



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CUARTO FRÍO PARA LA  
CONSERVACIÓN DE 25000 PLÁNTULAS DE FRESA”**

**RAMÍREZ BARRERA JULIO RICARDO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2019**

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2019-03-14

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**RAMÍREZ BARRERA JULIO RICARDO**

Titulado:

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CUARTO FRÍO PARA LA  
CONSERVACIÓN DE 250000 PLÁNTULAS DE FRESA”**

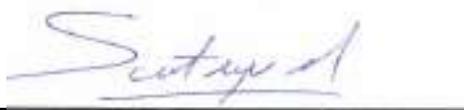
Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

  
Ing. Edwin Viteri Nuñez  
**DIRECTOR DE ESCUELA DE  
INGENIERIA MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

  
Ing. Lenin Orozco Cantos  
**TUTOR DEL PROYECTO**

  
Ing. Santiago López Ortiz  
**MIEMBRO DEL PROYECTO**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** JULIO RICARDO RAMÍREZ BARRERA

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CUARTO FRÍO PARA LA CONSERVACIÓN DE 250000 PLÁNTULAS DE FRESA”

**Fecha de Examinación:** 2019-07-11

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>	/		
Ing. Lenin Santiago Orozco Cantos <b>TUTOR DEL PROYECTO</b>	/		
Ing. Santiago López Ortiz <b>MIEMBRO DEL PROYECTO</b>	/		

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Edwin Viteri  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de Titulación que presento es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Julio Ricardo Ramírez Barrera**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

YO, Julio Ricardo Ramírez Barrera, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

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

---

Ramírez Barrera Julio Ricardo

Cédula de Identidad: 180434769-6

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres Sonia y Julio, a mis hermanas Verónica y Fernanda, a mis sobrinos Hernán, Victoria y Emilio, a mis cuñados Hernán y Jorge, a mis tíos Catalina y Miguel, a mis primos, y amigos con su ayuda, consejos y apoyo pude seguir adelante y no desmayar en las dificultades que se me presentaron durante mi vida estudiantil.

De igual manera para aquellas personas que a lo largo de la carrera han llegado a formar lazos de amistad y de alguna forma fueron partícipes en el camino para alcanzar esta profesión.

**Julio Ricardo Ramírez Barrera**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de estudiar y adquirir grandes conocimientos durante toda mi formación profesional.

Al Ing. Lenin Orozco e Ing. Santiago López que desempeñaron los cargos de Tutor y Asesor respectivamente, y que, gracias a su ayuda y apoyo, permitió culminación de este proyecto de titulación, a todos mis amigos con los que hemos compartido en este trayecto, gracias por ser parte de mi vida.

A mis Padres: Sonia y Julio por su amor, trabajo, sacrificio y que ante todo siempre han estado conmigo, a mis hermanas Verónica y Fernanda por su cariño.

Finalmente, el más profundo agradecimiento a mi madre Sonia y a mi hermana Fernanda porque sin ellas no hubiera llegado tan lejos gracias por su amor, consejos, paciencia, dedicación, y sacrificio, fueron el pilar fundamental durante el desarrollo de este proyecto de titulación, por ustedes son quien soy y estoy donde estoy.

**Julio Ricardo Ramírez Barrera**

## TABLA DE CONTENIDO

PÁG.

### RESUMEN

### SUMMARY

### CAPITULO I

1.	MARCO REFERENCIAL .....	1
	INTRODUCCION.....	1
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Formulación del problema.....	2
1.3.	Justificación .....	3
1.3.1.	<i>Justificación Práctica</i> .....	3
1.3.2.	<i>Justificación Teórica</i> .....	3
1.3.3.	<i>Justificación Metodológica</i> .....	3
1.4.	Hipótesis .....	4
1.5.	Alcance .....	4
1.6.	Objetivos.....	4
1.6.1.	<i>Objetivo General</i> .....	4
1.6.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	5

### CAPITULO II

2.	ESTUDIO DEL ARTE .....	6
2.1.	Características de las plántulas de fresa .....	6
2.1.1.	<i>Flores</i> .....	7
2.1.2.	<i>Fruta</i> .....	7
2.1.3.	<i>Corona</i> .....	7
2.1.4.	<i>Hojas</i> .....	8
2.1.5.	<i>Raíces</i> .....	8
2.2.	Almacenamiento de plántulas de fresa .....	8

2.3.	Refrigeración .....	8
2.4.	Descripción general de los sistemas de refrigeración.....	9
2.4.1.	<i>Aplicación de los sistemas de refrigeración</i> .....	9
2.5.	Ciclos de refrigeración.....	10
2.5.1.	<i>Ciclo inverso de Carnot</i> .....	10
2.5.2.	<i>Ciclo de refrigeración por compresión</i> .....	11
2.5.2.1.	<i>Compresor</i> .....	12
2.5.2.2.	<i>Condensador</i> .....	12
2.5.2.3.	<i>Dispositivo de expansión</i> .....	12
2.5.2.4.	<i>Evaporador</i> .....	12
2.5.3.	<i>Refrigeración por absorción</i> .....	13
2.6.	Refrigerantes.....	14
2.6.1.	<i>CFC: (Carbono, Cloro, Flúor)</i> .....	15
2.6.2.	<i>HCFC: (Carbono, Hidrógeno, Cloro, Flúor)</i> .....	16
2.6.3.	<i>HFC: (Carbono, Hidrógeno, Flúor)</i> .....	17
2.6.4.	<i>HFO: (Hidrofluorolefinas)</i> .....	18
2.7.	Cuarto frío.....	19
2.7.1.	<i>Aplicación de los cuartos fríos</i> .....	20
2.8.	Limpieza y sanitación de cuartos fríos .....	20
2.8.1.	<i>Diferencia entre limpiar y sanitizar</i> .....	20
2.8.2.	<i>Aspectos de un proceso de limpieza y sanitización efectivos</i> .....	21
2.8.2.1.	<i>Los productos químicos</i> .....	21
2.8.2.2.	<i>La calidad del agua</i> .....	22
2.8.2.3.	<i>Los utensilios</i> .....	22
2.9.	Método de volúmenes finitos .....	23
<b>CAPITULO III</b>		
3.	<b>CALCULO DE LA CARGA TERMICA</b> .....	24

3.1.	Generalidades .....	24
3.2.	Cálculo de las cargas térmicas.....	24
3.2.1.	<i>Cargas por transmisión</i> .....	26
3.2.2.	<i>Carga térmica del producto a conservar</i> .....	29
3.2.2.1.	<i>Calor del producto para llevarlo a la temperatura del cuarto frío</i> .....	29
3.2.2.2.	<i>Calor de respiración por parte del producto conservado</i> .....	30
3.2.3.	<i>Carga térmica por infiltración</i> .....	31
3.2.3.1.	<i>Infiltración por apertura de puertas</i> .....	31
3.2.3.2.	<i>Infiltración debido a los cambios de aire</i> .....	32
3.2.4.	<i>Cargas internas</i> .....	33
3.2.4.1.	<i>Pérdidas de calor por personas</i> .....	33
3.2.4.2.	<i>Pérdidas de calor por equipos</i> .....	34
3.2.4.3.	<i>Pérdidas de calor por iluminación</i> .....	36
3.2.5.	<i>Carga térmica total.</i> .....	37

#### **CAPITULO IV**

4.	SELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS .....	38
4.1.	Selección del Refrigerante.....	38
4.1.1.	<i>Refrigerante R-404A</i> .....	39
4.2.	Selección del evaporador.....	40
4.3.	Selección del Condensador.....	41
4.4.	Selección de la válvula de expansión termostática.....	43
4.5.	Selección de la válvula solenoide .....	45
4.6.	Selección del visor de líquido.....	47
4.7.	Selección de tuberías de cobre.....	48
4.8.	Selección del equipo de control.....	49
4.8.1.	<i>Sensor de temperatura DS18B20</i> .....	49
4.8.2.	<i>Contactor</i> .....	49

4.8.3.	<i>Arduino Nano</i> .....	50
4.8.4.	<i>Sensor de humedad DHT11</i> .....	50
4.8.5.	<i>Caja térmica</i> .....	51
4.8.6.	<i>Pulsadores</i> .....	51
4.8.7.	<i>Canaleta</i> .....	52
4.9.	Eficiencia del ciclo térmico .....	52
4.10.	Flujo másico del refrigerante .....	54

**CAPITULO V**

5.	ANALISIS DE COSTOS .....	55
----	--------------------------	----

**CAPITULO VI**

6.	SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DEL CUARTO FRIO.....	59
6.1.	Modelado .....	60
6.2.	Simulación .....	60
6.3.	Validación.....	63
6.4.	Simulación del cuarto frío para la conservación de 250000 plántulas de fresa .....	67

	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>71</b>
--	---------------------------	-----------

	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>71</b>
--	------------------------------	-----------

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 2-1:</b> Refrigerantes CFC.....	15
<b>Tabla 2-2:</b> Refrigerantes HCFC.....	16
<b>Tabla 2-3:</b> Refrigerantes HFC .....	18
<b>Tabla 3-1:</b> Datos del producto .....	25
<b>Tabla 3-2:</b> Datos de la cámara .....	25
<b>Tabla 3-3:</b> Coeficiente Global de transferencia de calor para paredes, techo y piso.....	27
<b>Tabla 3-4:</b> Pérdidas de calor por transmisión .....	28
<b>Tabla 3-5:</b> Perdidas de calor por producto.....	31
<b>Tabla 3-6:</b> Pérdidas de calor por infiltración .....	33
<b>Tabla 3-7:</b> Calor liberado por persona .....	34
<b>Tabla 3-8:</b> Ganancia de calor de los motores.....	35
<b>Tabla 3-9:</b> Cargas internas .....	36
<b>Tabla 3-10:</b> Carga térmica total .....	37
<b>Tabla 4-1:</b> Componentes del refrigerante R-404A .....	39
<b>Tabla 4-2:</b> Estados térmicos del ciclo de refrigeración.....	53
<b>Tabla 5-1:</b> Costos de los equipos y accesorios del sistema térmico .....	55
<b>Tabla 5-2:</b> Costos de los equipos y accesorios del sistema de control .....	56
<b>Tabla 5-3:</b> Costos mano de obra .....	57
<b>Tabla 5-4:</b> Costos de imprevistos .....	57
<b>Tabla 5-5:</b> Inversión para la implementación del cuarto frío.....	57
<b>Tabla 5-6:</b> Tiempo de recuperación de la inversión .....	58
<b>Tabla 6-1:</b> Temperaturas de simulación .....	63
<b>Tabla 6-2:</b> Temperaturas de laboratorio .....	65
<b>Tabla 6-3:</b> Comparación de temperaturas.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 2-1:</b> Planta de fresa.....	6
<b>Figura 2-2:</b> Esquema y diagrama T-s del ciclo inverso de Carnot .....	11
<b>Figura 2-3:</b> Esquema y diagrama T-s para el ciclo de refrigeración por compresión ..	13
<b>Figura 2-4:</b> Sistema de refrigeración por absorción .....	14
<b>Figura 2-5:</b> Mallas superficial coloreada por la razón de aspecto de la celda.....	23
<b>Figura 4-1:</b> Evaporador EVC 5 – 306/67 .....	40
<b>Figura 4-2:</b> Condensador OP- HNXM0700UWG000Q.....	42
<b>Figura 4-3:</b> Optyma TM, unidad de condensación, Nomenclatura/Modelo N.....	42
<b>Figura 4-4:</b> Válvula de expansión termostática TGE 10 – 9 .....	44
<b>Figura 4-5:</b> Válvula solenoide EVR 6 .....	46
<b>Figura 4-6:</b> Visor de líquido SPG 16s .....	47
<b>Figura 4-7:</b> Tubería de cobre .....	48
<b>Figura 4-8:</b> Sensor de temperatura DS18B20.....	49
<b>Figura 4-9:</b> Contactor .....	50
<b>Figura 4-10:</b> Arduino nano .....	50
<b>Figura 4-11:</b> Sensor de humedad DHT11 .....	51
<b>Figura 4-12:</b> Caja térmica.....	51
<b>Figura 4-13:</b> Pulsadores .....	51
<b>Figura 4-14:</b> Canaleta .....	52
<b>Figura 4-15:</b> Diagrama P-h del ciclo de refrigeración.....	52
<b>Figura 6-1:</b> Modelado en SolidWorks .....	60
<b>Figura 6-2:</b> Detalle del mallado .....	60
<b>Figura 6-3:</b> Refinamiento de la malla.....	61
<b>Figura 6-4:</b> Plano de temperatura. ....	62
<b>Figura 6-5:</b> Puntos de medición de temperatura en el plano .....	62
<b>Figura 6-6:</b> Puntos de referencia para la toma de datos en el refrigerador .....	63
<b>Figura 6-7:</b> Toma de termogramas .....	64
<b>Figura 6-8:</b> Pantalla de entorno de software SatIrReport .....	64
<b>Figura 6-9:</b> Termograma con los puntos de medición de temperatura .....	65
<b>Figura 6-10:</b> Modelado del cuarto frío .....	68

<b>Figura 6-11:</b> Mallado del cuarto frío .....	68
<b>Figura 6-12:</b> Líneas de corriente de flujo, Perspectiva.....	69
<b>Figura 6-13:</b> Plano de Contornos de temperatura.....	70

## LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

<b>Gráfico 3-1:</b> Carga térmica total .....	37
<b>Gráfico 4-1:</b> Capacidad de refrigeración .....	43
<b>Gráfico 4-2:</b> Curva de rendimiento .....	45
<b>Gráfico 4-3:</b> Curva de rendimiento .....	46
<b>Gráfico 4-4:</b> Curva de rendimiento .....	48
<b>Gráfico 6-1:</b> Procedimiento de simulación y validación .....	59
<b>Gráfico 6-2:</b> Comparación de graficas con valores de simulación y experimentación .....	67

## **LISTA DE ANEXOS**

- Anexo A:** Características de los productos Sanitizantes
- Anexo B:** Coeficiente global de transferencia de calor de un panel frigorífico
- Anexo C:** Panel frigorífico Hiansa Panel
- Anexo D:** Calor de respiración.
- Anexo E:** Propiedades físicas del refrigerante R-404A
- Anexo F:** Evaporadores aire forzado
- Anexo G:** Características del condensador
- Anexo H:** Características del compresor
- Anexo I:** Capacidad de la válvula de expansión termostática
- Anexo J:** Capacidad nominal de las válvulas solenoides
- Anexo K:** Proforma equipos y accesorios térmicos
- Anexo L:** Proforma equipos y accesorios del sistema de control
- Anexo M:** Dimensiones del modelado
- Anexo N:** Intervalos de desempeño
- Anexo O:** Equipo de protección personal
- Anexo P:** Plan de mantenimiento preventivo

## RESUMEN

Bioproducción es un almacén de insumos agrícolas cuyas principales actividades son, venta de insumos agrícolas y venta de plántulas de fresa a los agricultores de la zona. El presente proyecto de tesis tiene como objetivo diseñar y simular un cuarto frío para la conservación de plántulas de fresa (Fragaria). Para su realización se recopiló la información necesaria acerca del almacenamiento de plántulas de fresa, ciclos de refrigeración, refrigerantes y cuartos fríos. Con estos datos se procedió al cálculo de las cargas térmicas según Ashrae las cuales son: carga por transmisión, carga del producto, cargas por infiltraciones de aire, cargas internas; la suma de estas cargas me da la carga térmica total a la cual se incrementa un 10% por factor de seguridad, para permitir posibles discrepancias entre criterios de diseño y funcionamiento actual, con esta carga térmica se procede a la selección de equipos para esto nos ayudamos de catálogos y un software de selección el cual facilito el proceso, luego de la selección de equipos se procedió a solicitar cotizaciones de los equipos y accesorios seleccionados, además se consultó sobre el costo de mano de obra, ya con estos datos se realizó el análisis de costos, el cual evidencio que es un proyecto viable ya que la inversión se recuperara en un año y medio. El diseño del cuarto frío se realizó en el programa SolidWorks y el análisis térmico se realizó en el software de simulación ANSYS y se logró verificar que la temperatura en las plántulas era la correcta. En conclusión, con los equipos seleccionados se asegura un correcto almacenamiento de las plántulas de fresa.

**Palabras claves:** < TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA >, <FRAGARIA >, <CUARTO FRIO >, <REFRIGERANTE>, <CARGA TERMICA> <FACTOR DE SEGURIDAD>, <SIMULACION>.

## ABSTRACT

Bioproduccion is a warehouse of agricultural inputs whose main activities are, sale of agricultural inputs and sale of seedlings of strawberries to farmers in the area. The objective of the present titration project is to design and simulate a cold room for the conservation of strawberry seedlings (*Fragaria*). For its realization, the necessary information was gathered about the storage of strawberry seedling, refrigeration cycles, refrigerants and cold rooms. With these data we proceeded to calculate the thermal loads according to Ashrae which are: load by transmission, load of the product, loads by infiltrations of air, internal loads; the sums of these loads gives me the total thermal load to which 10% is increased by factor of safety, to allow possible discrepancies between design criteria and current operation, whit this thermal load is proceeded to the selection of equipment for this helped catalog and software oh choice which facilitated the process, lago of the selection of equipment proceeded to request quotations of the equipment and accessories selected, in addition we consulted on the cost pf labor, since with these data was made the cost analysis, which evidenced that it is viable project since the investment will recover in a year and a half. The design of the cold room was enhanced in the SolidWorks program and the thermal analysis was carried out in the ANSYS simulation software and it is verified that the temperature of the seedlings was correct. In conclusion, with the selected equipment, correct storage of the strawberry seedlings is ensured.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <FRAGARIA>, <COLD QUARTER>, <REFRIGERANT>, <THERMAL LOAD>, <SECURITY FACTOR>, <AMBATO (CANTÓN)>, <BIOPRODUCTIO (AGRICULTURA INPUTS)>.



# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### INTRODUCCIÓN

Refrigeración es la rama de la termodinámica que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperaturas inferiores con respecto a los alrededores correspondientes. Otra forma de definirlo sería como, el desarrollo en un espacio dado de temperatura menor que la que se tiene en otro espacio o en el espacio adyacente.

La refrigeración se basa primordialmente en dos principios básicos conocidos como la primera y la segunda leyes de la termodinámica. La primera de ellas establece que la energía no se crea ni se destruye, si desaparece energía en una forma, debe reaparecer en otra, es decir, no puede aparecer energía en una manifestación sin que se registre una reducción correspondiente en otra de sus formas. (Martinez, 2010 pág. 33)

Una cámara frigorífica o cuarto frío es un almacén en el que se genera artificialmente una temperatura específica. Generalmente está diseñado para el almacenamiento de productos en un ambiente por debajo de la temperatura exterior. Los productos que necesitan refrigeración incluyen frutas, verduras, mariscos, carne, flores, etc. (Solís, 2018)

El método de Volúmenes Finitos es una técnica de discretización que permite la simulación numérica de diversos tipos (elípticas, parabólicas o hiperbólicas) de leyes de conservación.

Se utiliza en varios campos de la ingeniería, como la mecánica de fluidos, y transferencia de calor y masa, o la ingeniería química y metalúrgica. Algunas de las características importantes del método de Volúmenes Finitos son similares a las del Método de Elementos Finitos: puede ser utilizado en geometrías arbitrarias, el uso de mallas no estructuradas, y esquemas robustos (SEPÚLVIDA, 2014).

## **1.1. Antecedentes**

Los sistemas de refrigeración en cuartos fríos tienen una amplia utilización en la industria, ya que vienen en tres tipos de temperatura que son: alta, media y baja dependiendo de la utilización que se requiera y del tipo de producto que se desea almacenar.

Los cuartos fríos tienen la facilidad de poder construirse del tamaño necesario, también puede utilizarse una gran variedad de aislantes con diferentes propiedades. La selección de material a utilizar para construir el cuarto es de gran importancia ya que esto dará las propiedades de enfriamiento. Los sistemas de refrigeración se componen de varios elementos para su desempeño, los cuatro más esenciales son condensador, compresor, evaporador y válvula de expansión. (Gonzalez, 2011 pág. XVII)

El siguiente tema de trabajo de titulación nace de la necesidad real del almacén de insumos agrícolas “Bioproducción” de conservar plántulas de fresa a las condiciones adecuadas para que no se deterioren; y de esta forma ofrecer al comprador mejor calidad. El control de la temperatura de almacenamiento es muy importante para mantener la calidad del producto. Mediante un correcto diseño en los cuartos fríos con mecanismos de control y materiales eficientes, el Almacén reducirá de una forma contundente las pérdidas económicas derivadas del deterioro de las plantas, ya que al no ser conservadas a temperaturas que van de 4 a 6 °C, tienen una vida muy corta y es muy difícil que al ser plantadas sobrevivan.

## **1.2. Formulación del problema**

Bioproducción es un almacén de insumos agrícolas cuyas principales actividades son: venta de insumos agrícolas y venta de plántulas de fresa a los agricultores de la zona, además de ser el ente encargado de dar soporte técnico a los dueños de los sembríos de fresa.

Uno de los principales aspectos a considerar para alcanzar altos niveles de producción en el cultivo de fresa, es sin duda contar con calidad genética de las plantas, lo que determina el potencial de rendimiento del cultivo, por esto Bioproducción distribuye distintas variedades de plantas de fresa que son importadas desde Chile.

El principal problema que tiene el almacén es que los clientes retiran las plántulas varios días después de lo acordado y el almacén no cuenta con un cuarto frío para poder

almacenar y mantener en perfectas condiciones, estas condiciones son una humedad del 80% a 90% y una temperatura de 4°C a 6°C y el clima de la ciudad de Ambato no brinda estas condiciones.

### **1.3. Justificación**

#### ***1.3.1. Justificación Práctica***

El presente proyecto nace de una necesidad real del almacén de insumos agrícolas Bioproducción de diseñar un cuarto frío para conservar plántulas de fresa en perfectas condiciones, evitando que estas se deterioren y así poder ofrecer a los agricultores productos de calidad, además evitaremos pérdidas económicas para el almacén, de igual manera por medio de este proyecto se pretende dejar la opción abierta para que el dueño del almacén posteriormente lo construya.

#### ***1.3.2. Justificación Teórica***

Conociendo los fundamentos termodinámicos y los principios de los ciclos de refrigeración se va a diseñar un cuarto frío que cuente con una capacidad suficiente para almacenar 250000 plántulas de fresa y así brindarle al mercado una comercialización estable generando desarrollo y empleo a la comunidad.

Este cuarto frío va a funcionar bajo el ciclo de refrigeración por compresión el cual es el más usado en la industria y es el que me brinda el mayor rendimiento teórico

#### ***1.3.3. Justificación Metodológica***

Para la elaboración de este proyecto de tipo propuesta tecnológica se realizará un estudio para determinar las condiciones óptimas para conservar las plántulas de fresa además se utilizarán los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, así como también el uso de normas y catálogos para una correcta selección de los equipos, de tal forma que no

haya pérdidas para el almacén, Además de lo descrito anteriormente, este proyecto de tipo propuesta tecnológica se justifica por:

- Aprovechamiento del cuarto frío por el almacén de insumos agrícolas Bioproducción.
- El estudio va a tener un costo económico mínimo y va a ser de gran ayuda para los clientes del almacén.
- Con este proyecto, se obtendrá un mayor porcentaje de ventas en función a que se podrá almacenar y vender mayor cantidad de plántulas.

#### **1.4. Hipótesis**

Mediante la recolección de datos sobre la cantidad de plántulas de fresa que se venden en el almacén de insumos agrícolas “Bioproducción”, así como las condiciones óptimas para su conservación se diseñará un cuarto que evite o disminuya la descomposición de las plántulas de fresa. Esto se hará a través del software de simulación ANSYS y se verificará a través de pruebas de laboratorio para validar la simulación.

#### **1.5. Alcance**

El trabajo propuesto será la realización de un diseño eficiente de un cuarto frío para la conservación de plántulas de fresa, gracias a la correcta selección de equipos, para evitar el deterioro de las plántulas y así reducir las pérdidas económicas, además de deja abierta la posibilidad de que una vez terminado el trabajo de titulación el almacén pueda implementar el cuarto frío.

#### **1.6. Objetivos**

##### ***1.6.1. Objetivo General***

Diseñar un cuarto frío para la conservación de 250000 plántulas de fresa a través de una correcta selección de equipos y así evitar su deterioro.

### ***1.6.2. Objetivos Específicos***

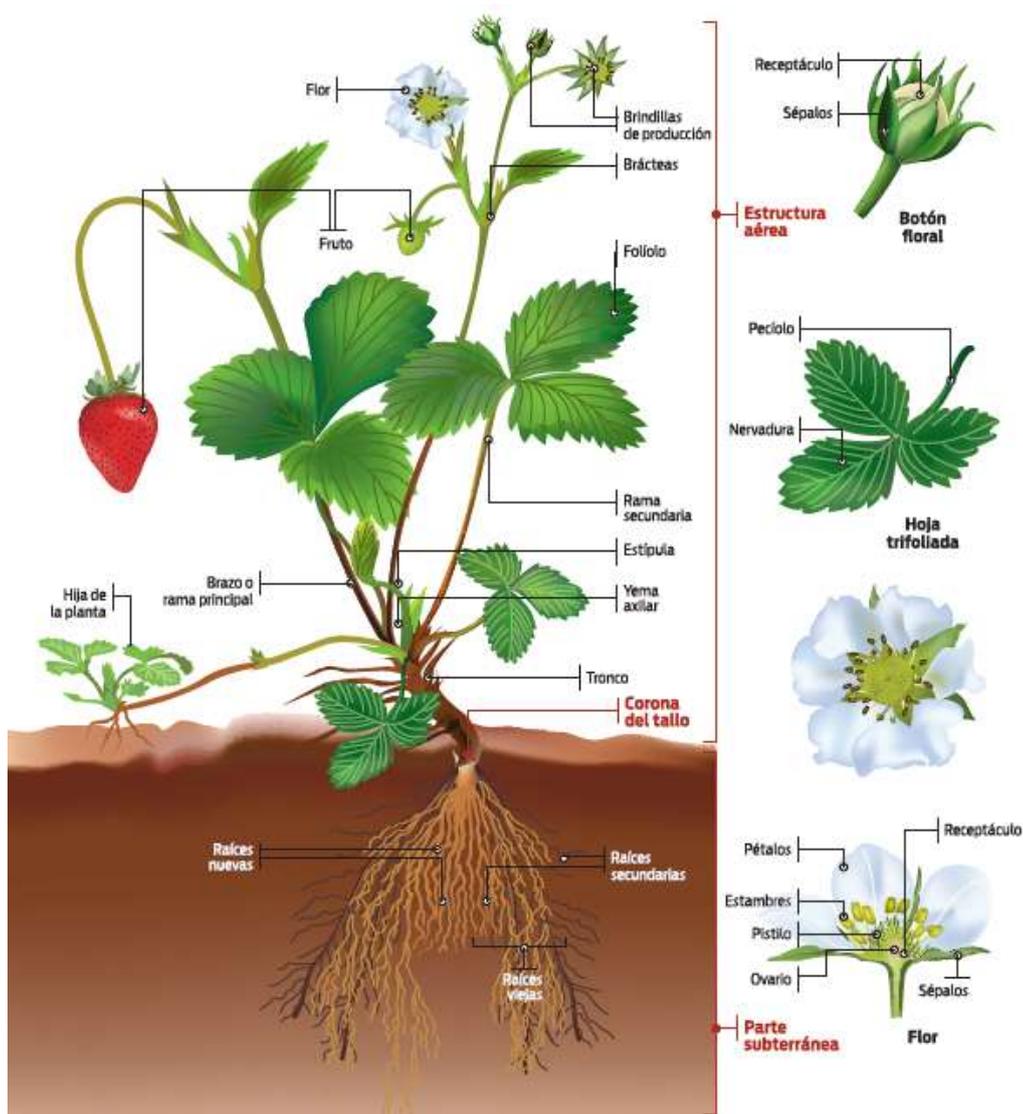
- Estudiar el estado del arte correspondiente a la conservación y almacenamiento de plántulas de fresa a través de la recolección de datos, para cuantificar las variables a controlar.
- Aplicar los principios de refrigeración adecuados para una correcta selección de equipos y componentes.
- Validar el diseño a través del software de simulación ANSYS para comprobar que las condiciones de almacenamiento serán correctas.

## CAPÍTULO II

### 2. ESTUDIO DEL ARTE

#### 2.1. Características de las plántulas de fresa

La fresa es una planta rastrera que pertenece a la familia de las rosáceas y al género *Fragaria*, cultivada por su fruto comestible. Las variedades cultivadas comercialmente son por lo general híbridos. La planta de fresa es perenne ya que, por su sistema de crecimiento, constantemente está formando nuevos tallos, que la hacen permanecer viva en forma indefinida



**Figura 2-1:** Planta de fresa

Fuente: (Balda, 2018 pág. 15)

La fresa es una fruta de distribución mundial, muy apreciada para consumo fresco y la elaboración de postres, debido a sus cualidades de color, aroma y acidez, además es una fruta rica en vitaminas A y C. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018)

### ***2.1.1. Flores***

Las flores se originan de las yemas auxiliares, desarrollándose en ramilletes que crecen fuera de la bráctea. La flor primaria es la primera flor que se forma. Las flores secundarias se desarrollan bajo la flor primaria. Se pueden desarrollar flores terciarias bajo éstas y así continúa el patrón de desarrollo. (Balda, 2018 pág. 12)

### ***2.1.2. Fruta***

Típicamente se desarrollan 5-6 frutas por encima de cada bráctea, pero pueden desarrollarse más. Las flores primarias se convierten en fruta primero y son las frutas más grandes. Las flores secundarias son las segundas en desarrollarse y llegan a ser las frutas segundas más grandes en tamaño y así sucesivamente.

Técnicamente la fruta son los muchos, pequeñitos aquenios encima de la epidermis de la fresa (el receptáculo) los que se miran como semillas. Los aquenios se desarrollan de los pistilos polinizados. El receptáculo es la parte que le gusta comer a la gente, tradicionalmente el receptáculo es la parte llamada la fruta o la fresa. (Balda, 2018 pág. 13)

### ***2.1.3. Corona***

La corona es la parte central de la planta de la fresa que descansa sobre la superficie del suelo y forma las raíces a la base. La corona es un tallo comprimido del cual las yemas axilares se forman produciendo crecimientos vegetativos (verde) y ramilletes de flores. (Balda, 2018 pág. 13)

#### **2.1.4. Hojas**

Las hojas de la fresa están típicamente compuestas de tres folíolos, este tipo de hoja es “trifoliada.” Las hojas crecen en un patrón espiral con las hojas más nuevas en el centro de la espiral. Las hojas se forman durante toda la temporada de crecimiento, cada 8-12 días. Los nutrientes que circulan dentro de la planta viajarán hacia las hojas más nuevas para ayudar en su desarrollo. Las hojas maduras permanecerán vivas en la planta por varios meses. (Balda, 2018 pág. 14)

#### **2.1.5. Raíces**

Las raíces crecen en la capa del suelo a una profundidad de 12-16”, el 75% de las raíces activas crecen en la capa superior del suelo a 6” de profundidad. El suelo que está cerca de la superficie es el que está más aireado. Las raíces de las plantas necesitan oxígeno para llevar a cabo la respiración. (Balda, 2018 pág. 15)

### **2.2. Almacenamiento de plántulas de fresa**

Las plántulas se deben proteger de la radiación solar directa en un cuarto frío, ya que la exposición a la radiación incrementa la velocidad del deterioro, para mantener la calidad de las plántulas de fresa, es importante controlar la temperatura y humedad; de ser posible, se puede llevar a atmósferas controladas durante el almacenamiento con una temperatura de 4 a 6°C y 80 a 90% de humedad relativa, bajo estas condiciones se reduce la tasa de respiración de las plántulas fresas que es muy alta y las plántulas se pueden conservar en perfectas condiciones de 15 a 20 días. (Maroto Borrego, 2008 pág. 406)

### **2.3. Refrigeración**

Es la rama de la termodinámica que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperaturas inferiores con respecto a los

alrededores correspondientes. Otra forma de definirlo sería como, el desarrollo en un espacio dado de temperatura menor que la que se tiene en otro espacio o en el espacio adyacente.

La refrigeración se basa primordialmente en dos principios básicos conocidos como la primera y la segunda leyes de la termodinámica. La primera de ellas establece que la energía no se crea ni se destruye, si desaparece energía en una forma, debe reaparecer en otra, es decir, no puede aparecer energía en una manifestación sin que se registre una reducción correspondiente en otra de sus formas. (Martinez, 2010 pág. 33)

## **2.4. Descripción general de los sistemas de refrigeración**

Los sistemas de refrigeración consisten en adecuaciones mecánicas que usan las propiedades termodinámicas para realizar un intercambio de energía en forma de calor entre dos o más cuerpos. Específicamente la refrigeración es la ciencia que estudia los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto de los alrededores correspondientes. El calor siempre fluye de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, es decir siempre se tiene un flujo de calor hacia la zona refrigerada de las zonas calientes de alrededor, por lo que se necesita un material aislante que mantenga al mínimo el flujo de calor. En cualquier proceso de refrigeración se utiliza un fluido, una sustancia necesaria para la extracción de calor que se le denomina refrigerante. Cuando el calor absorbido causa un aumento en la temperatura de este, se dice que el proceso de enfriamiento es sensible, mientras que cuando el calor absorbido causa un cambio en el estado físico, se dice que el proceso de enfriamiento es latente. (Franco Lijó, 2006)

### ***2.4.1. Aplicación de los sistemas de refrigeración***

Existen diversas aplicaciones para los sistemas de refrigeración como son:

- Acondicionamiento ambiental, alcanzando un grado de confort adecuado.

- Conservación de alimentos o productos perecederos como carnes, lácteos, frutas y verduras, conservación de semillas, medicamentos, en la medicina transporte de órganos entre otros.
- Procesos industriales, se reduce la temperatura de materiales para un buen desarrollo, como en el mecanizado y producción de plástico.
- Criogénesis es usada para licuar gases o en investigaciones científicas.
- Motores de combustión interna.
- Máquinas y Herramientas.
- Aparatos electrónicos.
- Electrodomésticos

## 2.5. Ciclos de refrigeración

Los ciclos de refrigeración tienen 4 principales procesos dos procesos isotérmicos y dos adiabáticos. Los principales ciclos de refrigeración son: ciclo de refrigeración inverso de Carnot, Ciclo de refrigeración por compresión de vapor y ciclo de refrigeración por absorción.

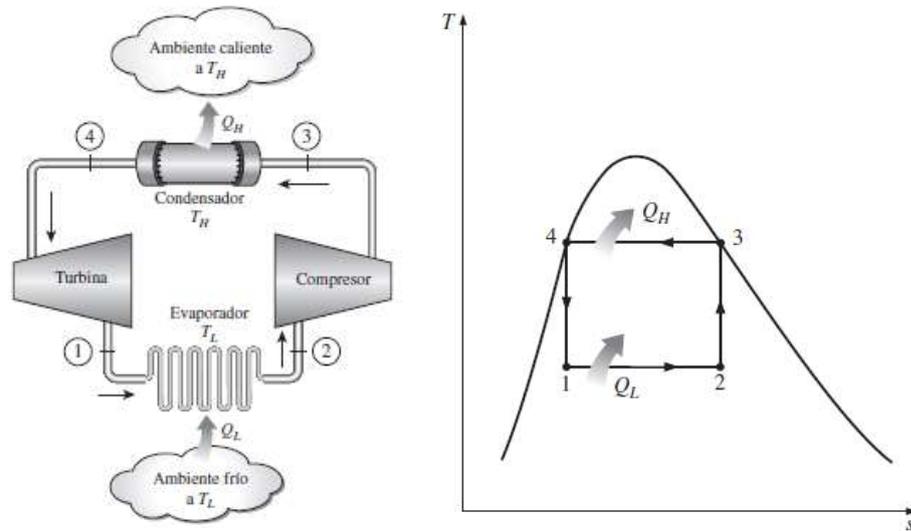
### 2.5.1. Ciclo inverso de Carnot

Según (Bravo Méndez, 2011 pág. 20), “Al igual que el ciclo de Carnot es también un ciclo reversible, los cuatro procesos que comprende el ciclo de Carnot pueden invertirse. El resultado es un ciclo que opera en dirección opuesta a las manecillas del reloj en el diagrama T-s. Actualmente este ciclo de refrigeración es el más eficiente que opera entre dos niveles de temperatura específicos”. El proceso que realiza el ciclo es el siguiente:

- **Proceso 1-2:** El refrigerante absorbe calor isotérmicamente de una fuente de calor de baja temperatura a  $T_L$  la cantidad de  $Q_L$ .
- **Proceso 2-3:** Se comprime isoentrópicamente hasta el estado 3 (la temperatura se eleva a  $T_h$ ).

- **Proceso 3-4:** Rechaza calor isotérmicamente hacia un sumidero a la temperatura  $T_H$  en la cantidad de  $Q_H$ .
- **Proceso 4-1:** Se expande isoentrópicamente hasta el estado 1 (la temperatura desciende hasta  $T_L$ ).

Fuente: (Bravo Méndez, 2011 pág. 20)



**Figura 2-2:** Esquema y diagrama T-s del ciclo inverso de Carnot

Fuente: (Cengel , y otros, 2009 pág. 617)

### 2.5.2. Ciclo de refrigeración por compresión

Este ciclo de refrigeración por compresión es el más utilizado en lo que respecta a generación de frío, Es el que más se asemeja al ciclo de Carnot, tiene el mayor rendimiento teórico. El mayor problema que tiene el ciclo de refrigeración por compresión son los refrigerantes que afectan a la capa de ozono (Sistemas de refrigeración , 2018 pág. 7).

Estos sistemas son los más usados en la industria de refrigeración generalmente un sistema por compresión consta de cuatro elementos principales:

#### 2.5.2.1. *Compresor*

Comprime el refrigerante elevando su presión y temperatura, hasta el punto de que se pueda realizar la condensación, después se descarga el refrigerante al condensador. (Franco Lijó, 2006)

#### 2.5.2.2. *Condensador*

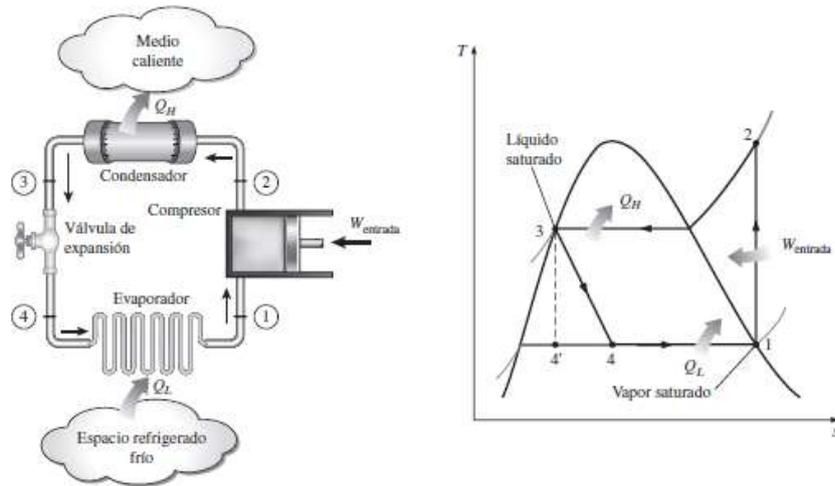
Este elemento cambia de estado al refrigerante de vapor a líquido. El fluido refrigerante entra en el condensador en estado de gas (vapor recalentado) y sale en estado líquido a la temperatura que se condensó o incluso a una temperatura menor si se produce subenfriamiento. El fluido refrigerante cede su calor al agente condensante (aire o agua). (Franco Lijó, 2006)

#### 2.5.2.3. *Dispositivo de expansión*

Hace que el fluido que entra en estado líquido sufra una caída de presión y temperatura hasta la necesaria en el evaporador. También controla la cantidad de fluido refrigerante que debe entrar en el evaporador. (Franco Lijó, 2006)

#### 2.5.2.4. *Evaporador*

Se encarga de enfriar o acondicionar la cámara, puede estar dentro o fuera de la misma. El objetivo de este elemento es hacer que el fluido refrigerante que entra a baja presión y temperatura empieza a enfriar ya que absorbe el calor externo del espacio que se requiere enfriar. (Franco Lijó, 2006)



**Figura 2-3:** Esquema y diagrama T-s para el ciclo de refrigeración por compresión

Fuente: (Cengel , y otros, 2009 pág. 622)

### 2.5.3. Refrigeración por absorción

Este proceso utiliza el calor como fuerza motriz en vez de un compresor, es efectivo este sistema cuando el calor es abundante o barato o cuando es producto secundario de otro proceso, este sistema es parecido al de un caldero, excepto por las tuberías de agua enfriada y de agua del condensador. Los quemadores de gas son partes del sistema si se trata de un enfriador de disparo directo. Existe gran variedad de sistemas de absorción, los pequeños sistemas son en general compactos mientras que los más grandes vienen por partes, para el fácil acceso y montaje en fábricas, comúnmente posee las siguientes partes un sistema de absorción: (William C. Whitman, y otros, 2012 pág. 20)

- Generador
- Condensador
- Evaporador
- Absorbedor



**Figura 2-4:** Sistema de refrigeración por absorción

Fuente: (Calderón, 2018)

Según (Faires & Simmang, 1983) “La ventaja que se deriva del ciclo de absorción es que el líquido, y no una sustancia gaseosa, es bombeado desde la región de presión baja hasta la de presión elevada, con la consecuencia de un trabajo considerablemente menor”.

Este ciclo de absorción está compuesto por tres procesos que son: la condensación realizada por el condensador, la evaporación generada por el evaporador y la expansión efectuada por la válvula de expansión. Pero a ello y para diferenciarse del ciclo de compresión reemplaza el compresor por el absorbedor y generador, estos dos componentes tienen la misión de presurizar el fluido refrigerante. (Sistemas de refrigeración , 2018 pág. 15)

## 2.6. Refrigerantes

Se le denomina refrigerante a la sustancia o cuerpo que tiene la capacidad de absorber calor de otro cuerpo o sustancia con el fin de reducir la temperatura, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cual alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente. Los refrigerantes varían de acuerdo con el tipo de refrigeración, es decir para refrigeración por compresión de vapor y para refrigeración por compresión, debe tener ciertas características químicas, físicas y termodinámicas que garanticen satisfacer las necesidades para la cual será aplicada. (Vargas, 2013 pág. 35)

Los refrigerantes halocarbonados se clasifican en cuatro grupos: clorofluorocarbonos (CFC), que contienen carbono, cloro y flúor; hidroclorofluorocarbonos (HCFC), que consisten en carbono, hidrógeno, cloro y flúor; hidrofluorocarbonos (HFC), que contienen carbono, hidrógeno y flúor; e Hidrofluorolefinas (HFO), que son refrigerantes HFC derivados de un alqueno (olefina; es decir, un Compuesto insaturado que tiene al menos un doble enlace carbono a carbono. (Ashrae , 2018 pág. 1.1)

### 2.6.1. CFC: (Carbono, Cloro, Flúor)

“Clorofluorocarbono, no contienen hidrogeno en su molécula química y por lo tanto es estable, esta estabilidad hace que permanezca mucho tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y es una de las causas del efecto invernadero” (Mundohvacr, 2018).

**Tabla 2-1:** Refrigerantes CFC

Refrigerantes CFC	Capacidad (lb)	Lubricante	Aplicación	Reemplazo
R11	100, 200, 650	Mineral, Alkybenzene	Centrifuga, Chilleres	—
R12	30, 50, 145, 1000, 2000	Mineral, Alkybenzene	Temperatura media y baja refrig. Auto A/C	—
R13	5, 9, 23, 80	Mineral, Alkybenzene	Muy baja temperatura refrig.	—
R13B1	5, 10, 28, 90	Mineral, Alkybenzene	Muy baja temperatura refrig.	—
R113	100, 200, 690	Mineral, Alkybenzene	Comercial e industrial A/C	—
R114	30, 150	Mineral, Alkybenzene	Procesos industriales, chilleres centrifugos	—
R500	30, 125	Mineral, Alkybenzene	Comercial A/C	—

**Tabla 2-1(Continua): Refrigerantes CFC**

R502	30, 50, 125	Mineral, Alkybenzene	Media y baja temperatura refrig.	—
R508B	5, 9, 20, 80	Mineral, Alkybenzene	Muy baja temperatura refrig.	—

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** (NATIONAL REFRIGERANTS, 2018)

### 2.6.2. HCFC: (Carbono, Hidrógeno, Cloro, Flúor)

“Es similar al anterior, pero con átomos de hidrogeno en su molécula. Posee un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono” (Mundohvacr, 2018).

**Tabla 2-2: Refrigerantes HCFC**

Refrigerantes HCFC	Capacidad (lb)	Lubricante	Aplicación	Reemplazo
R22	15, 30, 50, 125, 1000, 1750	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrig. autoA/C	—
R123	100, 200, 650	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Bajo presión chillers centrífugos	R11
R124	30, 125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Alta refrigeración ambiental	R114
R401A	30, 125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Baja temperatura refrig.	R12
R401B	30, 125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrig.	R12

**Tabla 2-2 (Continua): Refrigerantes HCFC**

R402A	27, 110	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrig.	R502
R402B	13	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Máquinas de hielo	R502
R403B	25, 110	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Baja temperatura refrig.	R31B1
R408A	24-100	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrig.	R502
R409A	30, 125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrig.	R12
R414B	25-110	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrig. autoA/C	R12
R416A	25-125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media refrig. autoA/C	R12

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: (NATIONAL REFRIGERANTS, 2018)

### **2.6.3. HFC: (Carbono, Hidrógeno, Flúor)**

“Es un Hidrofluorocarbono sin cloro con átomos de hidrogeno sin potencial destructor de la capa de ozono dado que no contiene cloro (R-134a, 141b)” (Mundohvacr, 2018).

**Tabla 2-3: Refrigerantes HFC**

Refrigerantes HFC	Capacidad (lb)	Lubricante	Aplicación	Reemplazo
R23	5lb, 9lb, 20lb, 70lb	Poliester	Muy baja temperatura refriger.	R13, R503
R134a	20oz, 30lb, 125lb, 1000lb, 1750lb	Poliester	Temperatura media refriger auto A/C	R12
R404A	24lb, 100lb, 1300lb	Poliester	Muy baja temperatura refriger.	R502
R407C	25lb, 115lb	Poliester	A/C	R22
R410A	25lb, 110lb	Poliester	A/C	R22
R417A	25lb, 110lb	Mineral, Poliester, alkybensene	Temperatura media ref., A/C	R22
R422A	25lb, 110lb	Mineral, Poliester, alkybensene	Media y baja temperatura refriger.	R502, R22
R507	25lb, 100lb, 1400lb	Poliester	Media y baja temperatura refriger.	R502
R508B	5lb, 10lb, 20lb, 70lb	Mineral, Poliester, alkybensene	Muy baja temperatura refriger.	R502, R13

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: (NATIONAL REFRIGERANTS, 2018)

#### **2.6.4. HFO: (Hidrofluorolefinas)**

Los HFO (Hidrofluorolefinas) son la cuarta generación de gases con base de flúor, están formados por átomos de hidrógeno, fluorina y carbono conectados por al menos una unión doble entre los átomos de carbono.

Los refrigerantes HFO que se conocen son los siguientes: R-1234ze, R-1234yf, R1234zd, que tienen un potencial de agotamiento del ozono igual a cero, por lo que suponen una alternativa más inocua para el medio ambiente que los HFC (Linde, 2019).

Para la refrigeración por compresión de vapor, los refrigerantes seleccionados deben cumplir con las siguientes características: No ser corrosivos, no ser inflamables, operables a baja presión, debe ser un gas estable, entre otras. Con el avance de la tecnología surgen nuevos compuestos para refrigerantes que cumplieran con los requisitos los denominados hidrofluorocarbonados (HFC). (Sistemas de refrigeración , 2018 pág. 9)

Los refrigerantes más usados son R407C, R410, R 134A y R 404A para equipos de refrigeración como aires acondicionados hasta plantas de congelación. (Sistemas de refrigeración , 2018 pág. 10)

En sistema de refrigeración por absorción se utiliza una mezcla binaria la cual consta de un refrigerante y absorbente, las combinaciones refrigerante-absorbente más utilizadas en este tipo de refrigeración son, NH<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O El amoníaco como refrigerante y el agua como absorbente, NaSCN - H<sub>2</sub>O El tiocianato sódico como refrigerante el agua como absorbente, NH<sub>3</sub> - LiNO<sub>3</sub> El amoniaco como refrigerante y agua nitrato de litio como absorbente.,H<sub>2</sub>O - LiBr El agua como refrigerante y bromuro de litio como absorbente. (Bravo Méndez, 2011 pág. 22)

## **2.7. Cuarto frío**

Una cámara frigorífica o cuarto frío es un almacén en el que se genera artificialmente una temperatura específica. Generalmente está diseñado para el almacenamiento de productos en un ambiente por debajo de la temperatura exterior. Los productos que necesitan refrigeración incluyen frutas, verduras, mariscos, carne, flores, además debemos tomar en cuenta lo siguiente. (Solís, 2018)

- Las frutas y los vegetales continúan respirando y generan calor durante el almacenamiento.
- La mayoría debe congelarse en un rango de temperaturas, en lugar de una sola temperatura.
- La calidad de alimentos congelados se ve muy afectado por la tasa de congelación.
- La velocidad de refrigerado el aire afecta la tasa de pérdida de humedad en los productos.

### ***2.7.1. Aplicación de los cuartos fríos***

Sin importar qué productos contengan, estos cuartos son muy útiles para:

- **Recepción de mercancía:** Las normas sanitarias exigen que negocios como almacenes y restaurantes cuenten con una temperatura adecuada para recibir sus materias primas, que posteriormente serán colocadas en distintos puntos. Un buen sistema de refrigeración es crucial para estos casos.
- **Almacenaje y manipulación de productos:** Esto permite un incremento en la producción y comercialización, alargando la vida útil y facilitando la transformación de productos
- **Exhibición de productos:** En estos casos, es muy común el uso de puertas Walk in o Reach in, que permiten al consumidor final acceder fácilmente a los productos, y al mismo tiempo tener un punto de venta mucho más atractivo

## **2.8. Limpieza y sanitación de cuartos fríos**

Las cámaras de refrigeración y congelación son ampliamente utilizadas en la industria y se utilizan para mantener en condiciones óptimas los productos que requieren control de temperatura y alargar la vida útil de los productos perecederos.

Mantener bajas temperaturas no es el único factor importante que cuidar en un cuarto frío. La limpieza y sanitación de estos espacios es primordial para evitar que lo que se almacena se contamine, absorba malos olores o se ensucie. (González, y otros, 2013 pág. 16)

### ***2.8.1. Diferencia entre limpiar y sanitizar***

Cuando se limpia una cámara fría el objetivo es remover la suciedad visible de paredes, pisos, coladeras, techos, puertas, lámparas y estanterías o racks. El tipo de suciedad más

frecuente en estos espacios son restos de alimentos, agua, polvo, grasa, empaques, pedazos de madera de tarimas y basura. En general se trata materia orgánica e inorgánica que puede llegar a contaminar lo que se almacena si no se retira, y servir de alimento para los microorganismos que se encuentren en estas superficies. En ocasiones la limpieza puede hacerse en seco y en otras con agua y detergentes. Posteriormente es necesario hacer una etapa complementaria, que es la sanitización, la cual permite eliminar los microorganismos presentes en las superficies a través de la aplicación de sustancias químicas llamadas sanitizantes. Ambos procesos, realizados correctamente, tienen finalidades distintas: con la limpieza se elimina la suciedad visible, con la sanitización se debe eliminar el 99.99% de los microorganismos. (González, y otros, 2013 pág. 19)

### ***2.8.2. Aspectos de un proceso de limpieza y sanitización efectivos***

La limpieza y la sanitización de cámaras frías debe ser realizada de tal forma que se evite crear condiciones favorables que propicien la acumulación y proliferación de microorganismos, dañen los equipos, contaminen los productos que ahí se almacenan, comprometan la seguridad del personal por accidentes y contaminen el medio ambiente. Por lo anterior es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos. (González, y otros, 2013 pág. 17)

#### ***2.8.2.1. Los productos químicos***

La elección de los productos químicos para limpieza y sanitización debe hacerse principalmente de acuerdo a la superficie que se desee tratar.

Para determinar el tipo de detergente más adecuado se debe pensar en el tipo de suciedad que se va a limpiar. Por ejemplo, la suciedad que se genera cuando se manejan alimentos requiere remover proteínas, grasas o azúcares, diferente a la suciedad que se genera en una cámara que almacena vacunas, equipo quirúrgico o medicamentos. (González, y otros, 2013 pág. 17)

Los sanitizantes ayudan a eliminar los microorganismos que causan los malos olores. Es recomendable rotar el tipo de sanitizantes durante el año para evitar generar resistencia

de los microorganismos. (González, y otros, 2013 pág. 17). caso contrario se pueden lavar con un limpiador que contenga Hipoclorito de sodio o fosfato trisódico, luego enjuagados y aireados. Las cajas de campo y el equipo se pueden limpiar con 0.25% de calcio soluciones de hipoclorito o exponiendo al vapor durante 2 minutos. (Ashrae , 2018 pág. 21.10)

Las características de los productos Sanitizantes se muestran en el Anexo A

#### 2.8.2.2. *La calidad del agua*

Es indispensable la buena calidad del agua que se utiliza para la limpieza, pues contenido de sales y otras propiedades fisicoquímicas también determinan la efectividad del proceso. Las sales generan un tipo de “suciedad” que puede ser invisible, pues muchas veces no se percibe a simple vista, sin embargo, está presente y favorece la formación de biocapas, que junto con microorganismos y algunos de sus desechos pueden representar un importante peligro para la salud, cuando quedan adheridos en esta biocapas microorganismos patógenos. (González, y otros, 2013 pág. 18)

#### 2.8.2.3. *Los utensilios*

Una forma de lograr adecuados procesos de limpieza es utilizando utensilios que vayan de acuerdo a lo que se va a limpiar, en forma, tamaño, dureza de las cerdas, etc. En las cámaras frías probablemente se requieran cepillos con cerdas duras para los pisos, y más suaves para las paredes; con mangos largos para alcanzar áreas de difícil limpieza, ya que nunca deben descuidarse, como paredes altas y techos. Así mismo, utensilios adecuados para limpieza de lámparas y empaques de puertas. Debe procurarse mantener los utensilios en buenas condiciones y almacenarse limpios en lugares exclusivos. (González, y otros, 2013 pág. 18)

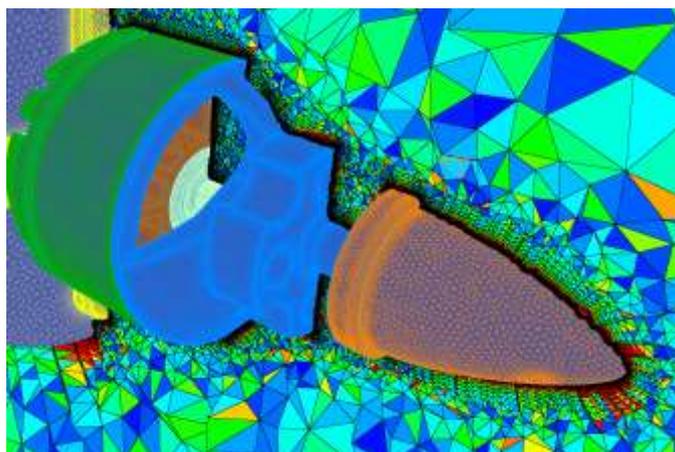
## 2.9. Método de volúmenes finitos

El método de Volúmenes Finitos es una técnica de discretización que permite la simulación numérica de diversos tipos (elípticas, parabólicas o hiperbólicas) de leyes de conservación.

Se utiliza en varios campos de la ingeniería, como la mecánica de fluidos, y transferencia de calor y masa, o la ingeniería química y metalúrgica. Algunas de las características importantes del método de Volúmenes Finitos son similares a las del Método de Elementos Finitos: puede ser utilizado en geometrías arbitrarias, el uso de mallas no estructuradas, y esquemas robustos (SEPÚLVIDA, 2014).

El método no se limita sólo a problemas de mecánica de fluidos, y de forma general envuelve los siguientes pasos:

1. Descomponer el dominio en volúmenes de control;
2. Formular las ecuaciones integrales de conservación para cada volumen de control;
3. Aproximar numéricamente las integrales;
4. Aproximar los valores de las variables en las caras y las derivadas con la información de las variables nodales;
5. Ensamblar y resolver el sistema algebraico obtenido.



**Figura 2-5:** Mallas superficial coloreada por la razón de aspecto de la celda

Fuente: (SEPÚLVIDA, 2014).

## **CAPÍTULO III**

### **3. CALCULO DE LA CARGA TERMICA**

#### **3.1. Generalidades**

Para realizar el diseño del cuarto frío, consideraremos las propiedades a las que debe mantener las plántulas de fresa, las cuales son una temperatura de 4 a 6°C y una humedad del 80 a 90%, además debemos tomar en cuenta los siguientes parámetros: volumen de la cámara de conservación, ubicación, temperatura exterior, temperatura interior y temperatura del piso, humedad exterior e interior, velocidad del viento, capacidad de almacenamiento, entre otros.

#### **3.2. Cálculo de las cargas térmicas**

El cálculo de la carga térmica de una cámara de conservación tiene por objetivo la determinación de la cantidad de calor que se debe extraer en un tiempo determinado, para mantener en su interior la humedad y temperatura requerida.

Las cargas térmicas según ASHRAE son:

1. Carga por transmisión.
2. Carga del producto.
3. Cargas por infiltraciones de aire.
4. Cargas internas.

La carga calculada se incrementa típicamente por un factor de seguridad (10% o más se usa a menudo), para permitir posibles discrepancias entre criterios de diseño y

funcionamiento actual. Este factor debe ser seleccionado en consulta con el usuario de la instalación y debe aplicarse a la carga de calor. (Ashrae , 2018 pág. 24.8)

**Tabla 3-1:** Datos del producto

Datos Producto				
Descripción	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Numero de Cajas	500	cajas	-	-
Peso de la caja	15,44	lb	7	kg
Masa Total (m)	7716,18	lb	3500	kg
Temperatura de Congelación	31	°F	-0,56	°C
Calor de respiración (C <sub>r</sub> )	0,055	W/ kg		
Calor específico > 31°F (C <sub>p</sub> )	0,92	BTU/lb °F		

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:**

Numero de cajas, Peso de la caja, Masa total, Temperatura de entrada de las plántulas: Autor

Temperatura de congelación, Calor específico, Calor latente de fusión: (Ashrae , 2018 pág. 19.4)

Calor de respiración: (Ashrae , 2018 pág. 19.20)

**Tabla 3-2:** Datos de la cámara

Datos De la Cámara				
Ubicación de la cámara	Ambato, parroquia Huachi Grande			
Ancho (a)	13,12	ft	4	m
Largo (b)	16,40	ft	5	m
Alto (c)	8,20	ft	2,5	m
Volumen de la cámara (V)	1765,73	ft <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>
Tiempo de enfriamiento (n)	6 horas			
Horas de servicio por día	24 horas			

**Tabla 3-2 (Continua):** Datos de la cámara

Temperatura de la cámara (T <sub>i</sub> )	39,20	°F	4	°C
Humedad de la cámara	85%			
Temperatura del ambiente (T <sub>e</sub> )	77	°F	25	°C
Humedad del ambiente	60%			
Temperatura del piso (T <sub>p</sub> )	53,6	°F	12	°C
Velocidad exterior del Viento (v)	1,5		m/s	
Densidad del aire (ρ)	1,225		kg/m <sup>3</sup>	
Área de la puerta (A <sub>p</sub> )	2		m <sup>2</sup>	
Entropía a la temperatura exterior (h <sub>e</sub> )	55,47		Kj/kg	
Entropía a la temperatura interior (h <sub>i</sub> )	14,75		Kj/kg	

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:**

Ubicación de la cámara, Ancho, largo, Alto, Horas de servicio por día, Temperatura ambiente, Temperatura del piso, Humedad ambiente, Velocidad del viento, Área de la puerta: Autor

Temperatura de la cámara, Humedad de la cámara: (Ashrae , 2018 pág. 21.4)

Tiempo de enfriamiento: (Peña, 2019)

Densidad del aire: (Cengel , y otros, 2009 pág. 950)

Entropías: Cartas psicométricas

### 3.2.1. Cargas por transmisión

La cámara de conservación será diseñada con paneles frigoríficos de poliuretano, debido a la fácil accesibilidad y al ahorro de tiempo en relación a si las paredes y el techo son construidas, el piso será diseñado de concreto, con una capa de poliuretano como aislante y sobre esta irá losa, esto servirá para tener una homogenización con las cámaras de conservación ya existentes.

Con la ecuación 1 se calcula el coeficiente global de transferencia de calor y esta viene del circuito térmico que esta dado por los materiales y espesores de estos.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{1}{h_i}} \quad (1)$$

Donde:

$U$ = Coeficiente global de transferencia de calor (BTU/h ft<sup>2</sup> °F)

$h_e$ = Coeficiente de transferencia por convección exterior (BTU/h ft<sup>2</sup> °F)

$e_1$ = Espesor del material uno (ft)

$k_1$ = Conductividad térmica del material uno (BTU/h ft °F)

$e_2$ = Espesor del material dos (ft)

$k_2$ = Conductividad térmica del material dos (BTU/h ft °F)

$h_i$ = Coeficiente de transferencia por convección interior (BTU/h ft<sup>2</sup> °F)

El esquema del circuito térmico se muestra en el Anexo B, para el cálculo se utilizará un coeficiente global de transferencia de calor dado por el proveedor de paneles frigoríficos y este se muestra en el Anexo C

**Tabla 3-3:** Coeficiente Global de transferencia de calor para paredes, techo y piso

	BTU/h ft <sup>2</sup> °F
Pared 1	0,04
Pared 2	0,04
Pared 3	0,04
Pared 4	0,04
Techo	0,04
Piso	0,15

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** (Hiansa, 2017)

La carga de transmisión de calor es la cantidad de calor ganado a través de las paredes, piso y techo por convección, esta ganancia de calor depende del tipo de construcción

(materiales), temperatura exterior, temperatura interior de la cámara; el área de la superficie exterior y el coeficiente global de transferencia de calor, con la ecuación 2 vamos a calcular el calor por transmisión para paredes, techo y piso

$$Q = U \times A \times (T_e - T_i) \quad (2)$$

Donde:

Q= Pérdida de calor por transmisión (BTU/h)

U= Coeficiente global de transferencia de calor (BTU/h ft<sup>2</sup> °F)

A= Área perpendicular al flujo de calor (ft<sup>2</sup>)

T<sub>e</sub>= Temperatura exterior (°F)

T<sub>i</sub>= Temperatura interior (°F)

Por lo tanto, las pérdidas por transmisión son:

**Tabla 3-4:** Pérdidas de calor por transmisión

	U (BTU/h ft <sup>2</sup> °F)	A (ft <sup>2</sup> )	(T <sub>e</sub> - T <sub>i</sub> ) °F	Q (BTU/h)
Pared 1	0,04	107,64	37,8	172,8
Pared 2	0,04	134,55	37,8	216
Pared 3	0,04	107,64	37,8	172,8
Pared 4	0,04	134,55	37,8	216
Techo	0,04	215,28	37,8	345,6
Piso	0,15	215,28	24,8	77,9
			Total	1201,1

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Autor

### 3.2.2. Carga térmica del producto a conservar

#### 3.2.2.1. Calor del producto para llevarlo a la temperatura del cuarto frío

Es la cantidad de calor que debe ser retirado del producto a conservar desde la temperatura exterior hasta la temperatura de la cámara que estará por encima del punto de congelación y dependerá de la masa del producto, del calor específico, las temperaturas exteriores e interiores y del tiempo de enfriamiento.

Con la ecuación 3 se calcula el calor que debe ser retirado para enfriar el producto desde la temperatura ambiente hasta la temperatura a la que las plántulas van a ser conservadas

$$Q = \frac{m \times C_p \times (T_e - T_i)}{n} \quad (3)$$

Donde:

Q= Carga térmica debido al producto a conservar (BTU/h)

m= Masa del producto (lb)

C<sub>p</sub>= Calor específico del producto por encima del punto de congelación (BTU/lb °F)

T<sub>e</sub>= Temperatura exterior (°F)

T<sub>i</sub>= Temperatura interior (°F)

n= Tiempo de enfriamiento (h)

$$Q = \frac{(7716,18 \text{ lb}) \times (0,92 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}) \times (77 ^\circ\text{F} - 39,2 ^\circ\text{F})}{(6 \text{ h})}$$

$$Q = 44779,25 \text{ BTU/h}$$

### 3.2.2.2. *Calor de respiración por parte del producto conservado*

El calor de respiración se da en frutas y verduras en su conservación, puesto que este tipo de producto son materias vivas, las cuales se hallan sujetas a cambios durante su almacenamiento.

Estos cambios son debidos a la respiración en el proceso de maduración en donde el oxígeno del aire se combina con el carbono de los tejidos del fruto, dicha reacción, hace que se desprenda energía en forma de calor, donde este calor pasa a ser parte de la carga de calor del producto. (Ochoa, 2008 pág. 262)

Con la ecuación 4 vamos a calcular el calor de respiración generado por las plántulas cuando estas están almacenadas.

$$Q = 3,41 \times m \times Cr \quad (4)$$

Donde:

Q= Calor de respiración (BTU/h)

m= Masa del producto (kg)

Cr= Calor de respiración(W/kg)

El coeficiente del calor de respiración esta expresado en el Anexo D.

$$Q = 3,41 \times (3500 \text{ kg}) \times (0,0545 \text{ W/kg})$$

$$Q = 650,46 \text{ BTU/h}$$

Por lo tanto, las pérdidas debido al producto son:

**Tabla 3-5:** Perdidas de calor por producto

Carga térmica del producto a conservar	BTU/h
Calor del producto al bajar la temperatura a la de la cámara de conservación	44779,25
Calor por respiración	650,46
TOTAL	45429,75

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: Autor

### 3.2.3. Carga térmica por infiltración

#### 3.2.3.1. Infiltración por apertura de puertas

Cada vez que la puerta se abre el aire exterior ingresa en la cámara de conservación. La humedad y temperatura de este aire cálido deben ser integrados a las condiciones interiores, con un incremento de la carga térmica.

Con la ecuación 5 se calcula el calor que se pierde cada por apertura de puerta en el cuarto frío.

$$Q = 3,41 \times v \times \rho \times A \times (h_e - h_i) \quad (5)$$

Donde:

Q= Carga térmica por aperturas de puertas (BTU/h)

v= Velocidad promedio del aire (m/s)

$\rho$  = Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)

A= Área de la puerta (m<sup>2</sup>)

h<sub>e</sub>= Entropía a la temperatura exterior (Kj/kg)

h<sub>i</sub>= Entropía a la temperatura interior (Kj/kg)

$$Q = 3,41 \times (1,5 \text{ m/s}) \times (1,225 \text{ kg/m}^3) \times (2\text{m}^2) \times (55,47 \text{ Kj/kg} - 14,75 \text{ Kj/kg})$$

$$Q = 510,3 \text{ BTU/h}$$

### 3.2.3.2. *Infiltración debido a los cambios de aire*

Debido a la necesidad de mantener una calidad del aire en el interior de la cámara existe la necesidad de renovar el aire del interior de esta, por lo que hay que llevar el aire desde las condiciones exteriores hasta las condiciones del interior de la cámara (Diaz, 2016 pág. 31)

$$q' = ACH \times \frac{V}{60} \quad (6)$$

Donde:

$q'$  = Infiltración (cfm)

ACH = Cambios de aire por hora (0,5ACH – 1,5ACH)

V = Volumen de la cámara ( $\text{ft}^3$ )

$$q' = 1,5 \times \frac{1765,73 \text{ ft}^3}{60}$$

$$q' = 44,9 \text{ cfm}$$

Con la ecuación 7 se calcula el calor que se pierde cada vez que se renueva el aire en el cuarto frío.

$$Q = 1,10 \times q' \times (T_e - T_i) \quad (7)$$

Donde:

Q= Pérdida de calor por ventilación (BTU/h)

q' = Infiltración (cfm)

T<sub>e</sub>= Temperatura exterior (°F)

T<sub>i</sub>= Temperatura interior (°F)

$$Q = 1,10 \times (44,9 \text{ cfm}) \times (77 \text{ }^\circ\text{F} - 39,2 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$Q = 1835,5 \text{ BTU/h}$$

Por lo tanto, las pérdidas por infiltración son:

**Tabla 3-6:** Pérdidas de calor por infiltración

Carga térmica por infiltración	BTU/h
Infiltración por aperturas de puerta	510,3
Infiltración debido a los cambios de aire	1835,5
TOTAL	2345,8

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: Autor

### 3.2.4. Cargas internas

#### 3.2.4.1. Pérdidas de calor por personas

El personal que almacena o manipula productos de la cámara de conservación aporta calor, el calor que irradia una persona aumenta a medida que la temperatura baja, como se muestra a continuación. Con la ecuación 8 se calcula el calor que emanado por las personas que estén en el cuarto frío.

**Tabla 3-7:** Calor liberado por persona

<b>Refrigerated Space Temperature, °C</b>	<b>Heat Equivalent/Person, W</b>
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** (Ashrae , 2018 pág. 24.4)

$$Q = 3,41 \times n \times (272 - 6T) \quad (8)$$

Donde:

Q= Pérdida de calor por personas (BTU/h)

n= Número de personas (2 Personas)

T= Temperatura de la cámara (°C)

$$Q = 3,41 \times 2 \times (272 - 6 \times 4) \text{ BTU/h}$$

$$Q = 1691,36 \text{ BTU/h}$$

#### 3.2.4.2. *Pérdidas de calor por equipos*

Es necesario remediar las contribuciones caloríficas proporcionados por el motor del ventilador del evaporador. Para nuestro caso utilizaremos un motor de 120W de potencia, considerando que requiere suficiente ventilación y una velocidad de enfriamiento adecuada. Con la siguiente tabla vamos a encontrar la pérdida de calor por equipos.

**Tabla 3-8:** Ganancia de calor de los motores

Motor Rated, Kw	Motor Type	Nominal rpm	Full Load Motor Efficiency,%	Location of Motor and Driven Equipment with Respect to Conditioned Space or Airstream		
				A	B	C
				Motor in, Driven Equipment in, W	Motor out, Driven Equipment in, W	Motor in, Driven Equipment out, W
0,04	Shanded Pole	1500	35	105	35	70
0,06			35	170	59	110
0,09			35	264	94	173
0,12			35	340	117	223
0,19	Split phase	1750	54	346	118	158
0,25			56	439	246	194
0,37			60	621	372	249
0,56	3-Phase	1750	72	776	557	217
0,75			75	993	747	249

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** (Ashrae , 2018 pág. 24.4)

$$Q = 3,41 \times W \quad (9)$$

$$Q = 3,41 \times 120W$$

$$Q = 398,97 \text{ BTU/h}$$

Es el calor emitido por los motores que se pueden encontrarse en el interior de la cámara durante su ciclo de funcionamiento. Se considerará que el motor se encuentra en funcionamiento durante todo el ciclo de funcionamiento de la cámara correspondiente. (Díaz, 2016 pág. 32)

### 3.2.4.3. *Pérdidas de calor por iluminación*

Es el calor cedido debido a las lámparas, se usarán dos lámparas de focos de 40W cada una. Y con la ecuación 10 se determina el calor cedido por la iluminación.

$$Q = 3,41 \times n \times q \quad (10)$$

Donde:

Q= Pérdida de calor por iluminación (BTU/h)

n= Número de lámparas (2 lámparas de 40W)

q= Vatios de luces (W)

$$Q = 3,41 \times 2 \times 40W$$

$$Q = 272,8 \text{ BTU/h}$$

Por lo tanto, las cargas internas son:

**Tabla 3-9** Cargas internas

Cargas Internas	BTU/h
Perdidas de calor por personas	1691.36
Perdida de calor por equipos	398.97
Perdida de calor por iluminación	272.8
<b>TOTAL</b>	<b>2363.13</b>

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Autor

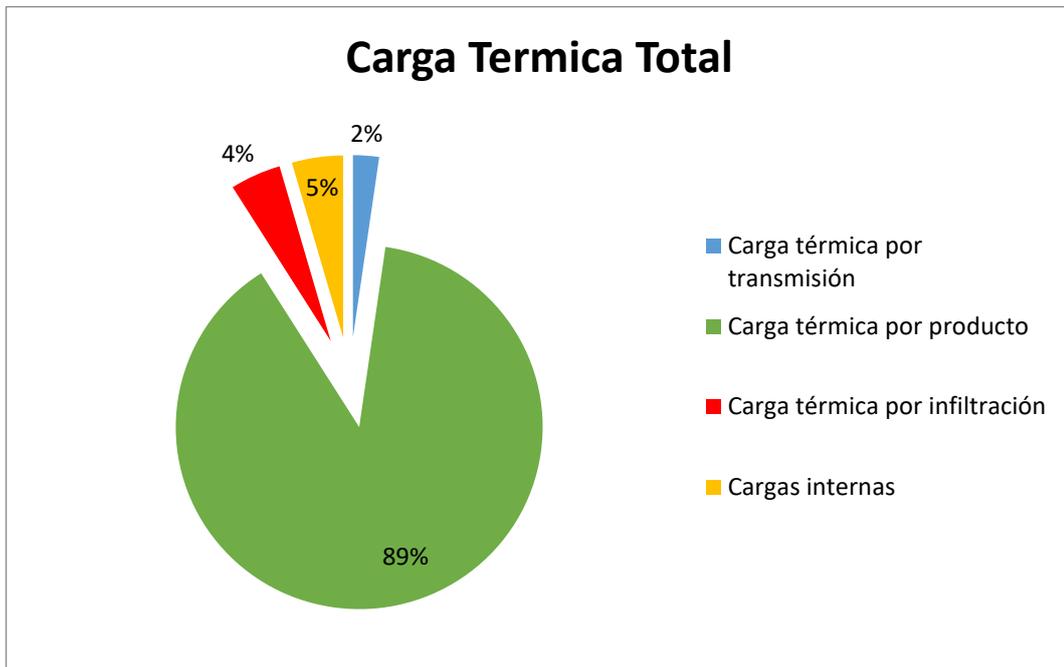
### 3.2.5. Carga térmica total.

**Tabla 3-10:** Carga térmica total

Carga térmica total	
Carga térmica por transmisión	1201,1 BTU/h
Carga térmica por producto	45429,75 BTU/h
Carga térmica por infiltración	2345,8 BTU/h
Cargas internas	2363,3 BTU/h
TOTAL	51340 BTU/h
TOTAL + 10% por factor de seguridad	56474 BTU/h
TOTAL + 10% por factor de seguridad	16,9 KW
TOTAL + 10% por factor de seguridad	22,6 Hp
TOTAL + 10% por factor de seguridad	14542.7 Kcal/h

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Autor



**Gráfico 3-1:** Carga térmica total

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

## CAPÍTULO IV

### 4. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

#### 4.1. Selección del Refrigerante

El gas refrigerante es el fluido térmico que circula por el sistema, es quien absorbe y rechaza calor en las diferentes etapas y equipos donde va circulando. Por lo tanto, se menciona como gas o sustancia portadora, capaz de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediendo calor a alta temperatura y absorbiéndolo a baja temperatura. Según se ha investigado no existe a la fecha algún refrigerante ideal, por lo tanto, en la búsqueda de uno se debe acercar lo más posible al óptimo considerando las variables que hacen único cada sistema. (Jara, 2013 pág. 28)

En la actualidad la industria exige que los procesos de almacenamiento que se ejecuten en cámaras de conservación se utilicen refrigerantes que causen un mínimo impacto ambiental y algunas de sus propiedades de seguridad son:

- Los refrigerantes, deben ser químicamente inertes en su estado puro como cuando están mezclados con humedad del aire en cierta proporción.
- El refrigerante no debe contaminar de ninguna manera los productos alimenticios.
- El refrigerante no debe alterar las condiciones naturales del medio ambiente, en el caso que los sistemas de refrigeración tengan alguna fuga, su grado de impacto en la destrucción de la capa de ozono debe ser nula.
- Baja afectación en el efecto invernadero.
- La toxicidad en los refrigerantes tiene que ser nula, es decir de grado 6 ya que en concentraciones muy grandes son nocivos para la persona que está expuesta.

- La inflamabilidad para cualquier concentración de refrigerante con aire debe ser nula.

Fuente: (García Montoya, 2006 pág. 91)

Los refrigerantes HFC son sustancias que están reemplazando a los antiguos refrigerantes, y es por este motivo y considerando sus propiedades en comparación a las de operación se determina la utilización del refrigerante R-404A.

#### 4.1.1. Refrigerante R-404A

El R-404A es una mezcla ternaria compuesta de refrigerantes a base de HFC (R-125, R-143A y R-134A). Sus características termodinámicas lo constituyen como el sustituto ideal del R-502 para el sector de la refrigeración en nuevas instalaciones para bajas y medias temperaturas. El R-404A se caracteriza por su notable estabilidad química y de un bajo deslizamiento de temperatura (Glide), de 0,7°C. Su principal aplicación son las instalaciones nuevas para bajas y medias temperaturas.

El R-404A es muy poco tóxico incluso con exposiciones prolongadas de tiempo. El AEL (Allowable Exposure Limit) es de 1000 ppm (8 horas, TWA). Los envases del R-404A deben almacenarse en lugares frescos y ventilados lejos de fuentes de calor. Los vapores, en caso de fuga tienden a acumularse a nivel del suelo. (Gas-Servei, 2019)

**Tabla 4-1:** Componentes del refrigerante R-404A

Nombre químico	%en peso	N- CAS	N- CE
1,1,1,2-Tetrafluoroetano(R-134A)	4	811-97-2	212-377-0
Pentafluoretano (R-125)	44	354-33-6	206-557-8
1,1,1, Trifluoretano (R-143A)	52	420-46-2	206-996-5

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** (Gas-Servei, 2019)

Las propiedades físicas del refrigerante R-404A se muestran en el Anexo E

## 4.2. Selección del evaporador

Es el elemento responsable de enfriar o acondicionar la cámara. Pueden estar dentro o fuera de la misma. Su misión es que el fluido refrigerante, que entra a baja presión y temperatura, efectúe el enfriamiento de la cámara. (Franco Lijó, 2006)

Para la selección del evaporador consideramos los siguientes parámetros:

- Capacidad: 14542.7 Kcal/h
- Superficie de intercambio: 20 m<sup>2</sup>
- Tipo de refrigerante: R-404A

En función a los parámetros antes mencionados y con la ayuda del catálogo mostrado en el Anexo F se seleccionó el evaporador modelo:

EVC 5 – 306/67 marca INTERCAL y sus características son las siguientes:

### Evaporador EVC 5 – 306/67 marca Intercal



**Figura 4-1:** Evaporador EVC 5 – 306/67

Fuente: Intercal

- EVC = Evaporador cúbico
- 5 = Separación entre aletas
- 30 = Diámetro de los ventiladores dividido por 10 (en este caso 300 mm)
- 6 = Número de ventiladores

- 67 = Superficie de intercambio en m<sup>2</sup>
- Capacidad: 14808 Kcal/h
- Superficie de intercambio: 66,55 m<sup>2</sup>
- Temperatura de evaporación: -10°C
- DT: 10°

Las demás características del evaporador se muestran en el Anexo F.

### **4.3. Selección del Condensador**

Son superficies de transferencia de energía, se encarga de pasar el estado de vapor del fluido refrigerante a estado líquido. El fluido en el condensador está en estado de gas (vapor recalentado) y sale en estado líquido a la temperatura que se condensó. La descarga se realiza al evaporador, el fluido refrigerante cede su calor al agente condensante. (Franco Lijó, 2006)

Para la selección del condensador consideramos los siguientes parámetros:

- Capacidad: 16.9 kW
- Modelo: Optyma™ Slim
- Tipo de refrigerante: R-404A
- Temperatura de evaporización: -10°C
- Delta de temperatura: 10°C

Para la selección del condensador nos ayudamos del software Coolselector2 y el seleccionado fue el condensador, Optyma™ Slim OP-HNXM0700UWG000Q marca Danfoss con las siguientes características:

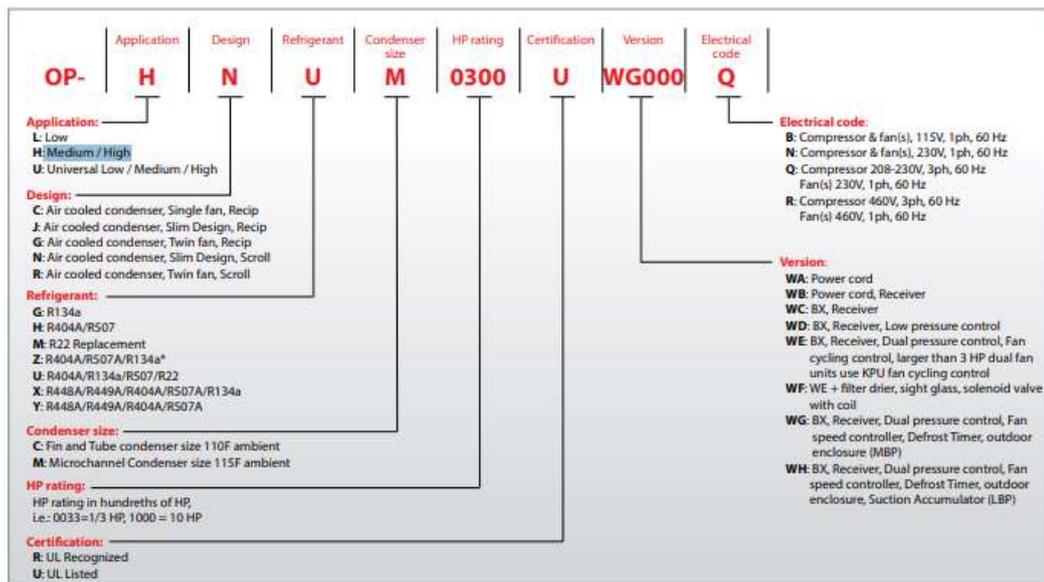
## Condensador OP-HNXM0700UWG000Q marca Danfoss



**Figura 4-2:** Condensador OP-HNXM0700UWG000Q

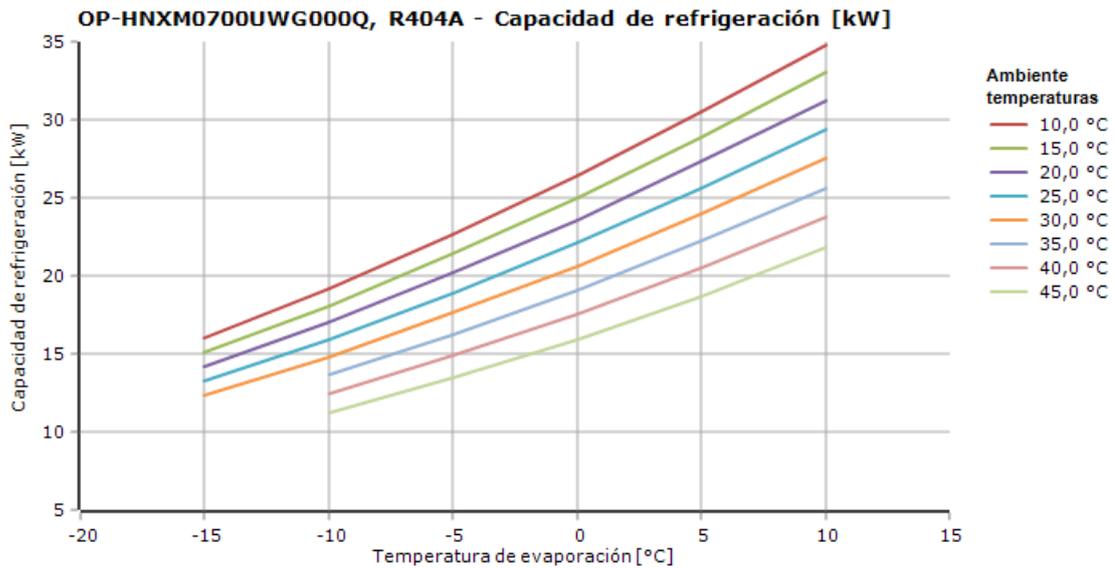
Fuente: (Danfoss, 2018)

- Código: 114N3500
- Modelo del compresor: MLZ048T2LQ9A
- Capacidad de refrigeración: 15.96 KW
- Consumo de potencia total: 5.931 KW



**Figura 4-3:** Optyma TM, unidad de condensación, Nomenclatura/Modelo N.

Fuente: (Danfoss, 2018 pág. 4)



**Gráfico 4-1:** Capacidad de refrigeración

Fuente: Coolselector2

Las características del condensador se muestran en el anexo G.

Las características del compresor se muestran en el anexo H.

#### 4.4. Selección de la válvula de expansión termostática

Las válvulas de expansión termostáticas son diseñadas para regular la inyección de refrigerante líquido a los evaporadores. Esta inyección de refrigerante estará siempre regulada por un elemento termostático que este situado en la parte superior de la válvula de expansión la cual es controlada en función del recalentamiento del refrigerante. (Velásquez , 2019),

Esta válvula debe crear una caída de presión, desde el lado de alta al lado de baja del sistema. Esta caída de presión expande el refrigerante que fluye, haciendo que una pequeña cantidad se evapore, de manera que se enfríe hasta la temperatura de evaporación. (Gonzalez, 2011 pág. 39)

Para la selección de la válvula de expansión termostática consideramos los siguientes parámetros:

- Capacidad: 16,9 kW
- Familia de productos: TGE
- Tipo de refrigerante: R-404A
- Temperatura de evaporización: -10°C
- Estado: Parcialmente Abierta

Para la selección de la válvula de expansión termostática nos ayudamos del software Coolselector2 y la seleccionada fue la válvula TGE 10 - 9 marca Danfoss con las siguientes características:

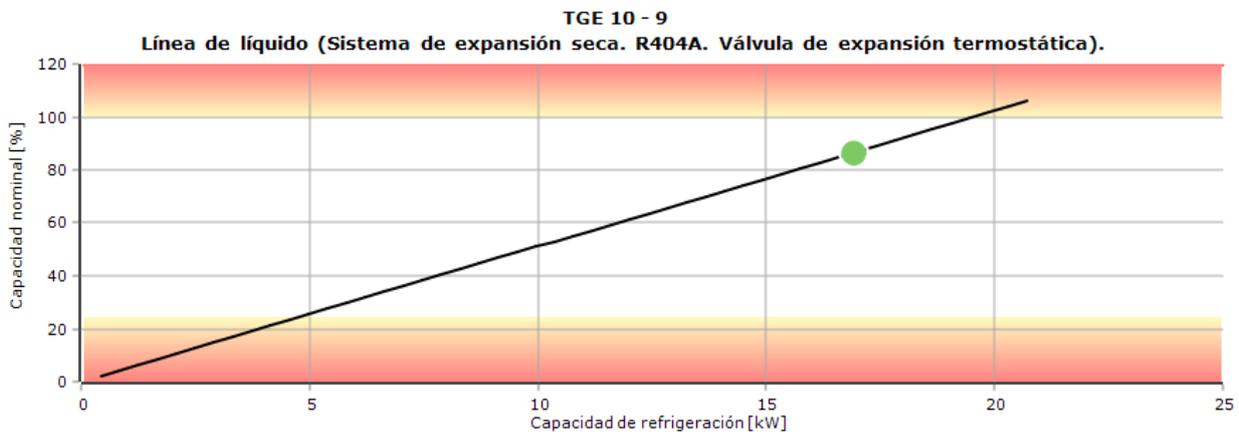
#### **Válvula de expansión termostática TGE 10 - 9 marca Danfoss**



**Figura 4-4:** Válvula de expansión termostática TGE 10 – 9

**Fuente:** (Danfoss, 2017 pág. 3)

- Código: 067N6167
- Capacidad nominal: 19.52 KW
- Capacidad mínima: 4.881 KW
- Caudal másico en la línea: 432.8 kg/h
- Capacidad: 86.6 %



**Gráfico 4-2: Curva de rendimiento**

Fuente: Coolselector2

La capacidad de la válvula de expansión termostática se muestra en el anexo I

#### **4.5. Selección de la válvula solenoide**

La válvula solenoide es el componente que se utiliza más a menudo para controlar el flujo de refrigerante. Esta válvula posee una bobina magnética que, cuando tiene corriente, levanta el émbolo de su interior. Estas válvulas pueden ser del tipo normalmente abierto o normalmente cerrado. La primera no abre hasta que recibe corriente, y la de tipo normalmente abierto se halla siempre así, y no cierra hasta que llega corriente a la misma. (García, 2018)

Para la selección de la válvula solenoide consideramos los siguientes parámetros:

- Capacidad: 16,9 kW
- Familia de productos: EVR
- Tipo de refrigerante: R-404A
- Temperatura de evaporización: -10°C
- Estado: Abierta

Para la selección de la válvula solenoide nos ayudamos del software Coolselector2 y la seleccionada fue la válvula EVR 6 marca Danfoss con las siguientes características:

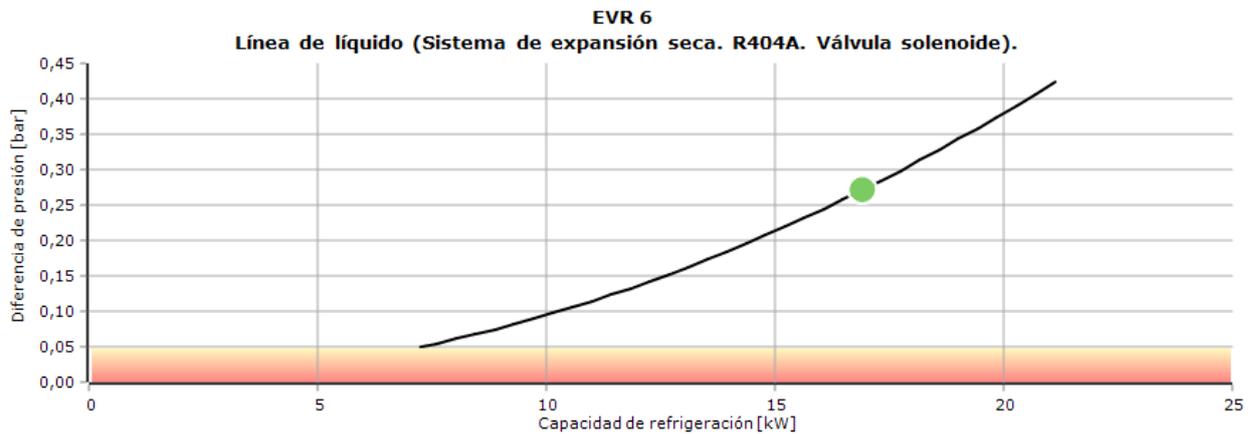
## Válvula solenoide EVR 6 marca Danfoss



**Figura 4-5:** Válvula solenoide EVR 6

Fuente: (Danfoss, 2017 pág. 2)

- Código: 032F1212H1
- Caudal másico en la línea: 432.8 kg/h
- Estado: Abierta



**Gráfico 4-3:** Curva de rendimiento

Fuente: Coolselector2

La Capacidad nominal de las válvulas solenoides se muestra en el Anexo J

#### 4.6. Selección del visor de líquido

Dispositivo auxiliar de control del estado del gas refrigerante dentro de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Indica la condición del refrigerante cuyas funciones son determinar su estado líquido y su contenido de humedad. (Corporaciontermodinamica, 2017)

Para la selección de la válvula solenoide consideramos los siguientes parámetros:

- Capacidad: 16,9 kW
- Familia de productos: SGP
- Tipo de refrigerante: R-404A
- Temperatura de evaporización:  $-10^{\circ}\text{C}$

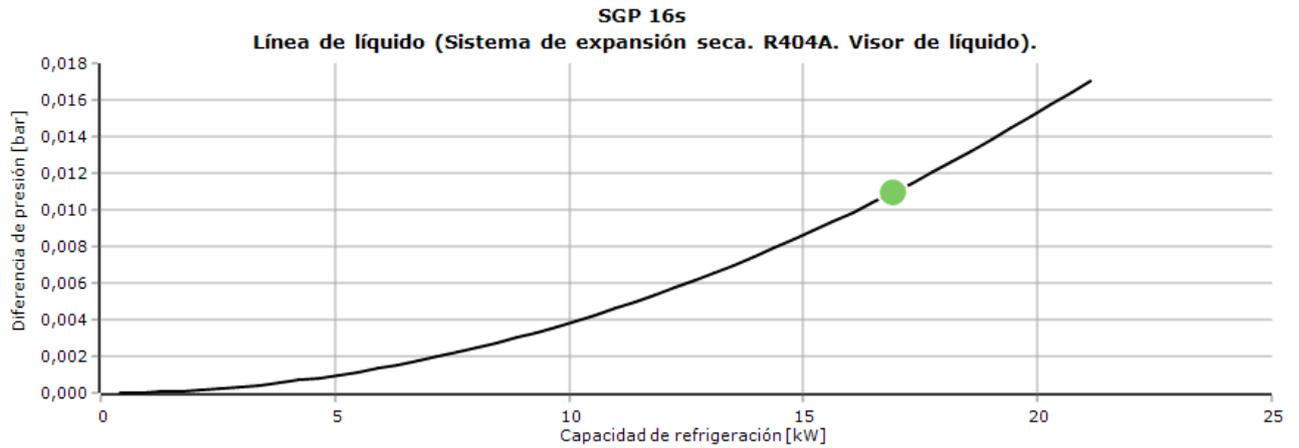
Para la selección del visor de líquido nos ayudamos del software Coolselector2 y el seleccionado fue el visor SPG 16s marca Danfoss.

#### Visor de líquido SPG 16s marca Danfoss



**Figura 4-6:** Visor de líquido SPG 16s

Fuente: (Danfoss, 2018 pág. 1)

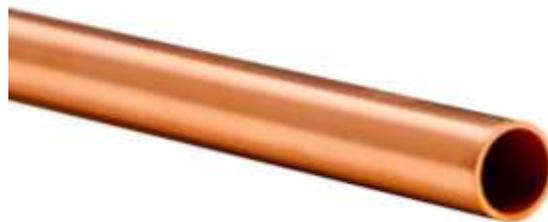


**Gráfico 4-4:** Curva de rendimiento

Fuente: Coolselector2

#### 4.7. Selección de tuberías de cobre

Las tuberías de cobre permiten transportar el gas a los diferentes artefactos que lo consumen y en muchos casos también transportan agua fría y agua caliente.



**Figura 4-7:** Tubería de cobre

Fuente: (Merlin, 2016)

Para la selección de las tuberías consideramos los siguientes parámetros:

- Capacidad: 16,9 kW
- Tipo de refrigerante: R-404A
- Temperatura de evaporización:  $-10^{\circ}\text{C}$

Para la selección de las tuberías nos ayudamos del software Coolselector2 y las seleccionadas son:

- Línea de aspiración: DIN – EN 35
- Línea de descarga: DIN – EN 22
- Línea de líquido: DIN – EN 15

#### **4.8. Selección del equipo de control**

##### ***4.8.1. Sensor de temperatura DS18B20***

Este sensor es idóneo cuando queremos medir la temperatura en ambientes húmedos e incluso dentro del agua. Esto es debido a que podemos comprar una versión que viene en forma de sonda impermeable. (Hernández, 2017)



**Figura 4-8:** Sensor de temperatura DS18B20

**Fuente:** (Hernández, 2017)

##### ***4.8.2. Contactor***

Aparato que tiene una sola posición de reposo, de mando no manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, comprendidas en ellas las de sobrecarga en servicio. (ISA, 2018)

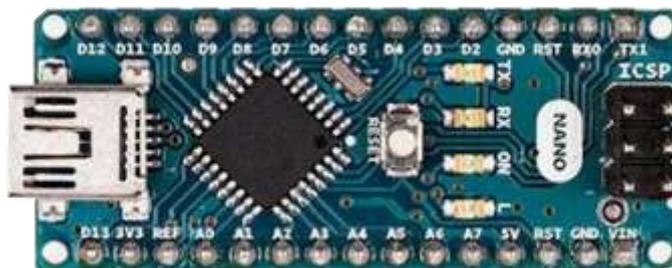


**Figura 4-9:** Contactor

Fuente: (ISA, 2018)

#### **4.8.3. *Arduino Nano***

Arduino Nano es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reinicio. (Arduino)

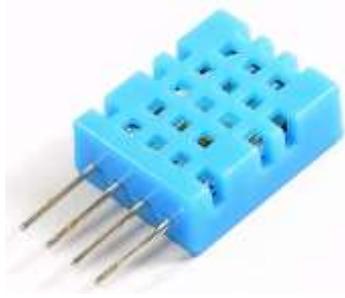


**Figura 4-10:** Arduino nano

Fuente: (Arduino)

#### **4.8.4. *Sensor de humedad DHT11***

El DHT11 es un sensor de humedad relativa y temperatura de bajo costo y de media precisión a un bajo precio. La salida suministrada es de tipo digital utilizando solamente 1 pin de datos. (naylampmechatronics, 2018)



**Figura 4-11:** Sensor de humedad DHT11  
Fuente: (naylampmechatronics, 2018)

#### 4.8.5. *Caja térmica*

Es una estructura aislante, que está diseñada para contener componentes de altas o bajas temperaturas. (Mojica, 2013)



**Figura 4-12:** Caja térmica  
Fuente: (Mojica, 2013)

#### 4.8.6. *Pulsadores*

Un pulsador es un interruptor de encendido o apagado que conectado a un componente eléctrico hace funcionar o apaga el mismo. (mejoreslinks, 2012)



**Figura 4-13:** Pulsadores  
Fuente: (mejoreslinks, 2012)

#### 4.8.7. Canaleta

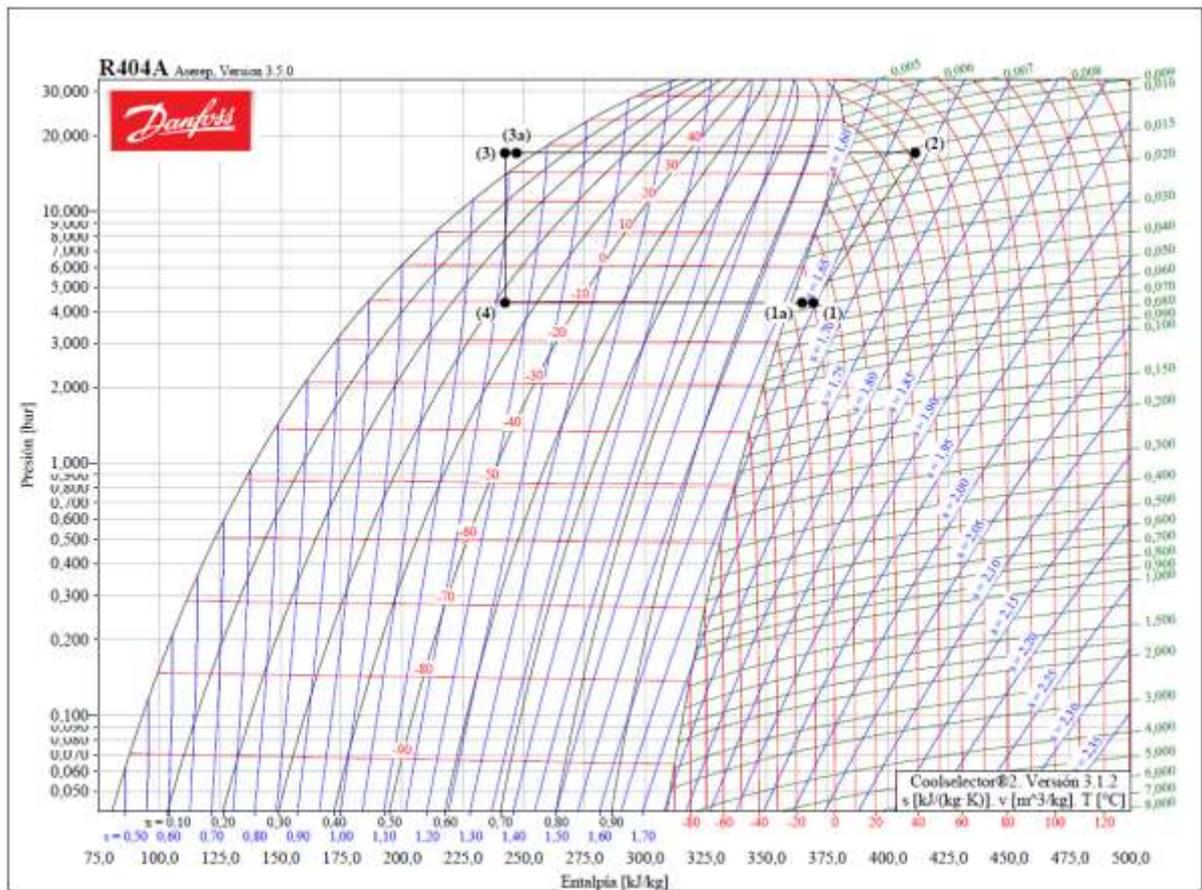
Conducto que protege a los cables de perturbaciones



**Figura 4-14:** Canaleta

Fuente: (Merlin, 2016)

#### 4.9. Eficiencia del ciclo térmico



**Figura 4-15:** Diagrama P-h del ciclo de refrigeración

Fuente: (Coolselector2)

**Tabla 4-2:** Estados térmicos del ciclo de refrigeración

Estado	T (°C)	P (bar)	h (Kj/kg)
1	0	4,3	369,5
2	64,2	17,1	411,4
3	32	17,1	185,6
4	-10,6	4,3	185,6

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** (Coolselector2)

Con la ecuación 11 se va a encontrar el COP (Coeficiente de rendimiento) del ciclo inverso de refrigeración por compresión y es la comparación entre la salida de calor del condensador con la potencia de salida del compresor.

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad 11$$

$$COP = \frac{369.5 - 185.6}{411.4 - 369.5}$$

$$COP = 4,4$$

Con la ecuación 12 se va a encontrar el COP del ciclo de Carnot que se expresa en términos de temperatura siendo  $T_i$  la temperatura interior y  $T_e$  la temperatura exterior.

$$COP_{Carnot} = \frac{T_i}{T_e - T_i} \quad 12$$

$$COP_{Carnot} = \frac{277}{298 - 277}$$

$$COP_{Carnot} = 13.2$$

Con la ecuación 13 se va a encontrar la eficiencia del ciclo térmico y es la relación entre el COP del ciclo de refrigeración por compresión con el COP del ciclo de Carnot.

$$\eta_{Ciclo} = \frac{COP}{COP_{Carnot}} \times 100 \quad 13$$

$$\eta_{Ciclo} = \frac{4.4}{13.2} \times 100$$

$$\eta_{Ciclo} = 33 \%$$

#### 4.10. Flujo másico del refrigerante

Con la ecuación 14 se va a calcular el flujo másico del refrigerante, este flujo másico está en función de la cantidad de calor que se desee retirar.

$$m_{REFRIGERANTE} = \frac{Q}{h_1 - h_4} \quad Ec. 14$$

$$m_{REFRIGERANTE} = \frac{16,9 \text{ kW}}{(369.5 - 185.6) \times 1000 \frac{J}{kg}}$$

$$m_{REFRIGERANTE} = 478.3 \text{ kg/h}$$

## CAPÍTULO V

### 5. ANALISIS DE COSTOS

La inversión que se va a realizar estará a cargo del almacén de insumos agrícolas BIOPRODUCCION y tiene por objetivo la conservación de plántulas de fresa en óptimas condiciones a través de un cuarto frío. Para obtener una correcta inversión se procederá a un correcto diseño, además de una minuciosa selección del equipo, accesorios y demás elementos.

**Tabla 5-1:** Costos de los equipos y accesorios del sistema térmico

	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	DESCUENTO	VALOR TOTAL
8002014	unidad condensadora R-22M/T 220V-1DANFOSS HJM050D39N	1.00	2215	221,50	1993,50
8006072	EVAPORADOR MEDIA SILUET. 220V INTERCAL ECC-6A-403/41V	1.00	1220	122,00	1098
50002008	PANEL FRIGOWALL GS POLIURETANO ACERO/AC METECNO 80mm	76.00	53	402,80	3625,20
92002009	PERFILERIA	1.00	280	28,00	252
52004012	PUERTA BATIENTE CON MARCO HERRAJES Y EM MTH 500/TN68MM(1000X2000)	1.00	275	72,50	652
42004052	ROLLO TUBERIA COBRE 22.097MM X 50 PIES	1.00	141	14,10	126,90
42004026	ROLLO TUBERIA COBRE 12.70MM X 50 PIES	1.00	58	5,80	52,20

**Tabla 5-1(Continuación):** Costos de los equipos y accesorios del sistema térmico

3400200 8	CAÑO AISLANTE X 2METROS ARMAFLEX	8.00	2,3	1,84	16,56
9200200 2	ACCESORIOS INCLUYE:(ELEMENTOS EXPANSION, VALVULA SOLENIODE, TRAMPAS SIFON, ACCESORIOS ELECTRONICOS DE CONTROLDE TEMPERATURA, GASREFRIGERANTE	1.00	600	60	540
720015	REFRIGERANTE R-404 (TANQUE 13.6 kg)	1	220	20	200
				SUMA	9485,4
				DESCEUNTO	948,54
				SUBTOTAL	8356,96
				12% IVA	1002,84
				TOTAL	9559,70

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: Megafrió

**Tabla 5-2:** Costos de los equipos y accesorios del sistema de control

CANTIDAD	DETALLE	V/UNITARIO	TOTAL
1	Sensor DS18B20 Temperatura	6.00	6.00
1	Contactador 25 A	25.00	25.00
1	Arduino Nano	10.00	10.00
1	Circuito Impreso	25.00	25.00
1	Sensor DHT11 Humedad	7.00	7.00
1	Caja Térmica	20.00	20.00
2	Pulsadores Inicio y Paro	4.00	8.00
1	Paro de Emergencia	4.00	4.00
1	Breaker 30A	14.00	14.00
1	Canaleta	3.00	3.00
10	Cable flexible de Control	1.75	17.50

**Tabla 5-2 (Continuación):** Costos de los equipos y accesorios del sistema de control

1	Construcción e instalación	100	100
	<b>TOTAL</b>		<b>239.50</b>

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Dexters

Las proformas se muestran en el anexo K y L.

**Tabla 5-3:** Costos mano de obra

Operario	Valor
Técnico Frigorífico	200
Técnico Electricista	200
Otros	50
<b>TOTAL</b>	<b>450</b>

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Autor

**Tabla 5-4:** Costos de imprevistos

Detalle	Valor
Costos de imprevistos	100
Otros	100

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Autor

**Tabla 5-5.** Inversión para la implementación del cuarto frío

Inversión	Valor
Costos de los equipos y accesorios del sistema térmico	9559,70
Costos de los equipos y accesorios del sistema de control	239,50
Costos de mano de obra	450
Costos de imprevistos	100
<b>TOTAL</b>	<b>10349,20</b>

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Autor

**Tabla 5-6:** Tiempo de recuperación de la inversión

Periodo	Ingresos	Egresos	Neto	Tasa de oportunidad:		Acumulado con tasa de oportunidad (DPB)
				14%	EA	
0		10349,18	-10349,18	\$10.349,18	\$10.349,18	\$10.349,18
1	\$ 8.000		8000	\$2.349,18	\$7.017,54	\$3.331,64
2	\$ 8.000		8000	\$5.650,82	\$6.155,74	\$2.824,10
3	\$ 8.000		8000		\$5.399,77	
4	\$ 8.000		8000		\$4.736,64	
5	\$ 8.000		8000		\$4.154,95	
		VPN	\$17.115,47			
		TIR	72%	EA		
		RI	14%	EA		
		TIRM	39%	EA		
		PB	1,29	Años		
		DPB	1,54	Años		

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

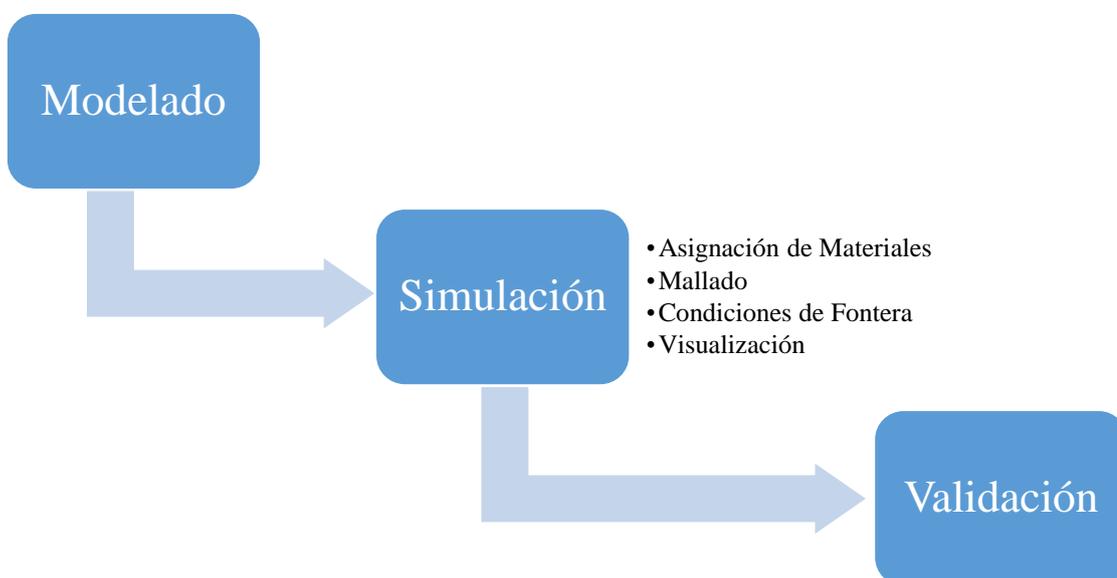
**Fuente:** Autor

Si no tomamos en cuenta la tasa de oportunidad recuperaremos la inversión en 1.29 años es decir aproximadamente 15.5 meses, pero si tomamos en cuenta la tasa de oportunidad recuperaremos la inversión en 1.54 años es decir 18.5 meses.

## CAPÍTULO VI

### 6. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DEL CUARTO FRIO

A través del siguiente procedimiento se puede generar un modelo computacional que recrea las condiciones de enfriamiento requeridas en una cámara de conservación de plántulas de fresas.

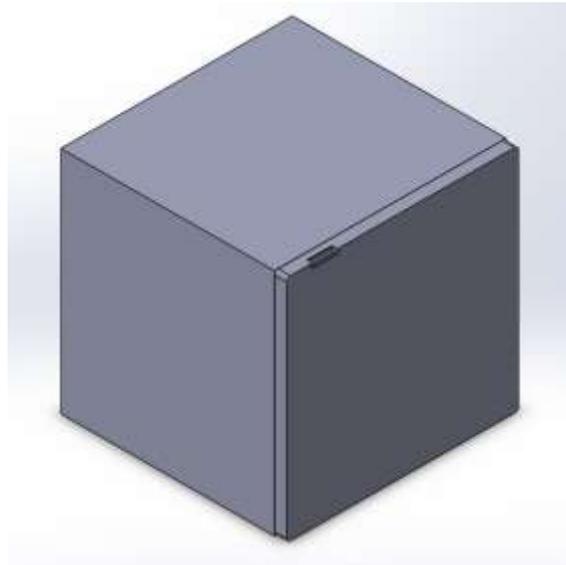


**Gráfico 6-1:** Procedimiento de simulación y validación

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

La primera parte del trabajo se basa en la validación del modelo computacional, para ello se utiliza un sistema de similares características al modelo del cuarto frío. El análisis se realizó en un refrigerador convencional del que se puede obtener datos experimentales y cotejarlos con una simulación basada en el método de volúmenes finitos. A continuación, se detallan los pasos para el proceso de validación.

## 6.1. Modelado

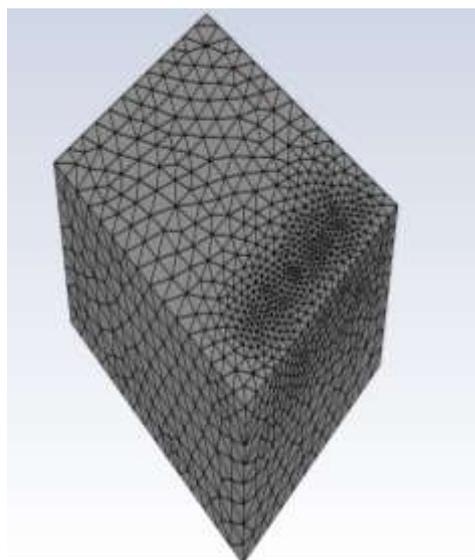


**Figura 6-1:** Modelado en SolidWorks

Fuente: Autor

Para realizar el modelado del cuarto frío se utiliza el software para diseño SOLIDWORKD, el cual facilita la construcción de piezas y ensambles en 3D. En la figura 6-1 se puede observar el modelado del Refrigerador.

## 6.2. Simulación



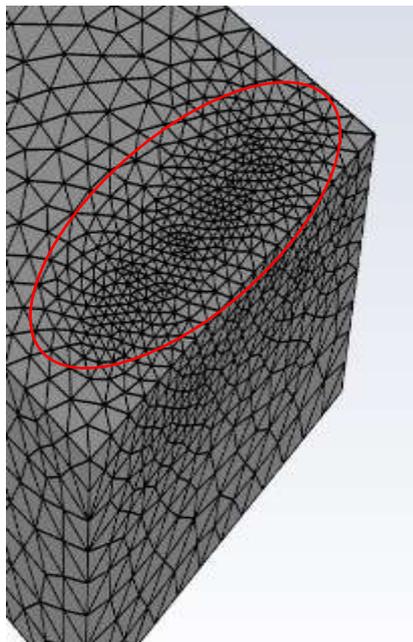
**Figura 6-2:** Detalle del mallado

Fuente: Autor

El software ANSYS es muy utilizado para simulación por la precisión en los resultados obtenidos, además considerando que la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo posee la licencia, se ha decidido utilizar esta herramienta para el análisis del cuarto frío, empleando específicamente el módulo FLUENT.

En la figura 6-2 se muestra el mallado final del refrigerador, esta malla es de tipo tetraédrica, como se puede observar existe un refinamiento en las zonas de interés y se tiene una calidad de malla del 85%.

En la figura 6-3 se detalla el refinamiento de la malla



**Figura 6-3:** Refinamiento de la malla

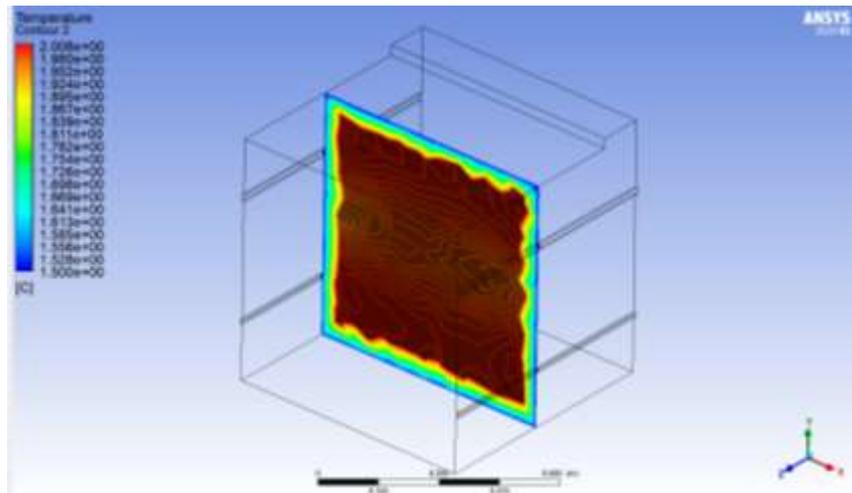
Fuente: Autor

El análisis térmico se realizó bajo los para siguientes parámetros:

- Estado estacionario
- Wall: pared
- Flujo laminar
- Materiales: Acero pre-pintado, Poliestireno

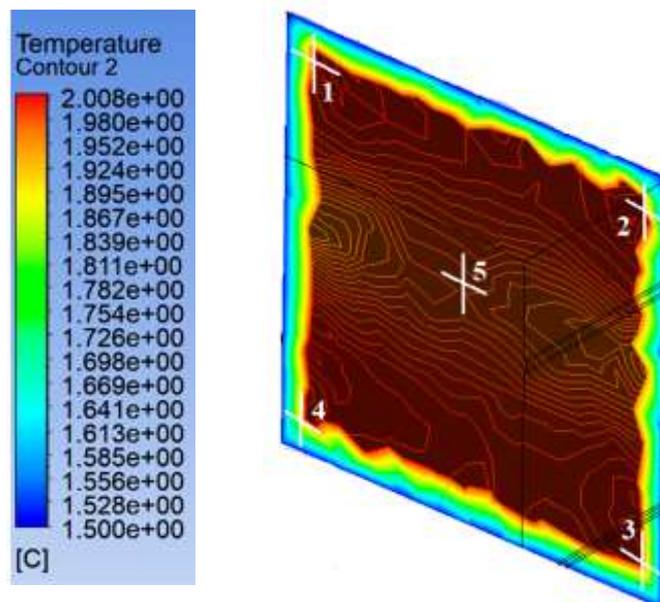
- Aislante: Espuma de poliuretano
- Sistema de enfriamiento: Sistema de refrigeración por compresión

Con la necesidad de comparar los datos obtenidos a través de la simulación y los datos experimentales se mide la temperatura en diferentes puntos, para ello la figura 6-4 nos permite visualizar los contornos de temperatura con una escala de colores.



**Figura 6-4:** Plano de temperatura.

Fuente: Autor



**Figura 6-5:** Puntos de medición de temperatura en el plano

Fuente: Autor

A continuación, se detallan las temperaturas obtenidas

**Tabla 6-1:** Temperaturas de simulación

	TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA SIMULACION	
Punto 1	1.613e+00 °C	4,4 °C
Punto 2	1.585e+00 °C	4,3 °C
Punto 3	1.556e+00 °C	4,2 °C
Punto 4	1.613e+00 °C	4,4 °C
Punto 5	1.698e+00 °C	4,6 °C

**Realizado por:** Ramírez Julio; 2019

**Fuente:** Autor

### 6.3. Validación

Para la validación de los resultados numéricos obtenidos en la simulación, se necesitan datos de temperatura tomados de un refrigerador ECASA con una cámara termográfica Satit Hotfind VR de características: rango de temperatura  $-25^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ , exactitud  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Se requiere el uso del software SatIrReport propio de la cámara el cual va a ser utilizado para la realización del barrido termográfico. Para la validación se utiliza la Norma NOM-022-ENER/SCFI 2008.



**Figura 6-6:** Puntos de referencia para la toma de datos en el refrigerador

**Fuente:** Autor

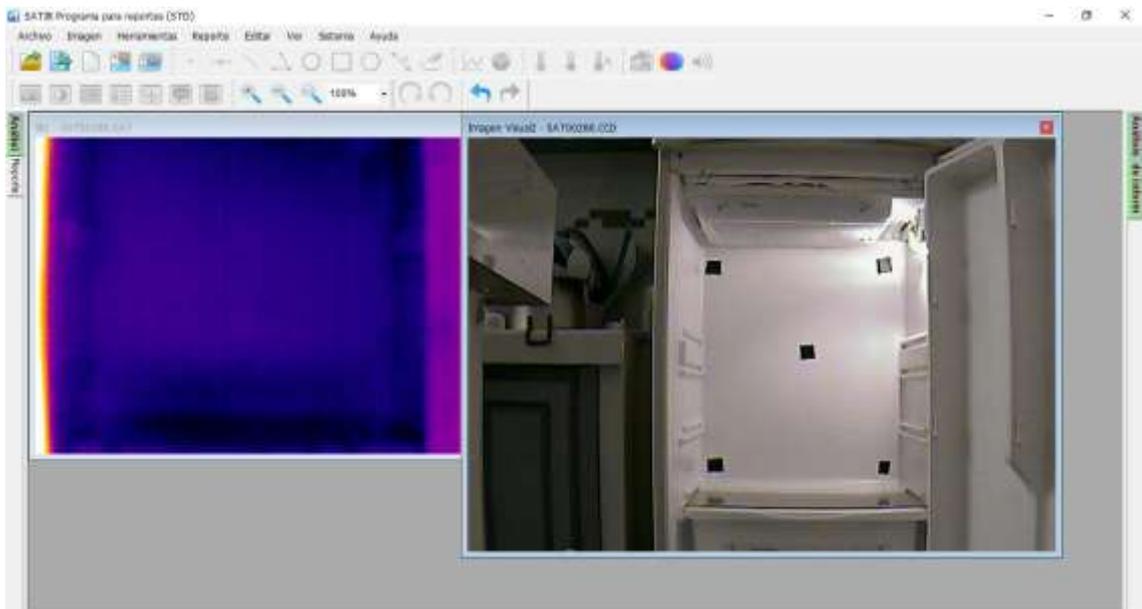
En la figura 6-6 se puede observar la asignación de los mismos puntos de medición utilizados en la simulación numérica. En la figura 6-7 Se puede observar el método de toma de fotogramas para ser evaluadas a través del software.



**Figura 6-7:** Toma de termogramas

Fuente: Autor

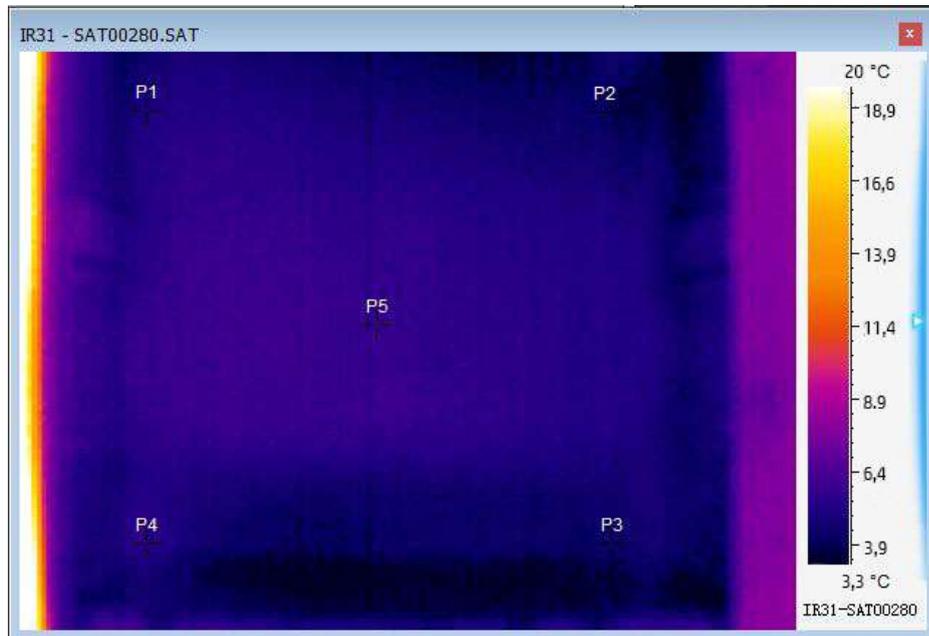
En la figura 6-8 se puede observar la interfaz para la realización del barrido termográfico.



**Figura 6-8:** Pantalla de entorno de software SatIrReport

Fuente: Autor

En la figura 6-9 se puede observar el termograma con los puntos de medición junto con la escala de temperatura.



**Figura 6-9:** Termograma con los puntos de medición de temperatura

Fuente: Autor

En la tabla 6-2 se presentan los datos de temperaturas obtenidas mediante el software SatIrReport propio de la cámara termográfica.

**Tabla 6-2:** Temperaturas de laboratorio

TEMPERATURAS OBTENIDAS CON LA CÁMARA TERMOGRÁFICA EN EL LABORATORIO	
Punto 1	4,2 °C
Punto 2	4,0 °C
Punto 3	3,9 °C
Punto 4	4,1 °C
Punto 5	4,2 °C

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: Autor

**Tabla 6-3:** Comparación de temperaturas

	Temperatura de simulación (°C)	Temperatura de laboratorio (°C)	Diferencia de temperatura (Simulación-Laboratorio) (°C)
Punto 1	4,4	4,2	0,2
Punto 2	4,3	4,0	0,3
Punto 3	4,2	3,9	0,3
Punto 4	4,4	4,1	0,3
Punto 5	4,6	4,2	0,4

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla 6-3, se obtiene una diferencia de 0,2 – 0,4 °C en la simulación respecto a los resultados de experimentación, debido a las diferencias entre las condiciones de diseño y las de funcionamiento.

Se tiene dos argumentos para validar la simulación, el primero es la diferencia de 0,4°C entre los datos de simulación y experimentación, esta diferencia es aceptable debido a las condiciones dadas en la simulación, además que en la práctica esta desviación es lógica y manejable. El segundo argumento se basa en que los valores de los 5 puntos de referencia tomados en la simulación están dentro de los rangos que establece la Norma NOM-022-ENER/SCFI 2008 (Tabla 3: Intervalos de desempeño, pag 11), los cuales se puede visualizar en la tabla 6-4.

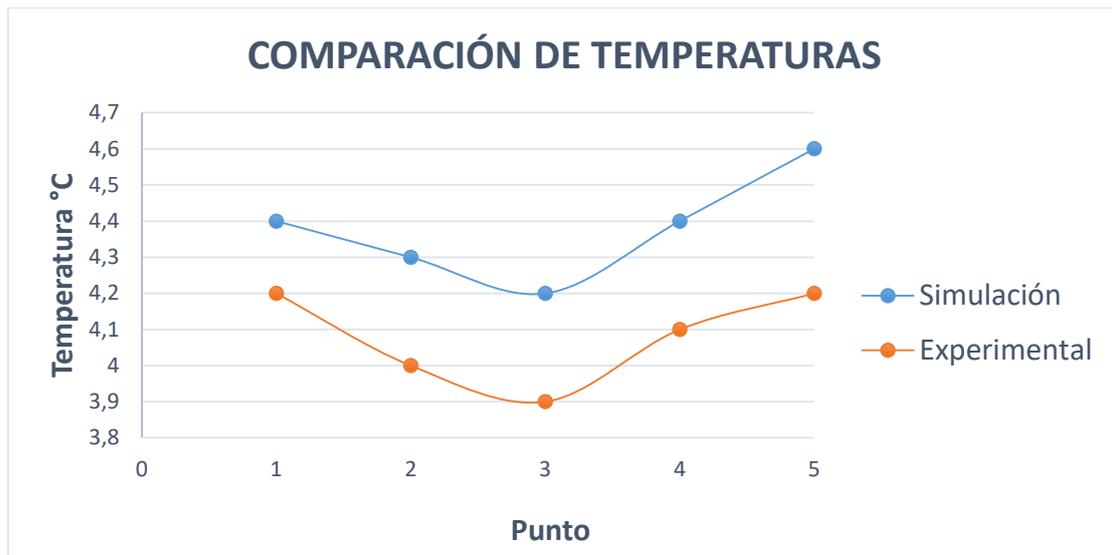
La tabla de intervalos de desempeño se muestra en el anexo N

**Tabla 6-4: Validación de datos de temperatura**

	Temperatura de simulación (°C)	Temperatura de laboratorio (°C)	Rango de Temperaturas según Norma NOM-022-ENER/SCFI 2008	Cumplimiento de Standard
Punto 1	4,4	4,2	0-7,2 °C	Cumple
Punto 2	4,3	4,0	0-7,2 °C	Cumple
Punto 3	4,2	3,9	0-7,2 °C	Cumple
Punto 4	4,4	4,1	0-7,2 °C	Cumple
Punto 5	4,6	4,2	0-7,2 °C	Cumple

Realizado por: Ramírez Julio; 2019

Fuente: Autor



**Gráfico 6-2:** Comparación de graficas con valores de simulación y experimentación

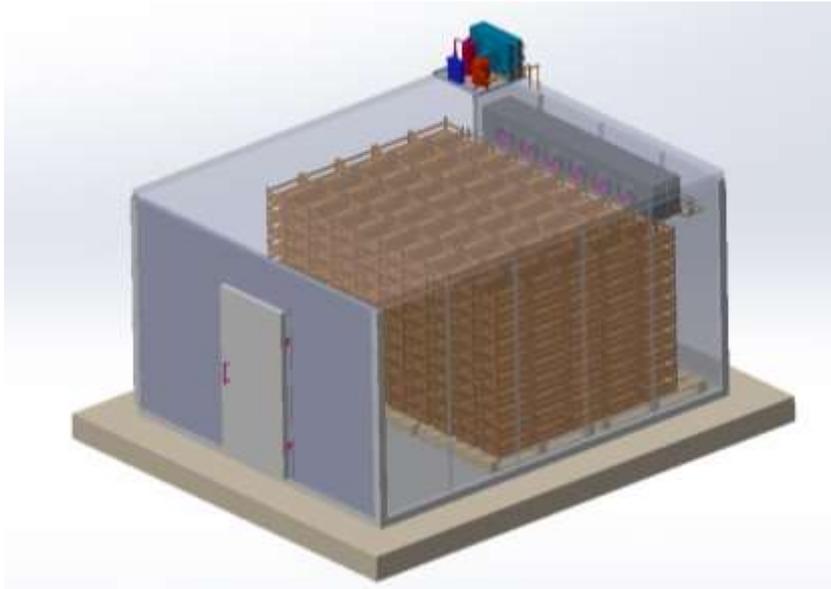
Realizado por: Ramírez Julio; 2019

En el gráfico 6-2 se observa que los comportamientos de las temperaturas son similares, tanto para el caso de la simulación como para el experimental, sin embargo, se puede notar una pequeña diferencia en los valores de temperatura, pese a esto se puede afirmar que están dentro de los rangos establecidos en la normativa, por lo que se valida el modelo computacional que será utilizado para la simulación del cuarto frío para la conservación de 250000 plántulas de fresa.

#### **6.4. Simulación del cuarto frío para la conservación de 250000 plántulas de fresa**

Luego de haber validado el proceso utilizado en la simulación anterior, se aplican los mismos pasos para la simulación del cuarto frío. En la figura 6-10 se puede observar el modelado del cuarto frío, el cual tiene una capacidad de almacenar 250000 plántulas de fresa. Las dimensiones son 4m de ancho, 5m de largo y 2.5m de alto las separaciones entre caja y caja son de 10cm.

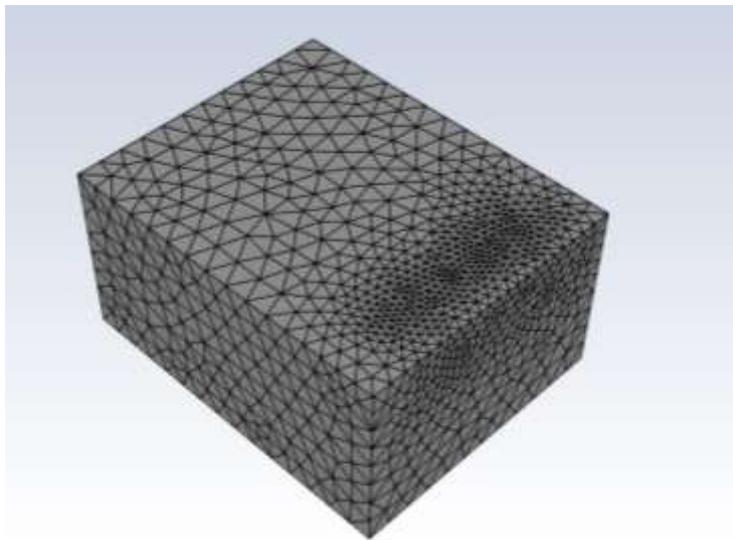
Las dimensiones del modelado se expresan en el anexo M.



**Figura 6-10:** Modelado del cuarto frío

Fuente: Autor

En la figura 6-11 se muestra el mallado final de nuestro cuarto frío, esta malla es una malla tetraédrica, como se puede observar existe un refinamiento en las zonas de interés como lo son la zona de entrada de aire y la zona de las cajas de plántulas.



**Figura 6-11:** Mallado del cuarto frío

Fuente: Autor

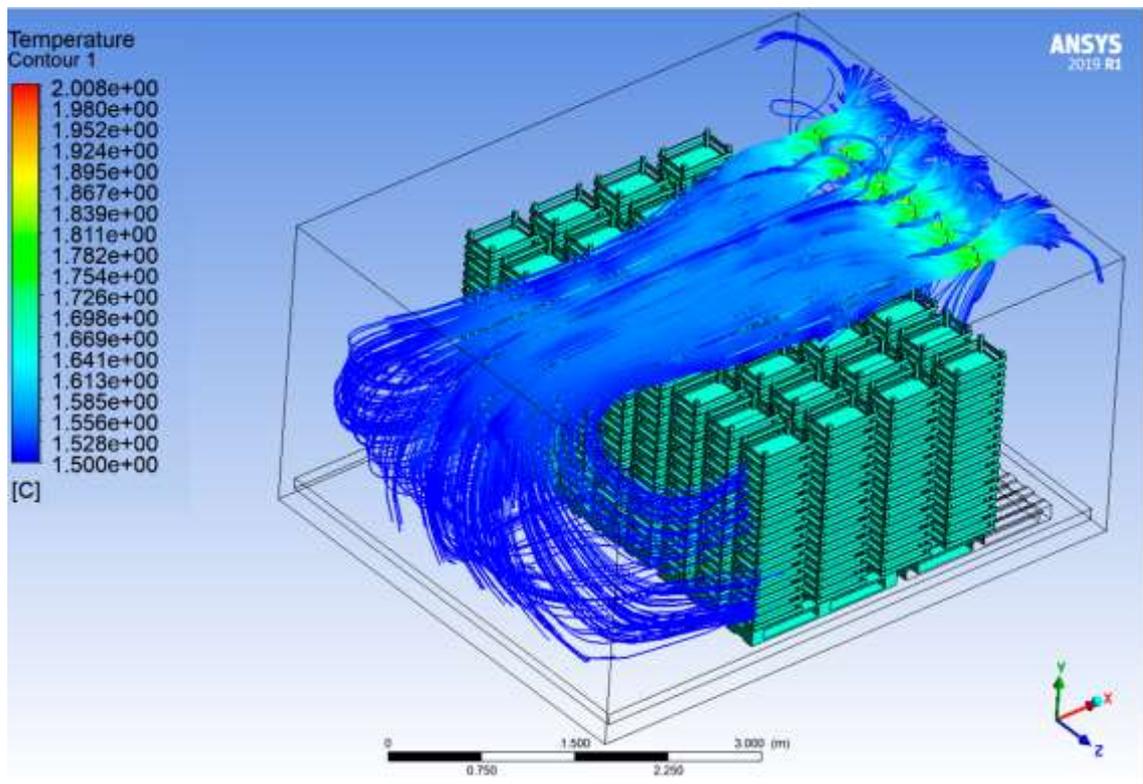
El análisis térmico se realizó bajo los para siguientes parámetros:

- Estado estacionario
- Sistema de enfriamiento: Sistema de refrigeración por compresión

- Velocidad de rotación de los ventiladores: 1500 rpm
- Diámetro de los ventiladores: 30 cm
- Wall: pared
- Flujo laminar
- Material de las cajas: Madera
- Materiales de las paredes: Paneles prefabricados

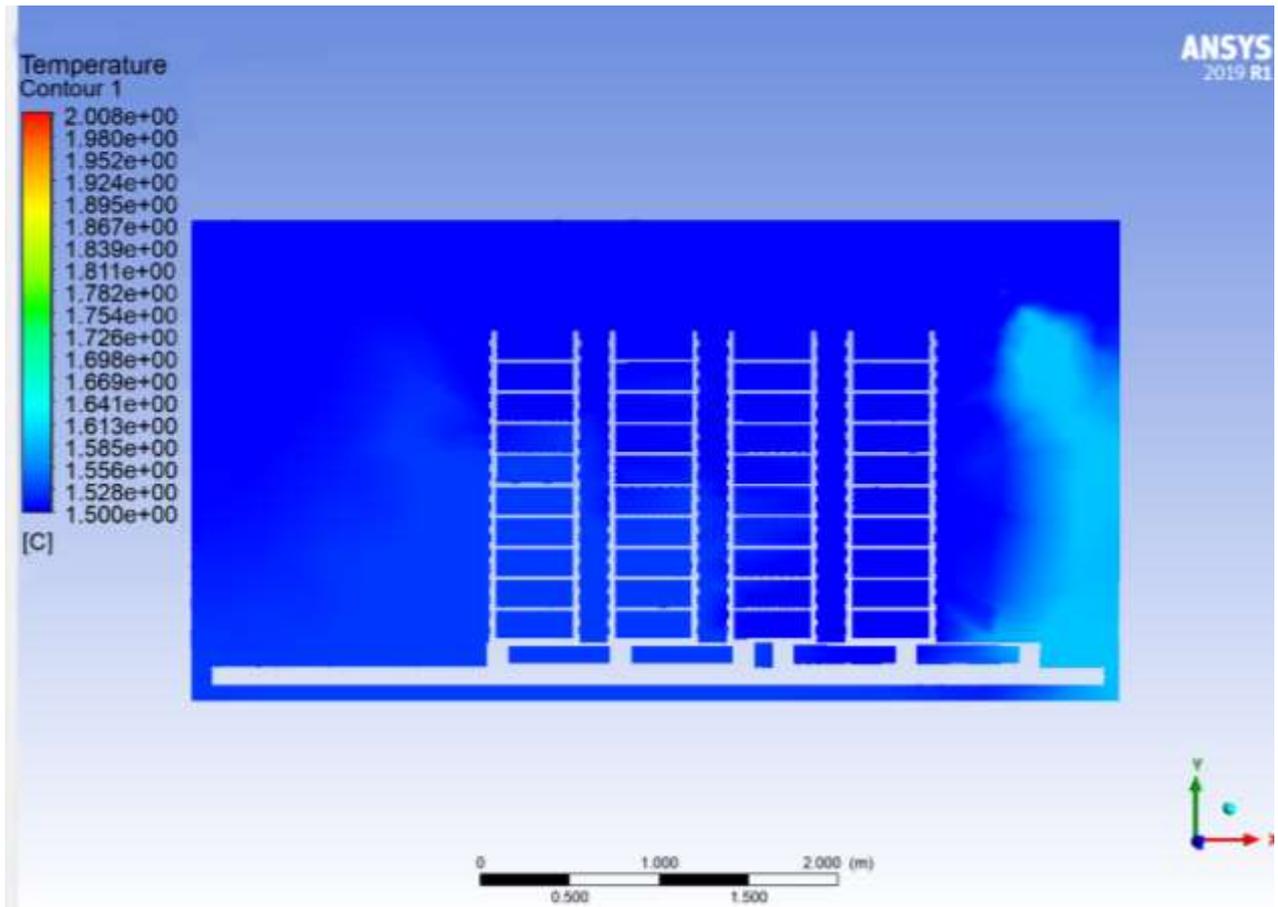
Los resultados se muestran a continuación.

En la figura 6-12 se visualizan los flujos de aire desde una perspectiva, mismo que en la práctica no se puede observar con facilidad, para ello se utiliza cámaras de humo con parafinas a fin de que se pueda notar de manera general el comportamiento del flujo de aire, por este motivo el uso de software representa un potencial de mucho beneficio para el diseño del cuarto frío.



**Figura 6-12:** Líneas de corriente de flujo, Perspectiva.

Fuente: Autor



**Figura 6-13:** Plano de Contornos de temperatura

Fuente: Autor

En el plano se puede observar la distribución de temperatura a través de todo el cuarto frío, llegando a un valor máximo de  $4.46^{\circ}\text{C}$  en la parte inferior del evaporador y un mínimo de  $4.1^{\circ}\text{C}$  en la salida del evaporador

Con la correcta selección de equipos se obtuvo condiciones óptimas para la conservación de las plántulas de fresa la cual es una temperatura que la de  $4 - 6^{\circ}\text{C}$ . Y la simulación será fiable siempre que cumpla esta condición.

Se puede ver que la separación entre cajas no afecta al flujo de aire puesto que este llegara a todos los espacios del cuarto frío.

## **CONCLUSIONES**

Se cumplió el objetivo general de diseñar un cuarto frío para la empresa BIOPRODUCCION, que requiere conservar 250 000 plántulas de fresas mediante un sistema de refrigeración por compresión, funcional, que no afecte al ambiente y que sea económico.

Este proyecto se lo realizo con los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, han sido aplicados en el diseño y simulación del sistema y los equipos seleccionados están disponibles en el mercado.

La selección de todos los equipos y accesorios fue realizada, tomando en cuenta todos los requerimientos y necesidades del cliente, de esta forma se optimizó recursos y se asegurara un correcto funcionamiento del cuarto frío.

El análisis económico proporcionó valores positivos que permitió definir a este proyecto como viable, puesto que la empresa recuperara la inversión en menos de 2 años. Además, se pueden adquirir los equipos y accesorios con la certeza que cumplen los requerimientos de enfriamiento.

El proceso de validación fue evaluado con las recomendaciones de la Norma NOM-022-ENER/SCFI 2008 la que indica que los límites de temperatura van desde 0 – 7,2 °C y las temperaturas obtenidas si están dentro de este rango dando cumplimiento a la NORMA.

A través de la simulación en ANSYS se pudo evidenciar que las plántulas se van a mantener a la temperatura deseada y esto se logró gracias a la correcta selección de equipos y componentes. En la parte derecha del plano se puedo observar un leve incremento en la temperatura esto puede ser producto del arreglo de las cajas, pero aun así la temperatura sigue siendo la idónea para la conservación de las plántulas.

## **RECOMENDACIONES**

Para el cálculo de las cargas térmicas del cuarto frío, se debe tener cuidado en la recopilación de la información necesaria del ambiente, del producto y de los materiales, conque se construye el cuarto, de esta forma se optimizará al máximo los recursos.

Para la simulación 3D, se recomienda generar un modelo más pequeño sin considerar codos, tuberías, válvulas, compresor, condensador, bajo este principio se optimizará recursos computacionales y tiempo y no afectaran los resultados de temperatura obtenidos.

En el mallado es necesario identificar zonas de interés donde se necesita refinamiento, para el cuarto frío estas zonas fueron la zona de salida de aire y cajas de las plántulas de fresa.

Para el cálculo de las cargas térmicas del cuarto frío, se debe tener cuidado en la recopilación de la información necesaria del ambiente, del producto y de los materiales, conque se construye el cuarto, de esta forma se optimizará al máximo los recursos.

Se debe disponer de computadoras con procesadores de alta calidad y que cuenten con buenas tarjetas gráficas para facilitar la simulación y tiempo de resolución y así poder garantizar los resultados.

La instalación y el mantenimiento del cuarto frío debe ser realizado por personal capacitado, y se debe dar un mantenimiento preventivo mensual para verificar el estado de los equipos y accesorios.

Como trabajos futuros se realizará simulaciones con otras condiciones, las cuales serán con más carga, con la mitad de la carga, insertando personas como foco de calor y con estado no estacionario.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Arduino.** Arduino Nano. [En línea] [Citado el: 2 de Abril de 2019.] <http://arduino.cl/arduino-nano/>.

**Ashrae , Handbook. 2018.** *Refrigeration*. Atlanta : s.n., 2018. pág. 389.

**Balda, Mark. 2018.** Manual de Producción de Fresa para los Agricultores de la Costa Central. [En línea] 25 de Diciembre de 2018. <https://drive.google.com/file/d/1oz0LZeRFPxktXOSoOIDNaVuHFBPdeQIZ/view>.

**Bravo Méndez, J. 2011.** *Esudio Analítico de la Transferencia de Calor en un Absorvedor de Burbujas*. México : Instituto Politécnico Nacional, 2011.

**Calderón, C. 2018.** Sílabo de Oleohidráulica y neumática. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de Mayo de 2018.]

**Cengel , Yunus A y Boles, Michael A. 2009.** *Termodinámica* . México DF : Mc Graw Hill, 2009.

**Cohen, Patricio. 2010.** ELECTROSOFT INGENIERIA. [En línea] 2010. [Citado el: 2 de Abril de 2019.] <http://www.pcb.electrosoft.cl/04-articulos-circuitos-impresos-desarrollo-sistemas/01-conceptos-circuitos-impresos/conceptos-circuitos-impresos-pcb.html>.

**Corporaciontermodinamica. 2017.** Visor de líquido. [En línea] 2017. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] <http://www.corporaciontermodinamica.com/productos/visor-de-liquido/visor-de-liquido/>.

**Danfoss. 2018.** Optyma™ condensing units. [En línea] Marzo de 2018. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] <https://assets.danfoss.com/documents/DOC262323444302/DOC262323444302.pdf>.

—. **2018.** Sight glass. [En línea] Junio de 2018. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] <https://assets.danfoss.com/documents/DOC271430986252/DOC271430986252.pdf>.

—. **2017.** Thermostatic expansion valve. [En línea] Marzo de 2017. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] <http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCCPDAXVA502%20TGEFeb%202012.pdf>.

—. 2017. Válvula solenoide. [En línea] Julio de 2017. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] [http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PD.BB0.E5.05\\_EVR2\\_EVR40\\_az.pdf](http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PD.BB0.E5.05_EVR2_EVR40_az.pdf).

**Diaz, Cristina. 2016.** *Instalación frigorífica de una planta de almacenamiento de naranjas*. Sevilla : Universidad de Sevilla, 2016.

**Faires & Simmang. 1983.** *Termodinámica*. México DF : Unión Tipográfica, 1983.

**Franco Lijó, Juan Manuel. 2006.** *Manual De Refrigeracion*. Barcelona : REVERTÉ S.A., 2006.

**Garcia Montoya, Juan. 2006.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA AUTOMÁTICA DE 3 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA LA CONGELACIÓN DE PULPA DE FRUTA PARA LA EMPRESA, EL GUAYABAL*. Sangolqui : ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, 2006.

**García, Hugo. 2018.** Principales Elementos de un Sistema de Refrigeración. [En línea] 14 de Agosto de 2018. [Citado el: 1 de Abril de 2018.] <https://www.intensity.mx/es/blog/principales-elementos-de-un-sistema-de-refrigeraci%C3%B3n>.

**Gas-Servei. 2019.** *R-404A*. Madrid, España : s.n., 08 de Marzo de 2019.

**Gonzalez, Halan. 2011.** *DISEÑO DE UN CUARTO FRÍO PARA LA PRESERVACIÓN DE VEGETALES PARA LA EMPRESA SAN JUAN AGROEXPORT*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. pág. XVII.

**González, Isa y Jiménez, Eugenia. 2013.** Cero grados Celcius. [En línea] Julio de 2013. [Citado el: 31 de Marzo de 2019.] <http://www.ideafoodsafetyinnovation.com/sitio/limpieza-y-sanitizacion-de-cuartos-frios/>.

**Hernández, Luis del Valle. 2017.** Programar facil. [En línea] Diciembre de 2017. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>.

**Hiansa. 2017.** Hiansa Panel. [En línea] Marzo de 2017. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] <http://www.corarefrigeracion.com/pdf/productos-paneles-aislantes-panel-frigorifico-hiansa.pdf>.

**ISA. 2018.** El contactor. [En línea] 2018. [Citado el: 2 de Abril de 2019.] [http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/MaterialApoyoPracticas/02\\_02\\_El\\_contactor.pdf](http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/MaterialApoyoPracticas/02_02_El_contactor.pdf).

**Jara, Juan. 2013.** *CÁLCULO DE UNA CÁMARA DE FRÍO PARA CONSERVACIÓN DE HIELO, HORTALIZAS Y FRUTAS CONGELADAS*. Concepción : Universidad del Bio-Bio, 2013.

**Linde, Abelló. 2019.** Gases Industriales España. [En línea] 2019. [Citado el: 29 de Marzo de 2019.] [https://www.abellolinde.es/es/products\\_and\\_supply/refrigerants/hfo\\_refrigerants/index.html](https://www.abellolinde.es/es/products_and_supply/refrigerants/hfo_refrigerants/index.html).

**Maroto Borrego, J V. 2008.** *Elementos de Horticultura General*. Madrid : Mundi-Prensa, 2008.

**Martinez, Orlando. 2010.** *DESARROLLO DE LA INGENIERÍA CONCEPTUAL PARA EL ENFRIAMIENTO DE UNA CORRIENTE DE GAS A TRAVÉS DE UN TREN DE REFRIGERACIÓN MÉCANICA EXISTENTE*. Barcelona : UNIVERSIDAD DE ORIENTE , 2010.

**mejoreslinks. 2012.** Pulsadores de Marcha y Paro. [En línea] 1 de Agosto de 2012. [Citado el: 2 de Abril de 2019.] <http://mejoreslinks.masdelaweb.com/pulsadores-de-marcha-y-paro/>.

**Merlin, Leroy. 2016.** Tuberías de cobre. [En línea] 2016. [Citado el: 1 de Abril de 2019.] [http://www.leroymerlin.es/productos/fontaneria\\_y\\_tratamiento\\_del\\_agua/alimentacion\\_de\\_agua/tuberias\\_de\\_cobre.html](http://www.leroymerlin.es/productos/fontaneria_y_tratamiento_del_agua/alimentacion_de_agua/tuberias_de_cobre.html).

**Ministerio de Agricultura y Ganaderia. 2018.** Agrocadena de Fresa. [En línea] 27 de Diciembre de 2018. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9555.pdf>.

**Mojica, Flores. 2013.** TABLEROS ELÉCTRICOS Y CAJAS TÉRMICAS. [En línea] Agosto de 2013. [Citado el: 2 de Abril de 2019.] <https://prezi.com/c1nohwxu9x7r/tableros-electricos-y-cajas-termicas/>.

**Mundohvacr. 2018.** Los Refrigerantes Y sus Propiedades. [En línea] 22 de Diciembre de 2018. <https://www.mundohvacr.com.mx/2007/02/los-refrigerantes-y-sus-propiedades/>.

**NATIONAL REFRIGERANTS, INC. 2018.** Refrigerants. [En línea] 26 de Diciembre de 2018. <http://refrigerants.com/refrigerants.aspx>.

**naylampmechatronics. 2018.** Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11. [En línea] 2018. [Citado el: 2 de Abril de 2019.] <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>.

**Ochoa, Douglas. 2008.** *INSTALACIÓN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

**Peña, Ing. Adian. 2019.** Calculo de cargas termicas. *Calculo de cargas termicas*. Quito, 03 de Febrero de 2019.

*Sistemas de refrigeración* . **Bonilla Novillo, Sayuri Monserrath, y otros. 2018.** 2018, Observatorio de la Economía Latinoamericana, pág. 20.

**Solís, Lourdes. 2018.** Froztec. [En línea] 2018. [Citado el: 3 de Marzo de 2019.] <https://blog.froztec.com/-que-es-y-por-que-necesitas-un-cuarto-frio-para-tus-productos>.

—. **2018.** Froztec. [En línea] 2 de Agosto de 2018. [Citado el: 15 de Enero de 2019.] <https://blog.froztec.com/-que-es-y-por-que-necesitas-un-cuarto-frio-para-tus-productos>.

**Vargas, V. 2013.** *Equipo Didactico Para el Aprendizaje del Ciclo de Refrigeración por Compresion de Vapor*. México DF : Universidad Autónoma de México., 2013.

**Velásquez, Eduardo. 2019.** Mundohvacr. *Mundohvacr*. [En línea] 10 de marzo de 2019. <https://www.mundohvacr.com.mx/2008/02/valvulas-de-expansion-funcionamiento-y-seleccion-de-la-adecuada/>.

**William C. Whitman y William M. Johnson. 2012.** *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. Madrid : Consuelo Garcia Asensio, 2012.