



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECÁNICA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN EQUIPO PARA MADURACIÓN DE CARNE  
CON CAPACIDAD DE 20 KG.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de: **Ingeniero Mecánico**

AUTORES: BRAYAN ALEXIS SUNTAXI OÑA

KEVIN ANIBAL AZANZA NEACATO

TUTORA: MARÍA CRISTINA CALERO ARMAS

Quito-Ecuador  
2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Brayan Alexis Suntaxi Oña con documento de identificación N° 1721732160 y Kevin Anibal Azanza Neacato con documento de identificación N° 1726919374; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 15 de marzo del 2022

Atentamente,



---

Brayan Alexis Suntaxi Oña  
1721732160



---

Kevin Anibal Azanza Neacato  
1726919374

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Brayan Alexis Suntaxi Oña con documento de identificación N° 1721732160 y Kevin Anibal Azanza Neacato con documento de identificación N° 1726919374, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta Tecnológica: “Diseño y simulación de un equipo para maduración de carne con capacidad de 20 kg”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de marzo del 2022

Atentamente,



---

Brayan Alexis Suntaxi Oña  
1721732160



---


Kevin Anibal Azanza Neacato  
1726919374

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, María Cristina Calero Armas con documento de identificación N° 1714550645 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN EQUIPO PARA MADURACIÓN DE CARNE CON CAPACIDAD DE 20 KG, realizado por Brayan Alexis Sntaxi Oña con documento de identificación N° 1721732160 y por Kevin Anibal Azanza Neacato con documento de identificación N° 1726919374, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de marzo del 2022

Atentamente,



---

Fis. María Cristina Calero Armas, MSc  
1714550645

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres, quienes en el transcurso de toda nuestra vida nos brindaron su apoyo incondicional, además de incentivarnos a ser mejores de manera personal como profesional, siguiendo nuestra formación académica muy de cerca, confiando en nosotros y en nuestras capacidades desde el comienzo.

A nuestros docentes que tuvimos el privilegio de conocer a lo largo de nuestra vida universitaria a quienes les debemos todos los conocimientos adquiridos, gracias por su esfuerzo, dedicación, paciencia y amor por la enseñanza. De manera personal agradecemos a la Fis. María Cristina Calero Armas que desde el inicio confió en nuestras capacidades y nos apoyó en todo este proceso.

A la universidad politécnica salesiana, que nos permite alcanzar nuestros sueños y desarrollarnos profesionalmente, formando no solo excelentes profesionales sino también buenos seres humanos con grandes virtudes. Además, agradecemos por facilitarnos la licencia del software de simulación SolidWorks y permitir que nuestro proyecto se cumpla sin ninguna traba.

Un agradecimiento especial para la empresa Famin y Carnazal por proveernos del equipo y la carne para realizar las pruebas necesarias para la validación de los datos obtenidos en la simulación.

## **DEDICATORIAS**

Dedico este proyecto a todas las personas que han formado parte de mi vida, permaneciendo conmigo en diversos procesos de formación personal y profesional. A mis padres que siempre me han extendido la mano en situaciones difíciles durante mi formación profesional, dándome ánimos para permanecer, a mis amigos que siempre están en mis triunfos y pérdidas, A mis abuelitos Víctor Anibal Neacato y María Antonieta Lara que fallecieron el 2021, siendo ellos las personas que más confiaron en mi para culminar la carrera, sin ustedes nunca habría podido tener las fuerzas para luchar por mis sueños y mantenerme fuerte cuando las cosas se complicaban, los amo.

Kevin Azanza

Dedico este proyecto primero a Dios por mantenerme con buena salud en estos tiempos difíciles, segundo a mis padres, Edwin Rolando Sntaxi Sntaxi y Sandra Yasely Oña Niacato por brindarme el apoyo necesario para lograr culminar mi periodo universitario, además de formarme con buenos valores. También quiero agradecer a Diana Carolina Loya Morales por ser mi compañera de viaje durante toda esta lucha ya que me ayudó a seguir adelante en momentos difíciles. Y por último a todas las personas que me han visto crecer profesionalmente, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo incondicional.

Alexis Sntaxi

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
1.1 Situación actual del mercado cárnico ecuatoriano .....	5
1.1.1 Maduración de la carne como una alternativa.....	6
1.1.2 Antecedentes .....	7
1.1.3 Maduración de la carne .....	8
1.1.4 Maduración en húmedo .....	8
1.1.5 Maduración en seco.....	8
1.1.6 Equipos para maduración de carne.....	9
1.1.7 Parámetros para la maduración en seco de la carne vacuno .....	9
1.1.8 Días de maduración .....	10
1.1.9 Temperatura .....	10
1.1.10 Humedad relativa .....	11
1.1.11 Flujo de aire.....	11
1.2 Marco teórico.....	12
1.2.1 Refrigeración.....	12
1.2.2 Descripción de sistemas de refrigeración.....	12
1.2.3 Ciclos de refrigeración .....	12
1.2.4 Ciclo invertido de Carnot .....	12
1.2.5 Ciclo real de refrigeración.....	13
1.2.6 Evaporador .....	13
1.2.7 Condensador.....	13
1.2.8 Compresor .....	14
1.2.9 Dispositivo de expansión .....	14
1.2.10 Aislante térmico .....	14
1.2.11 Rotura de puente térmico .....	15
1.2.12 Luz ultravioleta .....	15
1.2.13 Humidificadores .....	15
1.3 Software de simulación .....	16
1.3.1 Definición.....	16
1.3.2 Ventajas de SolidWorks .....	16
1.3.3 Método de resolución del diseño.....	17

CAPÍTULO 2 .....	18
2. CÁLCULOS DE REFRIGERACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	18
2.1 Generalidades .....	18
2.2 Diseño del equipo de maduración .....	19
2.2.1 Equipo de maduración.....	19
2.2.2 Dimensionamiento del equipo de maduración .....	19
2.2.3 Información obtenida de las bandejas (en base a carniceros y al software de modelamiento SolidWorks).....	20
2.2.4 Área requerida de la bandeja en la cámara de maduración .....	22
2.2.5 Área interna de la cámara de maduración .....	23
2.2.6 Ensamble del equipo de maduración.....	24
2.2.7 Despiece del equipo de maduración.....	25
2.3 Distribución del producto .....	27
2.4 Selección del tipo de aislamiento .....	30
2.5 Cálculo de espesor de aislamiento.....	31
2.6 Cálculo de las cargas térmicas.....	32
2.6.1 Cargas por transmisión.....	32
2.6.2 Carga del producto .....	36
2.6.3 Carga por infiltración de aire .....	37
2.6.4 Pérdidas de calor por equipos.....	41
2.6.5 Capacidad de refrigeración requerida .....	42
2.6.6 Cargas térmicas totales.....	43
2.7 Selección del refrigerante .....	44
2.7.1 Refrigerante R-134a .....	44
2.7.2 Aplicaciones .....	44
2.8 Ciclo termodinámico de refrigeración .....	46
2.8.1 Temperatura de evaporación .....	46
2.8.2 Temperatura de condensación .....	47
2.9 Selección de componentes.....	50
2.9.1 Selección de dispositivos de refrigeración .....	50
2.9.2 Selección de dispositivos adicionales .....	55
CAPÍTULO III .....	57
3. SIMULACIÓN DEL EQUIPO DE MADURACIÓN .....	57
3.1 Simulación y validación de resultados .....	57
3.1.1 Modelado.....	57
3.1.2 Simulación.....	58



CAPÍTULO IV .....	72
4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS .....	72
4.1 Validación de los datos en un prototipo .....	72
4.2 Adecuación de la cabina .....	73
4.3 Prueba del prototipo.....	74
4.3.1 Prueba de equipo vacío .....	74
4.3.2 Prueba del equipo con carga.....	75
4.4 Comparación de resultados.....	76
4.4.1 Cálculo del error relativo.....	79
CAPÍTULO V .....	81
5. ANÁLISIS DE COSTOS .....	81
5.1 Presupuesto para la construcción de un prototipo .....	81
5.2 Presupuesto para el equipo de ensayos .....	82
CONCLUSIONES .....	83
RECOMENDACIONES .....	84
LISTA DE REFERENCIAS .....	85
ANEXOS.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Producción ganadera en países latinos y el Caribe. ....	5
<b>Figura 2.</b> Representación de la rotura de puente térmico con perfil de aluminio. ....	15
<b>Figura 3.</b> Temperatura máxima y mínima promedio en la ciudad de Quito en el año 2021... ..	18
<b>Figura 4.</b> Localización y distancia entre bandejas. ....	20
<b>Figura 5.</b> Diseño de la bandeja adaptable.....	21
<b>Figura 6.</b> Área y volumen interno del equipo de maduración. ....	23
<b>Figura 7.</b> Modelado del equipo de maduración realizado en SolidWorks. ....	25
<b>Figura 8.</b> Componentes principales dentro del ensamble general. ....	25
<b>Figura 9.</b> Dimensionamiento y modelado 3D del producto. ....	28
<b>Figura 10.</b> Dimensiones de bandejas.....	28
<b>Figura 11.</b> Dimensiones de bandeja móvil. ....	29
<b>Figura 12.</b> Distribución del producto en el espacio a refrigerar.....	29
<b>Figura 13.</b> Dimensiones exteriores del equipo. ....	30
<b>Figura 14.</b> Dimensiones del grosor de las paredes. ....	33
<b>Figura 15.</b> Dimensiones del grosor de la puerta.....	34
<b>Figura 16.</b> Sistema de referencia. ....	35
<b>Figura 17.</b> Diagrama de pastel sobre la carga térmica total. ....	43
<b>Figura 18.</b> Diagrama esquemático de un ciclo de refrigeración realizado en Aspen Plus. ....	46
<b>Figura 19.</b> Diagrama P-h del ciclo de refrigeración. ....	48
<b>Figura 20.</b> Factor de compresión.....	51
<b>Figura 21.</b> Modelo SB del catálogo Thermo-coil.....	53
<b>Figura 22.</b> Humidificador marca AGPTEK. ....	56
<b>Figura 23.</b> Proceso de simulación y validación.....	57
<b>Figura 24.</b> Modelado en SolidWorks. ....	57
<b>Figura 25.</b> Calidad de malla y refinamiento avanzado.....	58
<b>Figura 26.</b> Distribución de la temperatura en la cámara de maduración sin producto. ....	60
<b>Figura 27.</b> Distribución del flujo de aire en la cámara de maduración sin producto ..... ..	62
<b>Figura 28.</b> Distribución de la humedad relativa en la cámara de maduración sin producto. ..	63
<b>Figura 29.</b> Cámara de maduración con bandejas y el producto en su máxima capacidad. ....	64
<b>Figura 30.</b> Modelos matemáticos de los componentes de los alimentos.....	65
<b>Figura 31.</b> Distribución de la temperatura en la cámara de maduración con producto.....	68

<b>Figura 32.</b> Distribución del flujo de aire en la cámara de maduración con producto. ....	69
<b>Figura 33.</b> Distribución de la humedad relativa en la cámara de maduración con producto. .	71
<b>Figura 34.</b> Equipo original de refrigeración. ....	72
<b>Figura 35.</b> Medidas de la cabina para realizar los ensayos. ....	73
<b>Figura 36.</b> Adecuación de cabina. ....	73
<b>Figura 37.</b> Ubicación de termocuplas en la cabina. ....	74
<b>Figura 38.</b> Cabina con 20 kg de carne. ....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Registro de cabezas bovinas del 2006 hasta el 2011.....	6
<b>Tabla 2.</b> Tipos de humidificadores. ....	16
<b>Tabla 3.</b> Datos de cada partición. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Descripción general de los componentes principales del ensamble general. ....	26
<b>Tabla 5.</b> Conductividad térmica de materiales aislantes. ....	30
<b>Tabla 6.</b> Pérdidas de calor por transmisión. ....	35
<b>Tabla 7 .</b> Datos del producto. ....	36
<b>Tabla 8.</b> Valores de entalpía, volumen específico y densidad del aire exterior e interior del equipo. ....	39
<b>Tabla 9.</b> Calor generado por motores eléctricos. ....	41
<b>Tabla 10.</b> Carga térmica total. ....	43
<b>Tabla 11.</b> Componentes del R-134a. ....	45
<b>Tabla 12.</b> Propiedades físicas del R-134a. ....	45
<b>Tabla 13.</b> Entalpías de los puntos relevantes del ciclo termodinámico. ....	48
<b>Tabla 14.</b> Factor de corrección de refrigerante para una $T_{cam} = 0^{\circ}C$ y $HR = 80\%$ . ....	50
<b>Tabla 15.</b> Factor de altitud $F_a$ . ....	51
<b>Tabla 16.</b> Factor de corrección en función del refrigerante. ....	52
<b>Tabla 17.</b> Características del condensador. ....	53
<b>Tabla 18.</b> Características de compresor. ....	54
<b>Tabla 19.</b> Especificaciones técnicas control Full Gauge AHC-80 plus. ....	55
<b>Tabla 20.</b> Especificaciones de humidificador marca AGPTEK. ....	56
<b>Tabla 21.</b> Datos del corte seleccionado. ....	65
<b>Tabla 22.</b> Datos obtenidos en el prototipo sin producto. ....	74
<b>Tabla 23.</b> Datos obtenidos en el prototipo con producto. ....	75
<b>Tabla 24.</b> Comparación entre temperaturas con la cámara vacía. ....	76
<b>Tabla 25.</b> Comparación entre temperaturas en la cámara con el producto. ....	77
<b>Tabla 26.</b> Comparación entre Humedades Relativas con la cámara vacía. ....	78
<b>Tabla 27.</b> Comparación entre Humedades Relativas en la cámara con el producto. ....	78
<b>Tabla 28.</b> Error relativo de temperatura y humedad relativa para ambos casos. ....	79
<b>Tabla 29.</b> Costos para la construcción de un prototipo. ....	81
<b>Tabla 30.</b> Costos de elementos usados para los ensayos. ....	82

## RESUMEN

La maduración de la carne es un proceso de ablandamiento de esta que otorga diversas bondades como un sabor concentrado, textura y suavidad. Dentro de los procesos de maduración más reconocidos son: la maduración en seco y en húmedo. En el presente trabajo, el objetivo es el diseño y simulación de un equipo para maduración de carne con capacidad de 20 kg. Se optó por diseñar un equipo de maduración de carne en seco, dentro de este método se busca controlar tres variables que son: la temperatura, el flujo de aire y la humedad relativa.

Dentro del diseño, se estableció cálculos de dimensionamiento, capacidad de almacenamiento, área requerida de las bandejas, selección del aislante y su espesor, cargas térmicas, capacidad de refrigeración, selección del refrigerante y cálculos del ciclo de refrigeración, además de la selección de los componentes principales del sistema de refrigeración como: compresor, condensador, evaporador y tubo capilar, asimismo de dispositivos adicionales: humidificador, control de temperatura y humedad. Se analizan dos casos: el primero caso, cuando la cámara de maduración está vacía y el segundo caso, con producto y bandejas. Ambos casos alcanzaron una temperatura de refrigeración de  $1^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa del 80% luego de un intervalo de tiempo. Para la conclusión del trabajo, se compararon resultados derivados de la simulación con ensayos experimentales en un equipo de similares características tomando valores de temperatura con la ayuda de termocuplas, humedad relativa utilizando un higrómetro. Por último, se realizó una tabla de presupuesto que demuestra la rentabilidad del equipo propuesto.

**Palabras claves:** maduración en seco, temperatura, humedad, equipo de maduración.

## ABSTRACT

The meat maturation is a softening process of meat which gives a diversity of goods, like a concentrated flavor, texture, and softness. Within the most known maturation processes are: dry maturation or dry meat aging and wet meat maturation. In the present work, the objective is the design and simulation of a meat maturation equipment with a 20kg.capacity. It was decided to design a dry meat aging equipment. In this method, the aim is to control three variables: temperature, air flow and relative humidity.

Within the design, it was established the calculation of sizing, storage capacity, required area of trays and plates, selection of refrigerant and calculation of the cooling cycle, besides the selection of the main components of the cooling system like compressor, condenser, evaporator, capillary tube, as well as additional devices: humidifier, control of temperature and humidity. Two cases were analyzed: the first case, when the maturation chamber is empty and the second case, with product and plates or trays. Both cases reached a cooling temperature of 1degree Celsius and 80% of relative humidity after an interval of time.

In conclusion, it was compared the derived results of the simulation with experimental attempts or try outs in an equipment of similar characteristics obtaining temperature values with the help of thermocouples, relative humidity with a hygrometer. At last, a budget table was made. It showed the rentability of the proposed equipment.

**Key words:** dry meat aging, temperature, humidity, maturation equipment.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Ecuador no posee herramientas ni conocimientos necesarios para realizar un proceso de maduración de carne adecuado por lo que se busca dar a conocer los parámetros para lograrlo. Además, se desea diseñar y simular un equipo capaz de madurar 20 kg de carne mediante la implementación de cálculos de capacidades frigoríficas de elementos principales de refrigeración como son compresor, evaporador, condensador y la selección del tubo capilar mediante el uso de tablas, aplicando conocimientos de termodinámica y transferencia de calor para lograr un diseño completo y justificado seleccionando los materiales indicados, así como los componentes necesarios para el proyecto.

Mediante el diseño del equipo se da una solución adecuada para la creciente demanda de carne que existe en el país, contribuyendo a un nuevo mercado que se puede explotar a nivel nacional, ya que actualmente es muy escaso el conocimiento sobre este tipo de procedimiento y además no existen un modelo a nivel nacional que madure la carne.

El trabajo presentado se divide en cinco capítulos: en el capítulo I se presenta un estado del arte la situación actual de la situación actual del mercado de maduración en el Ecuador, sus antecedentes y el marco teórico, en el capítulo II se presenta el diseño del modelo, los cálculos de refrigeración y la selección de los elementos, para seguir con el capítulo III en donde se realiza la simulación en software y se da a conocer gráficas de flujo de aire, temperatura y humedad relativa. Se realiza la validación en el capítulo IV mediante el uso de un prototipo donde se exponen y se comparan los datos obtenidos de la simulación y del prototipo, por último, se da a conocer en el capítulo V los costos de un prototipo y de los elementos usados para el ensayo.

Finalmente se presenta las conclusiones acerca de las cargas térmicas calculadas, así como de los dispositivos adicionales, además se presentan una comparación y validación de los datos obtenidos en el prototipo y también se tiene una serie de planos del equipo de maduración realizado en software 3D.

## **Planteamiento del problema**

La industria cárnica en el Ecuador ha aumentado en el último siglo y esto ha provocado que la demanda también se ha incrementado de parte de los consumidores [1]. Los procesos utilizados para que la carne llegue hasta el lugar donde va a ser vendida son básicamente el faenamiento, el corte y el empaque, siguiendo las normas sanitarias correspondientes. Dentro de los estándares del consumidor de carne se encuentra la textura, suavidad y un sabor más concentrado, es así, que surge la necesidad de satisfacer al mercado dándole otro tratamiento a la carne denominado maduración controlada, mejorando la calidad de esta.

Los equipos para madurar carne en su mayor parte son extranjeros [2] como Sorgo, Mauting o Protect AB, por ende, su costo de adquisición es más elevado y poco accesible a los consumidores, por lo que se busca diseñar un prototipo que logre madurar pequeñas porciones de carne, adecuado para colocar en un local, un restaurante, una carnicería, una tienda.

Debido a las condiciones de salubridad, los equipos de maduración de carne necesitan estar contruidos de acero inoxidable para evitar la corrosión, un sistema de control de la temperatura y humedad que requiere sensores y equipos como: compresor y humificador que mantienen los rangos deseados, para una mejor calidad del aire se requiere de un flujo constante mientras la cámara de maduración se encuentre cerrada y un filtro de carbón activo, por ultimo una luz ultravioleta que permita eliminar bacterias.

Por tal motivo, se necesita generar una cámara bajo estas condiciones de control, esto solo se puede lograr con su diseño y simulación. Siendo así este el problema a resolverse en el presente proyecto.



## **Justificación**

Actualmente el término maduración de carne no es común ni aplicado en el Ecuador, por este motivo se propone el diseño de un prototipo adecuado para el control de las variables afectando positivamente a las pérdidas producidas por la fermentación que serán mínimas y la calidad será mucho mayor, este proceso se lo practica en muchos países donde los consumidores, principalmente los amantes de la carne tienen grandes exigencias al momento de degustar un corte de carne muy fino y jugoso, normalmente este tipo de carne no es exclusivo a todo el público, al ser un proceso que demanda tiempo y dinero. Este tipo de carne normalmente se lo consigue en pocos restaurantes o carnicerías, además presupuestando el equipo más económico, pequeño y de calidad promedio normalmente están rondando entre unos 5.000 a 10.000 dólares más impuestos.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (OCDE-FAO) [1] en sus perspectivas agrícolas del 2021-2030 la participación de las exportaciones de carne en países latinos y la región del Caribe aumentarán un 10%, sin embargo Ecuador no es uno de los favoritos en las exportaciones del producto cárnico en América del sur, por lo que el proceso de maduración tiene una alta rentabilidad, lo cual, un emprendimiento que mejorará la carne tiene un gran alcance y una buena proyección, ofreciendo carne madurada a múltiples negocios, que desean adquirir un producto de alta calidad, con un tratamiento demoroso y complejo.

Esta oportunidad de implementar un diseño en un mercado poco conocido en Ecuador brinda una visión diferente, basándose en la mejora de la calidad de la carne tradicional que se tiene conocimiento, el diseño del producto es novedoso y hasta un cierto punto de alto estatus para muchos negocios, restaurantes o mercaderes de media o alta gama, que tengan esta necesidad. A continuación, se presentan los objetivos del presente trabajo:

## **Objetivo general**

- Diseñar y simular un equipo para maduración de carne con capacidad de 20 kg.

## **Objetivos específicos**

- Identificar las necesidades y la situación actual del mercado de maduración cárnico del Ecuador mediante un estado del arte.
- Analizar las alternativas de los procesos controlados de maduración de carne y seleccionar la más competente.
- Seleccionar los elementos más críticos dentro del sistema de maduración.
- Validar resultados de la cámara de maduración mediante simulación en software especializado para controlar rangos de temperatura.
- Comparar los resultados de la simulación con las mediciones en un prototipo.
- Analizar la rentabilidad del prototipo mediante indicadores financieros que permitan establecer resultados.

## CAPÍTULO I

### 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1 Situación actual del mercado cárnico ecuatoriano

Uno de los alimentos de procedencia animal más nutritivos es la carne, también puede ser fuente de enfermedades y altamente tóxico si no se aplican buenas prácticas pecuarias durante la producción [3]. Estas prácticas son un conjunto de técnicas que deben emplearse durante todo el transcurso de producción alimenticia de origen animal con el objetivo de que sea de calidad y seguro para su consumo, considerando el medio ambiente. Los procesos utilizados para que la carne llegue hasta el lugar donde va a ser vendida son básicamente el faenamiento, el corte y el empaque, estos procesos son regulados mediante la guía de buenas prácticas pecuarias en la producción del ganado bovino de carne [4]. Según el estudio de cadenas pecuarias de Ecuador del 2013 [5] el consumo actual de carne bovina per cápita es de 17 kg, destinado específicamente al consumo interno del país debido al escaso índice de participación en el mercado internacional que mantiene Ecuador.

La Figura 1 muestra las estadísticas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sobre agricultura, denotando los países latinos y de la región del Caribe con mayor producción cárnica de vacuno, cerdo, aves de corral y ovino siendo: Argentina, Brasil y México, mientras que los otros países restantes se les considera en conjunto, en base a las proyecciones analizadas del 2020 hasta el 2030 el mercado de carne de vacuno se mantendrá [6].

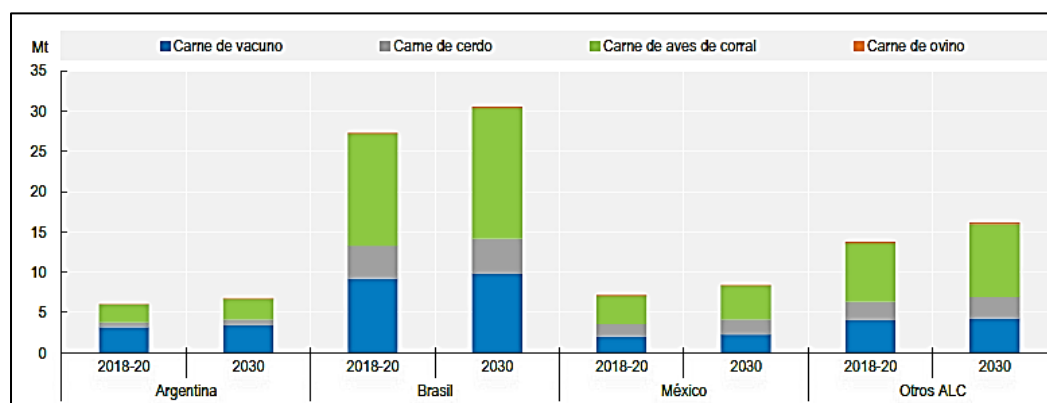


Figura 1. Producción ganadera en países latinos y el Caribe [6].

Sin embargo, desde el 2014, Ecuador ha estado impulsando la exportación de carne y lácteos a la Unión Europea, Turquía y Qatar [7] pero esto se aplazó debido a que los gremios ganaderos especulan que exportar carne de res tomará tiempo, inicialmente tendrán que decidir acerca de varias trabas, entre las que reconocen una genética que no contribuye carne de la calidad esencial para exportación, una infraestructura impropia, y precios internos bajos [8]. Por lo que la proyección de exportación aumentó para 2017 con genética de vacunos traídos de Paraguay [9]. El mercado bovino ecuatoriano se caracteriza debido a la producción de carne y leche. Conforme a las regiones que conforman el país, la Sierra apunta principalmente a la producción lechera, la Costa y Oriente se limita mayormente en ganado de carne.

A continuación, en la Tabla 1 se visualiza la cantidad de producción de cabezas de vacuno del 2006 hasta 2011 en las principales regiones del Ecuador, en el periodo del 2011 tuvo un total de cabezas de ganado de 5.358.904 a nivel nacional [5]. Dentro de las regiones de mayor participación se localiza la sierra con una producción de cabezas bovinas de 2.732.251, seguido de la región costa y oriente que tuvieron una producción de 1.965.592 y 660,961 de cabezas bovinas respectivamente. En términos de porcentaje las regiones de la sierra, costa y oriente tuvieron los porcentajes de 51%, 37% y 12% respectivamente.

**Tabla 1.** Registro de cabezas bovinas del 2006 hasta el 2011 [5].

Regiones	Cantidad de cabezas					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Sierra</b>	2.490.799	2.348.446	2.465.299	2.583.353	2.673.028	2.732.351
<b>Costa</b>	1.887.881	1.779.144	1.830.696	1.968.576	1.954.647	1.965.592
<b>Oriente</b>	655.73	599.515	596.221	642.796	661.862	660.961

### 1.1.1 Maduración de la carne como una alternativa

La maduración de carne es una alternativa para mejorar la calidad y textura del producto brindando mayor acogida al mercado internacional, este proceso se ha realizado en pocos

lugares de manera reconocida del Ecuador como Cayambe y Loja por la empresa el Rincón Mediterráneo distribuyendo este producto en Quito, Guayaquil y Cuenca [10]. El restaurante Shamrok Steak y Cofee que se especializa en cortes finos con tiempos de maduración entre 18 a 21 días y rangos de temperatura de 2 a 4°C [11].

Actualmente no se dispone de mucha información acerca del mercado de maduración cárnico en el país de manera oficial, este mercado no lleva mucho tiempo, además de que siempre existe demanda y competencia para mejorar los procesos y la calidad de productos, es sin lugar a duda la maduración de carne un proceso tentador para aplicarse.

### **1.1.2 Antecedentes**

Por mucho tiempo, la maduración en seco fue la más conocida por los carniceros para conservar y suavizar la carne. Todo esto cambio con la llegada del envasado al vacío hace aproximadamente 50 años ya que trajo consigo una mejor eficiencia en el procesamiento y transporte por ende la maduración en seco vio el fin de su era. En la actualidad ha vuelto a tomar fuerza este tipo de envejecimiento por parte de una amplia gama de proveedores en los Estados Unidos y Australia [12]. En general existen dos técnicas para madurar la carne: húmeda y seca, ambos tienen como objetivo el desarrollar un sabor mejorado y una carne más tierna.

La carne sometida a la maduración en húmedo se coloca en un paquete al vacío en un ambiente controlado por un periodo de tiempo específico. Por otro lado, el proceso en seco de la carne de res se trata de colgar en una sala refrigerada cortes primarios sin empacar y dejarlos por varias semanas incluso meses a temperatura, humedad relativa y flujo de aire controlados [13].

En el proceso de madurado en seco, los jugos son absorbidos por la carne, descomponiendo químicamente las proteínas y la parte grasosa, dando un sabor a nuez. Además, durante este proceso las enzimas naturales de la carne de vacuno se encargan de descomponer las proteínas y el tejido conectivo del músculo para obtener una carne más tierna [13]. Ahora bien, este proceso de madurado en seco es costoso ya que necesita de un equipo capaz de mantener estas condiciones para lograr el ambiente propicio.

### **1.1.3 Maduración de la carne**

Se conoce como maduración a un proceso mediante el cual se llega al ablandamiento de la carne, basándose en la intervención de sistemas enzimáticos en donde se rompen las proteínas. Entonces se puede llegar a la conclusión de que las características que posee la carne específicamente las organolépticas, no dependen netamente de factores propios del animal, sino además de procesos que ocurren como es el caso del rigor mortis y la maduración para darle suavidad a la carne [14].

### **1.1.4 Maduración en húmedo**

Es un proceso de envejecimiento incluido al mercado cárnico en la década de los 70s, trata básicamente en envasar el producto en una bolsa de plástico al vacío, de esta forma protegiendo la carne de que se seque y se eche a perder. El almacenamiento realizado de esta forma puede durar de 3 a 83 días bajo un ambiente refrigerado entre 1 a 2 °C y presión baja [15]. Este tipo de maduración es la más utilizada en la industria comercial ya que las pérdidas por humedad son mínimas y su proceso de obtención requiere menos costo y tiempo [16]. Algunos estudios han demostrado que la maduración en húmedo incrementa la ternura de la carne sin sacrificar tanta pérdida de peso y corte como ocurre con la maduración en seco. Por otro lado, pese a todas estas ventajas, la maduración en húmedo suele provocar un sabor amargo, metálico y en ocasiones a sangre en la carne [16].

### **1.1.5 Maduración en seco**

Según Álvarez et al. [16] la maduración en seco mejora notablemente los atributos de palatabilidad de la carne, dándole un sabor a “añejado en seco”, es decir como tostado marrón, carnosos, caldosos, mantecosos, nuez y dulce.

La maduración en seco es un proceso que consiste en almacenar cortes primarios y/o subprimarios sin materiales de embalaje como el plástico, en una cámara fría que además mantenga ciertas condiciones como un rango de humedad relativa y un flujo de aire constante para garantizar un buen producto [16]. Las condiciones mencionadas deben mantenerse por un cierto periodo de tiempo de acuerdo con el tipo de corte.

Esta práctica se lo hace principalmente por la capacidad que tiene de realzar el sabor único de la carne y que no se lo puede obtener por otro proceso conocido. Sin embargo, la maduración en seco es un proceso costoso y lento que requiere de espacio y también genera una gran contracción, lo que se traduce como la gran cantidad de desechos secos o costra que debe recortarse [17].

#### **1.1.6 Equipos para maduración de carne**

Los equipos de temperatura y humedad relativa controlable son muy utilizados ya que poseen una gran variedad de aplicaciones, incluyendo la maduración de carne. La mayoría de las cámaras están construidas de aluminio y acero inoxidable para evitar la corrosión, además deben tener un sello hermético para conservar en el interior de la cámara las condiciones ambientales, mientras que en el exterior cuentan con un control digital que va monitoreando y controlando las condiciones de rangos de temperatura y humedad, desarrollándose de manera efectiva [14].

La temperatura requerida es obtenida mediante un sistema de refrigeración encargado de sustraer calor de la carne manteniéndola en la temperatura adecuada, por otro lado, la humedad relativa es obtenida por medio de un generador de vapor de esta forma garantizando el ambiente necesario [14].

En la actualidad se diseñan equipos de refrigeración con tecnología Peltier, que es una celda que permite el proceso de calentamiento y refrigeración siendo este muy silencioso [18].

#### **1.1.7 Parámetros para la maduración en seco de la carne vacuno**

Los principales parámetros para considerarse en la maduración de la carne de vacuno son: días de maduración, temperatura, humedad relativa y flujo de aire. Cada uno de los parámetros mencionados son de suma importancia ya que controlan el desarrollo del sabor y otros atributos de palatabilidad e influyen directamente en la vida útil, el encogimiento, la pérdida de recortes, la podredumbre microbiana y la inversión económica [15].

Por lo general la carne de res madura en seco durante 40 a 60 días en una habitación o cámara refrigerada con una temperatura que puede oscilar entre 0 a 4°C y con una humedad

relativa del 75% a 80% y un flujo de aire constante [19].

### **1.1.8 Días de maduración**

De acuerdo con Savell [19] los días para conseguir la maduración de la carne varía tanto en la práctica como en la literatura. Para la determinación del número de días de maduración en seco se basa más en experiencia personal más que en cualquier literatura científica.

En los periodos de 14 a 35 días parecen ser efectivos para obtener los resultados deseados en la maduración de la carne en seco, además no parece haber un lumbral en donde se requiera un tiempo suficiente más allá de los 14 días para que realmente esta carne se llame “añejada en seco” [19].

Sin lugar a duda, existen varias opiniones de carniceros acerca del tiempo de maduración y cada uno de ellos son apasionados con su forma de hacerlo. Para mala suerte la información científica es tan limitada que no se puede asegurar un período mínimo recomendado para la maduración en seco [19].

### **1.1.9 Temperatura**

La temperatura de almacenamiento es muy crítica ya que si está por debajo de la temperatura de congelación para carne ( $-2^{\circ}\text{C}$  a  $-3^{\circ}\text{C}$ ), se detendrán los procesos enzimáticos relacionados a la maduración. Por otro lado, si la temperatura de almacenamiento es elevada, los procesos enzimáticos trabajarán bastante bien, pero también lo hará el actuar de las bacterias que da como resultado el mal olor y sabores extraños. En la mayor parte de literaturas sobre la maduración en seco se da a conocer que las temperaturas adecuadas varían entre los  $0$  a  $4^{\circ}\text{C}$  [19].

De acuerdo con las conclusiones obtenidas por Terjung et al. [15] la temperatura para lograr una maduración en seco correcta es de  $2^{\circ}\text{C}$ . Según estudios realizados por Vossen et al. [20] las temperaturas usadas fueron de  $2$  a  $6^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, este rango pudo afectar la calidad microbiológica y la seguridad de la carne. Campbell et al. [21] seleccionó una temperatura de  $1,5^{\circ}\text{C}$  para sus experimentos.



### **1.1.10 Humedad relativa**

Un parámetro que también hay que controlar en la maduración en seco es la humedad relativa, que debe ser manipulada para almacenar los productos. Si es demasiado alta, las bacterias de descomposición pueden crecer y producir olores desagradables. Por el contrario, si es demasiada baja, restringirá el crecimiento bacteriano, pero promueven una pérdida mayor de peso por evaporación secando demasiado rápido la carne y obteniendo un filete menos jugoso del necesario [22]. La humedad relativa recomendada según Dashdorj et al. [12] está dentro del rango de 75 al 80%. Existen otros estudios publicados en donde la humedad relativa utilizada es mayor al 85% para lograr una maduración en seco [15].

### **1.1.11 Flujo de aire**

Para lograr una apropiada circulación del aire en la cámara de maduración se requiere de un sistema de aire forzado en una ubicación apropiada, una unidad de refrigeración debidamente diseñada, rejillas de acero inoxidable, sistemas de filtración de aire y luz ultravioleta, de esta forma evitando que existan puntos muertos o sitios de alta velocidad. Si el flujo de aire no es suficiente, el secado por convección de la carne es muy escaso mientras que si es en exceso la carne se seca demasiado rápido aumentando las pérdidas del corte en el producto final [12]. Según la Federación de Exportación de Carne de los Estados Unidos o por sus siglas en inglés USMEF [23] recomienda para la maduración en seco un rango de flujo de aire que oscila entre los 0,5 m/s a 2 m/s y una velocidad sobre el producto de 0,2 m/s a 1,6 m/s debería ser suficiente para lograr un buen resultado. La velocidad y el flujo del aire tienen que ser constantes durante todo el proceso de maduración [24].

Es necesario ubicar varios ventiladores para que la carne fresca se seque lo más rápido posible, ya que se manda aire en diferentes direcciones alrededor de la cámara a diseñarse. Por otro lado, para que no exista un deterioro de la carne es recomendable separar los cortes permitiendo el correcto flujo del aire. Los cortes primarios que van a madurar deben ser puestos de forma que la mayor cantidad de grasa quede hacia abajo en los estantes, en caso de los otros cortes como el lomo, el corte debe descansar sobre el hueso [12].

## **1.2 Marco teórico**

### **1.2.1 Refrigeración**

De acuerdo con la ASHRAE [25] la refrigeración sucede cuando se transporta calor desde una ubicación a otra mediante la aplicación de un refrigerante adecuado en un sistema cerrado. La refrigeración tiene como objetivo eliminar el calor de un objeto o sustancia y mantenerlo a una temperatura establecida siendo esta inferior a la temperatura ambiente [26]. Se basa principalmente en la primera y segunda ley de la termodinámica, en donde dice que la energía no se crea ni se destruye, es decir que no desaparece la energía sin que se registre reducción de esta en otra forma [27].

### **1.2.2 Descripción de sistemas de refrigeración**

Los sistemas consisten en el uso del ciclo inverso de Carnot mediante adecuaciones y dispositivos que permiten el intercambio de calor entre dos o más cuerpos. El calor siempre se transmite de alta temperatura hacia otro que tenga temperatura más baja, por esto en cualquier sistema de refrigeración se necesita un material aislante para que se logre preservar por el mayor tiempo posible la temperatura refrigerada de la temperatura del exterior que por lo general es más caliente, evitando el mínimo flujo de calor [27].

### **1.2.3 Ciclos de refrigeración**

Existen varios ciclos usados por la industria, el más habitual es por compresión de vapor mediante el uso de pistones, lo que permite realizar procesos de condensación y evaporación del gas refrigerante permitiéndole cambiar su fase. Por otro lado, tenemos ciclos de refrigeración por gas, por absorción, en cascada y por último mediante el uso de materiales termoeléctricos, donde se crea haciendo fluir una tensión por dos materiales con características diferentes [28].

### **1.2.4 Ciclo invertido de Carnot**

Una bomba de calor y una refrigeradora operan con el ciclo invertido de Carnot, es considerado como el ciclo ideal que sirve para ser comparado con los procesos reales y sacar

la eficiencia del sistema. En este tipo de ciclo completamente reversible van a estar envueltos dos procesos isentrópicos y dos isotérmicos reversibles [28].

### **1.2.5 Ciclo real de refrigeración**

Este ciclo difiere del ideal debido al cambio en sus irreversibilidades que tienen lugar en varios componentes, en donde se estudia cómo interactúan la fricción del fluido y el intercambio de calor hacia los alrededores. Estos factores desembocan incrementando o disminuyendo la entropía. El refrigerante en un ciclo ideal ingresa al compresor como vapor saturado, en un ciclo real no se logra constatar que ocurra lo mismo con tanta precisión. Por otro lado, en el caso del condensador, el refrigerante es expulsado en forma de líquido saturado para un ciclo ideal y real, pero en este último existirán caídas de presión debido a la fricción que existe en las tuberías que unen el compresor con el tubo capilar [28].

### **1.2.6 Evaporador**

Es un dispositivo en donde el refrigerante en forma líquida se encarga de absorber el calor cuando se evapora y este cambio de fase es el que produce el enfriamiento dentro de la cámara, en otras palabras, su trabajo es remover el calor de los alrededores para producir la refrigeración [26]. Anteriormente se usaban versiones de evaporadores de tubos lisos los cuales eran deficientes, en la actualidad tenemos otros sistemas como utilizar tubos con nervaduras o elementos con aletas que ayudan a la transferencia de calor. El rendimiento del evaporador aumenta si se introduce un ventilador al sistema.

### **1.2.7 Condensador**

Es un objeto por el cual se elimina el calor de los productos que absorbió el refrigerante y este es transmitido hacia un medio que posee una temperatura más baja. La cantidad de calor que se emite al ambiente es similar al que absorbió en el evaporador más el calor obtenido por la entrada de compresión, el refrigerante pasa de un estado de vapor a líquido ya que se está condensando [26].

### **1.2.8 Compresor**

Es un dispositivo que es encarga de succionar el vapor producido en el evaporador y enviarlo hacia el condensador. El tipo más común que existe es el de tipo pistón, pero existen otros que han ganado aceptación como, por ejemplo: compresores centrífugos, scroll y de tornillo. En aplicaciones pequeñas se usa el compresor hermético en donde el compresor y el motor se construyen juntos como una unidad completamente hermética [26].

Es el encargado de la compresión y succión del refrigerante dentro del sistema de refrigeración. Para mantener presión y temperatura en un índice bajo se obtiene mediante el compresor que succiona el vapor del evaporador, también se lo puede definir al compresor como aquello que transporta un fluido en el circuito de refrigeración. En el compresor sucede lo siguiente, el fluido de trabajo es comprimido por lo que sale como vapor sobrecalentado y posteriormente entra al compresor. La compresión se realiza mediante un pistón. El compresor requiere energía y realiza trabajo, el cual se transfiere al refrigerante [26].

### **1.2.9 Dispositivo de expansión**

Se denomina también como dispositivo de estrangulamiento, su propósito es el de asegurar un diferencial de presión suficiente entre los lados de alta y baja.

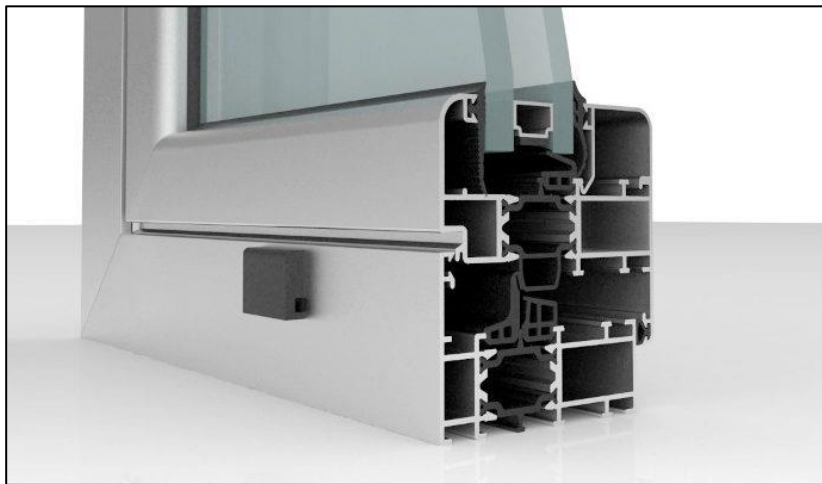
La manera más rápida para provocar este efecto es mediante el uso del tubo capilar, el cual se va a ubicar entre el condensador y evaporador. Sin embargo, el tubo capilar solo se utiliza en aparatos pequeños ya que no es capaz de regular el paso del fluido que ingresa al evaporador, por otro lado, existen válvulas de expansión termostáticas que realizan este proceso sin novedad [26].

### **1.2.10 Aislante térmico**

Según Palomo [29] al aislante térmico se lo puede definir como un material que posee resistencia al paso de calor, de esta forma reduciendo la transferencia de este, ya sea hacia el lado frío o viceversa. Se considera que un material posee poca conductividad térmica cuando sea menor a  $0,005 \text{ W/mK}$  y una resistencia térmica mayor a  $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

### 1.2.11 Rotura de puente térmico

No es hasta el siglo XX que se aplicó esta técnica en la carpintería y en países más avanzados dio la aparición del vidrio aislante. El término rotura de puente térmico es aplicable en varios ámbitos dentro de la construcción de ventanas generando un efecto térmico aislante con un doble cristal y además que el perfil que se encuentra al interior no tenga contacto con uno que este en el exterior, esto se logra mediante el uso de materiales aislantes como el caucho o poliamida, a continuación, se logra apreciar en la Figura 2 su colocación [30].



**Figura 2.** Representación de la rotura de puente térmico con perfil de aluminio [30].

### 1.2.12 Luz ultravioleta

El uso de la luz ultravioleta proviene desde hace mucho tiempo atrás dándole diferentes usos, según Enwemeka et al. [31] las longitudes de onda en los rangos UV y azul violeta son letales para varios microorganismos, lo que lo vuelve como un método para eliminar bacterias en este caso también es aplicable al uso en la maduración de carne. De acuerdo con los estudios realizados por Quatrini-Correa et al. [32] se evaluó la irradiación de carne con UV-C y se determinó la gran capacidad que tiene para reducir la contaminación de la superficie de los trozos de carne y por ende mejora su vida útil.

### 1.2.13 Humidificadores

Según Rodríguez González-Moro [33] un humidificador es un dispositivo encargado de aportar cierta cantidad de humedad a un espacio. Se compone de un recipiente para agua y

un sistema para expulsarla de forma controlada en forma de vapor. En la Tabla 2 se encuentra los tipos de humidificadores que están clasificados de acuerdo con la manera de liberar el agua al espacio [33].

**Tabla 2.** Tipos de humidificadores [33].

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Humidificador ultrasónico</b>	Produce una niebla densa contenida por pequeñas gotas de agua a través de un sistema de vibración ultrasónico.
<b>Humidificador frío</b>	Funciona mediante un disco que gira a gran velocidad el cual crea una niebla fría de partículas de agua
<b>Humidificador por evaporación</b>	Utiliza un ventilador que sopla aire por un material mojado liberando aire húmedo.
<b>Vaporizador caliente</b>	Mediante elementos eléctricos (p. ej., electrodos) calienta el agua originando vapor de agua, además contiene un subtipo que enfría el vapor antes de salir del dispositivo.

### 1.3 Software de simulación

#### 1.3.1 Definición

SolidWorks es un software de diseño CAD que adopta diversas técnicas de modelamiento paramétrico, además posee el modelado de piezas y ensamblajes mediante una generación automática de dibujos de ingeniería en 2D entre otras funciones [34].

#### 1.3.2 Ventajas de SolidWorks

Dentro de las innumerables ventajas que poseen los softwares de diseño CAD más

avanzados en la actualidad, como es el caso de SolidWorks se expondrá las más relevantes y necesarias a considerar dentro del ámbito de la industria [35].

- **Realización de diseños en 3D**

Un software bastante sencillo de utilizar, con una interfaz muy intuitiva que brinda mayor facilidad al momento de realizar un diseño.

- **Mayor acogida en el mercado de softwares de diseño CAD**

SolidWorks ha adquirido bastante popularidad a nivel mundial con el tiempo, por lo que la interacción cliente- proveedor se desempeña con mayor facilidad reduciendo una cantidad significativa de errores en la producción.

- **Buenas herramientas de trabajo**

Mantiene herramientas productivas que permiten realizar análisis físicos, cinemáticos, estrés, deflexiones, vibraciones, temperaturas, flujo de fluidos que se adaptan a cualquier tipo de diseño.

- **Menor curva de aprendizaje**

Siendo el tiempo en la actualidad un factor bastante influyente en la economía y producción, además la misma compañía brinda a sus compradores tutoriales para que puedan enriquecer su aprendizaje, su software fluye de manera natural y mantiene una lógica de principio a fin.

### **1.3.3 Método de resolución del diseño**

Se da uso a un paquete de softwares comerciales como SolidWorks, ANSYS y otros para lograr el estudio de objetos sometidos a diferentes casos y lograr en base a una simulación numérica, la predicción y análisis de ciertas características que se requieren para la validación previa de una construcción. Por eso hay muchas publicaciones que utilizan este método para calcular la deformación de sólidos frente a ser sometidos a temperatura y logra un análisis minucioso y exacto [36].

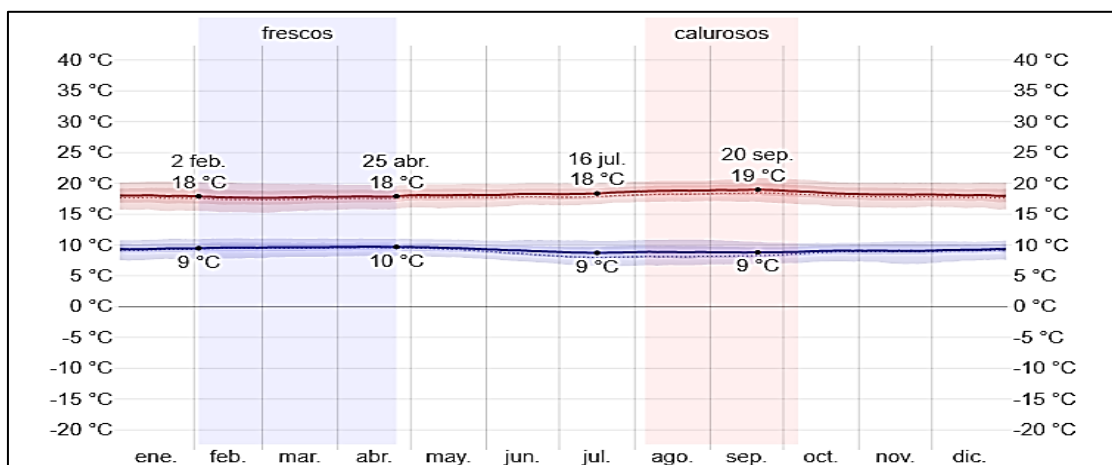
## CAPÍTULO 2

### 2. CÁLCULOS DE REFRIGERACIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

#### 2.1 Generalidades

Para el diseño y simulación del equipo se requiere establecer parámetros de operación adecuados para un correcto proceso de maduración en seco, por ende, se considera las propiedades físicas a las que debe ser expuesto el producto, estas son la temperatura de 0°C a 4°C y una humedad relativa de 75% a 85%, además se toma en cuenta la siguiente información: ubicación, capacidad de almacenamiento, volumen del prototipo, humedad exterior e interior, temperatura exterior e interior, velocidad del aire.

De acuerdo con la página WeatherSpark [37] en la Figura 3 se da a conocer la temperatura ambiental actual en la ciudad de Quito, que es necesaria para realizar los cálculos de carga térmica más adelante.



**Figura 3.** Temperatura máxima y mínima promedio en la ciudad de Quito en el año 2021 [37].

Ahora bien, para realizar los cálculos se hace un promedio entre las temperaturas máximas y mínimas, en este caso la temperatura ambiente será de 14°C, se establece la presión de 0,71 atm que según Cevallos-Paredes et al. [38] es la presión que tiene Quito a una altura de 2850 msnm.



## **2.2 Diseño del equipo de maduración**

### **2.2.1 Equipo de maduración**

Un equipo de maduración es una instalación industrial, en el cual se almacena y fermenta los cortes de carne por un tiempo aproximado según el corte y tipo, que posteriormente se comercializarán.

Para la realización del diseño de equipo se debe considerar dos parámetros esenciales que son:

- La temperatura ambiente o externa
- La temperatura interna de la cámara.

### **2.2.2 Dimensionamiento del equipo de maduración**

En el dimensionamiento del equipo de maduración se deben considerar diversos factores que permitirán realizar un correcto cálculo, de los cuales sus principales son:

- El espacio que ocupará el producto.
- El método de fermentación y almacenamiento.
- Dentro del análisis se debe considerar el diseño de 2 bandejas que soportarán 13 cortes de carne por un periodo aproximado de 14 a 35 días con un peso aproximado de 1,5 kg c/u.

Con la información de diseño adquirida se puede obtener la capacidad total de la cámara de refrigeración

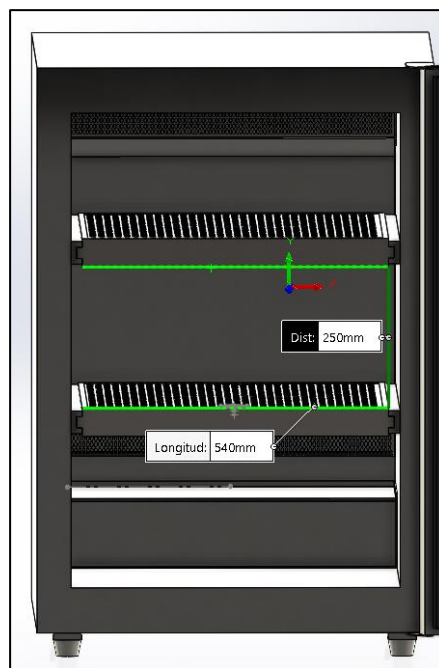
- 13 cortes de carne.
- Peso por corte de 1,5 kg.
- 2 bandejas de acero.
- Peso por bandeja de 2,33 kg.

masa total=(número de cortes×peso por corte)+( número de bandejas×peso por bandeja)

$$\text{masa total}=(13\times 1,5\text{ kg})+(2\times 2,33\text{kg})$$

$$\text{masa total}= 24,16\text{ kg}$$

Por lo tanto, en el equipo madurador de carne se puede almacenar en total 24 kg. Como indica la Figura 4 cada bandeja está ubicada en sentido horizontal, dejando un espacio entre bandejas de 250 mm.



**Figura 4.** Localización y distancia entre bandejas.

Despreciando el peso de las bandejas la capacidad de almacenamiento de producto del equipo de maduración es de 20 kg aproximadamente.

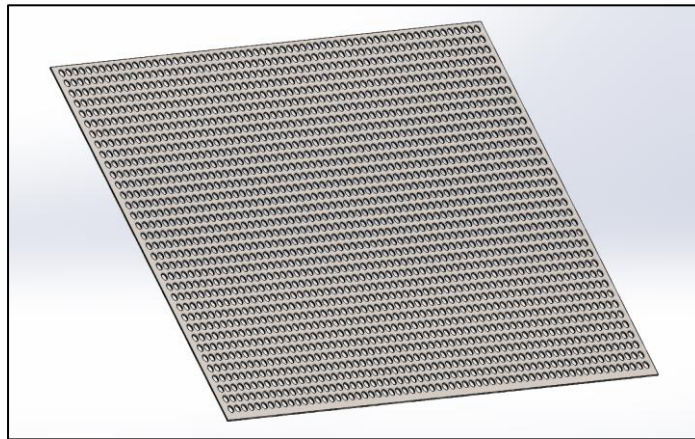
$$\text{Capacidad de producto}=13\times 1,5\text{kg} = 19,5\text{ kg} \rightarrow 20\text{ kg}$$

### 2.2.3 Información obtenida de las bandejas (en base a carniceros y al software de modelamiento SolidWorks)

- Peso bruto: 21,83 kg.

- Bandeja adaptable vacía: 2,33 kg.
- Numero de cortes de carne: 13.
- Días de maduración: 14 a 35 días.
- Altura: 2 mm.
- Ancho: 520 mm.
- Largo: 480 mm.

La Figura 5 muestra el diseño de la bandeja adaptable en la que el producto reposará durante días según la calidad que se desee obtener.



**Figura 5.** Diseño de la bandeja adaptable.

Según los valores obtenidos:

- **Volumen de la bandeja:**

$$V_{ba} = (2 \times 520 \times 450) \text{ mm} .$$

$$V_{ba} = 468000 \text{ mm}^3 \rightarrow 468 \text{ m}^3$$

- **Densidad de la bandeja:**

$$D_{ba} = \frac{21,83 \text{ Kg}}{468 \text{ m}^3}$$

$$D_{ba} = 0,0466 \text{ kg/m}^3$$

- **Área de la bandeja**

$$A_{ba} = (520 \times 450) \text{ mm}$$

$$A_{ba} = 234000 \text{ mm}^2 \rightarrow 234 \text{ m}^2$$

Suponiendo que en el área de la bandeja exista una configuración de 2 filas y 3 columnas (6 carnes en una bandeja) se tiene un ancho y un largo de:

- **Largo mínimo:**

$$L = (60 \text{ mm}) \times 3$$

$$L = 180 \text{ mm}$$

- **Ancho mínimo:**

$$A = (212 \text{ mm}) \times 2$$

$$A = 424 \text{ mm}$$

#### 2.2.4 Área requerida de la bandeja en la cámara de maduración

Por lo general se recomienda que los productos de almacenamiento conserven un espacio libre de circulación del 10 % del área frontal total del producto.

$$L_{\min} = 1,15 \times (180 \text{ mm}) = 207 \text{ mm}$$

$$A_{\min} = 1,15 \times (424 \text{ mm}) = 487,6 \text{ mm}$$

$$A_{\text{req}} = 100933,2 \text{ mm}^2 = 100,93 \text{ m}^2$$

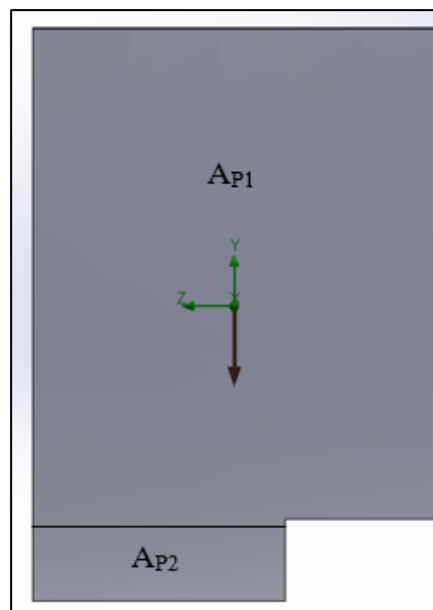
Por lo tanto, el diseño de las bandejas cumple

$$234 \text{ m}^2 > 100,93 \text{ m}^2$$

Una parte del sobredimensionamiento se debe a que posiblemente no siempre se tenga raciones del mismo peso por lo que es importante tener mayor espacio requerido del doble.

### 2.2.5 Área interna de la cámara de maduración

Para obtener el volumen y el área de la cámara de refrigeración internamente, se analiza por partes ya que el área no es simétrica como indica la Figura 6.



**Figura 6.** Área y volumen interno del equipo de maduración.

Una vez dividida en dos secciones la cámara de maduración se toma medidas. A continuación, en la Tabla 3 se observa la altura (H), ancho (A) y largo (L) de las dos secciones o denominadas partes.

**Tabla 3.** Datos de cada partición.

<b>Medidas de la cámara interna</b>		
<b>Variables</b>	<b>Parte 1</b>	<b>Parte 2</b>
Altura H	720 mm	120 mm
Ancho A	580 mm	580 mm
Largo L	220 mm	370 mm

- **Área interna total del equipo**

$$A_{p1}=(580 \times 220) \text{ mm}$$

$$A_{p1}=127600 \text{ mm}^2 \rightarrow 127,6 \text{ m}^2$$

$$A_{p2}=(580 \times 370) \text{ mm}$$

$$A_{p2}=214600 \text{ mm}^2 \rightarrow 214,6 \text{ m}^2$$

$$A_T=127600 \text{ mm}^2 + 214600 \text{ mm}^2$$

$$A_T=342200 \text{ mm}^2 \rightarrow 342,2 \text{ m}^2$$

- **Volumen interno total del equipo**

$$V_{p1}=(580 \times 220 \times 720) \text{ mm}$$

$$V_{p1}=91872000 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,091872 \text{ m}^3$$

$$V_{p2}=(580 \times 370 \times 120) \text{ mm}$$

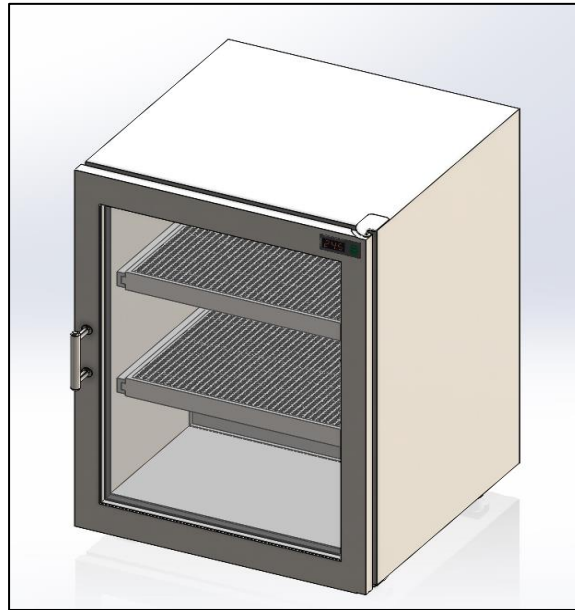
$$V_{p2}=25752000 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,025752 \text{ m}^3$$

$$V_T=91872000 \text{ mm}^3 + 25752000 \text{ mm}^3$$

$$V_T=117624000 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,117624 \text{ m}^3$$

### 2.2.6 Ensamble del equipo de maduración

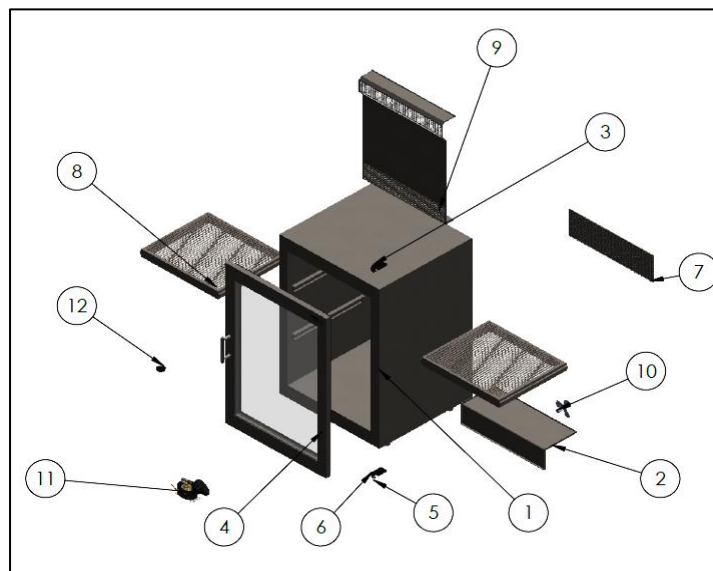
El modelado del equipo de maduración está conformado por subensambles y piezas para mayor comodidad y simplicidad del diseño, estos conforman un ensamble general tal y como se visualiza en la Figura 7.



**Figura 7.** Modelado del equipo de maduración realizado en SolidWorks.

### 2.2.7 Despiece del equipo de maduración

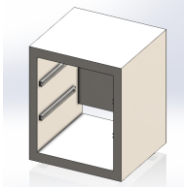
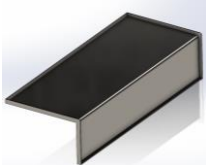


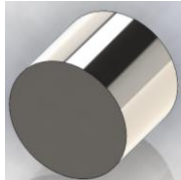

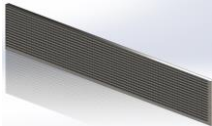
La Figura 8 muestra 12 elementos diseñados en SolidWorks, estos forman el equipo de maduración.




**Figura 8.** Componentes principales dentro del ensamble general.

Se presenta en la Tabla 4 una breve descripción de cada uno de los 12 componentes que conforman el diseño del equipo, en su mayor parte los elementos son de acero AISI 304 material que se seleccionó al ser salubre.

**Tabla 4.** Descripción general de los componentes principales del ensamble general.

Ítem	Componentes	Ensamble general	
		Imagen	Descripción
1	Cuerpo del equipo de maduración		Configuración geométrica del equipo en general con 4 adaptaciones para colocar las bandejas y 4 soportes. - Material AISI 304.
2	Caja del compresor		Espacio destinado para la colocación del compresor y el sistema de refrigeración. - Material AISI 304.
3	Bisagra superior		Ubicada en la esquina superior derecha del cuerpo de maduración. - Material plástico.
4	Puerta ensamblada		Ensamble conformado por 3 piezas que son: - Marco de puerta. - 2 vidrios de 4 mm de grosor. - Caucho aislante.
5	Pasadores		Diámetro de: 6mm. Longitud de: 5mm. Material AISI 304.
6	Bisagra inferior		Ubicada en la esquina inferior derecha del cuerpo de maduración. - Material plástico.
7	Rejilla del compresor		Localizada en la parte inferior trasera del cuerpo. Material AISI 304

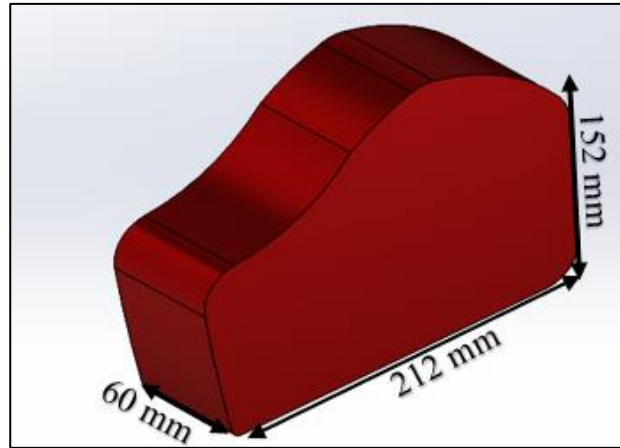


8	Bandeja ensamblada		<p>Ensamble de ambas bandejas de material AISI 304 formado por 2 piezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bandeja movable.</li> <li>- Bandeja adaptable.</li> </ul>
9	Caja de ventilación		<p>Localizado en el interior de la cámara de refrigeración y lugar donde abra recirculación de aire.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material AISI 304.</li> </ul>
10	Ventilador		<p>Ubicado en la parte inferior del equipo.</p>
11	Compresor		<p>Localizado dentro de la caja de compresor.</p>
12	Humificador		<p>Ubicado en la parte superior del equipo de maduración.</p>

### 2.3 Distribución del producto

En este apartado se toma en cuenta el espacio necesario para distribuir los cortes de carne, en base al diseño generado, se toma al lomo fino como corte para realizar los cálculos respectivos con el fin de buscar una correcta adecuación del producto.

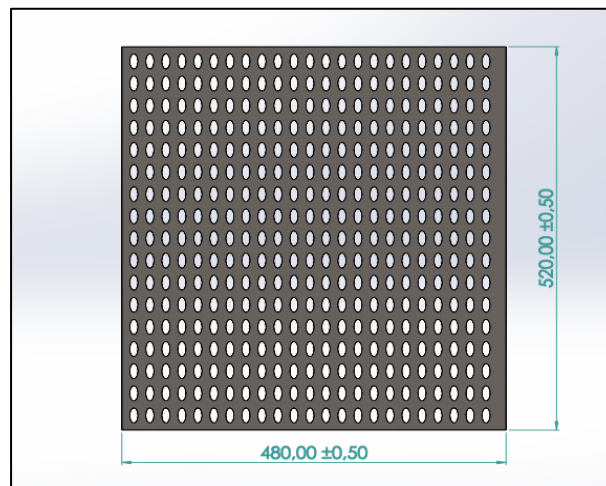
Ahora bien, en la Figura 9 se logra apreciar un diseño en 3D del corte de carne con sus medidas respectivamente.



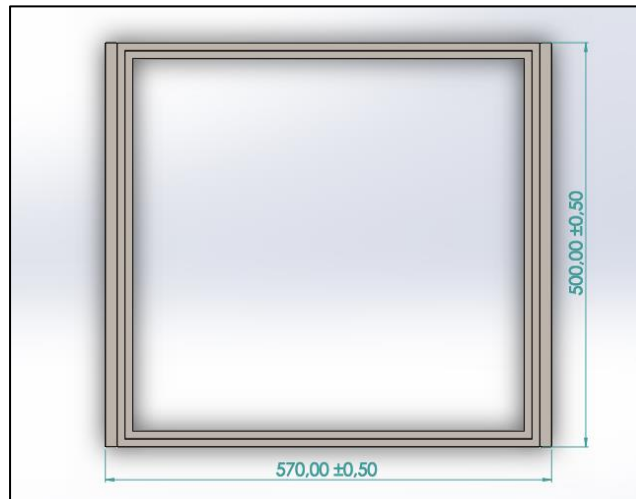
**Figura 9.** Dimensionamiento y modelado 3D del producto.

Cabe destacar que este dimensionamiento es estándar, por lo que puede variar acorde al precio y peso. El lomo que se visualiza en la Figura 9 tiene un peso de aproximadamente 1,5 kg. Normalmente un corte de lomo fino tiene un espesor de 19,05 mm a 2,5 mm, entonces el corte propuesto se puede dividir de 2 a 3 porciones. Las medidas de las dos bandejas son uniformes y se diseñó en base al peso del producto, cada una cuenta con un peso de aproximadamente 2,33 kg y cumplen con un distanciamiento de pared del 10% como se recomienda para que no influya el calor que disipa las paredes de la cámara.

En la Figura 10 y 11 se puede observar las dimensiones de las bandejas adaptables y las móviles con un espesor de 2 mm y 50 mm respectivamente, el material con el que está fabricada es AISI 304.

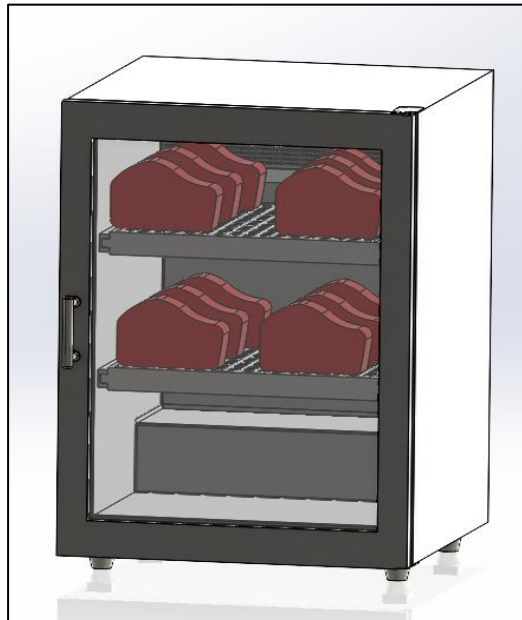


**Figura 10.** Dimensiones de bandejas.

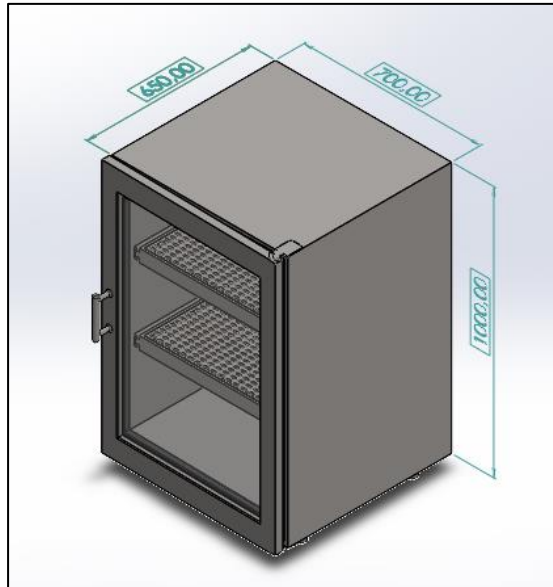


**Figura 11.** Dimensiones de bandeja móvil.

Como se observa en la Figura 12 se generó una configuración de 3 filas y 2 columnas de localización de los cortes de lomo fino que están distribuidos verticalmente con la finalidad de optimizar el mayor espacio posible. La Figura 13 presenta el dimensionamiento exterior del equipo de maduración.



**Figura 12.** Distribución del producto en el espacio a refrigerar.



**Figura 13.** Dimensiones exteriores del equipo.

## 2.4 Selección del tipo de aislamiento

El aislamiento térmico es de suma importancia para evitar excesivas fugas de calor en un equipo y así mantener el mayor tiempo posible las condiciones adecuadas de la cámara en el interior, por esta razón el tipo de aislamiento térmico se lo puede seleccionar en base a las siguientes propiedades: conductividad térmica, permeabilidad al vapor de agua, características de resistencia e instalación y que no absorba ni genere malos olores.

En la Tabla 5 se logra apreciar ciertos materiales aislantes y su conductividad térmica correspondiente de algunos materiales usados para impedir la transferencia de calor.

**Tabla 5.** Conductividad térmica de materiales aislantes [25].

Aislamiento	Conductividad térmica k, W/(mK)
Poliuretano (R-11 expandido)	0,023 a 0,026
Policianuro (R-141b expandido)	0,027
Poliestireno, extruido	0,035
Poliestireno, expandido	0,037
Corcho	0,043
Lana de vidrio	0,044

Ahora bien, para el correcto dimensionamiento del ancho del aislamiento se ha decidido utilizar el poliuretano R-11 expandido, que tiene un valor de conductividad térmica de 0,026W/mK. Esto, basándose a que dicho aislamiento es muy fácil de obtener en el mercado ecuatoriano y es uno de los más usados dentro del área de la refrigeración.

## 2.5 Cálculo de espesor de aislamiento

Para el prototipo se realiza el cálculo del espesor del aislamiento con la siguiente ecuación sacado del complemento de la ASHRAE 90.1 CODE [25].

$$x = \frac{\Delta T k}{Q} \quad (1)$$

Donde:

$\Delta T$  = Variación entre temperatura exterior e interior del espacio a refrigerar.

k = Conductividad térmica.

Q = Un número de 8 a 10 donde 8 es más eficiente y 10 es menos eficiente.

Según la Figura 3 la temperatura ambiente en la ciudad de Quito es de 14°C que correspondería a la temperatura exterior y la temperatura que se desea llegar es de 1°C para lograr un apropiado proceso de madurado en seco.

$$\Delta T = 14^\circ\text{C} - 1^\circ\text{C}$$

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

El valor de la conductividad térmica del poliuretano R-11 se obtiene de la Tabla 3 (k=0,026W/mK) y seleccionamos una eficiencia intermedia, es decir Q = 9

$$x = \frac{13^\circ\text{C} \times 0,026\text{W/mK}}{9}$$

$$x = 0,03755\text{m} \rightarrow 37,55\text{mm}$$

El espesor que se dará uso será de 38mm para los cálculos posteriores.

## 2.6 Cálculo de las cargas térmicas

Las cargas producidas por la cámara de maduración sirven para cuantificar el calor que debe ser eliminado en un tiempo determinado, para mantener internamente las condiciones deseadas de temperatura. De acuerdo con la ASHRAE las cargas térmicas son: por transmisión, producto, infiltración de aire y cargas internas, en donde se dará uso a las ecuaciones expuestas en dicho folleto para el cálculo [25].

La carga térmica total calculada deberá incrementarse con un factor de seguridad del 10% o más, que de acuerdo con la ASHRAE suele ser utilizada para evitar diferencias de opiniones entre diseñadores para aproximarse al valor real. El factor de seguridad mencionado debe ser consultado con el usuario de instalación y debe ser aplicado a cada uno de los cuatro segmentos de carga ya mencionados [25].

### 2.6.1 Cargas por transmisión

Se diseña la cámara con inyección de poliuretano y planchas de acero inoxidable 304, debido a la gran accesibilidad que existe de estos materiales en el mercado y también que son muy recomendados por diferentes fabricantes de línea fría. Cabe señalar que la puerta estará diseñada con doble vidrio para que se logre observar el proceso de maduración por el encargado.

Mediante el uso de la ecuación 2 se cuantifica el coeficiente global de transferencia de calor de cada una de las paredes.

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

(2)

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>K)

h<sub>e</sub> = Coeficiente de transferencia por convección exterior (W/m<sup>2</sup>K)

e<sub>1</sub> = Espesor del material acero inoxidable (m)

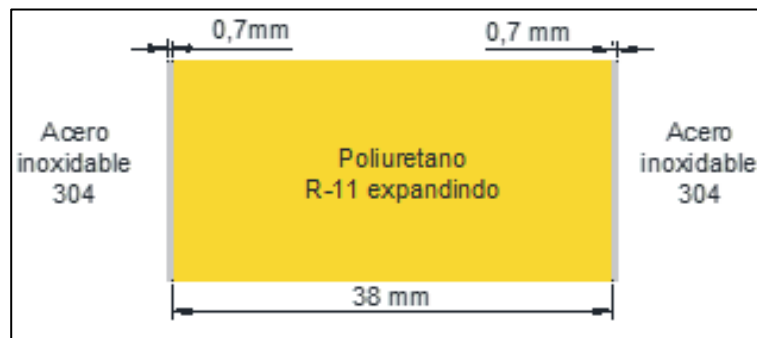
k<sub>1</sub> = Conductividad térmica del material acero inoxidable (W/mK)

$e_2$ = Espesor del material poliuretano (m)

$k_2$ = Conductividad térmica del material poliuretano (W/mK)

$h_i$ = Coeficiente de transferencia por convección interior (W/m<sup>2</sup>K)

Mediante el Anexo 1 y la Tabla 5 se halló los valores para obtener el coeficiente global de transferencia de calor donde  $k$  es 15 y 0,026 W/mK para el acero inoxidable 304 y el poliuretano respectivamente. Se selecciona 1,6 W/m<sup>2</sup> K para el coeficiente de transferencia por convección. El aislamiento térmico de las paredes se visualiza en la Figura 14.



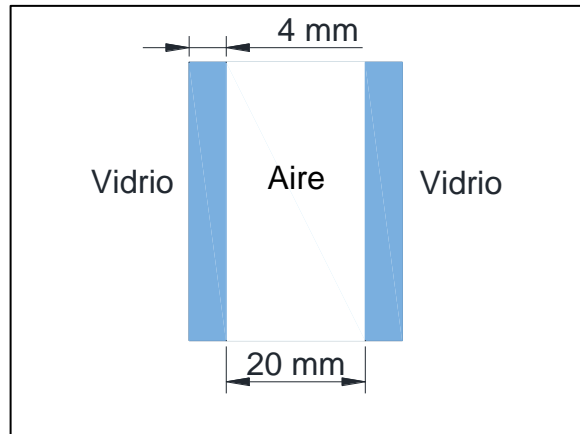
**Figura 14.** Dimensiones del grosor de las paredes.

Cálculo del coeficiente global para las paredes del equipo de maduración.

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{1,6\text{W/m}^2\text{K}} + \frac{0,0007\text{ m}}{15\text{W/mK}} + \frac{0,038\text{ m}}{0,026\text{W/mK}} + \frac{0,0007\text{ m}}{15\text{W/mK}} + \frac{1}{1,6\text{W/m}^2\text{K}}}$$

$$U_1 = 0,3687\text{ W/m}^2\text{K}$$

Se toma los valores de  $k$  para el vidrio y el aire de 1,4 y 0,026 W/mK respectivamente, como se encuentran expuestos en el Anexo 2. A continuación, en la Figura 15 se visualiza el aislamiento térmico de la puerta doble vidrio.



**Figura 15.** Dimensiones del grosor de la puerta.

Cálculo del coeficiente global para la puerta de doble vidrio para el equipo de maduración.

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{1,6 \text{ W/m}^2\text{K}} + \frac{0,004 \text{ m}}{1,4 \text{ W/mK}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,026 \text{ W/mK}} + \frac{0,004 \text{ m}}{1,4 \text{ W/mK}} + \frac{1}{1,6 \text{ W/m}^2\text{K}}}$$

$$U_2 = 0,4938 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La ecuación 3 asegura el cálculo del calor de transmisión por las paredes del equipo.

$$\dot{Q}_p = UA \Delta T$$

(3)

Donde:

$\dot{Q}_p$  = Calor perdido por paredes (W)

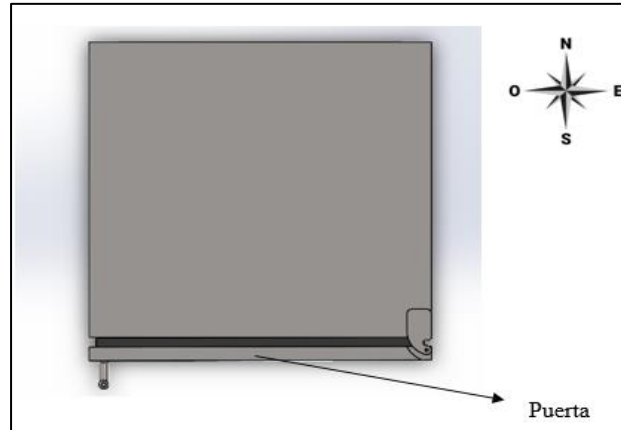
U = Coeficiente global de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>K)

A = Área externa de la sección (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Variación entre temperatura del aire exterior y del aire del espacio a refrigerar (K)

En la Figura 16 se presenta una vista superior del equipo con un sistema de coordenadas para realizar los cálculos correspondientes.





**Figura 16.** Sistema de referencia.

**Pared Norte**

$$\dot{Q}_p = 0,3687 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 0,70 \text{ m}^2 \times (14-1)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_p = 3,3552 \text{ W}$$

**Puerta**

$$\dot{Q}_p = 0,4938 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 0,70 \text{ m}^2 \times (14-1)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_p = 4,4936 \text{ W}$$

En la Tabla 6 se realiza una breve recopilación de los datos obtenidos de paredes, puerta, cielo y piso.

**Tabla 6.** Pérdidas de calor por transmisión.

<b>Ubicación</b>	<b>Calor perdido (W)</b>
Pared Norte	3,3552
Pared Este	3,1155
Pared Oeste	3,1155
Puerta	4,4936
Cielo	2,1809
Piso	2,1809
<b>Total</b>	<b>18,4416</b>

### 2.6.2 Carga del producto

La carga del producto se refiere a la cantidad de calor que debe ser sustraído y eliminado de tal forma que se llegue a la temperatura deseada. Para el diseño y simulación de este equipo se ha seleccionado el corte de carne de res conocido como lomo fino, en la Tabla 7 se detalla algunos parámetros esenciales para el cálculo.

**Tabla 7 .** Datos del producto.

<b>Producto:</b> Lomo fino		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso aprox.	1,5	kg
Cortes	13	unidades
Temperatura de congelación	-1,7	°C
Calor específico por encima de la congelación	3,53	kJ/(kgK)

Dado que el lomo fino necesita ser refrigerado se hace uso de la ecuación 4, con la que se calcula el calor removido desde una temperatura inicial de 10°C (tomando en cuenta que la cadena de frío se interrumpió hasta llegar a la maduradora) de ahí se desea bajar su temperatura hasta 1°C.

$$\dot{Q}_1 = m c_1 (T_1 - T_2) \quad (4)$$

Donde:

$\dot{Q}_1$  = Calor removido del producto (kJ)

m = Cantidad del producto (kg)

$T_1$  = Temperatura inicial del producto por encima del punto de congelación (°C)

$T_2$  = Temperatura de refrigeración para la carne (°C)

Entonces se tiene que,

$$\dot{Q}_1 = 20 \text{ kg} \times 3,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (10-1)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_1 = 635,40 \text{ kJ}$$

Se aplica la ecuación 5 para obtener el calor a extraerse del producto en 1 hora.

$$\dot{Q}_c = \frac{Q_1}{3600n}$$

(5)

Donde:

$\dot{Q}_c$  = Carga de enfriamiento promedio (kW)

$\dot{Q}_1$  = Calor removido del producto (kJ)

n = Tiempo deseado de enfriamiento (h)

Se coloca el tiempo de 1 hora para que todo el producto llegue a la temperatura de 1°C y se calcula.

$$\dot{Q}_c = \frac{635,40 \text{ kJ}}{3600 \times 1h} = 0,1765 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_c = 176,5 \text{ W}$$

### 2.6.3 Carga por infiltración de aire

En este apartado se da a conocer cuanto calor entra con el aire del exterior cuando se abre la puerta del equipo, provocando un incremento de la carga térmica ya que la humedad y la temperatura interior se ven afectados por esta acción. Para este cálculo se hace uso de la ecuación 6.

$$\dot{Q}_a = qf Dt Df(1 - E)$$

(6)

Donde:

$\dot{Q}_a$  = Ganancia de calor durante un periodo de 24 horas y otro (kW)

qf = Carga de refrigeración sensible y latente para un flujo completamente establecido (kW)

Dt = Factor de tiempo para puerta abierta

Df = Factor de flujo de puerta

E = Eficiencia del dispositivo de protección de entrada

Previo a la obtención de  $\dot{Q}_a$  se tiene que hallar los valores de qf y Dt mediante las ecuaciones 7 y 9.

$$qf = 0,221A (hi - hr) \rho_r \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0.5} (gH)^{0.5} F_m$$

(7)

Donde:

qf = Carga de refrigeración sensible y latente para un flujo completamente establecido (kW)

A = Área de la puerta (m<sup>2</sup>)

hi = Entalpía del aire exterior (kJ/kg)

hr = Entalpía del aire refrigerado (kJ/kg)

$\rho_i$  = Densidad del aire exterior (kJ/kg)

$\rho_r$  = Densidad del aire refrigerado (kJ/kg)

g = Constante de gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

H = Altura de la puerta (m)

Fm = Factor de densidad

Para el cálculo del factor de densidad se lo hace con la ecuación 8.

$$F_m = \left[ \frac{2}{1 + \left( \frac{p_r}{p_i} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (8)$$

Dt se lo obtiene con la siguiente ecuación.

$$Dt = \frac{(P \theta_p + 60 \theta_o)}{3600 \theta_d} \quad (9)$$

Donde:

Dt = Porción decimal del tiempo en que la puerta este abierta

P = Número de los pasajes de la puerta

$\theta_p$  = Tiempo de abierto y cerrado (s)

$\theta_o$  = Tiempo en que la puerta esta simplemente abierta (min)

$\theta_d$  = Periodo de tiempo (h)

En la Tabla 8 se da a conocer los valores de entalpía y densidad obtenidos de acuerdo con el Anexo 4, donde se expone los datos para el aire exterior como el aire a refrigerar.

**Tabla 8.** Valores de entalpía, volumen específico y densidad del aire exterior e interior del equipo.

Variable	Aire exterior	Aire refrigerado
	T= 14°C, HR= 82%, Altitud= 2850 msnm	T= 1°C, HR= 80%, Altitud= 2850 msnm
Entalpía (kJ/kg)	43,6713	12,6576
Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)	1,1826	1,1167
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	0,8446	0,8954

Aplicando la ecuación 8 y 9 se obtiene:

$$Fm = \left[ \frac{2}{1 + \left( \frac{0,8954}{0,8446} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]^{\frac{1}{5}}$$

$$Fm = 0,9980$$

$$Dt = \frac{[(1 \times 30s) + (60 \times 0,5min)]}{3600 \times 1h}$$

$$Dt = 0,01667$$

Reemplazando en la ecuación 7 se tiene.

$$qf = 0,221 \times 0,70m^2 \times \left( 43,6713 \frac{kJ}{kg} - 12,6576 \frac{kJ}{kg} \right) \times 0,8954 \text{ kg} / m^3 \times \left( 1 - \frac{0,8446 \frac{kg}{m^3}}{0,8954 \frac{kg}{m^3}} \right)^{0,5} \times \left( 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1m \right)^{0,5} \times 0,9980$$

$$qf = 3,1985 \text{ kW}$$

Se selecciona  $Df = 1$ , ya que el equipo por lo general estará ubicado en un cuarto amplio bajo sombra, además se toma el valor  $E = 0,95$  debido a que la puerta es nueva y el dispositivo de protección será recién instalado y se aplica la ecuación 6.

$$\dot{Q}_a = 3,1985 \times 0,01667 \times 1 \times (1 - 0,95)$$

$$\dot{Q}_a = 0,002641 \text{ kW} \rightarrow 2,641W$$

#### 2.6.4 Pérdidas de calor por equipos

Es importante calcular el calor cedido a la cámara de refrigeración por el motor del ventilador ubicado en el evaporador. En este caso se usa un motor de 8.5 W y se toma a la Tabla 9 para realizar una extrapolación a acercarse al calor que produce el motor mencionado.

**Tabla 9.** Calor generado por motores eléctricos [25].

Capacidad del motor (kW)	Tipo de motor	Rpm Nominal	Eficiencia de la carga del motor lleno %	Localización del motor con respecto del espacio a refrigerar		
				A	B	C
				Motor adentro, equipo eléctrico adentro W	Motor fuera, equipo eléctrico adentro W	Motor adentro, equipo eléctrico afuera W
0,04		1500	35	105	35	70
0,06	Espira de sobra		35	170	59	110
0,09		35	264	94	173	
0,12		35	340	117	223	
0,19	Fase dividida	1750	54	346	188	158
0,25			56	439	246	194
0,37			60	621	372	249

Mediante la ecuación 10, se extrapola el valor de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_m = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0) \quad (10)$$

Donde los valores de X serán la capacidad del motor, los valores de Y serán los valores de

potencia y X es igual a 0.0085 kW. Entonces el calor generado por el motor del ventilador es:

$$\dot{Q}_m = 2,6249 \text{ W}$$

### 2.6.5 Capacidad de refrigeración requerida

Realizados todos los cálculos de refrigeración mencionados, la capacidad de refrigeración se obtiene de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{\text{ref}} = \dot{Q}_p + \dot{Q}_c + \dot{Q}_a + \dot{Q}_m$$

$$\dot{Q}_{\text{ref}} = 18,4416 \text{ W} + 176,5 \text{ W} + 2,641 \text{ W} + 2,6249 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{ref}} = 200,2075 \text{ W}$$

De acuerdo con la ASHRAE se tiene que considerar un factor de seguridad del 10%, que debe sumarse a la carga total de refrigeración.

$$Q_{\text{ref.s}} = \dot{Q}_{\text{ref}} + 10\%$$

$$Q_{\text{ref.s}} = 220,2283 \text{ W}$$

Ahora se obtiene la capacidad de refrigeración que necesita el equipo de maduración.

$$\text{Cap}_{\text{ref}} = 220,2283 \text{ W} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{3516,85 \text{ W}}$$

$$\text{Cap}_{\text{ref}} = 0,05693 \text{ toneladas de refrigeración}$$



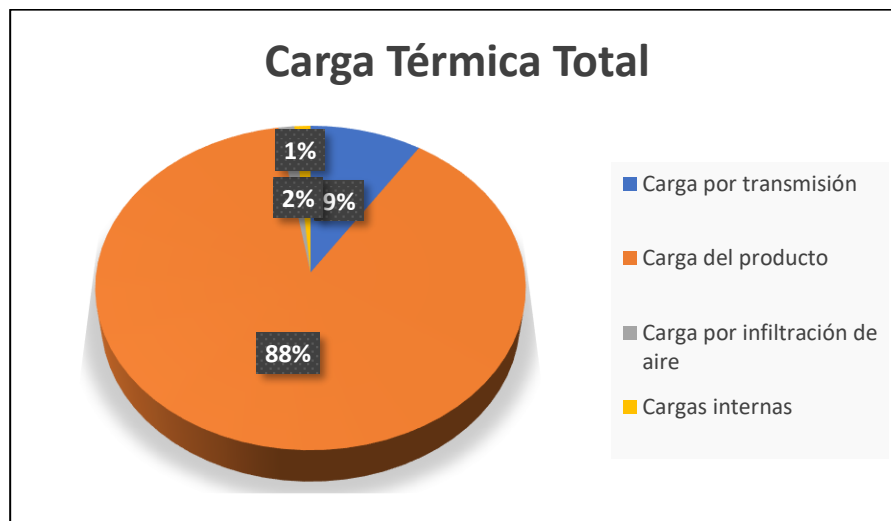
### 2.6.6 Cargas térmicas totales

Se presenta un resumen de las cargas térmicas tal y como se observa en la Tabla 10 se tiene 4 tipos de cargas que interactúan de manera directa en el equipo propuesto.

**Tabla 10.** Carga térmica total.

Tipo de carga	W
Transmisión	18,4416
Producto	176,5
Infiltración de aire	2,641
Internas	2,6249
<b>Total</b>	<b>200,2075</b>
<b>Total + 10%</b>	<b>220,2283</b>

En la Figura 17 se visualiza que el mayor porcentaje dentro de la carga térmica total lo tiene la carga de producto con un valor del 176,5 W representando el 88 % de la carga térmica total.



**Figura 17.** Diagrama de pastel sobre la carga térmica total.

## **2.7 Selección del refrigerante**

El medio que utiliza un sistema de refrigeración para sustraer calor de una región dada son los refrigerantes, además absorbe y rechaza calor en equipos por los cuales circula. Denominado así también gas o sustancia capaz de intercambiar y a la vez trasladar calor a los alrededores, absorbiendo calor a bajas temperaturas y concediendo en altas temperaturas. Considerando las variables intrínsecas de cada sistema, las investigaciones hasta la actual fecha no han podido determinar un refrigerante ideal, sin embargo, en la búsqueda de un adecuado refrigerante se debe llegar al que mejor se adapte [39].

Como primeros requisitos que se debe considerar en la selección de refrigerantes son [40]:

- Excelente rendimiento en el ciclo de refrigeración en cuanto a costos, ahorro de energía y manufactura, baja inflamabilidad y toxicidad de grado 6 (nula).
- Con bajo potencial de calentamiento global GWP.
- Los productos alimenticios en ninguna manera deben ser contaminados por el refrigerante.
- Su composición debe ser inerte tanto en estado puro como en mezcla.

### **2.7.1 Refrigerante R-134a**

Se considera un refrigerante puro HFC que se creó para sustituir al R-12 en instalaciones nuevas, su potencial de agotamiento del ozono (ODP) es de cero. En comparación con el R-12, tiene una mejor conductividad calórica, lo que significa un mayor ahorro de energía y recurso, además como tienen una semejante conductividad térmica, se puede realizar adecuaciones o modificaciones en sistemas de refrigeración de manera más simple [41].

### **2.7.2 Aplicaciones**

El R134a es usado en un sinnúmero de aplicaciones, además de ser un componente más en diversas mezclas HFC existentes del mercado, es una sustancia pura, energéticamente eficiente para temperaturas medias y altas. En las Tablas 11 y 12 se detallan sus componentes y las propiedades de dicho refrigerante. Como algunas de sus principales

aplicaciones se encuentran que se usa en: sistemas de aire acondicionado de vehículos, frigoríficos domésticos e industriales, bombas de calor, cámaras de conservación y refrigeración en general.

**Tabla 11.** Componentes del R-134a [42].

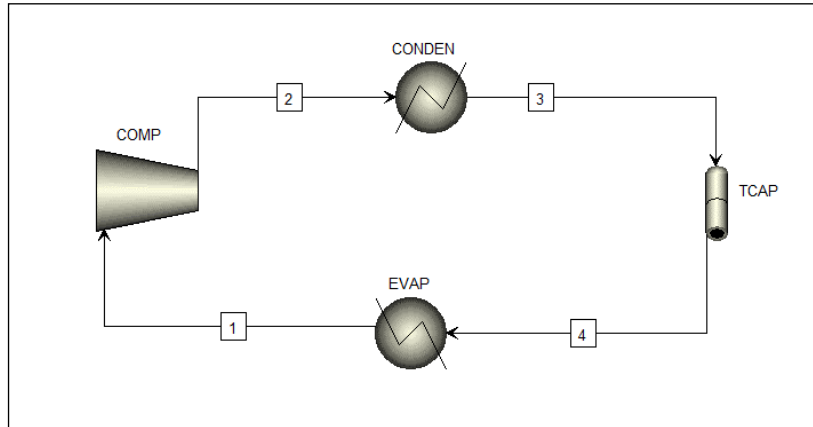
<b>Formula Química</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Peso molecular</b>
1,1,1,2, Tetrafluoroetano	Clasificación de seguridad A1/A1 ASHRAE.	102,03 g/mol

**Tabla 12.** Propiedades físicas del R-134a [42].

<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Unidades</b>
Punto de ebullición (°C)	-26,2
Temperatura crítica (°C)	101,1
Presión crítica (MPa) tiempo 0s	4,067
ODP	0
Densidad del líquido saturado 25°C, (g/cm <sup>3</sup> )	1,207
Calor específico del líquido 25°C, [kJ/(kg)]	1,51
Solubilidad (agua, 25°C) %	0,15
Densidad crítica (g/cm <sup>3</sup> )	0,512
Olor	No existe olor extraño
GWP	1430
Pureza (%)	≥99,9
Humedad (%)	≤0,001
Acidez (%)	≤0,00001
Residuo de evaporación (%)	≤0,01
Apariencia	Sin color ni elementos extraños
Vaporización de calor BP (KJ/Kg)	215

## 2.8 Ciclo termodinámico de refrigeración

En la Figura 18 se realizó un esquemático de cómo sería el sistema de refrigeración con sus respectivos puntos relevantes para un posterior cálculo.



**Figura 18.** Diagrama esquemático de un ciclo de refrigeración realizado en Aspen Plus.

### 2.8.1 Temperatura de evaporación

Para la elección del evaporador primero se toma en cuenta la siguiente información expuesta por Hundy et al. [43] quien comenta que la temperatura de ebullición del evaporador tiene que ser más baja que el espacio a refrigerar, ahora bien, este dato se encuentra en el Anexo 4, en donde tomando 80% de humedad relativa y sabiendo que se usa convección forzada que es la franja azul inferior y es aproximadamente 6°C.

Entonces si se desea que:

$$T_{\text{cámara}} = 1^{\circ}\text{C}$$

Por ende:

$$T_{\text{eva}} = T_{\text{cámara}} - 6^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{eva}} = 1^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{eva}} = -5^{\circ}\text{C}$$

Con la temperatura de -5°C se obtiene la presión mediante las tablas termodinámicas.

$$P_{ev} = 243,5 \text{ kPa}$$

### 2.8.2 Temperatura de condensación

Para la selección del condensador para el equipo de maduración, primero hay que obtener el salto térmico, el cual para este caso será de 15°C de acuerdo con los catálogos de condensadores, entonces tenemos que:

$$T_{ambiente} = 14^{\circ}\text{C}$$

Por ende:

$$T_{con} = T_{ambiente} + 15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{con} = 14^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{con} = 29^{\circ}\text{C}$$

Para la temperatura de 29°C se obtiene la presión mediante las tablas termodinámicas [28].

$$P_{con} = 749,64 \text{ kPa}$$

El esquema del ciclo termodinámico se realizó en el software CoolPack y se puede visualizar dentro de un diagrama de Mollier del R134a en la Figura 19.

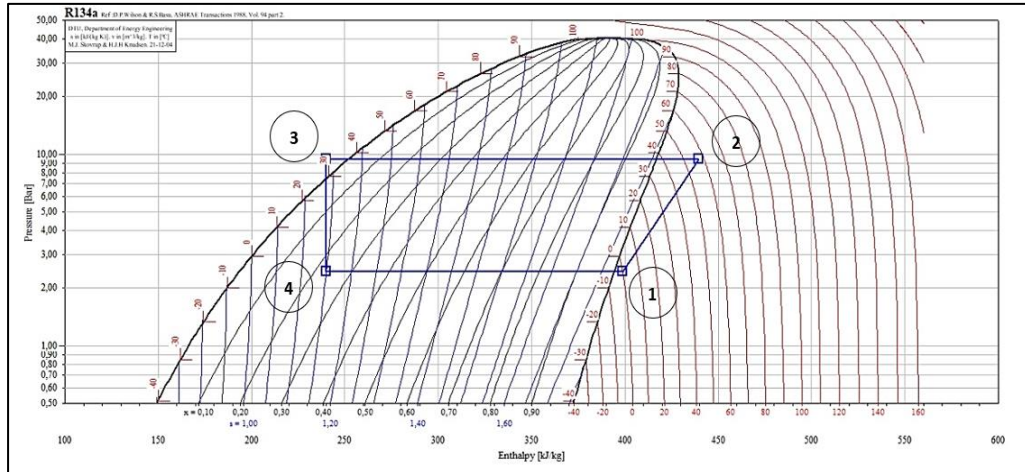


Figura 19. Diagrama P-h del ciclo de refrigeración.

Del diagrama de Mollier se sacó las entalpías necesarias para los cálculos que se colocaron en la Tabla 13.

Tabla 13. Entalpías de los puntos relevantes del ciclo termodinámico.

Designación	Entalpía (kJ/kg)
<b>h1</b>	400,02
<b>h2</b>	420,59
<b>h3</b>	233,13
<b>h4</b>	226,08

### Efecto de refrigerante

$$ER = h_1 - h_4$$

(11)

$$ER = 400,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 226,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$ER = 173,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

### Flujo másico del refrigerante

$$\dot{m} = \frac{Q_{ref.s}}{ER} \quad (12)$$

$$\dot{m} = \frac{0,2202 \text{ kW}}{173,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m} = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

### Calor rechazado por el condensador

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad (13)$$

$$\dot{Q}_{con} = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left( 233,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 420,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{Q}_{con} = -0.2373 \text{ kW} \rightarrow -237,324 \text{ W}$$

### Calor ganado en el evaporador

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (14)$$

$$\dot{Q}_{eva} = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left( 400,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 226,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{Q}_{\text{eva}} = 0,2204 \text{ kW} \rightarrow 220,436 \text{ W}$$

## 2.9 Selección de componentes

En esta sección se procede a la selección de los componentes principales para el diseño de la maduradora como son: evaporador, condensador, compresor, tubo capilar y humidificador. Para ello se trabaja con las temperaturas de evaporación y condensación obtenidas en el apartado anterior.

### 2.9.1 Selección de dispositivos de refrigeración

#### 2.9.1.1 Selección de evaporador

Para el cálculo de la capacidad del evaporador se lo hace mediante la ecuación 11.

$$Q_{\text{eva}} = \frac{Q_{\text{ref,s}}}{\text{FT} \times \text{FRe}} \quad (15)$$

Donde:

$Q_{\text{eva}}$  = Potencia frigorífica del evaporador (kW)

$Q_{\text{ref,s}}$  = Carga térmica total (kW)

**FT** = Factor de corrección

**FRe** = Factor de corrección del refrigerante para el evaporador.

Ahora basándose en el Anexo 5 para una humedad relativa del 80% y un salto térmico de 6°C se tiene un factor de corrección de 0,60 y de acuerdo con el fabricante se tiene un valor de 0,95 como factor de refrigerante para el R134a indicado en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Factor de corrección de refrigerante para una  $T_{\text{cam}} = 0^\circ\text{C}$  y  $\text{HR} = 80\%$ .

Refrigerante	R22	R134a	R407A	R407c	R424A
FRe	0,99	0,95	1,06	1,06	0,95



Reemplazando:

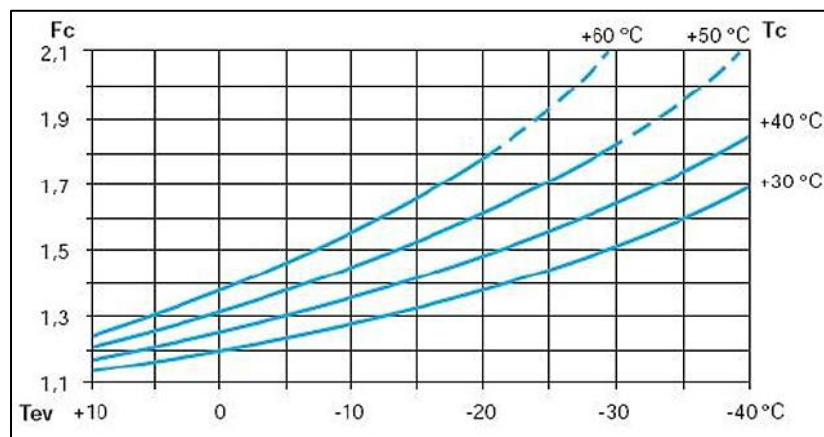
$$Q_{\text{eva}} = \frac{0,2202 \text{ kW}}{0,75 \times 0,95}$$

$$Q_{\text{eva}} = 0,3090 \text{ kW} \rightarrow 309,053 \text{ W}$$

Una vez obtenida la potencia frigorífica del evaporador necesaria para mantener la carne a la temperatura de 1°C, se propone que este sea de tubos y aletas, con circulación de aire forzada, de expansión directa y que contenga un método de descongelación por resistencia eléctrica.

### 2.9.1.2 Selección de condensador

Mediante el uso de factores de corrección dado por catálogo se procede con el cálculo de la capacidad que debe tener el condensador. Con las temperaturas de evaporación y condensación se obtiene el factor de calor de compresión Fc expuesto en la Figura 20.



**Figura 20.** Factor de compresión.

Para este caso trazamos líneas en donde crucen las temperaturas de evaporación y condensación que son de -5°C y 29°C respectivamente y se tiene un Fc igual a 1,22 de acuerdo con el gráfico. De la Tabla 15 se determina el valor de 1,20 que es el más alto de Fa ya que no se encuentra en los datos un valor para una altitud de 2850 msnm.

**Tabla 15.** Factor de altitud Fa.

Altitud (m)	0	400	800	1200	1600	200	2400
Fa	1	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,20

De la Tabla 16 se obtiene un factor de corrección de 1,02 para el R134a.

**Tabla 16.** Factor de corrección en función del refrigerante.

Refrigerante	R22	R134a	R404A	R407c	R507
FRc	1	1,02	1,05	0,87	1,05

Con los datos obtenidos se procede al cálculo del condensador con la ecuación 16.

$$Q_{\text{con}} = Q_{\text{ref.s}} \times \frac{15}{\Delta T_{\text{con}}} \times F_c \times FR_c \times F_a \quad (16)$$

Donde:

$Q_{\text{con}}$  = Potencia frigorífica del condensador (kW)

$Q_{\text{ref.s}}$  = Carga térmica (kW)

$\Delta T_{\text{con}}$  = Salto térmico para condensador (°C)

$F_c$  = Factor de compresión

$FR_c$  = Factor de corrección del refrigerante

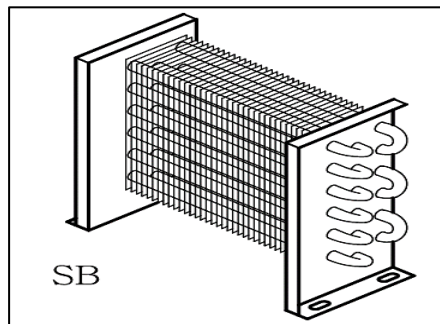
$F_a$  = Factor de corrección de altitud

Reemplazando se tiene:

$$Q_{\text{con}} = 0,2202\text{kW} \times \frac{15}{15} \times 1,22 \times 1,20 \times 1,02$$

$$Q_{\text{con}} = 0,3288 \text{ kW} \rightarrow 328,82 \text{ W}$$

Ya obtenida la capacidad necesaria para el condensador, se selecciona el condensador tipo SB-72 como se observa en el Anexo 7, el modelo de dicho condensador está en la Figura 21 este modelo de condensador posee una capacidad de refrigeración de 598 W satisfaciendo al calculado que es de 328,82 W.



**Figura 21.** Modelo SB del catálogo Thermo-coil [44].

En la Tabla 17 se coloca las características de dicho condensador y las temperaturas de operación.

**Tabla 17.** Características del condensador [44].

<b>Características del condensador</b>	
Temperatura de condensación (°C)	29
Salto térmico de condensación (°C)	15
Capacidad de refrigeración (W)	598
Referencia comercial (hp)	1/8
Medidas (mm)	215x85x250
Peso (kg)	1
Caudal de ventilador (m <sup>3</sup> /h)	445

### 2.9.1.3 Selección de compresor

Se trabaja con los datos obtenidos de software Genetron Properties en donde se hará uso de

entalpías para obtener una capacidad en W que necesita el compresor para mantener el producto a la temperatura de 1°C dentro de la cámara de maduración.

### Potencia del compresor

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (17)$$

$$\dot{W} = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left( 420,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 400,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{W} = 0,02604 \text{ kW} \rightarrow 26,04 \text{ W} \approx 0,04 \text{ hp}$$

$$\dot{W}_{\text{real}} = 1,25 \times 0,04 \text{ hp}$$

$$\dot{W}_{\text{real}} = 0,05 \text{ hp}$$

Mediante el cálculo realizado seleccionamos el modelo B22G5, compresor de la marca Cubigel, expuesto en el Anexo 8 y sus características están en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Características de compresor [45].

<b>Detalles de compresor</b>	
Desplazamiento (cm <sup>3</sup> )	2,20
Aplicación	HBP
Peso (kg)	4,80
Motor	RSIR
Voltaje (V)	110-115
Frecuencia (Hz)	60
Tipo	Hermético

#### 2.9.1.4 Selección de tubo capilar

El tubo capilar es muy usado por su costo, fiabilidad, fácil montaje, no se averían, entre otros. Para la selección del diámetro y longitud del tubo capilar existen varios métodos como son: mediante cálculos, tablas y softwares. Para este caso se hace uso del software que

brinda la compañía de los compresores Cubigel como se observa en el Anexo 9 en donde se obtuvo que, de acuerdo con el compresor seleccionado y con temperatura de condensación igual a 29°C y una temperatura de evaporación de -5°C, el tubo capilar tiene 3000 mm de longitud y de 0.90 mm de diámetro.

### 2.9.1.5 Selección de control de temperatura y humedad

Es uno de los componentes de control más importantes ya que será en encargado de monitorear las variables en el interior de la cámara y mantenerla en un rango adecuado para la maduración. Para este trabajo se ha seleccionado un dispositivo de la marca Full Gauge el modelo AHC-80 plus que es un control psicrométrico de humedad relativa y temperatura del aire. A continuación, en la Tabla 19 se da a conocer los detalles del control.

**Tabla 19.** Especificaciones técnicas control Full Gauge AHC-80 plus [46].

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Alimentación	115/230 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Temperatura	-5 hasta 50 °C ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) TIEMPO 50S
Humedad de control	40 hasta 100% ( $\pm 1\%$ HR)
Temperatura de operación	0 hasta 50°C
Humedad de operación	10 hasta 90% HR (sin condensación)
Corriente máxima por salida	8(3) A/250Vac 1/4HP
Dimensiones	71x28x71 mm

### 2.9.2 Selección de dispositivos adicionales

#### 2.9.2.1 Selección de humidificador

Es el dispositivo encargado de generar la humedad necesaria para que se dé el proceso de madurado. Para esto se selecciona un humidificador ultrasónico de la Tabla 2 debido a que este trabaja con vapor de agua frío, por lo que no aportara calor sistema de refrigeración como otros tipos de humidificadores que trabajan con vapor por evaporación. El

humidificador que se ha seleccionado para el diseño del equipo para maduración en seco es de la marca AGPTEK como se visualiza en la Figura 22 el cual se coloca en un recipiente de agua y lo convierte en vapor frío. A continuación, en la Tabla 20 se presenta algunas especificaciones técnicas del humidificador.



**Figura 22.** Humidificador marca AGPTEK.

**Tabla 20.** Especificaciones de humidificador marca AGPTEK.

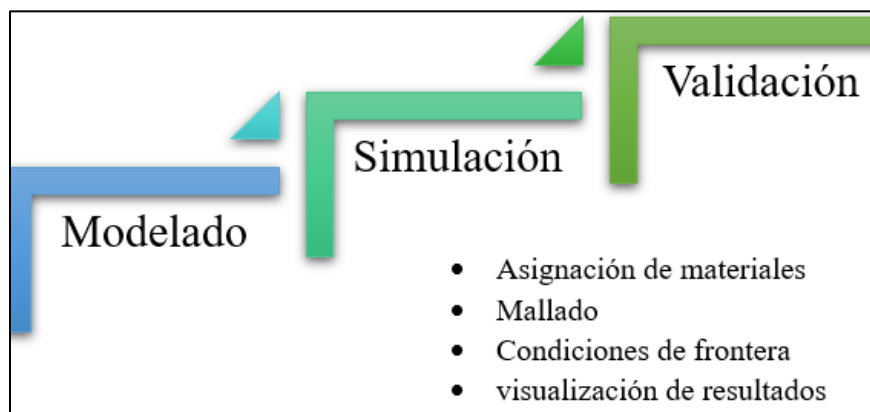
<b>Características</b>	<b>Designación</b>
Voltaje	24 V
Material	Plástico
Capacidad	400 ml
Longitud de cable	2100 mm
Diámetro	48 mm

## CAPÍTULO III

### 3. SIMULACIÓN DEL EQUIPO DE MADURACIÓN

#### 3.1 Simulación y validación de resultados

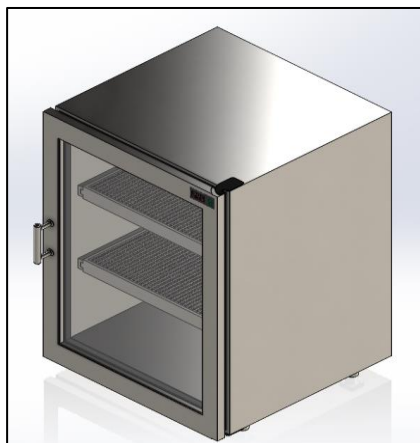
Mediante el siguiente proceso como se observa en la Figura 23 se genera un modelo computacional capaz de mostrar las condiciones de refrigeración deseadas en una cámara de maduración para carne.



**Figura 23.** Proceso de simulación y validación.

#### 3.1.1 Modelado

El modelado del equipo de maduración de carne se realizó en el software SolidWorks, que brinda mayor facilidad en la construcción y ensamblaje de piezas. En la Figura 24 se visualiza el diseño del equipo.

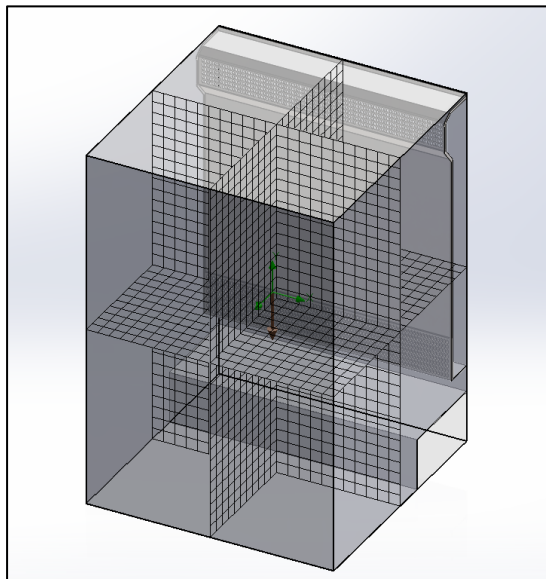


**Figura 24.** Modelado en SolidWorks.

### 3.1.2 Simulación

El software SolidWorks contiene múltiples herramientas para análisis de estudios, como es el caso de FlowSimulation que permite realizar análisis de fluidos con una gran precisión en sus resultados, considerando el conocimiento y facilidad en el manejo de SolidWorks se optó por usar esta herramienta para el análisis de la cámara interna del equipo de maduración.

Cabe mencionar que para la simulación solo se considerará la cámara interna que es la zona de principal interés y dejando a un lado los demás elementos para optimizar recursos computacionales y tiempo. En la Figura 25 se visualiza el mallado interno de la cámara de maduración, esta malla es cuadriculada, con un refinamiento avanzado para la precisión de los resultados de 5.



**Figura 25.** Calidad de malla y refinamiento avanzado.

El análisis de recirculación del aire y enfriamiento por un flujo de aire se realizó bajo los siguientes parámetros:

- Flujo turbulento
- Materiales: AISI 304
- Pared adiabática, Aislante: poliuretano R-11 expandido



- Temperatura ambiente de 14°C
- Temperatura del fluido: constante a 1°C
- Presión del ambiente de 71940,75 Pa
- Refrigeración: por compresión de vapor
- Fluido: aire con humedad
- Velocidad del ventilador: 1,6 m/s
- Gravedad: 9,81 m/s<sup>2</sup>
- Análisis transitorio en el tiempo

En base a los parámetros establecidos, los datos sacados por la simulación se dividirán en:

- Distribución de la temperatura en la cámara
- Flujo de aire en la cámara
- Homogenización de la humedad relativa del aire en la cámara

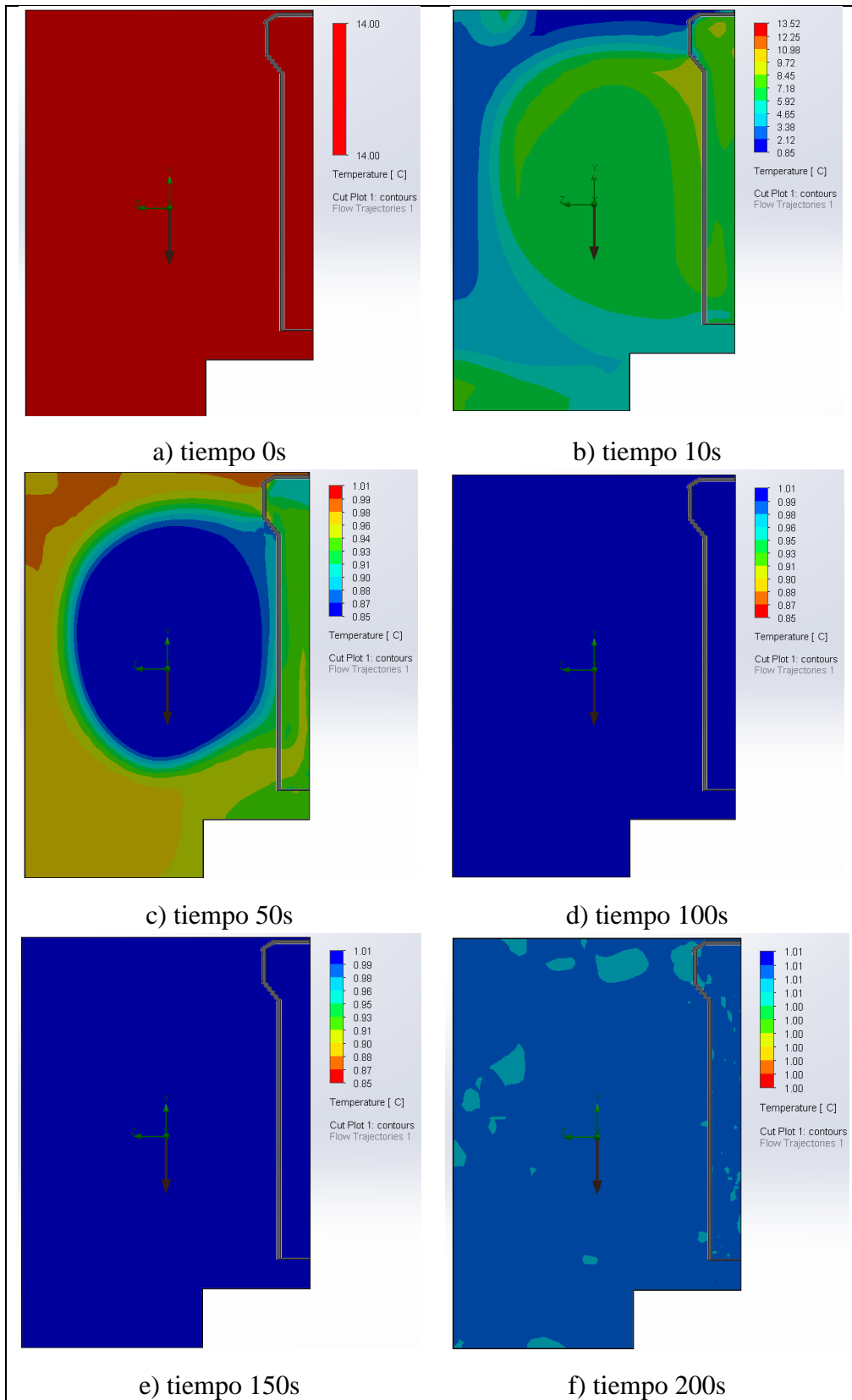
Se realizarán dos análisis: el primero es cuando la cámara de refrigeración este vacía y el segundo es cuando la cámara de refrigeración contenga las bandejas y el producto.

### **3.1.2.1 Cuando la cámara de maduración está vacía**

Para la obtención de los siguientes parámetros se considera la temperatura inicial desde la temperatura ambiente que es de 14 °C hasta la temperatura de 1°C, se utilizó el paquete de FlowSimulation utilizando las siguientes propiedades físicas.

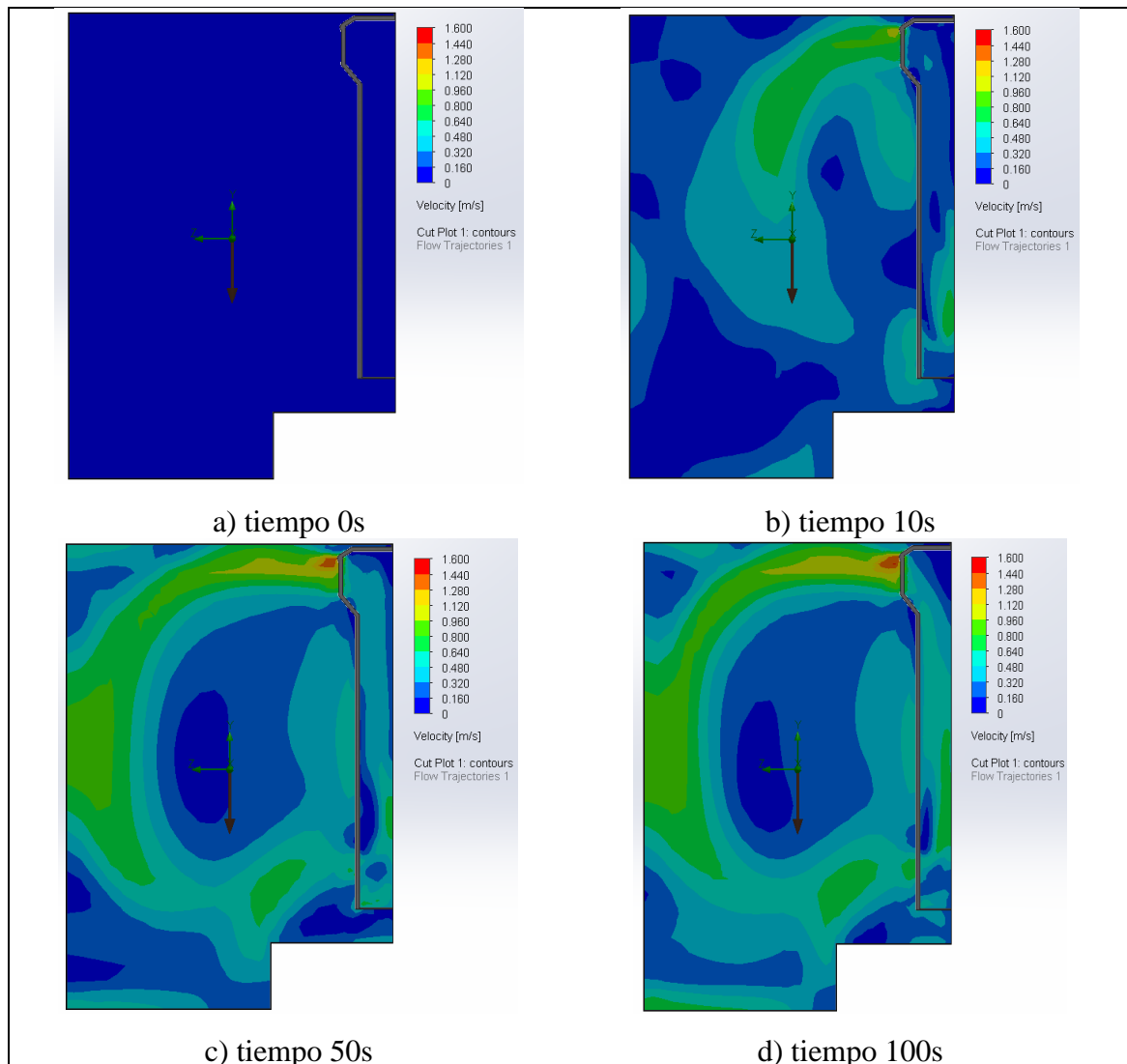
- Gravedad
- Tiempo-Dependiente

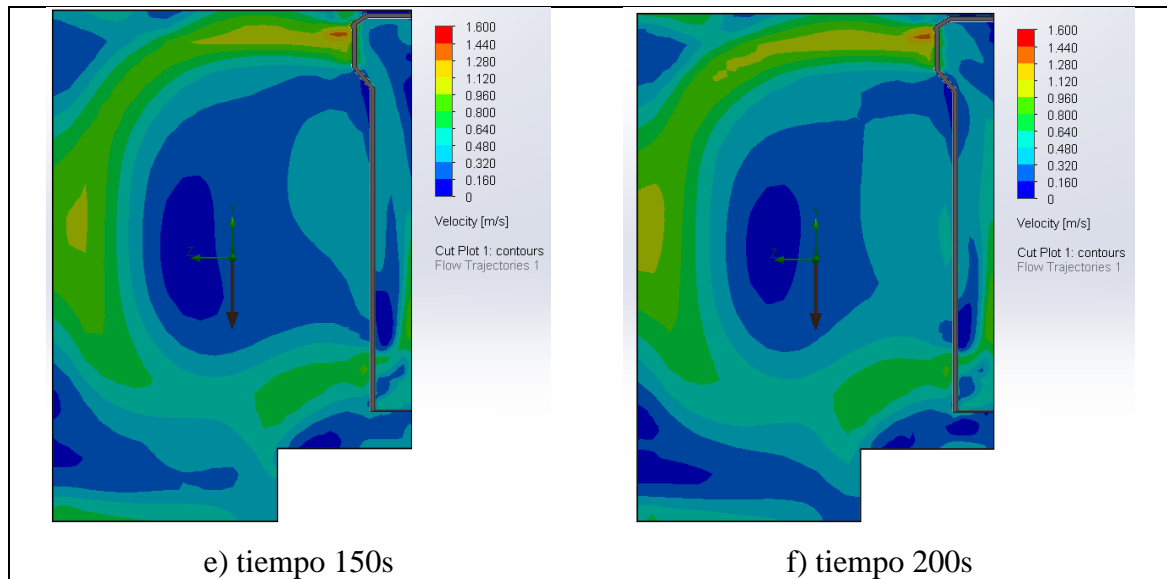
Además, la simulación solo mostrará el comportamiento de la cámara de refrigeración internamente. En las siguientes gráficas se visualiza el cambio producido por estas variables a analizarse en un periodo de tiempo.



**Figura 26.** Distribución de la temperatura en la cámara de maduración sin producto.

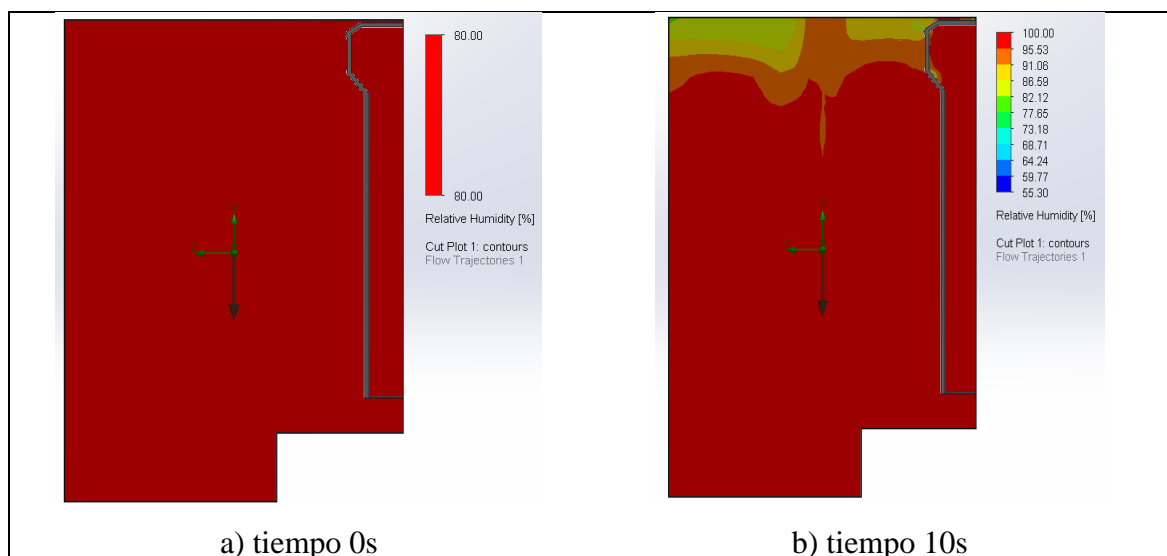
La Figura 26 permite la visualización de cómo se distribuye la temperatura en la cámara interna desde una temperatura de 14°C hasta una temperatura de refrigeración de 1°C. En el momento inicial, todo el aire en el gabinete de refrigeración se encuentra a temperatura ambiente. Una vez encendido el sistema de refrigeración, el aire procede a enfriarse. Cabe destacar que en la simulación se configuró para que la rejilla de un flujo de aire con una temperatura de inicio de 1°C, razón por la cual la temperatura baja rápidamente como se puede apreciar en la Figura 26 b) y e) donde pasamos de una temperatura ambiente de 14°C a tener 10 °C y luego 1°C respectivamente. Además, se logra apreciar que en el centro de la cámara de maduración la temperatura es más elevada que en sus extremos, esto se debe a la forma en que circula el aire, sin embargo, en la figura c) luego de 200s la cámara alcanza una homogeneidad de temperatura en todo su espacio.

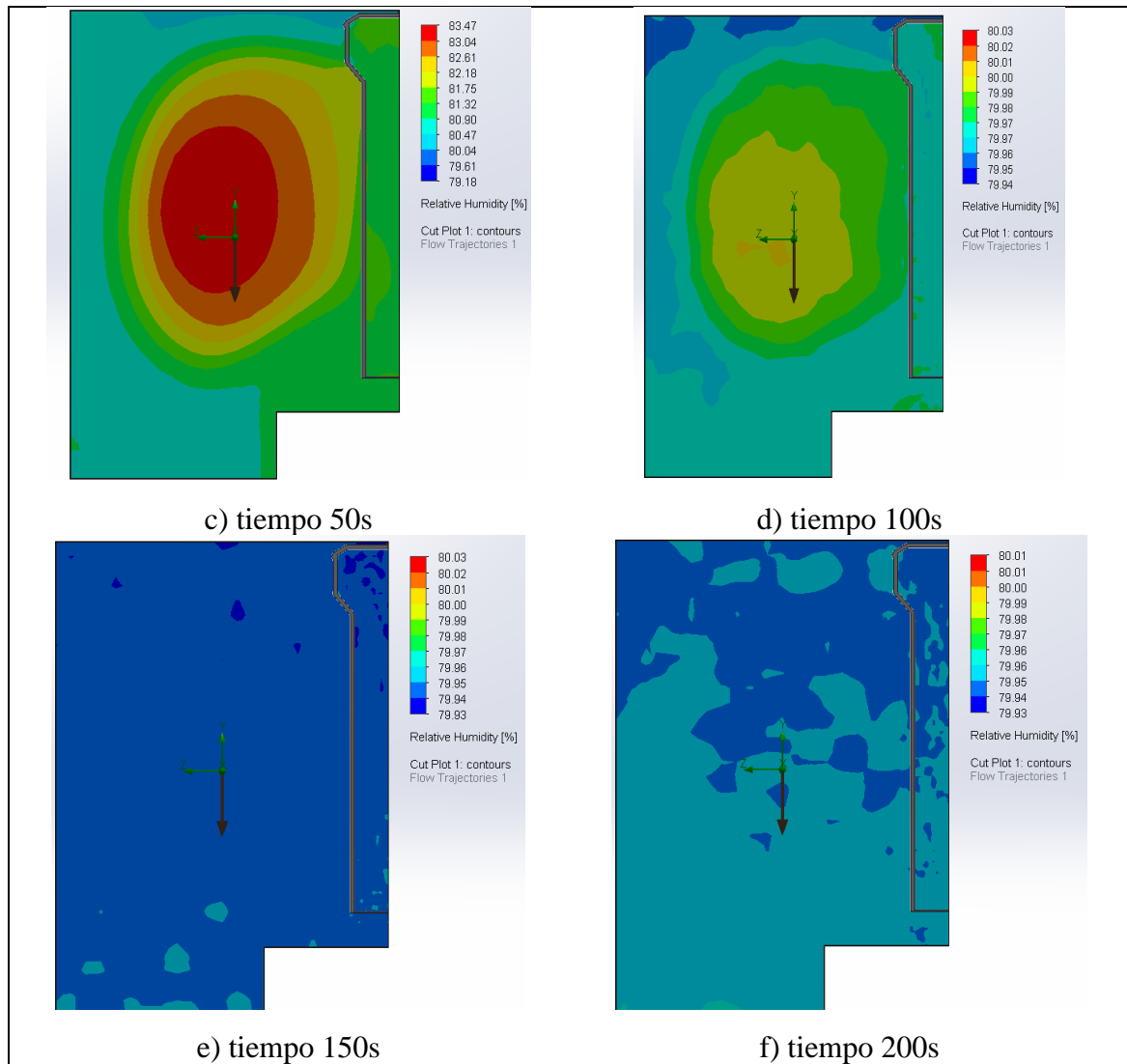




**Figura 27.** Distribución del flujo de aire en la cámara de maduración sin producto

Como se observa en la Figura 27 bajo la acción de un ventilador se tiene un mayor flujo de aire en la rejilla superior por donde es expulsado a 1,6 m/s. Inicialmente, el fluido se encuentra de manera estacionaria, es decir, la magnitud es igual a 0 m/s, bajo la acción del ventilador, el aire comienza a fluir y como se aprecia en b) el flujo va aumentando su alcance de esta forma en c), se tiene que el flujo ya llega hasta la puerta de vidrio a los 50s y esta se mantiene uniforme para el tiempo restante. En f) se puede ver que el espacio donde la circulación de aire es 0,3 m/s va disminuyendo hasta volverse uniforme en toda la cámara.





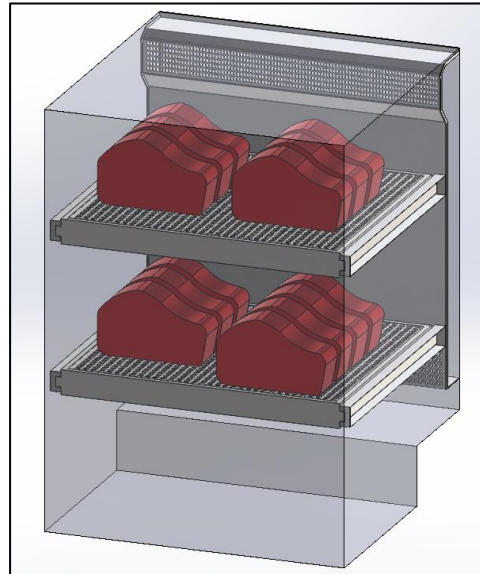
**Figura 28.** Distribución de la humedad relativa en la cámara de maduración sin producto.

En la simulación de humedad relativa dada en la Figura 28 se tiene desde un inicio un valor de 80% el cual fluctúa en aproximadamente en 1% aproximadamente, debido a la temperatura de refrigeración, dando a entender que entre menos temperatura menor será la humedad relativa del aire.

Los valores de humedad relativa se mantienen en un rango del 83% y 79% como se observa en c), del 83% en el centro de la cámara y por los lados un valor de 79%, a los 200s de la simulación y como se observa en f) tenemos que la humedad relativa es homogénea, pero ha caído en 1%.

### 3.1.2.2 Cuando la cámara contiene las bandejas y el producto

En la Figura 29 se observa el interior de la cámara con una carga de 20 kg y bandejas respectivamente se aprecia una configuración de filas y columnas de 3x2, sin embargo, se observa un corte adicional en la bandeja inferior, este corte completa la capacidad máxima sin problemas de espacio.



**Figura 29.** Cámara de maduración con bandejas y el producto en su máxima capacidad.

Para este caso la complejidad de la simulación aumenta ya que SolidWorks no contiene como materiales alimentos ni productos, así que para crear las propiedades térmicas del corte de carne seleccionado de los alimentos se debe considerar las siguientes propiedades:

- Proteína
- Grasa
- Carbohidrato
- Fibra
- Ceniza

En la Tabla 21 se observa las propiedades más esenciales del corte seleccionado en términos de porcentaje y la temperatura de congelamiento para el lomo fino de  $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

**Tabla 21.** Datos del corte seleccionado.

<b>Lomo Fino</b>	
Contenido de agua	71,70%
Proteína	21,24%
Grasa	4,40%
Carbohidrato	0%
Fibra	0%
Ceniza	1,08%
Temperatura de congelamiento	-1,7°C

Usando las ecuaciones de la ASHRAE de la página 298 se determina la densidad y coeficiente de conductividad

Thermal Property	Food Component	Thermal Property Model
Thermal conductivity, W/(m·K)	Protein	$k = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}t - 2.7178 \times 10^{-6}t^2$
	Fat	$k = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-4}t - 1.7749 \times 10^{-7}t^2$
	Carbohydrate	$k = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}t - 4.3312 \times 10^{-6}t^2$
	Fiber	$k = 1.8331 \times 10^{-1} + 1.2497 \times 10^{-3}t - 3.1683 \times 10^{-6}t^2$
	Ash	$k = 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}t - 2.9069 \times 10^{-6}t^2$
Thermal diffusivity, m <sup>2</sup> /s	Protein	$\alpha = 6.8714 \times 10^{-8} + 4.7578 \times 10^{-10}t - 1.4646 \times 10^{-12}t^2$
	Fat	$\alpha = 9.8777 \times 10^{-8} - 1.2569 \times 10^{-11}t - 3.8286 \times 10^{-14}t^2$
	Carbohydrate	$\alpha = 8.0842 \times 10^{-8} + 5.3052 \times 10^{-10}t - 2.3218 \times 10^{-12}t^2$
	Fiber	$\alpha = 7.3976 \times 10^{-8} + 5.1902 \times 10^{-10}t - 2.2202 \times 10^{-12}t^2$
	Ash	$\alpha = 1.2461 \times 10^{-7} + 3.7321 \times 10^{-10}t - 1.2244 \times 10^{-12}t^2$
Density, kg/m <sup>3</sup>	Protein	$\rho = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1}t$
	Fat	$\rho = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1}t$
	Carbohydrate	$\rho = 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1}t$
	Fiber	$\rho = 1.3115 \times 10^3 - 3.6589 \times 10^{-1}t$
	Ash	$\rho = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1}t$
Specific heat, kJ/(kg·K)	Protein	$c_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}t - 1.3129 \times 10^{-6}t^2$
	Fat	$c_p = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3}t - 4.8008 \times 10^{-6}t^2$
	Carbohydrate	$c_p = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3}t - 5.9399 \times 10^{-6}t^2$
	Fiber	$c_p = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3}t - 4.6509 \times 10^{-6}t^2$
	Ash	$c_p = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3}t - 3.6817 \times 10^{-6}t^2$

**Figura 30.** Modelos matemáticos de los componentes de los alimentos [25].

- **Densidad**

$$p_w = 9,9718 \times 10^2 + 3,1439 \times 10^{-3} (1) - 3,7574 \times 10^{-3} \left( (1)^2 \right) = 997,1793 \text{ kg/m}^3$$

$$p_p = 1,3299 \times 10^3 - 5,1840 \times 10^{-1} (1) = 1329,3816 \text{ kg/m}^3$$

$$p_f = 9,2559 \times 10^2 - 4,1757 \times 10^{-1} (1) = 925,1724 \text{ kg/m}^3$$

$$p_a = 2,4238 \times 10^3 - 2,8063 \times 10^{-1} (1) = 2423,51 \text{ kg/m}^3$$

- **Coefficiente conductivo**

$$k_w = 5,7109 \times 10^{-1} + 1,7625 \times 10^{-3} (1) - 6,7036 \times 10^{-6} ((1)^2) = 0,5728 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$k_p = 1,7881 \times 10^{-1} + 1,1958 \times 10^{-3} (1) - 2,7178 \times 10^{-6} ((1)^2) = 0,18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$k_f = 1,8071 \times 10^{-1} - 2,7604 \times 10^{-3} (1) - 1,7749 \times 10^{-7} ((1)^2) = 0,1779 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$k_a = 3,2962 \times 10^{-1} + 1,4011 \times 10^{-3} (1) - 2,9069 \times 10^{-6} ((1)^2) = 0,3310 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Mediante la siguiente ecuación la densidad del corte de carne de lomo fino a 1° C se determina:

$$\sum \frac{x_i}{p_i} = \frac{0,7170}{997,1793} + \frac{0,2124}{1329,3816} + \frac{0,044}{925,1724} + \frac{0,0108}{2423,51} = 0,00093 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$p = \frac{1 - \varepsilon}{\sum \frac{x_i}{p_i}} = \frac{1}{0,00093 \text{ m}^3/\text{kg}} = 1075,26 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo con la siguiente ecuación las fracciones de volumen de los constituyentes pueden ser encontradas.

$$x_w^v = \frac{x_w / p_w}{\sum \frac{x_i}{p_i}} = \frac{0,000719}{0,00093} = 0,7731$$

$$x_p^v = \frac{x_p / p_p}{\sum \frac{x_i}{p_i}} = \frac{0,0001597}{0,00093} = 0,1717$$

$$x_f^v = \frac{x_f / p_f}{\sum \frac{x_i}{p_i}} = \frac{0,00004755}{0,00093} = 0,05112$$



$$x_a^v = \frac{x_a / p_a}{\sum \frac{x_i}{p_i}} = \frac{0,000004456}{0,00093} = 0,004791$$

Usando el modelo paralelo la conductividad térmica se determina:

$$k = \sum x_i^v k_i = (0,7731)(0,5728) + (0,1717)(0,18) + (0,05112)(0,1779) + (0,004791)(0,3310)$$

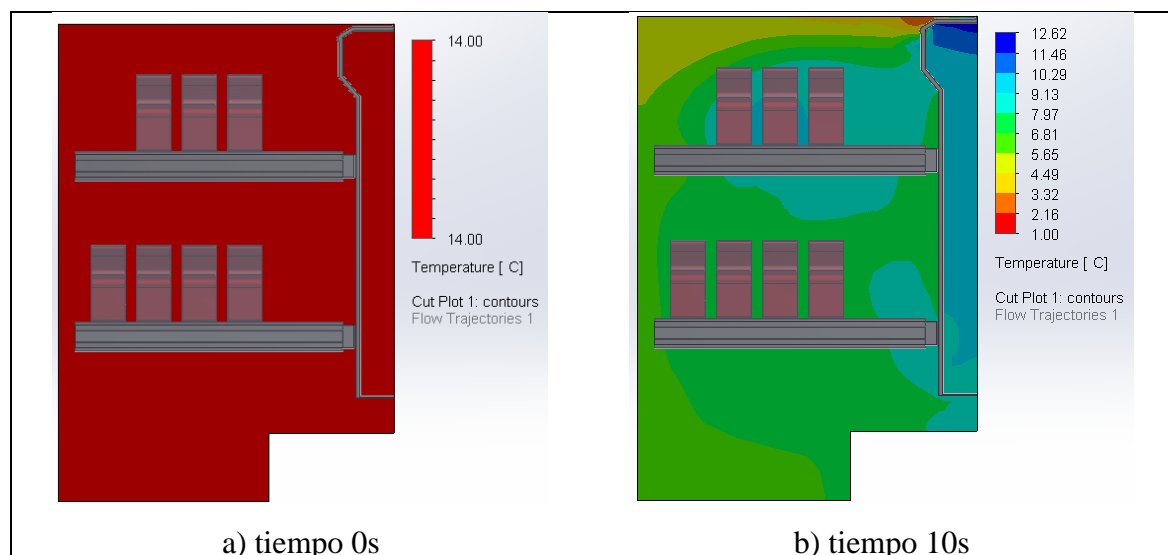
$$k = 0,4844 W / m^{\circ}C$$

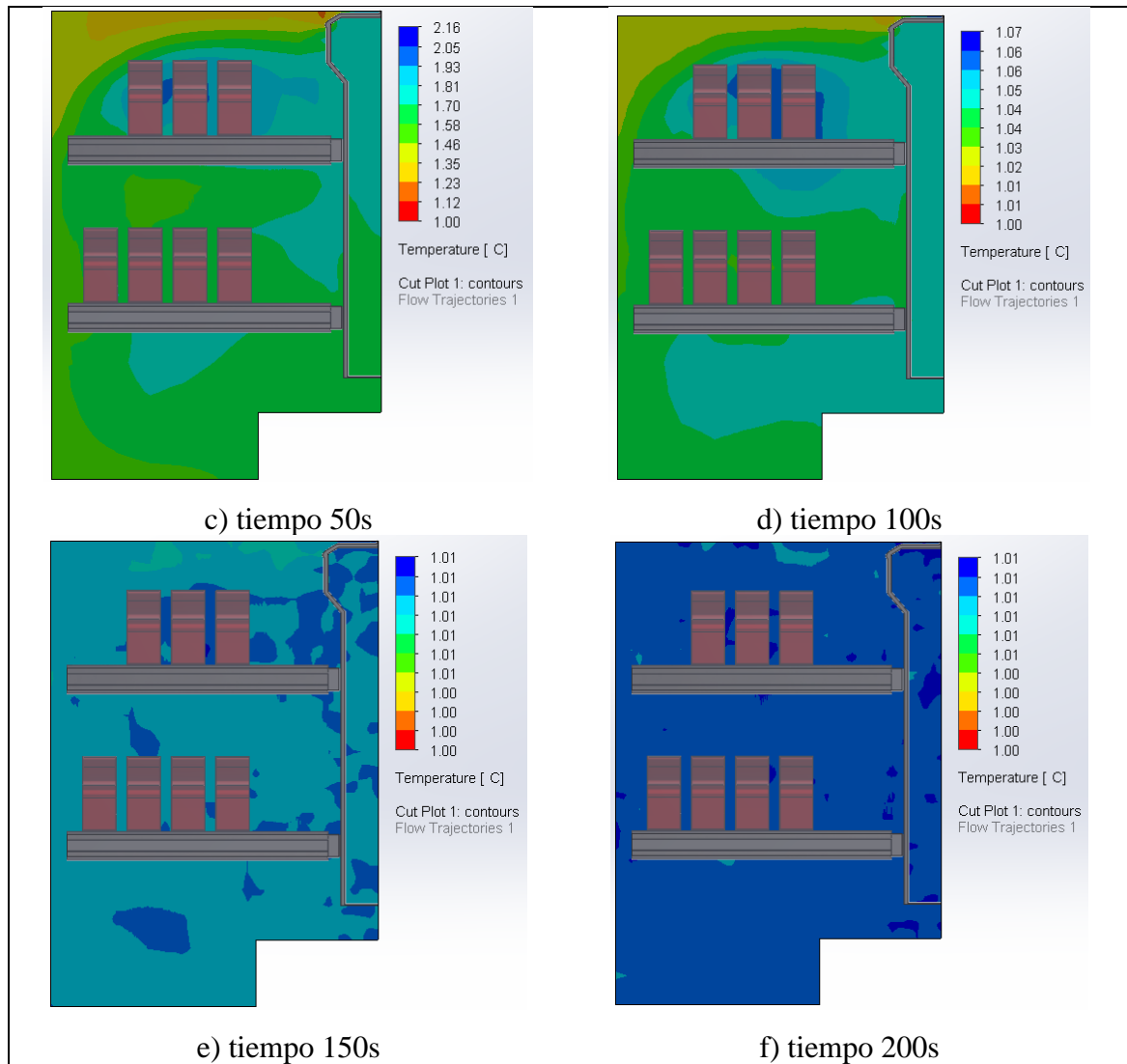
Usando el modelo perpendicular la conductividad térmica se determina:

$$k = \frac{1}{\sum \frac{x_i^v}{k_i}} = \left( \frac{0,7731}{0,5728} + \frac{0,1717}{0,18} + \frac{0,05112}{0,1779} + \frac{0,004791}{0,3310} \right)^{-1}$$

$$k = 0,3838 W / m^{\circ}C$$

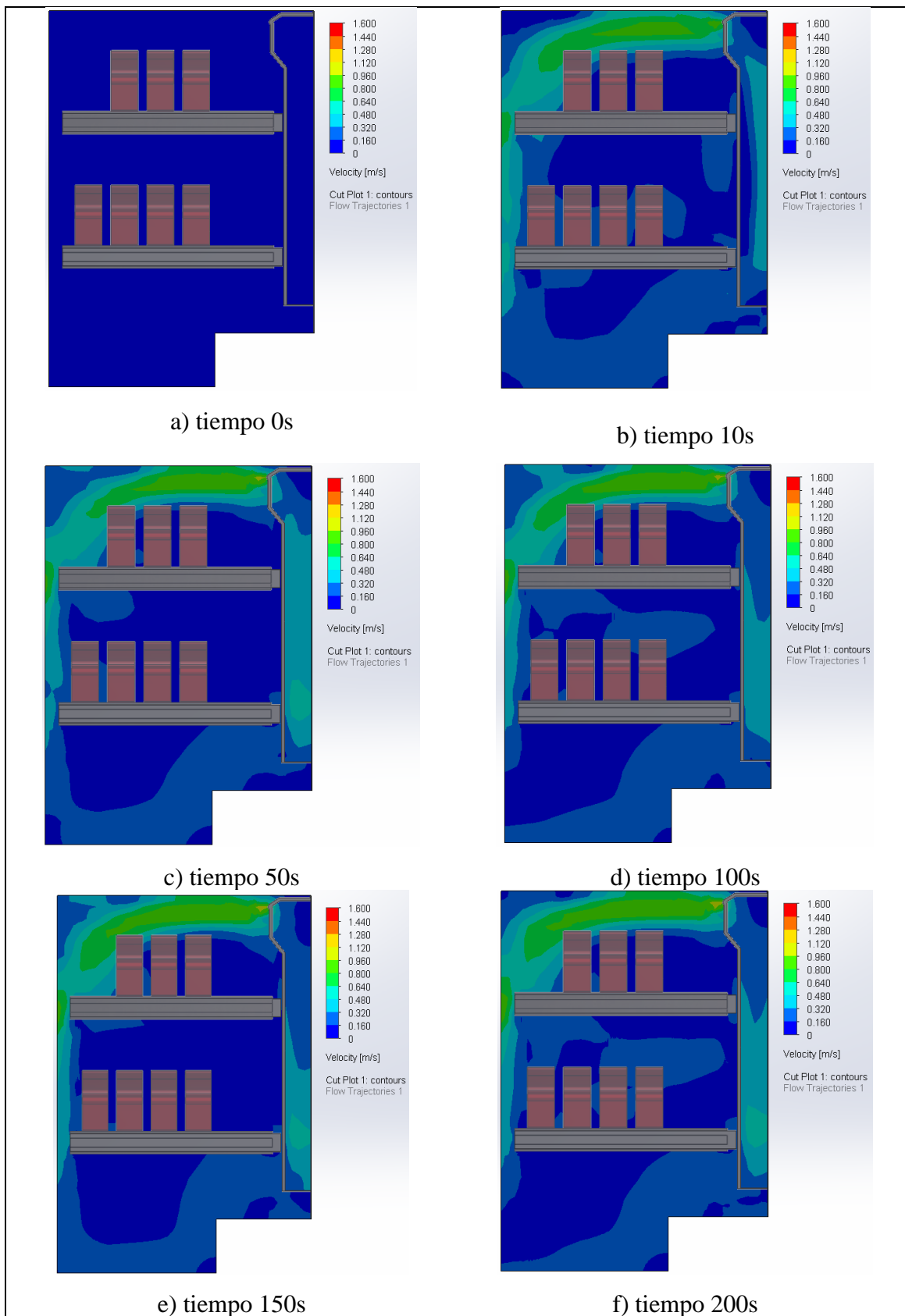
Con las dos propiedades térmicas necesarias se añade un nuevo material a SolidWorks para realizar la simulación correspondiente.





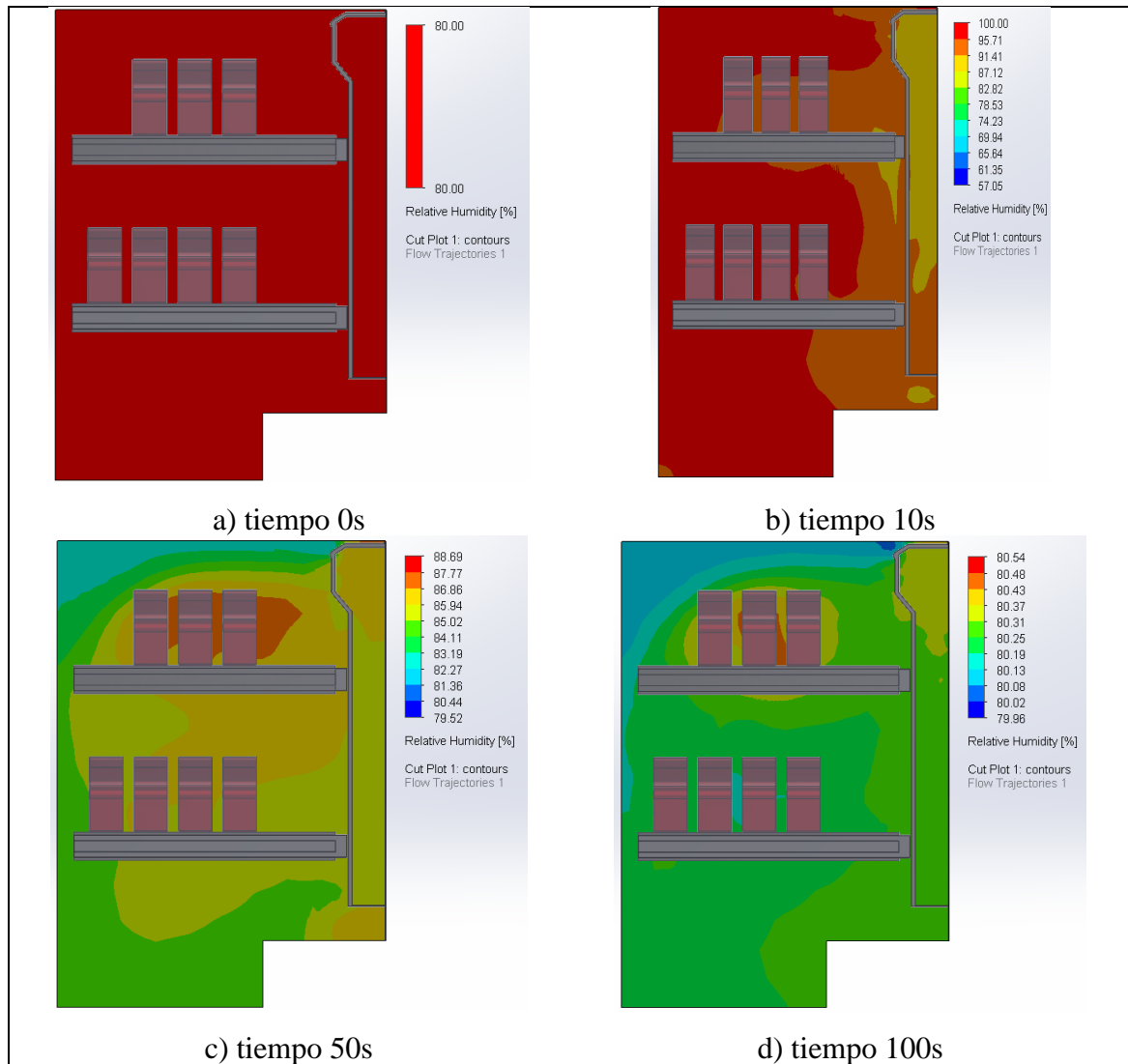
**Figura 31.** Distribución de la temperatura en la cámara de maduración con producto.

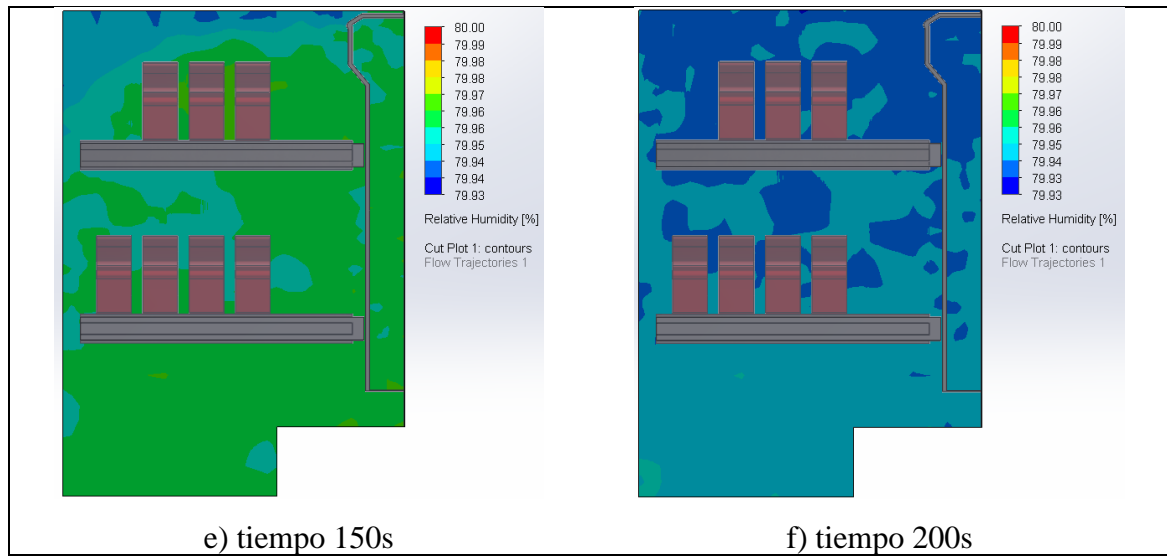
La distribución de temperatura en la cámara para el equipo de maduración con producto se presenta en la Figura 31 donde al igual que para la Figura 26 tenemos un cambio de temperatura desde el ambiente que es de 14°C hasta la temperatura deseada de 1°C, la diferencia es que al estar con producto demora más tiempo en alcanzar la temperatura de refrigeración deseada, esto es real ya que el producto aporta mayor masa para refrigerar.



**Figura 32.** Distribución del flujo de aire en la cámara de maduración con producto.

En la Figura 32 se logra apreciar el flujo de aire, esta vez tiende a demorarse más en abarcar todo el espacio debido a que presenta la carne lo cual impide la libre circulación como en la Figura 27 el flujo de aire en los 200s aún no ha llegado a toda la cámara como se observa en la Figura 32 f), indicando que aun requiere de más tiempo de funcionamiento del equipo.





**Figura 33.** Distribución de la humedad relativa en la cámara de maduración con producto.

Figura 33 muestra la variación de humedad relativa en el equipo de maduración el cual se encuentra con producto y que tiende a mantenerse en un porcentaje del 80% hasta los 100s en funcionamiento, para luego caer 1% a partir de los 150s y mantenerse así hasta el final de la simulación.

## CAPÍTULO IV

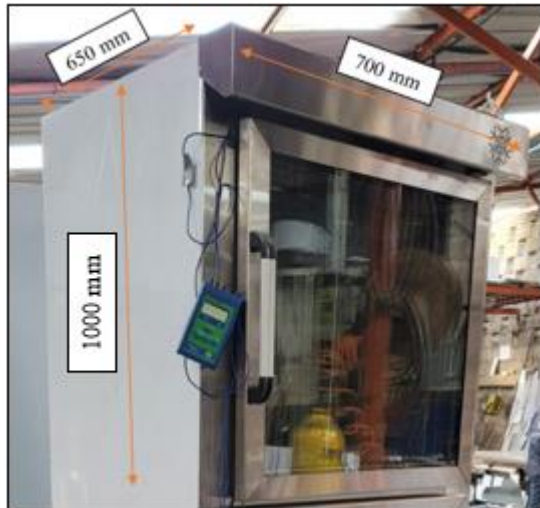
### 4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Validación de los datos en un prototipo

Se ha modificado un equipo ya construido, en la Figura 34 se da una vista del equipo original, el cual posee refrigeración estática y dos cámaras independientes, este se ha adaptado para realizar las mediciones de temperatura y humedad relativa, el espacio donde se realiza los ensayos concuerda con las mediciones propuestas, que son de: 1000 mm de alto, 650 mm de ancho y 700 mm de largo que es similar al que se ha propuesto, la cabina se la puede apreciar en la Figura 35.



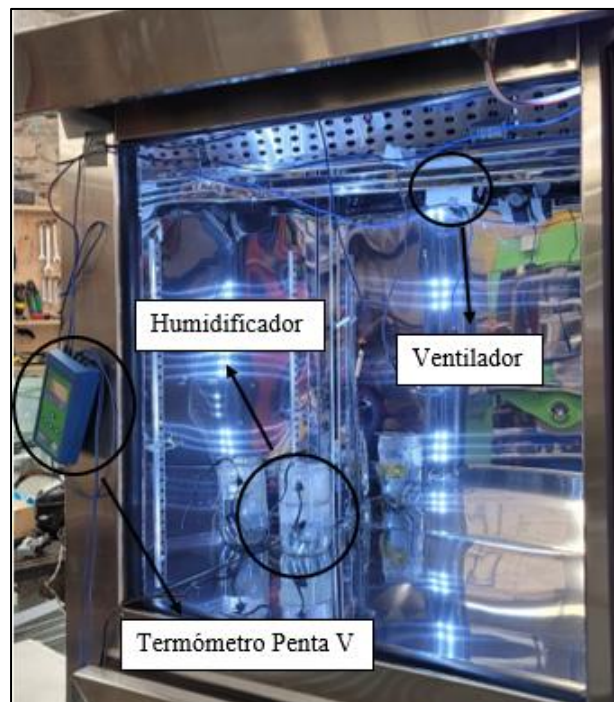
**Figura 34.** Equipo original de refrigeración.



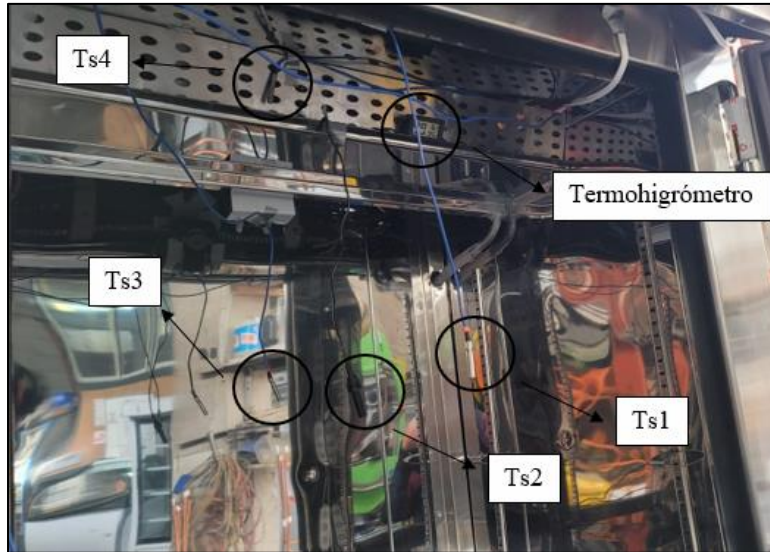
**Figura 35.** Medidas de la cabina para realizar los ensayos.

#### 4.2 Adecuación de la cabina

Como se observa en la Figura 36 para la adecuación de la cámara se procede a la implementación de un ventilador de 4 W en el evaporador y un humidificador como se indicó en el capítulo 2. Para la toma de medidas de temperatura se colocaron 4 termocuplas en puntos estratégicos y un sensor de humedad en el centro de la cámara apreciándose en la Figura 37.



**Figura 36.** Adecuación de cabina.



**Figura 37.** Ubicación de termocuplas en la cabina.

### 4.3 Prueba del prototipo

#### 4.3.1 Prueba de equipo vacío

Para la primera prueba se lo hace con el equipo vacío, es decir, sin bandejas y sin producto. Se procede al encendido del compresor y cabe resaltar que no se empieza a tomar las medidas en ese instante sino más bien cuando la temperatura del aire de la rejilla superior este en  $0,5^{\circ}\text{C}$  como se muestra en la Figura 26 b) de la simulación, esta temperatura esta medida con la termocupla 4. En la Tabla 22 se resume los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa medidos en un intervalo de 200s.

**Tabla 22.** Datos obtenidos en el prototipo sin producto.

Tiempo (s)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )			Humedad Relativa %
	Ts1	Ts2	Ts3	
0	5,4	9	5,6	80
10	4,6	8	4,2	82
50	4	7,4	3,6	80
100	3,4	6,5	3,3	79
150	2,7	5,5	2,6	77
200	1,8	3	1,5	79



### 4.3.2 Prueba del equipo con carga

Para realizar la prueba con carga se procede al llenado de la cabina con 20 Kg de carne en las dos repisas tal y como se predijo en el diseño del equipo, la Figura 38 muestra el equipo con producto.



**Figura 38.** Cabina con 20 kg de carne.

De igual manera se procede a la toma de temperaturas y humedad relativa de este caso y poder validar con lo obtenido en la simulación, esto se da a conocer a continuación, en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Datos obtenidos en el prototipo con producto.

Tiempo (s)	Temperatura (°C)			Humedad Relativa %
	Ts1	Ts2	Ts3	
0	7	16	7,6	82
10	5,8	15	6	80
50	4,6	13	5,1	79
100	4	9,5	4,8	78
150	3,5	6,5	4	77
200	2,3	4	3	79

#### 4.4 Comparación de resultados

En este apartado se analizarán los valores medidos en el prototipo juntamente con los datos obtenidos en la simulación verificando así la confiabilidad y fiabilidad de esta, los casos de estudio analizados son:

- Cámara de maduración vacía
- Cámara de maduración con producto

Para tener una mejor comprensión se realizaron tablas comparativas de ambos casos de estudio con las variables, donde se compara datos experimentales y computacionales adquiridos por SolidWorks. Se consideró para el análisis temperaturas promedio en el intervalo de tiempo de 0s a 200s.

La Tabla 24 muestra las temperaturas promedio total de ensayo y simulación de 4,56 °C y 5,35 °C respectivamente, los valores en la diferencia de temperatura se asemejan en los instantes de tiempo de 50s a 100s con valores de 3,52 °C y 3,37 °C, dado los 200s la diferencia de temperatura entre el ensayo y la simulación es de 1,09 °C, por lo que se puede decir que pese a las condiciones del diseño y características del equipo de pruebas, la similitud del dimensionamiento corrobora el comportamiento ocurrido internamente en la cámara.

**Tabla 24.** Comparación entre temperaturas con la cámara vacía.

Tiempo de simulación s	Temperatura del ensayo °C	Temperatura de la simulación °C	Diferencia de temperatura $\Delta^{\circ}\text{C}$
0	6,67	14	7,33
10	5,60	13,62	8,02
50	5	1,48	3,52
100	4,40	1,03	3,37
150	3,60	1,01	2,59
200	2,10	1,01	1,09

En la Tabla 25 se visualiza las temperaturas promedio del ensayo y de la simulación desde 0s a 200s, con un valor promediado total de 6,76 °C en ensayos y 5,32 °C en simulación,

además existe por cada intervalo de tiempo dos temperaturas que se comparan. De igual modo se visualiza una similitud en la diferencia de temperatura en los intervalos de tiempo de 50s y 100s con valores respectivos de 5,41 °C y 5,01°C, cuando el equipo alcanza los 200s se observa una diferencia de temperatura del 2,09°C valor que a su vez es admisible considerando las discrepancias que ocurren en el diseño y las condiciones de funcionamiento, además de que al llevar un carga de producto hace que el compresor trabaje más y la cámara demore en alcanzar el valor deseado.

**Tabla 25.** Comparación entre temperaturas en la cámara con el producto.

<b>Tiempo de simulación s</b>	<b>Temperatura del ensayo °C</b>	<b>Temperatura de la simulación °C</b>	<b>Diferencia de temperatura Δ°C</b>
0	10,20	14	3,8
10	8,93	12,62	3,69
50	7,57	2,16	5,41
100	6,10	1,09	5,01
150	4,67	1,01	3,66
200	3,10	1,01	2,09

Se puede denotar de ambos casos que existe una variación promedio de 1 °C para el caso de la simulación y 2°C en los ensayos desde los 10s hasta los 200s, esto se debe a la carga térmica por producto que la carne ejerce dentro de la cámara.

La temperatura medida por el sensor Ts2 que se localiza en el centro de la cámara es mayor y como se observó en las Figura 26 y Figura 31 de la simulación, la mayor temperatura se localiza en la parte central de la cámara debido a la forma en como el aire circula dentro de la misma.

La Tabla 26 denota una comparación de la humedad relativa del aire cuando la cámara está vacía, el mayor porcentaje de humedad tanto en la simulación como del ensayo ocurre a los 10s con valores de 93,30 % y 82 % respectivamente y una diferencia de humedad del 11,3%, la humedad promedio es del 82 % en la simulación y 79,5 % en los ensayos.

**Tabla 26.** Comparación entre Humedades Relativas con la cámara vacía.

<b>Tiempo de simulación s</b>	<b>Humedad relativa de la simulación%</b>	<b>Humedad relativa del ensayo %</b>	<b>Diferencia de la humedad relativa <math>\Delta</math> %</b>
0	80	80	0
10	93,30	82	11,3
50	81,75	80	1,75
100	79,99	79	0,99
150	79,96	77	2,96
200	79,95	79	0,95

En la Tabla 27 se denota la comparación de humedades simuladas y experimentales cuando la cámara de maduración tiene una carga térmica por producto, la humedad relativa promedio de la simulación y de los ensayos es de 82,63 % y 79,16 % respectivamente.

**Tabla 27.** Comparación entre Humedades Relativas en la cámara con el producto.

<b>Tiempo de simulación s</b>	<b>Humedad relativa de la simulación%</b>	<b>Humedad relativa del ensayo %</b>	<b>Diferencia de la humedad relativa <math>\Delta</math> %</b>
0	80	82	2
10	91,41	80	11,41
50	84,11	79	5,11
100	80,37	78	2,37
150	79,95	77	2,95
200	79,94	79	0,94

Para ambos casos, dado los 200s mantienen una diferencia de humedad del 0,95 % y 0,94 respectivamente, esto proporciona mayor fiabilidad al diseño propuesto asemejándose bastante a los datos obtenidos en la práctica, además a los 10s de igual forma en ambos casos la humedad relativa se dispara apuntando casi a 100 % de humedad, esto se debe principalmente a que en la simulación no se cuenta con un controlador de humedad ni con un humificador.

Se mantienen dos argumentos que permiten validar la simulación, el primero reside en el

tiempo ya que a medida que pase el tiempo la temperatura y humedad obtenida en los ensayos tendrá el valor deseado. Considerando que el tiempo de enfriamiento no es un factor crucial dentro de la maduración de carne, además las diferencias son mínimas en el tiempo final. Por otro lado, los rangos alcanzados en el prototipo son admisibles, teniendo rangos que la literatura acepta siendo de 0°C a 4°C y de 75% al 85% respectivamente. Dando fiabilidad al diseño y simulación del equipo con la capacidad de 20 kg con las características propuestas.

#### 4.4.1 Cálculo del error relativo

La misión del error relativo yace en servir como un indicador de calidad en una medida y se expresa en porcentaje. Para validar de mejor forma los resultados se evaluará la precisión en las medidas. En la Tabla 28 se expresa el cálculo del error relativo de la temperatura y humedad en dos casos: con el equipo vacío y cuando el equipo tiene el producto, obteniendo márgenes de error entre la simulación del equipo y las pruebas realizadas en un prototipo con características bastante parecidas. Los márgenes de errores más grandes en la temperatura tanto con producto como en vacío de 0,821 % y 1,432% respectivamente, en la humedad los márgenes de error más grande ocurren en el tiempo de 10s con valores de 0,138 % y 0,143 % respectivamente. Dados los 200s se obtiene márgenes de error bastante pequeños, además de ser de bastante interés en temperatura y humedad relativa cuando la cámara está vacía, como cuando la cámara contiene la carne en temperatura de 0,519 % y 0,674 % respectivamente y humedad relativa del 0,012 % en ambas.

**Tabla 28.** Error relativo de temperatura y humedad relativa para ambos casos

Casos	Tiempo s	Temperatura °C		Humedad relativa %		Error relativo %	
		Ensayos	simulación	Ensayos	simulación	°C	%
Con el equipo vacío	0	6,67	14	80	80	1,099	0
	10	5,60	13,62	82	93,30	1,432	0,138
	50	5	1,48	80	81,75	0,704	0,022
	100	4,40	1,03	79	79,99	0,769	0,013
	150	3,60	1,01	77	79,96	0,721	0,038

Con el producto	200	2,10	1,01	79	79,95	0,519	0,012
	0	10,20	14	82	80	0,373	0,024
	10	8,93	12,62	80	91,41	0,413	0,143
	50	7,57	2,16	79	84,11	0,715	0,065
	100	6,10	1,09	78	80,37	0,821	0,030
	150	4,67	1,01	77	79,95	0,783	0,038
	200	3,10	1,01	79	79,94	0,674	0,012

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS DE COSTOS

#### 5.1 Presupuesto para la construcción de un prototipo

A continuación, se da a conocer el costo que tendría la construcción de un prototipo en base a los elementos propuestos en los capítulos anteriores, en la Tabla 29 se muestra de manera detallada el valor de cada uno de los materiales, elementos del equipo de maduración y complementos.

**Tabla 29.** Costos para la construcción de un prototipo.

Ítem	Cantidad	Valor (\$)
Planchas de acero inoxidable 430	4	161
Poliuretano	5 litros	30
Corte en laser de piezas especiales	2	20
Ventilador	2	42
Compresor	1	80
Evaporador	1	30
Condensador	1	45
Vidrio	2	25
Perfiles	1	10
Silicona	2	5
Madera	2 m <sup>2</sup>	9
Gel de sílice	20 g	3
Resistencia	1	35
Control de temperatura	1	25
Control de humedad	1	30
Recipiente para agua	1	3
Ángulos	3 m	4
Iluminación	4 módulos	8
Interruptores	2	6
Luz UV	1	20
Cables	4 m	5
Cable con enchufe	2 m	6
Filtro	1	2,50
Tubo capilar	3 m	5
Tubería de cobre	4 m	15
Cremallera y gancho	4	15
Bisagras	2	22
Empaque imantado	1	12

Base para unidad de refrigeración	1	7
Varilla de plata	4	6
Gas refrigerante R141b	1	7
Oxígeno	-	10
Acetileno	-	14
Taípe	1	1
Correas	1 funda	3
Rubatex	1,5 m	2
<b>Total</b>		<b>723,5</b>

## 5.2 Presupuesto para el equipo de ensayos

En la Tabla 30 se da a conocer los equipos, usados para medir las dos variables propuestas en el prototipo además de materiales que se usaron para modificar el equipo que sirvió para realizar los ensayos.

**Tabla 30.** Costos de elementos usados para los ensayos.

<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor (\$)</b>
Termómetro Penta V	1	60
Termohigrómetro digital	1	5
Anemómetro digital	1	22
Humidificador	1	20
Tanque para agua	1	4
Rejilla con perforaciones	1	10
Ventilador	1	15
Carne	20 kg	79,20
<b>Total</b>		<b>215,20</b>



## CONCLUSIONES

- Dentro de la investigación que se realizó en base a diversas fuentes bibliográficas, se concluye que el Ecuador ha empezado a tener participación en exportaciones a mercados internacionales desde el 2014, teniendo complicaciones en brindar un producto de calidad debido a problemas genéticos que tienen los ganados vacunos del país, además la sierra se dedica a la producción láctea y no a la producción de la carne, varias alternativas se pueden implementar, una de las más factibles analizando la reciente visualización del país como exportador es darle un tratamiento de maduración a la carne.
- Se concluye que, la maduración en seco de la carne presenta varias ventajas respecto a otras, resaltando las propiedades organolépticas de la carne, brindando un producto de calidad para los consumidores a pesar del costo y el tiempo que toma este proceso.
- Se diseñó un equipo para madurar 20 kg de carne, con material AISI 304 y poliuretano R-11 adecuado por las normas sanitarias, con un dimensionamiento exterior de 1000 mm de alto 700 mm de ancho y 650 mm de largo, con dos bandejas en su interior para colocar la carne. Además, se seleccionó elementos de refrigeración necesarios como un compresor, condensador y evaporador con capacidades de refrigeración de 26,04 W, 328,82 W y 309,053 W respectivamente. Para el flujo de aire para el interior de la cámara se tiene un ventilador axial de 8,5 W y un humidificador que se encontró en el mercado siendo el modelo AGPTEK el cual cumplió con la distribución uniforme de la humedad.
- Se llegó a la conclusión de que el modelo propuesto mediante cálculos si cumple. Por un lado, alcanzó una temperatura de 1°C, una humedad del 80% y un flujo de aire de 1,6 m/s uniforme en la cabina cuando esta se encontraba vacía y con el producto se logró identificar un aumento en el tiempo para lograr llegar a una homogenización total de las 3 variables, lo cual es entendible ya que el tiempo de simulación tan solo es de 200s.
- En la comparación de resultados se obtuvo valores de error relativo aceptables. Con respecto a la temperatura los valores en porcentaje en el ensayo con producto y en el ensayo en vacío son de 0,821 % y 1,432% respectivamente, en humedad relativa se tuvo

valores de 0,138 % y 0,143 % a los 10s de simulación. Esto verifica la validez de la simulación realizada con un prototipo con las mismas condiciones.

- De acuerdo con la elaboración de los presupuestos tanto de la adaptación del prototipo como de la construcción de un prototipo desde cero, el valor total tiene un presupuesto de 723,5 dólares, normalmente equipos extranjeros que se utilizan para madurar carne rondan en precios de 5000 dólares en adelante, por lo que hace más rentable la adquisición de una construida en el país.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar una investigación exhausta acerca de la situación actual presente en el mercado de maduración cárnico ecuatoriano, al ser este el enfoque de la investigación.
- Es recomendable experimentar el método de maduración en seco, con ensayos propuestos que tienen como finalidad reconocer que el método seleccionado es el adecuado para mejorar la calidad de la carne ecuatoriana.
- Se recomienda realizar varios ensayos en la simulación y en el prototipo para obtener mejores resultados, eliminando así el margen de error en los resultados, brindando mayor confiabilidad si en el futuro se desea construir el prototipo.
- En la simulación se recomienda colocar un mallado no tan fino debido al dimensionamiento que presenta el equipo y de esta forma se optimiza recursos computacionales y tiempo.
- Se recomienda adquirir varias termocuplas e higrómetros para la verificación en tiempo real de la temperatura y humedad de la cámara en varios puntos a la vez.
- Se recomienda analizar materiales más económicos y factibles para el diseño del equipo reduciendo así el valor de ensamblaje.

## LISTA DE REFERENCIAS

- [1] OCDE-FAO, «OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030,» Mexico, 2021.
- [2] Direct Industry, «camaras de maduracion,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/mauting-sro/product-175622-2202091.html>. [Último acceso: 13 10 2021].
- [3] Centro de investigacion y alimentacion en desarrollo A.C, «Manual de sacrificio, manejo y procesado de carne de ganado bovino,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.producechihuahua.org/litera/MAN-0002ProcesadoCarne.pdf>. [Último acceso: 04 11 2021].
- [4] Agencia de regulacion y control fito y zoon sanitario , «Guía de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Ganado Bovino de Carne,» 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/pecu7.pdf>. [Último acceso: 04 11 2021].
- [5] Ministerio de agricultura, ganaderia y pesca de la nacion , «Estudio de cadenas pecuarias de Ecuador,» 2013. [En línea]. Available: <https://es.calameo.com/read/0041143065babb06950de>. [Último acceso: 04 11 2021].
- [6] OCDE-FAO, OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030, Paris: Organizacion de las Naciones Unidas, 2021.
- [7] EL COMERCIO, «Negocios,» *Ecuador busca exportar carne y lácteos a la Unión Europea, Turquía, Irán, Qatar...*, pp. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ecuador-busca-exportar-carne-y.html>, 05 04 2014.
- [8] EL COMERCIO, «Negocios,» *La exportación de carne tomará más tiempo*, pp. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/exportacion-carne-ecuador-fiebre-aftosa.html>, 03 03 2015.
- [9] Ministerio de agricultura y ganaderia, «Ecuador es autosuficiente para cubrir demanda nacional de carne bovina,» 01 11 2017. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-es-autosuficiente-para-cubrir-demanda-nacional-de-carne-bovina/>. [Último acceso: 04 11 2021].
- [10] El Universo, «Gente,» *Carne más suave con la maduración*, pp. <https://www.eluniverso.com/vida-estilo/2014/09/27/nota/4032666/carne-mas-suave-maduracion/>, 27 09 2014.
- [11] La Hora , «Noticias Loja,» *La calidad de la carne* , pp. <https://lahora.com.ec/noticia/1102196302/la-calidad-de-la-carne>, 28 10 2018.
- [12] D. Dashdorj, V. Tripathi, S. KumarCho, Y. Kim y I. Hwang, «Dry aging of beef; Review,» *Journal of Animal Science and Technology*, vol. 58, n° 1, pp. 1-11, 2016.
- [13] H. Stenström, X. Li, M. C. Hunt y K. Lundström, «Consumer preference and effect of correct or misleading information after ageing beef longissimus muscle using vacuum, dry ageing, or a dry ageing bag,» *Meat Science*, vol. 96, n° 2, pp. 661-666, 2014.
- [14] J. P. Marquéz Ruiz, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÂMARA DE TEMPERATURA CONTROLADA*, Mèxico, 2016.
- [15] N. Terjung, F. Witte y V. Heinz, «The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging,» *Meat Science*, vol. 172, p. 108355, 2021.
- [16] S. Álvarez, A. M. Mullen, R. Hamill, E. O'Neill y C. Álvarez, «Chapter Three - Dry-

- aging of beef as a tool to improve meat quality. Impact of processing conditions on the technical and organoleptic meat properties,» 2021, pp. 97-130.
- [17] A. M. Smith, K. B. Harris, D. B. Griffin, R. K. Miller, C. R. Kerth y J. W. Savell, «Retail yields and palatability evaluations of individual muscles from wet-aged and dry-aged beef ribeyes and top sirloin butts that were merchandised innovatively,» *Meat Science*, vol. 97, pp. 21-26, 2014.
- [18] G. Peterson y M. Sobral, «EFECTO PELTIER,» 05 Dicimebre 2007. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fmaterias.df.uba.ar%2Flabo4aa2014c1%2Ffiles%2F2012%2F07%2FEfecto-Peltier.pdf. [Último acceso: 08 Novimebre 2021].
- [19] J. W. Savell, «Dry-Aging of Beef,» *The Beef Checkoff*, p. 16, 2008.
- [20] E. Vossen, L. Dewulf, G. Van Royen, I. Van Damme, L. De Zutter, I. Fraeye y S. De Smet, «Influence of aging time, temperature and relative humidity on the sensory quality of dry-aged Belgian Blue beef,» *Meat Science*, vol. 183, p. 108659, 2022.
- [21] R. E. Campbell, M. C. Hunt, P. Levis y E. Chambers IV, «Dry-aging effects on palatability of beef longissimus muscle,» *Journal of Food Science*, vol. 66, pp. 196-199, 2001.
- [22] N. Perry, «Dry aging beef,» *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 1, pp. 78-80, 2012.
- [23] USMEF, «Meat Export Federation of USA,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.usmef.org/guidelines-for-u-s-dry-aged-beef-for-international-markets/>. [Último acceso: 2021].
- [24] N. Mikami, T. Toyotome, Y. Yamashiro, K. Sugo, K. Yoshitomi, M. Takaya, K. H. Han, M. Fukushima y K. Shimada, «Dry-aged beef manufactured in Japan: Microbiota identification and their effects on product characteristics,» *Food Research International*, vol. 140, p. 110020, 2021.
- [25] ASHRAE, ASHREA Handbook-Refrigeration, 2014.
- [26] N. Critiansen, «Refrigeration - an introduction to the basics,» *History of Cooling System*, vol. vol.6, n° 3, pp. 1-18, 2007.
- [27] J. Ramírez, *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CUARTO FRÍO PARA LA CONSERVACIÓN DE 250000 PLÁNTULAS DE FRESA*, 2019.
- [28] Y. A. Cengel y M. A. Boles, *Termodinámica*, México: Mc Graw Hill, 2014.
- [29] M. Palomo Cano, «Aislantes térmicos,» 2017. [En línea]. Available: [http://oa.upm.es/47071/1/TFG\\_Palomo\\_Cano\\_Marta.pdf](http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf). [Último acceso: 09 Noviembre 2021].
- [30] Roto, «Qué es la rotura de puente térmico y para qué sirve,» 22 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.rotofrank-aluvision.com/rotura-de-puente-termico/>. [Último acceso: 30 11 2021].
- [31] C. S. Enwemeka, T. L. Baker y V. V. Bumah, «The role of UV and blue light in photo-eradication of microorganisms,» *Journal of Photochemistry and Photobiology*, vol. 8, p. 100064, 2021.
- [32] T. Q. Corrêa, K. C. Blanco, É. B. Garcia, S. M. L. Perez, D. J. Chianfrone, V. S. Morais y V. S. Bagnato, «Effects of ultraviolet light and curcumin-mediated

- photodynamic inactivation on microbiological food safety: A study in meat and fruit,» *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 30, 2020.
- [33] J. M. Rodríguez González-Moro, S. López Martín, G. Sánchez Muñoz y P. de Lucas Ramos, «Humidificación del aire inspirado y oxigenoterapia crónica domiciliaria,» *Revista de Patología Respiratoria*, vol. 14, pp. 49-53, 2011.
- [34] SolidWorks Corp., «Entorno CAD A-3D,» [En línea]. Available: <https://www.solidworks.com/es>. [Último acceso: 11 01 2022].
- [35] Talentum industrias avanzadas, «¿Por qué elegir SolidWorks en vez de otro software cad CAD?,» 20 01 2020. [En línea]. Available: <https://talentumdigital.cl/2020/01/20/por-que-elegir-solidworks/>. [Último acceso: 11 01 2022].
- [36] R. V. Muratov, N. A. Kudryashov y P. N. Ryabov, «A finite volume method for numerical simulations of adiabatic shear bands formation,» *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 101, p. 105858, 2021.
- [37] Weather Spark, «El clima y el tiempo promedio en todo el año en Quito,» 2021. [En línea]. [Último acceso: 2021].
- [38] G. Cevallos Paredes , J. F. Cueva y K. A. Pinto, «QUITO, CIUDAD DE ALTURA,» *Investigación Académica y Educación* , vol. 2, pp. 6-14, 2018.
- [39] J. L. Vásquez Benavides y J. N. Jara Polanco , «Cálculo de una cámara de frío para conservación de hielo, hortalizas y frutas congeladas,» 2013. [En línea]. Available: <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/793>. [Último acceso: 26 11 2021].
- [40] J. C. Garcia Montoya y A. R. Novoa Sandoval, «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.,» 30 11 2006. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/665>. [Último acceso: 26 11 2021].
- [41] «Refrigerante R-134a,» Globalecuador, 04 07 2021. [En línea]. Available: <http://www.globalecuador.com.ec/refrigerante-r134a/>. [Último acceso: 26 11 2021].
- [42] Gasservie, «Ficha Técnica R134a,» [En línea]. Available: <https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-r-134a-gas-servei.pdf>. [Último acceso: 21 01 2022].
- [43] G. Hundy, A. Trott y T. Welch, «Refrigerants,» *Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps*, pp. 41-58, 2016.
- [44] Thermo-Coil, «Condensadores y evaporadores,» 2001. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fthermocoil.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F04%2Fserpentes.pdf&clen=1547996&chunk=true>. [Último acceso: 2022].
- [45] Cubigel, «Catálogo general de compresores,» 2015. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fclivere.com%2Fimages%2Fdocuments%2Fpdf%2Fcubigel-katalog.pdf&clen=8682395&chunk=true>. [Último acceso: 2022].
- [46] Full Gauge, [En línea]. Available: <https://www.fullgauge.com/es/productos-ahc-80-plus>. [Último acceso: 21 01 2022].
- [47] Carbone Stainless Steel, «Ficha Técnica de los Aceros Inoxidable AISI 304 y AISI 316,» *Empresas Carbone*, pp. 1-6, 2016.

- [48] J. Millán, «Dto. de Máquinas y Motores Térmicos,» [En línea]. Available: <http://www.sc.ehu.es/nmwmgaj/CartaPsy.htm>. [Último acceso: 12 01 2022].
- [49] Thermocoil, *Catálogo de productos*, Guayaquil, 2015.
- [50] Embraco, «Compresores,» 2014. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.embraco.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F07%2F2020-catalogo-am-espanhol.pdf&clen=5893773&chunk=true>. [Último acceso: 2022].
- [51] Z. Zhu, K. Liang, Z. Li, H. Jiang y Z. Meng, «A numerical model of a linear compressor for household refrigerator,» *Applied Thermal Engineering*, 2021.
- [52] S. Zheng, M. Wei, C. Hu, P. Song, R. Tian, Y. Li, J. Sun y D. Wu, «Impact of micro-grooves in scroll wrap tips on the performance of a trans-critical CO<sub>2</sub> scroll compressor,» *International Journal of Refrigeration*, p. 45, 2021.
- [53] B. Varona Figueredo , R. Gonzáles Gutiérrez, R. Pérez Escolante y M. Pérez Colas, *ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS ENFRIADOR DE MOSTO EN LA CERVECERÍA “TÍNIMA”*, Santiago de Cuba, 2007.
- [54] T. Ryoma, K. Yohei, A. Ryo, Kiyoshi y Saito, «Universal Parameters of the Extended Corresponding States (ECS) Model for Hydrofluoroolefin Refrigerants,» *International Journal of Refrigeration*, 2021.
- [55] M. Mikati, M. Santos y C. Armenta, «Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica,» *Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, pp. 267-281, 2021.
- [56] J. Lui, Y. Liu, J. Yu y G. Yan, «Thermodynamic analysis of a novel ejector-enhanced auto-cascade refrigeration cycle,» *Applied Thermal Engineering* 200, 2021.
- [57] SCHOTT, «Transform your freezer cabinet into a glass showcase,» 2015. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Usuario%20PC/Downloads/381457\\_dtb\\_termofrost\\_skyline\\_freezers\\_eng%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario%20PC/Downloads/381457_dtb_termofrost_skyline_freezers_eng%20(1).pdf). [Último acceso: 2022].

## ANEXOS

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300	
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	<b>304</b>	<b>316</b>
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981454	13711398
	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO	AMAGNÉTICO
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN (%)	≥ 45	
	RESILIENCIA KCUL / KVL (J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180

**Anexo 1.** Ficha técnica del acero inoxidable [47]

TABLA 2-3	
Conductividades térmicas de algunos materiales en condiciones ambiente	
Material	Conductividad térmica, W/m · K
Diamante	2 300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (ℓ)	8.54
Vidrio	1.4
Ladrillo	0.72
Agua (ℓ)	0.613
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Hule suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

**Anexo 2.** Conductividades térmicas de algunos materiales [28].

a)

**Psicrometría**

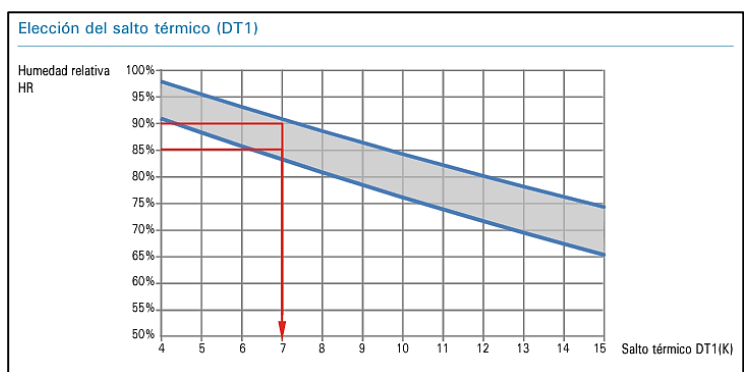
Datos			Resultados		
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.	Presión Atmosférica	0.709325286937	bar
Parámetros	Valor	Unidad	Pv sat	15.90665111387	mbar
Temperatura:	14	C	Pv	13.10905391337	mbar
Temp. b. húmedo:	11.98247155329	C	Humedad absoluta	0.011711636625	kg/kg
<input type="radio"/>			Entalpia	43.67133069494	kJ/kg
Humedad relativa:	82	%	Volumen específico	1.182684494268	m3/kg
<input checked="" type="radio"/>					
Punto de rocío	11.01418728895	C			
<input type="radio"/>					
Altitud SNM	2850	m			
<input type="button" value="Calcular"/>					

b)

**Psicrometría**

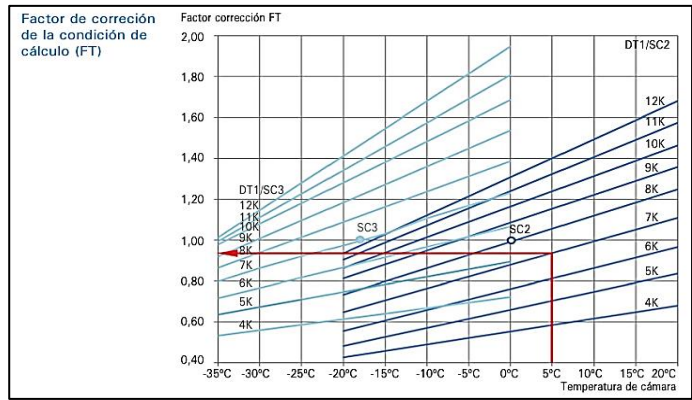
Datos			Resultados		
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.	Presión Atmosférica	0.709325286937	bar
Parámetros	Valor	Unidad	Pv sat	6.570700572333	mbar
Temperatura:	1	C	Pv	5.256560457866	mbar
Temp. b. húmedo:	-0.41920299913	C	Humedad absoluta	0.004643837287	kg/kg
<input type="radio"/>			Entalpia	12.65760019787	kJ/kg
Humedad relativa:	80	%	Volumen específico	1.116726546787	m3/kg
<input checked="" type="radio"/>					
Punto de rocío	-1.80671397644	C			
<input type="radio"/>					
Altitud SNM	2850	m			
<input type="button" value="Calcular"/>					

**Anexo 3.** Psicrometría del a) aire ambiente y del b) aire refrigerado [48].



**Anexo 4.** Salto térmico de evaporador de acuerdo a la humedad relativa [44].





Anexo 5. Factor de corrección de acuerdo a la temperatura de la cámara [44].

**MODELOS SB-CB**

El rendimiento indicado se calculó tomando como referencia temperatura ambiente 95 °F, diferencial de temperatura de 25 °F y altura sobre el nivel del mar menor a 2000 pies. Para otras condiciones de funcionamiento debe aplicar los factores indicados en la guía para selección de condensadores.

**XX - XX**  
 Cantidad de columnas de tubos.  
 Cantidad de tubos por columna.

**TIPO DE PRODUCTO**  
 SB = Condensador Thermo-Coil sin Babero.  
 CB = Condensador Thermo-Coil con Babero.

Anexo 6. Modelos de condensador de la empresa Thermo-coil [44].

CARACTERÍSTICAS GENERALES														
ÍTEM	MODELO	REFERENCIA COMERCIAL		MEDIDAS (mm)				VENTILADOR		RENDIMIENTO		PESO (Kg)		
		BT	MT	A	B	C	D	CAUDAL (CFM)	N° x DIA (mm)	BTUH	WATT	SB	CB	
1	SB-72	CB-72	1/4	1/8	210	215	85	250	445	1 x 200	2.040	598	1	1,5
2	SB-73	CB-73	1/3	1/5	210	215	125	250	405	1 x 200	2.985	875	1,2	1,7
3	SB-82	CB-82	1/3	1/5	210	215	105	250	460	1 x 200	2.291	671	1,1	1,6
4	SB-83	CB-83	1/3	1/4	240	215	125	280	450	1 x 200	3.751	1.099	1,5	2
5	SB-84	CB-84	1/2	1/3	240	215	145	280	420	1 x 200	4.670	1.369	1,8	2,4
6	SB-92	CB-92	3/8	1/4	270	240	105	310	750	1 x 200	3.730	1.093	1,4	2
7	SB-93	CB-93	1/2	1/3	270	240	125	310	670	1 x 200	5.306	1.555	1,6	2,2
8	SB-94	CB-94	1/2	3/8	270	260	145	305	600	1 x 250	6.433	1.885	2,4	3
9	SB-103	CB-103	1/2	3/8	270	265	125	305	770	1 x 250	6.037	1.770	2,5	3,1
10	SB-104	CB-104	3/4	1/2	270	265	145	305	640	1 x 250	7.058	2.068	2,6	3,2
11	SB-114	CB-114	1	3/4	350	320	145	390	770	1 x 300	9.443	2.767	3,2	4,2
12	SB-124	CB-124	1	3/4	350	320	145	390	840	1 x 300	10.369	3.040	3,4	4,5
13	SB-144	CB-144	1 1/2	1	350	365	145	390	870	1 x 300	11.362	3.330	3,6	4,7
14	SB-203	CB-203	2	1 1/2	508	520	185	550	2.150	1 x 400	26.093	7.647	6,6	9,5
15	SB-204	CB-204	2 1/2	2	508	520	185	550	1.975	1 x 400	28.903	8.471	8,4	11,1
16	SB-82D	CB-82D	1/2	1/3	420	215	105	460	920	2 x 200	5.127	1.503	2,2	3,2
17	SB-83D	CB-83D	3/4	1/2	480	215	125	520	900	2 x 200	8.103	2.375	3	4
18	SB-92D	CB-92D	3/4	1/2	540	240	105	580	1.500	2 x 200	8.238	2.415	2,8	4
19	SB-93D	CB-93D	1	3/4	540	240	125	580	1.350	2 x 200	11.484	3.367	3,2	4,4
20	SB-94D	CB-94D	1 1/4	1	540	260	145	575	1.200	2 x 250	13.682	4.010	4,8	6
21	SB-104D	CB-104D	1 1/3	1	540	265	145	575	1.280	2 x 250	14.954	4.383	4,4	6
22	SB-114D	CB-114D	2	1 1/2	700	320	145	740	1.540	2 x 300	18.890	5.536	6,4	8,4
23	SB-124D	CB-124D	2	1 1/2	700	320	145	740	1.700	2 x 300	20.892	6.126	6,6	8,8
24	SB-144D	CB-144D	2 1/2	2	700	365	145	740	1.740	2 x 300	22.729	6.661	6,8	9
25	SB-203D	CB-203D	4	3	1.016	520	185	1.095	4.300	2 x 400	52.186	15.294	12,2	17
26	SB-204D	CB-204D	5	4	1.016	520	185	1.095	3.950	2 x 400	61.391	17.992	13,8	19,2
27	SB-223D	CB-223D	6	5	1.118	520	185	1.170	5.700	2 x 450	69.593	20.396	14,1	21,4

Anexo 7. Características generales de condensadores para refrigeración [49].

R134a (*) HMBP   HBP • 60 Hz																	
MODEL	DISPLACEMENT cm <sup>3</sup>	POWER hp	APPLICATION	CPR COOLING	VOLTAGE FREQUENCY	MOTOR	STARTING	EXPANSION	REFRIGERATION CAPACITY						WEIGHT Kg	DESIGN	
									COP in W/W 1 W = 0,864 kcal/h = 3,415 BTU/h Evaporating Temperature °C								
									Cecomaf (W)			Ashrae					
									-25	-15	5	10	7.2	7.2			
		W	COP	W	COP	W	COP	W	COP								
B22G5	2.20	1/16	HBP	S/F	110-115V 60Hz ~1	RSIR	P	C-V	-	72	188	1.83	229	226	2.13	4.80	Bb
B25G	2.60	1/14	HBP	S/F	220-240V 50/60Hz ~1	RSIR	P	C-V	-	86	224	1.80	274	269	2.10	4.65	Bc
B25G5L	2.60	1/14	HBP	S/F	115V 60Hz ~1	CSIR	R	C-V	-	74	231	1.93	283	279	2.28	5.35	Be
B30G5	3.10	1/10	HBP	S/F	110-115V 60Hz ~1	RSIR	R	C-V	-	101	262	1.79	317	314	2.08	4.80	Bc
B35G5	3.50	1/10	HBP	S/F	110-115V 60Hz ~1	CSIR	R	C-V	-	120	304	1.80	371	366	2.12	4.90	Bc
B35G0	3.50	1/8	HMBP	S	100V 50/60Hz ~1	RSIR	P	C	84	138	352	2.23	428	423	2.60	5.89	Be
B38G	3.80	1/8	HBP	S/F	220-240V 50/60Hz ~1	CSIR	R	C-V	-	150	339	1.98	410	406	2.31	5.40	Be
B38G5L	3.80	1/8	HBP	S/F	110-115V 60Hz ~1	CSIR	R	C-V	-	136	353	1.83	424	422	2.13	5.50	Be
GL45PE	4.56	1/6	HMBP	F	115V 60Hz ~1	RSIR	R	C	89	157	400	1.59	483	479	1.84	8.87	Lb
GL45TE	4.56	1/6	HMBP	F	115V 60Hz ~1	CSIR	R	C-V	89	157	400	1.59	483	479	1.84	9.18	Lb
GL45TG	4.56	1/6	HMBP	F	200-240/220-230V 50/60Hz ~1	CSIR	R	C-V	89	157	400	1.65	483	479	1.92	8.78	Lb
GL45MG	4.56	1/6	HBP	S	230V 50/60Hz ~1	CSIR	R	C-V	-	204	398	1.65	487	479	1.92	9.37	Lc
GL60PE	5.68	1/5	HMBP	F	115V 60Hz ~1	RSIR	R	C	111	199	510	1.73	616	612	2.01	9.97	Lc
GL60TC	5.68	1/5	HMBP	F	100V 50/60Hz ~1	CSIR	R	C-V	111	199	510	1.74	616	612	2.01	10.38	Lc
GL60TE	5.68	1/5	HMBP	F	115V 60Hz ~1	CSIR	R	C-V	111	199	510	1.73	616	612	2.01	10.28	Lc
GL60TG	5.68	1/5	HMBP	F	200-240/220-230V 50/60Hz ~1	CSIR	R	C-V	111	199	510	1.76	616	612	2.04	9.07	Lc
GL60MG	5.98	1/5	HBP	S	230V 50/60Hz ~1	CSIR	R	C-V	-	243	499	1.73	619	605	2.02	9.00	Lc
GUY72Rca	7.20	1/4	HMBP	F	100V 50/60Hz ~1	CSIR	R	C-V	184	319	765	2.18	913	912	2.51	9.52	Uc
GUY72Rcb	7.20	1/4	HMBP	F	100V 50/60Hz ~1	CSR	R	C-V	181	318	772	2.35	923	921	2.72	9.59	Uc
GL80PE	7.57	1/5	HMRP	F	115V 60Hz ~1	RSIR	R	C	130	248	647	1.78	781	776	2.04	9.97	Lc

Anexo 8. Tabla para selección de compresor de 1/16 hp marca Cubigel [45].

### Capillary Tube Selection

**Searching Parameters**

Searching by: Compressors

Model: GL45MG 230V 50/60Hz ~1 50Hz CSIR

Refrigerant: R134a

For alternative HFC's, select "Searching by: Cooling Capacity"  
Check User Manual for restrictions on use.

**Working conditions**

Evaporating temperature:  °C

Condensing temperature:  °C

Subcooling:  K

Superheating:  K

Suction temperature:  °C

Show conditions table

**Capillary Tube Parameters**

Coiled in suction line?: YES

Diameter:  mm

Send    Reset

**Unit settings**

W / °C / mm

BTU/h / °F / in

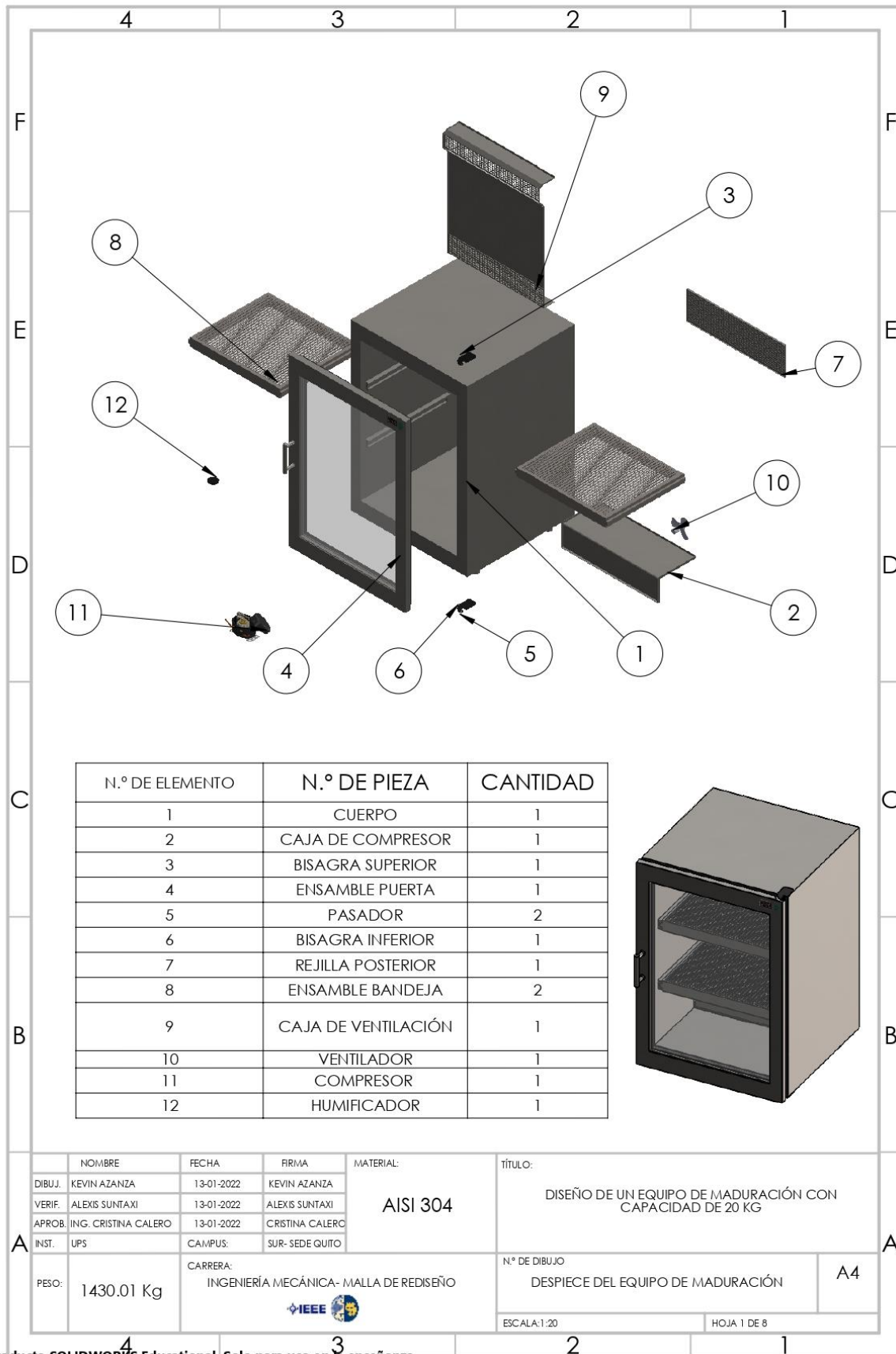
Capillary Tube Selection Software User Manual

1. EVAPORATING TEMPERATURE  
2. CONDENSING TEMPERATURE  
3. SUCTION TEMPERATURE

Capillary tube length:  m

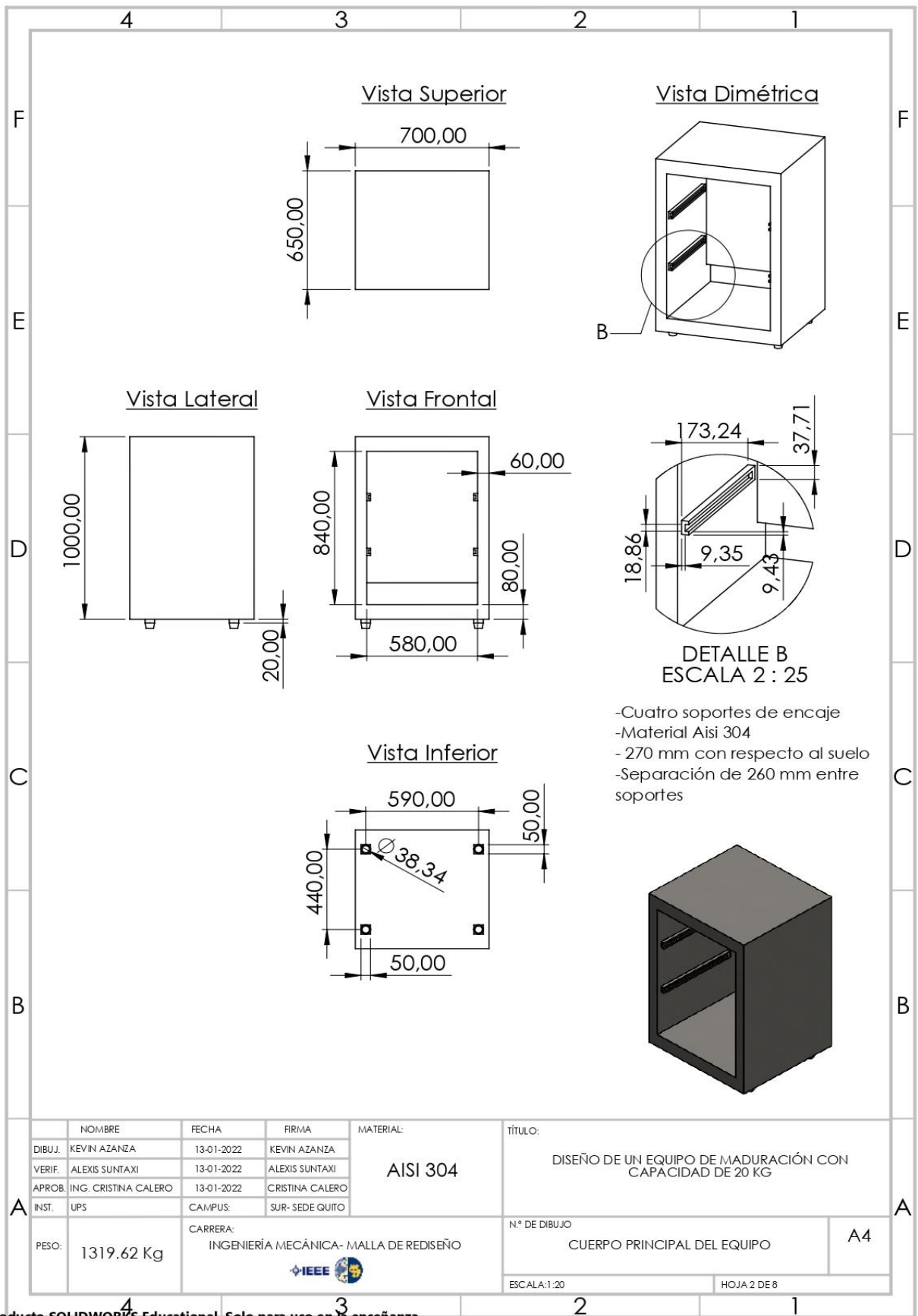
Capillary tube length coiled in the suction line:  m

Anexo 9. Selección de tubo capilar [50].



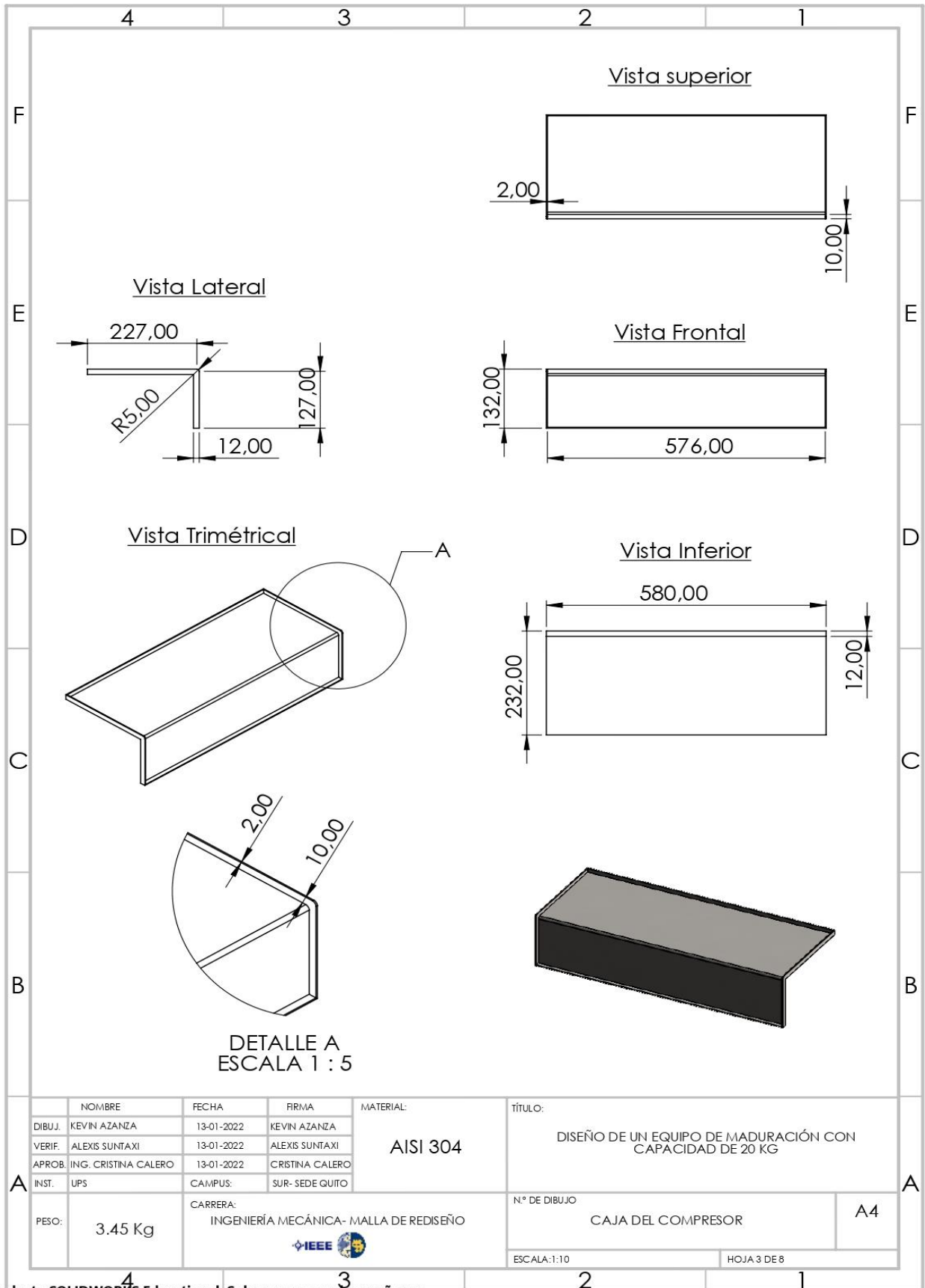
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 11. Plano de despiece del equipo de maduración.



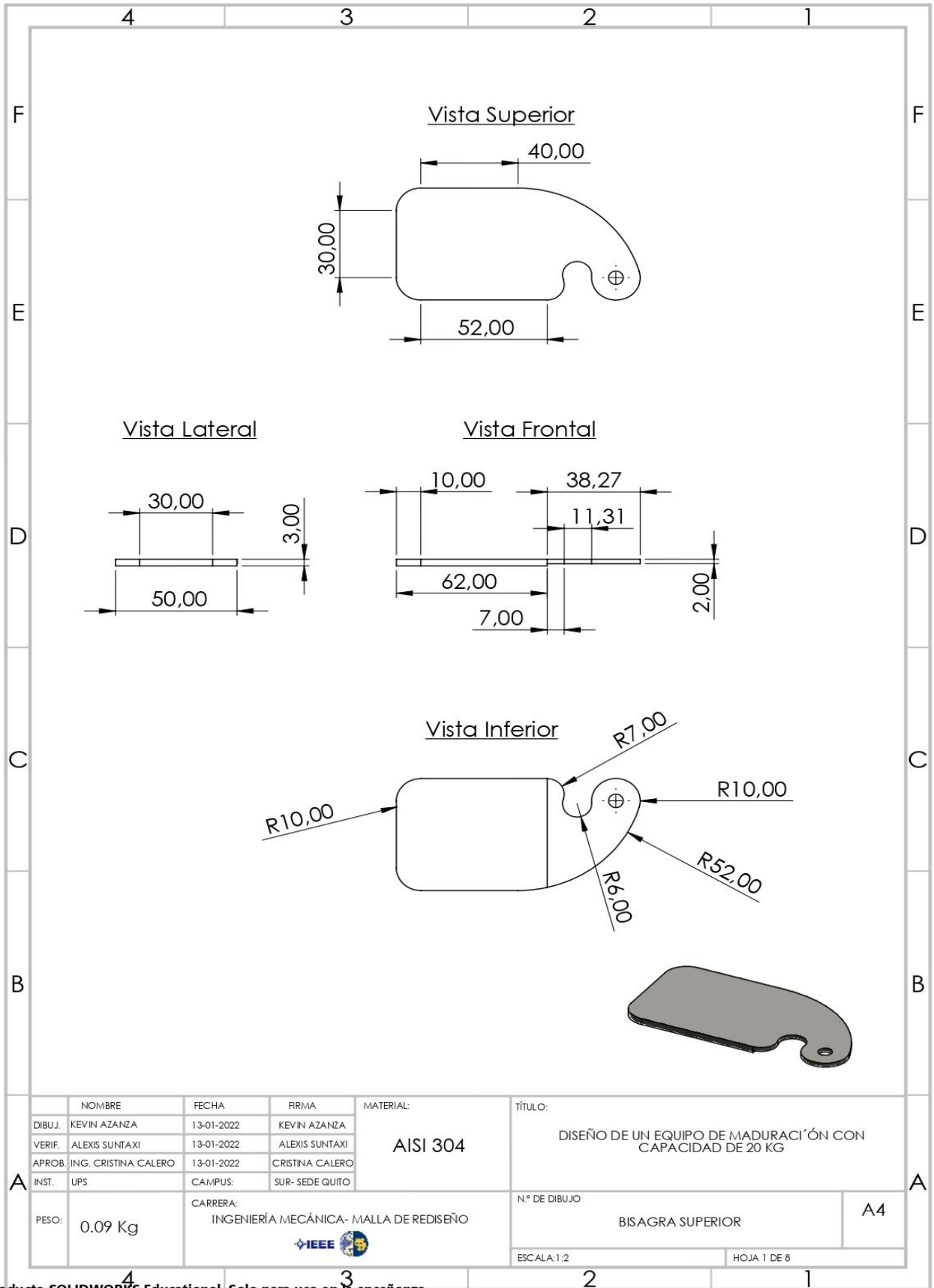
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 12. Plano del cuerpo.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

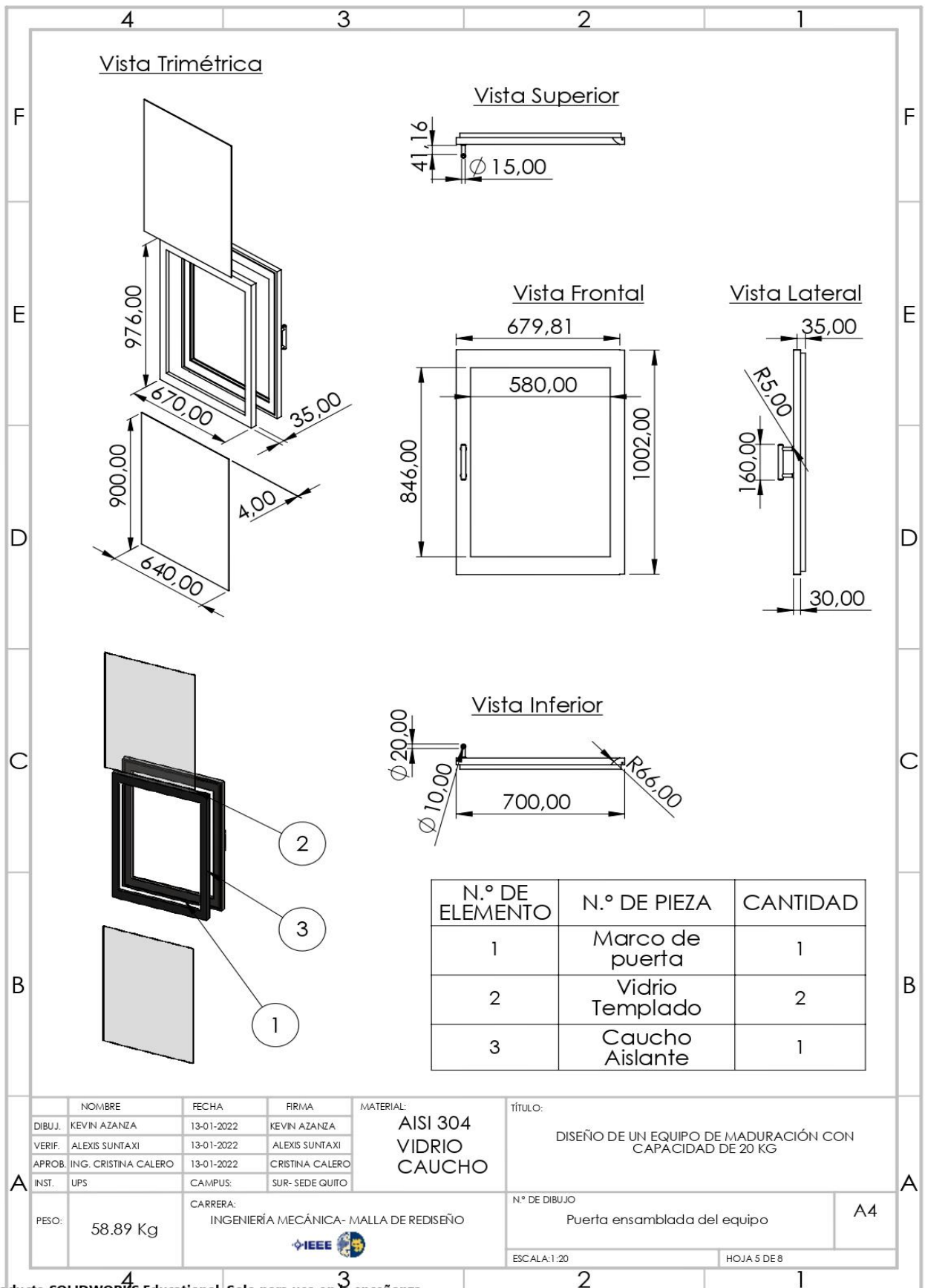
Anexo 13. Plano de la caja del compresor.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

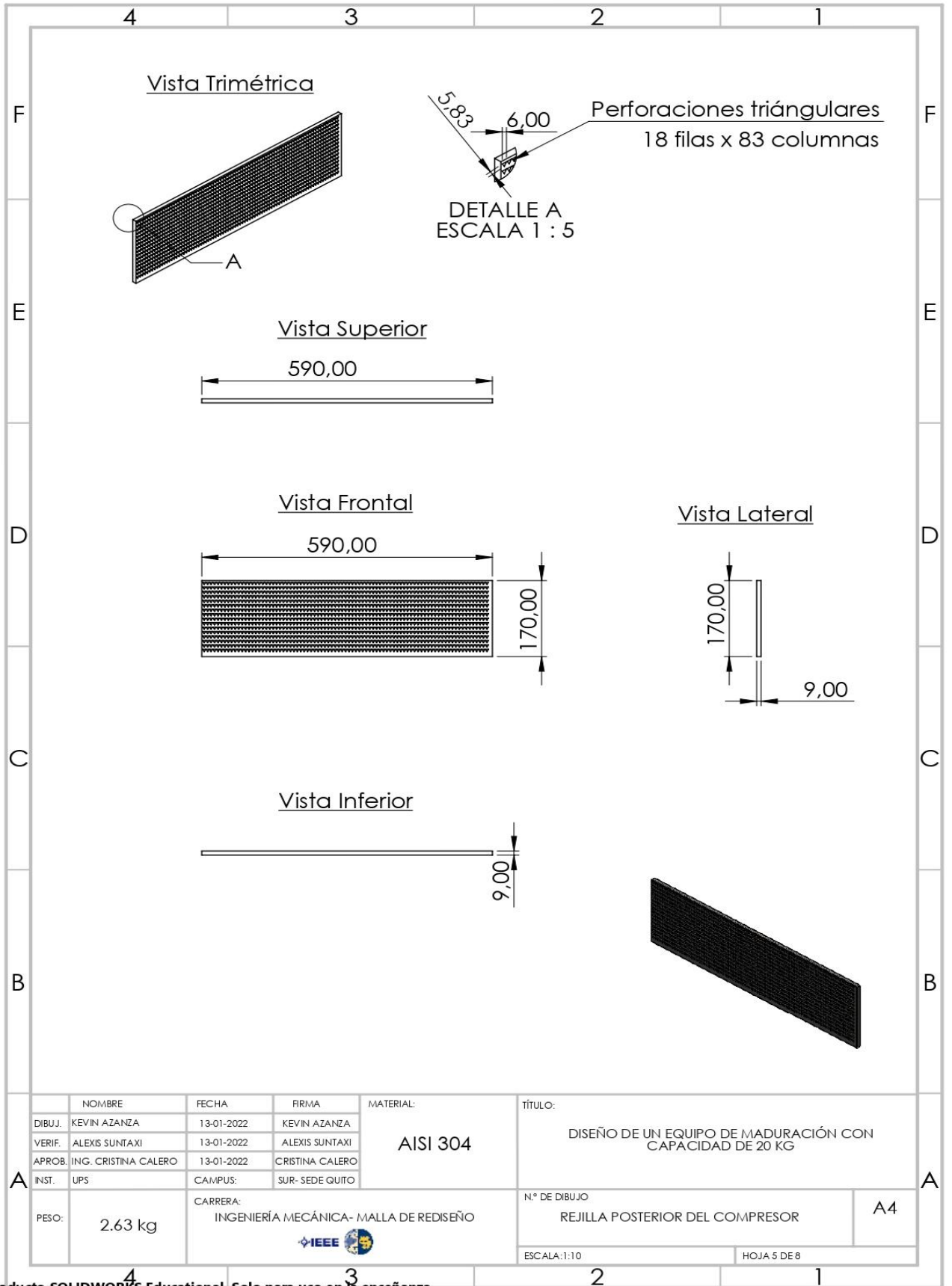
Anexo 14. Plano de bisagras superior e inferior.





Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

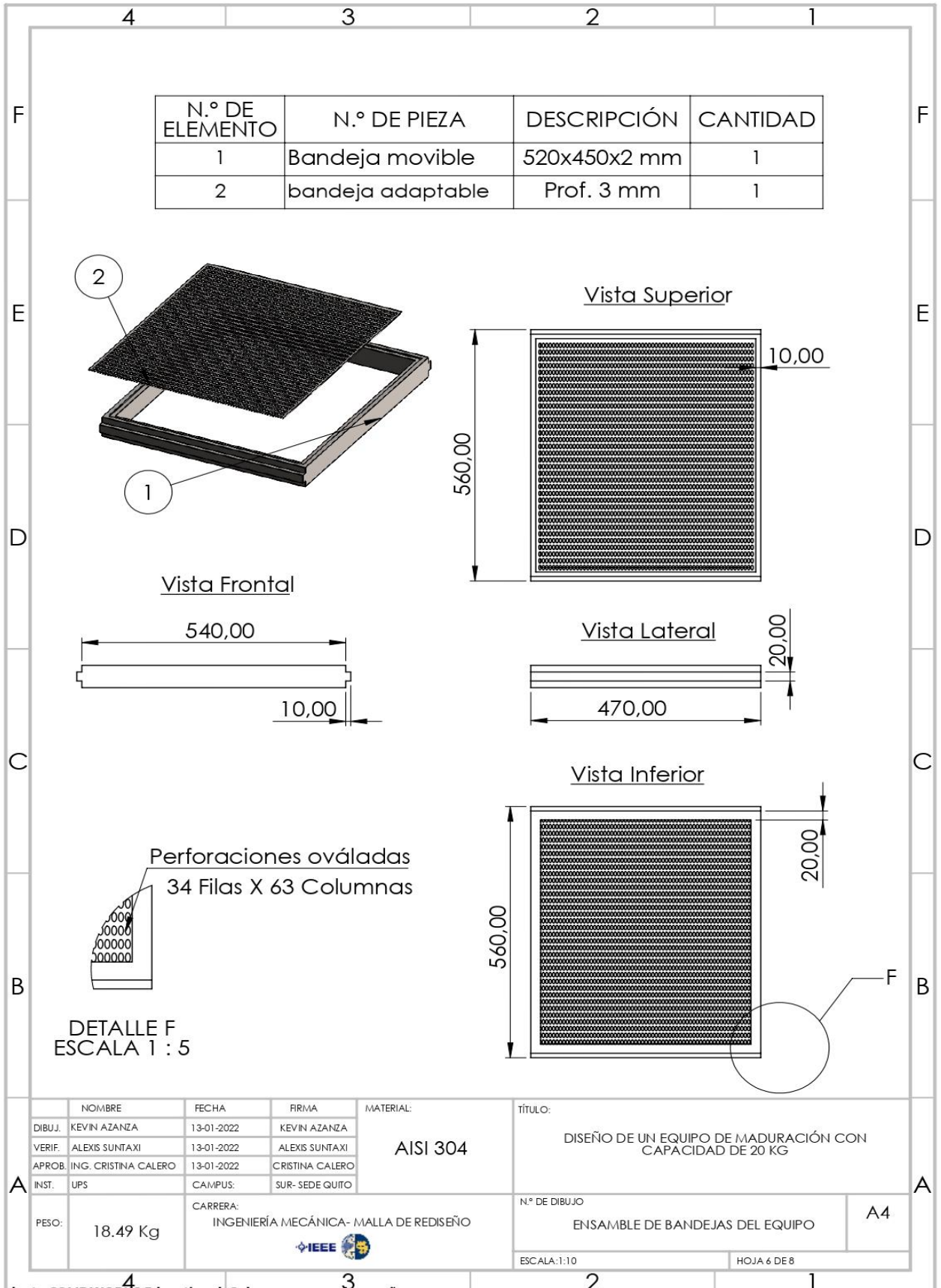
**Anexo 15.** Plano del ensamble de la compuerta del equipo.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

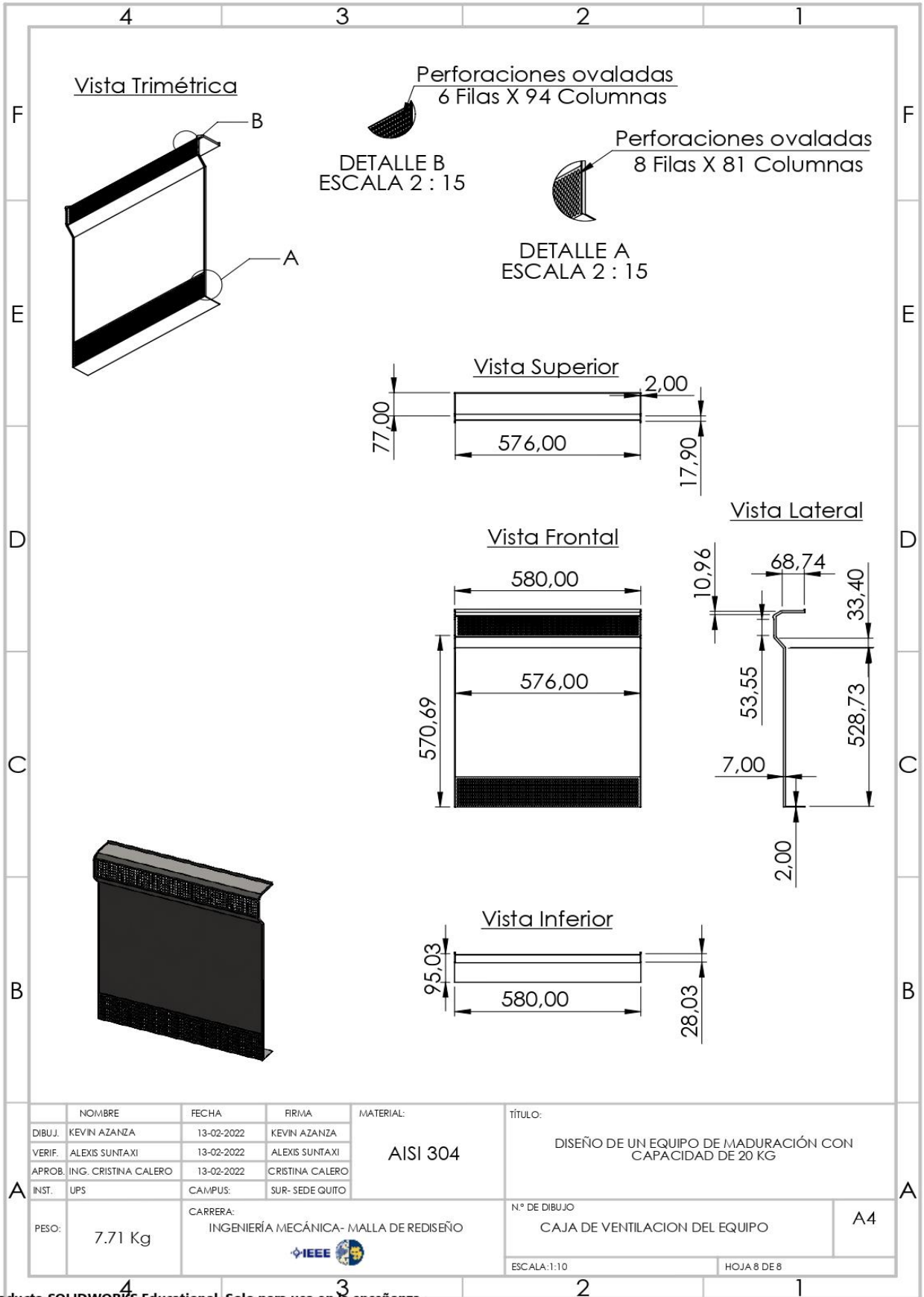
Anexo 16. Plano de Rejilla posterior del compresor.





Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 17. Plano del ensamble de las bandejas movibles y adaptables.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 18. Plano de la caja de ventilación del ventilador.