



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO TÉRMICO DE UNA CABINA PARA EL CALENTAMIENTO DE 6 M³ DE
MIEL DE ABEJA MEDIANTE CONVECCIÓN FORZADA EN LA
MICROEMPRESA ‘MIELES Y COLMENAS’**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros Mecánicos

**AUTORES: KEVIN SANTIAGO NACIMBA QUINGA,
STEVEN FABIAN YANCHALIQUN ORDOÑEZ**

TUTOR: LUIS FERNANDO TOAPANTA RAMOS

Quito – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Santiago Nacimba Quinga con documento de identificación N°1722410352 y Steven Fabian Yanchaliquin Ordoñez con documento de identificación N°1725398307; 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, 2 de septiembre del 2022

Atentamente,



Kevin Santiago Nacimba Quinga
1722410352



Steven Fabian Yanchaliquin Ordoñez
1725398307

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

Nosotros, Kevin Santiago Nacimba Quinga con documento de identificación No. 1722410352 y Steven Fabian Yanchaliquin Ordoñez con documento de identificación No. 1725398307, 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 del proyecto técnico: “Diseño térmico de una cabina para el calentamiento de 6 m³ miel de abeja mediante convección forzada en la microempresa ‘Mieles y Colmenas’”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero mecánico, 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, 2 de septiembre del 2022

Atentamente,

Kevin Santiago Nacimba Quinga
1722410352

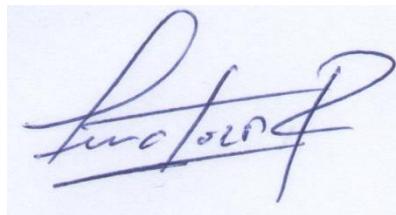
Steven Fabian Yanchaliquin Ordoñez
1725398307

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Fernando Toapanta Ramos con documento de identificación N° 1721113759, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO TÉRMICO DE UNA CABINA PARA EL CALENTAMIENTO DE 6 M³ MIEL DE ABEJA MEDIANTE CONVECCIÓN FORZADA EN LA MICROEMPRESA ‘MIELES Y COLMENAS’, realizado por Kevin Santiago Nacimba Quinga con documento de identificación N° 1722410352 y por Steven Fabian Yanchaliquin Ordoñez con documento de identificación N° 1725398307, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 2 de septiembre del 2022

Atentamente,



Ing. Luis Fernando Toapanta Ramos, Mgtr

1721113759

DEDICATORIAS

Yo Kevin Santiago Nacimba Quinga dedico la presente tesis con profundo amor a mi madre María Quinga y a mi abuelita Laura Toapanta que ellas con sabiduría supieron instruirme. A mis hermanos Diego y Francisco por ser parte de mi vida al igual que a mis familiares y amigos por ser un pilar importante al brindarme su apoyo. A la Universidad Politécnica Salesiana por albergarme todos estos años en mi trayecto académico, al igual que a los ingenieros docentes que con su sabiduría dejan en mi enseñanza y valores. Gracias a mi compañera en esas madrugadas de estudio durante toda mi carrera mica. Y por último y más importante a Dios como ser supremo, creador nuestro y de todo lo que nos rodea. por haberme dado inteligencia, paciencia y ser guía en mi vida.

Santiago Nacimba

Yo, Steven Fabian Yanchaliquin Ordoñez dedicó la presente tesis a mis queridos padres Carlos Yanchaliquin y Marlene Ordoñez, que me han inculcado desde muy pequeño los valores de la responsabilidad y la honestidad. A mi apreciada y ejemplar hermana Gabriela Yanchaliquin pilar fundamental en mi desarrollo profesional y académico que a través de muchos de sus consejos me ha inspirado a convertirme en un gran profesional y un correcto ciudadano como ella. A mi amada Karol Tipán que me ha acompañado durante toda mi carrera y que con su apoyo he logrado aprender que puedo lograr mucho más como profesional y como ser humano. A la Universidad Politécnica Salesiana institución que ha sido para mí más que solo un centro de formación profesional fue un hogar en donde pude conocer a excelentes compañeros, docentes y también donde encontré grandes amistades que hasta el día de hoy me acompañan con sus consejos.

Steven Yanchaliquin

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIAS	V
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema	1
Grupo objetivo.....	2
Justificación.....	2
Objetivos.....	2
1. Objetivo general.....	2
2. Objetivos específicos	2
Metodología.....	3
Descripción breve de cada capítulo.....	3
CAPÍTULO I.....	5
1.1. Estado del arte	5
1.2. Aspectos teóricos de la investigación.....	6
1.2.1. Clima en Tabacundo	7
1.2.2. Cristalización de la miel.....	7
1.2.3. La miel en la región ecuatoriana	8
1.2.4. Almacenamiento y eliminación de residuos en la producción de miel ..	9
1.2.5. Intercambio convectivo de energía térmica	10

1.2.6.	Materiales implementados en la cámara térmica	10
1.2.7.	Quemador GLP	11
1.2.8.	Fuentes de energía térmica.....	11
1.2.9.	Sistema de control.....	13
1.2.10.	SolidWorks.....	14
1.2.11	Software ANSYS	15
1.3.	Situación actual del proceso	16
1.4.	Conclusiones del capítulo.....	18
CAPÍTULO II		19
ANÁLISIS PREVIO AL DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN TÉRMICA DE UNA CABINA PARA EL CALENTAMIENTO DE MIEL DE ABEJA.....		19
2.1.	Resistencias térmicas en las paredes de la cámara de miel	19
2.2.	Flujo de calor.....	19
2.3.	Convección.....	20
2.4.	Difusividad térmica	20
2.5.	Número de Biot	21
2.6.	Coeficiente de Fourier	22
2.7.	Soluciones aproximadas, analíticas y graficas (cartas de Heisler).....	22
2.8.	Cambio de magnitudes de la energía térmica para un cilindro corto.	23
2.9.	Pérdidas de calor por conducción.....	23
2.10.	Temperatura media	24
2.11.	Opciones de diseño	24
2.11.1.	Opción de diseño 1.....	24
2.11.2.	Opción de diseño 2.....	25
2.11.3.	Opción de diseño 3.....	25
2.11.4.	Ponderación de los materiales de diseño.....	26
2.12.	Conclusiones del capítulo	27

CAPÍTULO III	28
ANÁLISIS TÉRMICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA	28
3.1. Aislante térmico.....	28
3.1.1. Análisis térmico de las paredes 1, 2, 3, 4.....	30
3.1.2. Análisis térmico en la pared 6.....	31
3.2. Cálculo del tiempo necesario para un cambio de temperatura de 20 °C a 50 °C en la miel.....	32
3.2.1. Difusividad.....	32
3.2.2. Operación para determinar la relación de transferencia de calor por convección	33
3.2.3. Número de Biot.....	33
3.2.4. Cálculo del número de Fourier.....	34
3.2.5. Cálculo del tiempo para un solo cilindro corto	34
3.2.6. Cálculo del sistema transitorio de calor para un cilindro corto.....	35
3.2.7. Cálculo del tiempo para el resto de los cilindros	37
3.3. Conclusiones del capítulo.....	38
CAPÍTULO IV.....	39
COSTOS Y SIMULACIÓN DE LA CÁMARA TÉRMICA	39
4.1. Costos directos.....	39
4.2. Otros rubros e imprevistos.....	40
4.3. Costo de diseño.....	40
4.4. Breve análisis de recuperación de inversión	40
4.4.1. Para una industria.....	41
4.4.2. Costos de mantenimiento	41
4.5. Valor actual neto (VAN)	41
4.6. Análisis del TIR.....	42
4.7. Relación beneficio/costo	43
4.8. Análisis del PRI.....	44

4.9.	Simulación de la cámara térmica.....	44
4.9.1.	Estructura de la cámara	44
4.9.2.	Aislante térmico dentro de la cámara.....	45
4.9.3.	Resistencia de GLP	46
4.9.4.	Sistema de control.....	47
4.9.5.	Simulación de la calefacción en el software ANSYS para un cilindro dentro del cuarto	49
4.9.6.	Simulación de la calefacción en el software ANSYS para 5 cilindros	62
4.10.	Conclusiones del capítulo	74
	CONCLUSIONES GENERALES	76
	RECOMENDACIONES	77
	LISTA DE REFERENCIAS	78
	ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores para escoger los materiales adecuados para el diseño[21].....	11
Tabla 2. Ventajas del sistema eléctrico [17]	13
Tabla 3. Diferentes de aparatos empleados para medir temperatura [10].....	13
Tabla 4. Especificación de la opción de diseño 1	25
Tabla 5. Especificación de la opción de diseño 2	25
Tabla 6. Especificación de la opción de diseño 3	26
Tabla 7. Ponderación de los materiales de diseño.....	27
Tabla 8. Costo de los materiales de construcción	39
Tabla 9. Guía de mantenimiento de la cámara de calefacción	41
Tabla 10. Flujos de ingresos y egresos de los últimos 5 años.....	42
Tabla 11. Flujos netos de caja, denominadores y valor neto de los últimos 5 años..	42
Tabla 12. Valores del flujo neto de caja y el valor del TIR	43
Tabla 13. Valores para el cálculo del costo beneficio.....	43
Tabla 14. Periodo de recuperación de la inversión	44
Tabla 15. Resumen de los valores simulados.....	55
Tabla 16. Resumen de los valores simulados.....	58
Tabla 17. Resumen de los valores simulados.....	61
Tabla 18. Resumen de los valores simulados.....	68
Tabla 19. Resumen de los valores simulados.....	71
Tabla 20. Resumen de los valores simulados.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del brazo de una pala mecánica en SolidWorks [29].	15
Figura 2. Simulación de tubería con tres entradas [31].	16
Figura 3. Resistencia rígida para calefacción de miel [33].	17
Figura 4. Manta calefactora de bidones[34].	17
Figura 5. Cámara de calefacción [36].	18
Figura 6. Diseño de la cámara térmica.	28
Figura 7. Esquema en corte para referencia de cuáles son las paredes 1,2,3 y 4.	30
Figura 8. Esquema en corte para referencia de la pared 6	31
Figura 9. Modelado y dimensionamiento	45
Figura 10. Aislante térmico dentro de la cámara	46
Figura 11. Resistencia de GLP.	46
Figura 12. Conexión del quemador de GLP	47
Figura 13. Termocupla.	47
Figura 14. Cilindro de gas.	48
Figura 15. Modelo final del diseño de la cámara térmica	48
Figura 16. Geometría del barril de miel ANSYS	49
Figura 17. Panel para configurar los valores de trabajo de la simulación.	50
Figura 18. Configuración del tiempo de trabajo dentro de la cabina de calefacción.	50
Figura 19. Simulación de la distribución del calor	51
Figura 20. Simulación del tanque dentro de la cabina a los 27 minutos.	52
Figura 21. Simulación del tanque dentro de la cabina a las 3 horas	53
Figura 22. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 5 horas.	53
Figura 23. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 7 horas.	54
Figura 24. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 10 horas	54
Figura 25. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 3 °C	56
Figura 26. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 7 °C	56

Figura 27. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 10 °C	57
Figura 28. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 15 °C	57
Figura 29. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 20 °C	58
Figura 30. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de 2 W/m ² ·K.....	59
Figura 31. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de 7 W/m ² ·K.....	60
Figura 32. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de 13 W/m ² ·K.....	61
Figura 33. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de 23 W/m ² ·K.....	61
Figura 34. Geometría del barril de miel ANSYS	62
Figura 35. Panel para configurar los valores de trabajo de la simulación.	63
Figura 36. Configuración del tiempo de trabajo dentro de la cabina de calefacción.	63
Figura 37. Simulación de la distribución del calor	64
Figura 38. Simulación de 5 tanques dentro de la cabina a los 27 minutos.	65
Figura 39. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 3 horas.	66
Figura 40. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 5 horas.	66
Figura 41. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 7 horas.	67
Figura 42. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 20 horas.	67
Figura 43. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 3 °C....	69
Figura 44. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 7 °C....	69
Figura 45. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 10 °C..	70
Figura 46. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 20 °C..	71
Figura 47. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de 2 W/m ² ·K	72
Figura 48. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de 7 W/m ² ·K	72
Figura 49. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de 13 W/m ² ·K ...	73
Figura 50. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de 23 W/m ² ·K ...	73

RESUMEN

El presente trabajo se realizó debido a la necesidad de la comunidad de Tabacundo al cuidado de la miel de abeja y que se conserve en un cuarto que evite su cristalización, la cantidad que se desea conservar son 6 m³ de miel, almacenar de manera convencional sin ningún tipo de control en la temperatura, humedad o presión debido a que generaría pérdidas económicas, esto se debe principalmente a que la miel se llegue a cristalizar o en otro caso que se fermente dando como resultado una pérdida significativa a la empresa y la comunidad.

Después de un breve análisis teórico y el estado del arte que requiere la implementación de una cabina para el calentamiento de la miel. En este documento se analizó térmicamente el funcionamiento de la cabina de calefacción y así se determinó su rango de trabajo. Las variables más importantes que se llegaron a determinar son la temperatura del ambiente dentro del cuarto con la que se llegara a calentar los tanques de miel y el tiempo que va a pasar desde que se prenda la cámara hasta su temperatura ideal de 50 °C.

En la parte final del documento se expone tanto el análisis económico necesario para solventar los gastos de la cámara y el diseño de la estructura, así como los componentes del sistema de calefacción y control. Además, se realizó una simulación en el software ANSYS con los parámetros necesarios para un trabajo ideal de la cámara y corroborar su funcionamiento.

Palabras clave

Convección, miel de abeja, aislante, calefactor, cristalización.

Abstract

The necessity of the community to store a great quantity of honey of bee allowed to carry out the present work, this product had to be conserved in a room able to avoid its crystallization, 6 m³ was the quantity that was conserved. Several losses could be generated by not storing it without any kind of control of temperature, humidity, and pressure, because the honey could reach the point of crystallization, fermentation or in the worst case its cooked.

The chamber to be used for heating the honey was designed based on a brief analysis of the requirements to avoid crystallization and fermentation of the honey. The working range determined in this document was analyzed theoretically by means of the operation of a heating cabin. The ambient temperature inside the room and the time it will take to reach that temperature are very important variables to avoid honey crystallization problems, being 50 C the ideal temperature for the storage of this product.

Finally, the economic analysis necessary to cover the costs of the chamber and its design, as well as the components of the heating and control system will be addressed in the concluding part of the paper. In addition to obtain the necessary parameters for the ideal working of the chamber, a simulation was carried out in ANSYS software with the intention of corroborating its operation.

Keywords

Convection, honey, insulation, heater, crystallization

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Uno de los comestibles más populares al momento de endulzar la comida de los ecuatorianos es la miel, en la antigüedad estos productos eran utilizados como medicina para diversos dolores, la elaboración de miel comienza cuando los apicultores la extraen y la procesan al dejarla libre de impurezas y vestigios de basura, posteriormente la embazan y comercializan.

Dentro del Ecuador existe un mercado sobre la elaboración de la miel de abeja, la cual se trabaja desde hace un tiempo atrás de una manera artesanal, en lo habitual con una producción mal enfocada, los antofilos tienen su hábitat ideal en las partes más alejadas de la ciudad, por consiguiente, los pocos habitantes dentro de su espacio cosechan la miel.

Planteamiento del problema

La cristalización de la miel de abeja en condiciones de baja temperatura altera su viscosidad, una característica importante del producto, la localidad de Tabacundo se encuentra en una parte fría de la región sierra del Ecuador, esta condición climática favorece a la cristalización de la miel. Para la agrupación de productores de la localidad de Tabacundo, se ha desarrollado este inconveniente, por lo tanto, es indispensable realizar un estudio térmico y económico para eliminar el problema de cristalización.

La cristalización del producto apiario se ocasiona por la formación de cristales en un medio sobresaturado de azúcar, ya que contiene una elevada cantidad de sólidos. Esta alineación de cristales dependerá de diferentes factores, como el contenido de glucosa, la temperatura de acopio, la cantidad de humedad.

El problema nace a partir de la siguiente necesidad descrita, surge la pregunta a resolver con la investigación:

¿Podrá el estudio térmico por convección eliminar la cristalización de la miel de abeja en la microempresa 'Mieles y Colmenas' para la comunidad de Tabacundo?

Grupo objetivo

Los beneficiarios directos de la investigación e implantación serán los apicultores del sector de Tabacundo, así como, los consumidores finales, estudiantes, maestros y gente popular, que desee conocer el método de calentamiento de producto apiario conocido como miel.

Justificación

El estudio está enfocado en impedir la cristalización de la miel, diseño e implementación de una cámara de calentamiento, para la agrupación de productores de miel, mediante convección natural donde el calor se generará de un calefactor de gas licuado de petróleo, el calentamiento será a 50 °C la misma que se ha investigado, previene la cristalización de la miel que esta lista para ser envasada.

La cámara de calentamiento constará de paredes internas de tablas de valsa y pino, una capa de 11 cm de aislante para evitar que el frío o calor escapen de la cámara, además de tablas de valsa para el exterior. El sistema de calefacción asimismo constara de la instalación de un sistema de control en temperatura, así como el encendido y apagado de las resistencias de gas.

Finalmente, este estudio tratará de aportar un procedimiento térmico mediante la implementación de una resistencia de gas licuado de petróleo en una cámara completamente aislada compuesta de poliuretano expandido entre las paredes de esta para evitar la cristalización del producto apiario y se vuelva granuloso.

Objetivos

1. Objetivo general

Estudiar la implementación térmica de una cabina para el calentamiento de miel de abeja mediante convección natural en la microempresa ‘Mieles y Colmenas’

2. Objetivos específicos

- Conocer el desarrollo actual de la fabricación, calentamiento, envasado y cristalización de la miel de abeja.
- Identificar las alternativas de implementación para la disminución de cristales en la miel de abeja bajo el procedimiento de convección natural.

- Evaluar de forma económica la implementación de la cabina de calentamiento para la reducción del proceso de cristalización en la miel de abeja.
- Modelar térmicamente y mediante software la cabina de calentamiento de miel de abeja mediante convección natural.

Metodología

Para la realización de este documento se ejecutó una investigación sobre condiciones óptimas de trabajo para la miel y métodos que existen en el mercado, para eliminar la cristalización o para revertirla, por lo tanto, se investigó sobre los tipos de métodos que alteran el producto final o sus características como la densidad y viscosidad, además de las propiedades como la vitamina A, C, D, B1 entre otras.

El cálculo del tiempo que tardará la cámara en llegar a la temperatura de trabajo se realizó mediante un proceso matemático de conducción de energía térmica, se tomó en cuenta el proceso de convección dentro de la cámara cuando esta tenga una resistencia o quemador de GLP al ambiente de la cámara, hasta llegar a un equilibrio térmico de 50 °C, para el análisis económico se investigó el precio de elaboración del producto apiaro y de ingresos que esta industria genera a los apicultores, para así conocer que tan rentable es construir esta cámara y el tiempo en recuperar la inversión.

Descripción breve de cada capítulo

Iniciando con el capítulo 1, se presenta el estado del arte y todo lo relacionado con aspecto teórico sobre la calefacción de la miel y las condiciones climáticas del sector para este proyecto, además se planteó la situación de la apicultura dentro del mercado ecuatoriano y del sector de Tabacundo, otro de los tópicos expuestos en el capítulo, trata sobre los sistemas que se encuentran en el mercado actualmente para descristalizar la miel o para conservarla en estado líquido, mediante procesos convectivos estudiados a fondo en el capítulo 2 .

Así en el capítulo 2, se presenta un estudio previo del análisis térmico de la cabina de calefacción y además se planteó todas las fórmulas necesarias para el cálculo de la afluencia de energía térmica que pasa a través de las paredes de la cabina, en la parte final del capítulo se plantea las opciones de diseño en base a los diferentes materiales que existen en el mercado y en los costos de estos para que la cabina sea mucho más rentable en la comunidad.

Continuando con el capítulo 3, en este se presenta el análisis térmico con las fórmulas previamente planteadas analizando así el funcionamiento de la cámara y además se delimito el tamaño de las paredes para conocer cuál es el valor del flujo de calor que se atraviesa por estas mismas y se calculó un tiempo aproximado en el que la cabina llegara a su temperatura de trabajo, en este capítulo asimismo se determina cuantos tanques van a estar dentro de la cabina de calefacción y en el posterior capítulo analizar estos resultados a fondo.

Para finalizar, en el capítulo 4 se trata de que tan rentable es la fabricación para la comunidad y como esta sería una inversión rentable en un mercado tan emergente como el de la producción de miel, lo mismo se tratan temas como el lapso de retorno de la inversión y la relación que tiene el beneficio con el valor de esta inversión, se plantea como será el diseño final de la cámara y que es lo que sucede en la parte interior con una simulación de la calefacción.

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE Y ASPECTO TEÓRICO DE LA IMPLEMENTACIÓN TÉRMICA DE UNA CABINA PARA EL CALENTAMIENTO DE MIEL DE ABEJA

El objetivo principal del presente capítulo es plantear un precedente sobre los temas, parámetros y materiales que se investigaron para realizar la cámara de calentamiento de miel, se menciona por lo tanto el clima en la región, así como el mercado a beneficiar de la implementación de este proyecto. Además, menciona los tipos de combustibles del sistema de calefacción y de control que se implementará a la cámara.

Otra parte importante del primero capítulo es estudiar las diferentes alternativas y posibles soluciones al problema de enfriamiento y cristalización de la miel envasada en contenedores en el sector de Tabacundo. Describe los conceptos fundamentales que conforman un sistema térmico de calefacción para evitar así la cristalización de acuerdo con trabajos de investigación y literatura existente.

1.1. Estado del arte

Actualmente, los apicultores del sector de Tabacundo envasan su producto de manera artesanal y sin tomar en cuenta el factor térmico del sector causando la cristalización de la miel. En búsqueda de solucionar este inconveniente se realizó un estudio teórico.

Ulloa mencionan que el producto apiario conocido como miel es elaborado por la abeja o por diferentes subespecies, este producto es dulce debido a que se extrae de las flores y de otras sustancias dulces que las abejas encuentran en la naturaleza, las abejas transportan y procesan dicho compuesto en sus panales [1].

Montenegro afirman en su estudio que dentro del mercado internacional es más evidente la tendencia a productos de origen natural para el consumo cotidiano debido a que la miel contiene grandes propiedades nutricionales y remplazando a otros edulcorantes [2].

Según Vit las abejas de la subfamilia Meliponini elaboran una miel más limpia libre de aguijón, a pesar de ser muy buena y de existir diversos estudios esta no cuenta con estándares internacionales de calidad. Por lo cual es importante el estudio de las abejas para aumentar el modelo de calidad de los productos ecuatorianos y así competir con mercados internacionales [3].

López indica en su estudio que la cristalización de la miel almacenada varía el tiempo de vida útil de la miel, es de vital importancia mantenerla en condiciones ideales para así aprovecharla de mejor manera su dulzura. El valor térmico de trabajo es un elemento muy importante al momento de la apariencia, textura y gusto de la miel, la humedad, el pH son valores fisicoquímicos que afectan en el color de la miel [4].

Saltos en su estudio señala que. El porcentaje de glucosa, humedad del producto apiaro y los valores térmicos de aislamiento de la miel interfieren en gran medida en su calidad. Por lo regular la miel se almacena a bajas temperaturas lo que ocasiona una cristalización de esta. Un almacenamiento en valores térmicos de -17 a -20 °C no ocasiona la precipitación de la miel en cera [5].

Cabrera alude en su estudio que. Un aspecto importante es el embazado del mismo debido a que el alimento tiene un bajo porcentaje de conducción de energía térmica, este proceso es necesario para eliminar bacterias que puedan generar enfermedades, es importante almacenar los alimentos en recipientes si los alimentos son para almacenarlos durante un periodo extenso de tiempo [6].

Un aspecto importante es cómo se comporta la temperatura para evitar esto, se hace circular el flujo de energía térmica en diferentes zonas para así comparar el intercambio de calor mediante convección natural y convección forzada, la convección forzada es el flujo de energía térmica provocado por un agente externo [7].

1.2. Aspectos teóricos de la investigación

Mediante la presente investigación evaluada en el sector de Tabacundo, tomando en cuenta sus factores climáticos para elaborar una cámara térmica la misma que mantiene una temperatura constante durante el almacenamiento de la miel, la temperatura se mantendrá constante mediante un proceso de convección natural, regulado mediante un sistema de resistencias térmicas ubicadas en la parte superior de la cabina y que se podrá monitorear con las lecturas que muestre dos herramientas de medición de temperatura, una termocuplas estará en el interior de uno de los tanques de miel que se ubique por debajo del calefactor y la otra termocupla estará en una de las esquinas de la cabina de calefacción que se encuentre en la parte más alejada, para poder corroborar la temperatura del cuarto y el de la miel llegue a un equilibrio térmico.

Los materiales tomados en cuenta para el diseño de la cámara fueron seleccionados acorde al problema de estudio, una parte importante de este proyecto es la selección de la fuente de energía que suministrará calor al sistema que se escogerá dependiendo de las especificaciones del producto que será almacenado dentro de la cámara, para este caso de estudio será miel de abeja el material a ser almacenado dentro de la cámara.

1.2.1. Clima en Tabacundo

Tabacundo tiene temperaturas mínimas en especial en sus zonas bajas, estas registran temperaturas aproximadas de entre 10 a 11 °C, temperaturas pico de entre 19 a 20 °C y con valles de temperatura de entre 3 a 4 °C. En la parte más elevada del páramo en Monjas Bajo, los valores de temperatura son menores a comparación con los de Tabacundo (10 a 11 °C), en promedio de 8 a 9 °C y pronunciadas neblinas. Las heladas en Tabacundo son causadas por un descenso en la temperatura en los meses de junio y agosto [8].

El sector de Juan Montalvo que se encuentra dentro de Tabacundo tiene una temperatura media de 12 °C, cuenta con una humedad relativa del 80 % mientras que su nivel de pluviosidad tiene un valor de 817 mm por año. En la parte suroriental y nororiental los valores de pluviosidad son de aproximadamente 875 y 771 mm respectivamente [9].

1.2.2. Cristalización de la miel

La viscosidad del producto apiarario se vincula con la temperatura como cualquier otra sustancia líquida conjuntamente la miel tiene la característica de tener un porcentaje de azúcar alto en comparación con su porcentaje de agua, además se puede medir la cantidad de humedad dentro de la miel y relacionarla con su temperatura y decir que 1 % de humedad es directamente proporcional a 3,5 °C [10]. La humedad es considerada un elemento muy importante, la misma determina la polución y una secuencia fermentativa, por lo tanto el valor de porcentaje se encuentra dentro de un rango de 17 y 20 % y la temperatura de la miel debe estar en un rango mayor a 27 °C para prevenir la cristalización, aunque se debe tomar en cuenta que si la temperatura es mucho mayor a los 60 °C se corre el riesgo de que la miel llegue a fermentarse [11].

Se trató una muestra de miel mediante baño maría durante un periodo de 10 minutos para descristianizarlo en una temperatura de 45 a 50 °C [12]. El cual es un rango aceptable para

descristalizar la miel y mantenerla en un rango de temperatura de 50 °C, este proceso se puede usar para descristalizar la miel de manera cacerera y a pequeña cantidad como máximo de 2 L de miel, este método no es muy eficiente para nuestro caso de estudio, ya que, la cantidad de miel que se tendría que descristalizar para todo este proceso es de 6000 L, con esa cantidad resulta poco práctico realizar un baño maría cada 2 L de miel porque con este proceso la miel pierde muchos de sus atributos principales y saludables, por lo cual se buscó otra manera de realizar la calefacción de la miel de manera industrial con la misma condición de temperatura para los 6000 L y se determina que una cámara térmica puede almacenar esta miel de manera más eficiente [13].

1.2.3. La miel en la región ecuatoriana

No ahí indicios del inicio de la apicultura, pero se sabe que desde hace mucho tiempo en los pueblos aborígenes comenzaron a cultivar la miel de abeja. En el siglo 19 se incrementó la producción de miel, esto fue debido a los religiosos que llegaron en misiones a Cuenca con el fin de abastecer de miel a la población.

Debido a las propiedades ecológicas, minerales y florísticas, la producción de miel ha podido consolidarse con la ayuda de la adaptación de colmenas europeas en el Ecuador. Esto permitió que la apicultura se extendiera rápidamente.

La miel es muy popular en regiones interandinas del Ecuador debido a la diversidad de la flora en la región, el Ecuador registra 12188 toneladas de miel en 902 exportaciones en el año 2014, el 22% de estas se encuentran en la provincia de Pichincha con lo cual podemos afirmar que el 70% de producción de miel se realiza en la zona Andina del Ecuador, mientras que en el Litoral ecuatoriano se produce un 23% y un 7% en el Oriente ecuatoriano. Dentro de la producción apícola la miel de abeja es un 85%, la cera un 5%, el polen de abeja un 3% y propóleo 6 %, jalea real 1 %. La totalidad de las exportaciones de la apicultura son del 10% en las zonas metropolitanas de la ciudad, mientras que el 90 se realiza en zonas rurales que es ideal para la apicultura [14].

1.2.3.1. Hidroximetilfurfural (HMF).

Encontrado en una considerable cantidad de comidas realizadas industrialmente. Estas se realizan mientras se las calienta o se las embasa como resultado de un proceso de endulzamiento, la miel, azúcar, frutos deshidratados y jugos naturales estos productos tienen

elevados niveles de HMF. Un incremento de sus niveles de temperatura la elaboración de HMF dentro de los comestibles en su proceso de envasado y elaboración. Las circunstancias que aceleran que el HMF se elabore con mayor facilidad son las acidas. La cantidad de HMF esta vista como un indicativo de aptitud en los comestibles elaborados a nivel industrial [16].

1.2.4. Almacenamiento y eliminación de residuos en la producción de miel

La eliminación de los residuos sólidos inicialmente se debe tomar en cuenta, que al momento de manejar estos residuos no se tiene que contaminar o mezclar con agua potable y se examina que no contenga plagas como polillas u hormigas, es necesario un número suficiente de recipientes apropiados sellados adecuadamente y que tengan una capacidad suficiente para que según el número de colmenas que albergue la apícola, puedan almacenar la cantidad de residuos que posean a lo largo de la etapa de la extracción de miel, se sugiere que estos contenedores sean de fácil identificación, según el color para que se diferencien el tipo de residuo ya sea restos de cera no aprovechable e impureza, provenientes de la batea separadora de miel, cera y restos de cera, resultantes del filtrado a la salida de los extractos y miel derramada o de descarte.

Se debe contar con un espacio específico y en lo posible separado físicamente para el almacenamiento de los residuos ya sea residuos de miel no aprovechable e impureza, las cuales se obtiene de la separadore de miel, cera y residuos de miel, resultantes del filtrado a la salida de los extractos y miel derramada o de descarte [17].

1.2.4.1. Envasado de la miel y conservación.

Es importante la forma en la cual la miel va a ser almacenada debido a que los materiales pueden cambiar o alterar el estado de la miel variando así su textura, color y sabor. Se necesita utilizar materiales de grado alimenticio una dosificadora y así conservamos de mejor manera la miel [18].

Para la venta y exportación de miel es recomendable la utilización de recipientes de cristal de una forma hexagonal con un espesor estándar y debidamente sellados para así evitar pérdidas de miel en transporte y manipulación. Al almacenar la miel en cristales hexagonales conservamos su textura y evitamos olores no deseados, es importante recalcar que este material evita a cristalización y se la puede someter a baño maría para mantenerla con una textura ideal [19].

1.2.5. Intercambio convectivo de energía térmica

Cuando el fluido se encuentra en contacto con un área sólida y estos elementos tienen temperaturas diferentes, la resultante de esta interacción es el intercambio de temperatura eso es debido al intercambio convectivo de energía térmica.

La mayoría de los sólidos no cuentan con valores de difusión, por lo cual es necesario realizar procesos de convección para propagar la temperatura, al igual que en los sólidos los líquidos que tienen poco flujo de calor y no tienen lugar la difusión, en cambio la transferencia de calor en sólidos que son rígidos se la conoce como conducción térmica.

El intercambio convectivo de energía térmica requiere viscosidad del fluido, así como diferentes propiedades térmicas (densidad, conductividad térmica, calor específico, entre otras), y es el proceso en el cual intervienen un fluido en contacto con una superficie, intercambio convectivo de energía térmica es uno de los más importantes métodos para transferir energía térmica y aunque se ha llegado a no considerar la convección como un mecanismo fundamental de intercambio de energía térmica, ya que esencialmente conducción de calor en presencia de movimientos se la puede llamar conducción con movimiento de fluido [20].

1.2.5.1. Convección forzada.

El flujo másico es generado por la velocidad del fluido y su medio mecánico, esto generalmente se logra mediante la operación de una bomba que lo hace sin depender de las variaciones en la densidad. Las propiedades que define son (ρ , μ , C_p , v ,) y las de un cilindro, placa o esfera [20].

1.2.6. Materiales implementados en la cámara térmica

En la construcción de una cámara térmica se van a requerir varios materiales, no solo por su disponibilidad en el mercado ecuatoriano, sino que serán escogidos principalmente por todas sus características termodinámicas como densidad, conductividad térmica y el calor específico, los valores de estas características para los distintos materiales escogidos como primera opción se encuentran en una recopilación como se puede ver en la tabla 1, cabe aclarar que todos los materiales de la tabla 1 solo son referencias para tener una idea del diseño final de la cámara térmica, después de una tesis principalmente de transferencia de calor para conocer el tiempo en que la cámara llega a la temperatura deseada sin que la miel se fermente y un análisis económico de la rentabilidad y pérdida del proyecto de esta dirigido a una industria mediana -

grande de miel de abeja, así como el tiempo de recuperación de la inversión y otro indicadores económicos importantes como el VAN y TIR ahí se escogerán los materiales finales para desarrollar la cámara térmica :

Tabla 1. Valores para escoger los materiales adecuados para el diseño[21]

Componente	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica, k (W/m·K)	Calor específico, Cp (kJ/kg·K)
Madera contra chapada (Abeto Douglas) espesor de 6mm a 20mm	545	0,12	1,21
Pino blanco	435	0,11	--
Acero inoxidable	7913	15,6	0,456
Fibra de vidrio	64-144	0,036	0,96
Poliuretano expandido (R-11)	24	0,023	1,6

1.2.7. Quemador GLP

El GLP son gases en su estado natural los cuales se procesan para convertirse en hidrocarburos, al momento de extraer el petróleo y refinarlo podemos obtener este compuesto importante para la industria así mismo se obtiene otros derivados mediante la destilación y refinado. El GLP debe ser almacenado en estado fase para poder someterlo a presión [22]. Para en diseño de la cámara de mieles se está utilizando un quemador infravermelho de 6,38 kW.

1.2.8. Fuentes de energía térmica

Varias utilidades importantes de los principios de la transferencia de energía térmica se refieren a sistemas en los que se puede generar calor internamente, últimamente la mayor parte de estos sistemas son a base de resistencias eléctricas y aunque más energías como el gas natural o energía como la geotérmica a partir del calor de la tierra, se puede generar calor a partir del calor del sol que se concentra en colectores o además conocido como energía termo solar, además de la energía nuclear que a partir de la fisión del uranio que desprende grandes cantidades de energía para ser ocupada como calefacción, los dos sistemas de fuentes de calor que se tendrá como referencia son los que tienen como base el GLP (gas licuado de petróleo) y el sistema de fuente de calor con resistencias eléctricas [23].

1.2.8.1. Gas licuado de petróleo.

El combustible utilizado en hogares e industrias ecuatorianas por preferencia es el GLP, pero a pesar de su popularidad es muy peligroso su manejo, es importante manejarlo con cuidado y almacenarlo de manera correcta para así evitar los accidentes provocados por la explosión de estos [24].

El GLP proviene de una combinación de hidrocarburos derivados del petróleo en su mayoría en estado gaseoso que se encuentra a presión atmosférica y temperatura ambiente. Si se desea comercializar con el gas licuado de petróleo es necesario que el mismo se encuentre en estado líquido para su comercialización, el 56 de propano y propileno y el 44 de butano y butileno son la mezcla a la cual denominamos GLP [25].

1.2.8.2. Uso del GLP.

Ejemplo del uso del gas licuado de petróleo de manera industrial es la capacidad que tiene para generar llamas de alta densidad ideales para fundir y soldar metales con altos puntos de fusión, permite que montacargas de hasta 4 toneladas tengan un correcto funcionamiento.

El gas licuado de petróleo tiene usos tan variados que se pueden encontrar aplicaciones tanto en el entretenimiento como siendo el combustible para calentar el aire de globos aerostáticos y poder pasear en ellos, así mismo tiene aplicaciones en la agricultura tales como el manejo eficiente del clima en cultivos para flores, ayudar en el secado de tabaco y es una alternativa térmica, eficiente y segura para el control de plagas y malezas. El GLP satisface en gran mayoría estas falencias, el mismo es beneficioso para las compañías puesto que las abastece de energía en caso de una falta de abastecimiento [26].

1.2.8.3. Incremento de temperatura mediante resistencias eléctricas.

Las compañías con regularidad utilizan resistencias eléctricas como método de calentamiento, estas son fabricadas mediante amalgamas de composiciones diversas, dentro de sus composiciones se encuentran el carbono, cobre, hierro, manganeso, níquel, silicio, zinc y aluminio. Para llegar a temperaturas de 1100 °C se utiliza el níquel cromo, mientras que para temperaturas de 1500 °C se utilizan carburo de silicio, a temperaturas más elevadas de 1650 °C la aleación adecuada es molibdeno, a temperaturas mayores a 2000 °C se utilizara tungsteno, mientras que para temperaturas de rangos pequeños de 600 °C se utilizara grafito, algunas de

las ventajas más importantes de los sistemas eléctricos son los que cuentan con estas resistencias eléctricas las cuales se visualizan en la tabla 2 [27].

Tabla 2. Ventajas del sistema eléctrico [17]

Eficiencia	Limpieza	Facilidad de Control
El coeficiente de conversión de electricidad en calor es prácticamente 100%, lo que no ocurre con el uso de combustibles comunes, donde parte de la energía tomada para el calentamiento del entorno y resultado de este la atmosfera es contaminada.	No hay contaminación por los productos de combustión. No hay chimeneas, gases, suciedad, polvos o cenizas a resistencia o inducción.	el control de la calidad de calor suministrado al sistema es mucho más simple y preciso que en cualquier otra forma de calentamiento.

1.2.9. Sistema de control

Los sistemas autónomos como plantas industriales, mecanismos o sistemas industriales en tiempos más recientes están constituidos por una parte física que ejecuta la operación, que es en la que se generan las disposiciones que sean necesarias para que la parte física realice o no la acción.

La mayoría de mecanismos y los sistemas en las industrias tienen un proceso con actuadores, estos corresponden al proceso físico al realizar la acción y la otra parte del comando realiza las acciones necesarias para llevar a cabo dicha acción [28].

1.2.9.1. Control de temperatura.

Los elementos con los que se suele monitorear el valor de energía térmica son herramientas de contacto, estos monitorean si la variación de energía térmica del elemento, se utilizan colocándose dentro del ambiente o del cuerpo que se está monitoreando, otro tipo de componentes que se pueden utilizar para monitorear la temperatura son los equipos encargados de medir la energía que irradia un elemento con una alta temperatura, los diversos tipos de estas herramientas se visualizan en la tabla 3:

Tabla 3. Diferentes de aparatos empleados para medir temperatura [10]

Los aparatos que se emplean por contacto	Los aparatos que se emplean en radiación
--	--

Termómetros de dilatación (sólidos, líquidos, gaseoso,).	Pirómetros de radiación total.
Termómetros de resistencia eléctrica.	Pirómetros ópticos.
Pirómetros termoelectrónicos.	Pirómetros fotoeléctricos

1.2.10. SolidWorks

SolidWorks es un programa informático de tipo CAD, el cual nos sirve para un modelado mecánico, se puede automatizar y experimentar los diseños realizados con el mismo, mientras que dentro de sus muchas ventajas podemos delimitar el diseño y su material logrando así diferentes estructuras y ensambles de una mejor manera [29].

1.2.10.1 Breve historia sobre el software SolidWorks

SolidWorks, en un proceso anterior a convertirse en una subsidiaria de Dassault Systèmes, el software requerido por la industria que combinaba el modelado 3D con un uso de escritorio simple.

Global Dassault Systèmes S.A en 1997. Habiendo adquirido SolidWorks como subsidiaria por \$ 310 millones, SolidWorks ofrece hoy un conjunto completo de herramientas para crear, simular, publicar, administrar datos y gestionar proyectos y procesos para maximizar la innovación y la productividad del diseño, recursos. Todas estas soluciones trabajan juntas para ayudar a las empresas a crear mejores productos, más rápido y a menor costo.

Global Dassault Systèmes S.A en 1997. Habiendo adquirido SolidWorks como subsidiaria por \$ 310 millones, SolidWorks tiene una variada funcionalidad para, representar, publicar, dirigir datos y tratar proyectos y procesos para maximizar la innovación. Todas estas soluciones operan para ayudar a las empresas a crear excelentes mercados, más rápido y a menor costo.

Este tiene un uso muy intuitivo el cual resulta mejor entre los diferentes programas informáticos, ha seguido desplegando nuevos productos que solucionan situaciones específicas, economizando tiempo y dinero, SolidWorks actualmente brinda soluciones para elaboración inteligente, croquis y estudio, ejemplo de croquis en SolidWorks la figura 1 [30].

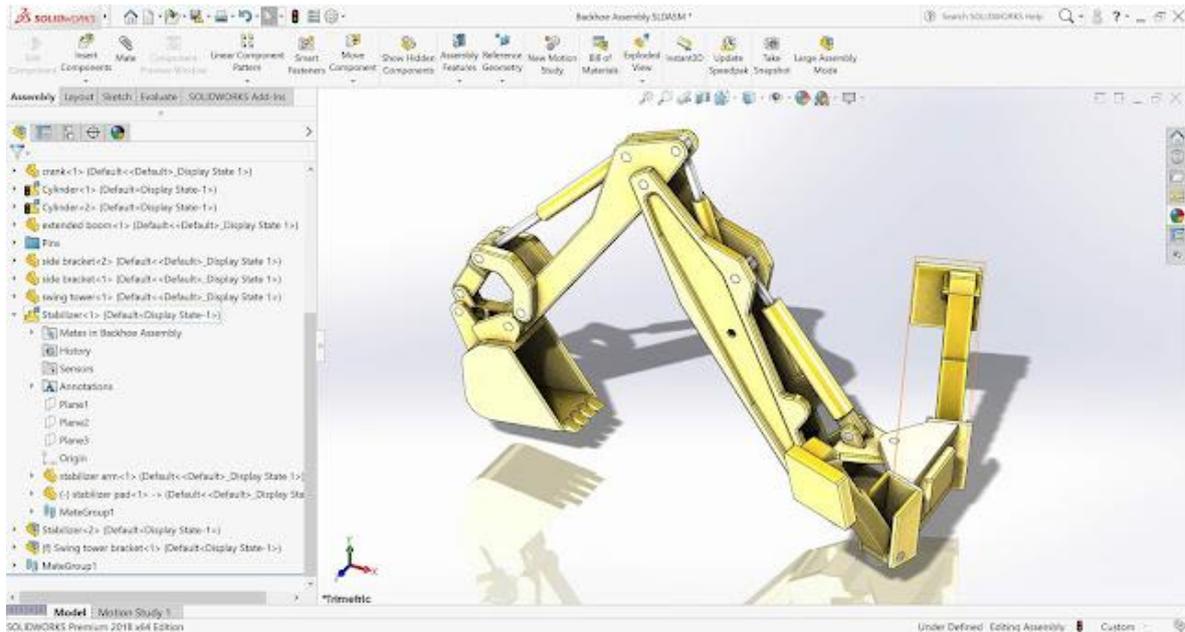


Figura 1. Diseño del brazo de una pala mecánica en SolidWorks [29].

1.2.11 Software ANSYS

En el análisis de este tipo de diseño utilizamos un software de elementos finitos de entre todos los que encontramos en la industria, debido a que el software ANSYS resulta versátil e intuitivo de entre los paquetes informáticos como Caepipe, Patran, Abaqus entre otros y que el programa nos ofrece una beta estudiantil con el cual podemos trabajar libremente.

El paquete informático tiene varias capacidades generales, las cuales funcionan como generadores de modelos para dar soluciones, proceso de imágenes, modelado paramétrico y muchas más de fácil uso como se puede apreciar en la figura 2. En síntesis, el software nos ayuda con el boceto y estudio de simulaciones complicadas [31].

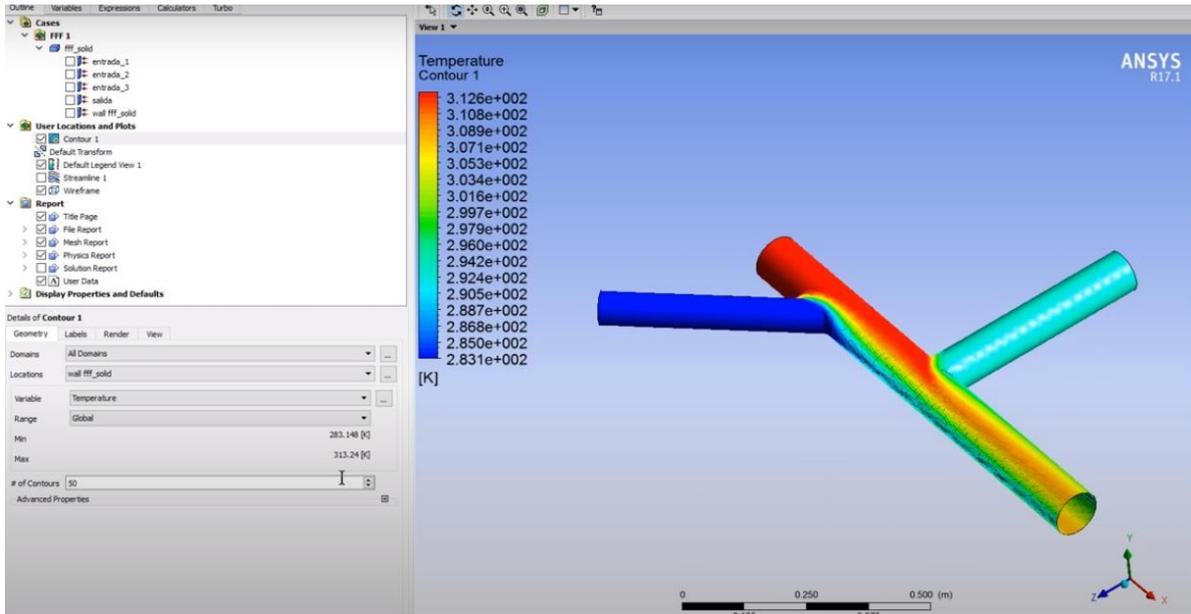


Figura 2. Simulación de tubería con tres entradas [31].

1.2.11.1. El proceso de componentes definidos

Este proceso parte de una idealización matemática dentro de un método real en el cual su accionar debe ser intuitivo, por lo contrario, el modelado de lo contrario el modelo resulta en su mayoría tedioso o improbable, los elementos finitos no son más que el cambio de un proceso tangible que cuenta con cierto número definido de incógnitas es uno con cierta cantidad definida de incógnitas entrelazadas mediante componentes de tamaño definido.

El nodo es un lugar dentro del área de un punto en el que se supone cuenta con algunos grados de libertad (temperaturas, potenciales, desplazamientos, entre otros) y efectos del sistema físico [32].

1.3. Situación actual del proceso

En la actualidad en el mercado de la calefacción de la miel se pueden encontrar varios dispositivos usados para eliminar los cristales de azúcar que se crean en la miel, estos dispositivos que, aunque tienen el mismo propósito tienen distintas maneras de realizar la calefacción, a continuación la Figura 3 muestra como son las resistencias rígidas que se usan de manera directa sobre la miel en los contenedores, pero al momento de calentar varios contenedores es muy poco práctico [33].

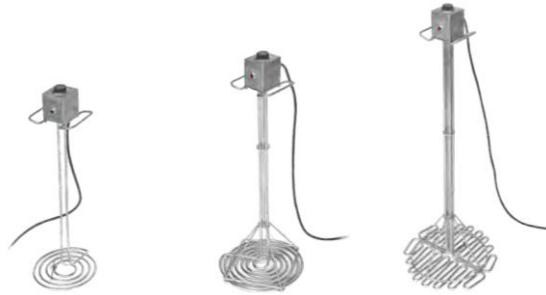


Figura 3. Resistencia rígida para calefacción de miel [33].

Otro mecanismo un poco directo para la miel, el cual se basa en unas mantas calefactoras que envuelven los contenedores que tienen una capacidad de 200 L y que puede llegar a 90 °C, así que el contenido de estos bidones no puede superar esa temperatura, en la Figura 4 se muestra la manta calefactora [34].



Figura 4. Manta calefactora de bidones[34].

Un cuerpo totalmente aislado tanto en sus paredes exteriores como con una recubrimiento en sus paredes interiores cuenta con una baja conductividad térmica, la misma tiene una función de climatización del aire, las condiciones ideales sirven de regulación para así tener condiciones ideales exigidas [35].

Generalmente son empleados en la producción alimenticia para el mantenimiento de víveres, materias primas o en otras industrias y esta cámara llegan a una temperatura tope de 150 °C y una capacidad de 72 bidones de 22 L [36].

Cabe recalcar que todos estos dispositivos tienen como fuente energética la electricidad así que un sistema de calefacción en base a GLP va a ser una propuesta diferente dentro del mercado como se indica en la figura 5.



Figura 5. Cámara de calefacción [36].

1.4. Conclusiones del capítulo

El capítulo menciona temas fundamentales para el desarrollo, entendimiento y análisis del problema, sus distintos conceptos y propiedades de ciertos materiales, los cuales fueron propuestos para el diseño de la cabina de calentamiento de miel.

El estudio de la miel y su conservación fue muy amplio, sin embargo, dentro del mercado comercial no se aplican del todo estos conocimientos para elevar su calidad, fue importante llevar de la mano lo teórico con lo práctico, para así obtener un producto de calidad el cual podría competir en mercados.

Una de las partes más relevantes de este capítulo fue que se muestran tanto las diferencias del uso del GLP y las resistencias eléctricas para calefacción, así como las ventajas y los usos que tienen estos sistemas cuando son utilizados en calefacción.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS PREVIO AL DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN TÉRMICA DE UNA CABINA PARA EL CALENTAMIENTO DE MIEL DE ABEJA

A continuación, el capítulo tiene como finalidad el presentar un análisis previo de los aspectos matemáticos y de diseño a tomar en cuenta en el estudio de la cabina para el calentamiento de mieles.

2.1. Resistencias térmicas en las paredes de la cámara de miel

Para paredes planas formadas por diferentes elementos, se puede aplicar la teoría del termistor para obtener una tasa constante de intercambio de energía térmica a través de estas paredes compuestas. Las resistencias térmicas ocurren en las paredes de la cámara debido a los diferentes materiales y espesores a emplearse, se considera un intercambio de energía dentro de un solo sentido en estado estacionario de las paredes de tres niveles (como una cámara de madera con una capa de aislamiento entre sus paredes). El intercambio de energía térmica en estado estacionario se puede expresar como se muestra en la ecuación (1) [21].

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}} \quad (1)$$

Donde:

\dot{Q} : Calor cedido al ambiente, [W].

$T_{\infty 1}$: Temperatura ambiente dentro de la cámara, [K].

$T_{\infty 2}$: Temperatura ambiente fuera de la cámara, [K].

R_{total} : Resistencia a la transferencia de energía térmica total de todas las paredes, [$^{\circ}\text{C} / \text{W}$].

2.2. Flujo de calor

Dentro del cálculo de paredes planas es importante el desarrollo de la conducción de energía térmica para determinar el espesor del aislante dentro de las paredes como se puede ver en la ecuación (2), La conducción de calor es una reacción molecular, por consiguiente las

ecuaciones de transferencia molecular se asemejan a la ecuación utilizada para la resolución de este proceso [37].

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (2)$$

Donde:

\dot{q} : Flujo de calor de una pared, $[\text{W} / \text{m}^2]$.

\dot{Q} : Calor cedido al ambiente, $[\text{W}]$.

A: Área de la pared en análisis, $[\text{m}^2]$.

2.3. Convección

El flujo según su tipo clasifica la transferencia de calor, cuando utilizamos elementos para forzar la distribución de calor como lo son los ventiladores, hablamos de convección forzada de lo contrario la convección se da de una manera libre que ocurre debido a las fuerzas que accionan como resultado de la variación de densidad que son ocasionadas por diferencia de temperatura en el fluido, como se muestra en la ecuación (3) [38].

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h \cdot A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} : Calor de convección, $[\text{W}]$.

h: Transferencia de calor por convección, $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$.

A: Área superficial, $[\text{m}^2]$.

T_s : Temperatura al exterior de la pared, $[\text{K}]$.

T_{∞} : Temperatura ambiente, $[\text{K}]$.

2.4. Difusividad térmica

Se infiere como la razón entre la energía térmica direccionada a través de las paredes y la energía térmica acumulada por unidad de volumen. Se sobrentiende que cuando un elemento tiene una alta conductividad térmica posee una gran difusividad térmica. Mientras más elevado

se obtengan valores de difusividad térmica, la energía térmica se expandirá más rápido en el material. Una difusividad térmica con valores bajos nos da a entender que, el calor es asimilado por el medio mientras que una fracción de ese calor será dirigida a través de él, véase en la ecuación (4) [39].

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (4)$$

Donde:

α : Difusividad térmica, [m²/s].

k: Conductividad térmica de la pared, [W/m·°C].

C_p: Capacidad calorífica de un material, [J / kg · K].

ρ : Densidad de un material, [kg / m³].

2.5. Número de Biot

Es la obstrucción la parte interior de un elemento a la transferencia de energía calorífica, relacionado a su resistencia exterior a la convección de calor. Un valor bajo de Biot proyecta una escasa oposición a la transferencia de energía térmica y gradientes bajos de temperatura en el interior del medio.

Dentro del estudio de sistemas concentrados se infiere que la temperatura en todo el cuerpo es la misma, este análisis es aplicable únicamente cuando el número de Biot es menor a 0.1, cómo se puede ver en la ecuación (5) [40].

$$Bi = \frac{r_o \cdot h}{k} \quad (5)$$

Donde:

h: Relación de transferencia de calor por convección, [W/m²·K].

r_o: Radio de un cilindro largo, [m].

k: Conductividad térmica del material, [W/m·°C].

2.6. Coeficiente de Fourier

Un valor numérico del Fourier no es más que la relación del calor almacenado en un cuerpo y el calor conducido, un valor elevado en el número de Fourier nos precisa una distribución elevada de calor en el cuerpo y estará representada como la ecuación (6)

$$\tau = \frac{\alpha \cdot t}{r_0^2} \quad (6)$$

Donde:

τ : Valor de Fourier

α : Difusividad térmica, [m²/s].

t: Tiempo [s].

r_0 : Radio de un cilindro largo, [m].

2.7. Soluciones aproximadas, analíticas y graficas (cartas de Heisler)

En el caso de que en el análisis térmico de un objeto en concreto el enfoque de bulto indique que su número de Biot es mayor a 0,1 y su número de Fourier mayor a 0,2 entonces ya no se puede continuar con el enfoque de bulto y se debe ocupar el método conocido como soluciones aproximadas, analíticas y gráficas, en este caso se utilizara la ecuación del centro de un cilindro como se observa en la ecuación (7) y las cartas de Heisler que se utilizaron están en el anexo 2 [21].

$$\theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} \quad (7)$$

Donde:

T_0 : Temperatura inicial del objeto de estudio, [K].

T_∞ : Temperatura del entorno, [K].

T_i : Temperatura final del objeto de estudio, [K].

A_1 y λ_1 : Relaciones obtenidas del resultado aproximado en transferencia de energía térmica en una dimensión de cambio en las magnitudes.

τ : Número de Fourier

2.8. Cambio de magnitudes de la energía térmica para un cilindro corto.

Mediante la solución producto los diagramas se superponen con la finalidad de dar solución a las variables de transferencia de energía térmica en un cambio de magnitudes, la configuración usada en el posterior calculo será de un sistema entre un cilindro infinito y una pared plana, estos casos se dan cuando la totalidad superficial del cuerpo está delimitada a convección por la misma temperatura de igual manera a una relación de intercambio de energía térmica mediante convección mientras no genere calor al medio.

Suponiendo que las características no cambian con respecto al tiempo, estas pueden llegar a comprobar la resolución del problema se expresa mediante la ecuación (8)[21].

$$\left(\frac{T(x, y, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)_{\text{cilindro corto}} = \left(\frac{T(x, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)_{\text{pared plana}} \left(\frac{T(r, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)_{\text{cilindro infinito}} \quad (8)$$

Donde:

$T(x,y,t)$: Temperatura en la parte central del cilindro corto, [°C].

$T(x,t)$: Temperatura en la parte central de la pared, [°C].

$T(r,t)$: Temperatura en la parte central del cilindro, [°C].

T_{∞} : Temperatura ambiente, [°C].

T_i : Temperatura inicial, [°C].

2.9. Pérdidas de calor por conducción

Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se mantiene en contacto el cuerpo más caliente pierde calor como se muestra en la ecuación (9) [41].

$$Qk = m \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (9)$$

Donde:

Q : calor decido, [W].

\dot{m} : Flujo másico, [kg / s].

C_p : Calor específico, [kJ / kg °C].

ΔT : Diferencial de temperatura, [°C].

2.10. Temperatura media

La temperatura media no es más que el promedio de la temperatura superficie con la de fluido como se muestra en la ecuación (10).

$$T_m = \frac{T_s + T_f}{2} \quad (10)$$

Donde:

T_m: Temperatura media, [°C].

T_s: Temperatura superficial, [°C].

T_f: Temperatura del fluido (aire), [°C].

2.11. Opciones de diseño

Para escoger cual es la opción de diseño más viable, se procede a plantear diversas alternativas y comparar sus materiales de construcción, así como los sistemas tanto de control de temperatura debido a que esta variable es constante en el interior de la cabina. En las opciones de diseño se mantiene un mismo dimensionamiento variando sus materiales, tomando en cuenta solo el aspecto económico.

2.11.1. Opción de diseño 1

La primera opción de diseño está planteada para que su fabricación utilice materiales de fácil adquisición en el mercado ecuatoriano, tomando en cuenta que uno de los requerimientos por parte de la empresa es que la parte de la calefacción trabaje con GLP, se planteó la opción como sistema de calefactor infra rojo que funciona con GLP, dentro de la misma se consideran los materiales adecuados para este diseño.

2.11.1.1. Especificación de la opción de diseño 1

Para elegir de una manera más objetiva cual será el diseño por desarrollarse se separan los materiales en tablas como se puede ver en la siguiente tabla 4 de elementos de diseño y materiales de control y aislante térmico de la opción 1.

Tabla 4. Especificación de la opción de diseño 1

Opción de diseño 1	
Paredes exteriores	Abeto
Paredes interiores	Abeto
Aislante	Poliuretano
Controladores	Controlador y timer
Controladores	Termocupla
Controladores	Válvulas de 2 vías
Fuente de calor	Resistencia térmica de GLP

2.11.2. Opción de diseño 2

Para la construcción de la cámara esta tendrá que mantener la temperatura de la miel igual que en todos los modelos de diseño, en el segundo diseño se plantea escoger el material exterior de madera de pino la primera capa, el aislante será de fibra de vidrio y tendrá otras planchas de madera en su interior (cedro rojo), el sistema de calefacción para esta opción de diseño será mediante una flauta de GLP que estará ubicado a los laterales de la cámara. La utilización de la flauta abarata su diseño debido a que los calefactores tiene un costo más elevado dentro del mercado.

2.11.2.1 Especificación de la opción de diseño 2

Para elegir de una manera más objetiva cual será el diseño para desarrollarse se separa como se puede ver en la siguiente tabla elementos de diseño de la tabla 5 materiales de control y aislante térmico.

Tabla 5. Especificación de la opción de diseño 2

Opción de diseño 2	
Paredes exteriores	Pino
Paredes interiores	Cedro rojo
Aislante	Fibra de vidrio
Controladores	Controlador y timer
Controladores	Termocupla
Controladores	Válvulas de 2 vías
Fuente de calor	Quemador de gas tipo flauta

2.11.3. Opción de diseño 3

Una tercera opción de diseño es utilizar acero inoxidable y paredes de vidrio para la estructura de la cámara térmica, de manera visual la cámara obtendrá una mejor estética proporcional al coste de dichos materiales, mientras que en método de control térmico se utilizará controladores y termocuplas que estos estarán conectados a unas resistencias térmicas las cuales estarían

colocadas en los laterales de la cámara. Para aislar la temperatura y mantenerla en los rangos deseados utilizando lana de vidrio en las paredes. Esta opción de diseño es la más sofisticada pero debido a la complejidad de sus materiales es la de mayor costo.

2.11.3.1. Especificación de la opción de diseño 3

Para elegir de una manera más objetiva cual será el diseño para desarrollarse se separa como se puede ver en la siguiente tabla elementos de diseño de la tabla 6 materiales de control y aislante térmico.

Tabla 6. Especificación de la opción de diseño 3

Opción de diseño 3	
Paredes exteriores	Acero inoxidable
Paredes interiores	Acero inoxidable
Aislante	Lana de vidrio
Controladores	Controlador y timer
Controladores	Termocupla
Controladores	Válvulas de 2 días
Fuente de calor	Resistencia eléctrica

2.11.4. Ponderación de los materiales de diseño

Se especifica que los materiales y componentes son los más adecuados dentro de las opciones de diseño. Se pondera en la tabla 7 estas opciones de diseño, se las califica con un número del 1 al 10 y 0 si el diseño no cuenta con el material, 8 en el caso de que se cuente con el material, pero este tenga un costo elevado, se califica con 9 cuando el costo del material es menor y 10 cuando el material cumple con las características más optimas.

Tabla 7. Ponderación de los materiales de diseño

Materiales	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Abeto	9	0	0
Pino	0	10	0
Acero inoxidable; cristal	0	0	9
Cedro rojo	10	10	0
Acero inoxidable; cedro rojo	0	0	9
Poliuretano	10	0	0
Fibra de vidrio	0	8	0
Lana de vidrio	0	0	8
Termocupla	10	10	10
Válvula de 2 vías	10	10	0
Resistencia GLP	10	0	0
Flautas de GLP	0	8	0
Resistencias Térmicas	0	0	10
Controlador y timer	10	10	10
Total	69	66	56

2.12. Conclusiones del capítulo

En el capítulo 2 se pudo presentar el aspecto matemático, con el cual será analizada la cabina de calefacción de miel, se introdujeron las ecuaciones varias dentro del documento estas constan de sus respectivas unidades, se tomaron en cuenta los parámetros óptimos de diseño escogiendo el más conveniente para este caso.

Se consideraron varias opciones de diseño para concluir cuál sería la opción más rentable, como criterio se tomó la posible adquisición de los materiales y su eficiencia al momento de calentar la habitación, se elige la opción 1 debido a que sus materiales se encuentran fácilmente dentro del mercado ecuatoriano, además se tomó en cuenta el montaje y fabricación.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS TÉRMICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA

En este capítulo se procede a analizar el comportamiento de la opción de diseño uno vista en el capítulo 2, el cual se encuentra en un ambiente cubierto desde su estado inicial tomando en cuenta la temperatura mínima promedio del sector de Tabacundo 12 °C hasta la temperatura deseada 50 °C mediante la implementación de una resistencia de GLP en convección natural, además se podrá observar cuanto tiempo tardará la cámara en llegar a la temperatura óptima para evitar la cristalización de los envases de miel, un esquema final del diseño de la cámara está en la figura 6.



Figura 6. Diseño de la cámara térmica

3.1. Aislante térmico

Para determinar el espesor total de las paredes y el espesor del aislante, se asume un espesor total inicial de las paredes de 0,15 m, se tomará en cuenta que de fabrica las planchas de madera tienen un espesor de 0,02 m y son dos paredes de madera una exterior y una interior dando como espesor de aislante de 0,11 m, simplificando la ecuación (1) ya que se tratan de paredes en su mayoría de la misma área, se determina el paso de la energía térmica las paredes que

tienen espesor de 0,15 m y es necesario que el paso de energía térmica que pasa a través de las paredes sea el menor posible.

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{coovint}} + R_{\text{condpared1}} + R_{\text{condpared2}} + R_{\text{condpared3}} + R_{\text{convext}}}$$

$$\dot{Q} = \frac{(50 - 12)K}{\frac{1}{0,023 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,02 \text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,11 \text{m}}{0,000024 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,02 \text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{1}{0,005 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2}}$$

$$\dot{Q} = 0,044 \text{kW}$$

Para comparar lo que puede llegar a pasar calculamos el mismo flujo de calor por distintos espesores para saber que tan significativo es el cambio y determinar cuál sería el espesor ideal, se toma como referencia los 0,11 m y se procede a realizar el mismo cálculo, pero con 0,09 m.

$$\dot{Q} = \frac{(50 - 12)K}{\frac{1}{0,023 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,02 \text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,09 \text{m}}{0,000024 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,02 \text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{1}{0,005 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2}}$$

$$\dot{Q} = 0,052 \text{kW}$$

Se realiza el mismo calculo una vez mas de igual manera disminuyendo el espesor del aislante entre las paredes de la cámara, a un espesor de 0,07 m para comparar los resultados y como se puede apreciar el cambio en el flujo de calor nos permite determinar que el espesor debe ser de 0,11 m para que se pierda el menor calor posible a través de las paredes

$$\dot{Q} = \frac{(50 - 12)K}{\frac{1}{0,023 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,02 \text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,07 \text{m}}{0,000024 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{0,02 \text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2} + \frac{1}{0,005 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6 \text{m}^2}}$$

$$\dot{Q} = 0,065 \text{kW}$$

Dadas las condiciones de trabajo a las cuales la cámara va a estar sometida, este flujo de calor en las paredes de 0,09 m y 0,07 m es aceptable pero lo ideal sería mantener el espesor del aislante en 0,11 m, para que perdida de calor sea la menor posible.

3.1.1. Análisis térmico de las paredes 1, 2, 3, 4

La orientación del flujo de la energía térmica es importante al momento de realizar los cálculos al igual que las resistencias térmicas tanto de convección como de conducción, para este análisis el área es constante en todas las resistencias, ya que la pared es compuesta en la parte de conducción se tienen varios espesores para las paredes que son de madera el espesor es de 0,02 m y una conductividad térmica ($k = 0.000115 \text{ kW/ m}\cdot\text{K}$), para la pared de poliuretano expandido el espesor es de 0,11 m y la conductividad térmica ($k = 0.000024 \text{ kW/ m}\cdot\text{K}$), el esquema de cuáles son las paredes 1,2,3,4 está en la figura 7.



Figura 7. Esquema en corte para referencia de cuáles son las paredes 1,2,3 y 4

Para calcular la resistencia convectiva en la parte interna de la cabina el valor numérico de transferencia de energía térmica por convección es ($h = 0,023 \text{ kW/ m}^2\cdot\text{K}$) debido a que la parte interna del cuarto se encuentra realizando convección natural ya que el cuarto no cuenta con ventilación, en la parte exterior de la cabina se presenta convección natural por lo cual el valor del relación de transferencia de energía térmica por convección es ($h = 0,005 \text{ kW/ m}^2\cdot\text{K}$), se emplea la ecuación (1) para determinar la cantidad de calor que atraviesa estas paredes.

Área: 6 m^2 , espesor total 0.15 m

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{convint}} + R_{\text{condpared1}} + R_{\text{condpared2}} + R_{\text{condpared3}} + R_{\text{convext}}}$$

$$\dot{Q} = \frac{(50 - 12)K}{\frac{1}{0,023 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6\text{m}^2} + \frac{0,02\text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6\text{m}^2} + \frac{0,11\text{m}}{0,000024 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6\text{m}^2} + \frac{0,02\text{m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 6\text{m}^2} + \frac{1}{0,005 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 6\text{m}^2}}$$

$$\dot{Q} = 0,044\text{kW}$$

3.1.2. Análisis térmico en la pared 6

Al igual que el desarrollo del cálculo de la paredes se podrá inferir un desarrollo similar para la pared 6 véase la figura 8 debido a que el flujo de calor se comporta de manera similar en todas las paredes de la cámara este tiende a salir en la misma dirección, para lo cual tomando en cuenta que las distintas variables necesarias para el cálculo son iguales como su área y su espesor, por otro lado su conductividad térmica ahora será de una pared compuesta, para las paredes que son de madera el espesor es de 0,02 m y una conductividad térmica ($k = 0.000115 \text{ kW/ m} \cdot \text{K}$), para la pared de poliuretano expandido el espesor es de 0,11 m y la conductividad térmica ($k = 0.000024 \text{ kW/ m} \cdot \text{K}$).



Figura 8. Esquema en corte para referencia de la pared 6

Para calcular la resistencia convectiva en la parte interna de la cabina la relación de flujo de calor por convección es ($h = 0,000024 \text{ kW/ m}^2 \cdot \text{K}$) debido al calefactor dentro de la cabina, en la parte exterior de la cabina se presenta convección natural por lo cual el valor de la relación de transferencia de energía térmica por convección es ($h = 0,005 \text{ kW/ m}^2 \cdot \text{K}$), se emplea la ecuación (1) para obtener la magnitud de calor que atraviesa estas paredes.

Área: 9m^2 , espesor 0.15m

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{coonvint}} + R_{\text{condpared1}} + R_{\text{condpared2}} + R_{\text{condpared3}} + R_{\text{convext}}}$$

$$\dot{Q} = \frac{(50-12)K}{\frac{1}{0,023 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 9\text{m}^2} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 9\text{m}^2} + \frac{0,11 \text{ m}}{0,000024 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 9\text{m}^2} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,000115 \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 9\text{m}^2} + \frac{1}{0,005 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 9\text{m}^2}}$$

$$\dot{Q} = 0,066 \text{ kW}$$

3.2. Cálculo del tiempo necesario para un cambio de temperatura de 20 °C a 50 °C en la miel

Para el cálculo del calentamiento de la miel se va a contar con las siguientes características físicas ($k = 0,5 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$; $\rho = 1,14 \text{ kg} / \text{m}^3$; $C_p = 2,26 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$)[42] [43].

Las cuales se encuentran en primera instancia con una temperatura de 20% y con una temperatura de 12% la cual corresponde al sector Tabacundo, la miel se encuentra almacenada dentro de una cámara y aislada en contenedores, la cual va a ser climatizada mediante convección natural a una temperatura de 50°C. La cámara se calienta mediante una resistencia de (GLP) 6,39 kW.

3.2.1. Difusividad

En las resoluciones de los problemas de transferencia de calor, la difusividad térmica es una propiedad indispensable al momento del cálculo, esta no es más que la relación de conductividad térmica y la disposición calorífica específica a presión que no varía con respecto al tiempo. Podemos apreciar la ecuación de conducción de calor transitorio en la ecuación (4) la cual nos es de gran utilidad al momento del análisis del caso [21].

$$\alpha = \frac{k}{\delta \cdot C_p}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ kW} / \text{m} \cdot \text{K}}{1,14 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 2,26 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha = 1,9406 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

3.2.2. Operación para determinar la relación de transferencia de calor por convección

Mediante la operación del flujo de energía térmica con resistencias térmicas convectivas y conductivas se puede despejar la relación de transferencia de energía térmica por convección, h , siendo este la velocidad de transmisión de energía térmica entre la parte superficial y un líquido por diferencia de temperatura, para el cálculo es necesario conocer los valor de la conductividad térmica del recipiente que va a contener la miel conociendo que el material del que está fabricado es polietileno ($k = 0,3 \text{ kW/ m} \cdot \text{K}$) y sus dimensiones mostradas en la figura 5 se emplea la ecuación (3).

$$h = \frac{\left(\frac{1}{\left(\frac{T_{\infty} - T_{C\text{miel}}}{Q_{\text{rad}}} \right) - \frac{L_{\text{espesor del cilindro de miel}}}{k \cdot A_1}} \right)}{A_2}$$

$$h = \frac{\left(\frac{1}{\left(\frac{(50 - 20) \text{ K}}{6,39 \text{ kW}} \right) - \frac{0,005 \text{ m}}{0,3 \frac{\text{ kW}}{\text{ m} \cdot \text{ K}} \cdot 0,2827 \text{ m}^2}} \right)}{0,1963 \text{ m}^2}$$

$$h = 1,099 \text{ kW / m}^2 \text{ K} = 1099 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

3.2.3. Número de Biot

El valor numérico de biot es adimensional, el cual relaciona el intercambio de calor debido a la conducción en un sistema y el intercambio de energía térmica por convección en la superficie del cuerpo, primero se comenzará analizando los tanques de miel con el enfoque de bulto con la ecuación (5) porque todo el cuerpo tiene que permanecer a la misma temperatura.

$$Bi = \frac{h \cdot r_o}{k}$$

$$Bi = \frac{1099 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K} \cdot (0,3) \text{ m}}{(0,5) \text{ W / m} \cdot \text{K}}$$

$$Bi = 659,4$$

Debido a que el número de Biot resultante del enfoque de bulto es mayor a 0,1 entonces se cambia el método de solución, ya no será enfoque de bulto sino con las ecuaciones de soluciones aproximadas, analíticas y gracias (cartas de Heisler).

3.2.4. Cálculo del número de Fourier

Mediante una solución aproximada del centro de un cilindro ecuación (7) se puede encontrar con nuestro Biot los datos de A_1 y λ_1 que hace falta para encontrar el valor de Fourier tomando el valor de Biot infinito ya que es mayor a 100 el número más grande en la tabla del anexo 1 y con todos los datos de la fórmula se despeja el número de Fourier.

$$\theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau}$$

$$\frac{20^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}}{50^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}} = 1,6021 \cdot e^{-2,4048^2 \cdot \tau}$$

$$0,2105 = 1,6021 \cdot e^{-2,4048^2 \cdot \tau}$$

$$\tau = 3,5$$

3.2.5. Cálculo del tiempo para un solo cilindro corto

Ya que se obtiene el número de Fourier se puede calcular el tiempo necesario para que el centro del cilindro de miel llegue a la temperatura deseada, para esto se utiliza la ecuación (6) y el resto de los datos ya se los obtuvo previamente.

$$\tau = \frac{\alpha \cdot t}{r_0^2}$$

$$t = \frac{3,5 \cdot (0,3\text{m})^2}{1,9406 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$t = 1623\text{s} \approx 27 \text{ min} \rightarrow \text{de un cilindro corto de miel}$$

3.2.6. Cálculo del sistema transitorio de calor para un cilindro corto

Para determinar el valor térmico en la parte central del cuerpo, transcurridos 27 min dentro de la cámara a una temperatura de 50 °C, se tiene en cuenta el análisis de transferencia de energía térmica en régimen transitorio en sistemas de varias dimensiones, para este análisis se toma en cuenta las medidas del cilindro de longitud de 1 m, diámetro 0,6 m, la temperatura del ambiente dentro de la cámara de 50 °C, temperatura inicial de 20 °C, la relación de transferencia de calor por convección de 1099 W/m² · K, difusividad térmica de 0,698616 m²/h y una conductividad de 0,5 W/m · K.

Determinamos los valores de la longitud media de la pared, el radio del cilindro y el tiempo pasa de minutos a horas

$$L = \frac{1\text{m}}{2} = 0,5\text{ m}$$

$$r_0 = \frac{0,6\text{m}}{2} = 0,3\text{ m}$$

$$t = \frac{27\text{ min}}{60} = 0,45\text{ h}$$

3.2.6.1. Temperatura del eje de un cilindro largo de radio es r₀.

Para poder ingresar a las cartas de Heisler es necesario encontrar los valores del número de Fourier y el valor de Biot.

$$\tau = \frac{\alpha \cdot t}{r_0^2}$$

$$\tau = \frac{0,6986\text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot 0,45\text{ h}}{(0,3\text{ m})^2}$$

$$\tau = 3,5$$

$$\text{Bi} = \frac{h \cdot r_0}{2 \cdot k}$$

$$\text{Bi} = \frac{1099\text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot (0,3)\text{m}}{2 \cdot (0,5)\text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Bi} = 329,7$$

$$\frac{1}{2 \cdot \text{Bi}} = 0,0015$$

Una vez encontrados los valores correspondientes para entrar a la tabla de temperaturas del eje de un cilindro largo cuyo radio es r_0 según Heisler, se calcula el valor del Fourier y la inversa del Biot, se denota que los dos valores no se intersecan por lo tanto se toma el valor inferior de la tabla como se detalla en el anexo 4.

$$C(r, t) = \left[\frac{T(0, t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right]_C$$

$$C(r, t) = 0,001$$

3.2.6.2. Temperatura de línea central de una placa cuyo espesor es $2L$.

Para poder ingresar a las cartas de Heisler es necesario encontrar los valores del número de Fourier y el valor de Biot.

$$\tau = \frac{\alpha \cdot t}{L^2}$$

$$\tau = \frac{0,6986 \text{ m}^2 / \text{h} \cdot 0,45 \text{ h}}{(0,5 \text{ m})^2}$$

$$\tau = 1,3$$

$$\text{Bi} = \frac{h \cdot L}{k}$$

$$\text{Bi} = \frac{1099 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot (0,5) \text{ m}}{0,5 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Bi} = 1099$$

$$\frac{1}{\text{Bi}} = 0,0009$$

Una vez encontrados los valores correspondientes para entrar a la tabla de temperatura de línea central de una placa cuyo espesor es $2L$, con los valores determinados se obtiene un valor de temperatura en la línea central aproximado de 0,07 detallada en el anexo 5.

$$P(x, t) = \left[\frac{T(0, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right]_P$$

$$P(x, t) = 0,07$$

3.2.6.3. Transferencia de calor en régimen transitorio de sistemas de varias dimensiones.

Por lo tanto, usando los parámetros de las cartas de Heisler se combinan y si se suponen que las características no se alteran con respecto al tiempo, se demuestra que el resultado de este problema de dos dimensiones podemos observar en la ecuación (8).

$$\left(\frac{T(0, 0, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)_{\text{cilindro corto}} = C(0, t) \cdot P(0, t)$$

$$\left(\frac{T(0, 0, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)_{\text{cilindro corto}} = C(0, 001) \cdot P(0, 07)$$

$$\left(\frac{T(0, 0, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)_{\text{cilindro corto}} = 0,00007$$

$$T(0, 0, 0, 45h) = 0,00007 \cdot (20^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}) + 50^{\circ}\text{C}$$

$$T(0, 0, 0, 45h) = 49,9^{\circ}\text{C}$$

Mediante el cálculo realizado, valor de energía térmica en la zona central del cilindro de miel es de 49,9 °C aproximándose a la temperatura optima de trabajo que es 50°C.

3.2.7. Cálculo del tiempo para el resto de los cilindros

Una vez calculado el tiempo necesario para que el centro de un cilindro que contiene 0.2827 m³ de miel llegue a los 50 °C se procede a determinar el tiempo necesario para que los 6 m³ de miel correspondiente a 22 barriles lleguen aproximadamente a la temperatura deseada.

$$0,2827 \text{ m}^3 \rightarrow 27 \text{ min}$$

$$6 \text{ m}^3 \rightarrow 573,04 \text{ min} \approx 10 \text{ horas}$$

$$0,2827 \text{ m}^3 \rightarrow 1 \text{ cilindro de miel}$$

$$6 \text{ m}^3 \rightarrow 21 \text{ cilindros de miel}$$

Como se puede observar en el análisis final, debido a los volúmenes tanto de los cilindros que albergan la miel como de la cámara misma, tomando en cuenta los factores medio ambientales de la región (Tabacundo) y las características de la miel, se calculó la relación de transferencia

de energía térmica por convección $1,0999 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$ y su valor corrobora que el análisis térmico es de un proceso aproximado de convección libre de líquidos debido a que trabajamos con miel y así se encuentra establecido en la tabla del anexo (2). Con el cual podemos trabajar para un posterior análisis.

Debido a que la miel almacenada dentro de los cilindros consta de propiedades no variables y los cilindros son del mismo material, se puede relacionar el tiempo que tarda en calentarse el volumen de un cilindro que contiene $0,2827 \text{ m}^3$ al volumen total que debe almacenar en la cámara el cual es de 6 m^3 .

Mediante una relación del volumen total, la cantidad de miel que puede albergar un cilindro y el área disponible en la cámara se calcularía la cantidad de cilindros que irán dentro de la cámara.

3.3. Conclusiones del capítulo

Mediante los datos en las tablas de propiedades de la miel y de los materiales de las paredes de la cámara, se calculó el tiempo en el cual la miel llega a la temperatura óptima deseada para evitar la cristalización establecida mediante una investigación previa, la cual abarca una temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ por lo que se utilizó dicha temperatura en los cálculos, mediante la realización de dichos cálculos se obtuvo un tiempo estimado de calefacción dentro de la cámara de aproximadamente 10 horas para un total de 6 m^3 de miel, tomando en cuenta que la misma se encuentra a un valor de temperatura inicial de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ después de la extracción y conservación dentro de cilindros de polietileno de alta densidad.

Con la operación de la cifra de Biot se concluyó que la miel tiene una alta resistencia a la conducción de calor, tomando en cuenta este resultado al momento de la elección de los materiales del diseño de la pared interior y exterior de pino, mientras que el aislante térmico de las paredes tiene un espesor de $0,15 \text{ m}$ de poliuretano expandido, estos materiales se encuentran dentro del mercado ecuatoriano y son de fácil adquisición.

CAPÍTULO IV

COSTOS Y SIMULACIÓN DE LA CÁMARA TÉRMICA

El capítulo abordará el detalle económico de la cámara térmica para la empresa Miele y Colmenas de una capacidad de 6 m³, el valor en los elementos básicos y dimensionamiento para la elaboración. Además, el costo de los componentes señalados: los tablones de madera, listones, aislante térmico (poliuretano expandido), quemador infrarrojo de GLP, tubería para GLP, tanque de GLP, el sistema eléctrico de luz y de control de temperatura. Dichos valores son contemplados como costos directos, mientras que los costos indirectos de elaboración de la cámara térmica para la empresa mieles y colmenas.

En la otra sección se encuentra todo lo referente al comportamiento térmico de la cámara ya en funcionamiento mediante convección natural y los resultados serán evaluados mediante el software de simulación ANSY. De igual manera se encuentran en este capítulo las conclusiones del diseño final de la cámara térmica.

4.1. Costos directos

Está conformado por el costo del personal encargado de la construcción y de los elementos de construcción, es la inversión de los materiales del cual está conformado nuestra cámara térmica como se resume en la siguiente tabla 8 el listado de elementos y sus medidas de fabrica para cada componente, así como su precio dentro del mercado ecuatoriano.

Tabla 8. Costo de los materiales de construcción

Ítem	Elemento	Material	Dim. Brutas	Cant	Precio uni	Precio total
1	Paredes interior y exterior	Madera de Abeto	(2 x 0.20 x 0.02) m	60	\$ 16	\$ 960
2	Vigas laminadas	Madera de valsa	(75 x 4000 x 75) mm	15	\$ 40	\$ 600
3	Aislante térmico	Poliuretano	45 L	15	\$ 7,67	\$ 115,05
4	Cemento	N/A	50 kg	3	\$ 8,20	\$24,60
5	Arena	N/A	50 kg	6	\$ 25	\$ 150
6	Ripio	N/A	50 kg	3	\$ 25	\$ 75
7	Tubería	Cobre	4 m x ¾"	1	\$ 49,88	\$ 199,52
					Total	\$ 2124,17

4.2. Otros rubros e imprevistos

Un 10 % de la suma de todos los costos que se generan en el diseño y la elaboración de la cámara de calefacción, comprende gastos de movilización impresión de planos, modificación en el diseño, entre otros.

Una vez obtenidos los costos de los elementos de fabricación como se puede apreciar en la tabla 1 el cual es un valor en dólares de \$ 1949,17 se le suma el valor total de los costos del sistema eléctrico y de control con un valor en dólares resultante en \$ 857,16, el total de los costos hasta el momento resulta en un valor total de \$ 2981,33, es importante aclarar que este costo no contempla materiales como pernos, tuercas, bisagras, clavos, chapas, y otros.

Imprevistos = 0.1 (costos directos) = 0.1 (\$ 2981,33) = \$ 298,13

Entonces el costo parcial de la cámara de calefacción de miel para la empresa mieles y colmenas es de \$ 3279,46

4.3. Costo de diseño

El costo de diseño de la cámara de calefacción se establece por medio de una correlación, entre el valor del precio dividido entre las horas de trabajo, esta cantidad se multiplica por las horas trabajadas al momento de realizar el boceto de la cámara.

Entonces:

Precio de hora de trabajo = \$15.00/hora

Horas trabajadas: 125 horas

Precio de diseño = \$ 15.00 /hora x 125 horas= \$ 1875.00

Precio total es: \$ 5154,46

4.4. Breve análisis de recuperación de inversión

El objetivo de diseñar la cámara de calefacción es dar los lineamientos para una futura fabricación y así corroborar la viabilidad del proyecto tanto para las pequeñas, como medianas y grandes apícolas productoras de miel. Asimismo, se llevará a cabo como la pequeña y mediana industria pueden amortizar su inversión en la edificación cámara de calefacción.

4.4.1. Para una industria

La capacidad de fabricación de producto apiario es igual al doble del peso de la producción, una colonia de abejas que tenga 50,000 abejas estará en la capacidad de producir 25 kg de producto apiario [44].

Por lo cual se puede decir que una producción apícola de un segmento mediano que contiene una industria de 21 a 50 colmenas de abejas y su producción mensual de miel sería de 685,44 kg de miel correspondiente a 34 colmenas en promedio por cada apiario. Por lo tanto, en una industria de segmento mediano el costo fijo es de \$ 659,03 y el costo variable de la misma es \$ 1288,78 obteniendo así un costo total de \$ 1947,81 la rentabilidad del segmento mediano es igual a \$ 793,96 [15].

4.4.2. Costos de mantenimiento

Para mantener la cámara de calefacción es importante un mantenimiento anual de su sistema de calefacción, el mismo que será realizado por un técnico con la certificación adecuada para el manejo de elementos de calefacción, por lo cual se recomienda la siguiente guía de mantenimiento:

Tabla 9. Guía de mantenimiento de la cámara de calefacción

Pasos	Proceso
1	Revisión de e las conexiones al cilindro de gas y la lampara.
2	Revisión del estado de la tubería de haber fallas u obstrucciones, sellarlas o remplazar la tubería de ser necesario.
3	Revisión del estado del quemador GLP y cantidad de calor emitido.
4	Limpieza general del interior de la cámara y aceitado de bisagras.
5	Volver a revisar los parámetros de la cámara en funcionamiento.

4.5. Valor actual neto (VAN)

Para el estudio del valor actual neto de la inversión de la empresa mieles y colmenas en la cámara de calefacción, se tiene que tener en cuenta el costo total de la cabina de \$ 4961,96 como un costo anual en un tiempo de 5 años y se tomará en cuenta los diferentes beneficios que le dará este sistema de calefacción a la empresa tales como la reducción de la perdida de miel en los envases por la cristalización, ya que los contenedores que van dentro de la cámara mantendrán la miel a una temperatura optima de 50 °C que está por encima del punto de

cristalización de la miel, se espera que el coste de capital del dinero es del 5 % por año para la empresa.

Para empezar con el cálculo del VAN se tiene que empezar por plantear un flujo neto de caja con los valores del ingreso anual a la empresa y la inversión total de la elaboración del producto apícola, estos valores se tomaron de 14 apiarios de aproximadamente 34 colmenas en promedio por cada apiario de un segmento mediano de 21 a 50 colmenas dentro de la empresa los valores se detallan en el anexo 3.

Con los flujos de ingresos y egresos detallados en la tabla 12 se obtienen los flujos netos de caja y el valor del VAN de \$112,82 es un indicador que el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generara beneficios para la empresa, de igual manera con los mismos valores de ingresos y egresos.

Tabla 10. Flujos de ingresos y egresos de los últimos 5 años

Año	Ingresos	Egresos
1	2741,76	1947,81
2	3015,94	2045,20
3	3317,53	2147,46
4	3649,28	2254,83
5	4014,21	2367,58

Con los datos ya establecidos de los flujos de ingresos y egresos se exponen los datos del flujo neto de caja durante los últimos 5 años de producción de la empresa, el denominador es un indicador que en base al año y a la tasa de interés se puede encontrar el valor actual los valores están detallados en la tabla

Tabla 11. Flujos netos de caja, denominadores y valor neto de los últimos 5 años

Años	FNC	Denominador	Valor actual
1	\$ 793,95	1,050	\$ 756,14
2	\$ 970,74	1,103	\$ 880,49
3	\$ 1170,07	1,158	\$ 1010,75
4	\$ 1394,45	1,216	\$ 1147,22
5	\$ 1646,64	1,276	\$ 1290,18

4.6. Análisis del TIR

El TIR es la medida que tiene como finalidad evaluar los proyectos que requieren un análisis en el cual vamos a conocer cuando este proyecto para a ser viable, se tomara como el valor de la inversión el costo final de la cámara de calefacción, para saber si el valor del TIR de este

proyecto es viable para la empresa mieles y colmenas con estos flujos netos de caja se tiene en cuenta el coste de capital para el proyecto, si el coste de capital es elevado mayor al TIR, el proyecto no se ejecuta, debido a su elevado precio.

El valor de la TIR de este proyecto finalmente es de 6 % como se puede ver detalladamente en la tabla 12, lo cual es un indicador positivo y significa que este proyecto es viable, se debe mencionar que, aunque el valor del TIR es positivo por lo tanto es bajo y para tomar la decisión de llevar a cabo este proyecto se deben tener en cuenta más indicadores.

Tabla 12. Valores del flujo neto de caja y el valor del TIR

Años	FNC
1	793,95
2	970,74
3	1170,07
4	1394,45
5	1646,64
TIR	5 %

4.7. Relación beneficio/costo

Se compara directamente los indicadores de beneficios y los costos de nuestro proyecto para definir la viabilidad de esta cámara, los valores de las sumatorias de los beneficios y los costos traídos al presente están detallados en la tablas 13, la interpretación del resultado del indicador B/C dice que al ser mayor a 1 los beneficios de este proyecto son mayores que los costos que este proyecto va a generar y por eso este proyecto debe ser considerado para realizar su construcción, cabe recalcar que este indicativo es positivo debido a los flujos de entrada del capital y de la salida del capital empresa a la que está dirigida y que le resulta viable no solo por la cantidad de miel que se produce de 685,44 kg de miel en promedio al mes sino por la cantidad de colmenas que esta empresa tiene que es de 21 a 50 colmenas.

Tabla 13. Valores para el cálculo del costo beneficio

Años	Ingresos	Egresos	VAI	VAC
0		5154,46		5154,46
1	2741,76	1947,81	2611,20	1855,06
2	3015,94	2045,20	2735,54	1855,06
3	3317,53	2147,46	2865,81	1855,06
4	3649,28	2254,83	3002,27	1855,06
5	4014,21	2367,58	3145,24	1855,06
B/C	1	Sumatoria	14360,06	14237,25

4.8. Análisis del PRI

Uno de los indicadores importantes a tener en cuenta sobre la inversión en este proyecto es conocer el periodo de tiempo en el cual se recuperará la inversión en el caso de que se llegue a construir la cámara calefactora de miel, con los valores de los ingresos y egresos además del valor del flujo neto acumulado se pudo calcular un tiempo en el tiempo de recuperación de la inversión de 10 días, 10 meses y 2 años aproximadamente como se muestra en la tabla 14, cabe destacar que es un tiempo estimado solo en lo financiero y que no es del todo exacto ya que como el proyecto es para una empresa cuya actividad económica es la producción y venta de miel y por lo tanto el valor de los flujos netos de caja se pueden llegar a alterar por diversos motivos externos a la empresa y que no se los puede prever o controlar como la alteración del ambiente o el incremento de las materias primas para el cuidado de las colmenas.

Tabla 14. Periodo de recuperación de la inversión

Años	Ingresos	Egresos	FNC	FNC Acum
1	2741,76	1947,81	793,95	793,95
2	3015,94	2045,20	970,74	1764,69
3	3317,53	2147,46	1170,07	2934,75
4	3649,28	2254,83	1394,45	4329,20
5	4014,21	2367,58	1646,64	5975,84
			PRI	4,8970
			PRI en años	2,86

4.9. Simulación de la cámara térmica

Para comenzar con el diseño de la cámara de calefacción se escogió el programa de diseño y dibujo SolidWorks el cual ayudará a especificar mediante planos las medidas de cada parte de la cámara y en este mismo programa se puede crear una ilustración de cómo quedará cada parte de la cámara.

Mediante el software SolidWorks se procedió a diseñar todos los componentes que constituyen el sistema de calefacción y de control de temperatura. El software nos permite modelar cada uno de sus componentes y escoger el tipo de material con el cual trabajar a la par que muestre sus características.

4.9.1. Estructura de la cámara

Mediante el dimensionamiento delimitado en el diseño de la cámara de calefacción detalladas en el capítulo 3 para el análisis térmico del funcionamiento de la cámara, primeramente, se

procede a realizar un boceto de la estructura de madera con las vigas de madera y un piso de cemento del mismo espesor que el de las paredes como se puede apreciar en la figura 9, la estructura de madera cuenta con espacio suficiente para que se rellene con el aislante térmico constituido de espuma de poliuretano, en esta estructura se dejara un espacio en la parte de adelante que constituya el espacio necesario para colocar la puerta la cual al igual que las paredes tiene una capa de aislante de poliuretano en la parte que se encuentra entre la parte exterior e interior.

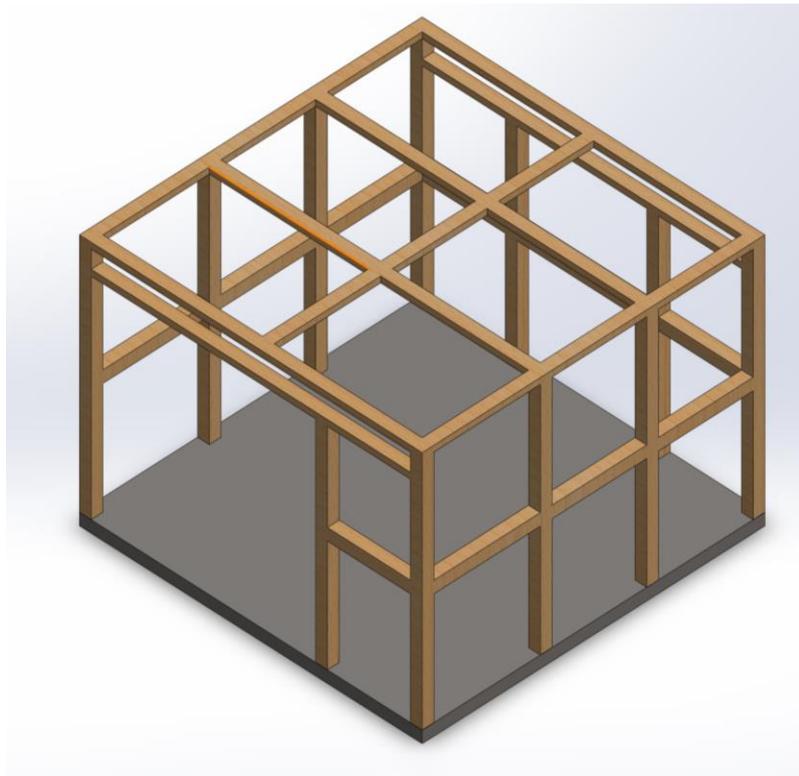


Figura 9. Modelado y dimensionamiento

4.9.2. Aislante térmico dentro de la cámara

Para tener una referencia de cómo se tiene que llenar los espacios de la estructura de madera con el aislante térmico constituido por poliuretano expandido se diseñaron unas placas de este material en el software de diseño véase la figura 10, las medidas con las que se diseñaron estas placas son las mismas medidas con las que se realizaron el análisis térmico de las paredes, su espesor y dimensiones están detalladas en el análisis del capítulo 3, sin embargo una de las dimensiones más importantes a recalcar es el espesor del aislante térmico ya que este valor de 11 cm de espesor que sobre sale de la norma de uso para casas o departamentos que es solo de 3 a 7 cm, pero debido a que el uso de esta cámara no es el de una vivienda sino que se pretende

que fluya el menor calor posible hacia el exterior se determinó el valor de 11 cm de espesor para el aislante térmico en todas las paredes.

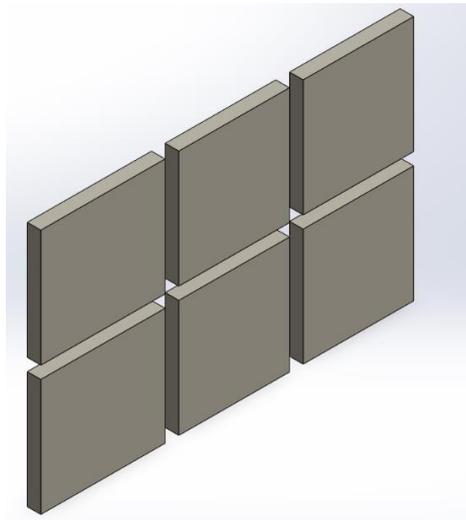


Figura 10. Aislante térmico dentro de la cámara

4.9.3. Resistencia de GLP

Uno de los fragmentos indispensables de la cámara es la resistencia que funciona con GLP, ya que será la encargada de suministrar el calor a toda la cámara de manera controlada y uniforme, para así evitar tanto la cristalización de la miel debido a las bajas temperaturas de la región de Tabacundo como su fermentación que puede llegar a ser causada a que la miel se caliente a temperaturas superiores a los 65 °C, se trató de recrear el diseño del quemador de GLP de la marca infravermelho de la figura 4 teniendo una potencia de 6.39 kW como se puede ver en la figura 11.

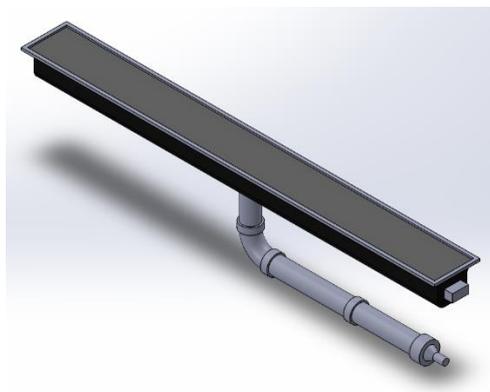


Figura 11. Resistencia de GLP

Para ponerlo dentro del ensamble de la cámara de calefacción con su conexión a gas, al hacer este diseño el programa SolidWorks brinda una ayuda visual de cómo se tienen que llegar a

realizar las conexiones del quemador a gas con el tanque de gas y en qué lugar va dentro de la cámara para la distribución de calor.

Para mostrar cómo se tiene que realizar la conexión del quemador en la mitad del cuarto se realizó un corte en el diseño, se puede apreciar con más detalle la conexión en la figura 12.



Figura 12. Conexión del quemador de GLP

4.9.4. Sistema de control

Los sistemas de control dentro del diseño de la cámara de calefacción hacen referencia a las conexiones reales que se deben implementar en la cabina para llevar un monitoreo adecuado del funcionamiento de esta, por eso le escogen equipos como las termocuplas para más detalle de cuál es la termocupla que está en el diseño se puede ver en la figura 13 dimensiones en los planos de los anexos para que den indicativos lo más precisos posibles de los indicadores de la temperatura del entorno dentro de la cámara y dentro de los barriles que contienen la miel, si en algún momento estos valores no concuerdan con los valores de trabajo la cámara no estaría funcionando correctamente y será necesario realizarle un mantenimiento al sistema de control.

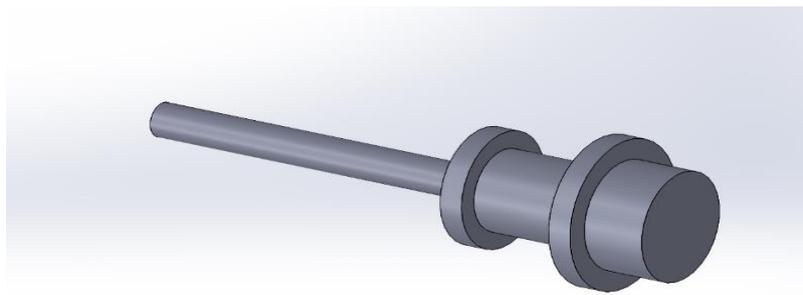


Figura 13. Termocupla.

En este proceso el cual modela cada elemento y se le colocan las dimensiones, se compara y pule las falencias de diseño de haber alguna modificación en este punto del diseño es relativamente fácil modificar y ajustar las medidas a lo deseado, el realizar este diseño con el programa SolidWorks permite dejar referencias de cada detalle como la colocación de un cilindro de gas de los que se encuentran a nivel nacional la imagen de referencia es la figura 14, se colocó esta referencia ya que este cilindro cuenta con la capacidad de alimentar el quemador que se encuentra en la parte interna de la cámara de calefacción.



Figura 14. Cilindro de gas.

Mediante las opciones de diseño dentro de SolidWorks se procede a dibujar cada uno de los elementos con las medidas adecuadas en un plano bidimensional que posterior mente será extruido para una mejor visualización y entendimiento del diseño de la cámara de mieles, este proceso permite realizar el diseño completo de toda la cabina y dejar detallado como quedara el modelo final para su construcción con la conexión del gas de la lámpara y un pequeño panel de control para el monitoreo de la temperatura se observa en la figura 15.

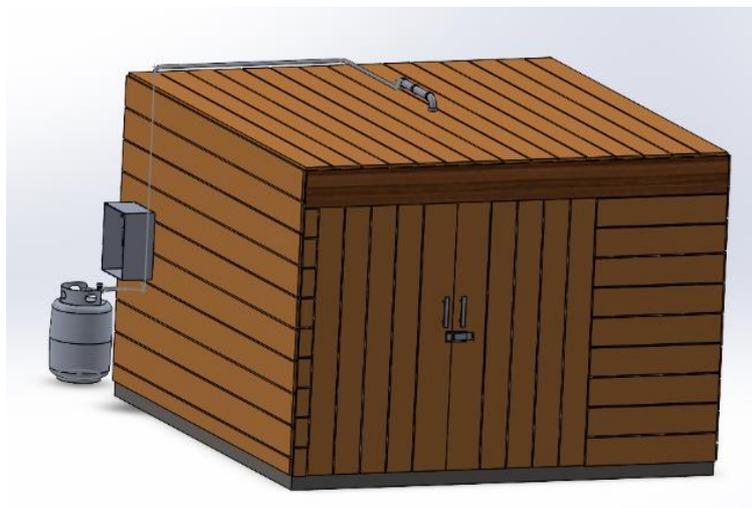


Figura 15. Modelo final del diseño de la cámara térmica

4.9.5. Simulación de la calefacción en el software ANSYS para un cilindro dentro del cuarto

Para corroborar que los cálculos que se presentaron en el capítulo 3 estén correctos se decidió simular el ambiente dentro de la cámara de calefacción en primer lugar cuando la cabina está en su mínima capacidad es decir cuando solo tenga un barril de miel, para realizar la simulación primero se especificaron las medidas de los tanques como la geometría a la cual se le va a realizar la transferencia de calor, un esquema del tanque que se va a simular, esta geometría ayudara a delimitar las condiciones de temperatura y otras variables como el coeficiente de transferencia de calor por convección en la cámara para corroborar que los cálculos que se presentaron en el capítulo 3 estén correctos, se decidió simular el ambiente dentro de la cámara de calefacción, en primer lugar cuando la cabina está en su mínima capacidad, es decir cuando solo tenga un barril de miel.

Para realizar la simulación primero en la figura 16 se especificaron las medidas de los tanques, el cual tendrá unas dimensiones de 30 cm de diámetro y una distancia vertical de 1 m, como la geometría es cilíndrica a la cual se le va a realizar la transferencia de calor, un esquema a medio corte del mismo se va a simular y esta geometría ayudara a delimitar las condiciones de temperatura de aire dentro de la cámara 20 °C y así trabajar hasta llegar a una temperatura óptima de operación de 50 °C, en un tiempo estimado de 27 min y otras variables como el coeficiente de transferencia de calor por convección idealmente será de 23 W/ m²·K aproximado en cada una de las paredes del primer tanque, para posteriormente variar estos valores y obtener diferentes resultados compararlos entre sí.

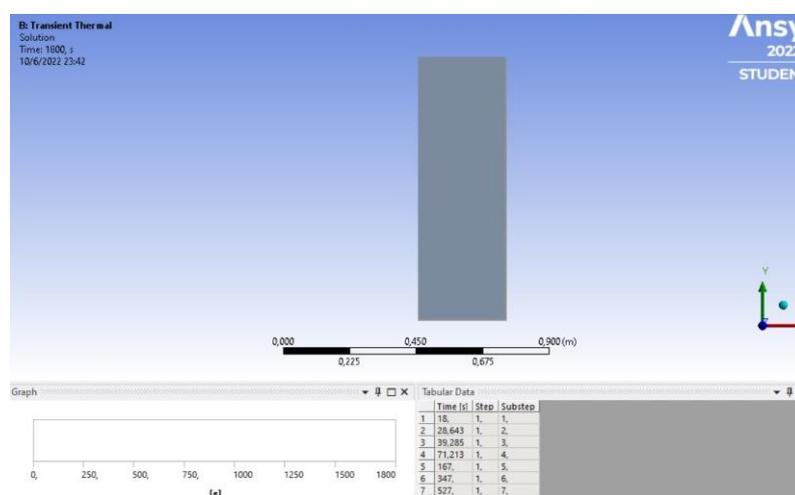


Figura 16. Geometría del barril de miel ANSYS

Después se configuran las condiciones de temperatura para la transferencia de energía térmica entre el aire dentro de la cabina y el espacio exterior del tanque para así calentarlo hasta la temperatura de trabajo se van a detallar los valores puestos en él programa en la figura 17.

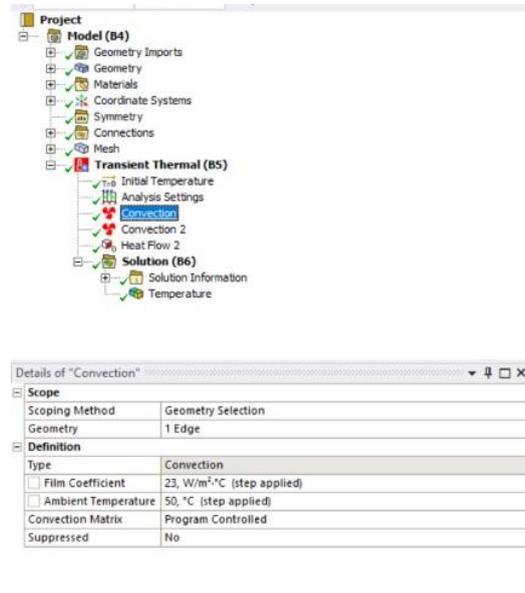


Figura 17. Panel para configurar los valores de trabajo de la simulación.

Otro de los valores que son muy importantes de establecer para el trabajo de la cabina de calefacción es el del tiempo que tardara el ambiente en llegar a un equilibrio térmico con la miel en el barril véase la figura 18, en el capítulo 3 se obtuvo un tiempo aproximado de calentamiento para un solo tanque de miel de 27 min así que con ese tiempo se podrá ver el comportamiento del flujo de calor dentro del cuarto y como interactúa con los tanques de miel desde su temperatura inicial después de la recolección de la miel.

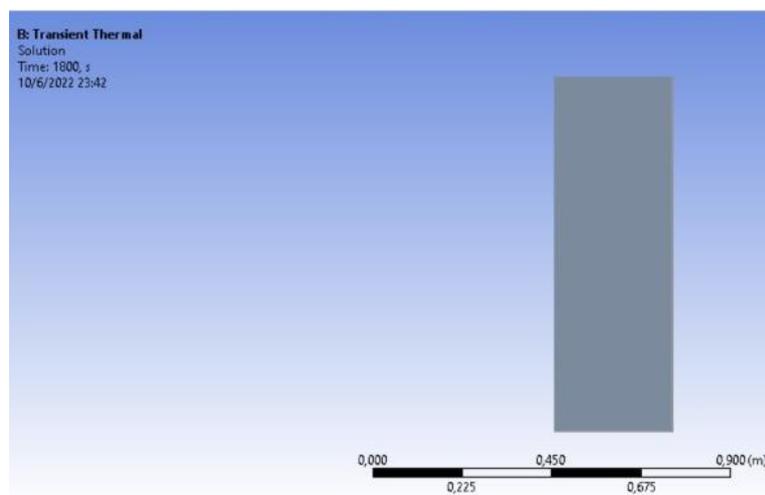


Figura 18. Configuración del tiempo de trabajo dentro de la cabina de calefacción.

Después de definir la geometría del tanque de miel y darle los valores necesarios al ambiente a su alrededor para que se genere la transmisión de energía térmica, definiendo el tiempo de la simulación en el que ocurrirá el cambio de temperatura, se procede a simular y esperar los datos de la resolución que indique el programa ANSYS, Todos los datos de la distribución de calor con respecto al tiempo se los puede apreciar en la figura 19, con este esquema se puede concluir que los valores obtenidos de los cálculos en el capítulo 3 son correctos, ya que uno de los indicadores que se obtuvo es el número de Biot el cual al ser superior a un valor de 1 lo cual dice que la transferencia de calor en el cilindro no es uniforme y con la simulación se puede corroborar este dato ya que se indica como se va calentando primero la parte superior del tanque y después las paredes laterales, este fenómeno de transferencia de calor sucede durante los primero 27 minutos que el tanque de miel está dentro del cuarto, se debe aclarar que esta simulación esta modelada con un tiempo en el que la parte superior del interior del tanque llegue a la temperatura de trabajo de 50 °C ya que es ahí donde estará la termocupla indicando el valor que se ira regulando en el sistema de calefacción del cuarto.

Además se puede observar como en las partes más alejadas del flujo de calor en el tanque de miel por lo tanto se han llegado a elevar las temperaturas hasta un rango en el cual la miel no se cristaliza, se puede predecir que conforme pase más tiempo el tanque dentro de la cámara se lograra igualar toda la temperatura del barril con el ambiente de la cámara esto pasara porque la termocupla dentro del barril está programada para que si la temperatura desciende de los 50 °C el sistema de calefacción se vuelva a encender para calentar la cámara.

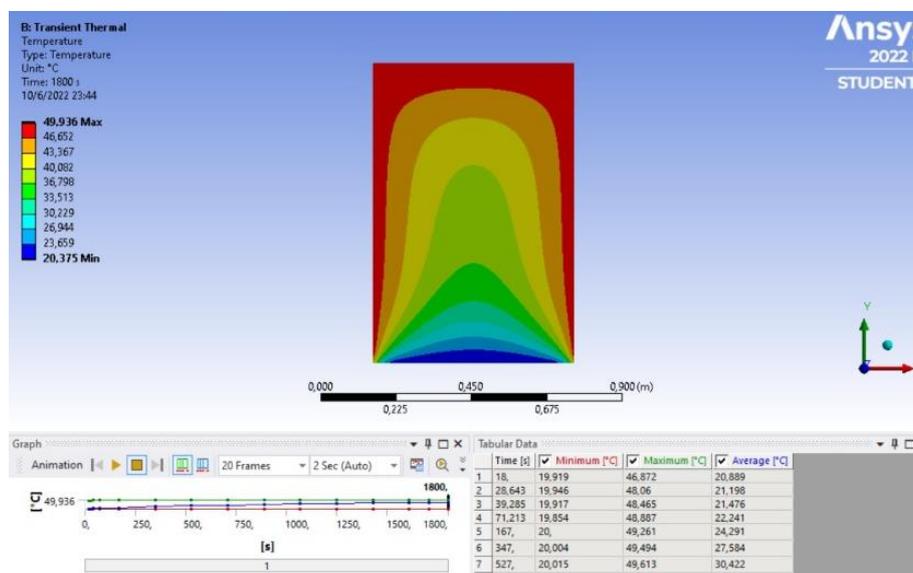


Figura 19. Simulación de la distribución del calor

4.9.5.1. Simulación de un solo tanque dentro de la cámara de calefacción variando el tiempo que pasa el tanque dentro de la cámara.

Para efectuar más pruebas sobre el comportamiento de la cámara de calefacción y de los tanques de miel que van a soportar las condiciones de la calefacción dentro de la cámara se decide realizar varias simulaciones, para la primera parte se opta por evaluar el comportamiento únicamente de un solo tanque que sería equivalente a lo mínimo que debería albergar la cámara de calefacción.

Para este único tanque dentro de la cámara de calefacción se mantendrán las condiciones de temperatura inicial de 20 °C, temperatura final de 50 °C y el mismo coeficiente de transferencia de calor por convección que en los cálculos del capítulo 3 la variable que se modificara será el tiempo, la figura 20 representa intercambio de calor del tanque en un tiempo definido de 27 minutos el cual se determinó para que el tanque llegue a unos 50°C

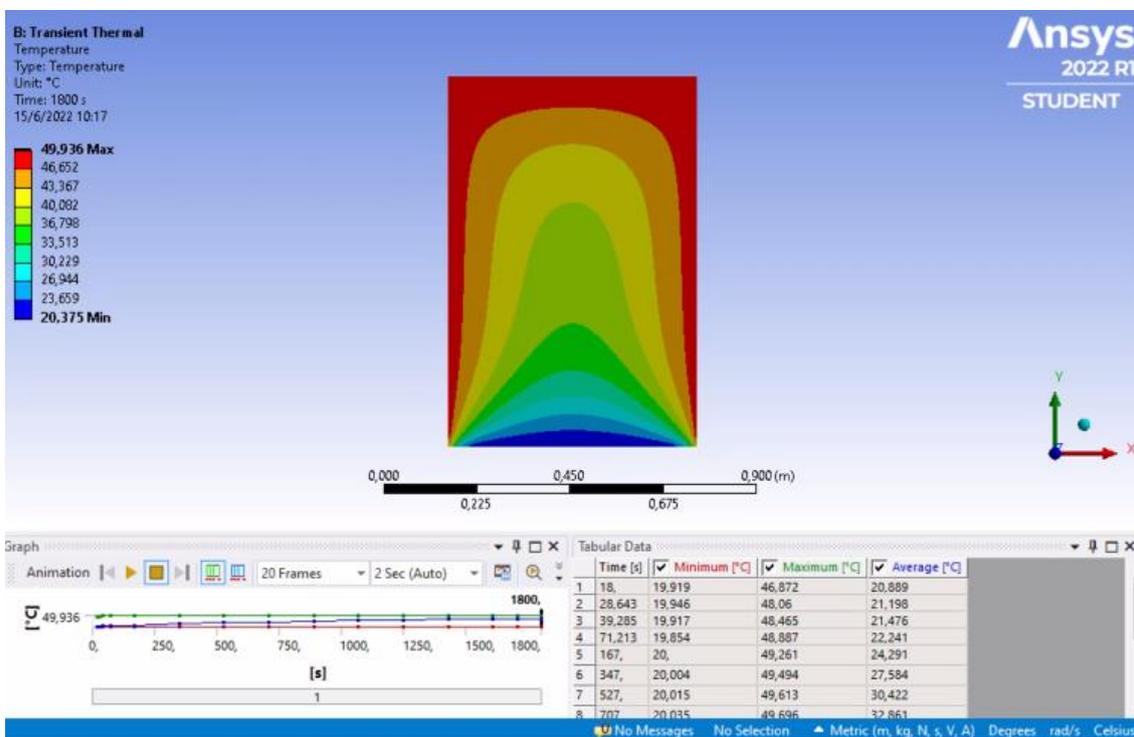


Figura 20. Simulación del tanque dentro de la cabina a los 27 minutos.

Para analizar más a fondo el comportamiento del tanque de miel dentro de la cámara se realizó un aumento del tiempo de la simulación de 27 minutos a 3 horas, en la figura 21 a medida que pasa el tiempo y se puede notar un gran cambio en el centro del tanque debido a que al transcurrir el tiempo la temperatura incrementa en el centro del tanque y llega a la temperatura de

los 50 °C se puede ver esto en la mayor parte del tanque exceptuando la parte de la base del tanque que aún se mantiene a una temperatura mínima de 26 °C.

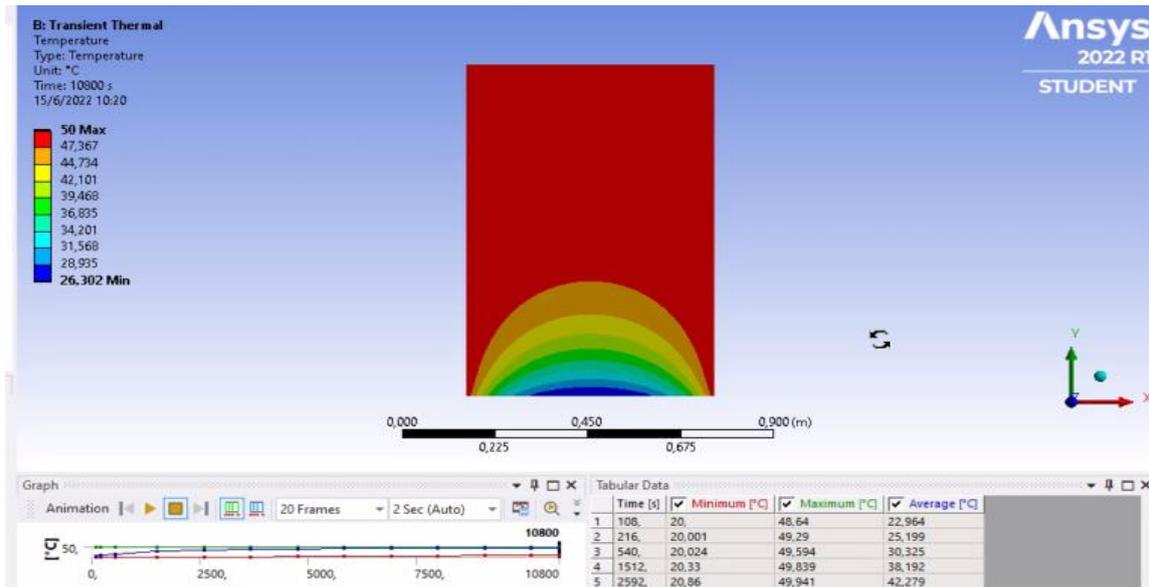


Figura 21. Simulación del tanque dentro de la cabina a las 3 horas

La siguiente simulación se realiza transcurrido un tiempo de 5 horas dentro de la cámara de calefacción, en la figura 22 podemos visualizar un pequeño incremento de la cantidad de temperatura de la miel que ahora se encuentra a 50 °C, pero el rango de temperatura ahora es mucho mayor dentro del tanque, la temperatura mínima en la base transcurridas las 5 horas es de 31 °C.

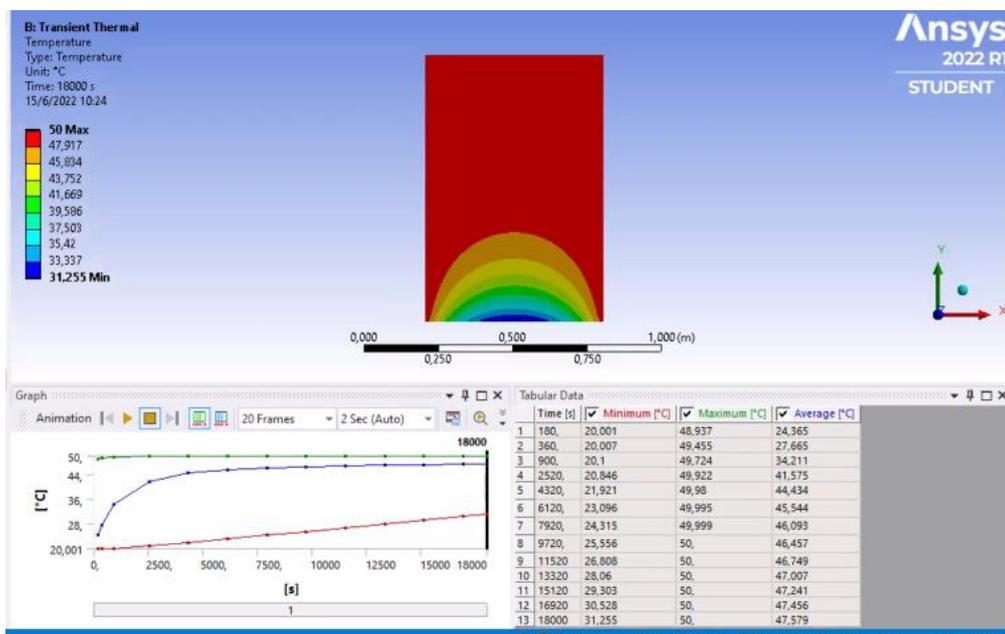


Figura 22. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 5 horas.

Después de transcurridas 7 horas como se ve en la figura 23 dentro de la cabina de calefacción se puede identificar que el comportamiento de la temperatura del tanque de miel es muy similar, el cambio significativo ocurre en la base del tanque ya que al ser la parte más alejada del calefactor de miel tardara mucho más en llegar a la temperatura de trabajo los 50 °C pero si se encuentra dentro del rango de temperatura de 35.6 °C que evita la cristalización de la miel.

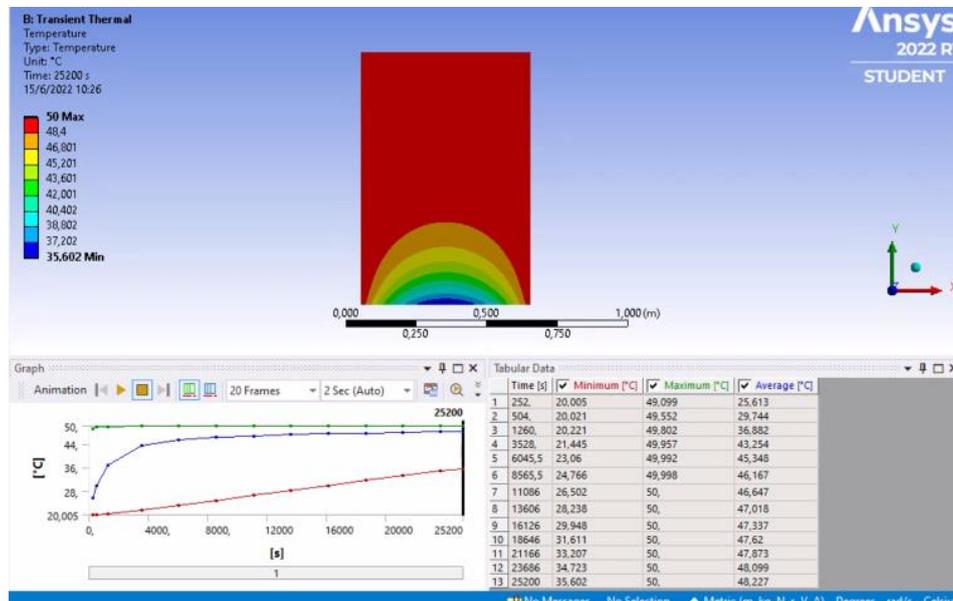


Figura 23. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 7 horas

El último tiempo en el que se ha analiza el comportamiento del tanque dentro de la cámara de calefacción es cuando han transcurridos 10 horas, se puede ver en la figura 24 que ya casi en su totalidad el tanque está en los 50 °C y que la temperatura mínima que se encuentra en los 40 °C.

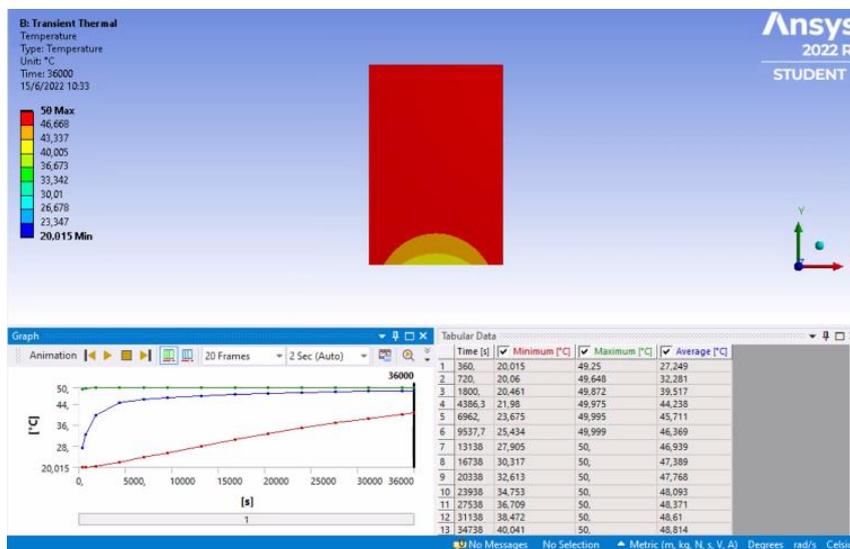


Figura 24. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 10 horas

4.9.5.2. Resumen de los valores simulados

Al tabular los valores simulados podemos observar que mientras mayor sea el tiempo dentro de la cámara de calefacción la temperatura se igualara con la parte superior de los tanques y las paredes.

Tabla 15. Resumen de los valores simulados

Intervalos de tiempo	Cambios en el rango de temperatura	Como es la distribución del calor
27 minutos	20,37 °C - 49,93 °C	Mayor calor en la parte superior del tanque y las paredes.
3 horas	26,3 °C – 50 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.
5 horas	31,25 °C – 50 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.
7 horas	35,6 °C - 50 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.
10 horas	40 °C - 50 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.

4.9.5.3. Simulación de un tanque variando la temperatura inicial.

Ahora para efectuar más pruebas sobre el comportamiento de la cámara de calefacción y de los tanques de miel que van a soportar las condiciones de la calefacción dentro de la cámara como segunda parte se opta por evaluar el comportamiento únicamente de un solo tanque, pero cambiando otra variable importante de analizar.

Para este tanque dentro de la cámara de calefacción se mantendrán en las condiciones iniciales del tiempo de 27 minutos, una temperatura final de 50 °C y el mismo coeficiente de transferencia de calor por convección, la variable que se modificara será la temperatura inicial a la que se encuentra el ambiente dentro de la cámara, se observa en la figura 25 representa la transferencia de energía térmica del tanque en un intervalo de tiempo de 27 minutos el cual se determinó que el tanque llegara muy cerca de la temperatura final de 50 °C pero con una temperatura inicial de 3 °C, lo cual indica que las superficies más cercanas al flujo de calor apenas y llegan a una temperatura cercana a los 50 °C y hará falta mucho más tiempo dentro de la cámara para que la miel dentro del tanque llegue a una temperatura que evite su cristalización.

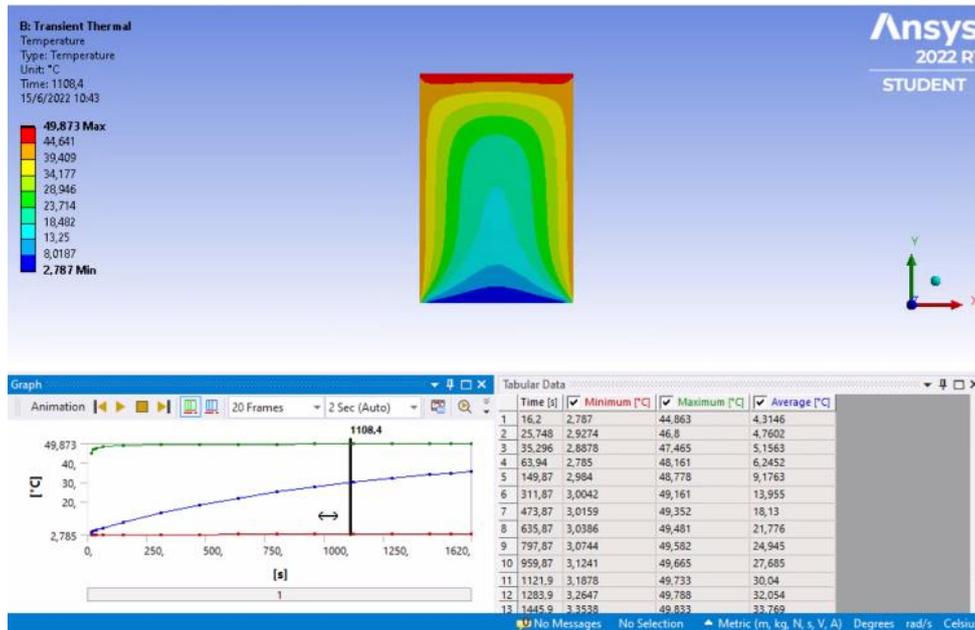


Figura 25. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 3 °C

Una vez presentados los parámetros de las variables fijas y las variables que se van a modificar para conocer el comportamiento del tanque de miel dentro de la cámara, se va a observar en la simulación el comportamiento en cuanto a temperatura y la distribución del calor en el tanque a los 7 °C, como se observa en la figura 26 pasados los 27 minutos ya se pueden encontrar zonas dentro del tanque con una temperatura cercana a los 50 °C.

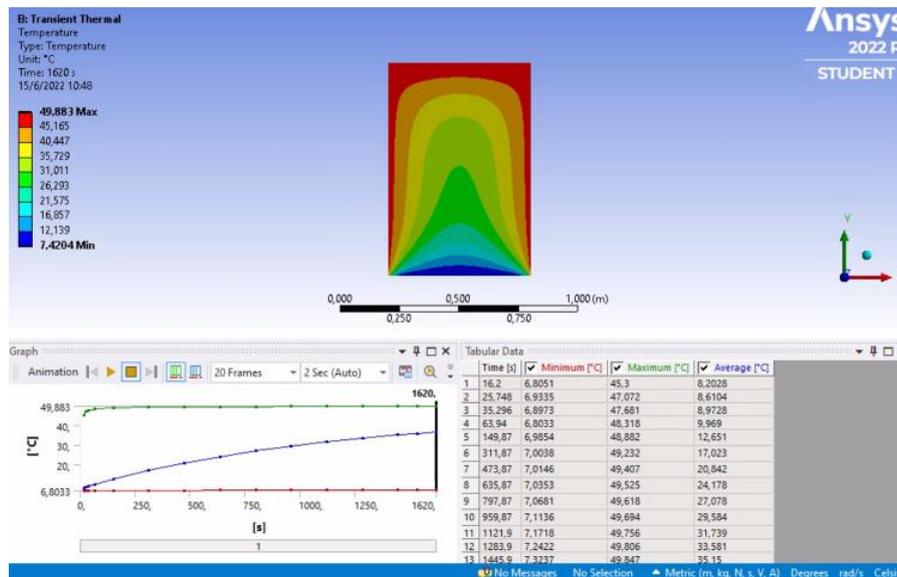


Figura 26. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 7 °C

Cuando se dan como condición que la temperatura inicial sea de 10 °C dentro del ambiente de la cámara se va a notar en la figura 27 como a los 27 minutos hay zonas que alcanzan temperaturas cercanas a los 50 °C.

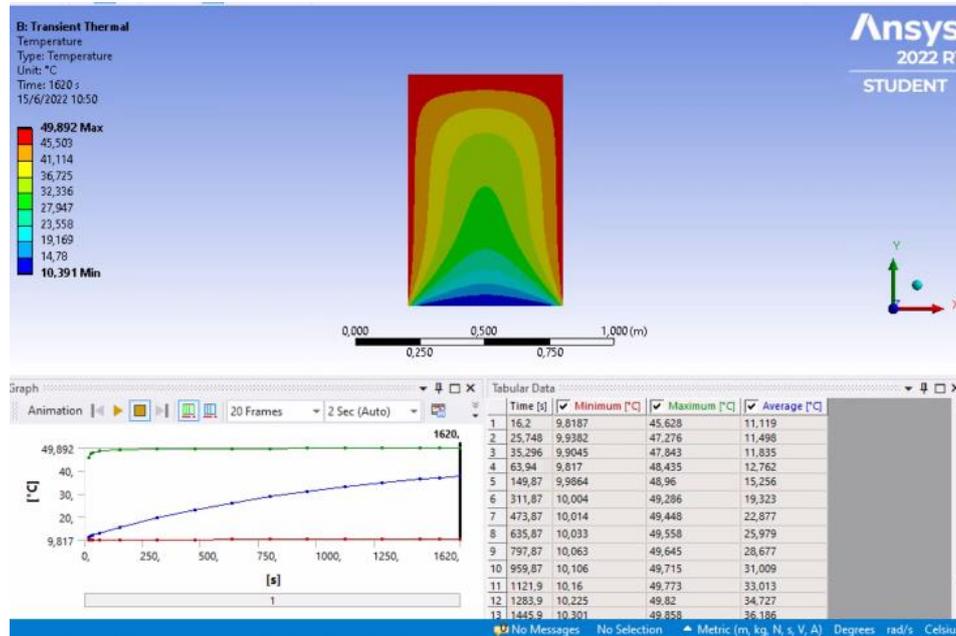


Figura 27. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 10 °C

La próxima situación en la que se analiza el comportamiento de la cámara es cuando la temperatura inicial sea de 15 °C, en la figura 28 se puede ver como la distribución de calor es bastante similar a los casos anteriores, el único cambio es que ahora se tienen más área dentro del tanque a una temperatura cercana a los 50 °C.

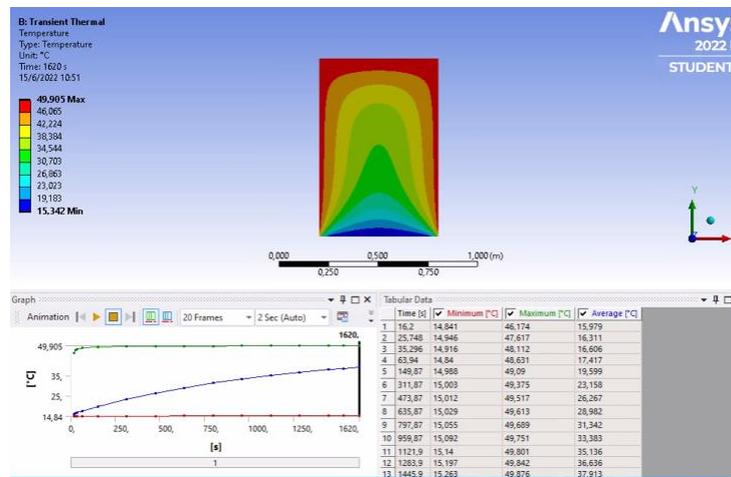


Figura 28. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 15 °C

El último caso que se analizara en cuanto al variar los valores térmicos en el ambiente de la cámara de calefacción a 20 °C, la figura 29 muestra el comportamiento de la cámara

transcurridos 27 minutos y se puede observar cómo este sería el caso óptimo para operar de la cámara, ya que muy poca área dentro del tanque se encuentra a una temperatura en la que la miel se cristalice.

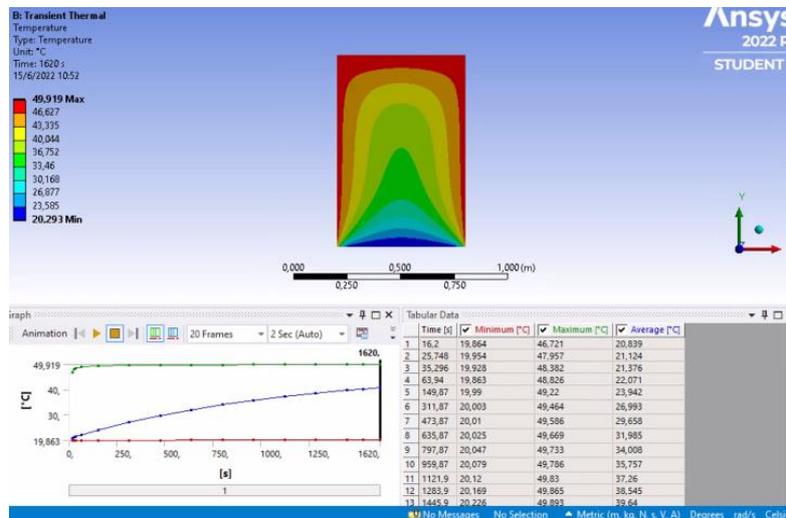


Figura 29. Simulación del tanque de miel con una temperatura inicial de 20 °C

4.9.5.4. Resumen de los resultados obtenidos

Al variar la temperatura inicial de la cámara se puede notar cómo el intervalo de la temperatura mínima y máxima es muy diferente, por lo tanto, es preferible almacenar la miel un día cálido o cuando la temperatura del ambiente sea la máxima que se registrara en el día.

Tabla 16. Resumen de los valores simulados

Intervalos de temperatura	Cambios en el rango de temperatura	Como es la distribución del calor
2 °C	2,78 °C – 49,87 °C	Temperatura elevada únicamente en la parte superior del tanque.
7 °C	7,42 °C – 49,88 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque.
10 °C	10,39 °C – 49,89 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque
15 °C	15,34 °C – 49,9 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque
20 °C	20, 29 °C – 49,91 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque

4.9.5.5. Simulación de un solo tanque en el interior de la cabina variando la relación de transferencia de energía térmica por convección de la cámara.

Uno de los factores que influye mucho al momento de la distribución del calor dentro de la cámara de calefacción y que se puede modificar dentro del software para conocer cuál es el comportamiento de los tanques de miel es el coeficiente de transferencia de calor por convección, debido a que el número de Biot que resultó tan alto y no se puede tomar a los tanques de miel con el conocido enfoque de bulto y para conocer cosas como el tiempo que tarda en calentarse la cámara se tomó el método numérico, el resultado del coeficiente de transmisión de energía térmica por convección que se van a simular en la cámara están tomados como referencia de los valores típicos de este coeficiente en un rango de 2 a 25 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ para convección libre detallados en los anexos 2 y 3 además del valor de este coeficiente con el que se resolvieron las ecuaciones en el capítulo 3, por ende el primer valor en el que se va a simular el comportamiento de la calefacción de la cámara es de 2 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, el cual se puede ver en la figura 30 que con un coeficiente tan bajo la distribución de calor a los 27 minutos es insuficiente el valor del coeficiente h y apenas alcanza para que la parte superior del tanque llegue a una temperatura de 47 °C.

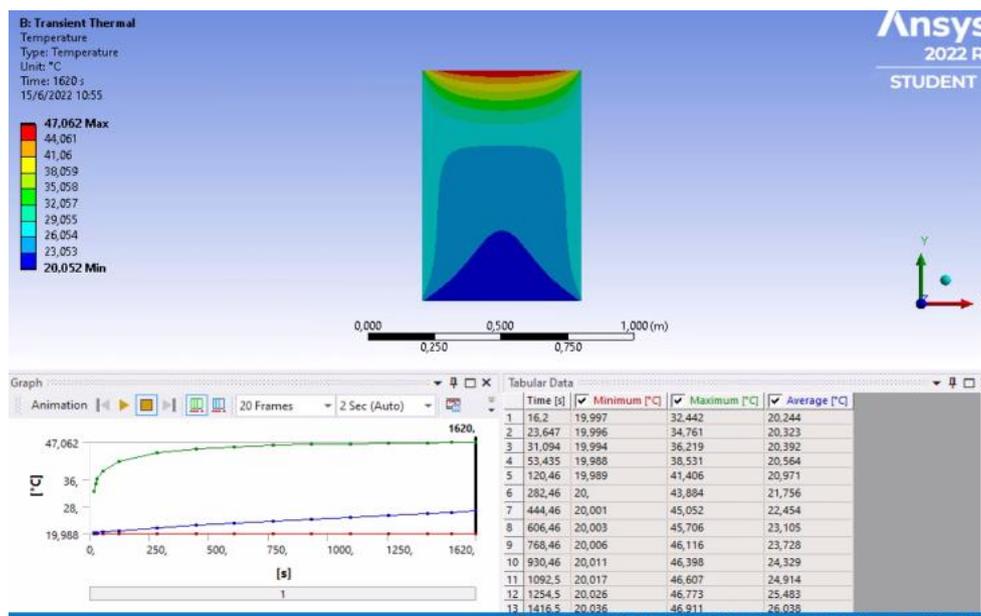


Figura 30. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de 2 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

Para la siguiente simulación se eleva la relación de transferencia de energía térmica por convección a $7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, la observación más notable a simple vista en la figura 31 es como después de los 27 minutos el calor del ambiente de la cámara se transfiere con mayor facilidad al interior de los tanques de miel.

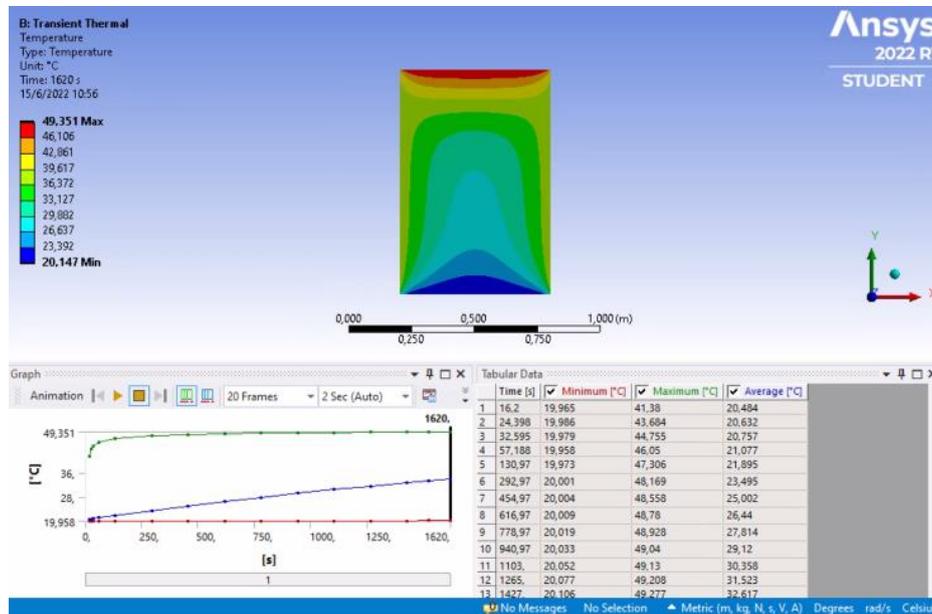


Figura 31. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de $7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Para conocer más acerca del comportamiento de la cámara de calefacción se elevó el coeficiente de transferencia de calor por convección a $13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, los resultados de este cambio se observan en la figura 32, la cual muestra como a medida que se eleva el coeficiente cambia la distribución de calor dentro del tanque de miel y como además de la parte superior del tanque hay más zonas con temperaturas cercanas a 50 °C .

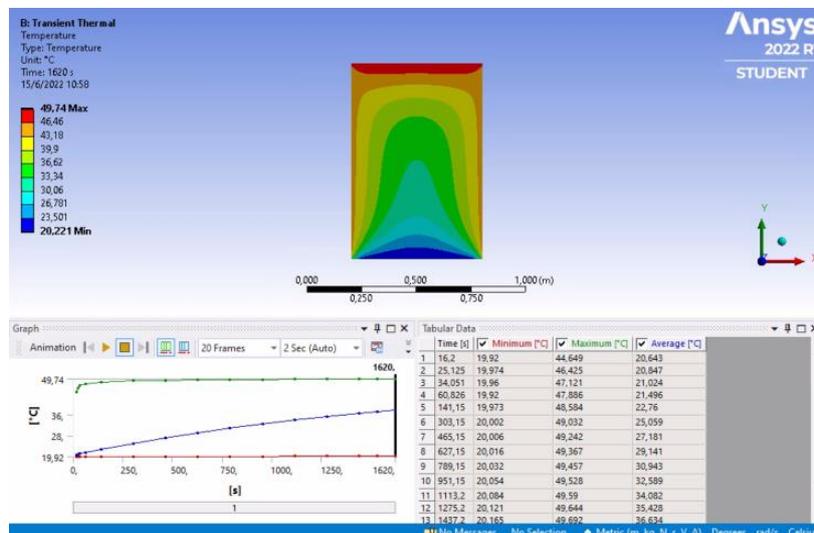


Figura 32. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de 13 W/m²·K

En el análisis final de esta variación se vuelve a mostrar el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección a 23 W/m²·K, la cual se puede apreciar en las paredes del tanque de miel estos mismos tiene un valor térmico de 50°C mostrado en la figura 33, se puede ver en la figura como la única parte que aún conserva la temperatura inicial es la base del tanque que no representa

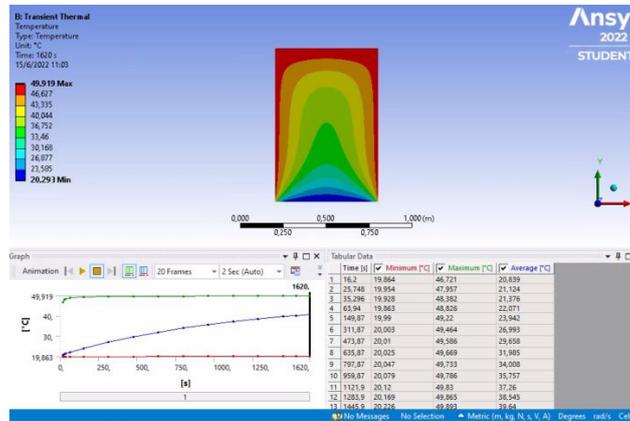


Figura 33. Simulación del tanque de miel con un coeficiente h de 23 W/m²·K

4.9.5.6. Resumen de los resultados obtenidos.

Cuando se cambiar el valor de la relación de transferencia de energía térmica por convección el cambio más notorio es en la parte superior de los cilindros y es el calor es distribuido de una mayor dificultad hacia la miel, los rangos de temperatura ayudan a determinar que tomara mucho más tiempo que todo el recipiente de la miel llegue a la temperatura de 50 °C.

Tabla 17. Resumen de los valores simulados

Coefficiente h	Cambios en el rango de temperatura	Como es la distribución del calor
2 W/m ² ·K	20,05 °C – 47,05 °C	Calor únicamente en la parte superior del tanque.
7 W/m ² ·K	20,14 °C – 49,3 °C	Se empieza a notar aumento de temperatura en las paredes del tanque.
13 W/m ² ·K	20,22 °C – 49,7 °C	Toda la parte superior ya llego a la temperatura requerida.
23 W/m ² ·K	20,29 °C – 49,9 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque

4.9.6. Simulación de la calefacción en el software ANSYS para 5 cilindros

Para confirmar los cálculos que se presentaron en el capítulo 3 estén correctos se decidió simular el ambiente dentro de la cámara de calefacción ahora a la máxima capacidad es decir cuando los barriles de miel estén alineados en grupos de 5, para realizar la simulación primero se especificaron las medidas de los tanques como la geometría a la cual se le va a realizar la transferencia de calor, un esquema del tanque que se va a simular está representado en la figura 34, esta geometría ahora con los 5 tanques tiene un comportamiento distinto a cuando solo es un tanque debido a fines más prácticos se colocaran los tanques con una pequeña distancia entre si aunque la cámara está diseñada para que todos los tanques entren de la manera más eficiente sin que se desperdicie espacio, el modelo que se utiliza para realizar la simulación con un solo tanque de miel ayudara a delimitar las condiciones de temperatura y otras variables como el coeficiente de transferencia de calor por convección en cada una de las paredes de los tanques de miel que ahora van a estar dentro de la cámara.

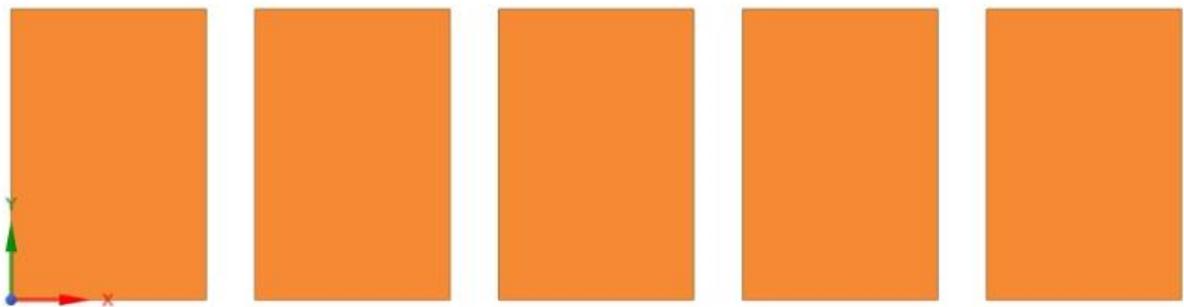


Figura 34. Geometría del barril de miel ANSYS

Después se configuran las condiciones de temperatura para la transferencia de calor entre el aire dentro de la cabina y la superficie de todos los tanques para así calentarlos además se va a calentar el aire que se encuentra entre los cilindros hasta la temperatura de trabajo se van a detallar los valores seteados al programa en la figura 35.

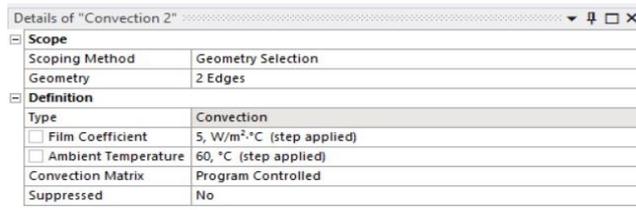


Figura 35. Panel para configurar los valores de trabajo de la simulación.

Otro de los valores que son muy importantes de establecer para el trabajo de la cabina de calefacción es el del tiempo que tardara el ambiente en llegar a un equilibrio térmico con la miel en todos los barriles de miel véase la figura 36, en el capítulo 3 se obtuvo un tiempo aproximado de calentamiento para todos los tanques del cuarto de 10 horas así que con ese tiempo se podrá ver el comportamiento del flujo de calor dentro del cuarto y como interactúa con los tanques de miel desde su temperatura inicial después de la recolección de la miel.

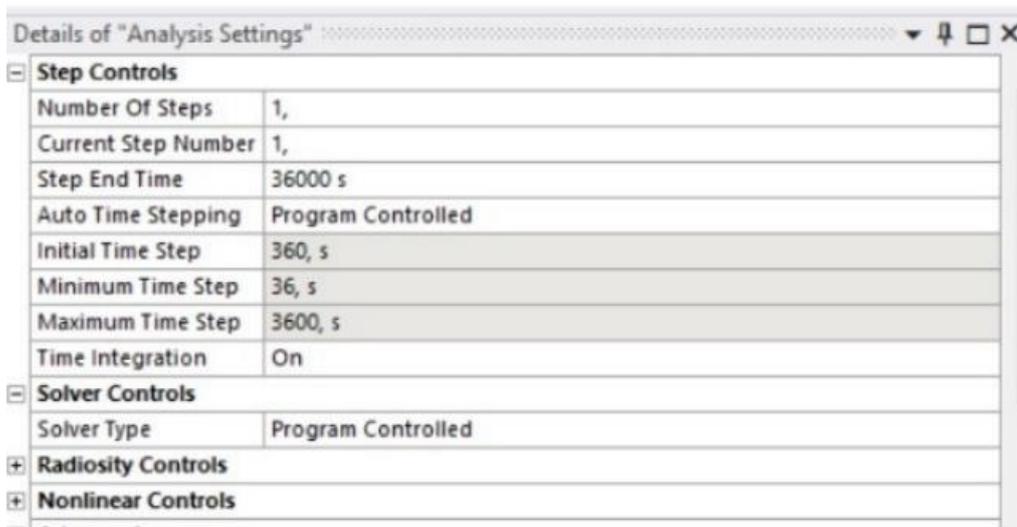


Figura 36. Configuración del tiempo de trabajo dentro de la cabina de calefacción.

Después de definir la geometría de todos los tanques de miel y darle los valores necesarios al entorno alrededor de los cilindros para que suceda la transmisión de energía térmica, definiendo el tiempo de la simulación en el que ocurrirá el cambio de temperatura, se procede a simular y esperar los datos de la resolución que indique el programa ANSYS, Todos los datos de la distribución de calor con respecto al tiempo se los puede apreciar en la figura 37, con este esquema se podrá concluir que los valores obtenidos de los cálculos en el capítulo 3 son bastante cercanos a los correctos, ya que uno de los indicadores que se obtuvo es el número de Biot el

cual al ser superior a un valor de 1 lo cual dice que la transferencia de calor en el cilindro no es uniforme y con la simulación se corrobora este dato ya que se indica como se va calentando primero la parte superior de todos los tanque y después las paredes laterales, este fenómeno de transferencia de calor sucede durante las primeras 10 horas que el tanque de miel está dentro del cuarto, se debe aclarar que esta simulación esta modelada con un tiempo en el que la parte superior del interior del tanque llegue a la temperatura de trabajo de 50 °C o que se acerque a esta temperatura ya que es ahí donde estará la termocupla que ira regulando la calefacción del cuarto y se puede observar en la simulación que después de las 10 horas aún no se llega a la temperatura de trabajo.

Por lo tanto se puede observar como en las partes más alejadas del flujo de calor en el tanque de miel, se han llegado a elevar las temperaturas hasta un rango en el cual la miel no se cristaliza, se puede predecir que conforme pase más tiempo el tanque dentro de la cámara se lograra igualar toda la temperatura del barril con el ambiente de la cámara esto pasara porque la termocupla dentro del barril está programada para enviar una señal al sistema de calefacción que si la temperatura desciende de los 50 °C se vuelva a encender para calentar la cámara.

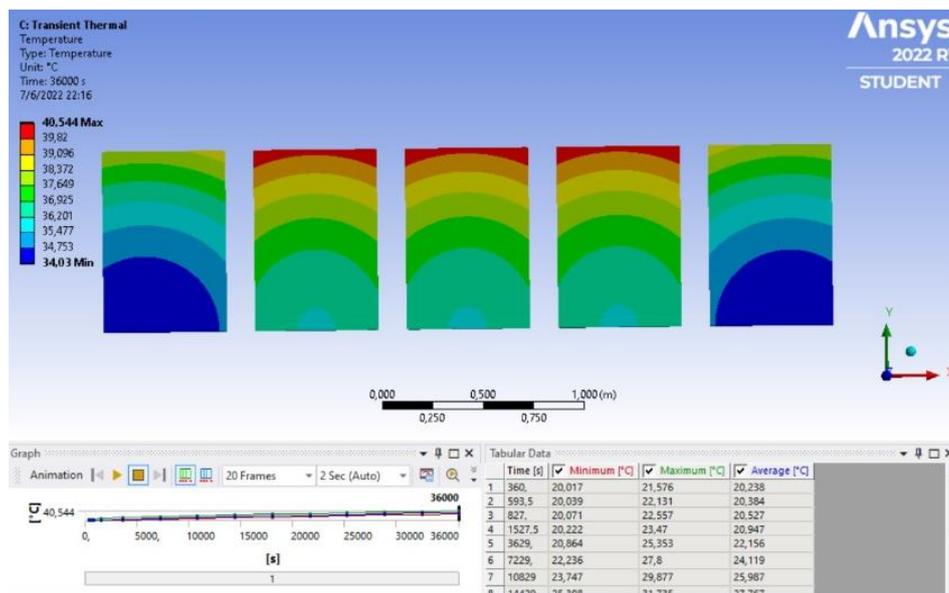


Figura 37. Simulación de la distribución del calor

4.9.6.1. Simulación de 5 tanques dentro de la cámara de calefacción variando el tiempo que pasan los tanques dentro de la cámara.

Para efectuar más pruebas sobre el comportamiento de la cámara de calefacción y para conocer las condiciones del ambiente dentro de la cámara se decide realizar varias simulaciones, para esta parte se simulará una fila de 5 tanques la cual abarca la cámara de calefacción completa.

Para estos 5 tanques la cámara de calefacción se mantendrán las condiciones de temperatura inicial de 20 °C, temperatura final de 50 °C y el mismo coeficiente de transferencia de calor por convección que en los cálculos del capítulo 3 la variable que se modificara será el tiempo, la siguiente figura 38 representa el flujo de calor del tanque en un intervalo de tiempo de 27 minutos el cual es insuficiente para que los tanques lleguen a una temperatura final de 50 °C

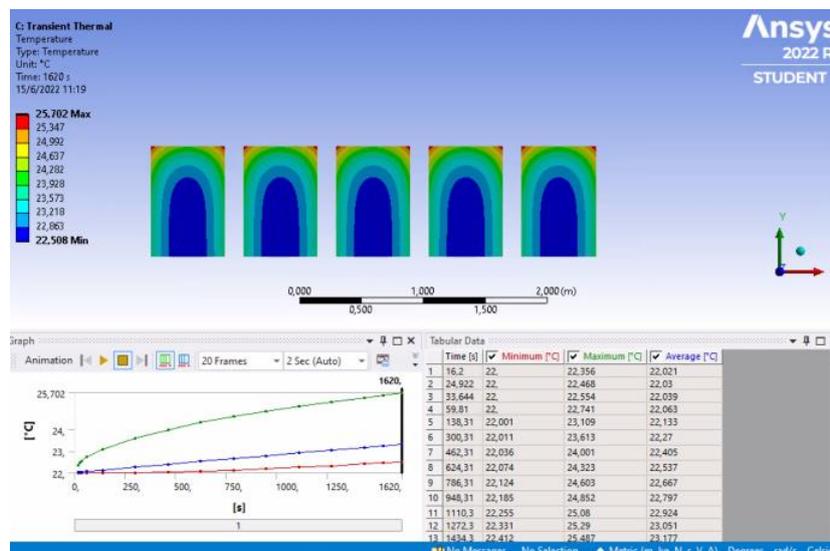


Figura 38. Simulación de 5 tanques dentro de la cabina a los 27 minutos.

Para continuar con el análisis del comportamiento del tanque de miel dentro de la cámara se realizó un aumento del tiempo de la simulación de 27 minutos a 3 horas, en la figura 39 a medida que pasa el tiempo y se denota un cambio significativo en la zona central de los tanques debido a que al transcurrir el tiempo la temperatura en el centro de los tanques se eleva y llegar a la temperatura de 32 °C se puede ver esto en la mayor parte del tanque exceptuando la parte de la base del tanque que aún se mantiene a una temperatura mínima de 28 °C.

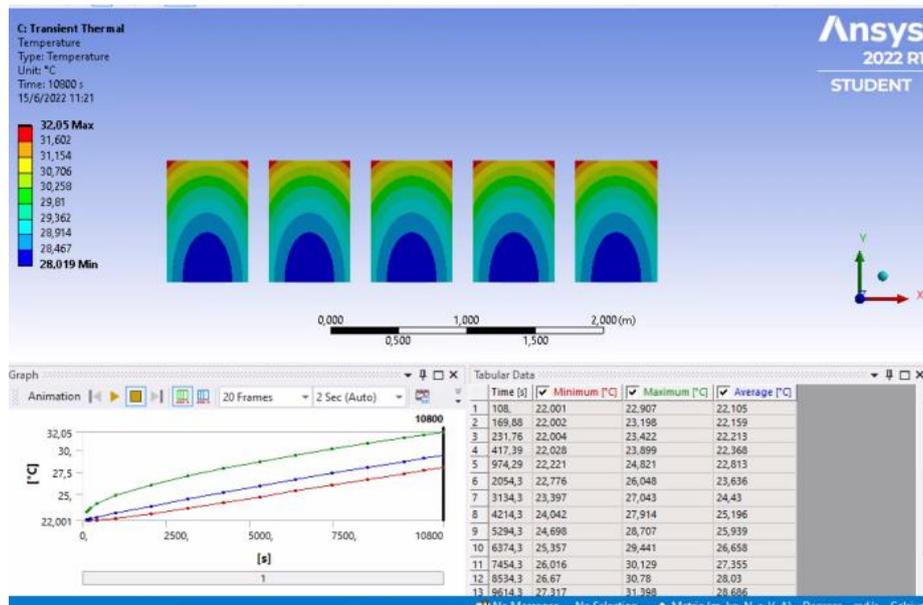


Figura 39. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 3 horas.

La siguiente simulación se realiza transcurrido un tiempo de 5 horas dentro de la cámara de calefacción, en la figura 40 se visualiza un pequeño incremento de la cantidad de temperatura de la miel que ahora se encuentra a 35 °C, pero el rango de temperatura ahora es mucho mayor dentro del tanque, la temperatura mínima en la base transcurridas las 5 horas es de 31 °C.

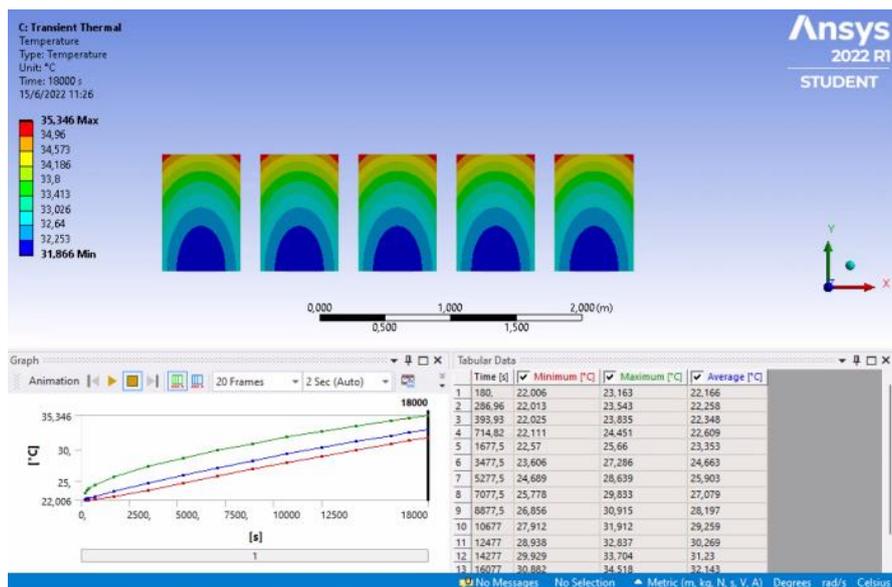


Figura 40. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 5 horas.

Después de transcurridas 7 horas dentro de la cabina de calefacción, en la figura 41 se puede identificar que el comportamiento de la temperatura los 5 tanques de miel es muy similar, el primer cambio que se puede notar en el rango de temperatura es en la parte superior con del

tanque de miel aumenta a 37 °C, así mismo en la base del tanque al ser la parte más alejada del calefactor de miel tardara mucho más en llegar a la temperatura de trabajo los 50 °C pero si se encuentra dentro del rango de temperatura de 35.3 °C que evita la cristalización de la miel.

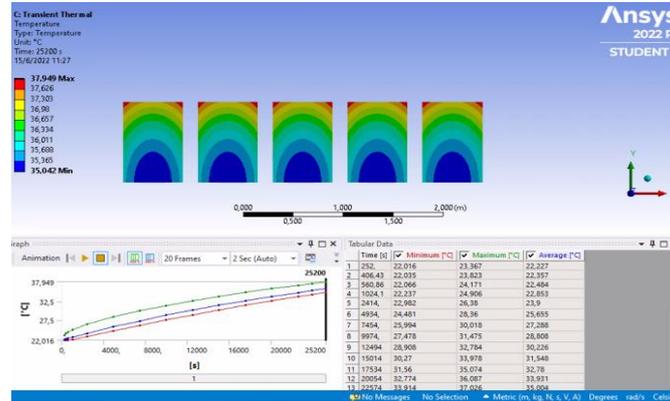


Figura 41. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 7 horas.

El último tiempo en el que se ha analiza el comportamiento del tanque dentro de la cámara de calefacción es cuando han transcurridos 20 horas, se puede ver en la figura 42 que la temperatura más elevada en los tanques es de 46 °C, pero el rango de temperatura de los tanques esta con un valor de energía térmica inferior de 45 y superior de 46 °C, aunque no se cumpla la temperatura de 50 °C dentro de los tanques de igual manera esta temperatura evitara la cristalización de la miel.

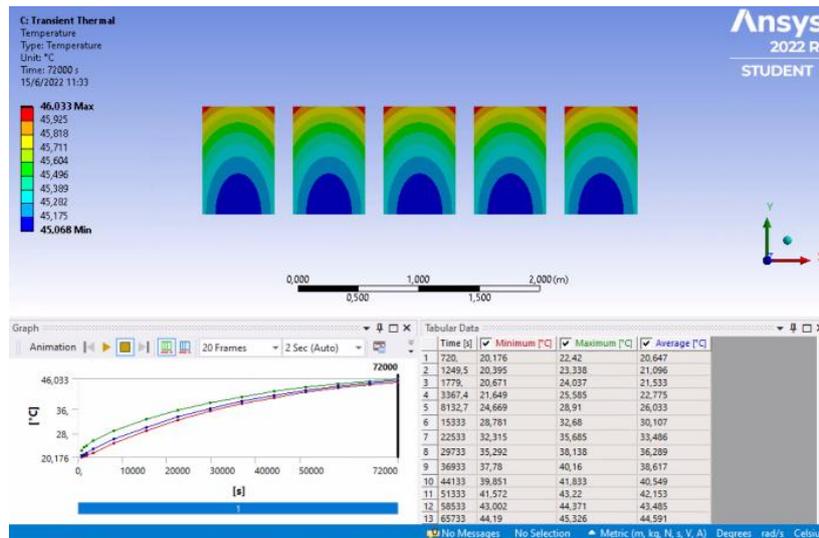


Figura 42. Simulación del tanque dentro de la cabina después de 20 horas.

4.9.6.2. Resumen de los resultados obtenidos

Al tabular los resultados se puede ver como la temperatura tiene un rango muy bajo si nos ponemos a analizar el rango de la temperatura máxima y la mínima, por lo tanto, entre más tanques de miel estén dentro de la cámara de calefacción va a ser más difícil que los tanques lleguen a los 50 °C.

Tabla 18. Resumen de los valores simulados

Intervalos de tiempo	Cambios en el rango de temperatura	Como es la distribución del calor
27 minutos	22,5 °C – 25,7 °C	Mayor calor en la parte superior del tanque.
3 horas	28,01 °C – 32,05 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.
5 horas	31,86 °C – 35,3 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.
7 horas	35,6 °C – 37,9 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.
20 horas	45 °C - 46 °C	Mayor parte del tanque con la temperatura máxima.

4.9.6.3. Simulación de 5 tanques dentro de la cámara variando la temperatura inicial del ambiente dentro de la cámara.

Para efectuar más pruebas sobre el comportamiento de la cámara de calefacción y de los tanques de miel que van a soportar las condiciones de la calefacción dentro de la cámara como segunda parte se opta por evaluar el comportamiento únicamente de los 5 tanques de miel, pero cambiando otra variable importante de analizar.

Para esta simulación la cámara de calefacción se mantendrán en las condiciones iniciales del tiempo de 10 horas, una temperatura final de 50 °C y el mismo coeficiente de transferencia de calor por convección, la variable que se modificara será la temperatura inicial a la que se encuentra el ambiente dentro de la cámara, podemos observar en la figura 43 representa la transferencia de energía térmica del tanque en un intervalo de tiempo de 10 horas el cual se determinó que el tanque llegara muy cerca de la temperatura final de 50 °C pero con una temperatura inicial de 3 °C, lo cual indica que las superficies más cercanas al flujo de calor apenas y llegan a una temperatura cercana a los 50 °C y hará falta mucho más tiempo dentro de la cámara para que la temperatura de los tanques llegue 50 °C pero el rango de temperatura es

aceptable ya que se encuentra en 31 °C como mínimo y máximo 34 °C que si evita la cristalización .

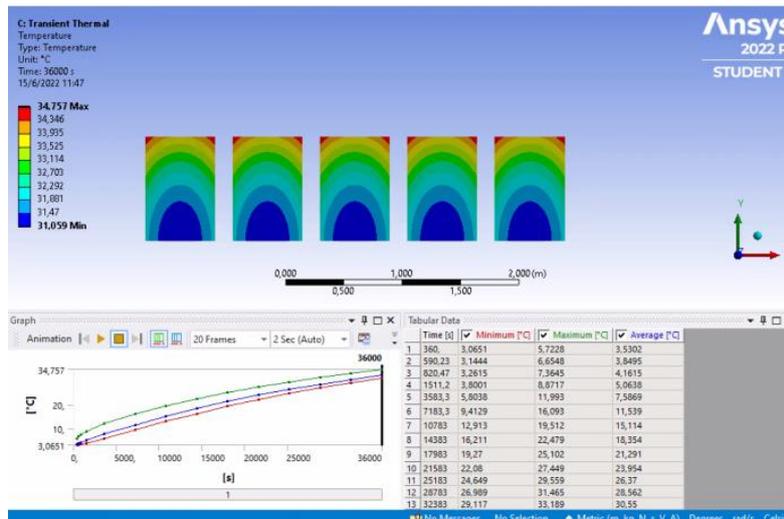


Figura 43. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 3 °C

Una vez ya presentados cuáles serán los parámetros de las condiciones fijas y las que irán variando para los tanques de miel dentro de la cámara, se va a observar en la simulación su comportamiento en cuanto a temperatura y la distribución del calor en el tanque a los 7 °C, como se puede observar en la figura 44 que pasadas las 10 horas no se observan grandes variaciones en el rango de temperatura, pero si se ve un aumento.

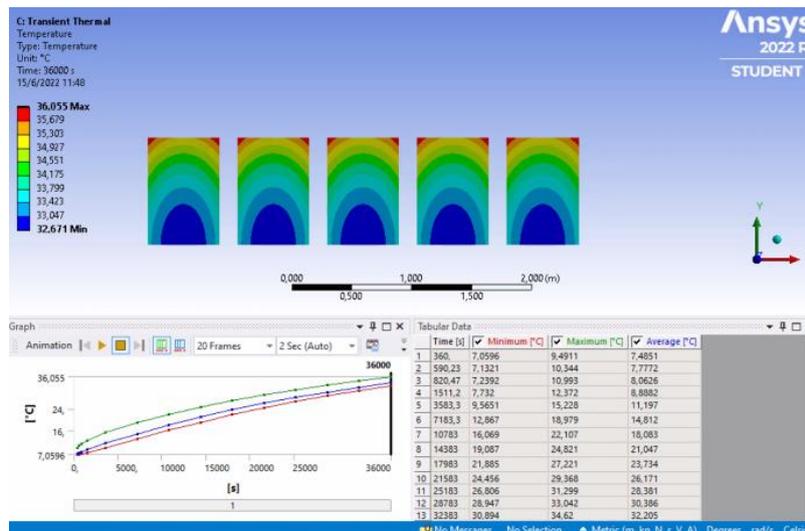


Figura 44. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 7 °C

Cuando se dan como condición que la temperatura inicial sea de 10 °C dentro del ambiente de la cámara se va a notar en la figura 45 como a las 10 horas el cambio significativo es en el rango

de temperatura que aumento el valor mínimo a 33 °C y el máximo a 37°C, además se puede ver como se calienta más la parte superior del tanque y las paredes.

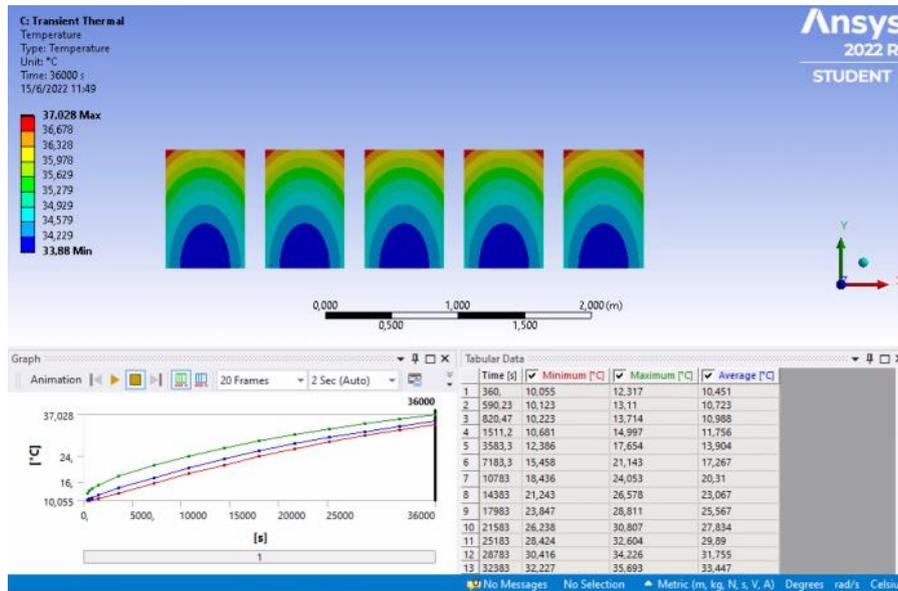


Figura 45. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 10 °C

El último caso que se analizará es cuando el cambio de temperatura en el interior del ambiente de la cámara de calefacción este a 20 °C, la figura 46 muestra el comportamiento de la cámara transcurridas las 10 horas y se puede observar cómo la temperatura dentro de los tanques no alcanza la temperatura de 50 °C y se encuentra en un rango de 37 °C como mínima y una temperatura máxima de 40 °C, cabe aclarar que la miel dentro de los tanques no está cristalizada únicamente necesitara más tiempo dentro de la cámara para que se alcance la temperatura de trabajo.

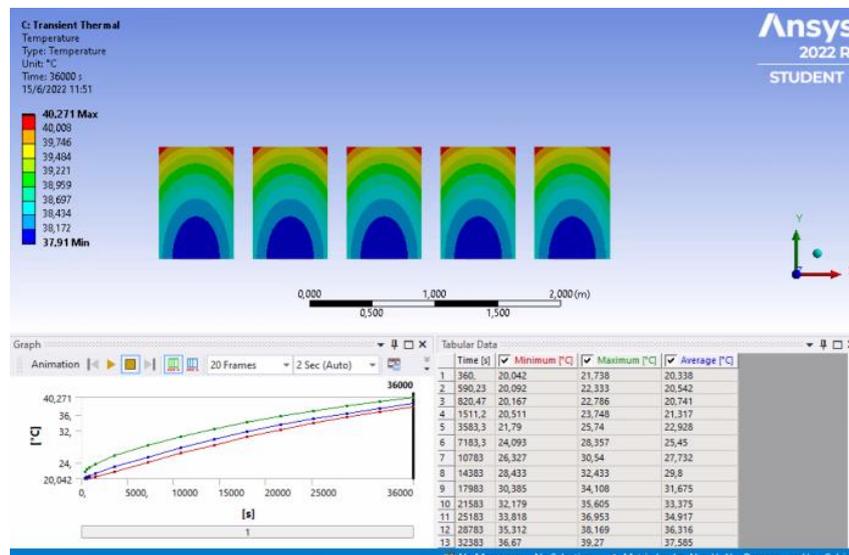


Figura 46. Simulación de 5 tanques de miel con una temperatura inicial de 20 °C

4.9.6.4. Resumen de los resultados alcanzados

Si cambiamos la temperatura inicial de la cámara se va a notar cómo el intervalo de la temperatura mínima y máxima es diferente por un intervalo muy pequeño de temperatura, por lo tanto, es preferible almacenar la miel en grandes cantidades cuando la cámara ya este a una temperatura inicial de 20 °C o más.

Tabla 19. Resumen de los valores simulados

Intervalos de temperatura	Cambios en el rango de temperatura	Como es la distribución del calor
3 °C	31,05 °C – 34,7 °C	Temperatura elevada únicamente en la parte superior del tanque.
7 °C	32,67 °C – 36,05 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque.
10 °C	33,88 °C – 37,02 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque
20 °C	37,91 °C – 40,27 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque

4.9.6.5. Simulación de 5 tanques en la parte interna de la cámara variando la relación de transferencia de energía térmica por convección de la cámara.

Uno de los factores de mayor influencia al momento de la distribución del calor dentro de la cámara de calefacción y que se puede modificar dentro del software para conocer cuál es el comportamiento de los tanques de miel es la relación de transferencia de energía térmica por convección, como se explica para el caso de la simulación únicamente con un tanque se utilizaran valores en un rango de 2 a 25 W/m²·K para convección libre el primero valor en el que se va a simular el comportamiento de la calefacción de la cámara es de 2 W/m²·K, el cual se ve en la figura 47 que con un coeficiente tan bajo la distribución de calor a las 10 horas, apenas alcanza para que la parte superior del tanque llegue a una temperatura de 23 °C y que la parte inferior del tanque alcance los 22 °C entonces se debe hacer todo lo posible para que el coeficiente de transferencia de calor por convección se eleve y genere una mejor transferencia de calor.

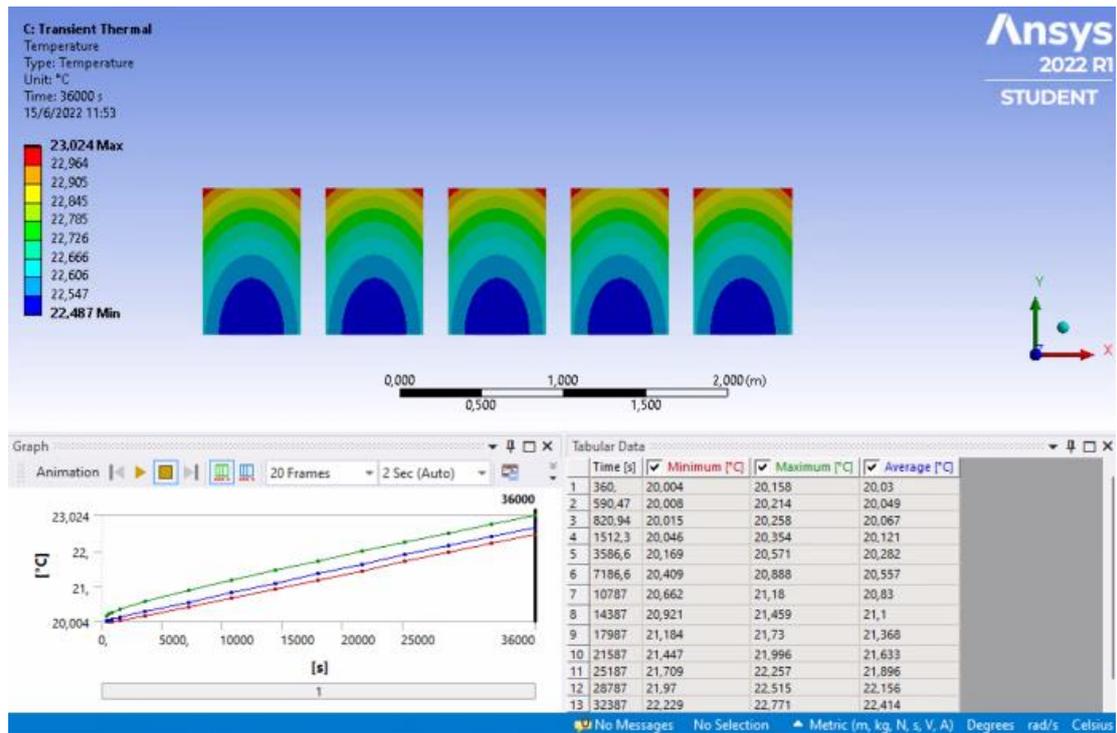


Figura 47. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de $2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Para la siguiente simulación se eleva la relación de transferencia de energía térmica por convección a $7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, la variación más evidente se puede notar en la figura 48 es como después de las 10 horas la temperatura del ambiente de la cámara aumento de una temperatura mínima de 27 °C y la máxima de 29 °C , lo cual hace referencia a que la temperatura si aumenta tanto la mínima como la máxima para los tanques de miel.

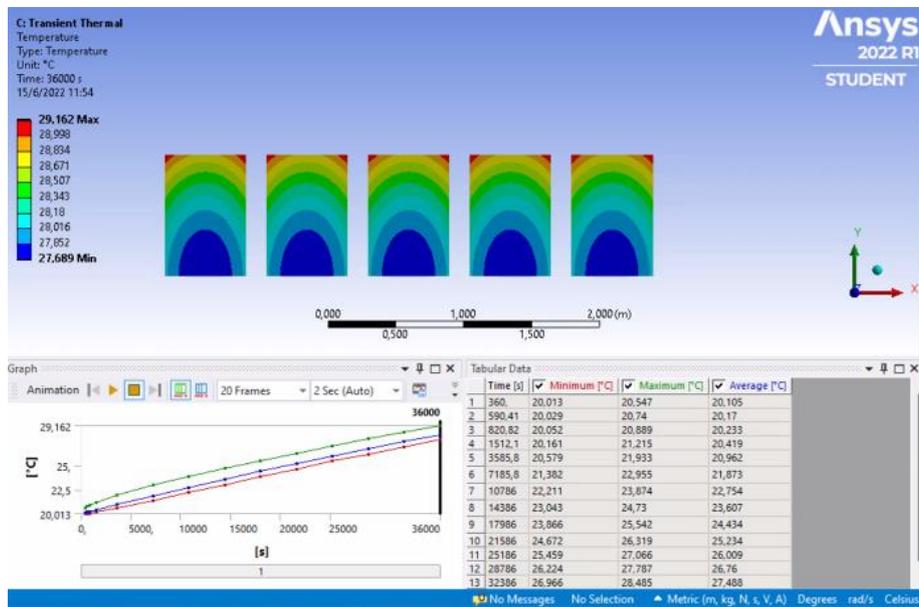


Figura 48. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de $7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

El comportamiento de la cámara de calefacción se elevó la relación de transferencia de energía térmica por convección a $13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, los resultados de este cambio se observan en la figura 49, la cual muestra como a medida que se eleva el coeficiente cambia la distribución de calor dentro del tanque de miel y como además de la parte superior del tanque hay más zonas con temperaturas de $34 \text{ }^\circ\text{C}$.

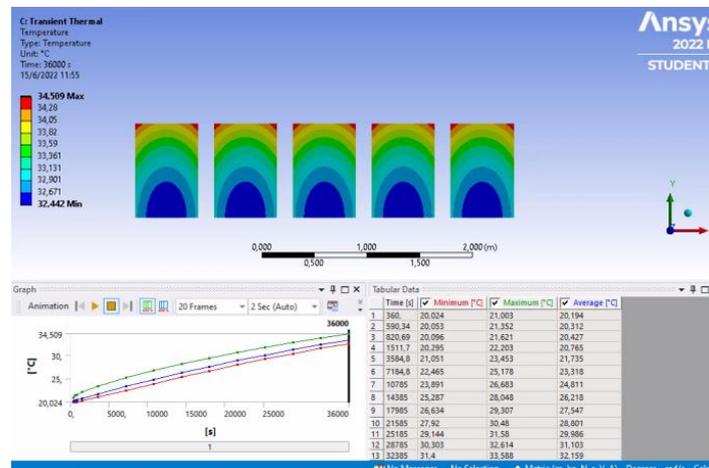


Figura 49. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de $13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

En el análisis final de esta variación se vuelve a mostrar el valor del coeficiente de la transmisión de energía térmica por convección a $23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, el cual indica como en la parte interior de los cilindros la temperatura comienza a aumentar después de 10 horas al igual que en las demás simulaciones la observación de mayor importancia la figura 50, es que la temperatura aumenta de manera uniforme es entre el mínimo de $37 \text{ }^\circ\text{C}$ y el máximo $40 \text{ }^\circ\text{C}$ siempre hay dos o tres grados centígrados de diferencia muy distinto a cuando solo se simuló un solo tanque que la temperatura era muy diferente entre la parte superior del tanque y la base.

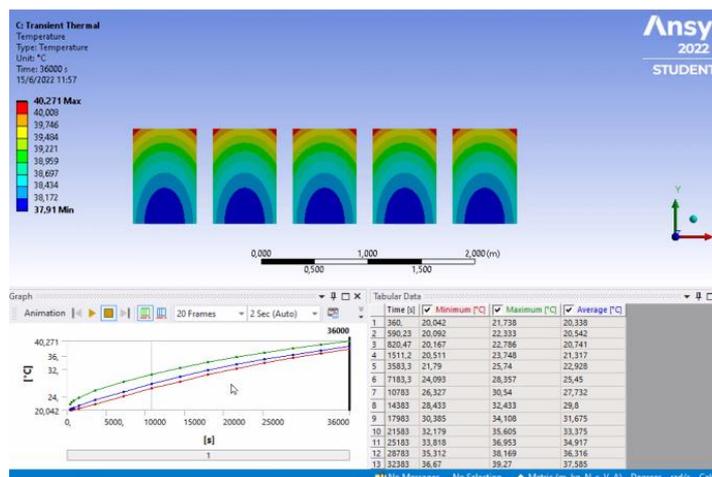


Figura 50. Simulación de 5 tanques de miel con un coeficiente h de $23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

4.9.6.6. Resumen de los resultados obtenidos.

Cuando se cambia el valor de la relación de transferencia de energía térmica por convección, el cambio más notorio es en el calor que se distribuye con mayor dificultad hacia la miel, los rangos de temperatura ayudan a determinar que tomara mucho más tiempo que todo el recipiente de la miel llegue a la temperatura de 50 °C ya que todo el análisis se hizo con un tiempo transcurrido de 10 horas y no se muestra un cambio tan evidente en los rangos de temperatura.

Tabla 20. Resumen de los valores simulados

Coefficiente h	Cambios en el rango de temperatura	Como es la distribución del calor
2 W/m ² ·K	22,48 °C – 23,02 °C	Calor únicamente en la parte superior del tanque.
7 W/m ² ·K	27,68 °C – 29,16 °C	Se empieza a notar aumento de temperatura en las paredes del tanque.
13 W/m ² ·K	32,44 °C – 34,5 °C	Toda la parte superior ya llego a la temperatura requerida.
23 W/m ² ·K	37,91 °C – 40,27 °C	Temperatura elevada en las paredes y en la parte superior del tanque

4.10. Conclusiones del capítulo

Con al análisis de los costos del proyecto se llega a la conclusión que la implementación de este tipo de sistemas de calefacción para evitar la cristalización de la miel no es viable si la empresa tiene un flujo de ingresos y egresos menor a los valores de los costos, no solo por el costo de construcción y mantenimiento del cuarto sino porque si una empresa pequeña que tenga un flujo neto menor a \$ 793,95 como se analizó para el primer año y un flujo neto de caja de \$ 1646,64 que se mantenga en su quinto año y decide implementar este proyecto tiene que saber que no le generara un valor agregado a su miel, en vez de eso este proyecto le ayudara a no perder tanto producto por culpa de la cristalización.

Del análisis del valor actual neto se concluye que para la empresa mieles y colmenas este proyecto si resulta viable ya que el análisis VAN dio un valor de \$112,82 positivo y así el proyecto si se decide se puede invertir en él y llegar construir la cámara de calefacción.

Cuando se decidió realizar un análisis de la tasa interna de retorno de la cifra obtenidos de los flujos de ingresos, flujo de egresos y flujos netos de caja, este análisis TIR del proyecto de la

cámara de calefacción va de la mano con el análisis VAN por lo tanto con la ayuda de los valores obtenidos en el análisis VAN se realizó el cálculo del TIR arrojándonos un valor del 6 % positivo que es un valor mínimo en cuanto este tipo de análisis respecta pero dice que el proyecto es apenas viable para la empresa.

La relación del beneficio y el costo fue otro de los indicadores que se realizó para este proyecto, el cual arrojó un valor de 1.01 y la teoría dice que para el análisis de la relación beneficio costo del proyecto, un valor mayor a 1 ya sería un indicativo positivo para marcar la viabilidad de la realización del proyecto, pero en nuestro caso al ser solo de 1.01 se puede interpretar que la cámara térmica es poco viable para la compañía y que si la producción de miel disminuye de 685,44 kg de miel en promedio al mes que es para lo mínimo que se tiene que ocupar la cámara de calefacción entonces si se debe replantear el tamaño de la cámara para disminuir los costos finales del proyecto y de esta manera el proyecto si sería mucho más viable

Uno de los indicadores en los que más se fijan los inversionistas y la empresa es el tiempo de restauración del dinero puesto en la construcción, este indicador dice que el tiempo aproximado en el que se recuperara el costo total de la construcción de la cabina de calefacción es de 2 años, 10 meses y 10 días aproximadamente, cabe recalcar que este estimación esta vista desde un punto económico y que en el caso de que la producción de miel por motivos ambientales o algún otro factor externo a la empresa se reduzca su producción este tiempo de recuperación puede aumentar, pero en el caso contrario de tener una excelente cosecha de miel y un mercado emergente este tiempo de recuperación llegara a disminuir.

Debido a la apreciación del lector en la lectura de tablas y gráficos se podría afirmar un ligero error al momento de las interpretaciones, debido a que en el análisis de las características físicas y termodinámicas de la miel y los componentes que constituyen la cámara de calefacción de miel varían con un estudio experimental el cual no fue realizado.

CONCLUSIONES GENERALES

Al elegir entre las opciones de diseño, uno de los factores más importantes fue el económico, ya que el mercado al que está dirigido el proyecto está muy infravalorado en el Ecuador, en el caso de que la empresa tenga algún imprevisto externo para cumplir con la producción o que se llegue a contaminar la miel y se tenga que desechar, si estos problemas ocurren mientras pasa el tiempo en el que se restablecerá la inversión la empresa tendría grandes pérdidas económicas.

Como se ha logrado comprobar se tomó la opción de diseño para la cámara que es más eficiente térmicamente debido a que las pérdidas a través de las paredes de la cámara, las cuales son alrededor del 2 % del calor total, son insignificantes en comparación con el flujo de calor total que nos entrega el calefactor de 6,38 kW.

Uno de los indicadores del análisis térmico que dice mucho sobre como sería el calentamiento de la miel, es la difusividad la cual en el capítulo 3 da un valor de $1,9406 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{ s}$ lo que quiere decir que la miel dentro de los tanques es muy mala conductora de calor y que se pudo corroborar en la simulación, ya que se puede notar como en la parte superior los tanques llegan mucho más rápido a la temperatura de trabajo $50 \text{ }^\circ\text{C}$ que en la parte inferior de los mismos.

Es indispensable que el valor térmico en el ambiente a trabajar debe ser cercano a los $50 \text{ }^\circ\text{C}$ al momento de utilizar los diferentes casos de estudio para transferencia de energía térmica a la miel con la cual se consiguió determinar su tiempo y temperatura para evitar su cristalización.

Mediante los cálculos realizados en el capítulo 3 de temperatura, el centro del cilindro de miel cuenta con un valor de $49 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que en la simulación obtenemos valores de $45 \text{ }^\circ\text{C}$, en 5 cilindros de miel, los valores varían debido a imprecisiones en la lectura de las cartas de Heisler, el proceso matemático determinó que el tiempo necesario para evitar la cristalización de un cilindro de miel, se encuentra entre 27 min, mientras que para 21 cilindros capacidad máxima sería un tiempo aproximado de 10 horas.

RECOMENDACIONES

Se propone el desarrollo de un sistema el cual realice la ventilación dentro de la cámara para optimizar la distribución de calor y reemplazar el quemador de gas por uno de mayor calidad los cuales se encuentran dentro del mercado internacional para optimizar el trabajo de la cámara, es importante tomar en cuenta el factor económico dentro de estas recomendaciones.

Se recomienda en lo posible invertir en tanques de acero inoxidable para almacenar la miel, no solo porque es el único material con el que se debe almacenar alimentos sino igualmente porque es un excelente conductor de calor, de la misma manera ayudara a propagar por toda la miel el calor suministrado a la cámara, esto ayudara muchísimo más a evitar la cristalización.

Realizar un estudio más detallado sobre la producción de miel en la comunidad para que de esta manera se aproveche la cámara en un porcentaje no menor al 50 % de su capacidad de almacenamiento es decir al menos tiene que contener 15 tanques de miel como mínimo de otra manera seria un derroche la inversión.

Se debe tomar en cuenta que la cámara de mieles debe estar a la temperatura ambiente promedio del sector Tabacundo la cual es citada del INAMHI, la temperatura es alrededor de 20 °C en el momento que ingrese la miel, para que la miel se mantenga a una temperatura optima de 50°C una vez ya dentro de la cámara con todos sus elementos de calefacción funcionando con anterioridad.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] A. Ulloa *et al.*, “La miel de abeja y su importancia,” *Fuente*, vol. 2, no. 4, pp. 11–18, 2010, doi: 10.1007/978-3-642-35125-9_6.
- [2] L. C. Otojobiga, C. Vincent, and R. K. Stewart, “*Prostephanus truncatus*,” vol. 18, no. 03, pp. 228–229, 2011.
- [3] P. Vit *et al.*, “Composición de la miel de abejas sin aguijón: estableciendo requisitos de calidad,” *Interciencia Rev. Cienc. y Tecnol. América*, vol. 31, no. 12, pp. 867–875, 2006.
- [4] A. M. López Rosa, “Efecto de la humedad de la miel y temperatura de deshidratado en la calidad de la miel procesada,” 2014.
- [5] C. Arias, “Efecto de la congelación en las características fisicoquímicas y sensoriales de la miel de abeja (*Apis mellifera*),” 2018.
- [6] M. C. A. Rodrigo, *Diseño y construcción de una máquina envasadora neumática para miel de abeja con una capacidad hasta 50 unidades por minuto*. 2013.
- [7] S. Victoria, “Análisis de los modelos de transferencia de calor en productos cárnicos utilizando hornos a gas.,” 2017.
- [8] D. M. Rivadeneira moya, “Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna de monjas bajo, parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe.,” 2015.
- [9] Arteaga Maria, “Estudio De Factibilidad Para El Establecimiento De Una Empresa De Producción Y Comercialización De Hortalizas Orgánicas En La Parroquia Juan Montalvo,” 2011.
- [10] C. M. Muñoz Ayala, ““Relación estadística de las propiedades químicas, físicas y microbiológicas de tres muestras de mieles (*Apis mellifera*. L) comerciales, distribuidas en supermercados del distrito metropolitano de Quito,”” 2016.
- [11] E. Rodriguez, “Estudio de las propiedades físico-químicas y biológicas en cinco mieles de abeja (*Apis mellifera*. L.) distribuidas en la red de supermercados del distrito metropolitano de Quito,” 2016.
- [12] E. E. Karina, “Efecto de la madurez a cosecha y de la temperatura de procesamiento en la calidad de la miel de abeja Zamorano,” 2013.
- [13] C. A. Frigerio Tisi, *Elaboración de miel cremada mediante el método de cristalización inducida, y evaluación de sus propiedades texturales*. 2010.

- [14] W. ROSILLO, I. VIVANCO, E. REYES, and D. RODRIGUEZ, *Análisis de las falencias del sector apicultor en la provincia del Guayas*, vol. 41, no. 50. 2020.
- [15] B. Ayala, I. Pablo, V. Robalino, and J. Ii, “Análisis de los costos de producción de miel de abeja en Ecuador como insumo en la generación de políticas públicas que estimulen su producción: caso Pichincha,” vol. 7, pp. 1326–1340, 2020.
- [16] P. A. Zambrano Correa and S. Ortega Alarcon, *Validación de la determinación de hidroximetilfurfural (HMF) en miel de abejas por el método 980.23 de la Aoac para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la universidad tecnológica de pereira*, vol. 13, no. 3. 2015.
- [17] M. C. Mouteira, “Programa de control de residuos en la sada de extracción de miel,” pp. 1–24, 2013.
- [18] C. O. P. GUANOLUISA, “Diseño y contrucción de una máquina desoficadora de miel de abeja con capacidad de 100 L/h, para la asociación de apicultores Asoprime ubicada en la parroquia Tabacundo cantón Pedro Moncayo.,” 2020.
- [19] I. Luna Rivera, Y. Paz Calderón, and L. A. Flores Castillo, “Comercialización de miel en Huajuapán de León: desafíos y oportunidades,” *NOVUM, Rev. Ciencias Soc. Apl.*, vol. 1, no. 10, pp. 124–146, 2020.
- [20] M. S. Marù Jimènez, *Determinación de coeficientes convectivos de transferencia de calor natural y forzada para aletas radiales en agua y agua de mar*. 2004.
- [21] Y. A. ÇENGEL and A. J. GHAJAR, *Transferencia de calor y masa*. MEXICO D.F., 2011.
- [22] J. Emilio and L. Sopena, “Manual de instalaciones de GLP,” p. 299, 2001.
- [23] S. B. J.P Holman, *Heat Transfer, McGraw-Hill India, 10th edition*, 10th ed. 2010.
- [24] D. Venegas Vásquez, C. Ayabaca Sarria, S. Celi Ortega, and J. Rocha Hoyos, “El riesgo en el almacenamiento de GLP en el Ecuador,” *INNOVA Res. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 19–29, 2018.
- [25] Z. Cedeño, “Estimación del Perjuicio al Estado causado por el subsidio otorgado al consumo del Gas Licuado de Petróleo o GLP en el Ecuador y la incidencia de su comercio irregular hacia Colombia o Perú.,” p. 226, 2013.
- [26] M. Monge Talavera, *Uso del GLP en calefaccion*. Arequipa.
- [27] F. J. Belzunce, “Aceros Y Fundiciones,” *Univ. Oviedo*, 2001.
- [28] J. C. Castillo Vásquez, “Sistema electrónico para el control del banco de resistencias

- y estabilización de la potencia en el horno industrial en la empresa Inedyc". AMBATO, 2012.
- [29] D. Syst, S. Corporation, and B. A. Concord, "Guía del instructor para la enseñanza del software," p. 310, [Online]. Available: <http://www.solidworks.com/education>.
- [30] C. SolidWorks, "Introducción a Solidworks," *Solidworks*, pp. 12-4-6-18, 2015, [Online]. Available: https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf.
- [31] J. Diaz and J. Domínguez, "Introducción al Programa ANSYS," pp. 1-61.
- [32] O. Leonidivna and P. Torres, *Introducción al análisis térmico y de fluidos mediante Ansys*. .
- [33] YLEGA, *Catálogo de productos Ylega*. Italia, 2021.
- [34] ASTURGÒ, *Catalogo de productos Asturgò*, Sant Fost. Barcelona, 2010.
- [35] A. Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, *Diseño de una cámara climatizada, automatizada, con manejo de información por telemetría y condiciones operativas controladas para prueba de equipos y materiales*. Bogotá, 2018.
- [36] DENIOS, *Catalogo de productos deinos- Almacenamiento de productos peligrosos*. 2014.
- [37] J. R. Welty, C. E. Wicks, and R. E. Wilson, *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. Oregón, 2002.
- [38] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, "INCROPERA_-_Transferencia_de_calor.pdf," *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico, pp. 2-8, 1999.
- [39] F. Russell, A. S. Robinson, and N. J. Wagner, *Mass And Heat Transfer*. New York, 2008.
- [40] M. José, M. Pita, M. Muñoz, and A. Rovira, "Ingeniería Térmica," *UNED*, 2014.
- [41] A. Clocchiatti and M. Catelan, "Apuntes de transmisión de calor," *Radiac. y Mater. en astrofísica*, pp. 57-90, 2018, doi: 10.2307/j.ctt20fw80h.6.
- [42] S. Chuqui and L. Diaz, "Diseño y simulacion mediante CFD de un intercambiador de calor para el calentamiento del aire interior de un deposito de 3m³ que contiene miel de abeja," 2022.
- [43] C. M. Muñoz Ayala, "Relacion estadística de las propiedades químicas, físicas y microbiológicas de tres muestras de mieles (*Apis mellifera* .L.) comerciales, distribuidas en supermercados del distrito metropolitano de Quito," 2016.
- [44] J. Usabiaga, L. Gallardo, J. Salazar, S. Cajero, and A. Mateos, "Manual Básico de

Apicultura,” *Programa Nac. para el Control la Abeja Africana*, p. 52, 2001.

ANEXOS

Anexo 1. Soluciones aproximadas, analíticas y gráficas[21].

Coeficientes usados en la solución aproximada de un término de la conducción de calor unidimensional en régimen transitorio en paredes planas, cilindros y esferas ($Bi = hL/k$ para una pared plana de espesor $2L$ y $Bi = hr_o/k$ para un cilindro o una esfera de radio r_o)

Bi	<i>Pared plana</i>		<i>Cilindro</i>		<i>Esfera</i>	
	λ_1	A_1	λ_1	A_1	λ_1	A_1
0.01	0.0998	1.0017	0.1412	1.0025	0.1730	1.0030
0.02	0.1410	1.0033	0.1995	1.0050	0.2445	1.0060
0.04	0.1987	1.0066	0.2814	1.0099	0.3450	1.0120
0.06	0.2425	1.0098	0.3438	1.0148	0.4217	1.0179
0.08	0.2791	1.0130	0.3960	1.0197	0.4860	1.0239
0.1	0.3111	1.0161	0.4417	1.0246	0.5423	1.0298
0.2	0.4328	1.0311	0.6170	1.0483	0.7593	1.0592
0.3	0.5218	1.0450	0.7465	1.0712	0.9208	1.0880
0.4	0.5932	1.0580	0.8516	1.0931	1.0528	1.1164
0.5	0.6533	1.0701	0.9408	1.1143	1.1656	1.1441
0.6	0.7051	1.0814	1.0184	1.1345	1.2644	1.1713
0.7	0.7506	1.0918	1.0873	1.1539	1.3525	1.1978
0.8	0.7910	1.1016	1.1490	1.1724	1.4320	1.2236
0.9	0.8274	1.1107	1.2048	1.1902	1.5044	1.2488
1.0	0.8603	1.1191	1.2558	1.2071	1.5708	1.2732
2.0	1.0769	1.1785	1.5995	1.3384	2.0288	1.4793
3.0	1.1925	1.2102	1.7887	1.4191	2.2889	1.6227
4.0	1.2646	1.2287	1.9081	1.4698	2.4556	1.7202
5.0	1.3138	1.2403	1.9898	1.5029	2.5704	1.7870
6.0	1.3496	1.2479	2.0490	1.5253	2.6537	1.8338
7.0	1.3766	1.2532	2.0937	1.5411	2.7165	1.8673
8.0	1.3978	1.2570	2.1286	1.5526	2.7654	1.8920
9.0	1.4149	1.2598	2.1566	1.5611	2.8044	1.9106
10.0	1.4289	1.2620	2.1795	1.5677	2.8363	1.9249
20.0	1.4961	1.2699	2.2880	1.5919	2.9857	1.9781
30.0	1.5202	1.2717	2.3261	1.5973	3.0372	1.9898
40.0	1.5325	1.2723	2.3455	1.5993	3.0632	1.9942
50.0	1.5400	1.2727	2.3572	1.6002	3.0788	1.9962
100.0	1.5552	1.2731	2.3809	1.6015	3.1102	1.9990
∞	1.5708	1.2732	2.4048	1.6021	3.1416	2.0000

Anexo 2. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección [21].

Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	$h, \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}^*$
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10-1 000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20 000
Ebullición y condensación	2 500-100 000

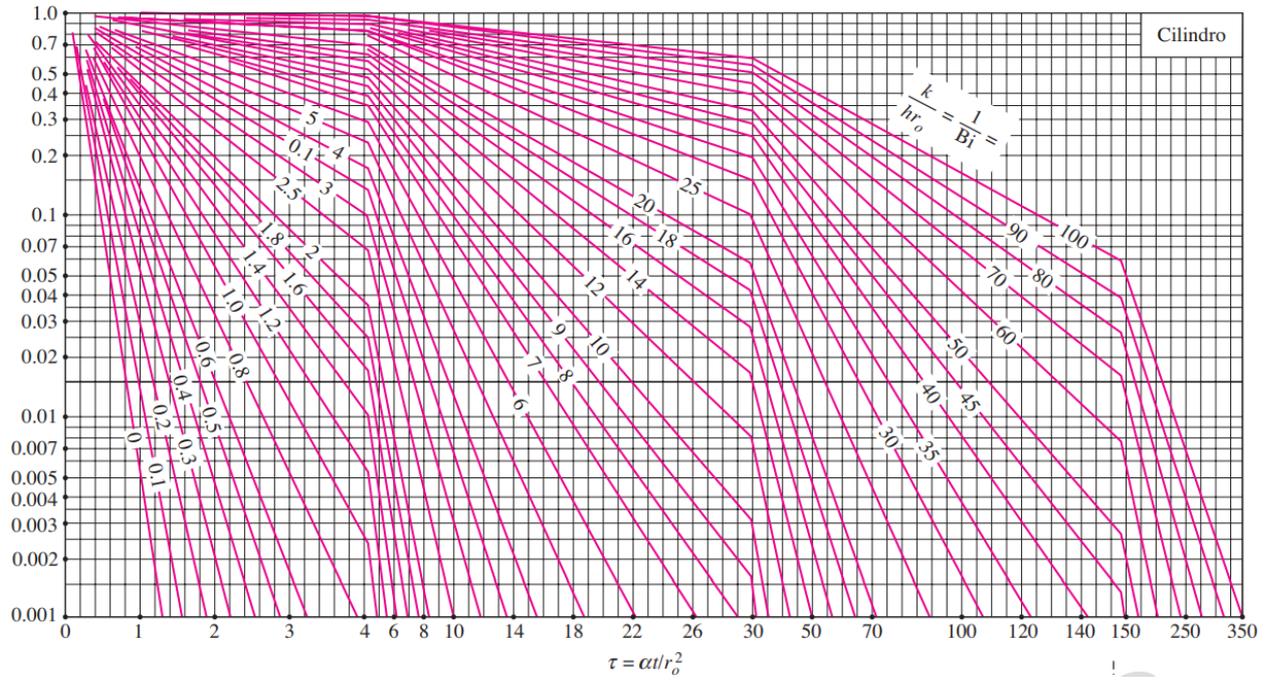
Anexo 3. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

TABLA I.1 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

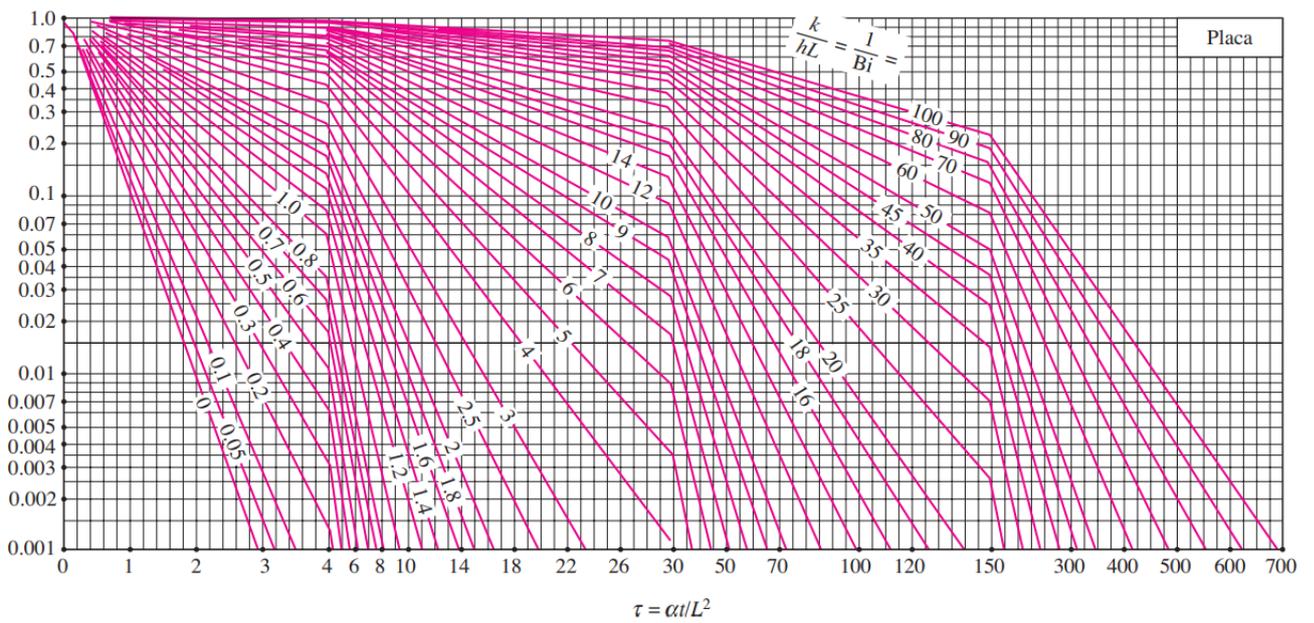
Proceso	h ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
Convección libre	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20,000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500-100,000

Anexo 4. temperaturas del eje de un cilindro largo cuyo radio es r_0 y temperaturas de la línea central de una placa de espesor $2L$, según Heisler.

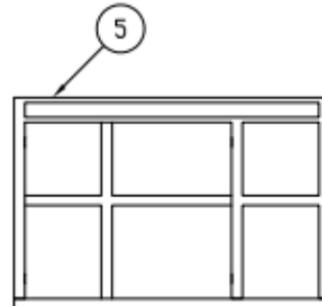
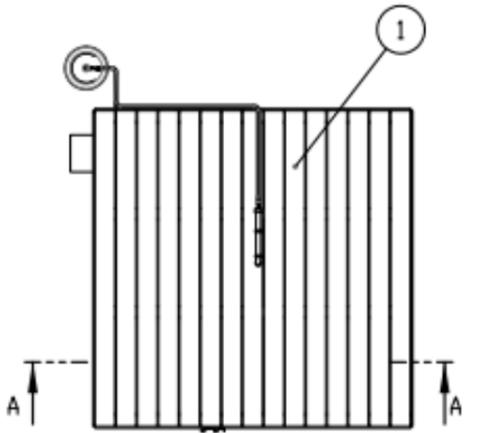
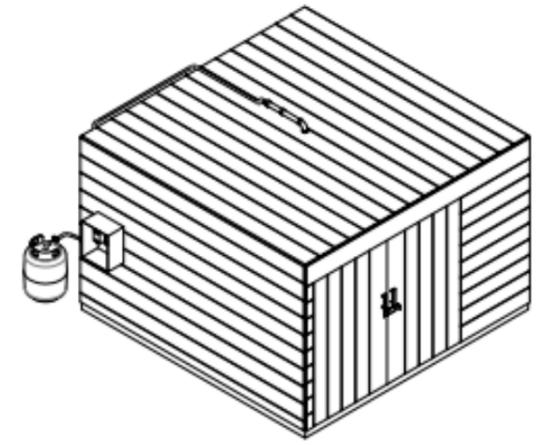
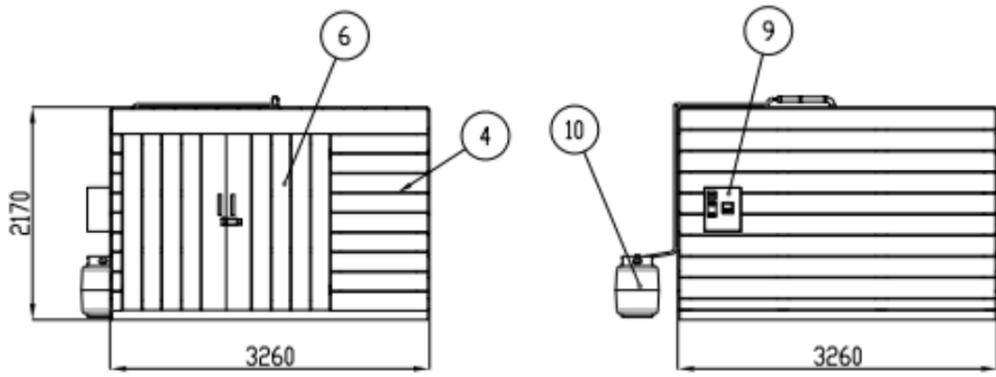
$$\theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$



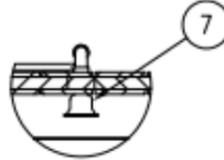
$$\theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$



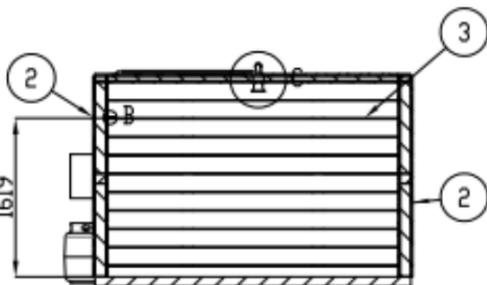
Anexo 5. Planos en conjunto y despiece



DETALLE B
ESCALA 1 : 10



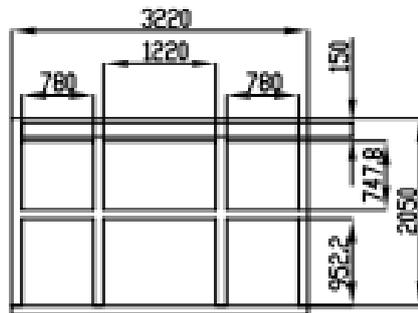
DETALLE C
ESCALA 1 : 20



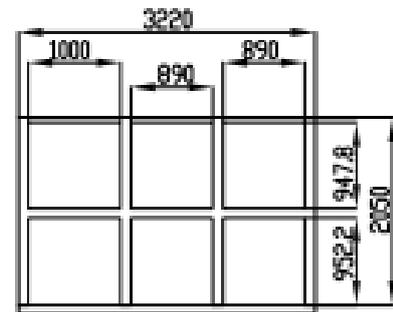
SECCIÓN A-A

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
10	TANQUE GLP	Tanque de gas de 45kg de capacidad	1
9	TABLERO ELÉCTRICO	Table de control para las termocuplas	1
8	TERMOCUPLA	Elemento de lectura de temperatura	1
7	LAMPARA INFRARROJA	Equipo que sirve de calefactor para elevar la temperatura dentro del cuarto	1
6	PUERTA	Entrada al cuarto de calefacción	1
5	ESTRUCTURA DE MADERA	Tanque de gas de 45kg de capacidad	1
4	ESTRUCTURA DE LA PARED FRONTAL	Estructura de madera de la parte frontal del cuarto de 3 x 2 m	1
3	ESTRUCTURA DE LA PARED TRASERA	Estructura de madera de la parte trasera del cuarto de 3 x 2 m	1
2	ESTRUCTURA DE LAS PAREDES LATERALES	estructura de madera de las paredes laterales del cuarto de 3 x 2 m	2
1	ESTRUCTURA DEL TECHO	Estructura de la parte superior del cuarto de 3 x 3 m	1

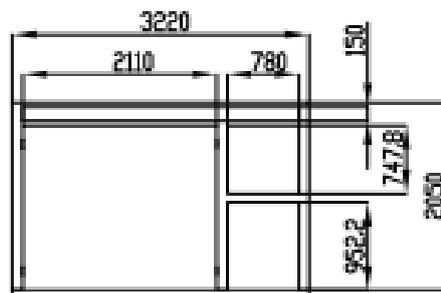
TRATAMIENTO TÉRMICO		DIMENSIONES BRUTAS		MATERIALES	
RECUBRIMIENTO		N/A		N/A	
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		UPS	DISEÑO	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			DIBUJO	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			REVISO	Ing. Fernando T.	2022-6-10
Plano en conjunto de la cabina de calefacción		ESCALA	1.50	CODIGO	01.0752.10
					TOL. GRAL 0.1



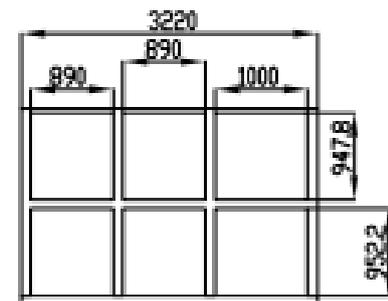
VISTA ATRAS



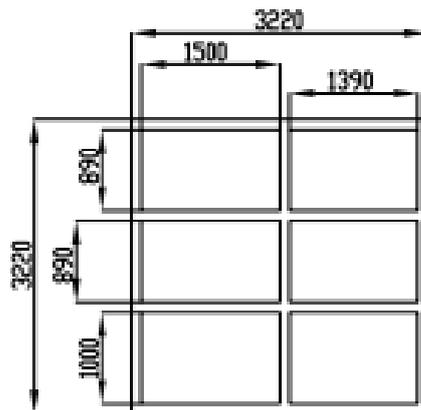
VISTA LATERAL IZQUIERDA



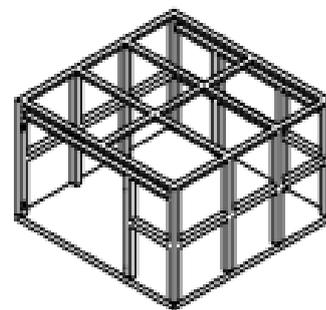
VISTA FRONTAL



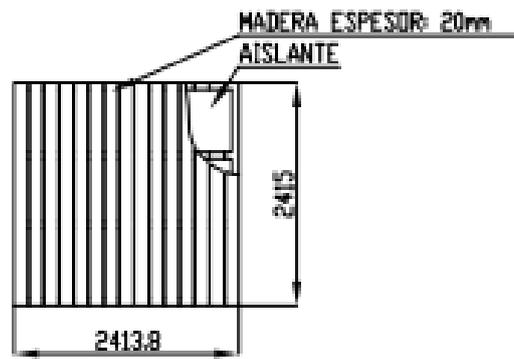
VISTA LATERAL DERECHA



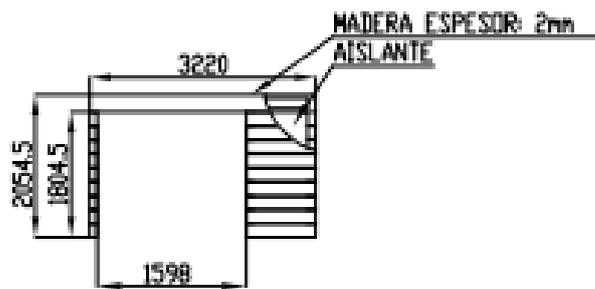
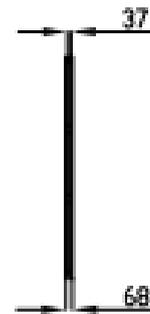
VISTA SUPERIOR



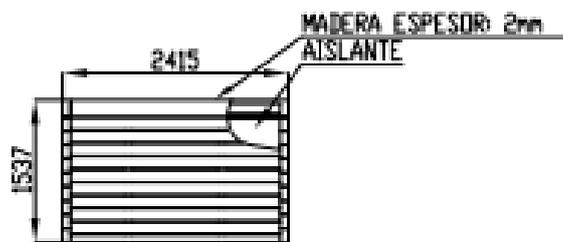
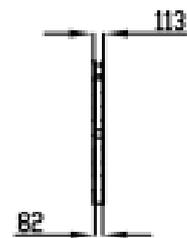
tratamiento termico	N/A	Material	Madera de balsa	Dim Brutas	75x 400x75 mm
recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		UPS	Diseño	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			Dibujo	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			Revisó	Ing. Fernando.T	2022-6-10
Estructura de madera para la cámara de calefacción		Escala 1:100	Código	01.0752.10.01	Tol . Grol ±0.5



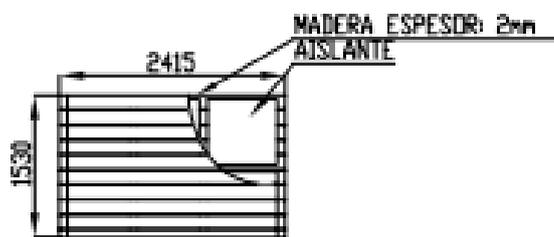
TECHO



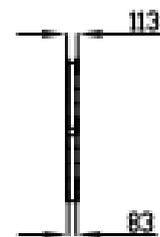
PARED FRONTAL



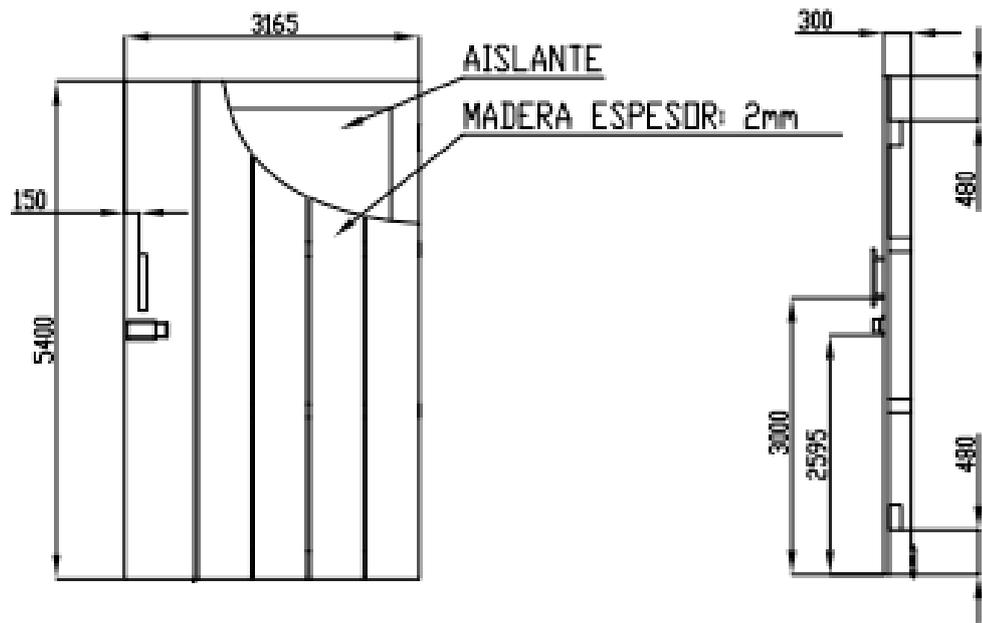
PARED TRASERA



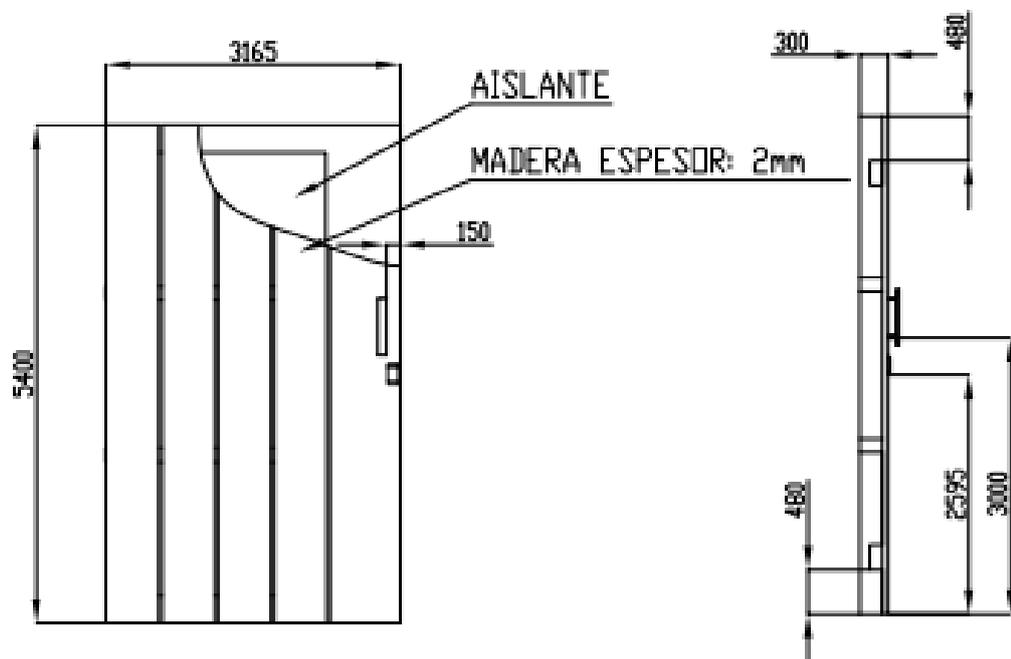
PAREDES LATERALES



tratamiento termico	N/A	Material Madera de balsa y Poliuretano	Dim Brutas		
recubrimiento:	N/A		1530x2415x113 mm		
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		UPS	Diseño	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			Dibujo	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			Revisó	Ing. Fernando.T	2022-6-10
Despiece de las paredes de la cámara		Escala 1:100	Código	01.0752.10.02	Tol. Grol ±0.5



PUERTA DERECHA



PUERTA IZQUIERDA

tratamiento termico	N/A	Material	Madera de balsa y Poliuretano	Dim brutas	3165x5400x150 mm
recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		UPS	Diseño	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			Dibujo	Steven Y. Kevin N.	2022-6-10
			Revisó	Ing. Fernando.T	2022-6-10
Puertas de la camara de calefacción		Escala 1:100	Codigo	01.0752.10.03	Tol . Grol ±0.5