarse y con base en este se determinan los elementos restantes del sistema. El compresor Figura 3, es el corazón del sistema ya que es el encargado de recircular el fluido refrigerante mediante una diferencial de presiones dada por la presión de succión y de descarga del mismo. El compresor es una máquina para aumentar la presión y desplazar fluidos compresibles, esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a una sustancia que pasa por el convirtiéndose en energía de flujo aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir. La figura 3 hace referencia al tipo de compresor utilizado en la construcción del equipo de enfriamiento.

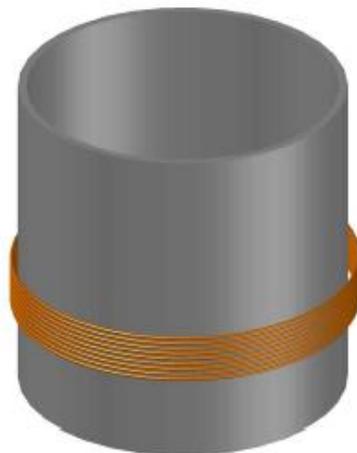


**Figura 3.** Compresor hermético (Refrigeración Anáhuac, 2019)

- Evaporador

Un evaporador es una superficie de transferencia de calor en la cual se evapora un refrigerante para eliminar calor de un espacio o producto refrigerado. Este líquido que sale de la válvula de expansión pasa a estado vapor. El refrigerante se evapora completamente absorbiendo el calor del medio a enfriar. Los evaporadores se

clasifican en función del tipo de fluido que se desea y por la forma. Este deberá tener suficiente capacidad de transferencia de calor, absorber calor con rapidez y enfriar según lo requerido. Cuando el producto está en contacto térmico con la superficie exterior del evaporador, el calor es transferido del producto al evaporador por conducción directa. La capacidad del evaporador es la razón por la cual pasa el calor a través de las paredes del evaporador proveniente del espacio o producto refrigerado a la vaporización del líquido interior. La Figura 4 esquematiza el diseño del evaporador utilizado en el equipo construido, en este se puede observar un recipiente el cual albergara el agua de enfriamiento, además de un serpentín que rodea este recipiente.

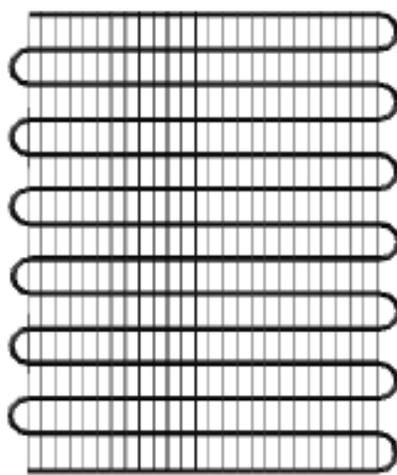


**Figura 4.** Evaporador *elaboración propia*.

- Condensador

La acción del condensador es justo la opuesta a la del evaporador, ya que se encarga de condensar el vapor proveniente del compresor. Para lo cual cede calor al medio y comienza su condensación teóricamente a presión constante. Los condensadores pueden ser enfriados por aire, agua o pueden ser evaporativos. Los enfriados con aire, emplean este como medio condensante, mientras que los condensadores enfriados con agua emplean agua para condensar el refrigerante;

para ambos condensadores el calor cedido por el refrigerante condensante aumenta la temperatura del aire o del agua. Los evaporativos emplean tanto aire como agua aun cuando tiene algún aumento en la temperatura del aire que está pasando a través del condensador. En la Figura 5 se puede apreciar un condensador enfriado por aire, que es el que se emplea en la construcción del equipo de enfriamiento de agua.



**Figura 5.** Condensador *elaboración propia*.

- Sistema de expansión

Existe una gran variedad de dispositivos de expansión como; capilares, válvulas manuales, automáticas, termostáticas, electrónicas, etc. El tubo capilar no es una válvula, pero funciona como una de expansión, en sistemas pequeños es el caso más sencillo de un dispositivo de expansión. Este consiste en un tubo de cobre de pequeño diámetro que actúa restringiendo a su salida el flujo del líquido refrigerante hacia el evaporador; esta restricción no solamente ayuda a reducir la presión a la salida del condensador y mantener la diferencia de presión de operación, también regula el flujo del refrigerante necesario para optimizar la capacidad de operación y el nivel de enfriamiento ya que separa los lados de alta y baja presión (Kielmann®, 2015; Chris, 2009).

## 1.5 Diseño de equipo

Diseño proviene de la palabra latina designare, que significa “designar o marcar”, y también se entiende que es “delinear, trazar, plantear, concebir, inventar o idear como acción o como trabajo”. Desde un punto vista ingenieril se puede definir como “el proceso de aplicar técnicas y principios científicos con el objetivo de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización”. Es importante definir y calcular movimientos, fuerzas y cambios de energía a fin de determinar el tamaño y formas seleccionar el material adecuado necesarios para cada uno de los componentes interrelacionados del equipo para que el diseño sea funcional. Se busca dimensionar formando las piezas, seleccionando materiales y procesos de manufactura apropiados de manera que el equipo funcione. Para dimensionar de forma correcta se debe asignar las cotas necesarias de modo que la geometría de la pieza quede totalmente definida no den dejar dimensiones sin definir ni introducir cotas redundantes esto hará posible la fabricación de la pieza. Se deben de tomar en cuenta numerosos factores de diseño que van a condicionar su forma y dimensiones. En el diseño se establece la secuencia de operaciones físicas o químicas, condiciones de operación, necesidades, especificaciones principales, materiales de construcción, tamaños de línea, instrumentación principal y disposición general de los equipos para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. Las características esenciales del diseño recaen en satisfacer necesidades de la colectividad social mediante productos desarrollados en interacción directa con los usuarios, innovación en el campo de proyección ambiental, determinación de propiedades estéticas, estructurales o funcionales, incrementar la productividad de nuevas industrias o volumen de exportaciones entre otras. El diseño de procesos es resumido mediante un diagrama de flujo, balances de materia y energía, un conjunto de especificaciones de equipo. Algunas veces únicamente el diseño preliminar y el costo estimado son necesarios para evaluar las adversidades de investigaciones futuras, nuevos procesos, ampliación de una planta, un trabajo de diseño detallado; diseño preliminar que se puede necesitar para establecer próximos fondos financieros para

un diseño completo. También sirve para revelar la falta de datos necesarios para un diseño final (Javierre, 2012; Walas, 1990; Norton, 1999). Existen tres etapas fundamentales en ingeniería de procesos: diseño, simulación y optimización. La etapa de diseño de un proceso implica el definir las entradas y las salidas del sistema, en este caso las características de materia prima y productos deseados, y estipular la estructura del proceso que se requiere para llevar a cabo la transformación. La etapa de simulación de un proceso consiste en definir el diagrama de flujo del proceso para indagar salidas que se pueden obtener, se plantea el análisis o simulación de este proceso para establecer las salidas que se obtienen y compararlas con las que se habían estipulado originalmente. En la optimización de un proceso una vez que se agotan las variables de diseño, se plantea una función objetivo que trata de minimizar costos de proceso, maximizar salidas, beneficios, para que en función de este objetivo obtener las mejores variables de diseño (Jiménez, 2003).

### **1.5.1 Tipos de diseño**

Los métodos para llevar a cabo un proyecto se pueden dividir en la clasificación siguiente según la precisión y los detalles que cada diseño requiera.

- a) Diseño preliminar, son ordinariamente usados como base para determinar si se debe seguir trabajando con el proceso propuesto. El diseño se basa en preparar métodos de proceso aproximados y estimaciones aproximadas de costos. Pocos incluyen detalles y el tiempo dedicado a los cálculos se mantiene el mínimo, si los resultados del diseño preliminar muestran que el trabajo adicional está justificado se continua con un diseño más detallado.
- b) Diseño de estimación detallada, en este el potencial de ganancias de un proceso establecido se determina mediante el análisis detallado a base de cálculos. Sin embargo, no se dan especificaciones exactas para el equipo y

se minimiza el trabajo en la sala de dibujo, este es para estimar el éxito comercial de algún producto.

- c) Diseño de proceso firme se presentan especificaciones para todos los componentes de la planta y costos precisos con base a los precios cotizados se obtiene el diseño del proceso firme, el cual incluye planos e información suficiente para permitir el desarrollo inmediato de los planes finales para construir.

### **1.5.2 Metodología del diseño**

1. *Investigación y proyección* establecer los aspectos técnicos y económicos, examinando factores de proceso ya que deben de examinarse los factores del proceso propuesto, las diversas reacciones y los procesos físicos involucrados junto con los existentes y posibles condiciones de mercado para el producto, algunos aspectos que se deben tomar en cuenta son:
  - a. Materia prima (disponibilidad, cantidad, calidad y costo).
  - b. Termodinámica y cinética de las reacciones químicas involucradas (equilibrio, rendimiento, tasas, condiciones óptimas).
  - c. Instalaciones y equipos disponibles en la actualidad.
  - d. Instalaciones y equipos que se deben comprar.
  - e. Estimación de los costos de producción y la inversión total.
  - f. Beneficios (probable y optimo por libra de producto y por año, así como el retorno en la inversión).
  - g. Materiales de construcción (propiedades, características, restricciones, costos, disponibilidad).
  - h. Consideraciones de seguridad.
  - i. Mercados (oferta y demanda presente y futura, uso actual, nuevos usos, hábitos de compra actuales, etc.).

- j. Competencia (estadísticas generales de producción, comparación de varias manufacturas, procesos, especificaciones del producto de competidores)
  - k. Propiedades de los productos (físicas, químicas, impurezas, etc.).
  - l. Ventas y servicio de ventas (método de venta, distribución y publicidad requerido y servicios técnicos.
  - m. Ubicación.
  - n. Situación de la patente y restricciones legales.
2. *Desarrollo*, cuando se establecen la mayoría de los puntos anteriormente descritos es el momento de desarrollar una investigación adicional con datos de laboratorio o de una planta piloto para obtener datos precisos de diseño. En este paso se pueden obtener balances de energía, balances de materia, condiciones de proceso temperaturas, presiones, variaciones, rendimientos, materias primas, productos, materiales de construcción, características de producción, características de operación, entre algunas otras variables importantes características de cada proceso.
3. *Diseño*, si hay suficiente información disponible se puede desarrollar un diseño preliminar de viabilidad para establecer una fabricación viable y poder producir el producto deseado. Para establecer el diseño preliminar se requiere de algunos pasos adicionales.
- a. Establecer las bases para el diseño, tener las especificaciones conocidas, para el producto y la disponibilidad. El diseño puede estar controlado por alguna variable como temperaturas, presiones específicas, servicios utilizados, valor de subproductos, etc.
  - b. Realizar diagramas de flujo simplificados que muestren los procesos involucrados, un balance de materia preliminar, caudales y condiciones de flujo, balances de energía, especificaciones de producto, rendimientos, velocidades de reacción, ciclos de tiempo,

entalpías de corriente, porcentajes de vapor, datos que se incluyen donde sean pertinentes.

Tan pronto como se hayan confirmado las necesidades del equipo y los servicios necesarios los requisitos de inversión pueden determinarse. La evaluación económica juega un papel importante en cualquier diseño de proceso. Es importante realizar dibujos detallados, que contenga las especificaciones para la adquisición de equipos y materiales. Un diseño completo de una planta debe contar con las especificaciones para almacenes, laboratorios, casetas de vigilancia, cercas, casas de cambio, transporte, instalaciones y artículos similares; por lo tanto, se necesita apoyo de diversos campos de la ingeniería tales como arquitectura, ventilación, electricidad, civil e impacto ambiental.

4. *Construcción y operación*, cuando se toma una decisión definitiva de proceder con la construcción, largas demoras pueden ser encontradas en la fabricación de piezas importantes de equipos, estos factores deben tenerse en consideración al desarrollar los planes finales utilizando técnicas de evaluación y revisión de proyectos o el método de ruta crítica; la construcción puede comenzar mucho antes de dejar el diseño final terminado, lo importante es evitar demoras en la construcción. Durante la construcción es importante tomar consideración en los tiempos de arranque y las primeras fases de operación. Ya que el diseño construcción y operación final del equipo o la planta puede desarrollarse desde la etapa del dibujo hasta una unidad operativa que puede funcionar de manera eficiente y efectiva.

### **1.5.3 Factores de seguridad**

Los factores de seguridad, representan una cantidad de diseño excesivo entre el valor calculado y la capacidad máxima de un sistema necesario para soportar los cambios en el rendimiento operativo con el paso del tiempo, para que se garantice

que bajo desviaciones aleatorias exista un margen extra de protección en la operación. La aplicación indiscriminada de factores de seguridad puede ser muy perjudicial para un diseño, ya que puede resultar en un diseño excesivo. Cada equipo debe estar diseñado para llevar a cabo la función requerida, por lo tanto, si hay incertidumbres involucradas un factor de seguridad puede ser aplicado razonablemente.

#### **1.5.4 Especificaciones de equipos.**

Una recomendación para la etapa de selección es preferir el equipo estándar, ya que esto da la posibilidad de que el fabricante tenga una cantidad de equipos en su almacén lo que implica un menor precio, garantías y refacciones. Se puede obtener mucha información de los fabricantes de equipo por medio de hojas de especificación que contengan información de identificación, función, operación, materiales, datos básicos de diseño, controles esenciales, requisitos de aislamiento, tolerancias permitidas, información especial, materiales de construcción; para ampliar las especificaciones se deben de tomar ubicaciones y tamaños de puntos de venta, así como el soporte técnico.

#### **1.5.5 Equipos didácticos**

El proceso de aprendizaje requiere cierto contacto de un periodo de tiempo para que se adquieran los conocimientos pertinentes. El avance tecnológico y científico en el sector productivo, impactan de manera directa. Todo aprendizaje supone una construcción que se realiza a través de un proceso mental y finaliza con la adquisición de un conocimiento nuevo. Los equipos didácticos industriales son el medio físico mediante el cual se entrena a los futuros profesionales para desarrollar habilidades y destrezas. El empleo de prototipos didácticos que faciliten el aprendizaje y la actividad docente. Algunos equipos prototipos montados de manera provisional presentan algunas desventajas ya que pueden existir riesgos para el

alumno, pérdida de tiempo en la instalación provisional de los equipos, corta vida útil de los equipos, entre algunas otras. Para que el desarrollo de equipos didácticos cumpla con la función de capacitar, es necesario vincularlo con la realidad ya que facilita el aprendizaje (Guevara *et al*, 2009). Los recursos didácticos pueden contribuir a proporcionar a los estudiantes información técnicas que simule procesos reales a los que se enfrentara el egresado en la industria y fomente el autoaprendizaje. En el constructivismo, todo aprendizaje supone una construcción que se realiza a través de un proceso mental que finaliza con la adquisición de un conocimiento nuevo. Pero en este proceso no es solo el nuevo conocimiento lo que se ha adquirido, sino, y sobre todo la posibilidad de construirlo. Los alumnos participan en lo que aprenden, creando estrategias que hagan importante y relevante la aplicación de los conocimientos. El uso de equipos didácticos industriales en la capacitación técnica logra un aprendizaje significativo ya que este elabora e interioriza, hace suyos los conocimientos, habilidades, destrezas basadas en experiencias relacionados con intereses y necesidades Los equipos didácticos industriales, son el medio físico, mediante el cual se entrenan los técnicos para desarrollar habilidades y destrezas. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, se realiza con equipos industriales (Sandoval, *et al*, 2009).

### **1.5.6 Escalamiento**

Es el proceso por el cual se desarrollan los criterios y las reglas de asignación numérica que determinan las unidades de medida significativas para llevar de un tamaño dado a otro tamaño mayor o menor una operación u objeto (Anaya-Durand & Pedraza-Flores, 2008). Escalar un proceso o equipo es convertirlo de su escala de investigación a escala industrial. Escalar procesos permite desarrollar conocimientos y criterios técnicos que permiten mejorar el escalamiento tales como; condiciones de operación, parámetros de diseño, materiales de construcción, impurezas, procedimientos operativos, problemas de trabajo y problemas ambientales.

El paso fundamental en un escalamiento consiste en pasar los datos obtenidos a un modelo ya sea *fenomenológico* que permite hacer predicciones en rangos o intervalos de operación no estudiados, *empírico* el cual se postula sin bases teóricas y se espera que ajuste la interacción entre los datos y la *similaridad* que se obtiene a partir de un análisis de similaridad con respecto a analogías físicas de tipo térmico, mecánico, geométrico, químico, etc., el tipo de modelo de escalamiento depende tanto del proceso como de la geometría de los equipos involucrados.

#### 1.5.6.1 Principios de similaridad

Este principio hace referencia a la relación que existe entre sistemas físicos y el tamaño de los mismos, siendo básico en el escalamiento de procesos físicos y químicos. Los sistemas físicos se caracterizan en general por tres cualidades: tamaño, forma y composición. El principio de similaridad está relacionado con el concepto de forma a partir del hecho de que esta es independiente del tamaño y composición. El concepto de forma aplicado en estos sistemas no envuelve únicamente a las proporciones geométricas de sus miembros, sino también patrones de flujo en fluidos, gradientes de temperatura, perfiles de concentración con respecto al tiempo, etc., existen 4 tipos de similaridades *geométrica*, *mecánica*, *térmica* y *química*.

- Similaridad geométrica

Se define en términos de correspondencia, considerando dos cuerpos sólidos, cada uno provisto de tres ejes imaginarios en el espacio que los intersectan a fin de ser descritos de igual forma en todos sus puntos en un mismo sistema de coordenadas. Un punto en el primer cuerpo está dado por las coordenadas  $x,y,z$ , mientras que en el segundo cuerpo un punto correspondiente está dado por las coordenadas  $X,Y,Z$ . Ambos grupos de coordenadas están relacionados por la ecuación, donde la relación de escalamiento lineal  $L$  es constante.

$$\frac{X}{x} = \frac{Y}{y} = \frac{Z}{z} = L;$$

Estos dos puntos y todos los demás pares de coordenadas espaciales que están relacionados en términos de L son conocidos como puntos correspondientes. Esto es posible cuando cada punto en el primer cuerpo puede tener más de un punto correspondiente en el segundo, si el segundo cuerpo está compuesto por elementos idénticos múltiples geoméricamente similares al primero. No es necesario que la relación de escalamiento sea la misma en cada uno de los ejes, es decir; donde  $X'$ ,  $Y'$ , y  $Z'$  son relaciones de escalamiento constantes, pero no necesariamente iguales.

$$\frac{X}{x} = X'; \frac{Y}{y} = Y'; \frac{Z}{z} = Z';$$

La relación entre dos cuerpos en los cuales las razones de escalamiento son diferentes se denomina *similaridad distorsionada*.

- Similaridad mecánica

Comprende en su área a las similaridades estática, cinemática y dinámica. Cada una de éstas puede considerarse como una extensión de conceptos de similaridad geométrica en sistemas fijos o en movimiento sujetos a fuerzas externas o internas. La relación de los desplazamientos será entonces igual a la relación de la escala

- Similaridad dinámica

Está relacionada con las fuerzas que aceleran o retardan el movimiento de las masas dentro de sistemas dinámicos. Las fuerzas del mismo tipo que actúan sobre determinadas partículas en tiempos determinados se llaman fuerzas correspondientes. Sistemas en movimiento con similaridad geométrica son dinámicamente similares cuando las relaciones de todas las fuerzas correspondientes son iguales. Y es de gran importancia en sistemas de flujos de fluido para predecir caídas de presión o consumos de potencia.

- Similaridad cinemática

Esta concepción tiene aplicación para sólidos o fluidos en movimiento. Para propósitos de ingeniería es más conveniente realizar escalamientos con base en la

similaridad cinemática utilizando el concepto de correspondencia de velocidades pues a cada partícula corresponde una velocidad determinada en un tiempo determinado. La similaridad cinemática es de especial interés en ingeniería ya que si dos fluidos geoméricamente similares son también cinemáticamente similares entonces los patrones de flujo son geoméricamente similares y las velocidades de transferencia de calor y masa entre dos sistemas se encuentra en relación simple.

- Similaridad estática

La similaridad estática se presenta en los cuerpos sólidos sujetos a esfuerzos constantes y se define de la siguiente manera: cuerpos geoméricamente similares, son también estáticamente similares cuando al estar sujetos a esfuerzos constantes sus deformaciones relativas son tales que permanecen geoméricamente similares.

- Similaridad térmica

Esta similaridad involucra a los sistemas en los cuales se presenta flujo de calor por lo que se introduce la dimensión temperatura además de la longitud, fuerza y tiempo. El calor puede fluir por convección, conducción y radiación y la diferencia de temperaturas a tiempos correspondientes entre un par de puntos de un sistema y entre el par de puntos de otro se definen como temperaturas correspondientes. Los sistemas que presentan similaridad geométrica son térmicamente similares cuando la diferencia de temperatura conserva una relación constante entre ellos. La similaridad térmica requiere que los flujos correspondientes de calor guarden una relación constante en cada sistema.

- Similaridad química

Está relacionada con sistemas que representan reacciones químicas donde la composición varía de un punto a otro, ya sea en procesos intermitentes o continuos en diferentes instantes. No se introduce ninguna nueva dimensión, no es necesario que las composiciones químicas de ambos sistemas sean las mismas, sino solamente que exista una relación fija entre las concentraciones puntuales de algunos componentes de los cuales se realiza la comparación. Los sistemas con

similaridad geométrica y térmica están en similitud química cuando las diferencias correspondientes de concentración mantienen una relación constante entre uno y otro (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

## **1.6 Construcción**

Para la construcción es importante tomar en cuenta algunas consideraciones de acuerdo a los requerimientos particulares de cada diseño, en el cual pueden intervenir algunos de los puntos que a continuación se describen:

- Propiedades de los materiales; propiedades mecánicas, propiedades físicas, resistencia a la corrosión, entre otras.
- Fabricación.
- Factibilidad de encontrar remplazos de piezas, refacciones, etc.
- Compatibilidad con el producto a procesar.
- Mantenimiento, facilidad con la que se pueden mantener los componentes que se tienen directamente relacionados en el equipo.
- Especificaciones de riesgo.
- Consideraciones de selección
- Expectativa de vida.
- Vida estimada.
- Seguridad.
- Accesibilidad.
- Costo de material.

### **1.6.1 Materiales de construcción**

Los efectos de la corrosión, erosión, resistencia química, resistencia estructural, propiedades físicas de los materiales de construcción deben de considerarse en el diseño de plantas y equipos. La posible erosión causada por fluidos u otros tipos de

sustancias en movimiento debe considerarse, con resistencia química adecuada, resistencia estructural, resistencia física, costo, facilidad de fabricación, tipo de mantenimiento necesario, y en general el tipo de servicio requerido que incluyan las temperaturas y presiones de operación, estos deben de considerarse factores adicionales que influyen en la elección final de dichos materiales de construcción. El tipo de servicio requerido que incluye el conocimiento de las temperaturas y presiones de operación. Pruebas adicionales a escala de planta piloto pueden ser favorables para conocer los efectos de factores operacionales. Los resultados de laboratorio indican la resistencia a la corrosión del material y también los efectos sobre el producto; para determinar así la cantidad de resistencia a la erosión o los efectos de otros factores operacionales.

#### 1.6.1.1 Materiales metálicos para la construcción

Los metales se basan en una red cristalina regular de un único elemento metálico en el que pueden mezclarse cantidades variables de uno o más metales distintos u otros compuestos (aleaciones). El enlace metálico se caracteriza por no fijar los electrones a ningún átomo en concreto, de lo que se deriva su buena conductividad eléctrica y térmica. Las propiedades más destacadas de los metales usuales son: densidad baja, resistencia mecánica elevada, rigidez elevada, buena ductilidad, conductividad eléctrica y térmica elevadas y estabilidad química de media a baja.

- Aceros inoxidable

Aleación de hierro y cromo en ocasiones níquel y otros metales que presentan una excelente resistencia a la corrosión. En general, el acero inoxidable ofrece una gran resistencia a la corrosión, por ese motivo se usa mucho en la industria alimentaria. La gama de aceros inoxidables disponibles es grande y la selección de la calidad más apropiada depende de las propiedades corrosivas del proceso y de los productos de limpieza y desinfección. La elección también estará determinada por otros factores como las tensiones a las que esté sometido el acero y a su soldabilidad, dureza, coste, etc. Los aceros utilizados en la industria alimentaria son el AISI-304L (para procesos en que se ve sometido a bajos niveles de cloruro, bajas

temperaturas y pH no ácido) y el AISI-316L, que se utiliza más comúnmente por su mayor resistencia a la corrosión. Si las temperaturas se acercan a 150°C, incluso los aceros AISI-316 pueden sufrir corrosión y puede que sea necesario el uso de aceros AISI-410, AISI-409, AISI-329 (Milvaques, 2015).

- Recipientes

Existen diversos tipos de recipientes que se utilizan en las plantas industriales o de proceso y dependen del tipo de aplicación para la cual van a ser destinados, de acuerdo a ello se consideran diversos factores para su correcta selección. Existen recipientes de almacenamiento de fluidos a presión atmosférica teniendo forma cilíndrica u horizontal; tanques atmosféricos que se utilizan para almacenar sustancias, puede ser abierto o cerrado; *recipientes de proceso* este tipo de recipientes participan en un proceso químico que se utilizan para almacenar fluidos con vapores tóxicos, gases, químicos peligrosos se utilizan como mezcladores y reactores de agitación, intercambiadores de calor o separadores. Generalmente el primer paso en el diseño de recipientes es seleccionar el más apropiado tomando en cuenta la función del recipiente, la localización, la naturaleza del fluido, temperatura, presión, volumen y capacidad (Heredia, 2011 & Santana, 2009).

- Cobre

Las tuberías de cobre al ser fabricadas por extrusión y estiradas en frío tienen características y ventajas sobre otro tipo de materiales. Existen tuberías de temple rígido y flexible, dentro de las cuales existen varios tipos, pero para fines de uso en esta construcción se especifica la adecuada para la aplicación empleada, ya que esta se utiliza para el refrigerante en la parte de enfriamiento por compresión mecánica, el tipo de tubería que se emplea es el flexible tipo “L”.

- Acero estructural

El acero es el metal más importante, utilizado para fines estructurales porque combina una alta resistencia, tanto en tensión como en compresión con gran rigidez

y facilidad de fabricación, con precio relativamente bajo. Las propiedades mecánicas del acero están influenciadas de manera importante por el proceso de laminación, velocidad de enfriamiento, tratamiento térmico, temperatura de servicio, deformación en frío. Algunas de sus propiedades importantes para este proyecto se describen a continuación: resistencia ya que permite soportar grandes esfuerzos, ductilidad puede aceptar deformaciones más allá del límite elástico sin fallar, soldabilidad permite efectuar uniones con características suficientes de continuidad metalúrgica, tenacidad determina la capacidad que tiene un acero para absorber la energía hasta llegar a la fractura (AHMSA, 2013).

- Aislamiento térmico

Debido a que el calor siempre fluye de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, es necesario emplear un material que limite el flujo de calor. Por lo tanto, resulta necesario aislar la región de sus alrededores con un buen material aislante de calor. Algunas características de los aislantes son: ligero y no higroscópico, imputrescible, inodoro, inflamable, ignífugo, resistente y con baja permeabilidad al vapor de agua, estas por mencionar las más representativas (Dossat, 1980).

- Etilvinilacetato

Es un material formado a partir de un polímero termoplástico que es lo que hace que sea tan flexible y de fácil manipulación, se trata de un copolímero etilenoacetato de vinilo (EVA por sus siglas en inglés). Algunas de sus propiedades son: densidad  $100 \text{ kg/m}^3$ , gran resistencia a los cambios de temperatura externos, resistencia a los productos químicos, baja absorción de agua, no tóxico, fácil de manipular (Material Word, 2016).

- Película de aluminio

Material que consiste en un laminado plano ligero diseñado para ser utilizado como barrera térmica contra el calor, también se utiliza como barrera contra el vapor en

donde se requiere control de humedad además es fácil de manejar, fácil de moldear tiene un peso específico bajo, no es afectado por la luz solar y es completamente impermeable esta característica ofrece grandes ventajas (ALMEXA).

- Espuma elastómera flexible

Es un material con elevada resistencia a la difusión de vapor de agua, baja conductividad térmica y protección antimicrobiana, se aplica para el aislamiento y protección de tuberías, conductos, depósitos en equipos de aire acondicionado y refrigeración para prevenir la condensación y favorecer el ahorro energético en las instalaciones. La característica de espesor nominal creciente asegura que la temperatura de la superficie se mantenga a medida que el diámetro aumente (Armacell, 2017).

- Poliestireno expandido

Es un material muy popular conocido en todo el mundo, su abreviatura en inglés es EPS. Este material está incluido en la familia de los termoplásticos, es rígido, blanco y espumado y presenta una estructura celular cerrada y llena de aire. Se forma a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros. Aproximadamente un 98% del volumen de este material es aire y sólo un 2% materia sólida. Sus características se describen a continuación; ligero, densidad 20 kg/m<sup>3</sup>, color blanco, resistente al agua, pero no al vapor. no es higroscópico, es decir, sus niveles de absorción de agua son mínimos, aunque el vapor de agua sí puede penetrar su estructura celular, resistencia mecánica, aislante térmico, higiénico, no enmohece, imputrescible. Es un material idóneo para estar en contacto con alimentos frescos, la exposición a cambios de temperatura puede afectar su estabilidad dimensional o alterarla. Si bien puede utilizarse con total tranquilidad en temperaturas muy bajas (aunque puede darse un efecto de contracción) cuando se expone a temperaturas superiores a los 100°C se reblandece y deforma, facilidad de conformado, facilidad de instalación y facilidad de manipulación (Material Word, 2016).

- Accesorios

Se necesitan de elementos que permitan conectar, proteger y aislar el sistema. Permiten contrarrestar los efectos que se generan al llevar a cabo las operaciones unitarias del equipo.

- Tuberías

Necesarias para distribuir el refrigerante a través del sistema. Manguera industrial; manguera flexible de una capa diseñada para conducir fluidos a baja presión, con un rango de temperaturas de 5°C a 60°C, con capa interior de PVC de alta resistencia, transparente, etc. (DOGOTULS). Manguera sanitaria; manguera de polipropileno antibacterial se caracteriza por su excelente resistencia química, liviana, termo formable, bajo coeficiente de fricción. Se utiliza frecuentemente en líneas de alimentos y bebidas, procesos farmacéuticos, equipos dispensadores de agua fría, sistemas de tratamiento de agua entre otros (RVD).

- Uniones de tuberías

Que permiten realizar diferentes configuraciones tees, codos, conectores de reducción o ampliación (Crane, 1992).

- Aislamiento de tuberías

Que permite aislar térmicamente los tramos de tubería en los que es importante conservar el calor.

- Válvulas

Requeridas para habilitar o deshabilitar el paso del fluido en distintas partes del sistema y permiten aislar tramos del sistema.

- Material eléctrico

Para llevar a cabo una instalación eléctrica se emplea equipo y material eléctrico y a continuación se describen los utilizados en esta instalación. Conductores eléctricos, son los elementos por los cuales circula la corriente eléctrica existen cuatro factores que se deben de tomar en cuenta en la selección de los conductores:

material, flexibilidad, forma y dimensiones. El material más usado es el cobre. Interruptores: son dispositivos que sirven para interrumpir o restablecer la corriente eléctrica a través de un circuito eléctrico. Un apagador es un interruptor pequeño de acción rápida, operación manual y baja capacidad (Condumex, 2009).

#### 1.6.1.2 Instrumentación y control

Los instrumentos de control empleados en las distintas industrias de proceso son indicadores, registradores, transmisores y válvulas de control. Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse, existen instrumentos indicadores que disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Instrumentos registradores registran con trazo continuo puntos de la variable, los sensores captan el valor de la variable de proceso y envían una señal de salida predeterminada, los transmisores captan la variable de proceso a través del elemento primario y lo transmiten a distancia en forma de señal neumática, transductores reciben una señal de entrada en función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no a la salida, convertidores son aparatos que reciben una señal de entrada neumática o electrónica procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar, receptores reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran, controladores comparan la variable controlada con el valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación (Creus, 2006).

- Medición de temperatura

La temperatura es la variable más común e importante que se mide en los procesos industriales ya que casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella y se ocupa para inferir en otras variables de proceso. Existen diversos fenómenos que son influidos, por ejemplo, la variación en volumen, variación en la resistencia de un conductor o semiconductor, etc. A continuación, se describen los instrumentos que se utilizan para medir dicha variable.

- Termómetro bimetálico

Estos se fundamentan en el distinto coeficiente de dilatación de los dos metales diferentes, tales como latón o acero y una aleación de ferroníquel laminados conjuntamente. Un termómetro bimetálico típico contiene pocas partes móviles, solo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o hélice y el propio elemento bimetálico. El uso es admisible para servicio continuo de 0°C a 400°C (Creus, 2006).

- Termómetro de bulbo y capilar

Los termómetros tipo bulbo y capilar consisten esencialmente en un bulbo concentrado por un capilar a un espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia el gas o el líquido en el bulbo se expanden y el espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura del bulbo. Existen distintos tipos de termómetros, los *actuados por líquido* tienen el sistema de medición lleno de líquido y como su dilatación es proporcional a la temperatura, la escala de mediación resulta uniforme los líquidos que usan son alcohol y éter, *actuados por vapor* contienen un líquido volátil y se basan el principio de presión de vapor, al subir la temperatura aumenta la presión de vapor de líquido la presión en el sistema depende únicamente de la temperatura del bulbo, *actuados por gas* al subir la temperatura la presión aumenta proporcionalmente y por lo tanto estos termómetros tienen escalas lineales la presión de sistema depende principalmente de la temperatura del bulbo pero también de la temperatura del tubo capilar y del elemento de mediación y los *actuados por mercurio* son similares a los actuados por líquido (Creus, 2006).

- Termostatos

Los termostatos sirven para mantener la temperatura de un proceso determinado y actúan como dispositivos protectores, ya que trabajan dentro de las especificaciones que se necesiten, facilitando así, al usuario manipular la temperatura. Los termostatos permiten abrir o cerrar un circuito eléctrico en función

de la temperatura y funcionan mediante un elemento sensor que mide la temperatura y que cambia alguna magnitud cuando se produce un cambio en la temperatura. Su uso principal es en el sistema de calefacción y control de frío (Rojano R., 2014).

- Tipos de termostatos

Bulbo provisto de gas o de un líquido volátil: Cuando cambia la energía térmica de un objeto también lo hace su temperatura. A su vez cuando cambia la temperatura también cambia su volumen y si se trata de un líquido o gas encerrado en un recipiente, cambia la presión ejercida sobre las paredes del mismo. Los materiales se expanden o contraen de forma diferente dependiendo de su composición cuando cambia la temperatura (coeficiente de expansión volumétrica). Las partes que lo componen son; Bulbo con un fluido sensible a los cambios de temperatura, un elemento receptor sensible a los cambios de volumen o presión del fluido y un tubo capilar para unir los dos elementos anteriores.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

### **2.1 Planteamiento de problema y objetivos**

#### **Problema**

El diseño de equipos didácticos para el estudio a nivel laboratorio es una parte fundamental en la mejora de los procesos de enseñanza para la conservación de alimentos, ya que, al representar las etapas del proceso, es posible analizar los fenómenos y cinéticas que requieren ser estudiados. Los criterios que sean considerados en el diseño trascenderán directamente en el proceso de construcción por ejemplo la distribución de equipos, selección de materiales de acuerdo a la aplicación para que en la puesta en marcha se puedan cumplir con los objetivos principales del equipo. El choque térmico, es una etapa crucial en el escaldado para inactivar enzimas termoresistentes, Por lo tanto, es importante estudiar, la diferencia de la temperatura del fluido enfriador y el cambio de la temperatura del alimento, ya que determinan la velocidad a la que se enfría, así como las características de diseño que ayudaran a que esta sea más rápida.

### **2.2 Objetivos**

#### **Objetivo General**

Diseño, construcción y puesta en marcha de un equipo de escaldado con calentamiento por inmersión y enfriamiento instantáneo por aspersion, considerando criterios heurísticos y geométricos, para su uso didáctico por los alumnos del TMIA: Procesos y Sistemas Frigoríficos.

## **Objetivos particulares**

### **Objetivo particular 1**

Diseñar un equipo de escaldado que cumpla con los requerimientos y lineamientos didácticos, sustentado con cálculos para la selección de equipo, accesorios y materiales, realizando diagramas de flujo e isométricos.

### **Objetivo particular 2**

Construir un equipo de escaldado, siguiendo las especificaciones de diseño en equipos, accesorios y materiales, cumpliendo con los parámetros establecidos para la operación eficiente del equipo.

### **Objetivo particular 3**

Puesta en marcha del equipo, empleando como medio de calentamiento y enfriamiento agua y como materia prima papa en cubos, obteniendo condiciones de operación (Flujos volumétricos, flujos máscicos, capacidades volumétricas, temperaturas de operación, etc.).

## **2.3 Materiales y métodos**

### **2.3.1 Diseño de equipo**

Un buen método para iniciar a diseñar es obtener la mayor cantidad de información sobre el proyecto a desarrollar, ya que apoyados de la investigación se toman en cuenta diversos criterios de selección respecto a las ventajas y desventajas que presentan. Por lo tanto, el método de escaldado seleccionado es el de inmersión en agua caliente, ya que ofrece un calentamiento uniforme en el producto, además de que este método ya ha sido estudiado con anterioridad en la papa como materia prima a procesar y las condiciones de temperatura y tiempos de calentamiento son establecidas en los estudios existentes.

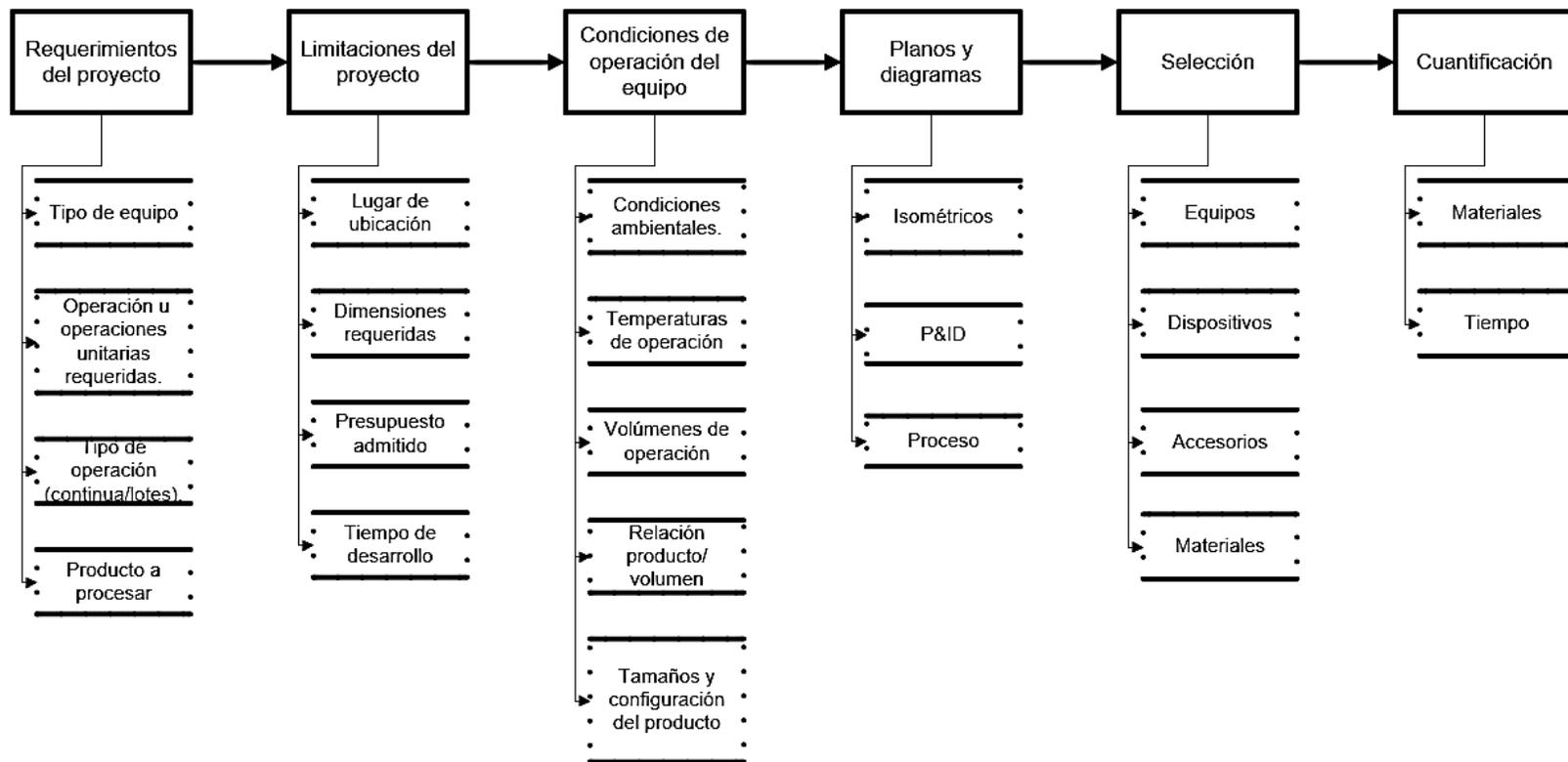
.

Respecto al método de enfriamiento se prefiere el generado con agua, porque este es el más utilizado dentro del proceso de escaldado y también implica una menor configuración en la construcción; tomando en consideración que además el laboratorio cuenta con una unidad condensadora enfriadora de agua se reafirma la decisión y esta se acondiciona al sistema posteriormente. La aplicación agua fría al alimento se hace por aspersión ya que este método es el más utilizado en la industria de hortalizas cuando se utiliza agua como método de enfriamiento y para realizar el transporte de fluido se tienen dos bombas pequeñas para ser integradas.

Los *tamaños de los recipientes* están en función de la disposición de áreas de procesamiento que a su vez dependen de la cantidad de producto a procesar (papa cortada en cubos), tipos de procesos, control de producto, beneficio operativo, accesibilidad, entre otros; la *distribución de equipos*, así como las *trayectorias* de tubería están dadas de acuerdo al lugar en donde se generan los servicios, requisitos del usuario, consideraciones de seguridad y eliminación de residuos; la *selección de los materiales* está dada por la compatibilidad con los materiales involucrados, resistencia a las condiciones de operación, necesidades sanitarias, accesibilidad, costo, etc. En esta sección se establecieron los requerimientos, características, necesidades, algunas condiciones de operación y limitaciones que se consideraron principales para la toma de decisiones. Se realizaron planos y diagramas que ejemplifican algunas características importantes, para visualizar el proyecto, así mismo sirvieron de apoyo en la cuantificación de materiales. Por cada una de estas razones es indispensable establecer una metodología que ayude a determinar cada uno de los puntos a conocer.

A continuación, se muestra el diagrama de la metodología de diseño utilizada que se desarrolló específicamente para el diseño de este proyecto, para coordinar el proceso en orden metodológico la Figura 6 se construye a partir de las recomendaciones de algunos autores de diseño de equipos citados en la sección anterior añadiendo los pasos necesarios para cubrir las singularidades de este proyecto en particular.

## Diseño de equipo

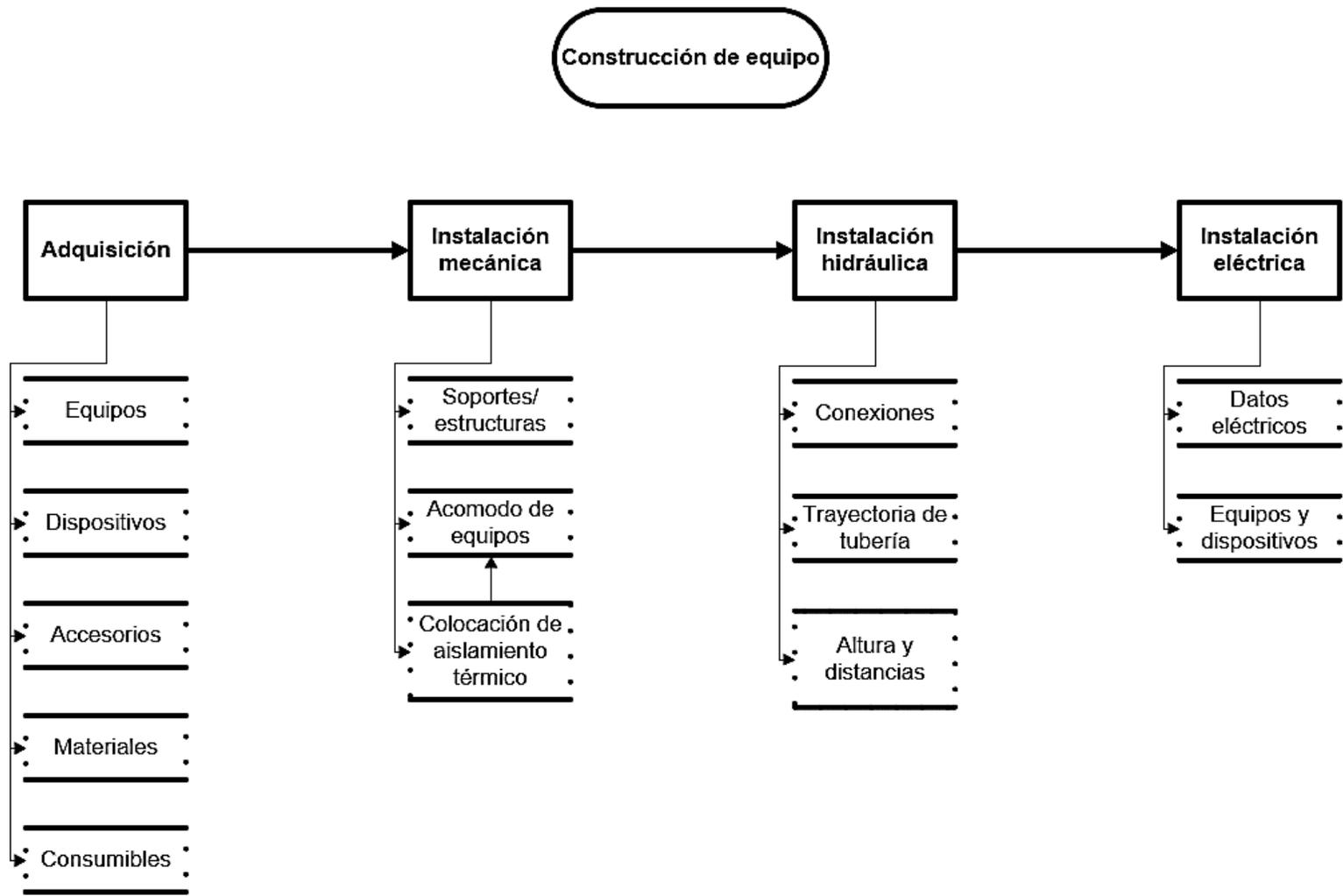


**Figura 6.** Criterios de diseño de equipo.

### **2.3.2 Construcción del equipo**

Al concluir la etapa de diseño se da inicio con la fase de construcción, en la cual se realizan los trabajos más metódicos, ya que no hay que dejar de lado lo establecido en la etapa de diseño e intentar cubrir la mayor parte de las necesidades sin modificar lo antes establecido. Lo primero que se hace es gestionar la adquisición de aquellos materiales y equipos que se integran al sistema de acuerdo a las características necesarias, también se buscan proveedores que cumplan con lo necesario para serlo, como que se encuentren cercanos, costos accesibles, cantidad de material disponible en almacén. Y aunque no todo lo que se contempla en un principio puede no ser encontrado fácilmente a la venta, es necesario que las adquisiciones cumplan con la mayoría de las especificaciones previstas, y que lo encontrado a la venta se pueda realizar el montaje del equipo de acuerdo con los planos previamente realizados para que puedan ser integrarlos en los sistemas de calentamiento y enfriamiento. Posterior a esto ya es posible adquirir los materiales mecánicos y eléctricos ya que se conocen las necesidades específicas de los equipos.

Por lo tanto, en esta parte se abastecen los materiales y accesorios que dieron comienzo con el acomodo e instalación de los equipos, para encontrar el mejor acomodo de estos ya instalados, así como la calidad en la instalación y la seguridad para los usuarios evitando generar defectos que un futuro den problemas en la operación del sistema. En esta etapa se recolectan más características y datos técnicos para describir detalles que se complementan en la etapa final del proyecto con la puesta en marcha para obtener los parámetros operativos. La Figura 7 muestra la metodología de construcción que se adoptó específicamente para este proyecto en la cual se tomaron consideraciones y recomendaciones de algunos autores de diseño mencionados en el marco teórico y lo que se consideró importante para el desarrollo de la construcción en el orden que funciona para fines de instalación, separando instalación mecánica, hidráulica y eléctrica en los pasos que requiere cada una de ellas.



**Figura 7.** Criterios para la construcción del equipo.

### **2.3.3 Puesta en marcha**

Es importante tomar en cuenta consideraciones previas a la puesta en marcha con la finalidad de minimizar los problemas que pueden surgir en dicha etapa, lo primordial es establecer una inspección en donde se realicen los ajustes pertinentes abarcando equipos, tuberías, cableado, instrumentación y estructuras. Una vez revisado visiblemente el sistema, se procede con las pruebas en las cuales se encienden los equipos se hace pasar agua por las tuberías y la prueba hidráulica se corroboran la estanqueidad de los equipos, además de comprobar si existe algún tipo de fuga a lo largo de la trayectoria de las tuberías, así como uniones y válvulas. También fue importante observar si la estructura podía soportar el peso, sin muestra de vibraciones o deformaciones mecánicas. Al realizar la prueba en funcionamiento se determinó si los equipos y componentes son resistentes cuando se aplican las temperaturas de operación. Lo que nos llevó a comprobar que la operación es segura para el usuario, causando el menor riesgo al momento de manipularlo durante las distintas pruebas realizadas.

La Figura 8, esquematiza la etapa más importante del proyecto elaborado un diagrama de la puesta en marcha de este equipo en particular para verificar que todas y cada una de sus partes estuvieran correctamente instaladas, y que no se vea comprometida la integridad de las piezas, así como la de los dispositivos, accesorios. En esta etapa se verificó que se encontrarán instalados correctamente bajo las especificaciones de fabricante, Todo para hacer la correcta entrega del equipo en funcionamiento de acuerdo a las características requeridas. Y como no todos los proyectos terminan con la entrega del equipo al usuario final, muchas veces es preciso continuar con servicios para mejorar el rendimiento, así como dar mantenimiento se anexa un manual para realizar la perfecta operación del equipo en el cual se describen los pasos a seguir, así como las recomendaciones y el mantenimiento propuesto.



**Figura 8.** Puesta en marcha del equipo.

## **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

### **3.1 Diseño de equipo**

#### **3.1.1 Necesidades y restricciones del proyecto**

Se diseñó un equipo didáctico en lotes para el laboratorio L-16, el cual cumple la función de escaldar por inmersión en agua caliente y enfriar por aspersión de agua papa cortada en cubos de 1.5 cm hasta una temperatura menor a la temperatura ambiente aproximadamente 15°C. El equipo cumplió con las especificaciones de dimensiones mínimas por lo tanto los volúmenes de calentamiento y enfriamiento y la cantidad de producto están en función de este requerimiento. También el tiempo de ejecución fue una restricción importante, por lo cual se consideró una construcción sencilla, los equipos, accesorios y los dispositivos fueron de fácil acceso. Así mismo se buscó economizar para disminuir gastos de fabricación

#### **3.1.2 Condiciones de operación determinadas por el alimento.**

Las condiciones de operación para el escaldado se determinaron por el alimento; para este estudio se empleó papa cortada en cubos, anteriormente *Pantoja, 2016* estableció temperaturas y tiempos en su estudio sobre las propiedades fisicoquímicas de papa pre tratada; las temperaturas de escaldado que emplea en su estudio son dos 75°C y 85°C, y los tiempos de escaldado son 6 min y 9 min. Para el enfriamiento *Pantoja* sumerge el producto en agua a 2°C. Por otro lado, *Ramírez, 2009* en su estudio sobre la desactivación de la enzima peroxidasa durante el proceso de escaldado de papas establece la temperatura a la que debe ser enfriada la papa después del escaldado es a 9.8°C. Para este estudio se decide utilizar la temperatura más alta y el menor tiempo que utilizo en su estudio *Pantoja* ya que

representa la temperatura más alta y ya que la geometría del alimento es menor en consideración a la utilizada por Pantoja que fue corte rectangular corte tipo francesa en comparación con el utilizado para este diseño son cubos de papa de 1.5 cm, se utiliza 6 min como tiempo de estudio. A continuación, en la Tabla 4 se resumen las condiciones de operación establecidas por el alimento a procesar.

**Tabla 4.** Condiciones de operación (Pantoja, 2016, Ramírez 2009 & Experimentales).

	$T_{FMC}$	$t_E$	$T_{FAE}$
Valor	$\pm 85^{\circ}\text{C}$	6 min	$\pm 9.8^{\circ}\text{C}$

### 3.1.3 Determinación experimental de condiciones de operación

Como requerimiento se cuenta con equipo para realizar la operación de enfriamiento del cual no se conocían los parámetros de operación temperaturas y capacidades para el caso de la unidad condensadora y gasto volumétrico para el caso de dos bombas de las cuales se puede elegir una para ser integrada dentro del sistema. A continuación, se describen la metodología para establecer las condiciones de operación de estos equipos mencionados.

- **Unidad condensadora.**

Para conocer algunos de los parámetros fue necesario buscar la ficha técnica del compresor ubicada en la sección de anexos, en donde se muestran temperaturas, capacidades y dimensiones, así como algunos datos del motor. Posteriormente se mide la capacidad volumétrica del evaporador. Una vez determinado el volumen que se puede enfriar se procede a encender el equipo para conocer la temperatura que alcanza el equipo, una vez transcurrido un determinado tiempo y sin ver algún cambio en la temperatura se reporta en los datos de evaluación que se exponen en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Datos de unidad condensadora.

	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>
Compresor	Refrigerante	R-134a
	Tipo	Hermético
	Modelo	PW2.0DV
	q	52 W
Condensador	Tipo de condensador	Convención
Dispositivo de expansión	Accesorio	Tubo capilar
Evaporador	Capacidad volumétrica	2 L
	Temperatura alcanzada	5°C
	T <sub>o</sub>	-10°C
	T <sub>c</sub>	35°C
	T	110-120 V
	Frecuencia	60 Hz

- **Cantidad de materia prima**

Una vez conocidas algunas condiciones de operación se puede saber la cantidad de materia prima que el equipo puede procesar. Se toma en cuenta la capacidad calorífica de la papa, esta propiedad es determinada con el uso de las ecuaciones de Choi y Okos, la capacidad de enfriamiento de la unidad condensadora y las temperaturas  $T_{FMC}$  y  $T_{FAE}$ . Se procede a calcular la cantidad de materia prima como se muestra en la sección de apéndices, resultando 0.6764 Kg de materia prima que se puede procesar bajo las especificaciones anteriormente descritas. Este valor es determinante para proceder con el cálculo de parámetros de operación que determinan la cantidad de agua como medio de calentamiento y enfriamiento, el volumen de recipientes, entre otros que se describen en el desarrollo del proyecto.

- **Relación Producto/Volumen**

Se pesó la cantidad de 0.4 Kg de papa y experimentalmente se determinó que para cubrir la cantidad de masa calculada se necesitaba un aproximado de 1.9 L de agua, por lo tanto, se tiene una determinante más en para la selección de la capacidad de los recipientes.

- **Bomba de recirculación para el sistema de enfriamiento.**

Para el desarrollo de este proyecto se tenían dos bombas, de las cuales no se tienen los datos técnicos. Por lo tanto, se optó por realizarle pruebas a ambas y verificar si podían ser parte del sistema de enfriamiento de agua, específicamente en el sistema de aspersión ya que se necesita un dispositivo que ayude a mover el medio de enfriamiento desde el evaporador hasta los aspersores. La prueba consistió en circular agua en un determinado tiempo, así se obtuvo el caudal de cada bomba, y posteriormente un balance de energía mecánica para obtener las potencias teóricas que ayudaran a determinar la mejor opción, los datos se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Resultados de la caracterización de las bombas.

	<b>Bomba 1</b>	<b>Bomba 2</b>
$t_{PB}$	60 s	
D	0.0064 m	
$\rho$	999.84 Kg/m <sup>3</sup>	
$\eta$	1.29x10 <sup>-3</sup> Pa s	
$V_{PB}$	5.5 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup>	5.0 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup>
Q	<b>9.15 x 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/s</b>	<b>8.33 x 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/s</b>
V	0.2847 m/s	0.25891m/s
Re	1415.15	1284.31
$P_T$	5.06 W	4.78 W

### 3.1.4 Especificaciones técnicas del equipo

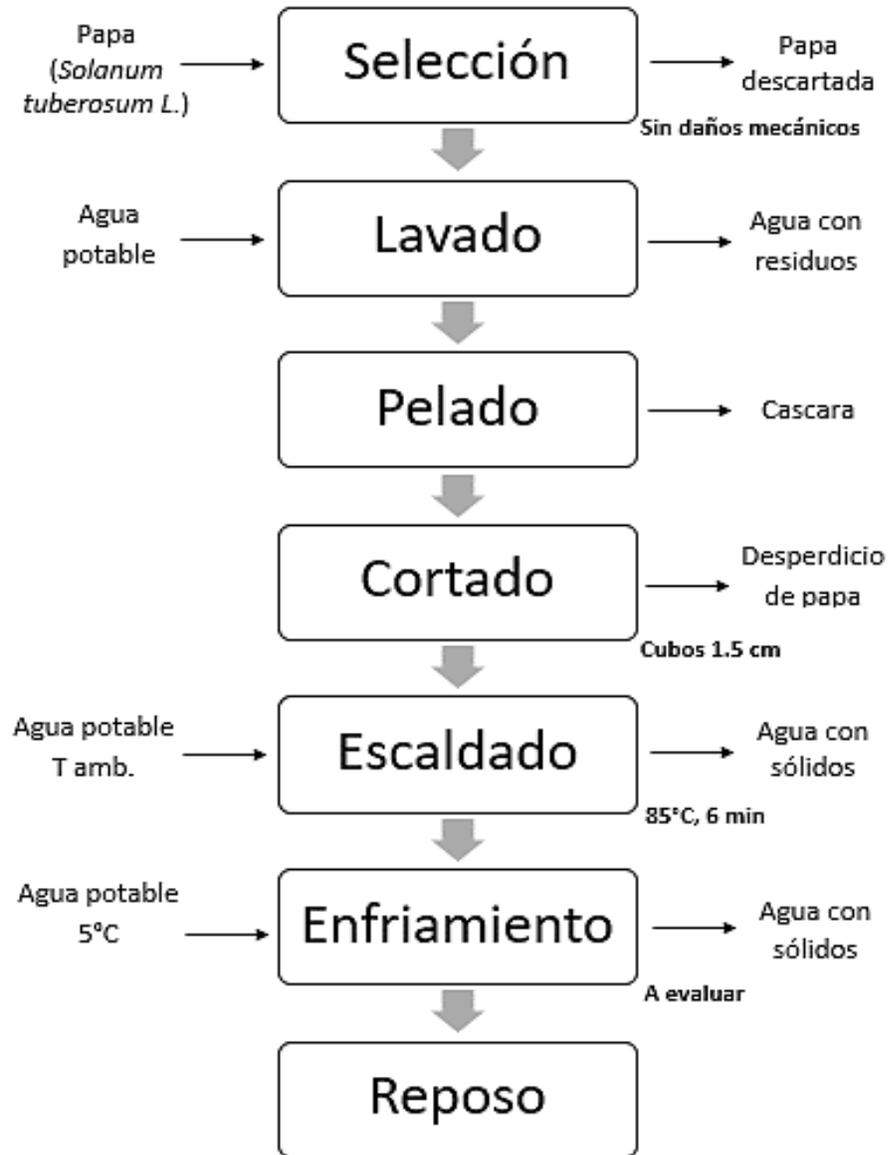
De acuerdo a los cálculos realizados y a la información recolectada hasta el momento se presenta la siguiente Tabla 7, en la cual se describen algunas temperaturas y tiempos de operación, volúmenes de trabajo, así como capacidades másicas. En la sección de puesta en marcha esta tabla se completa y se rectifican los datos, por el momento estos valores son de utilidad para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 7.** Datos técnicos del equipo.

<b>Especificación técnica</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Valor</b>
Temperatura de escaldado de la papa	$T_{FMC}$	$\pm 85^{\circ}\text{C}$
Tiempo de escaldado de la papa	$t_E$	6 min
Temperatura de enfriamiento de la papa	$T_{FAE}$	$\pm 9.8^{\circ}\text{C}$
Temperatura del recipiente evaporador	$T_{RE}$	$5^{\circ}\text{C}$
Capacidad de enfriamiento unidad condensadora	$q$	52 W
Capacidad de materia prima del equipo	$M_{MP}$	0.4 Kg
Capacidad vol. del recipiente de calentamiento	$V_{MC}$	2 L
Capacidad vol. del recipiente del evaporador	$V_{RE}$	2.2 L
Capacidad vol. del recipiente de enfriamiento	$V_{ME}$	2 L
Caudal de la bomba	$Q$	$9.15 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

#### 3.1.4.1 Diagrama de bloques

En la Figura 9 se muestra el diagrama de bloques, tomando en consideración los criterios de uso del usuario final, en donde se describe cada una de las etapas a realizar, los pasos que van desde selección hasta el corte son independientes y se realizan fuera del equipo, las siguientes tres etapas de escaldado, enfriamiento y reposo se realizan dentro del equipo bajo las condiciones también marcadas.

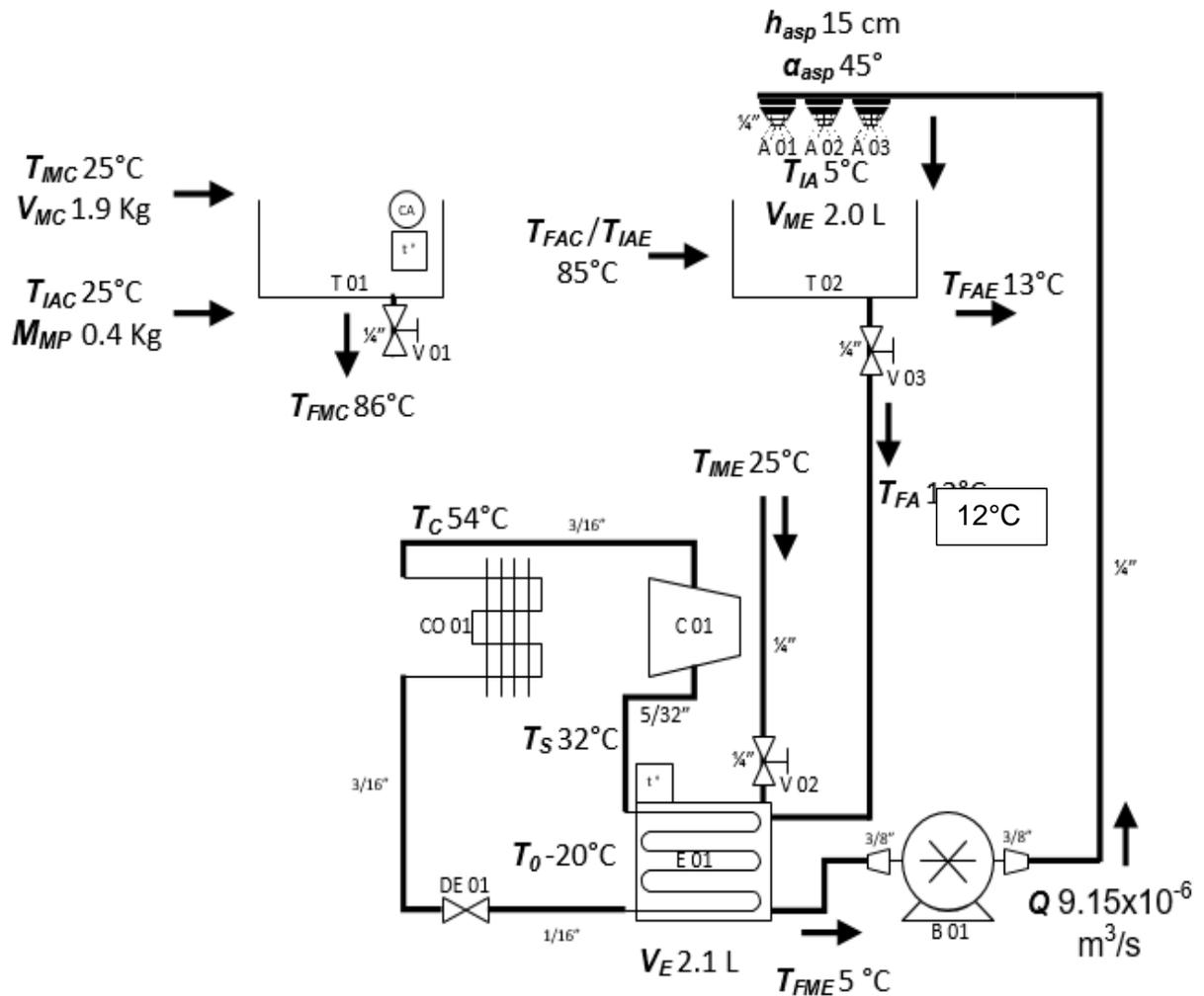


**Figura 9.** Diagrama de bloques de la operación.

#### 3.1.4.2 Diagrama de tubería e instrumentación (DTI)

Se realizó un diagrama de tubería e instrumentación Figura 10, en que se representaron los componentes que conforman el sistema, trayectorias de tuberías, dirección de flujos, distribución de equipos, válvulas y accesorios, controles,

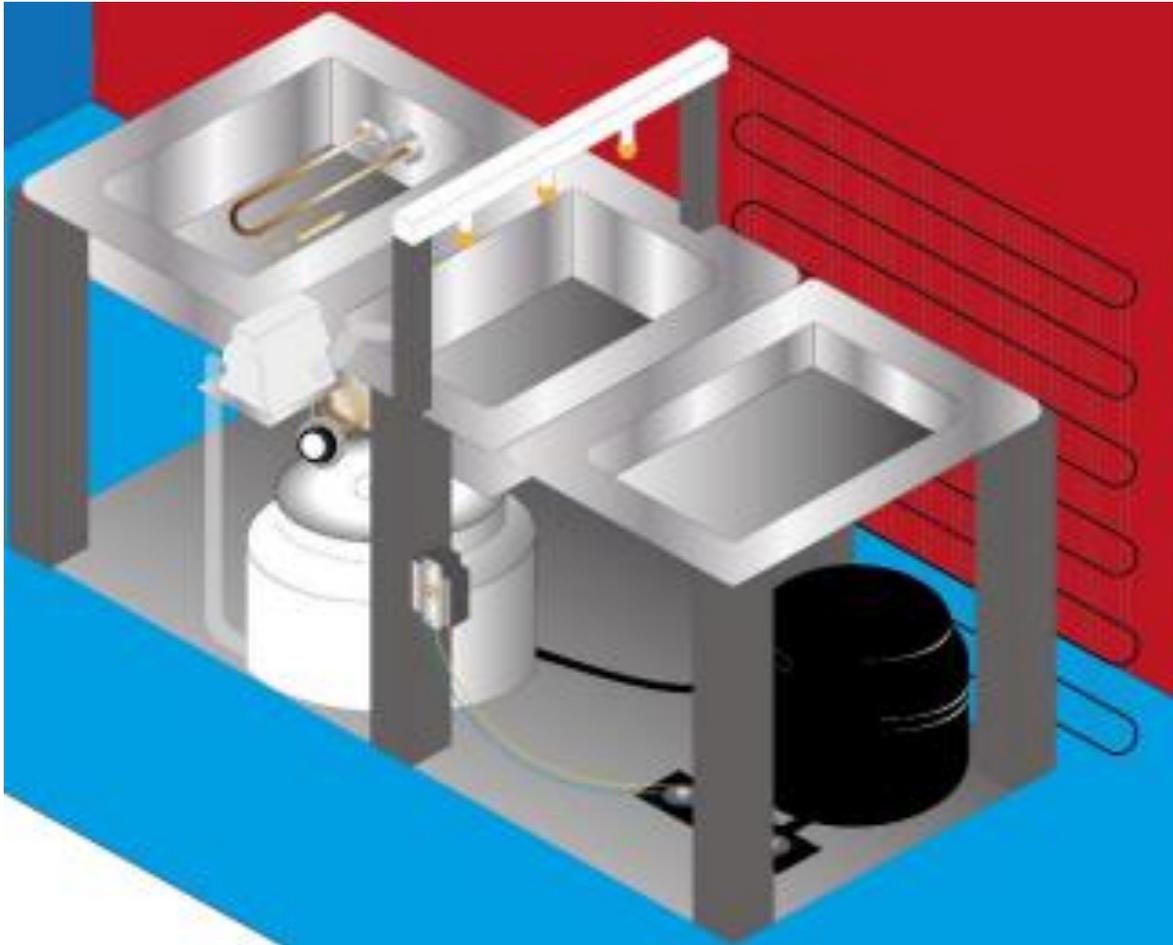
equipos, dispositivos, drenes, purgas, equipo de bombeo etc. Además, se anexan las condiciones de operación temperaturas, volúmenes, características de la bomba y características del sistema de aspersión.



**Figura 10.** Diagrama de tubería e instrumentación con condiciones operativas del sistema.

### 3.1.4.3 Diagrama del equipo de escaldado con enfriamiento instantáneo

En la Figura 11 se muestra un diagrama en el cual se visualizan los componentes más importantes que deben de estar presentes en el equipo. Así mismo se esquematiza el acomodo de los dispositivos dentro de la estructura de soporte primaria, se representa el diseño con el que se llegó a la construcción del equipo. Se hace la distribución estratégica de los componentes para que puedan operar de acuerdo a lo requerido. Este diagrama es un preliminar ya que durante el desarrollo del proyecto se realizaron algunas modificaciones que se pueden ver a más detalle en la sección de construcción de equipo.



**Figura 11.** Diagrama gráfico del diseño preliminar del equipo.

### 3.1.5 Selección de equipo

- **Resistencia eléctrica**

Se seleccionó una resistencia de inmersión ya que estas están diseñadas para el calentamiento en contacto directo con el fluido. Se calculó la potencia que requiere la resistencia eléctrica para realizar el calentamiento e incrementar la temperatura del medio desde la temperatura ambiente hasta la temperatura necesaria del escaldado, así como la del producto a procesar y el material del recipiente en el que estarán contenidos estos dos; las consideraciones para el cálculo de la potencia estas descritas en la sección de apéndices. En la Tabla 8 se encuentran los resultados, resultando ser la sumatoria de cada potencia que se multiplica por un factor del 15% para dejar protegida la carga con un total de 183.13W por lo tanto este dato influye en la adquisición del dispositivo, aunque no es lo único que se toma en cuenta, ya que también es necesario cumplir con un tamaño y algunas consideraciones para la instalación eléctrica para que no sea un problema en la instalación del sistema del sistema de calentamiento.

**Tabla 8.** Datos requeridos para el cálculo de la potencia.

	<b>Medio de calentamiento</b>	<b>Producto</b>	<b>Material</b>
P	151.63 W	26.65 W	0.8305 W
Total	179.11 W		

La resistencia fue adquirida en un comercio especializado en equipo y material eléctrico industrial y residencial. Tomando en consideración del cálculo anterior de potencia y especificaciones de temperatura, dimensiones y resistencia al agua, el comercio presento algunas alternativas de las cuales se seleccionó el dispositivo que a continuación se describe en la Tabla 9, en ella se mencionan algunas de las características del dispositivo.

**Tabla 9.** Características de la resistencia eléctrica adquirida.

Requerimientos de diseño	Descripción	Ilustración
Tipo de material	Acero inoxidable	
Tipo de resistencia	Tubular para inmersión en U	
Dimensiones	Diámetro 5/16" Largo 25 cm	
Fluido a calentar	Agua potable	
$T_{max}$	650°C	
T	120 V	
C	9 A	
P	1000 W	

- **Recipientes**

La selección de los recipientes está en función principalmente del volumen que se requiere almacenar, la capacidad volumétrica especificada anteriormente corresponde a un intervalo entre 2 y 2.2 L. El material de los recipientes debe ser de acero inoxidable, se recurre a recipientes que estén disponibles con distribuidores con amplia variedad en su almacén. En la Tabla 10 se realiza una breve descripción de las características de los recipientes adquiridos.

**Tabla 10.** Características de los recipientes seleccionados.

Requerimiento	Descripción		Ilustración
Material	Acero inoxidable 304		
Dimensiones	Largo	25.5 cm	
	Ancho	16.5 cm	
	Alto	5.0 cm	
A	1,261 cm <sup>2</sup>		
V <sub>c</sub> , V <sub>E</sub>	2.1 L		

### 3.1.6 Selección de dispositivos de control

- **Termostatos para calentamiento**

Para controlar el proceso de calentamiento de la resistencia eléctrica se le añadió un termostato ya que esta cuenta con un rango muy amplio de temperatura. Su función principal es regular de manera automática que la temperatura se incremente o no, de acuerdo a lo requerido. Este dispositivo fue adquirido en el mismo comercio de equipo y material eléctrico industrial y residencial y de acuerdo a las alternativas presentadas por el proveedor al conocer los requerimientos se seleccionó el dispositivo que se describe en la Tabla 11 se puede observar sus características a más detalle.

**Tabla 11.** Características técnicas del termostato para el sistema de calentamiento

Requerimiento	Descripción	Ilustración
Aplicación	Inmersión	
Material	Cobre	
Tipo	Bulbo	
Rango de temperaturas	30°C - 110°C	
Marca	CAEM	
Modelo	TU16	

- **Termostato para enfriamiento**

El termostato de enfriamiento viene integrado en la unidad condensadora, en este caso mide la temperatura del agua que se encuentra dentro del recipiente evaporador y regula la operación del compresor. Las características se describen en la Tabla 12, como puede verse este termostato cumple con las especificaciones de material y también con el rango de temperaturas que se necesita cubrir dentro de la operación.

**Tabla 12.** Características técnicas del termostato para el sistema de enfriamiento.

Requerimiento	Descripción	Ilustración
Aplicación	Enfriamiento	
Material	Acero inoxidable	
Tipo	Bulbo remoto en contacto	
Rango de temperaturas	-35°C - 35 °C	
Marca	HT	

### 3.1.7 Selección de Materiales

Los materiales que se utilizaron en el desarrollo del proyecto cumplieron con los estándares mínimos para el procesamiento de alimentos, considerando propiedades de los materiales como resistencia a la corrosión, resistencia a los esfuerzos, incrustaciones, tamaños, diámetros, accesibilidad, etc. A continuación, se describen en los grupos donde fueron empleados con una breve descripción de algunas de sus propiedades más importantes por las cuales fueron seleccionados.

- **Tuberías**

Las tuberías o conductos utilizados para transportar agua y refrigerante se describen a continuación en la Tabla 13, donde se puede observar las características de cada uno, así como la ubicación de los mismos. Para este caso en particular se adquirió manguera, por tener la característica de flexibilidad es más sencillo para la instalación en lugar de tubería rígida de algún acero incrementaría considerablemente el costo de la instalación, por lo cual se procede a utilizar una manguera que cumpla con las especificaciones de higiene. Para el caso de la tubería de cobre en la parte de enfriamiento ya está mecánicamente instalada y este material es comúnmente utilizado por sus propiedades térmicas y este no está directamente relacionado con el producto a procesar.

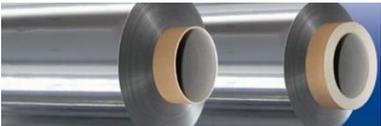
**Tabla 13.** Características de las mangueras instaladas en el equipo.

Requerimiento	Descripción	Ubicación	Ilustración
Manguera Industria	Diámetro 3/16" Material PVC Rango de temperaturas 10°C - 60°C	Drenes de recipientes de calentamiento y enfriamiento.	
Polipropileno antibacterial	Diámetro 1/4" Rango de temperaturas.	Sistema de aspersión	
Cobre	Diámetros 1/16", 3/16" Tubería tipo "L" rígida y flexible	Unidad condensadora	

- **Aislamientos térmicos**

La Tabla 14 muestra los tipos de aislamientos térmicos que se utilizaron por ejemplo el *Etilvinilacetato* para la parte del recipiente de calentamiento, esto como medida de seguridad para los operarios ya que al presentar temperaturas entre los 80°C y 100°C puede provocar lesiones y accidentes. Para el caso del *polietileno expandido* y *espuma elastómera* instalado en el recipiente de enfriamiento y en el recipiente evaporador se colocó para reducir pérdidas energéticas además de evitar transferencias térmicas que desestabilicen el proceso por diferencias de temperaturas no admisibles. La película de aluminio se utilizó debido a que brinda protección contra el principal factor del serpentín que es la humedad, funcionando como barrera de vapor.

**Tabla 14.** Características de los diferentes tipos de aislamientos utilizados en la instalación.

Requerimiento	Ubicación	Ilustración
Etilvinilacetato (EVA)	Recipiente de calentamiento	
Polietileno expandido	Recipiente de enfriamiento y evaporador	
Película de aluminio	Evaporador	
Espuma elastómera flexible	Tubería de succión	

- **Materiales eléctricos**

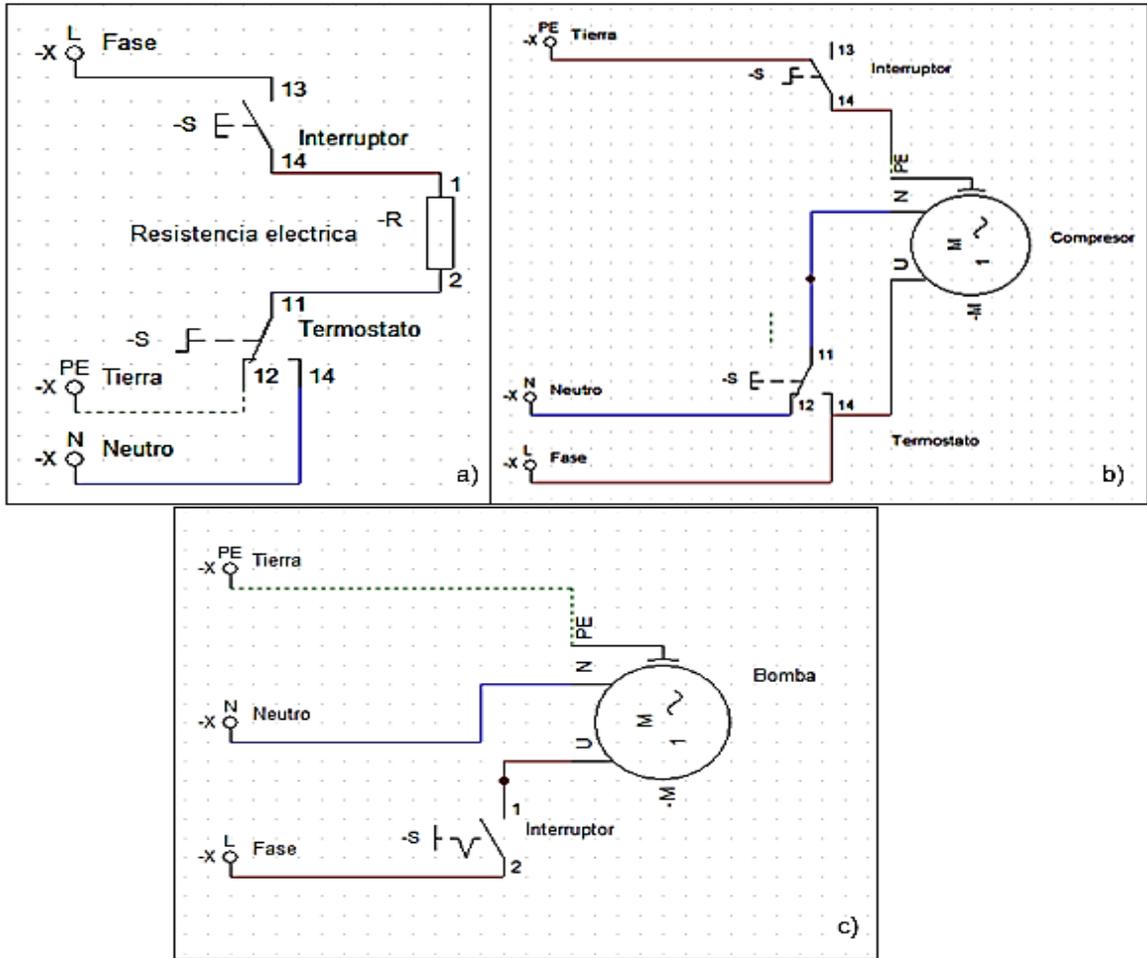
Una parte importante del sistema es la instalación eléctrica que permite transportar la energía desde un punto hasta los equipos que la necesiten. A continuación, en la Tabla 15 se describen los elementos y materiales que fueron necesarios para realizar las conexiones requeridas de cada uno de los materiales, como se puede observar fue una instalación sencilla a 110 V, que no implicó el uso de tableros, transformadores, PLC's, etc. Aunque en el diseño preestablecido no se consideró el uso de un controlador, se recomienda añadir un sistema de control más sofisticado para poder realizar la operación de manera más sencilla, además sería muy útil integrar un registrador de temperaturas y de esta manera pueda ser más funcional en estudios futuros.

**Tabla 15.** Características generales de los materiales eléctricos utilizados en la instalación.

Requerimiento	Descripción	Ilustración
Cable	Cordón de uso rudo, tipo SJT. Tensión máxima 300 V, 10 A, 18 AWG. Espesor nominal 0.3mm Area nominal 0.824mm <sup>2</sup>	
Clavijas	-----	
Interruptores	Miniatura de balancín de un polo.	
Convertidor de corriente	Marca imbera	

- **Instalación eléctrica**

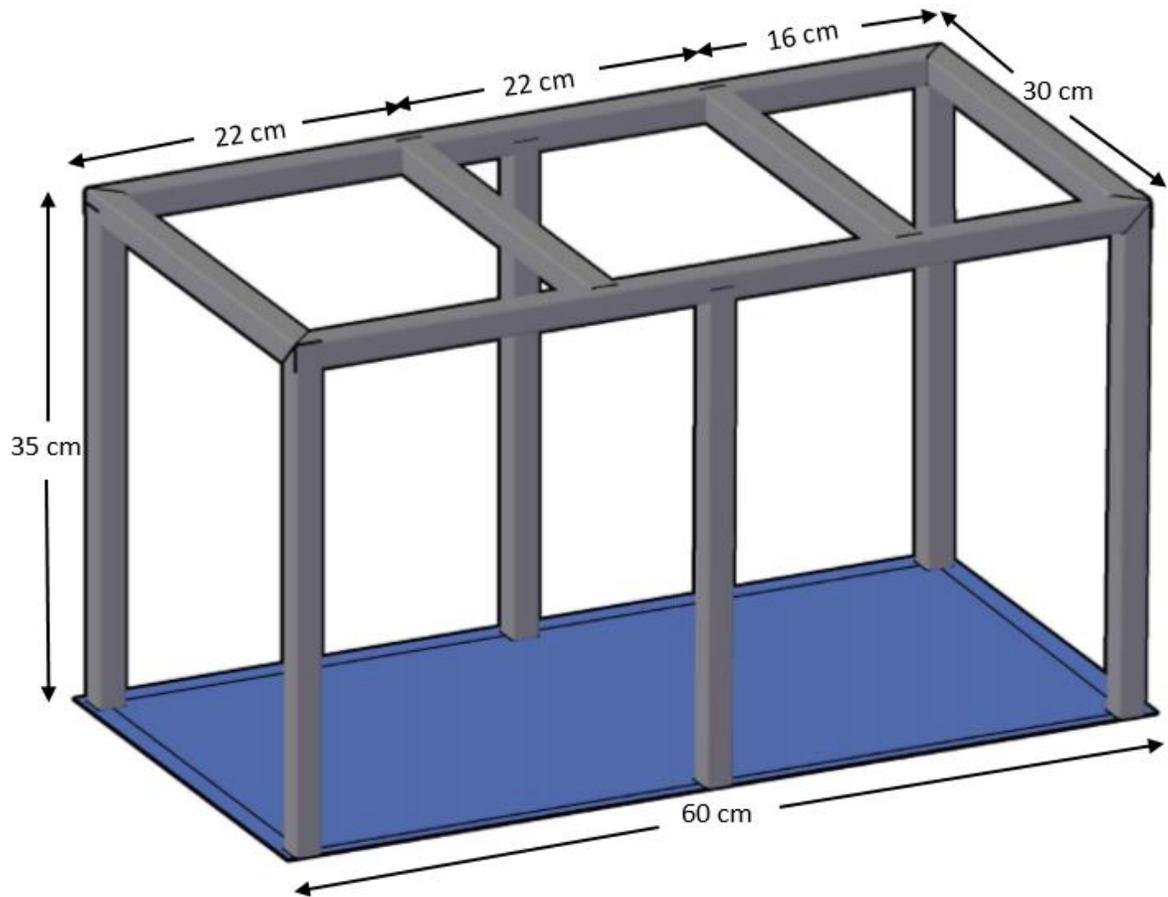
La instalación eléctrica es una parte importante para el funcionamiento del equipo, ya que, sin ella es imposible realizar la operación mecánica, por lo tanto, se realizó una simulación de la sencilla instalación en el programa CAdESIMU, este ayuda a realizar previamente la instalación de manera gráfica. Las simulaciones se muestran en la Figura 12, a) resistencia eléctrica con termostato e interruptor para el sistema de calentamiento, b) unidad condensadora principalmente compresor con termostato para el sistema de enfriamiento, c) bomba con interruptor para la aspersión de agua, estas representaciones permitieron esquematizar la idea de la instalación eléctrica en la construcción que posteriormente se ejecuta de manera segura.



**Figura 12.** Diagramas eléctricos que representan el diseño preliminar de la instalación eléctrica a) Sistema de calentamiento, b) sistema de enfriamiento c) sistema de aspersión.

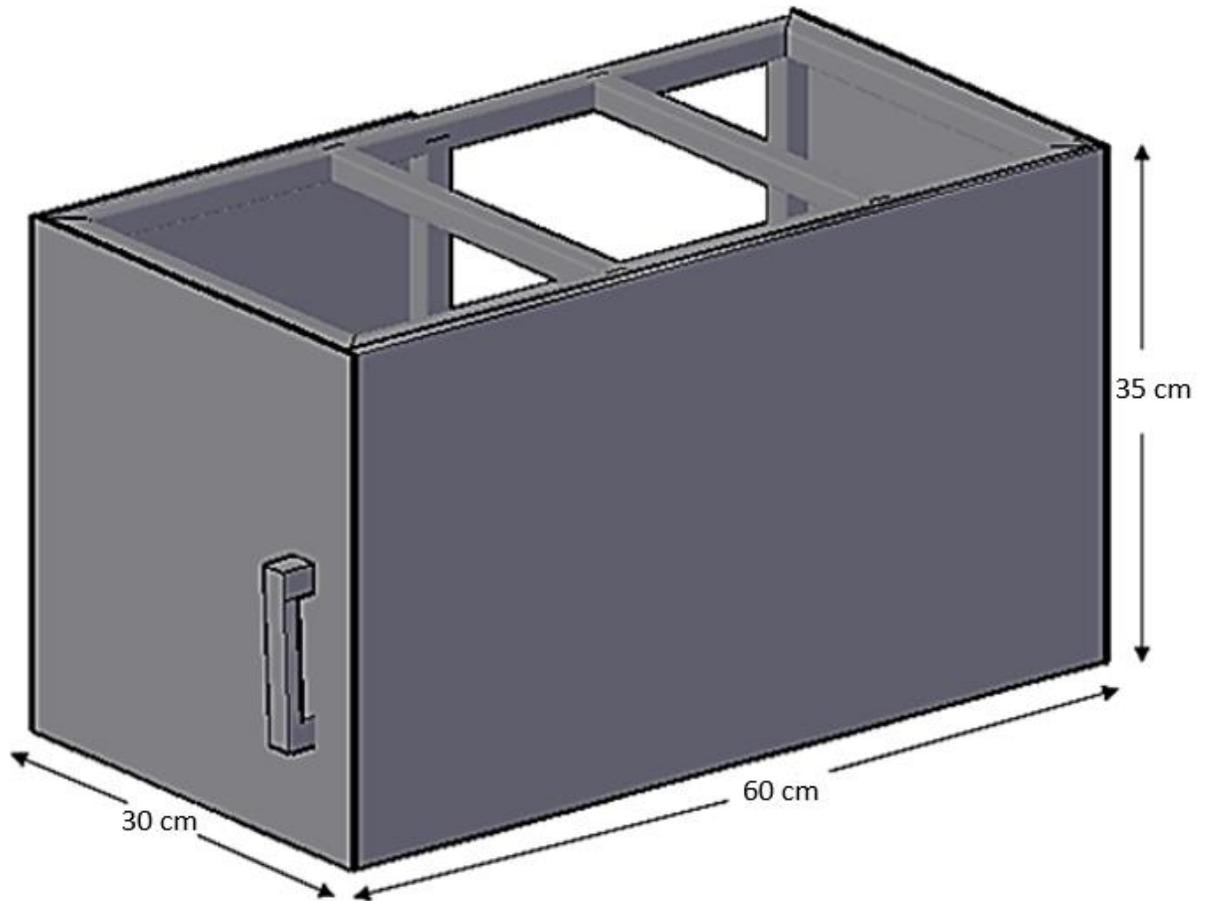
### 3.1.8 Estructura de soporte

Se propuso utilizar perfil tubular estructural (PTR), ya que es una barra hueca comúnmente utilizada para armar estructuras que no requieren gran tamaño ni peso de  $\frac{3}{4}$ " x  $\frac{3}{4}$ ", Calibre 16 y placa de  $\frac{3}{16}$ ". A partir de este diseño se establecen los requerimientos que se describen en la parte de anexos, a continuación, en la figura 13, se muestra una pequeña imagen de la estructura primaria con medidas.



**Figura 13.** Diagrama preliminar de la estructura de soporte.

Después de establecer el diseño de la estructura primaria se realiza un plano para colocar paredes de lámina, con la finalidad de cubrir el equipo. El diseño se muestra en la Figura 14, no se cerró completamente por dentro la estructura por si en un futuro se requiere realizar algún servicio a los equipos que queden dentro, por lo tanto, el acceso se encuentra a un costado, y la parte que no tiene pared es porque esta área está destinada a tener el condensador completamente libre, para que trabaje adecuadamente. Estos bosquejos fueron trabajados por personal especializado en la elaboración de estructuras ya que su manufactura requiere de conocimientos, habilidades y materiales específicos.



**Figura 14.** Estructura metálica con base, paredes y puerta.

### **3.1.7 Selección de accesorios**

Los accesorios son necesarios para unir dos tramos de tubería, cambiar de dirección, reducir o aumentar el diámetro, terminar una tubería o unir dos corrientes, por lo tanto, de acuerdo a lo requerido en la instalación se estableció el tipo de accesorio a emplear. Los 3 accesorios que son descritos en la Tabla 16 son de la marca Orbit®, los codos y las tees cuentan con un diseño de doble lengüeta para que puedan sujetarse mejor a las mangueras utilizadas como tubería en la instalación de transporte de agua.

**Tabla 16.** Características de los accesorios utilizados en la instalación.

Accesorio	Requerimiento	Descripción	Ilustración
Codos	Diámetro	1/4"	
	Ángulo	90°	
tee	Diámetro	1/4"	
Aspersores	Diámetro	1/4"	
	Flujo	0-60.6 l/m	
	Presión	0.7 bar	
	Tipo de patrón	Cono lleno de caudal ajustable	

### a) Sistema de aspersión

En enfriamiento del producto se lleva a cabo por medio de aspersión de agua, se requiere cubrir 12.61 cm de área (recipiente de enfriamiento), con una altura de 15 cm se logra y el ángulo recomendado es de 45°. Se llevan a pruebas experimentalmente y se obtiene una buena cobertura, en la Figura 15 se muestra la instalación prototipo que se utilizó para evaluar los datos anteriormente mencionados y realizar posteriormente las modificaciones requeridas.



**Figura 15.** Prototipo del sistema de bombeo.

### b) Cesta de inmersión

Al no presentar bandas de transporte que comuniquen a los recipientes se elige utilizar una herramienta para mover el producto desde el recipiente de calentamiento al de enfriamiento y retirarlo al terminar el proceso, por lo tanto, esta operación es manual razón por la cual el sistema se clasifica como un proceso en lotes. En la Tabla 17, se describen las características de la cesta de inmersión, que fue diseñada tomando en cuenta las medidas de los recipientes de calentamiento y enfriamiento, se diseñaron dos cestas con las dimensiones descritas a continuación, debido a que se encuentra la resistencia eléctrica en medio del recipiente de calentamiento. Esta cesta va a estar sumergida junto con la materia prima a procesar, consiguiente, se tomaron en cuenta las consideraciones de materiales de construcción.

**Tabla 17.** Características de la cesta de inmersión.

Requerimiento	Descripción		Ilustración
Material	Acero inoxidable		
Dimensiones	Largo	21 cm	
	Ancho	6 cm	
	Alto	4 cm	

### c) Consumibles

En esta sección se enlistan algunos consumibles que fueron utilizados, en toda instalación mecánica del equipo, aquí no se cuantifica en número exacto, se consideran cantidades imprecisas ya que es muy variable cuantos serán utilizados con exactitud, por lo tanto, solamente se describen los más representativos en la Tabla 18, su función es muy amplia se requieren para dar soporte a algunas partes móviles, ajustar, enganchar, evitar fugas, en fin, necesarios para realizar los ajustes finales.

**Tabla 18.** Características generales de los consumibles utilizados en la instalación.

Requerimiento	Descripción	Ilustración
Tornillos	Ayuda a sujetar partes móviles	
Cinchos	Ayuda a sujetar partes móviles	
Conexiones	Fueron utilizadas para desfogar el agua.	
Empaques	Neopreno elastómero vulcanizado Diámetro 2.2 cm Espesor 0.05 cm	

## 3.2 Construcción de equipo

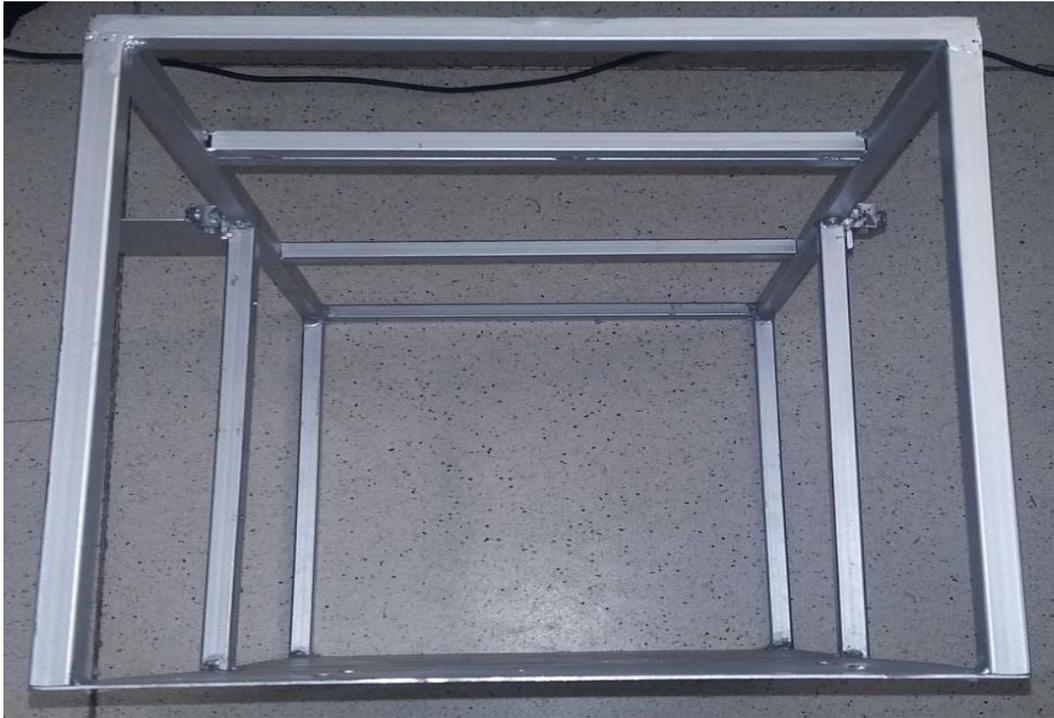
### 3.2.1 Adquisición de materiales de construcción

En la etapa de construcción intervienen factores que afectan el proceso de adquisición, como el costo y las condiciones de suministro. Consecuentemente, se requirió adaptarse a las formas, dimensiones, acabados, recubrimientos y calidades estándar que tuvieran los materiales y equipos ya que esto evito un incremento en los costos, tener que adquirir un volumen mínimo y sobre todo que los plazos de entrega fueran inmediatos. La adquisición de equipos, dispositivos, accesorios, materiales y consumibles se realizó de acuerdo a lo establecido en la sección de diseño, en zonas cercanas al lugar de instalación, esto con la finalidad de poder cumplir con el requisito de fácil acceso. Los distribuidores contactados son especialistas en los productos que manejan; como empresas dedicadas a la venta y distribución de equipos, refacciones en refrigeración, comercializadoras eléctricas e industriales, ferreterías entre algunas otras.

### 3.2.2 Instalación mecánica, eléctrica e hidráulica.

- Estructura de soporte

La fabricación de la estructura de soporte fue realizada de acuerdo las dimensiones establecidas en los planos de diseño descritos en la sección de diseño, las cuales están en función a los espacios que ocupan los recipientes y la unidad condensadora. Por lo tanto, se buscó el acomodo que cerciorará utilizar un menor espacio y que pudiera contener los equipos, accesorios y dispositivos requeridos. En la Figura 16, se muestra la estructura primaria que coincide con lo establecido en los planos preliminares a la cual se le añadió una placa en la parte frontal para poder soportar a la bomba además de dos soportes para instalar los aspersores sobre el recipiente de enfriamiento. Sobre esta se realizarán las modificaciones que a continuación se describen.



**Figura 16.** Estructura primaria metálica.

Posteriormente se procedió a realizar configuraciones en la estructura principal, donde se agregaron cuatro paredes de protección, una puerta para el poder realizar mantenimientos con el acceso a equipos de la unidad condensadora que permitirá realizar el mantenimiento cuando sea requerido, una manija para la puerta, un soporte para la tubería que permitirá configurar la altura de los aspersores, una base para la bomba, una sección queda sin pared para poder colocar el condensador y este esté quede libre, sin obstrucciones para que ingrese la corriente de aire adecuadamente. Se realizaron perforaciones en la estructura estas con la finalidad de poder colocar algunos equipos con tornillos o cinchos, para salidas o entradas del cableado eléctrico, espacios para interruptores eléctricos, esto se puede ver físicamente en la Figura 17, y las configuraciones mencionadas se van a ir mostrando con forme se establezca el desarrollo de cada sistema.



**Figura 17.** Estructura metálica con base, paredes, puerta y accesorios.

- Sistema de calentamiento

En la Figura 18, se muestra gráficamente lo descrito con la sección de diseño de equipo. Se conectaron la resistencia eléctrica, el interruptor y el termostato; el funcionamiento consta en programar la temperatura del termostato a la que se desea llevar el medio de calentamiento, una vez programada la temperatura se procede a encender el sistema de calentamiento con el interruptor en encendido que permite el paso de la corriente eléctrica a la resistencia eléctrica de inmersión la cual efectuara el calentamiento del medio; una vez que el medio llegue a su temperatura el termostato enviara una señal de cierre al circuito o en defecto una señal de apertura cuando no se alcance la temperatura de programación, una vez finalizada la etapa de calentamiento se deberá colocar el interruptor del sistema en apagado.



**Figura 18.** Instalación eléctrica del sistema de calentamiento.

En la Figura 19, se puede apreciar que al recipiente de calentamiento se le instaló la resistencia eléctrica, el termostato y también se le adaptó el drenaje para el agua; los orificios fueron realizados de acuerdo a las medidas necesarias de cada uno de los dispositivos que necesitaban ingresar en el recipiente, para que no existieran fugas se le colocaron empaques los cuales se describieron previamente en la sección de materiales.



**Figura 19.** Montaje de los componentes para el sistema de calentamiento.

Una vez realizada la instalación mecánica de los dispositivos se procedió a colocar el aislamiento térmico de cada una de las partes que son requeridos. En el recipiente de calentamiento como se puede observar en la Figura 20, se coloca etilvinilacetato, este aislamiento se decide colocar debido a que el recipiente se encuentra cerca al recipiente de enfriamiento y la probabilidad de migración de calor de un proceso a otro es alta. Lo que no resulta conveniente porque el recipiente en el que se llevara

a cabo la aspersión de agua tiene la finalidad de retirar calor del producto. Por otro lado, y no menos importante se considera que esta barrera proporciona seguridad al usuario, ya que el recipiente alcanza temperaturas del escaldado y por precaución es recomendable cubrir esta área.



**Figura 20.** Aislamiento térmico (Etilvinilacetato) del recipiente de calentamiento.

- Sistema de enfriamiento

Al recipiente de enfriamiento se modifica colocándole un orificio para drenar del agua después de realizar la operación, con la opción de reutilizar el agua para otro proceso de enfriamiento o desecharla, esto a consideración del usuario de acuerdo a las pruebas que se requieran realizar, para el aprovechamiento de recursos ya que la desventaja del hidrogenamiento es el alto consumo de agua en el proceso. En la Figura 21 se muestra el orificio y el empaque requerido para evitar fugas. De

acuerdo a la evaluación de la distribución de equipos se determina la ubicación del orificio, este recipiente implicó el mínimo de configuraciones para su operatividad.



**Figura 21.** Recipiente de enfriamiento con desagüe de agua.

Al recipiente de enfriamiento se le coloca polietileno expandido esto con el fin para almacenar la energía y evitar que migre calor de lado del recipiente de calentamiento, aunque no se puede lograr un aislamiento completo debido a que se trata de un recipiente abierto, lo que se pretende es cuidar que la temperatura se mantenga durante el tiempo de proceso. Esta sencilla instalación se puede apreciar en la Figura 22, y se puede notar que se realizaron adecuaciones para que este librara algunas partes de la estructura.



**Figura 22.** Aislamiento térmico (Polietileno expandido) recipiente de enfriamiento.

La unidad condensadora es parte de un sistema empaquetado lo que se traduce a que este sistema se encuentra conectado con las líneas necesarias (succión y descarga del compresor y suministro de líquido) las cuales están conectadas a cada uno de los dispositivos, por lo cual no se ocupó soldar para la interconexión de líneas. Como ya se ha mencionado precedentemente la unidad condensadora está completamente armada y funcional, por lo tanto, solo se verificó que el funcionamiento. Eléctricamente el sistema de enfriamiento es muy parecido al detallado en el sistema de calentamiento. El serpentín del evaporador cuenta con aislamiento térmico internamente formado por una película de aluminio que lo cubre por completo y sirve de barrera contra el vapor. Además, en la Figura 23 se puede notar que también está cubierto el recipiente de polietileno expandido. Finalmente la línea de succión del compresor está aislado con espuma elastomera flexible, esto es importante para disminuir el sobrecalentamiento del gas a la entrada del

compresor. Este último material es el más utilizado en la industria y actualmente el polietileno expandido y el etilvinilacetato no son manejados a nivel industrial.

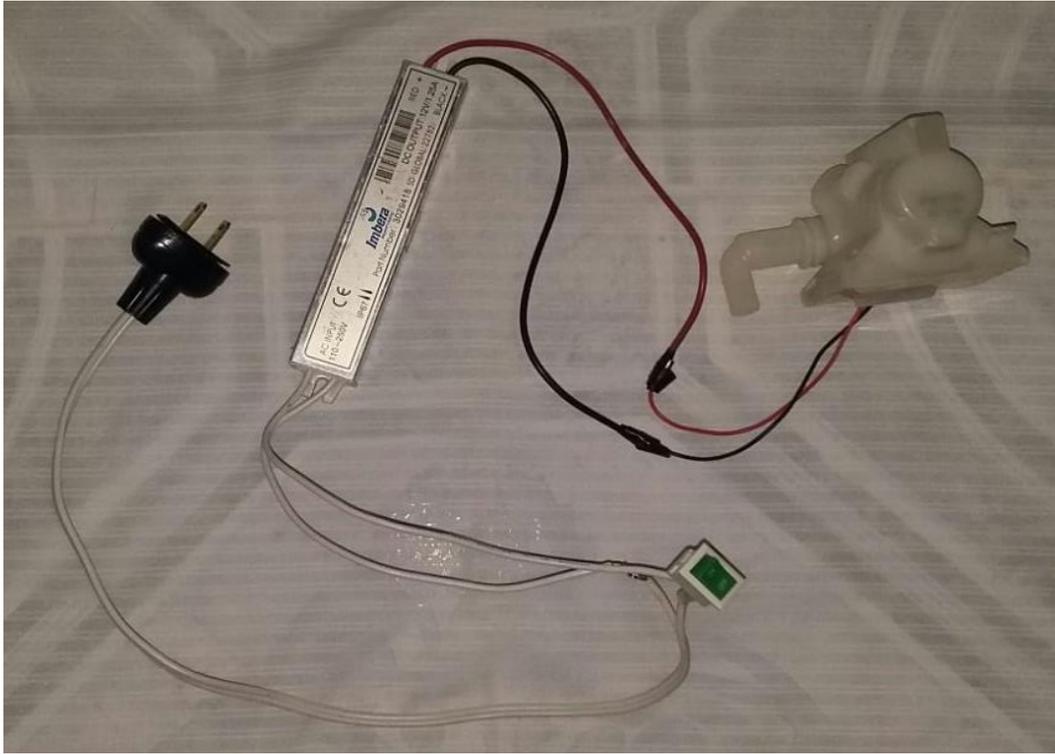


**Figura 23.** Unidad condensadora completa.

- Sistema de bombeo

En la Figura 24, se muestra cómo se realizó la instalación eléctrica de cada uno de los elementos necesarios para el sistema de bombeo. De igual manera se realiza una conexión muy sencilla, lo que se espera tener es una la alimentación eléctrica con la toma de corriente, un interruptor de encendido y apagado y debido a que la bomba trabaja con corriente continua es necesario el uso de un inversor que pueda suministrar corriente alterna. Esencialmente el funcionamiento de este sistema se basa en la operación manual de paro y arranque de la bomba cuando sea requerida por el operador, ya que no cuenta con algún tipo de control de funcionamiento, por ejemplo, interruptor de nivel de agua, sensor de temperatura del producto, sensor

de proximidad, etc. Esto último puede ser funcional en desarrollos futuros para poder automatizar el proceso y que el proceso se ejerza de manera autónoma, pero para el caso de este estudio se utiliza de manera manual.



**Figura 24.** Instalación eléctrica de la bomba.

La instalación hidráulica va muy de la mano con la instalación mecánica del sistema de aspersión, en esta parte se colocaron los accesorios necesarios que se muestran en la Figura 25, los tramos de tubería correspondientes de acuerdo a la trayectoria requerida que se establece en la sección de diseño de equipo, la cual incluye accesorios, algunos codos, tees y los propios aspersores. Se conecta a la salida del recipiente evaporador a la bomba y esta a los aspersores. El pequeño soporte que se ve en la imagen fue colocado como adicional, este no se encontraba dentro de los planos originales y tiene la opción de poderse desmontar y acoplar a alturas entre 15 y 20 cm.



**Figura 25.** Instalación de tubería para el transporte de agua del evaporador a los aspersores.

- Montaje del equipo completo

A continuación, en la Figura 26, se enseña el montaje de los equipos y accesorios anteriormente descritos en la estructura de soporte en donde estarán instalados permanentemente. De esta manera se consiguieron los ajustes de montaje necesarios para dejar funcionando el equipo, aquí se fue montando modulo por modulo, de acuerdo a lo comentado anteriormente, una vez que ya se encontraban armados, estos fueron integrados a la estructura para lo cual se requirió de tornillería para anclar y dejar los equipos ajustados, evitando así tener movimiento en los equipos, principalmente en el compresor que este puede ejercer vibraciones en toda la estructura.



**Figura 26.** Vista superior del equipo, que muestra el interior.

Se muestra el acomodo de los recipientes en forma y posición estratégica para los drenajes de agua, conexiones eléctricas, botones de regulación entre otras consideraciones; también se busca cuidar la integridad de los equipos dejándolos ajustados y acomodados para evitar desgaste por vibraciones, aunque de ser necesario podrá desmontarse para realizar limpiezas y mantenimientos. La Figura 27 muestra el montaje completo del equipo en el cual se integraron cada uno de los sistemas en la estructura de soporte, asignando el espacio determinado a cada componente de acuerdo a su función y en lo que respecta es más funcional de acuerdo con lo requerido para efectuar la operación descrita en el diagrama de bloques en las operaciones de calentado y enfriamiento, el equipo que se esquematiza corresponde a las características establecidas en el diagrama de tubería e instrumentación y al diagrama gráfico presentados en la sección de diseño.



**Figura 27.** Vista delantera y trasera del equipo.

### 3.3 Puesta en marcha del equipo.

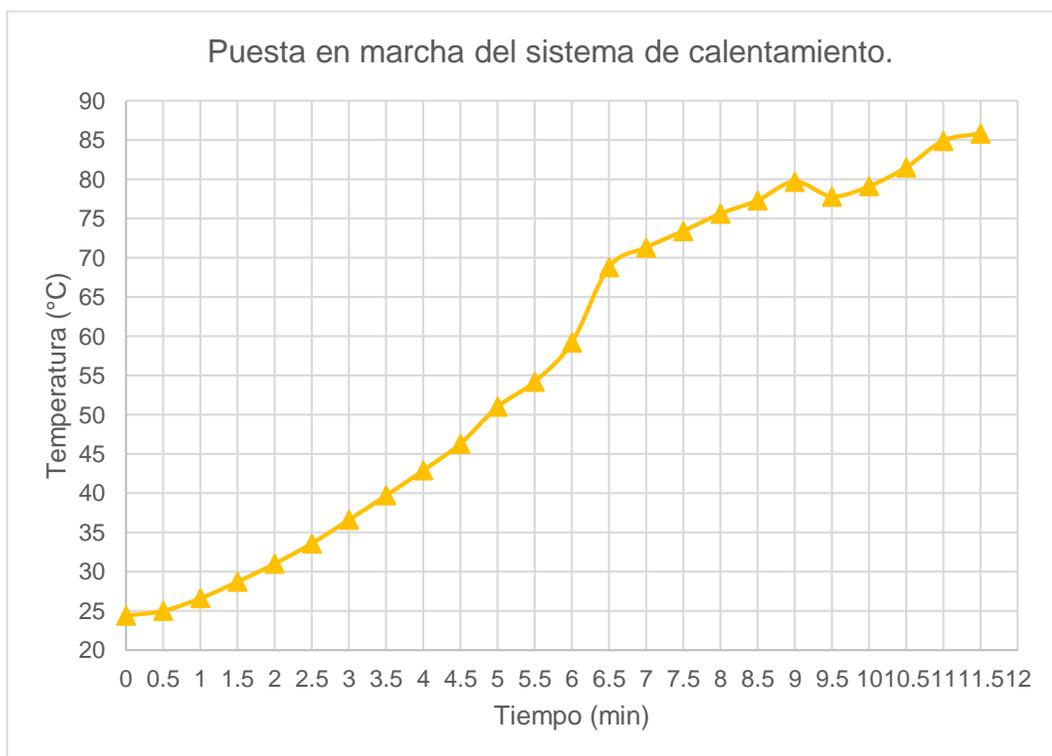
Una vez terminado el proceso de construcción se verificó que el equipo funcionara correctamente para las operaciones de calentamiento y enfriamiento tanto del medio (agua) tanto la de la materia prima (papa cortada en cubos). Fue importante evaluar las capacidades volumétricas, capacidades másicas, temperaturas y tiempos de operación. Además, fue necesario asegurar que cada uno de los componentes cumplieran con estándares de seguridad y se encuentren perfectamente instalados. A continuación, se describe una pequeña lista de revisión que se efectuó.

- ✓ El equipo se encuentra conectado a una fuente de alimentación eléctrica adecuada.
- ✓ Los interruptores eléctricos operan los circuitos correspondientes.
- ✓ El termostato abre y cierra el circuito eléctrico en las temperaturas programadas.
- ✓ La resistencia eléctrica opera dentro de los rangos requeridos.
- ✓ El compresor arranca apropiadamente al ser conectado a una fuente eléctrica.
- ✓ La bomba succiona el agua desde el evaporador y descarga para que pase a través de los aspersores sin ningún tipo de obstrucción.
- ✓ Las válvulas de los aspersores se encuentran abiertas.
- ✓ Al hacer fluir agua por las válvulas y tuberías no se encuentran fugas.
- ✓ Los recipientes no presentan fugas.
- ✓ Los equipos se encuentran fijos y anclados a sus soportes y bases correspondientes, para evitar vibraciones.
- ✓ La altura de los aspersores es la adecuada para cubrir el área de enfriamiento.
- ✓ Se cumplen con las capacidades volumétricas establecidas en el diseño.

### 3.3.1 Prueba de operación del equipo.

- Sistema de calentamiento.

El procedimiento de arranque del sistema de calentamiento consistió en colocar el agua en el recipiente, programar la temperatura en el termostato. El procedimiento de arranque se detalla en el manual de operación Apéndice B. La Figura 28, muestra la historia térmica del sistema de calentamiento, en la cual se ve el incremento de la temperatura del agua, esta ingresa al equipo a una temperatura de 24.4°C, el objetivo es que el medio de calentamiento alcance una temperatura de 85°C, por lo tanto, el dispositivo de calentamiento logra incrementar dicha temperatura en un tiempo de 11.5 min., de esta manera se realiza la prueba de arranque para el sistema.



**Figura 28.** Historia térmica de la puesta en marcha del sistema de calentamiento.

A continuación, se desglosa un balance energético general de la energía que es aprovechada en el sistema de calentamiento, separada para el calentamiento propio del medio de calentamiento y posteriormente para el calentamiento del producto, de donde se puede observar que la resistencia seleccionada es muy grande para la energía que se requiere. Esto coincide con los resultados de la Tabla 8 que en la sección de diseño en contraste con la resistencia adquirida donde se excede por mucho el consumo requerido. Por lo que para el calentamiento es posible colocar más producto y el equipo da para generar la energía requerida, para el solo calentamiento del agua de está desaprovechando un 54.46% de la energía y en el proceso de calentamiento del producto la energía que se pierde es del 83%.

Balance de energía para el calentamiento del medio de calentamiento (agua):

$$Q = (2.0 \text{ Kg H}_2\text{O}) (4.199 \text{ Kj/Kg K}) (65\text{k}) = 545.87 \text{ KJ}$$

$$Q = 151.63 \text{ W}$$

$$E = S + PE$$

$$PE = 333.00 \text{ W} - 151.63 \text{ W}$$

$$PE = 181.37 \text{ W}$$

54.46% PERDIDA DE ENERGIA

Balance de energía para el calentamiento del producto:

$$Q = (0.4 \text{ Kg papa}) (4.23 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{C})(65^\circ\text{C}) = 109.98 \text{ KJ}$$

$$Q = 30.55 \text{ W}$$

$$E = S + PE$$

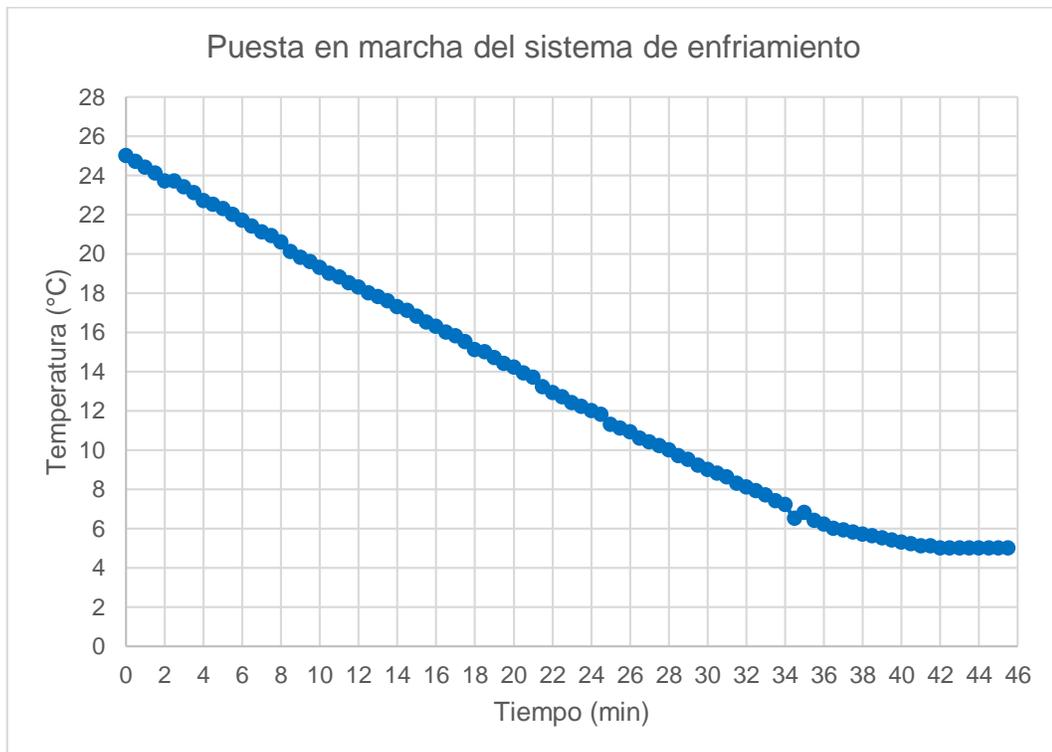
$$PE = 181.37 \text{ W} - 30.55 \text{ W}$$

$$PE = 150.82 \text{ W}$$

83% PERDIDA DE ENERGIA

- Sistema de enfriamiento (unidad condensadora).

Para la puesta en marcha del sistema de enfriamiento, el procedimiento de arranque se encuentra descrito en el apéndice B, correspondiente al “Manual de operación”. En la Figura 29, se puede visualizar la historia térmica del proceso de enfriamiento del medio, en la cual el agua para el enfriamiento ingresa a la operación con una temperatura de 25°C. Con esta prueba se buscó conocer la temperatura de enfriamiento de la unidad condensadora y tras transcurrir 42 min el agua tiene 5°C de temperatura. Por lo tanto, se concluye que la temperatura a la cual está programado el termostato de la unidad condensadora oscila dentro de este rango, y para que funcione adecuadamente el sistema es necesario poner a funcionar con anterioridad la unidad condensadora.



**Figura 29.** Historia térmica de la puesta en marcha del sistema de enfriamiento.

El balance de energía general para la unidad condensadora muestra que en la integración al equipo ensamblado está desaprovechando un 15% de la energía que se genera.

Balance de energía para el enfriamiento del medio de enfriamiento (agua):

$$Q = (1.9 \text{ Kg H}_2\text{O}) (4.199 \text{ Kj/Kg K})(20\text{k}) = 159.562 \text{ KJ}$$

$$Q = 44.16 \text{ W}$$

$$E = S + PE$$

$$PE = 52 \text{ W} - 44.16 \text{ W}$$

$$PE = 7.84 \text{ W}$$

15.07% PERDIDA DE ENERGIA

- Sistema de aspersión

La puesta en marcha del sistema de aspersión consiste en tener el recipiente del evaporador lleno y a temperatura de enfriamiento (5°C) para evaluar el sistema en operación con el sistema de bombeo. En la tabla 19 se muestra el resultado de la caracterización del fluido de enfriamiento, resultado del cálculo del Reynols un fluido laminar, esto debido a que la trayectoria con el uso de algunos accesorios como, codos, tees y aspersores en la tubería genero caídas de presión, aunado al diámetro de tubería utilizado en esta configuración. Además, que, si se toma en cuenta que el material empleado presenta un coeficiente de fricción mayor al de una tubería de acero, este por ende representa otra caída de presión por la resistencia al flujo del fluido, lo que provoca tener un fluido con baja velocidad y movimiento suave, por lo tanto, laminar. Cambiar el régimen podría ayudar a incrementar el área de contacto en el enfriamiento del producto. Hasta el momento de la caracterización del equipo se observó buena cobertura en el área por lo tanto se podría proponer como mejoras en el sistema de acuerdo a las necesidades posteriores del equipo.

**Tabla 19.** Valores de la puesta en marcha del sistema de bombeo

	Valor
Presión atmosférica	77,993.60 Pa
Densidad	999.84 kg/m <sup>3</sup>
Velocidad	0.2874 m/s
Diámetro interno	0.0064 m
Viscosidad	1.29X10 <sup>-3</sup> Pa
Reynolds	1412.28

Para la parte del enfriamiento del equipo el balance resultante es el siguiente, en donde la energía que no se aprovecha es mínima con un 4.21%, razón por la cual al momento de monitorear las temperaturas del producto y la del agua están muy cercanas a igualarse. Demostrándose que el intercambio de energía entre el producto y agua de enfriamiento se llevó acorde.

- Balance de energía para el enfriamiento del producto:

$$Q = (0.4 \text{ Kg producto}) (4.23 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{C}) (72^\circ\text{C}) = 152.28 \text{ KJ}$$

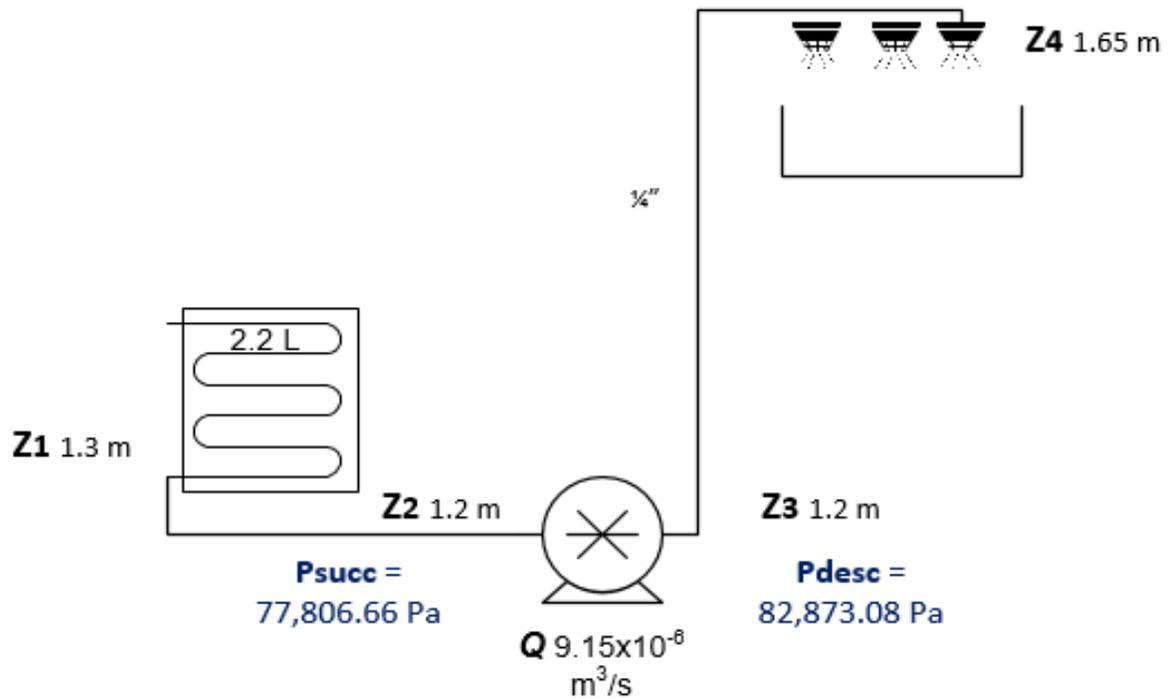
$$Q = 42.3 \text{ W}$$

$$E = S + PE$$

$$PE = 44.16 \text{ W} - 42.3 \text{ W}$$

$$PE = 1.86 \text{ W}$$

4.21% PERDIDA DE ENERGÍA

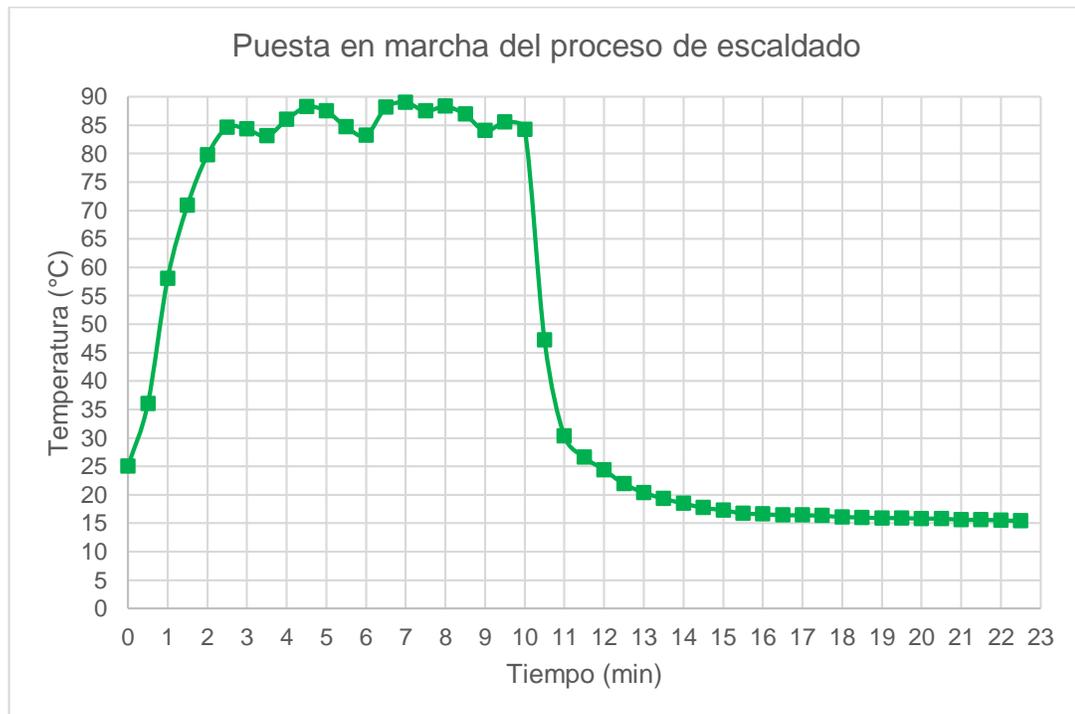


**Figura 30.** Diagrama para el balance de energía mecánica de la bomba.

- Puesta en marcha del equipo con el alimento.

Una vez probado cada uno de los equipos por separado se procedió a poner en funcionamiento todo el sistema, para llevar a cabo la operación de escaldado del producto. En la Figura 30 se muestra la historia térmica donde la papa ingresa con una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  y en un tiempo de 1.5 min se logra incrementar la temperatura hasta  $70.9^\circ\text{C}$ , a partir de 2.5 min la temperatura llega a  $84.6^\circ\text{C}$  en este momento se inicia a tomar tiempo de escaldado del producto, el cual debe durar 6 min con el mantenimiento de la temperatura a  $\pm 85^\circ\text{C}$ , después de 6 min se comenzó con el proceso de enfriamiento donde se produce inmediatamente el choque térmico y decrece la temperatura a  $47.2^\circ\text{C}$  a los 10.5 min de proceso hasta que alcanza una temperatura de  $\pm 15.5^\circ\text{C}$ , como puede observarse en el gráfico la temperatura se

mantuvo sin tener un cambio, por lo tanto con esta prueba se determinó la temperatura de enfriamiento del producto, que se logra con este equipo.



**Figura 30.** Historia térmica del proceso de escaldado de la papa.

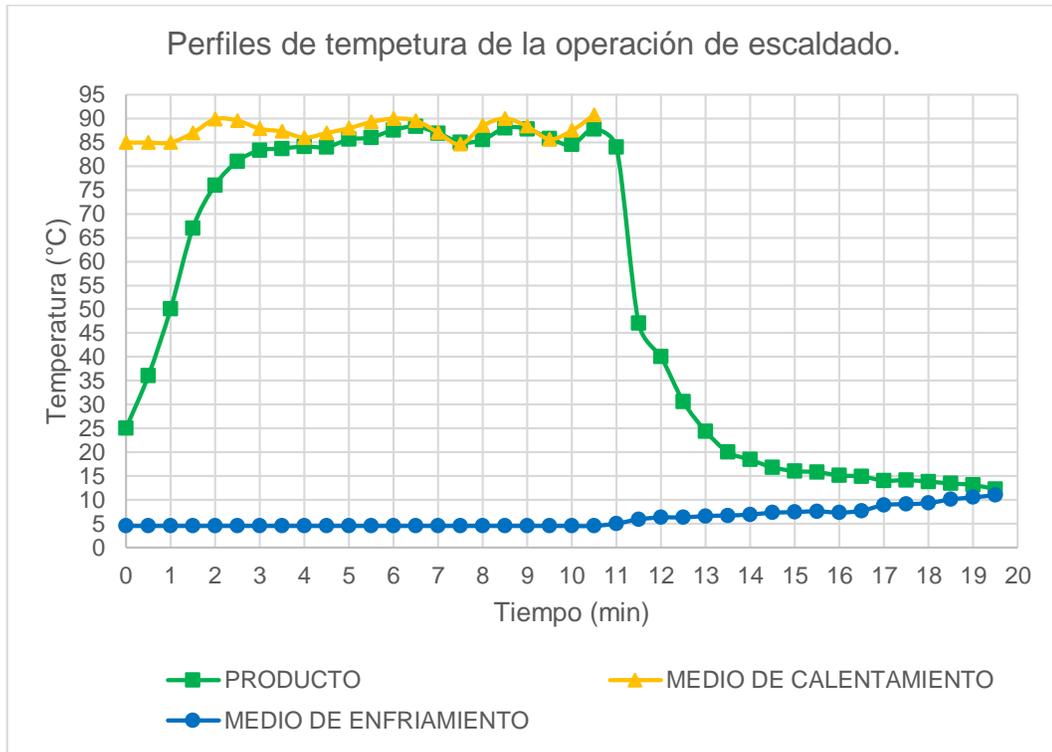
En las pruebas de operación además se verificó que la instalación estuviera correcta y de esta manera se corrigieron los detalles encontrados para que el equipo operará correctamente, además se pudo realizar un compilado de las condiciones de operación. En la tabla 20 se encuentran descritas por sistema las temperaturas, volúmenes y tiempos de operación como datos principales para que cualquier persona pueda manipular el equipo como sea requerido. Cabe mencionar que estas condiciones de operación están evaluadas para un tipo de producto con una geometría y tamaño establecido. Por lo tanto, si se requiere procesar un alimento distinto será necesario cambiar las condiciones de escaldado y a su vez la temperatura de enfriamiento del producto.

**Tabla 20.** Condiciones de proceso del equipo.

	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Calentamiento del medio	$V_{MC}$	2.0 L
	$T_{IMC}$	$\pm 25^{\circ}\text{C}$
	$T_{FMC}$	$\pm 86^{\circ}\text{C}$
	$t_{CM}$	11.5 min
Enfriamiento del medio	$V_{ME}$	2.0 L
	$T_{IME}$	$\pm 25^{\circ}\text{C}$
	$T_{FME}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
	$t_{EM}$	42 min
Calentamiento del producto	$M_{MP}$	0.4 Kg
	$T_{IAC}$	$\pm 25^{\circ}\text{C}$
	$T_{FAC}$	$\pm 85^{\circ}\text{C}$
	$t_{CP}$	$\pm 15.5^{\circ}\text{C}$
Enfriamiento del producto	$T_{IA}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
	$T_{IAE}$	$85^{\circ}\text{C}$
	$T_{FAE}$	$\pm 13.0^{\circ}\text{C}$
	$t_{EP}$	$\pm 13.0$ min

Una vez establecidas las condiciones de operación se vuelve a realizar la corrida para verificar que sean correctos los datos, esta vez se deja correr el proceso con los medios de calentamiento y enfriamiento a las temperaturas necesarias para dar inicio con el proceso del producto, con lo cual podemos verificar que es más rápido el proceso y de hecho se observa que existe una disminución en la temperatura de enfriamiento lo que permite que el proceso se lleve de manera más rápida en la Figura 30, se puede observar que las temperaturas de inicio del medio de calentamiento es de  $85^{\circ}\text{C}$  y el medio de enfriamiento de  $4.5^{\circ}\text{C}$ , se puede observar que el tiempo de enfriamiento es menor 9.0 min, además se ve una disminución en

la temperatura final del producto con 12.2°C, esto debido a que el intercambio una mayor cantidad de energía desde el producto al medio de enfriamiento.



**Figura 31.** Historia térmica en el tiempo de procesamiento del producto.

De acuerdo a los datos obtenidos por la puesta en marcha se puede comparar con algunos de los estudios que se encuentran documentados por ejemplo; en el estudio realizado por *Ramírez, 2009* sobre la desactivación de la enzima peroxidasa durante el proceso de escaldado de papas, documenta las condiciones de proceso obtenidas con el equipo industrial utilizado en el cual llevan el producto a 95°C, y realizan el enfriamiento en dos fases la primera disminuye la temperatura hasta 32°C y posteriormente en la segunda fase la baja hasta 9.5°C. En este estudio no documentan la temperatura del agua de enfriamiento ni en qué tiempo se alcanzan dichas temperaturas. Pero con lo anterior se puede analizar que el equipo didáctico

desarrollado en este proyecto con un solo enfriamiento alcanza una temperatura de 15°C, lo que son 10°C de diferencia, pero con un ahorro de energía al utilizar una sola etapa. Por otro lado en el estudio realizado por *Gallardo, 2004* sobre la validación de un software para el proceso de escaldado-hidrogenfriado en floretes de brócoli, utiliza un sistema generador de calor conformado por resistencias y un sistema de enfriamiento conformado por un serpentín, no describe a grandes rasgos sus características, pero alcanzan temperaturas de escaldado de hasta 95°C y la temperatura del medio de enfriamiento es de 2°C disminuyendo el florete de brócoli hasta 10°C en un tiempo de 5 min, un tiempo menor al conseguido con el equipo didáctico desarrollado en este proyecto, ya que utilizan una temperatura del medio de enfriamiento menor. Con esto se puede decir que los tiempos y temperaturas alcanzados en el equipo didáctico se encuentran dentro de los rangos que utiliza la industria y la investigación. El desarrollo de este equipo permitirá a los alumnos interesados en realizar estudios de escaldado, efectuar las investigaciones de manera más sencilla, como en el caso de investigaciones enfocadas al escaldado como el caso de *Morales, 2013* que busco optimizar el proceso de escaldado en zanahoria; *Pantoja, 2016* que estudio las propiedades de papa pretratada y *Sánchez, 2018* que realizó un tratamiento post-escaldado de papa, proyectos de esta índole permitirán a la industria desarrollar técnicas y evaluar métodos que mejoren los procesos de conservación de hortalizas.

## CONCLUSIONES

Se realizó el diseño, la construcción y la puesta en marcha del equipo de escaldado con calentamiento por inmersión con agua a 85°C por medio de una resistencia eléctrica y enfriamiento instantáneo por aspersion de agua a 5°C enfriada con ayuda de una pequeña unidad condensadora. Se tomaron en cuenta criterios que ayudaron a desarrollar de manera eficiente el proyecto, con la elaboración de planos, determinando características primordiales a tomar en cuenta respecto a los materiales involucrados, planificando el montaje y protocolos de prueba que aseguraron la viabilidad del proyecto, la calidad y la seguridad. El desarrollo del equipo ayudo a determinar las condiciones de operación de manera experimental. El equipo se puso a prueba con papa cortada en cubos de 1.5 cm, el tiempo de escaldado fue de 6 min y el de enfriamiento aproximadamente 19 min, alcanzando una temperatura final entre 13°C, estas últimas dos condiciones fueron determinadas por la capacidad del equipo.

El desarrollo de este equipo no solo es para obtener tiempos, capacidades y temperaturas, la finalidad es poder utilizarlo para obtener algunas ecuaciones de comportamiento a partir de correlaciones entre los valores ya descritos no solo para un producto sino para más alimentos que puedan ser procesados en este equipo, además se podría evaluar la reducción de la actividad enzimática y demás características importantes del escaldado.

Para estudios futuros deben de tomar en cuenta la cantidad de materia prima que desean ingresar para que este factor de enfriamiento no afecte sus investigaciones, en realidad este equipo como anteriormente se menciona es para fines didácticos, por lo tanto, las cantidades de muestra procesadas se tendrán que tomar en cuenta de acuerdo a la cantidad real de muestras necesarias. Consecuentemente, este equipo seguirá cumpliendo con capacidades mínimas de operación.

## REFERENCIAS

- Abu-Ghannam, N., & Crowley, H. (2006). The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 335–344.
- Aguilera-Barraza, F., (1996). Simulación del proceso global escaldado-hidrogenofriamiento de productos vegetales. Tesis de licenciatura. Universidad Austral de Chile.
- AHMSA Altos Hornos de Mexico. (2013). Manual de diseño para la construcción con acero.
- Alba, D., (2018). Predicción de los cambios de las propiedades físicas y texturales mediante la simulación numérica del proceso de escaldado de jitomate. Tesis de licenciatura Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- ALMEXA. (2013). 5 Características básicas que el “foil” de aluminio debe tener. 20 de diciembre de 2018. Recuperado de <http://www.almexa.com.mx/blog/5-caracteristicas-basicas-que-el-foil-de-aluminio-debe-tener/>
- Armacell Enterprise GmbH Co. KG. (2017). AF/Armaflex: la primera colección para instalaciones profesionales. España.
- Anaya-Durand, Alejandro., Pedroza-Flores, Humberto., (2008) Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina. *Tecnología, Ciencia, Educación* 23(1), 31-39.
- Arroqui, C., Lopez, A., Esnoz, A., & Virseda, P. (2003). Mathematical model of heat transfer and enzyme inactivation in an integrated blancher cooler. *Journal of Food Engineering*, 58(3), 215–225.
- BETE., (2013). Nozzles for industry, pollution control and fire protection Obtenido el

22 de marzo de 2017, de [http://www.boquillasdeaspersion.com/PDF/BETE\\_0813Metric\\_Catalogo\\_General.pdf](http://www.boquillasdeaspersion.com/PDF/BETE_0813Metric_Catalogo_General.pdf)

Bevilacqua, M., Ciarapica F.E., Polonara F., (2012). Design and optimization of a new experimental blancher. *Food control*. 28(1), pp 122-130

Carbonell, S., Oliveira, J., & Kelly, A. (2006). Effect of pretreatments and freezing rate on the firmness of potato tissue after a freeze-thaw cycle. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(7), 757-767.

Casp, A., (2012). *Diseño de industrias agroalimentarias*. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp 244-247.

Chris, L., Cem M.S., (2009). *Refrigeración: Principios, prácticas y funcionamiento*. Paraninfo. TR. Vuelapluma. pp 45.

Condumex., (2009). *Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión*. Servicios Condumex. México.

CRANE., (1992). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw Hill. México. pp. 2-2

Creus, S., (2006) *Instrumentación industrial*. Alfaomega. México.

Della Rocca, P. R., (2013). Estudio comparativo de la congelación de papa (*Solanum tuberosum* L.) sometida a diferentes pretratamientos. *Proyecciones*, vol. 11(1), 31-45.

Diamore S.A., (2016). *Termostatos CAEM*. Recuperado el 28 de marzo de 2017, de <http://www.diamoresa.com.ar/CAEM.html>

DOGOTULS. *Ficha técnica: Manguera industrial transparente*. Recuperado de <https://dogotuls.com.mx/media/Fichastec/MANGUERA%20INDUSTRIAL-FIT.pdf>

Dossat Roy J., (1994). *Principles of refrigeration*. United States of America: Ed

Francis

- Fernández, C., Alvarez, M., & Canet, W. (2006). The effect of low-temperature blanching on the quality of fresh and frozen/thawed mashed potatoes. *Food Science and Technology*, 41(5), 577-595.
- Fortuny, R., & Beloso, O. M., (2003). New advances in extendign the shelf-life of fresh cut fruit. *Trends in Food Science & Technology*, 14(9): 341-353.
- Franco M., (2006). *Manual de refrigeración*. Reverte: España.
- Frederic Mestdagh, T. D. (2008). Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *LWT- Food Science and Technology*, 41, 1648-1654.
- Gallardo, C., (2004). Validación experimental de un software asistido por internet para describir el proceso combinado escaldado-hidrogenfriado en floretes de brócoli (*Brassia oleracea* L. var *italica*). Tesis de licenciatura Ingeniería en Alimentos. Universidad Astreal de Chile.
- Garcia, R., (2018). Una aternativa más sustentable: condensadores adiabaticos. *Revista mundo HVAC&R*, 156, 34-41.
- Guevara López, P., Falcón López, J., Sandoval Gómez, R., Mendel Juárez, J., (2009). Equipos didacticos industriales en el modelo educativo de los cecati. *Innovación edicativa*, 9(48), 73-81.
- Gunt Gerätebau GmbH., (2019). Máquinas fluidomecánicas hidráulicas: Bombas de desplazamiento positivo [Figura] Recuperado de [http://www.gunt.de/es/productos/maquinas-fluidomecanicas/maquinas-de-desplazamiento -positivo/glct-1;pa-150:ca-743](http://www.gunt.de/es/productos/maquinas-fluidomecanicas/maquinas-de-desplazamiento-positivo/glct-1;pa-150:ca-743).
- Gunter de México., (2017). Sistema de enfriamiento adiabático. Recuperado de [http://www.guntnerus.com/fileadmin/literature/america/Adiabatic/ACS\\_BRO\\_13\\_VI.I\\_SPA\\_01.2017](http://www.guntnerus.com/fileadmin/literature/america/Adiabatic/ACS_BRO_13_VI.I_SPA_01.2017).

- Ghannam, N., & Crowley, H., (2006). The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. *Jornal of Food Engineering*, 74(3), 335-344.
- Heredia M., (2011). Desarrollo de un Software para el cálculo de recientes a presión. Tesis de licenciatura Ingeniería Química. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Herrero A.M., Romero M.D., (2006). Innovaciones en el proceso de alimentos: Tecnologías no térmicas, 50(4), 71-74.
- Inestroza-Lizardo, C., Voigt, V., Muñiz, A., Gomez-Gomez, H., (2016), Métodos de enfriamiento aplicables a frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas., *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 149-161.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). Guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos: Madrid.
- Javierre C., & Fernández A., (2012) Criterios de diseño mecánicos en tecnologías industriales. Prensas universitarias de zaragoza. España
- Jiménez, G., (2003). Diseño de procesos en Ingeniería Química. Editorial Reverte. México, 225 pp.
- KINTEL S.A. de C. V., (2017) Resistencias tipo tubular. Recuperado <http://www.kintel.com.mx/resistencias-tipo-tubular/>
- Material World., (2016). Especial materiales aislantes térmicos (1ª parte): Materiales Aislantes Térmicos que mejor funcionan. Recuperado de <https://www.mwmaterialsworld.com/blog/especial-materiales-aislantes-termicos-1a-parte/>
- Milvaques, A., (2015). Seguridad e higiene alimentaria: Diseño higienico en la

industria alimentaria, Betelgeux Christeys Food Hygiene. Recuperado de <http://www.betelgeux.es/blog/2015/03/25/diseno-higienico-en-la-industria-alimentaria/>

Miranda Barreras A. L., (2012). Manual técnico de refrigerantes. Marcombo: España

Misra N.N., Koubaa M., Roohinejad S., Juliano P., Alpas H., Inácio S. Saraiva J., Barba J. (2017). Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International*. 97, 319-339

Murcia, M. A., López-Ayerra, B., & García-Carmona, F., (1999). Effect of Processing Methods and different Blanching Times on Broccoli: Proximate Composition and Fatty Acids. *LWT - Food Science and Technology*, 32(4), 238–243.

Nacobre. Manual técnico Nacobre.

Norton L. R., (1999). Diseño de máquinas. México: Prentice Hall Hispanoamericana.

OMEGA., (2017). Termopar: tipos y aplicaciones. Recuperado el 23 de abril de 2017. de <http://mx.omega.com/prodinfo/termopar.html>

Pantoja, S., (2016). Comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de papa pretratada con nanocápsulas de  $\alpha$  tocoferol previo y posterior a la congelación. Tesis licenciatura Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.

Peters, M., Timmerhaus, K., (1991), Plant desing and economics for chemical engineers, Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Peñuela, T., (1994). Influencia de los procesos de cocción y conservación sobre el contenido de nitritos y nitratos en espinacas (*Spinacia oleracea L.*). Tesis doctoral en Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.

Prokop S., & Albert J., (2008). FAO: Año internacional de la papa. Roma, Italia. Recuperado de [www.fao.org/potato-2008/es/la/papa/hojas.html](http://www.fao.org/potato-2008/es/la/papa/hojas.html)

PNR. Air Assisted Atomizers Obtenido el 27 de Marzo de 2017 de [www.pnr-](http://www.pnr-)

[nozzles.com](http://nozzles.com)

Rapin. P. J., Jacquard P., (1997). Instalaciones frigoríficas. Marcombo. España.

Ramírez Becerra, C. A., (2009). Estudio experimental de la desactivación de la enzima peroxidasa durante el proceso de escaldado de papas (*Solanum tuberosum*) y el almacenamiento a 18°C. Tesis licenciatura. Universidad Austral de Chile.

Refrigeración Anahuac., (2019) Compresor hermético [Figura]. Recuperado de <http://www.ransa.mx/producto/EMB-11-T6222EB>.

Representaciones industriales R.D.V LTDA: Instrumentación y suministros técnicos industriales. Manguera de polipropileno. Recuperado de octubre 2018 <http://mangueradelatex.com/producto/manguera-en-polipropileno/>

Rojano Ramos, S., (2014) Instrumentación y control en instalaciones de proceso, energía y servicios auxiliares. IC Editorial.

Salvador Escoda S. A., (2019). Refrigeración: Aislamientos. Recuperado de <http://www.salvadorescoda.com/productos/refrigeracion-y-gases/>

Santos, Casillas A., (2016). Rediseño de los sistemas de producción de frío en una planta procesadora de carne. Tesis de licenciatura Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México

Spray system Co., (2017) Consideraciones del desempeño de aspersion. Recuperado de <http://www.spray.com.mx/Assets/MX/Catalogo70M-SPANISH.pdf>.

TRANE, (2004), Scroll liquid chillers. Recuperado de <http://www.climate-trane.com.mx/documentos/modelos/chillers/enfriados%20por%20agua/CGWF%20Scroll%20-%2020%20a%2060%20TR.pdf>.

Valenzuela, M. D., (2013). Diseño de un equipo escaldador de alcachofas de 180kg/h. Tesis de Ingeniería Mecánica. Universidad Católica de Perú.

Viejo, Z., (2000). Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones. México. Limusa.

Volk, M., ( 2005). Pump characteristics and applications. Taylor and Francis Group.  
Unites States of America.

William C. Whitman, William M. Johnson., (2000). Tecnología de la refrigeración y  
aire acondicionado: fundamentos. Thomson. España. pp 141-142

Xiao, H.-W., ZhongliPan, Deng, L.-Z., El-Mashad, H. M., Yang, X.-H., Mujumdar, A.  
S., QianZhang. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching-  
a comprehensive review. *Information Processing in Agricultur*

## Apéndice A. Cálculos

Calculo para obtener la cantidad de materia prima.

- Calculo del calor específico de la papa *Solanum tuberosum L.* a partir de la composición química (Prokop S., & Albert J., 2008), por medio de las ecuaciones de Choi & Okos, 1986.

Componente	Porcentaje %	Fracción	Calor específico	Cp del alimento (KJ/Kg °C)
Agua	77.00%	0.7700	4.1773	3.216521
Proteínas	20.13%	0.2013	1.9788	0.39833244
Grasa	1.87%	0.0187	1.9504	0.03647248
Carbohidratos	0.10%	0.001	1.5034	0.0015034
Fibra	1.80%	0.018	1.7942	0.0322956
Ceniza	0.44%	0.0044	1.0431	0.00458964
Totales	101.34%	1.0134		3.68971456

- Calculo de la cantidad de materia prima de que puede procesar el equipo de acuerdo a las condiciones que se describen a continuación.

$$m = \frac{q}{cp \Delta T}$$

	q	T <sub>FMC</sub>	T <sub>FAE</sub>
Valor	52W	±85°F	9.8°C

$$m = \frac{187.2 \text{ Kj}}{(3.68 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C})(75.2^\circ\text{C})} = 0.6764 \text{ Kg de papa}$$

Selección de resistencia eléctrica de inmersión

$$P = mCp\Delta T$$

	<b>Medio de calentamiento</b>	<b>Producto</b>	<b>Material</b>
V <sub>c</sub>	2 L	----	----
M	----	0.4 Kg	0.1Kg
T <sub>IC</sub>	20°C	20°C	20°C
T <sub>FC</sub>	85°C	85°C	85°C
t <sub>c</sub>	0.25 h	0.13 h	0.25 h
ρ	0.9688 Kg/L	----	----
C <sub>p</sub>	4.199 Kj/Kg K	3.69 Kj/Kg°C	0.11 Kcal/Kg K

$$P_{MC} = (2 \text{ Kg})(4.199 \text{ Kj/Kg K})(65 \text{ K}) = 545.87 \text{ Kj}$$

$$P_P = (0.4 \text{ Kg})(3.69 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C})(65^\circ\text{C}) = 95.94 \text{ Kj}$$

$$P_{Material} = (0.1 \text{ Kg})(0.11 \text{ Kcal/Kg K})(65 \text{ K}) = 0.715 \text{ Kcal}$$

Balance de energía mecánica para la bomba 1.

$$\begin{aligned} P_{succ} &= \left( \frac{P_{atm}}{\rho} + \frac{Z_1}{g} - \frac{Z_2}{g} - H_{fs\ total} \right) \rho \\ &= \left( \frac{77,993.6\ Pa}{1001.87\ \frac{Kg}{m^3}} + \frac{1.3\ m}{9.81\ \frac{m}{s}} - \frac{1.2\ m}{9.81\ \frac{m}{s}} - 1.16 \right) 1,001.87\ \frac{Kg}{m^3} \\ &= 77,806.66\ Pa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{desc} &= \left( \frac{P_{atm}}{\rho} + \frac{Z_1}{g} - \frac{Z_2}{g} + H_{fs\ total} \right) \rho \\ &= \left( \frac{77,993.6\ Pa}{1001.87\ \frac{Kg}{m^3}} + \frac{1.65\ m}{9.81\ \frac{m}{s}} - \frac{1.2\ m}{9.81\ \frac{m}{s}} + 0.4657 \right) 1,001.87\ \frac{Kg}{m^3} \\ &= 82,873.08\ Pa \end{aligned}$$

## Apéndice B. Manual de operación y mantenimiento del equipo.

### ANEXO A MANUAL DE OPERACIÓN

#### Vistas del equipo

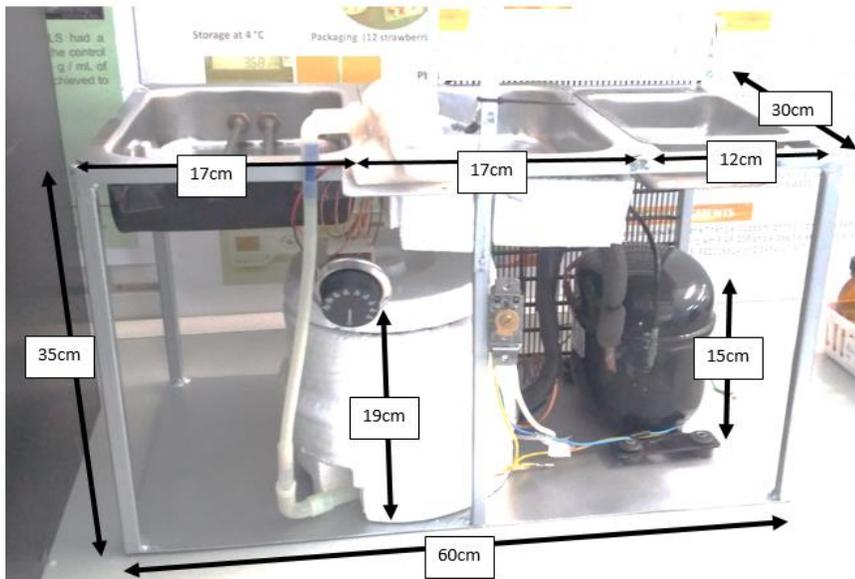


Figura 2. Vista frontal de equipo con medidas.



Figura 2. Vista superior del equipo, donde se representan las tres zonas: calentamiento, enfriamiento y escurrimiento.



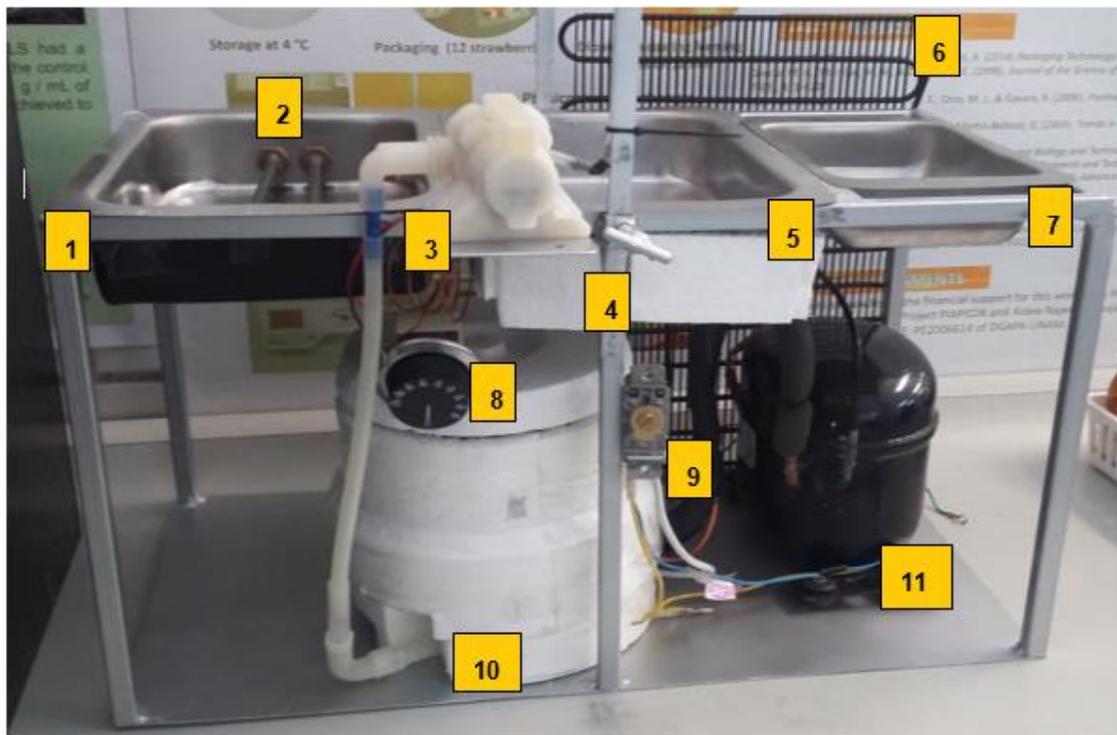


**Figura 3.** Vista trasera del equipo.



**Figura 3.** Vista lateral del equipo.

## Identificación de partes del equipo



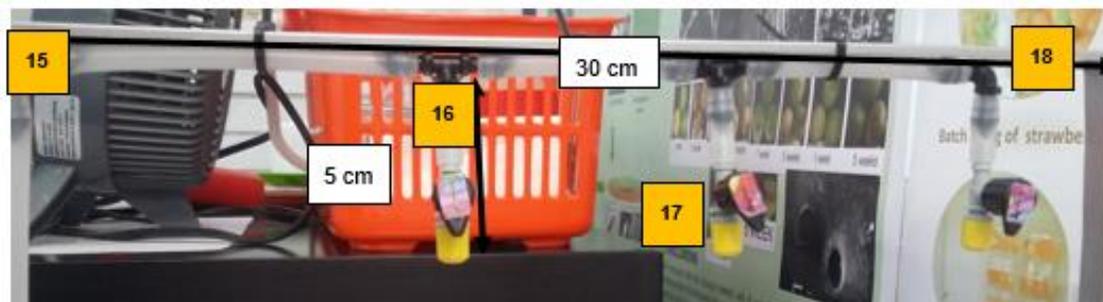
**Figura 5.** Identificación de partes generales del equipo.



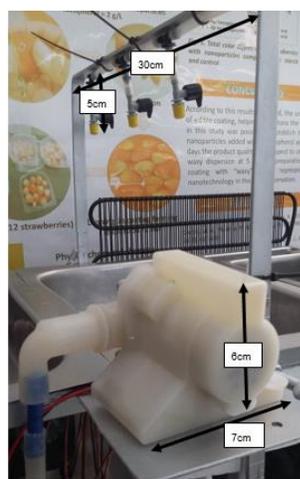
**Figura 6.** Identificación de partes de la unidad condensadora y medidas.



**Figura 7.** Identificación de partes del recipiente de calentamiento y medidas.



**Figura 8.** Identificación de partes de la aspersión y medidas.



**Figura 9.** Medidas del sistema de aspersión.

1. Recipiente de calentamiento
2. Resistencia eléctrica
3. Bomba de desplazamiento positivo
4. Marco de aspersores
5. Recipiente de enfriamiento
6. Condensador
7. Recipiente de escurrimiento
8. Termostato para calentamiento
9. Termostato para enfriamiento
10. Tanque de enfriamiento/Evaporador
11. Compresor
12. Tubo capilar
13. Descarga de calentamiento
14. Bulbo sensor de temperatura
15. Manguera polipropileno de  $\frac{1}{4}$
16. Tee
17. Microaspersor
18. Codo



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN EQUIPO DE ESCALDADO CON ENFRIAMIENTO POR LOTES

<b>Equipo:</b>	Equipo de escaldado		
<b>Realizado por:</b>	Blanca Itzel Isidro Ibarra		
<b>Laboratorio:</b>	TMIA: PROCESOS Y SISTEMAS FRIGORÍFICOS		
<b>PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO</b>			
<b>Sistema de enfriamiento (Unidad Condensadora)</b>			
El equipo se encuentra limpio, principalmente recipientes.	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
El equipo se encuentra conectado a la corriente eléctrica.	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
El recipiente evaporador tiene agua en su interior.	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Si. Poner a funcionar el sistema de enfriamiento			
No. Llenar el recipiente de enfriamiento.			
La unidad condensadora se encuentra operando.	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Monitorear todo el tiempo la temperatura hasta registrar 41°F		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Sistema de calentamiento</b>			
La temperatura del termostato se encuentra programada.	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
El alimento se encuentra listo para procesar (pelado, cordado y pesado).	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Si. Distribuir la materia prima en las cestas de inmersión.			
No. Pelar y cortar en cubos de 0.0492 ft un total de 0.8818 lb		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El sistema de calentamiento se encuentra encendido	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Si. Monitorar la temperatura del agua con un termopar.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
No. Oprimir el botón rojo para encender el sistema de calentamiento.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El medio de calentamiento llegó a la temperatura de 185°F.	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Si. Colocar las cestas de inmersión dentro del recipiente de calentamiento.			
No. El tiempo aproximado de calentamiento es 0.225 h.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El producto estuvo expuesto a 185°F durante 0.1 h	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
<b>Sistema de enfriamiento (Bomba)</b>			
El medio de enfriamiento se encuentra a 41°F	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Si. Comenzar con el enfriamiento del producto.			
No. El periodo aproximado de enfriamiento es de 0.683 h.			
El producto se encuentra en el recipiente de enfriamiento	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Si. Oprimir el botón verde para encender el sistema de bombeo.	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	SI	<input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN  
MARCHA DE UN EQUIPO DE ESCALDADO  
CON ENFRIAMIENTO POR LOTES

<b>Equipo:</b>	<b>Equipo de escaldado</b>
<b>Realizado por:</b>	Bianca Itzel Isidro Ibarra
<b>Laboratorio:</b>	TMIA: PROCESOS Y SISTEMAS FRIGORÍFICOS

A hacer fluir el agua a través de la tubería se encuentran fugas SI  NO   
Si. Visualizar donde se encuentran las fugas , detener la bomba y reparar.  
No. Continúa con el proceso.

La temperatura del alimento ha disminuido SI  NO   
Si. Detener el proceso hasta que la temperatura del alimento no este variando.  
No. El equipo opera de manera adecuada enfriando hasta 59°F en 0.23 h.

Retirar el producto del recipiente de enfriamiento y dar por terminada la operación para continuar con las pruebas pertinentes

**Limpieza**

1. Drenar el agua de los recipientes de calentamiento y enfriamiento.
2. Retirar los recipientes de los soportes y lavar perfectamente.
3. Drenar el agua del recipiente evaporador, hacer circular una solución limpiadora a través de la tubería para
4. Limpiar los termostatos, así como la estructura.

**Mantenimiento**

1. Revisar continuamente que no queden residuos de agua.
2. Revisar continuamente las conexiones y cables eléctricos, hacer ajuste cada dos meses.
3. Revisar continuamente que los empaques se encuentren en condiciones aptas cada 6 meses
- 4.-Calibrar los termostatos anualmente.
- 5.- Ajustar tornillos de soportería mensualmente
- 6.-Si alguna parte metálica se encuentra oxidada se debe lijar y pintar.