



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en diseño e innovación

Diseño de una colmena para apicultura estabilizada térmicamente por  
materiales de cambio de fase

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestro diseño e innovación

Presenta

Bryan Enrique Estrada Barraza

Dirigido por:

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

Presidente

MDI. Iván Peñaloza Pineda

Secretario

Dra. Andrea Margarita Olvera Ramírez

Vocal

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez

Suplente

MI. Jorge Arturo García Pitol

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario, Junio 2019,

México

## **Dedicatorias**

Esta tesis es dedicada a la madre tierra quien nos ha dado todo y siempre nos lo dará, y que sin ella no habría abejas con quienes trabajar, también está dedicada a la consciencia inmadura y en evolución del humano quien en su arrogancia e inconsciencia ha alterado la tierra hasta el punto en que es menester crear trabajos como el que usted tiene en sus manos para volverla a equilibrar.

En sentido personal dedico este trabajo a mis ancestros quienes me han bendecido para llegar hasta donde estoy, se la dedico a mis hermanos y hermanas quienes me han mostrado el camino muchas veces y ahora esta tesis es un faro en el camino que yo les pudiera mostrar, se la dedico al águila mi opuesto, el mejor maestro que puedo encontrar en la tierra, quien me ha regalado su visión amorosa del mundo y de mí mismo.

Desde luego se la dedico a mis maestros quienes han aparecido siempre que he estado listo para ellos, quienes me han mostrado nuevas realidades y nuevas formas de enlazar mundos y quienes por amor han puesto su empeño en hacer de mi un mejor profesionista y ser humano.

Por último se la dedico a mi yo por haberme puesto en esta experiencia, por haberme abierto caminos, por haberme dotado de fuerzas, capacidades, habilidades, energía y bendiciones para lograr lo que me he propuesto, para comprender, ser consciente y servir a los demás.

## **Agradecimientos**

A la universidad autónoma de Querétaro, al consejo nacional de ciencia y tecnología y a nuestro infinito y abundante universo.

## Índice

Dedicatorias .....	2
Agradecimientos .....	3
Índice .....	4
Índice de tablas .....	7
Índice de figuras .....	8
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>II. ANTECEDENTES .....</b>	<b>18</b>
I.1.1 Estructura estándar de colmena.....	18
I.1.2 Elementos de una colmena tradicional.....	20
I.1.3 Cámara de cría.....	22
I.1.4 Efecto de la temperatura en las enfermedades y factores biológicos .....	24
I.1.4. Incorporación de materiales alternativos en el diseño de la colmena .....	25
I.1.5. Sistemas de almacenamiento de calor latente.....	26
I.1.5 Aplicaciones de los materiales de cambio de fase .....	27
I.1.6 Variación térmica .....	28
I.1.7 Manufactura de la colmena tradicional de madera.....	29
I.1.8 Matriz <i>Quarter isogrid</i> .....	31
I.1.9 Metodología doble diamante .....	32
I.1.10 Análisis de mercado .....	34
I.2 JUSTIFICACIÓN .....	35
<b>III. HIPÓTESIS .....</b>	<b>36</b>
<b>IV. OBJETIVOS .....</b>	<b>36</b>
IV.1. OBJETIVO GENERAL .....	36
IV.2. OBJETIVOS PARTICULARES .....	36
<b>V. METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
V.1. Descubrir .....	38
V.2. Definir.....	39
V.3. Desarrollar.....	40
V.4. Entregar.....	40

V.5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	40
V.5.4.	UBICACIÓN Y CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.....	40
V.6.	OBJETO EXPERIMENTAL .....	41
V.7.	MATERIALES .....	41
V.7.4.	Materiales utilizados en el prototipo de colmena .....	41
V.7.4.1.	Cartón corrugado .....	41
V.7.4.2.	Resina de poliéster .....	43
V.7.4.3.	Fibra de vidrio.....	44
V.7.4.4.	Cloruro de calcio .....	44
V.8.	Software .....	46
V.9.	MÉTODOS.....	46
V.9.4.	Diseño de la estructura de la colmena .....	46
V.9.5.	Materiales y estrategia de manufactura .....	50
V.9.6.	Construcción del prototipo de cámara de cría colmena <i>Quarter isogrid</i> .....	56
V.9.6.1.	Ingeniería inversa a tablas de surf y los ensamblajes de su estructura Quarter of Isogrid .....	56
V.9.6.2.	Diseño CAD de las costillas de la matriz.....	60
V.9.6.3.	Prueba de los ensamblajes .....	60
V.9.6.4.	Rediseño de las costillas de la matriz y modelado en 3D de la cámara de cría <i>Quarter isogrid</i> .....	61
V.9.7.	Evaluación del cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) como material de cambio de fase. ....	61
V.9.8.	Evaluación del comportamiento como PCM del cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) .....	64
V.9.9.	Encapsulado del material de cambio de fase.....	64
V.9.10.	Rediseño de la capsula para el $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .....	65
V.9.11.	Diseño del sistema de monitoreo de temperatura .....	66
V.9.12.	Verificación y ajuste de las mediciones de los termómetros DHT22.....	69
V.10.	CORRIDA EXPERIMENTAL DE VALIDACIÓN DE LA TESIS.....	70
<b>VI.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>74</b>
VI.1.	<b>Resultados del estudio bajo la metodología doble diamante del entorno apícola.</b> 74	
VI.2.	<b>Etapa 4: Entrega. Resultados del diseño estructural de la colmena <i>Quarter isogrid</i></b> 79	
VI.2.4.1.	Ensamble de panel <i>Quarter isogrid</i> .....	82

VI.2.4.2.	Recubrimiento con resina y fibra de vidrio de la cámara de cría de la colmena <i>Quarter isogrid</i> .....	83
VI.3.	<b>Resultado de la validación del comportamiento del cloruro de calcio hexahidratado (<math>\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math>) como material de cambio de fase</b> .....	88
VI.4.	<b>Resultados de la encapsulación del material de cambio de fase</b> .....	89
VI.4.5.	Encapsulación en viales de vidrio .....	90
VI.5.	<b>Resultados de la construcción del sistema de validación</b> .....	91
VI.6.	<b>Resultados de los experimentos de comportamiento térmico de las colmenas</b> .....	93
VI.6.4.	<b>Experimento 0: Evaluación del comportamiento de la colmena QI en el ambiente</b> .....	93
VI.6.4.1.	Hipótesis particulares del experimento 0 .....	94
VI.6.4.2.	Datos recopilados del experimento 0.....	94
IV.1.5.1.	Pruebas estadísticas .....	99
IV.1.5.1.1.	Prueba t de student .....	99
IV.1.5.2.	Análisis de Varianza .....	101
IV.1.7.	<b>Experimento 2: Evaluación en entorno cerrado del comportamiento térmico de las colmenas con PCM</b> .....	106
IV.1.7.1.	Hipótesis particulares del experimento 2 .....	107
IV.1.7.2.	Resultados del experimento 2 .....	109
IV.1.7.2.1.	Hipótesis I.....	109
IV.1.7.2.2.	Hipótesis II.....	114
IV.1.7.2.3.	Hipótesis III .....	114
IV.1.7.2.4.	Hipótesis IV.....	115
IV.1.8.	<b>Experimento 3: Evaluación en intemperie de comportamiento térmico de las colmenas con PCM</b> .....	115
VII.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	124
VIII.	<b>REFERENCIAS</b> .....	126
IX.	<b>ANEXOS</b> .....	130

## Índice de tablas

Tabla 1 Definición de "Colmena" .....	18
Tabla 2 Medidas de las colmenas Langstroth y Jumbo.....	20
Tabla 3 Preguntas aplicadas en la entrevista.....	39
Tabla 4 Tipos de flautas en cartón corrugado y su altura de marco. Fuente: (empaques y cajas, 2018).....	41
Tabla 5 Descripción de los materiales, su importancia y proveedores, utilizados en la construcción de la colmena .....	45
Tabla 6 Software utilizado para el diseño y el modelado .....	46
Tabla 7 Lista de especificaciones para el diseño de la cámara de cría, R=requerimiento, D=deseo. Fuente: Elaboración propia .....	46
Tabla 8 Trabajos previos estudiados para llegar a la estructura final. Fuente: Elaboración propia .....	48
Tabla 9 Inspiración encontrada en ejemplos análogos. Fuente: Elaboración propia .....	49
Tabla 10 Comparativa de técnicas de manufactura disponibles, ventajas y desventajas. Fuente: Elaboración propia .....	52
Tabla 11 Análisis de materiales de acuerdo a sus propiedades Fuente: Elaboración propia. Basado en la información del libro "Sustainable materials processes and production" (Thompson, 2013).....	55
Tabla 12 Áreas de mejora de los primeros dos prototipos .....	60
Tabla 13 Pesos Moleculares .....	62
Tabla 14 Materiales necesarios para sistema de monitoreo de temperatura .....	67
Tabla 15 Ficha técnica del sensor DHT22. Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd, 2018).....	69
Tabla 16 Tabla de correcciones de los termómetros DHT22 .....	70
Tabla 17 Colmenas empleadas en el experimento .....	70
Tabla 18 Número de piezas necesarias para la colmena, Filas= tipo de piezas y columnas = número de muescas en cada pieza .....	81

Tabla 19 Lista de especificaciones para el diseño de la cámara de cría con su grado de cumplimiento, R=requerimiento, D=deseo. Fuente: Elaboración propia .....	85
Tabla 20 Comparativa de los atributos de ambas colmenas, en azul la colmena con las mejores especificaciones .....	87
Tabla 21 Áreas de mejora del proceso de encapsulado .....	89
Tabla 22 Ventajas y desventajas de la encapsulación en Viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml.....	91
Tabla 23 Objeto experimental del experimento 0 .....	93
Tabla 24 Cuadro de datos recolectados por el sistema en un periodo de 24 horas del 07/03/2018 al 08/03/2018.....	94
Tabla 25 Condiciones climatológicas durante el experimento.....	96
Tabla 26 Datos estadísticos del experimento con escalas de color .....	97
Tabla 27 $\Delta T$ de la colmena contra el $\Delta T$ del ambiente.....	99
Tabla 28 Temperaturas internas de las colmenas y el ambiente recolectadas durante el experimento 1.....	104
Tabla 29 Análisis de varianza de un factor de los datos de temperatura recolectados en el experimento 1 .....	105
Tabla 30 Datos recopilados durante el experimento 2. ....	108
Tabla 31 Diferencia de % de tiempo dentro del intervalo de la hipótesis de las colmenas QI contra las de madera .....	114
Tabla 32 Temperatura promedio de los tratamientos durante el experimento 2 .....	114
Tabla 33 Variaciones térmicas de las colmenas con PCM y las colmenas de madera.....	115

### **Índice de figuras**

Figura 1 Colmena Jumbo. (a) Bastidor con alambre. (b) Bastidor con alambre y lámina de cera. (c) Vista lateral de una colmena Jumbo con sus respectivos bastidores. Fuente: (Sagarpa, 2014).....	20
--	----

Figura 2 Partes de una colmena ilustrados en una colmena tipo Langstroth. Fuente: (Sagarpa, 2014).	22
Figura 3 Distribución de la miel, el polen y las crías en la cámara de cría Fuente: Elaboración propia	23
Figura 4 Vista lateral y frontal de la distribución miel, polen y cría. Fuente: (López Caballero, 2016)	23
Figura 5 Relación de las temperaturas críticas de la abeja <i>Apis mellifera</i> , el acaro <i>Varroa</i> y el hongo <i>Ascosphaera apis</i> . Fuente: Elaboración propia Datos: (Satta, 2004) (Bordier, et al., 2017).	25
Figura 6 Graficas del almacenamiento por calor sensible (a) y por del almacenamiento por calor latente (b).	26
Figura 7 Grafica del comportamiento de la temperatura ambiental a lo largo del día y la noche Fuente: (Biblioteca ambiental virtual de desarrollo sostenible y salud, 2018)	29
Figura 8 Ensamble tipo cola de milano Fuente: (woodgears, 2018)	30
Figura 9 Matriz Isogrid. Fuente: (Sheldrake, 2018)	31
Figura 10 Conversión de Isogrid en Quarter isogrid Fuente: (Sheldrake, 2018)	31
Figura 11 Matriz Quarter isogrid. Fuente: (Sheldrake, 2018)	32
Figura 12 Esquema metodología doble diamante. Fuente: elaboración propia	33
Figura 13 Doble diamante renovado. Fuente: Adaptación propia. Elaborado por: (Nessler, 2018)	34
Figura 14 Gráficos del número de apicultores en la república Mexicana(a) y el estado de Querétaro (b) 1991, 2007. Fuente: Elaboración propia, datos (INEGI, 2012).	35
Figura 15 Metodología seguida para el desarrollo del proyecto. Fuente: Elaboración propia	38
Figura 16 Conformación del cartón corrugado tipo C y espesor de sus elementos Fuente: Elaboración propia	42
Figura 17 Propiedades de la RESINA POLIESTER PP-70 X60 Fuente: (Poliformas plásticas, 2018)	44

Figura 18 Requisitos y soluciones evaluadas para la manufactura de la cámara de cría .....	51
Figura 19 Fotografía de la nariz de una tabla de surf hecha de un núcleo de matriz Quarter isogrid de cartón. Fuente: (Sheldrake, 2018) .....	57
Figura 20 Patrones de corte del cartón en las tablas de Sheldrake. a) Costilla tipo peine, b) costilla tipo Zigzag. Fuente: (Sheldrake, 2018). .....	58
Figura 21 Dimensiones de la muesca de ensamble de las costillas. Fuente: (Sheldrake, 2018).....	59
Figura 22 a) Ensamble de la tabla en proceso. b) Núcleo de la tabla completamente armado. Fuente: (Sheldrake, 2018) .....	59
Figura 23 Prototipo CP1: peine 14 muescas.....	60
Figura 24 Prototipo CZ1: Zigzag 45 muescas .....	60
Figura 25 Solución de $\text{CaCl}_2$ y $\text{H}_2\text{O}$ .....	63
Figura 26 Arreglo cristalino de cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en frasco ambar. Fuente elaboración propia.....	63
Figura 27 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Encapsulado en plástico.....	65
Figura 28 Viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml de capacidad.....	66
Figura 29 Diagrama del prototipo para la recolección de datos. Fuente: Elaboración propia .....	67
Figura 30 Diagrama de experimentos para la validación de la hipótesis.....	73
Figura 31 Etapa Descubrir Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 32 Grafica de interrelaciones de los factores apícolas de la problemática estudiada Fuente: elaboración propia. ....	77
Figura 33 Posibles soluciones (en amarillo) a los ejes (naranja) sobre los cuales incidir Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 34 Vista lateral del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena .....	79
Figura 35 Vista superior del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena.....	80

Figura 36 Vista lateral del lado angosto del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena.....	80
Figura 37 Vista isométrica del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena.....	81
Figura 38 Dibujo técnico de las piezas necesarias para la cámara de cría. (El número necesario de cada una se encuentra como anotación a lado de la pieza) .....	82
Figura 39 Matriz de cartón armada .....	83
Figura 40 Colmena completa con cámara de cría Quarter isogrid recubierta con resina y fibra de vidrio .....	84
Figura 41 Vista interior de las paredes de la cámara de cría .....	85
Figura 42 Curva temperatura/tiempo obtenida del experimento en la cámara Peltier, en verde las zonas isotermas, en azul y rojo los decrementos y aumentos de temperatura respectivamente.....	89
Figura 43 Viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml de capacidad.....	90
Figura 44 Diagrama esquemático del sistema de monitoreo de temperatura .....	92
Figura 45 Diseño de PCB para el sistema de monitoreo de temperatura .....	92
Figura 46 Comportamiento de temperaturas recolectadas por el sistema. Fuente: Elaboración propia. ....	97
Figura 47 Prueba T de student datos 24 horas. Fuente: Elaboración propia, Formato de R. ....	100
Figura 48 Poder de la prueba t de student 24 horas). Fuente: Elaboración propia, Formato de R. ....	100
Figura 49 Prueba T de student datos diurnos (6:47 a 18:49 horas). Fuente: Elaboración propia, Formato de R .....	101
Figura 50 Poder de la prueba t de student datos diurnos (6:47 a 18:49 horas). Fuente: Elaboración propia, Formato de R .....	101
Figura 51 Análisis de varianza Fuente: Elaboración propia, Formato de R.....	102
Figura 52 BoxPlot de los datos. Fuente: Elaboración propia.....	103

Figura 53 Muestra el comportamiento de la temperatura durante la realización del experimento .....	105
Figura 54 Colmenas durante el experimento 2 .....	107
Figura 55 Grafico de los datos recopilados durante el experimento 2. ....	109
Figura 56 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena de madera #1 durante el experimento 2.....	110
Figura 57 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena de madera #2 durante el experimento 2.....	111
Figura 58 Histograma de frecuencias de la temperatura ambiental durante el experimento 2 .....	111
Figura 59 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena QI+PCM #1 durante el experimento 2.....	112
Figura 60 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena QI+PCM #2 durante el experimento 2.....	112
Figura 61 Grafica de barras del porcentaje del tiempo del experimento 2 en el que los 5 tratamientos estuvieron en el rango de 26.4 a 32°C.....	113
Figura 62 Marcado con una flecha amarilla el punto donde se colocaron las colmenas.....	116
Figura 63 Colocación de las colmenas en el campo con las piqueras orientadas hacia el sur.....	117
Figura 64 Condiciones climatológicas del 1 de octubre del 2018 al 7 de octubre del 2018 .....	118
Figura 65 Grafica del comportamiento de las temperaturas registradas durante el experimento 3 .....	119
Figura 66 Grafica del comportamiento de las temperaturas registradas durante el experimento 3 con marcas del comportamiento térmico .....	119
Figura 67 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena de madera #1 estaba dentro de los 33 - 36°C .....	120
Figura 68 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena de madera #2 estaba dentro de los 33 - 36°C .....	121

Figura 69 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura ambiental estaba dentro de los 33 - 36°C.....121

Figura 70 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena QI\_PCM #1 estaban dentro de los 33 - 36°C.....122

Figura 71 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena QI\_PCM #2 estaban dentro de los 33 - 36°C.....122

Figura 72 Porcentaje de tiempo en el que la temperatura interna de cada uno de los tratamientos estaba dentro del rango de los 33 a 36°C.....123

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el de diseñar una colmena para apicultura cuyos materiales reemplacen a la madera y a la forma de manufacturar colmenas de este material, de modo que se le atribuyan propiedades beneficiosas a la colmena como mayor durabilidad, ligereza y resistencia a plagas y se encuentre una estrategia de automatizar parte de la producción con herramientas disponibles en el mercado. Como eje central de la investigación se tomó el objetivo de incorporar un sistema de almacenamiento de calor latente basado en materiales de cambio de fase como auxiliar en la homeostasis del enjambre. Para validar estos atributos fue necesario comparar el comportamiento térmico de la colmena desarrollada llamada "*Quarter isogrid*" y los materiales de cambio de fase incorporados en ella, contra el comportamiento térmico de las colmenas tradicionales hechas de madera, monitoreando electrónicamente su temperatura a lo largo del día para encontrar el modelo que posea una inercia térmica más próxima al rango óptimo de temperatura de crianza de las abejas (33 – 36 °C). Durante el desarrollo de la colmena se siguió la metodología de doble diamante la cual consta de cuatro etapas (descubrir, definir, desarrollar y entregar) seleccionada por su simplicidad y efectividad al momento de desarrollar una solución. El producto diseñado consistió en una colmena apícola cuya estructura está basada en la matriz *Quarter isogrid*, cuyo arreglo geométrico brinda propiedades mecánicas requeridas para su óptimo desempeño, por su lado, los materiales incorporados juegan un papel activo en la regulación de la temperatura interna de la misma. Hecha principalmente de cartón corrugado recubierto con resina y fibra de vidrio, se le incorporo cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) como almacén de calor latente en las celdas formadas en su estructura. Para su validación se diseñó un sistema instrumentado basado en arduino el cual constó de 5 sensores de temperatura los cuales se ubicaron en la parte interna de la colmena y en el ambiente para recopilar datos del comportamiento térmico de la colmena en intervalos regulares de tiempo a distintas condiciones ambientales. Se lograron realizar un total de 4 experimentos, los cuales revelaron que aunque existe una diferencia positiva en la conservación de la energía térmica, esta diferencia no es significativa como para aceptar la hipótesis sin embargo se logró diseñar una colmena apícola con tributos y propiedades mejoradas que pudieran aumentar la competitividad de los apicultores en México.

(**Palabras clave:** Materiales de cambio de fase; almacenamiento de calor latente; termorregulación pasiva; colmena apícola)

## ABSTRACT

The objective of this work is to design a beehive for beekeeping whose materials replace the wood and how to manufacture hives of this material, seeking to attribute beneficial properties to the hive as greater durability, lightness and resistance to pests and find a strategy to automate part of the production with tools available in the market. The main objective of the research was to incorporate a latent heat storage system based on phase change materials as an aid in swarm homeostasis. To validate these attributes was necessary to compare the thermal behavior of the developed beehive called "*Quarter isogrid*" and the phase change materials incorporated in it, against the thermal behavior of traditional beehives made of wood, electronically monitoring its temperature along the day to find the model that has a thermal inertia closer to the optimum temperature range of breeding bees (33 - 36 ° C). During the development of the hive the methodology of double diamond was followed which consists of four stages (discover, define, develop and deliver) selected for its simplicity and effectiveness when developing a solution. The product designed consisted of an apicultural hive whose structure is based on the matrix *Quarter isogrid*, whose geometric arrangement provides mechanical properties required for its optimal performance, on the other hand, the incorporated materials play an active role in the regulation of the internal temperature of the same. Made mainly of corrugated cardboard coated with resin and fiberglass, calcium chloride hexahydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) was incorporated as a latent heat store in the cells formed in its structure. For its validation, an instrumented system based on arduino was designed which consisted of 5 temperature sensors which were located in the internal part of the hive and in the environment to collect data at regular intervals of thermal behavior of the hive exposed to different environmental conditions. A total of 4 experiments were carried out, which revealed that although there is a positive difference in the conservation of thermal energy, this difference is not significant enough to accept the hypothesis, however, it was possible to design a beehive with improved tributes and properties to increase the competitiveness of beekeepers in Mexico.

**(Keywords:** Phase change materials; latent heat storage; passive thermoregulation; beehive)

## I. INTRODUCCIÓN

La colmena apícola “moderna” es un artefacto desarrollado por el hombre que le sirve como herramienta para el cultivo de la especie *Apis Mellifera* y a esta última como hábitat artificial. Desde su desarrollo (patentada en 1852), el entorno ambiental ha cambiado y ambas especies han tenido que adaptar y cambiar la forma en que interaccionan con el mismo, sin embargo la colmena apícola se ha mantenido inalterada todo este tiempo pudiéndose considerar obsoleta en algunos contextos.

Desde finales de la década de los 80 la apicultura en México se ha visto afectada debido entre otros factores a: enfermedades como las loques, la intrusión de factores biológicos como la abeja africanizada, el ácaro *Varroa destructor* y recientemente el pequeño escarabajo de la colmena (Rosenkranz, 2010); todo esto ha impactado en el rendimiento por colmena y ha ocasionado inestabilidad del sector apícola (Contreras Escareño, 2013); (Pinto & Puker, 2012).

La temperatura juega un papel muy importante en la colmena influyendo directamente en la vulnerabilidad de sus habitantes a pesticidas, patógenos y enfermedades (Mullin, et al., 2010); (Noori, Khelod, Ahmed, & Mohammad, 2012), así como en el desarrollo de las larvas de abeja y en su posterior desempeño como unidad de este súper organismo (Oldroyd, 2007); (Medrzycki, 2010).

Las temperaturas anuales del estado de Querétaro son de 18°C en promedio, con una máxima de **28°C** y una mínima promedio de **6°C** (INEGI, 2016), **los posibles escenarios climatológicos** a los que podría estar expuesta una colmena en ausencia de un sistema de almacenamiento térmico, obliga al organismo a compensar la diferencia de temperatura entre el ambiente y la temperatura óptima en la cámara de cría (34.5°C) (Medrzycki, 2010).

Por lo que una variación térmica considerable implica realizar un esfuerzo enorme para termoregular la cámara de cría por parte de las abejas. Las consecuencias de dicha labor son perjudiciales para la productividad, repercutiendo en el consumo de miel destinado a la termorregulación (Satta, 2004)

y en la salud de la colmena, pudiendo incluso llevarla al colapso (Jones, 2004); (VanEngelsdorp, 2009).

Además, una cantidad considerable de humedad condensada en las paredes, producida por la conversión metabólica de la miel en calor, disminuye la capacidad que tienen las abejas para termoregular la colmena, ocasionando graves enfermedades, así como el desarrollo de moho e invasión por babosas o algún otro organismo que se vea atraído por estas condiciones (Sudarsan, 2012).

Basado en los retos que enfrentan los apicultores actualmente y las condiciones climatológicas de la región antes mencionadas, se propuso el siguiente trabajo de investigación, el cual busca regular la temperatura al interior de la colmena para así reducir la incidencia de fenómenos perjudiciales que afectan a las abejas, como lo es el “*absconding*” o fuga de la colmena (Kridi, De carvalho C, & Gomes, 2016), la vulnerabilidad del enjambre frente a plagas, enfermedades y agro-tóxicos influida en parte por temperaturas de incubación anormales (Oldroyd, 2007) (Medrzycki, 2010) (Mullin, et al., 2010) (Noori, Khelod, Ahmed, & Mohammad, 2012) y reducir el consumo energético del enjambre invertido en termorregulación.

Para ello se orientó el trabajo de investigación a rediseñar la colmena apícola considerada la herramienta principal de un apicultor, el hábitat artificial por excelencia de las abejas del género *Apis* y el vínculo de interacción y simbiosis entre estas dos especies.

El desarrollo de la presente tesis giró en torno a tres ejes principales, el diseño estructural de la colmena basado en matrices geométricas (*Quarter isogrid*), la incorporación de materiales de cambio de fase como almacenes de calor latente y usabilidad percibida por el usuario.

## II. ANTECEDENTES

La apicultura, se define como el conjunto de técnicas y conocimientos relativos a la cría de las abejas (RAE, 2016), específicamente a las pertenecientes al género *Apis*, como la especie *Apis mellifera* o abeja doméstica europea (Halcroft & Neumann, 2011).

En México esta actividad se ubica entre los tres primeros lugares en el sector pecuario como generadora de divisas, cuya derrama económica beneficia principalmente al sector rural, especialmente al que se encuentra ubicado en las áreas marginadas; permite aprovechar los recursos néctar-poliníferos de las principales zonas apícolas del país y ha sido tradicionalmente una actividad complementaria de las actividades agropecuarias del campesino (Flórez Martínez, 2013); (INEGI , 2012).

### I.1.1 Estructura estándar de colmena

En México la palabra colmena puede ser usada para referirse a la abeja como individuo (Oxford, 2017), sin embargo como se detalla en la Tabla 1 esta palabra es ampliamente usada para hacer referencia al objeto, lugar o espacio donde habita un enjambre de abejas, por tal motivo en el presente trabajo se usará de esa manera.

Tabla 1 Definición de "Colmena"

Colmena	Autor
Quizá del celta <i>*kolmēnā</i> , der. de <i>*kōlmos</i> 'paja'; cf. bretón <i>kôlôen-wénan</i> , de <i>kôlô</i> 'paja' y <i>wénan</i> 'abejas'. 1. f. Habitación natural de las abejas. 2. f. Enjambre que vive en la colmena. 3. f. Recipiente construido para habitáculo de las abejas.	(RAE, 2016)
Una colmena es el lugar donde habita una colonia o familia de abejas.	(Sagarpa, 2014)

1. Habitáculo que utilizan las abejas para protegerse, reproducirse, y producir y guardar la miel y la cera; puede ser natural o fabricado por el ser humano. 2. Comunidad de abejas que viven en ese habitáculo. 3. Abeja (México).	(Oxford, 2017)
Cualquier tipo de contenedor puesto por la gente en el cual las abejas pueden construir sus nidos.	(FAO, 2017)

Fuente: elaboración propia. Datos ver columna dos.

En el país se utilizan principalmente dos tipos diferentes de colmenas (Sagarpa, 2014):

- Colmena Langstroth: La colmena Langstroth lleva el nombre de su inventor, Lorenzo Langstroth (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Fue patentada en Estados Unidos en 1852. Esta colmena de tipo vertical, revolucionó al mundo por sus cuadros móviles y alzas móviles. Al utilizarla es necesario realizar manejos adecuados, principalmente en la cámara de cría, la cual es necesario agrandar durante el crecimiento del enjambre y achicar quitando alzas durante la temporada invernal.

En la trashumancia es fácil mover cámaras de cría, pero resulta muy complicado mover colmenas con un alza melaria arriba; su cámara de cría se compone de uno o dos cubos con diez bastidores de 9 ½" (232 cm) de profundidad en cada uno.

- Colmena Jumbo o "Dadant": Es similar en estructura a la colmena Langstroth excepto por su mayor altura, es la más utilizada en México y consiste principalmente en un cubo como cámara de cría con 10 bastidores de 11 ¼" (286 cm) de profundidad; por tener un solo cubo es simple de manejar y cuesta menos que el tipo anterior (Figura 1).

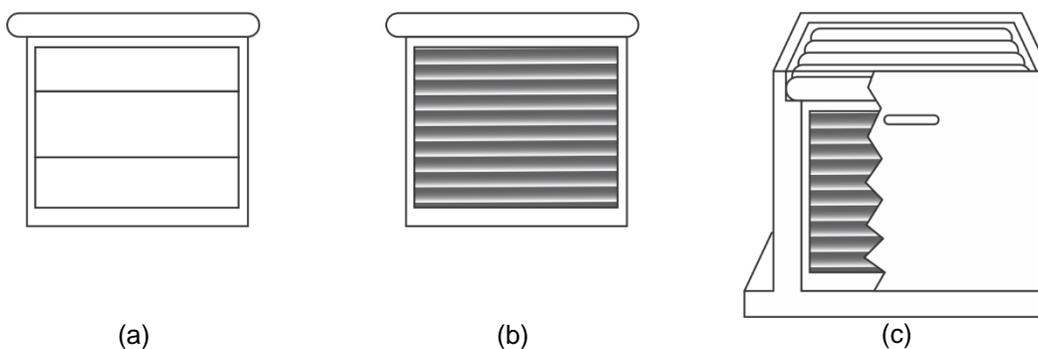


Figura 1 Colmena Jumbo. (a) Bastidor con alambre. (b) Bastidor con alambre y lámina de cera. (c) Vista lateral de una colmena Jumbo con sus respectivos bastidores. Fuente: (Sagarpa, 2014)

Las dimensiones de ambas colmenas se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2 Medidas de las colmenas Langstroth y Jumbo

Colmena	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
Langstroth (Cámara de cría)	51	42.5	24
Langstroth (Medida alza)	51	42.5	24
<i>Dadant</i> o Jumbo (Cámara de cría)	51	42.5	31
<i>Dadant</i> o Jumbo (Medida alza)	51	42.5	17

Elaboración propia, Fuente: (Valega , 2005)

En lo sucesivo se utilizará el término “colmena tradicional” para hacer referencia a cualquiera de los dos tipos de colmena utilizadas en México antes mencionados.

### 1.1.2 Elementos de una colmena tradicional

La colmena tradicional está compuesta por varios elementos como se muestra en la Figura 2, algunos imprescindibles en su conformación y otros accesorios que han surgido a través de los años producto de las adaptaciones en los manejos de cada apicultor y de los productos que cada apicultor busca obtener de la colmena. Entre los elementos principales se encuentran los siguientes:

**Techo:** sirve para cubrir la colmena y protegerla de la intemperie y la lluvia. El techo está cubierto con una lámina de chapa galvanizada.

**Alza:** Son cajas con sus correspondientes panales, se colocan sobre la cámara de cría para que las abejas almacenen miel. Si la colmena es fuerte y la cámara de cría está llena, la reina subirá a la primera alza en busca de espacio donde depositar los huevos. Esto ocurre principalmente en épocas de floración cuando la colonia está en su máximo apogeo.

El alza tipo jumbo tiene ocho bastidores en el caso de la Langstroth la cámara de cría se utiliza a manera de alza.

**Piso:** Llamado también fondo de la colmena, es donde se asienta la cámara de cría. En su parte libre denominada piquera es por donde las abejas entran y salen de la colmena. En épocas de floración esta abertura se debe reducir para evitar que otras abejas puedan entrar a robar la miel así como la intrusión de plagas y otros factores adversos para las abejas.

**Cámaras de cría:** Es el primer cuerpo de la colmena y contiene los panales centrales con cría y los laterales con miel y polen. La cámara de cría tiene 10 bastidores.

**Bastidores o panales:** Estos consisten en cuadros que se colocan dentro de la cámara de cría y las alzas. Quedan suspendidos en un rebaje hecho en las partes superior e interna de las paredes frontal y posterior de cada caja. Dentro de los bastidores se le colocan alambres horizontales por unos orificios que tienen las piezas laterales del bastidor se les pasa corriente eléctrica calentándose e incrustándose las láminas de cera. Estas láminas forman la guía del panal y las abejas construyen sus celdas a ambos lados de ellas (Sagarpa, 2014).

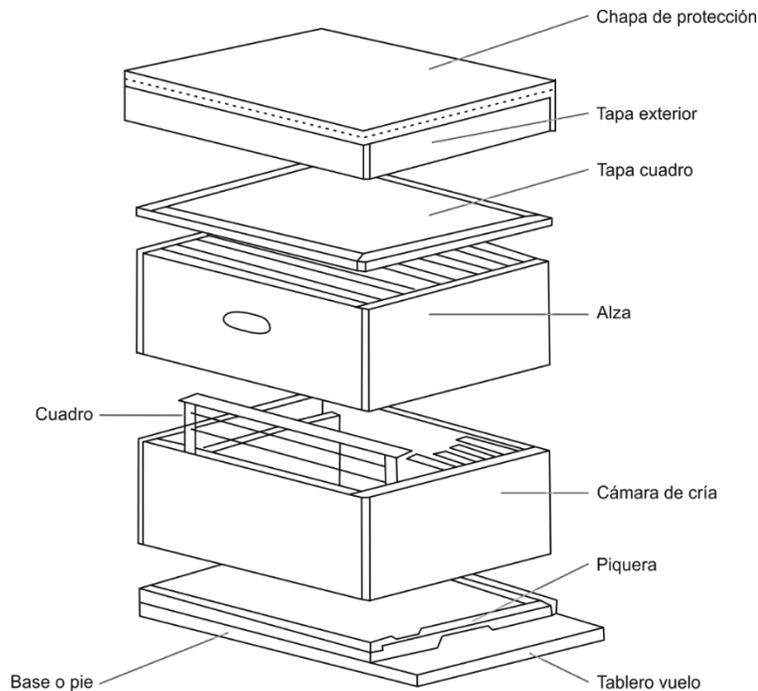


Figura 2 Partes de una colmena ilustrados en una colmena tipo Langstroth. Fuente: (Sagarpa, 2014).

### I.1.3 Cámara de cría

La cámara de cría o porta núcleo como también se le conoce es considerado uno de los componentes críticos de la colmena pues es donde está localizada la progenie del enjambre de la cual depende su supervivencia. En la cámara de cría de una colmena *Dadant* se encuentran 10 bastidores con panales de cera en los cuales se almacenan cría, polen y miel (Bordier, et al., 2017).

El número de bastidores puede cambiar al ser retirados por el apicultor para colocar separadores que reduzcan el espacio de la cámara de cría en estaciones con poca disponibilidad de alimento en las que es frecuente la invasión a una colonia por parte de las abejas de otras colonias y que tienen como fin principal, el de robarle la miel a esta colonia (pillaje) (López Caballero, 2016).

Sin embargo la distribución de la miel, el polen y la cría siempre va a cumplir con el patrón de distribución ilustrado en la Figura 3, esto como una estrategia desarrollada por las abejas para mantener a larvas y huevecillos en una zona

donde la miel y el polen sirvan de aislantes ante los cambios de temperatura que puedan ocurrir durante el día y la noche y a través de las estaciones (López Caballero, 2016).

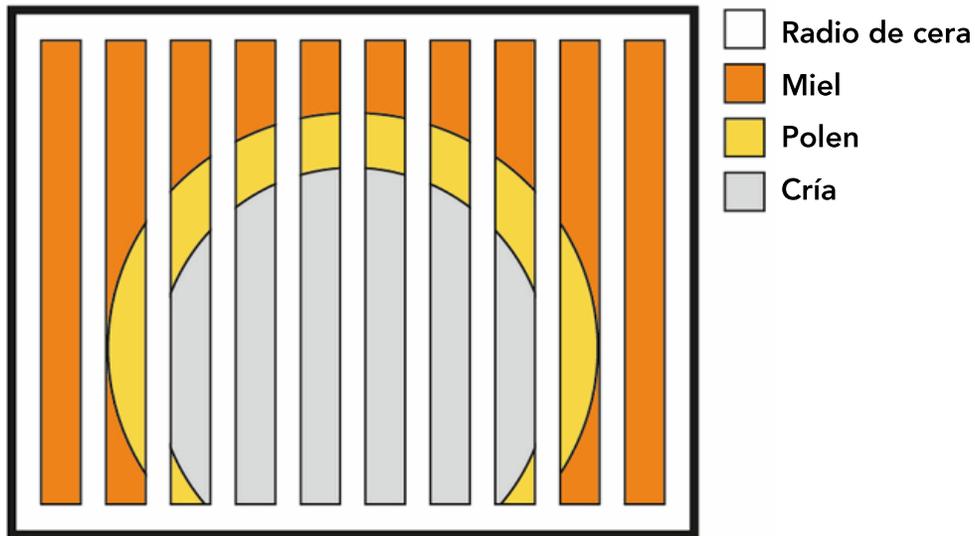


Figura 3 Distribución de la miel, el polen y las crías en la cámara de cría Fuente: Elaboración propia

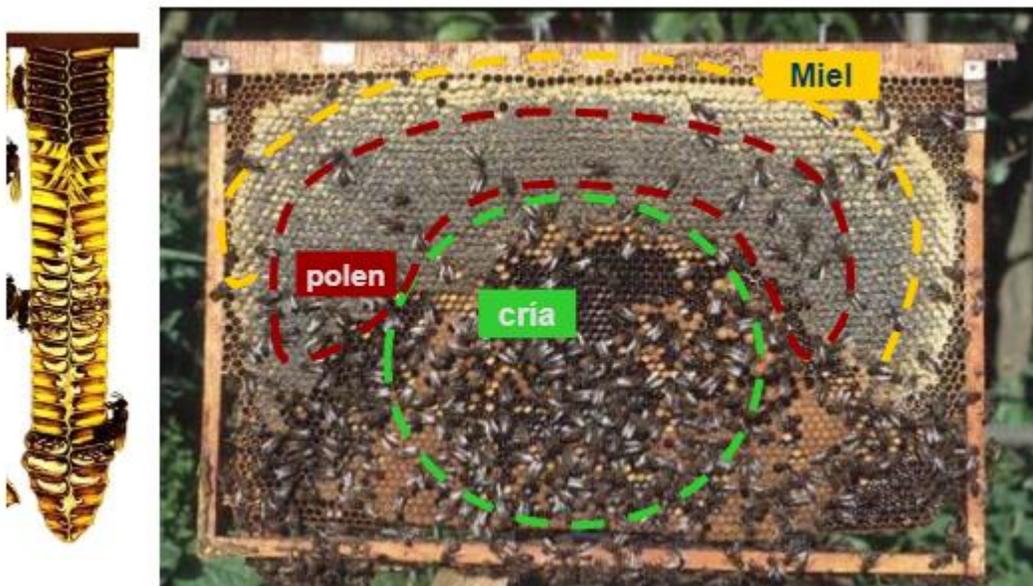


Figura 4 Vista lateral y frontal de la distribución miel, polen y cría. Fuente: (López Caballero, 2016)

Las abejas del Genero *Apis* son conocidas por mantener un estricto control de temperatura en los paneles donde se ubica la cría, con un rango de entre 33 a

36°C, control que se vuelve más preciso durante la etapa de pupa donde es vital mantenerlo en el rango de  $35\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (Bordier, et al., 2017).

Aunque las abejas adultas pueden soportar una ventana amplia de temperaturas, la cría por otro lado se considera un organismo estenotermo al cual pequeñas desviaciones en la temperaturas podrían aumentar la mortalidad, causar deformidades, afectar la organización sináptica de la el cerebro de la abeja adulta (Bordier, et al., 2017) y a su vulnerabilidad frente a plagas, enfermedades y pesticidas (Medrzycki, 2010).

Por esta razón se debe prestar especial cuidado en la cámara de cría y en la temperatura a la que se mantenga su interior, puesto que se convierte en un punto crítico del cual depende primordialmente el éxito y supervivencia de un enjambre en un cultivo apícola.

#### I.1.4 Efecto de la temperatura en las enfermedades y factores biológicos

Otros aspectos de la regulación térmica de la colmena se refieren a la posible influencia en el desarrollo de las enfermedades de las abejas. En referencia a la varroasis, se ha observado que la temperatura óptima para la reproducción de ácaros es de  $32,7 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , que también corresponde a la temperatura óptima para el desarrollo de la cría macho. Por encima de los  $36.5^{\circ}\text{C}$ , la reproducción del *Varroa destructor* se reduce significativamente y por encima de los  $38^{\circ}\text{C}$  las hembras del ácaro mueren sin reproducirse, durante la buena temporada la abeja *A. mellifera* mantiene una temperatura entre  $33$  y  $36^{\circ}\text{C}$  (Bordier, et al., 2017) (Satta, 2004).

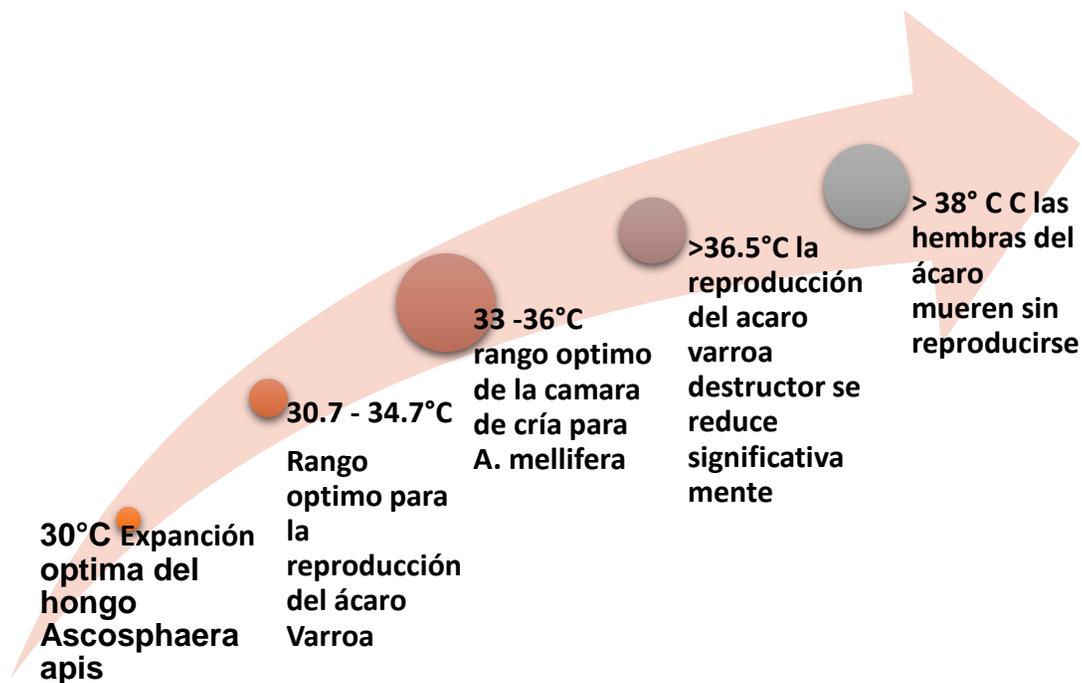


Figura 5 Relación de las temperaturas críticas de la abeja *Apis mellifera*, el acaro *Varroa* y el hongo *Ascospaera apis*. Fuente: Elaboración propia Datos: (Satta, 2004) (Bordier, et al., 2017).

Por lo tanto, es evidente la importancia de la termorregulación para el control de las temperaturas óptimas como medida preventiva en el desarrollo de enfermedades así como los materiales de construcción de la colmena y el efecto que pueden tener influyendo en las variaciones internas de temperatura.

#### 1.1.4. Incorporación de materiales alternativos en el diseño de la colmena

La colmena tradicional ha sido utilizada en el hemisferio occidental por más de 164 años desde que su inventor: Lorenzo Langstroth, la creó. Hecha principalmente de madera se ha mantenido inalterable salvo por algunos pequeños cambios y adaptaciones (Lorenzon, 2015), en la actualidad gracias al avance de la tecnología es posible proponer una colmena más ligera, resistente y que propicie la homogeneidad térmica solo con cambiar los materiales que la conforman, sin perder de vista la sostenibilidad de la misma.

Un ejemplo de esto es la aplicación de láminas de corcho prensado de 1cm de espesor como aislante térmico en el interior, para reducir la variación diaria de temperatura dentro de la colmena de 2.8°C a 1.6°C, con lo cual se condujo a un

ahorro en el consumo de miel con fines de termorregulación de 3.5kg por colmena durante la temporada invernal (Satta, 2004).

### I.1.5. Sistemas de almacenamiento de calor latente

Los sistemas de almacenamiento de calor latente se caracterizan por que para almacenar energía térmica las moléculas del material tienen que cambiar su estado de agregación, es decir pasan del estado sólido al estado líquido. Para que dicho fenómeno suceda se requiere una enorme cantidad de energía térmica es por eso que estos sistemas son significativamente superiores al almacenamiento de calor sensible, de tal modo que la capacidad de almacenamiento de los primeros por unidad de volumen es entre 5 y 14 veces mayor que la de los segundos (Wei, Wang, Xu, Ju, & Xing, 2017) dicho comportamiento se explica mejor en la Figura 6.

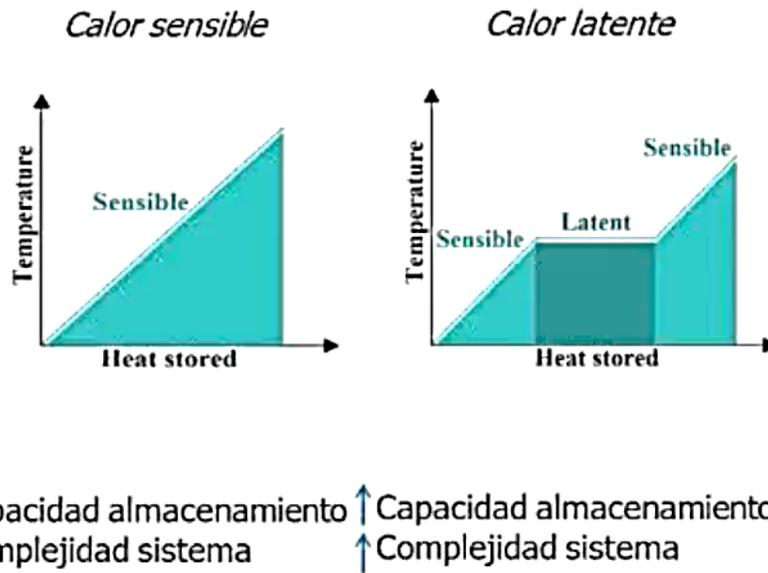


Figura 6 Graficas del almacenamiento por calor sensible (a) y por del almacenamiento por calor latente (b).

El elemento principal en los sistemas de almacenamiento de calor latente son los materiales de cambio de fase (PCM por sus siglas en inglés *Phase Change Material*), el funcionamiento de un PCM reside básicamente en absorber calor en un proceso endotérmico cuando la temperatura aumenta por encima del punto de

fusión o ebullición del material, provocando el cambio de estado. Por otro lado cuando la temperatura disminuye por debajo del punto de fusión o ebullición este material comienza a perder energía volviendo a su estado previo (Jaguemont, Omar, Van den Bossche, & Van Mierlo, 2018).

En los últimos 30 años existe un auge en la investigación sobre uso de PCM's, debido a su enorme potencial de almacenamiento térmico y a la creciente necesidad de aumentar la eficiencia energética en las instalaciones (Domínguez, 2009). (Nielson & Cox, 2013); (Ramnanan-Singh, 2012); (Oliver A. , 2012).

#### I.1.5 Aplicaciones de los materiales de cambio de fase

Los PCM's ya se han probado aplicándolos en colmenas a las cuales se les colocó grasa animal como PCM envasado en recipientes contruidos para tal fin (Boucíguez, 2010), el experimento demostró que un espesor de pared de cambio de fase (3 cm) es suficiente para mantener la colmena en la temperatura deseada (35°C).

Posteriormente otros trabajos han incorporado parafina microencapsulada como PCM en materiales constructivos como el yeso, y presentaron una mejora considerable en su capacidad de almacenamiento térmico, que combinada con estrategias pasivas, ayuda a reducir las cargas de calefacción y refrigeración de un edificio (Zetola Vargas, 2013); (Oliver A. , 2011). Es decir, esto representa una solución frente al efecto de las fluctuaciones de temperatura ambiental que afecta tanto a edificios como a colmenas.

Una colmena hecha principalmente de un mortero de cemento vermiculita (MCV) en comparación con una colmena Langstroth tradicional de madera, es más ligera y 56% más barata, sin embargo aún es necesario trabajar en la resistencia mecánica a impactos de esta colmena necesaria para la actividad (Lorenzon, 2015).

A su vez se ha evaluado la eficiencia de la parafina como PCM (Sinaringati, Putra, Amin, & Afriyanti, 2016) poniendo 8kg de este material en una

incubadora infantil hecha de acrílico con un volumen de 80 litros. Como resultado del experimento se logró mantener la temperatura interior por arriba de los 32°C por 8.1 horas a una temperatura ambiental nocturna de 27.7° C.

En lo referente al campo de los materiales con aplicaciones en construcción y en el almacenamiento de energía solar en medios térmicos, el cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) es uno de los PCMs del tipo de las sales hidratadas más importantes. Ha sido ampliamente utilizado debido a su conveniente temperatura de cambio de fase de 29°C y su alta capacidad de almacenamiento térmico de alrededor de 190 Kj/Kg (Xinxing , et al., 2018).

Estos trabajos podrían respaldar el uso de PCM's y materiales alternativos a la madera como auxiliares en la inercia térmica y en la economía de la colmena, sin embargo, sus prototipos aún están lejos de ser factibles y aplicables de una manera viable en la apicultura; Por lo cual es imprescindible la aplicación de conocimientos y principios de diseño para la obtención de una herramienta que posea un ciclo de vida adecuado, un uso razonable de materiales y de recursos para su manufactura, que satisfaga las necesidades de su usuario y contribuya positivamente a su competitividad.

#### 1.1.6 Variación térmica

La oscilación térmica o amplitud térmica es la diferencia numérica entre los valores máximos y mínimos de temperatura observado en un punto dado durante un período de tiempo (un día, un mes, un año o un siglo) o por la media (la media de todos los rangos de temperatura durante un período de tiempo. (Estudios e Investigaciones Meteorológicas, 2016)

La variación en temperatura que ocurre entre el momento más caluroso del día y el momento más frío de la noche se le denomina variación de temperatura diurna.

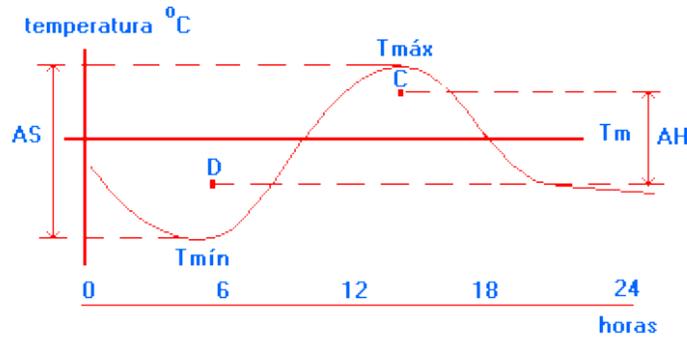


Figura 7 Grafica del comportamiento de la temperatura ambiental a lo largo del día y la noche Fuente: (Biblioteca ambiental virtual de desarrollo sostenible y salud, 2018)

Este parámetro se vuelve de utilidad para medir el comportamiento térmico de una región o un recinto, como lo es el interior de una colmena para apicultura.

### 1.1.7 Manufactura de la colmena tradicional de madera

Las colmenas tradicionales en México como en muchas otras partes del mundo están hechas de madera principalmente, elemento del que están formadas las paredes, el piso, la tapa y parte del techo. La madera es usada con este fin debido a las propiedades físicas y mecánicas que posee, al dominio tecnológico que se ha alcanzado para trabajarla y transformarla, así como a la relativamente alta disponibilidad de este material en la naturaleza (Sagarpa, 2014).

Las colmenas Jumbo en la zona del altiplano mexicano se elaboran principalmente de madera de pino, con tablas de 30 cm de ancho y dos centímetros de espesor, las cuales son cortadas a la medida para después ser unidas formando ángulos rectos por ensambles lazo o cola de milano (Sagarpa, 2014) (woodgears, 2018).



Figura 8 Ensamble tipo cola de milano Fuente: (woodgears, 2018)

Los cuales suelen ser reforzados por un clavo en cada diente del ensamble y preferentemente con pegamento blanco entre las uniones. Este procedimiento corresponde únicamente a la construcción de la cámara de cría sin contemplar la elaboración de la tapa, el techo o el piso, además no contempla los tratamientos previos que deba tener la madera como el cepillado o el resanado de imperfecciones, y puede demorar más o menos dependiendo de lo tecnificado que se encuentre el taller y del *expertise* del carpintero (Moriaméz Banda, 2004).

Las desventajas que se pueden encontrar en las colmenas hechas de madera es la biodegradabilidad que tiene este material, propiedad que se acelera con el paso del tiempo y sobre todo al estar expuesta a los elementos como las colmenas suelen estar (Arana, Tellez, Gonzalez , & González, 2002) (Lorenzon, 2015).

Esto ocasiona que se desarrollen grietas en la madera y se creen espacios en las uniones de la colmena mismos que suelen ser inaccesibles para las abejas dificultando su aseo y propiciando el alojamiento de ácaros Varroa, Pequeños escarabajos de la colmena, hongos y demás organismos patógenos para las abejas (Saldaña Loza, 2014).

Esta área de oportunidad representa un punto importante de mejora en lo referente a la colmena apícola pues sustituyendo el material del que está hecha se puede hacer frente a la proliferación de plagas y enfermedades apícolas o al menos reducir el éxito de estos antagonistas de las abejas.

#### 1.1.8 Matriz *Quarter isogrid*

La matriz *Quarter isogrid* es un patrón estructural basado en la matriz Isogrid desarrollada para la NASA en 1960 por “McDonnell Douglas *Aeronautics Company*” la cual es una sucesión de triángulos (Figura 9) que posee propiedades mecánicas similares a otras estructuras con el beneficio de una reducción de un 20% en el peso de las aeronaves (McDonnell Douglas *Aeronautics Company*, 1973).

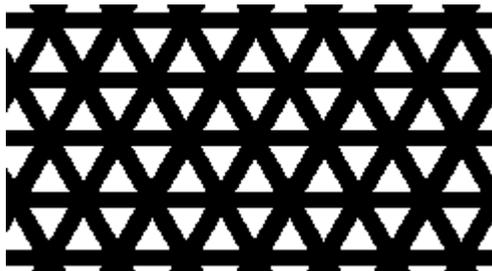


Figura 9 Matriz Isogrid. Fuente: (Sheldrake, 2018)

Cuando eliminas 3 de cada 4 triángulos por fila de la matriz isogrid (Figura 10) obtienes un patrón de triángulos y hexágonos el cual fue llamado por “*Notched Rib Assemblies*” como “matriz *Quarter isogrid*” (Figura 11) la cual tiene como ventaja que cada intersección consiste en la unión de dos costillas simples (a diferencia de la matriz *isogrid* que tiene 3) en cada intersección haciéndola estable sin comprometer la fuerza del material del que está hecha la costilla.

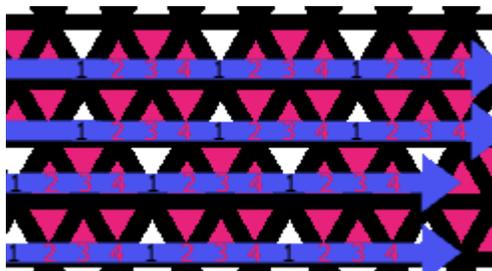


Figura 10 Conversión de Isogrid en Quarter isogrid Fuente: (Sheldrake, 2018)

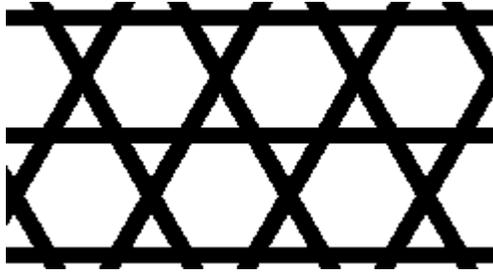


Figura 11 Matriz Quarter isogrid. Fuente: (Sheldrake, 2018)

Este patrón geométrico permite obtener objetos en tres dimensiones partiendo de objetos en dos dimensiones (Sheldrake, 2018) los cuales son más baratos de obtener debido a la naturaleza de las tecnologías que se utilizan para ello, lo que la hace ideal para usarse en el diseño de colmenas.

#### I.1.9 Metodología doble diamante

El tipo de investigación del proyecto es de tipo cuantitativo, con un enfoque experimental, de tipo aplicada. Se permite establecer distintas hipótesis y contrastarlas mediante su método (Hernández Sampieri, Hernández-Collado, & Baptista Lucio, 2006). La investigación experimental se basa en la manipulación de variables en condiciones controladas, replicando un fenómeno concreto y observando el efecto que producen las mismas. La investigación aplicada por otro lado se orienta a la creación de conocimientos que contribuyan a mejorar la competitividad del sector apícola mexicano. El principal beneficio de este tipo de investigación en el diseño es que en su fase investigativa, incluye tipos de experimentos que pueden llevar a la creación de prototipos.

En todos los procesos de creación se definen un numero de ideas posibles (pensamiento divergente) antes de la refinación y la reducción a la mejor idea (pensamiento convergente), y esto puede ser representado por una forma de diamante, pero a veces el doble diamante indica que esto ocurre dos veces, una vez para confirmar la definición del problema y otra para crear la solución (DesingCouncil, 2015).

El progreso del actual proyecto está basado en la metodología de diseño de Doble Diamante la cual ha sido seleccionada por su simplicidad y efectividad al momento de desarrollar una solución.

Descubre	Define	Desarrollo	Entrega
El primer cuarto del modelo doble diamante marca el inicio del proyecto. Este inicia con una idea inicial o inspiración frecuentemente obtenida de una fase de descubrimiento en la cual las necesidades de	El segundo cuarto del modelo doble diamante representa la etapa de definición, en la cual la interpretación y alineamiento de esas necesidades para los objetivos de negocio son alcanzadas.	El tercer cuarto del modelo doble diamante marca un periodo de desarrollo donde las soluciones de diseño son desarrolladas, iteradas y tratadas con la compañía.	El último cuarto del modelo doble diamante representa la etapa de entrega, donde el producto resultante o servicio es concluido y lanzado en el mercado objetivo.

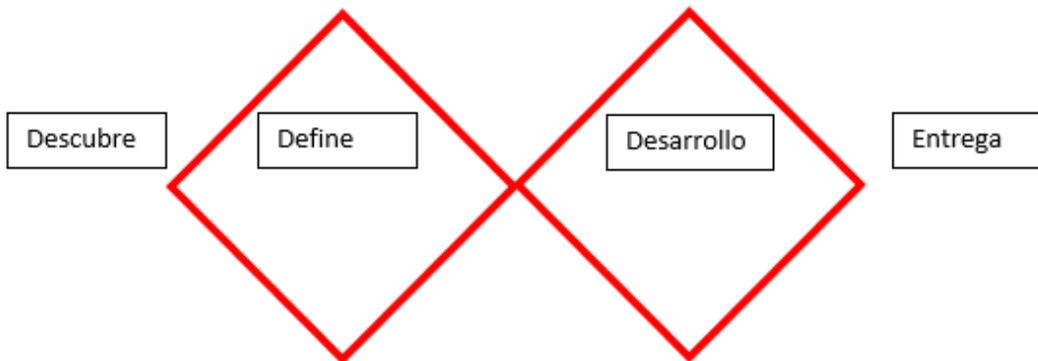


Figura 12 Esquema metodología doble diamante. Fuente: elaboración propia

# Doble diamante renovado

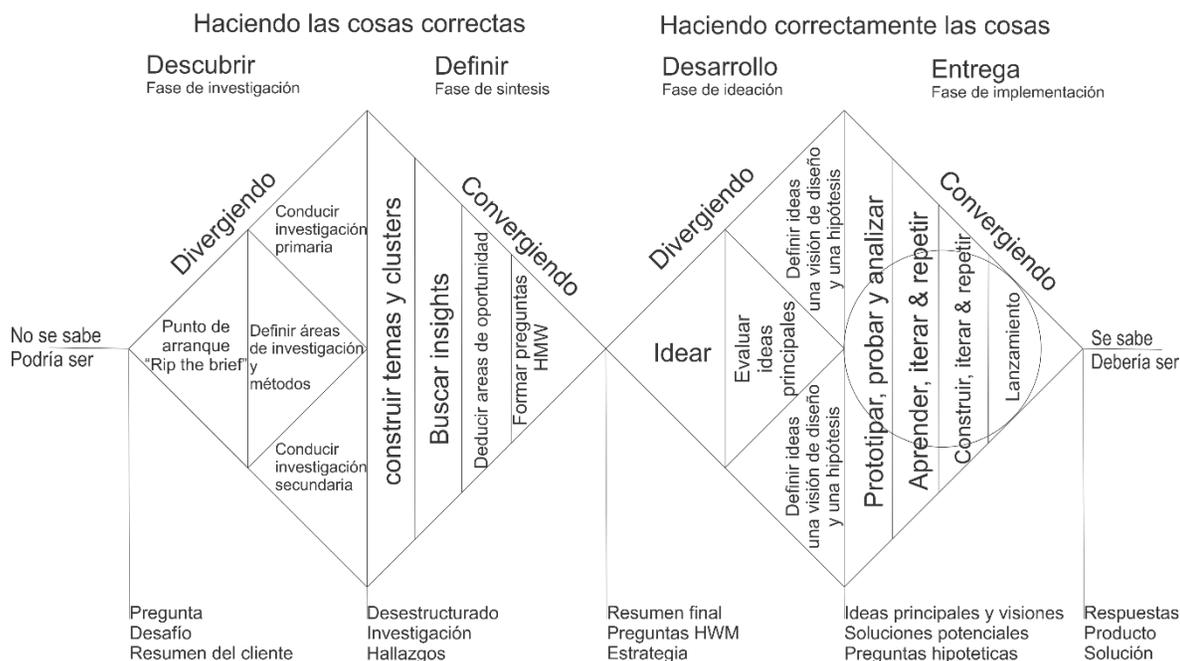


Figura 13 Doble diamante renovado. Fuente: Adaptación propia. Elaborado por: (Nessler, 2018)

## I.1.10 Análisis de mercado

En México en el 2015 se produjeron 55,359 toneladas de miel (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016) 4,395 ton menos que en el 2008 (59,754 ton) es decir lo equivalente a que Jalisco uno de los 5 principales estados productores de México redujera su producción a cero. Nuestro país ocupa el tercer lugar como país exportador de miel, justo después de Argentina y China (Coordinación general de ganadería, 2010).

En el 2008 la oferta anual de miel englobando los 139 países que reportan producción era de 1.5 millones de toneladas, según (Global industry analysts, 2016) para el 2022 se proyecta un crecimiento hasta alcanzar las 2.4 millones de toneladas; Ante semejante situación es de vital importancia que México se posicione en el mercado internacional aumentando su competitividad y su producción de esta mercancía.

## I.2 JUSTIFICACIÓN

En México el entorno apícola se ha vuelto más hostil debido a la intrusión de factores biológicos, cambios climáticos y de uso de suelo que afectan a las abejas y a los que practican la apicultura comprometiendo el éxito de esta actividad.

De acuerdo con datos de (INEGI , 2012) la apicultura en México desde finales del siglo pasado muestra una tendencia negativa en el número de personas que ejercen la apicultura, la cual puede observarse al comparar la información del VII Censo Agrícola Ganadero de 1991 contra la del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, los cuales indican que a nivel nacional existe un decremento de 72,821 personas que realizan esta actividad, al pasar de 106,802 a 33,981 apicultores, es decir el 68.2% de los apicultores a nivel nacional abandonó esta actividad. En entidades como Querétaro, la cual contaba con 1,704 apicultores en 1991 pasó a 114 en el 2007 (Figura 14).

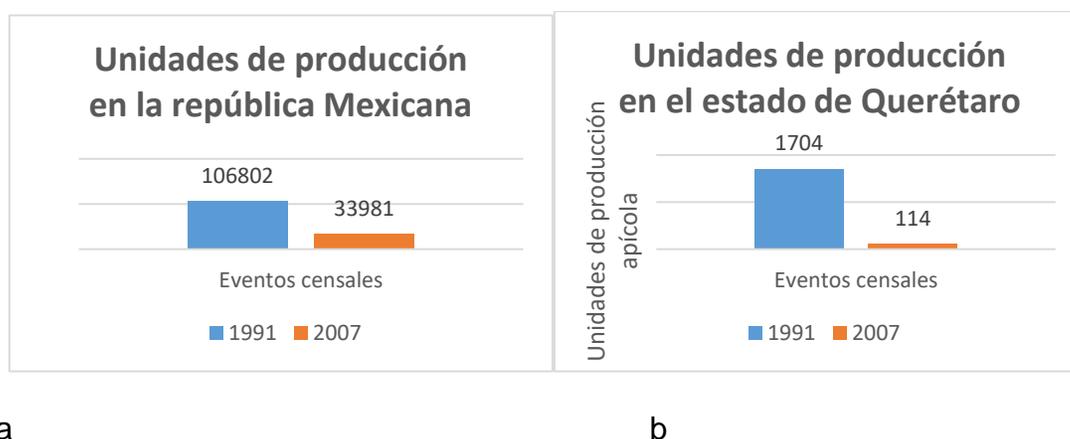


Figura 14 Gráficos del número de apicultores en la república Mexicana(a) y el estado de Querétaro (b) 1991, 2007. Fuente: Elaboración propia, datos (INEGI, 2012).

Está dramática disminución de apicultores se correlaciona con dos sucesos críticos para la apicultura mexicana, la intrusión de la abeja africana en 1986 y a la proliferación del ácaro *Varroa destructor* en el país en 1992, la aparición y proliferación de estos factores biológicos desestabilizó a los apicultores al encontrar sus colmenas de abejas europeas productoras de miel desplazadas por enjambres de abejas africanas que resultaban ser bastante defensivas en

comparación con las anteriores y al ver como sus colmenas eran infestadas por ácaros que llevaban a la muerte a sus enjambres en cuestión de semanas.

Esto represento una crisis para todos los apicultores, crisis para la cual gran parte de ellos no estaban preparados para enfrentar, pues para lidiar con ella fue necesario aumentar la cantidad de revisiones a los colmenares, adquisición de sustancias para control biológico así como capacitación para su uso de las mismas situación orilló a los menos aptos a dejar de practicar esta actividad (Saldaña Loza, 2014).

Como respuesta a esa situación el presente proyecto aborda el problema buscando estabilizar la temperatura interna de la cámara de cría dentro de rangos óptimos para reducir la vulnerabilidad de las abejas, la temperatura, la cual según (Bordier, et al., 2017) (Jones, 2004) (Medrzycki, 2010) (Noori, Khelod, Ahmed, & Mohammad, 2012) (Oldroyd, 2007) (Rosenkranz, 2010) (Satta, 2004) (Sudarsan, 2012) (VanEngelsdorp, 2009) es un clave para aumentar la resistencia de las abejas a plagas, enfermedades, pesticidas y factores biológicos.

### **III. HIPÓTESIS**

La incorporación de materiales de cambio de fase en la estructura de la colmena permitirá reducir la variación térmica en 2°C en su interior a lo largo del día en comparación con la variación térmica de las colmenas tradicionales hechas de madera.

### **IV. OBJETIVOS**

#### **IV.1. OBJETIVO GENERAL**

Incorporar materiales de cambio de fase en la estructura de la colmena para mantener la temperatura interna promedio de la camarada de cría 2°C más próxima a los 35°C en comparación con la de las colmenas hechas de madera.

#### **IV.2. OBJETIVOS PARTICULARES**

- a) Evaluar el uso de materiales de cambio de fase (PCM's) y materiales alternativos a la madera en el diseño de la colmena, así como su efecto en la conservación de la energía térmica proveniente del ambiente a lo largo del día.
- b) Desarrollar una capsula con material de cambio de fase que permita la acumulación y liberación de calor latente al interior de la colmena.
- c) Construir un sistema instrumentado para el monitoreo de la temperatura interna de la colmena y la temperatura ambiental.

## **V. METODOLOGÍA**

Durante el transcurso experimental del proyecto se siguió como guía la metodología del doble diamante, la cual fue adaptada a las necesidades del proyecto tomando como eje los objetivos y sobre todo, siguiendo el curso que los resultados que cada etapa iba arrojando con forme se procedía, la metodología consta de 4 etapas principales, descubrir, definir, desarrollar y entregar, tal como se observa en la Figura 15.

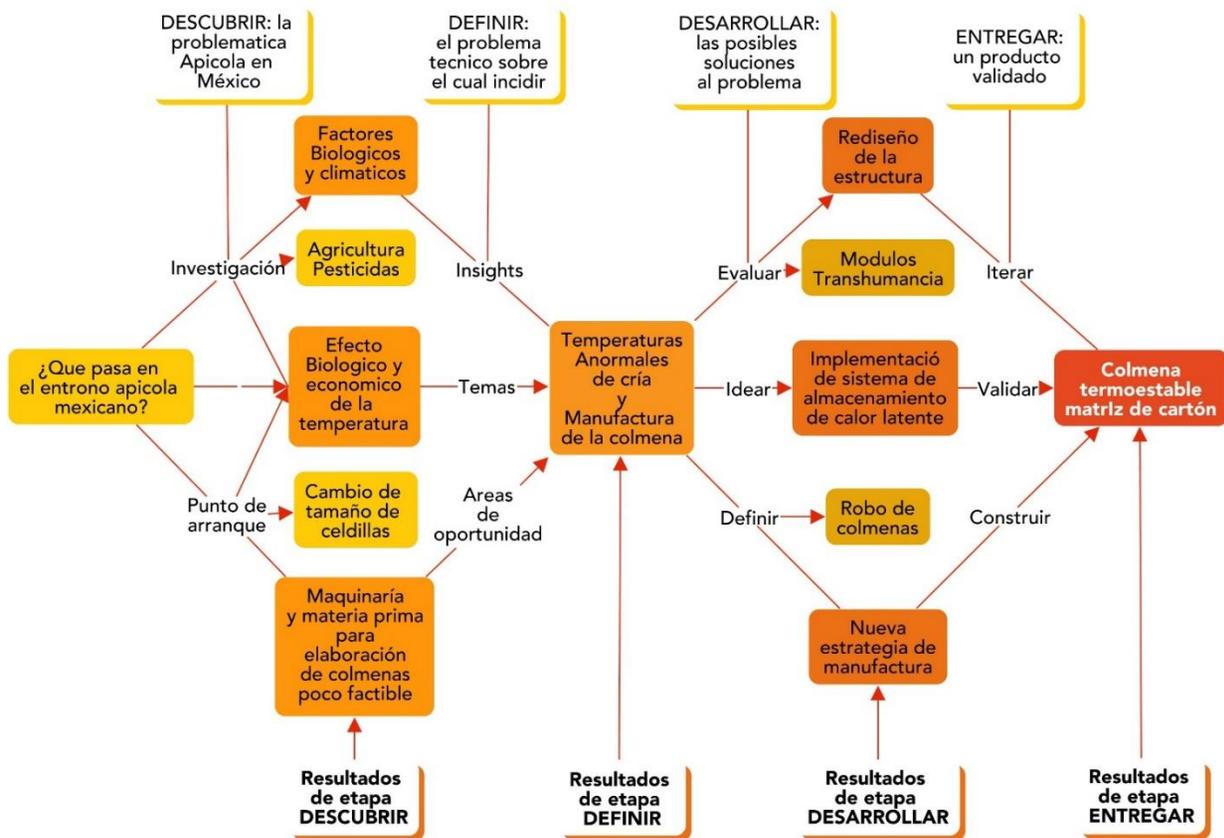


Figura 15 Metodología seguida para el desarrollo del proyecto. Fuente: Elaboración propia

### V.1.Descubrir

La etapa descubrir consistió en primera instancia, en una extensa revisión de la literatura disponible sobre apicultura, partiendo de particularidades de la técnica, de la colmena y los problemas que enfrentan los apicultores a nivel nacional y local. Como resultado de esta investigación inicial se obtuvieron *insights* los cuales crearon la base de las etapas posteriores de la investigación.

Una vez adquirido una serie de *insights* y un marco de referencia se procedió a investigar a profundidad sobre estos hallazgos, directamente con expertos en el área, reconocidos apicultores de la región, el esquema para recabar esta información fue de una entrevista.

Para ello se visitó la asociación apícola y ganadera del estado de Querétaro “el nuevo enjambre” y se entrevistó a 12 de sus miembros.

La entrevista fue de tipo libre partiendo de preguntas iniciales como las que aparecen en primer nivel según el orden en la Tabla 3 para después proceder con preguntas secundarias como las que podemos encontrar en segundo nivel en jerarquía.

*Tabla 3 Preguntas aplicadas en la entrevista*

Preguntas aplicadas en la entrevista a expertos apicultores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo apicultor, que problema percibes como el que más dificulta tu actividad?</li> <li>• ¿Cuál es el principal problema para la apicultura actualmente?</li> <li>• ¿Qué plagas y enfermedades han afectado tus colmenas últimamente y que has hecho para sobrellevarlo?</li> <li>• ¿Tus colmenas se han visto afectadas por el acaro Varroa o el pequeño escarabajo de la colmena (Factores biológicos)?             <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué resultado de esa experiencia?</li> </ul> </li> <li>• ¿Cómo abordan el problema de las plagas en las colmenas?</li> <li>• ¿Has aplicado alimentación de soporte en tus colmenas?</li> <li>• ¿Cómo la deforestación afecta a los apicultores?</li> <li>• ¿practica la trashumancia?             <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Tiene que adaptar sus colmenas para estos viajes?</li> <li>• ¿Cómo lo hace?</li> </ul> </li> <li>• ¿Has tenido problemas con el calor o frío extremo en tus colmenas?             <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué medidas tomas para evitar el calor extremo?</li> <li>• ¿Qué consecuencias tiene el que se sometan las colmenas a calor extremo?</li> </ul> </li> <li>• ¿Por qué no encuentras espacios adecuados para colocar tus colmenas?             <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué papel tiene la desinformación del público en general en esto?</li> </ul> </li> <li>• ¿Cómo te han afectado los agroquímicos tóxicos para las abejas en el desempeño de tu labor?</li> </ul>

En esta etapa se encontraron los ejes rectores o áreas de oportunidad que serían parte aguas para la siguiente etapa de la investigación.

## V.2. Definir

Una vez que se descubrieron aquellas áreas de oportunidad sobre las cuales incidir, se procedió a definir la estrategia, producto o servicio que podría servir de solución a esta necesidad.

Durante esta etapa se realizó un análisis de interconexiones enlazando cada uno de los *insights* encontrados en la revisión bibliográfica y en la entrevista con los apicultores, de modo que se pudieran identificar puntos de interconexión común con relaciones del tipo causa-efecto, así se podría saber que causa atacar para resolver la mayor cantidad de problemas o necesidades.

### V.3.Desarrollar

Una vez definidos los ejes centrales de la propuesta, sus características y los posibles impactos que estos puedan tener en la problemática se procedió a idear posibles soluciones y especificaciones técnicas que debería tener la propuesta a desarrollar y se ilustra en un mapa mental donde se relacionaban los ejes centrales de la propuesta con las posibles soluciones.

### V.4.Entregar

En esta etapa se localiza el proceso iterativo de diseño, prototipado, prueba y rediseño, en el cual se desarrollaron en mayor o menor medida todas las posibles soluciones.

El proceso de entrega se desglosa a detalle a continuación.

## V.5.DESARROLLO EXPERIMENTAL

### V.5.4. UBICACIÓN Y CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

El área geográfica seleccionada para el desarrollo del proyecto, está ubicada en el estado de Querétaro, debido a que la validación de las propiedades de la colmena estará enfocada a las características climatológicas predominantes en el estado.

Teniendo en consideración las temperaturas anuales del estado de Querétaro con 18°C en promedio, una máxima de **28°C** y una mínima promedio de **6°C** (INEGI, 2016)

## V.6.OBJETO EXPERIMENTAL

Los experimentos están centrados en la “colmena *Quarter isogrid*” nombrada así por la matriz que da forma a sus paredes, comparte las mismas dimensiones que las colmenas tradicionales de madera sin embargo se ha reemplazado completamente este material por una estructura de cartón recubierta con fibra de vidrio en cuyas cavidades hay  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  como material de cambio de fase.

## V.7.MATERIALES

### V.7.4. Materiales utilizados en el prototipo de colmena

#### V.7.4.1. Cartón corrugado

El cartón corrugado es el material más popular utilizado para la fabricación de embalajes, dadas sus características mecánicas y de resistencia a la carga (JIMÉNEZ HERNÁNDEZ , 2016).

A la onda de corrugado que se encuentra en la parte media de una lámina o en una cara de un *single-face* se denomina Flauta. Existen varios tipos de flautas, las cuales se clasifican por su tamaño, dependiendo de la altura y el número de flautas por metro (empaques y cajas, 2018).

Entre más grande sea la flauta más grueso es el corrugado. Estas flautas son clasificadas por letras y su altura de marco se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4 Tipos de flautas en cartón corrugado y su altura de marco. Fuente: (empaques y cajas, 2018).

TIPO DE FLAUTA	ALTURA DEL MARCO MAS COMUN
A	4.0 A 4.8
C	3.2 A 4.0
B	2.1 A 3.0
E	1.1 A 1.8
F	0.75 A 0.90

La estructura básica del cartón corrugado tipo flauta C consiste en tres papeles, dos actuando como caras y otro más elaborado con un papel ondulado

conocido como flauta. Se tienen varias estructuras de cartón corrugado, desde aquella que sólo cuenta con un *liner* o cara y la flauta, hasta estructuras con 2 o 3 flautas con 3 o 4 caras, estas estructuras aportarán características mecánicas diferentes a los embalajes (JIMÉNEZ HERNÁNDEZ , 2016).

El cartón corrugado sencillo o de 2 caras, es un multilaminado de 2 caras y un médium formando un sándwich, tiene una estructura rígida y es ideal para construcción de cajas, ya que sus paneles forman paredes de alta resistencia.

La dirección de mecanizado MD (por sus significado en inglés *machining direction*) coincide con la alineación de las fibras del papel y es perpendicular al eje del corrugado cuya dirección es llamada CD (por su significado en inglés *cross-machine direction*) Figura 16. Las cajas de cartón corrugado se apilan normalmente en la orientación de arriba a abajo, donde la resistencia de la caja se relaciona con la resistencia a compresión del cartón en el eje CD paralelo a las corrugaciones (Urbanik, 1996).

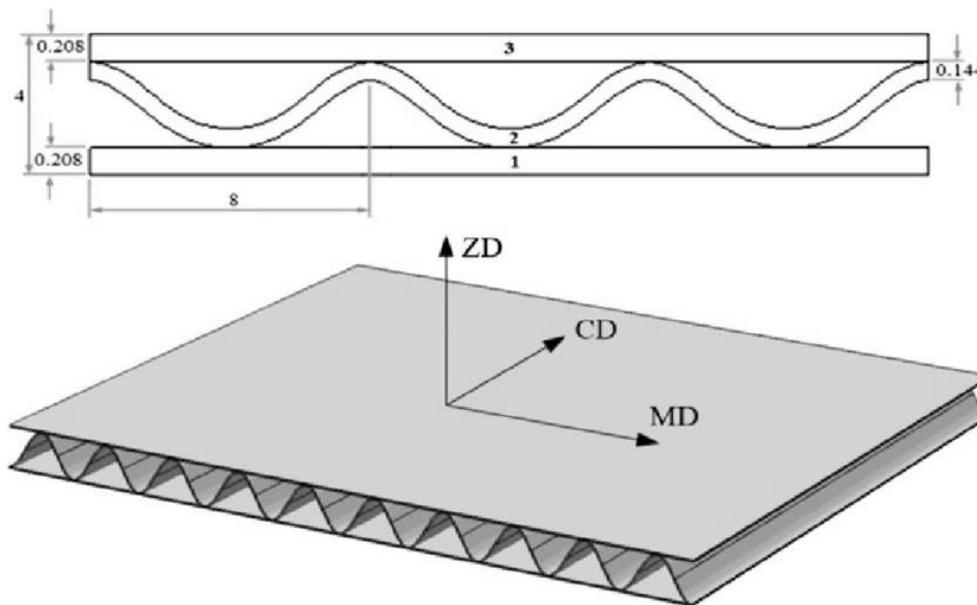


Figura 16 Conformación del cartón corrugado tipo C y espesor de sus elementos Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo del prototipo se utilizó una lámina de cartón flauteado tipo C como el descrito anteriormente, provisto por un proveedor local (Carto Empaques del Centro S.A. de C.V.)

#### V.7.4.2. Resina de poliéster

Como matriz para el compuesto resina-fibra de vidrio que recubrirá el núcleo de cartón se utilizó una resina de poliéster insaturada, ortoftálica, de reactividad media pre acelerada, cuyas aplicaciones son en fabricación y reparación de artículos varios de plástico reforzado con fibra de vidrio utilizando los procesos de moldeo manual. Se obtuvo de un proveedor local con cobertura a nivel nacional ("Poliformas plásticas") bajo el identificador de producto: RESINA POLIESTER PP-70 X60. Las propiedades de dicha resina se detallan en la Figura 17, para mayor información del producto ver ANEXO 1.

### PROPIEDADES DE RESINA LÍQUIDA

ESPECIFICACIÓN	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad @ 25° C , Brookfield LVF, aguja # 3 a 60 r.p.m. ( cps )	420 ± 40	EQPP-CC-002
Densidad @ 25°C (g/ml)	1.10± 0.02	EQPP-CC-008
Color	Rosa	EQPP-CC-007
% de Sólidos	62 ± 2	EQPP-CC-001

### PROPIEDADES DE CURADO \* ( 1 ) ver parte posterior de la hoja

Tiempo de gel @ 25 ° C ( min.) 100 g de resina + 1 % de catalizador mekp	12'± 2	EQPP-CC-004
Intervalo de Curado (ΔC, min)	20' ±5	EQPP-CC-005
Tiempo de Curado ( min )	8±2'	EQPP-CC-005
Temperatura de Exotermia ( ° C )	165 ±20	EQPP-CC-006

### PROPIEDADES MECÁNICAS \* ( 2 ) ver parte posterior de la hoja

PROPIEDAD	ENCAPSULADO	LAMINADO	MET. DE PRUEBA
Contenido de Resina	100	70	( % Peso )
Contenido de Fibra de Vidrio	-----	30	( % Peso )
Densidad @ 25°C	1.10	1.35	EQPP-CC-008
Dureza Barcol	35	40	EQPP-CC-010
HDT ( ° C a 264 psi )*	68	N.A.	EQPP-CC-020

N. A. = No Aplica

\* HDT = Temperatura máxima de distorsión al calor.

Figura 17 Propiedades de la RESINA POLIESTER PP-70 X60 Fuente: (Poliformas plásticas, 2018)

#### V.7.4.3. Fibra de vidrio

Como refuerzo para la matriz de resina se utilizó fibra de vidrio de tipo colchoneta fabricada con hilos de vidrio tipo *Advantex*, unidos por un ligante soluble en estireno, obtenida con el mismo proveedor local con cobertura a nivel nacional (“Poliformas plásticas”) bajo el identificador de producto: colchoneta.

#### V.7.4.4. Cloruro de calcio

Como material de cambio de fase se utilizó cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) anhidro del proveedor “*Golden bell*” con un grado de pureza del 99.5%\_como material de cambio de fase, para disolverlo se utilizó agua destilada del proveedor “ecopura” con una conductividad de <1μS/cm y un pH de 6-7.

Las características de los materiales así como su importancia y proveedor se describen a detalle en la Tabla 5.

Tabla 5 Descripción de los materiales, su importancia y proveedores, utilizados en la construcción de la colmena

<b>Material</b>	<b>Importancia</b>	<b>Proveedor</b>
<p><b>Cartón</b> material formado por varias capas de papel superpuestas, a base de fibra virgen o de papel reciclado. El cartón es más grueso, duro y resistente que el papel. Algunos tipos de cartón son usados para fabricar embalajes y envases, básicamente cajas de diversos tipos.</p>	<p>Es un material más sencillo de transformar (cortar y unir) y más barato (\$/m<sup>2</sup>) que la madera, además de estar más disponible y su transporte es mucho más barato.</p>	<p>Carto Empaques del Centro S.A. de C.V.</p>
<p><b>Fibra de Vidrio de 1.5 oz</b> Las fibras de vidrio son un material de bajo coste pero de alta calidad empleadas de manera habitual para el refuerzo de sistemas de resinas termoestables. Debido a su elevada capacidad de alargamiento a la rotura y su elasticidad, son el refuerzo de fibra más empleado en el sector de los materiales compuestos.</p>	<p>Debido a su bajo costo y accesibilidad en comparación con otras fibras de refuerzo, su fácil uso y aplicación, así como sus propiedades mecánicas, se ha elegido la fibra de vidrio para reforzar la estructura de la colmena.</p>	<p>Poliformas plásticas</p>
<p><b>Resina termoestable</b> de poliéster insaturado (UP) se utilizan como matriz para la construcción de estructuras. Necesita un catalizador líquido que se añade entre el 1,5% o 2%, este provoca una reacción química para que la resina, endurezca, seque y más tarde cure</p>	<p>Polimerizan bien con material de refuerzo como la fibra de vidrio, son económicas y fáciles de utilizar, se secan rápidamente, aguante térmico aprox. 80°C, suficiente para la aplicación deseada.</p>	<p>Poliformas plásticas  (Ver ficha técnica en los anexos)</p>
<p><b>Cloruro de calcio</b> : El Cloruro de calcio, (CaCl<sub>2</sub>) es una sal hidratada incolora, cristalina, con buena solubilidad en el agua, el cual precisa de ser hidratado con 6 moléculas de agua por cada molécula de CaCl<sub>2</sub> para adquirir la estructura molecular necesaria para fundirse y almacenar calor latente a 29°C.</p>	<p>Es un PCM de uso típico, muy común en aplicaciones del campo de la energía solar por su bajo costo (\$11/kg) y considerable capacidad de almacenamiento de calor latente (190.8 kj/kg) con un punto de fusión de 29°C (Zalba, Marín, Cabeza, &amp; Mehling, 2003) ideal para la aplicación que se propone.</p>	<p><i>Golden bell</i></p>

## V.8. Software

El software utilizado para el diseño de la y los prototipos digitales se describe en la Tabla 6.

Tabla 6 Software utilizado para el diseño y el modelado

Software	Importancia	
CorelDRAW es una aplicación informática de diseño gráfico vectorial, es decir, que usa fórmulas matemáticas en su contenido.	Permite trazar en vectores que posteriormente se llevaran a una cortadora laser para la obtención de las piezas necesarias para construir la colmena.	
SolidWorks es un software CAD para modelado mecánico en 2D y3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp	Permite corroborar el ensamble de las piezas previo a su corte para encontrar errores.	

## V.9.MÉTODOS

### V.9.4. Diseño de la estructura de la colmena

Durante el proceso de diseño de la cámara de cría se tomaron en cuenta ciertos requerimientos y características deseables (recopilados en la Tabla 7) para la colmena de modo que el producto final estuviera alineado con las necesidades y problemas del sector apícola antes descritas. Para ello se creó la siguiente lista de especificaciones para el diseño que sirviera de guía durante su desarrollo.

Tabla 7 Lista de especificaciones para el diseño de la cámara de cría, R=requerimiento, D=deseo. Fuente: Elaboración propia

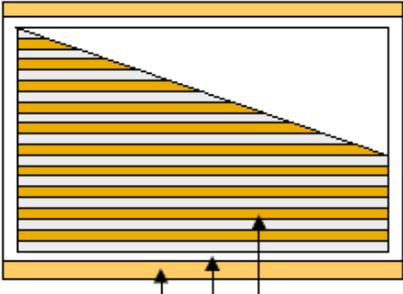
LISTA DE ESPECIFICACIONES	
<b>Proyecto</b>	Diseño de una cámara de cría para una colmena tecnificada
<b>Objetivo</b>	Crear una estrategia de manufactura para la cámara de cría de la colmena que contemple un material alternativo a la madera

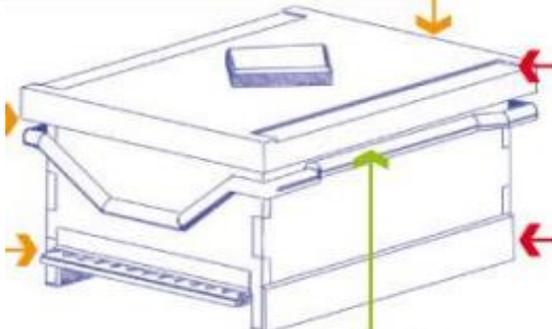
Concepto	Fecha	R/D	Descripción
Función	01/06/2017	R	Dar soporte a los bastidores con miel, polen, cera y abejas.
	22/06/2017	R	Acoplar perfectamente con otros aditamentos de la colmena (Bastidores, tapa, techo y piso).
	22/06/2017	R	Tener cavidades para la colocación de materiales de cambio de fase.
	22/08/17	R	Debe de ser impermeable y capaz de resistir al viento y a la radiación UV.
	22/08/17	R	Debe de resistir impactos provenientes de la carga y manipulación de la misma así como de la interacción con otras herramientas (palancas, espátulas).
	22/08/17	R	Compatibilidad con las abejas
Materiales	01/06/2017	R	Materiales que mantengan la colmena impermeable
	01/06/2017	R	Materiales que no se agrieten por efecto de la humedad
	22/08/2017	D	Materiales durables para ciclos de vida largos
Dimensiones	01/06/2017	R	Medidas de la cámara de cría 51 x 42.5 x 24cm
Costos	27/06/2017	D	No mayor a \$400
Fabricación	22/08/2017	R	Uso de máquinas que agilicen la producción
	22/08/2017	R	Reducción el uso de mano de obra
Relación y confort	28/06/2017	R	Mantener la familiaridad de la solución con los apicultores, conservando la forma de las colmenas tradicionales
	28/06/2017	R	Peso menor a 10 kg
Vida Útil y mantenimiento	28/06/2017	D	Vida útil de 20 años
	28/06/2017	D	Mantenimientos preventivos anuales
	28/06/2017	D	Mantenimientos correctivos de bajo costo y sencillos de realizar

En este punto se debe considerar que aunque la estrategia de manufactura y la elección del material vienen descrita después en el documento, hay que tomar en cuenta que durante el proceso de diseño, la forma, el material y la estrategia de manufactura fueron evaluadas simultáneamente de manera holística.

Se consideraron métodos de manufactura encontrados en la bibliografía los cuales pudieran ser replicables con variaciones en material o técnica hasta encontrar la solución más adecuada. Los trabajos consultados que sirvieron de inspiración para llegar al producto final se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8 Trabajos previos estudiados para llegar a la estructura final. Fuente: Elaboración propia

<p>Colmena de mortero Cemento-vermiculita (Lorenzon, 2015)</p>	
<p>Colmena con paneles de cristal con grasa animal como PCM (Boucíguez, 2010)</p>	
<p>Colmena de madera con paneles de corcho para reducir la variación térmica de la cámara de cría (Satta, 2004)</p>	
<p>Colmena <i>Flow Hive</i> <i>Indiegogo</i></p>	

<p>Colmena con formas ergonómicas</p>	
---------------------------------------	--

De igual manera también se buscó inspiración proveniente de otras formas en otros productos ajenos al ambiente apícola, como una forma de implementar desarrollos de otras industrias en la industria apícola.

*Tabla 9 Inspiración encontrada en ejemplos análogos. Fuente: Elaboración propia*

<p>Caja de plástico por moldeado por inyección</p>	
<p>Cartón <i>Honey comb</i></p>	

<p>Hielera de poliestireno expandido</p>		
<p>Tablas de surf Matriz <i>Quarter isogrid</i> Por corte laser</p>		
<p>Cesta tejida con fibras naturales o sintéticas</p>		

#### V.9.5. Materiales y estrategia de manufactura

Para el desarrollo de las paredes de la cámara de cría se buscaron alternativas que cumplieran con dos requisitos:

- Material: Reemplazo total o parcial de la madera por un material de cual fuera de bajo costo, fácil acceso y de ser posible un residuo o subproducto de algún otro proceso.

- Manufactura: Un método de manufactura que permitiera elaborar las colmenas, en menor tiempo, con la asistencia de máquinas de control numérico y/o redujera considerablemente el uso de mano de obra.

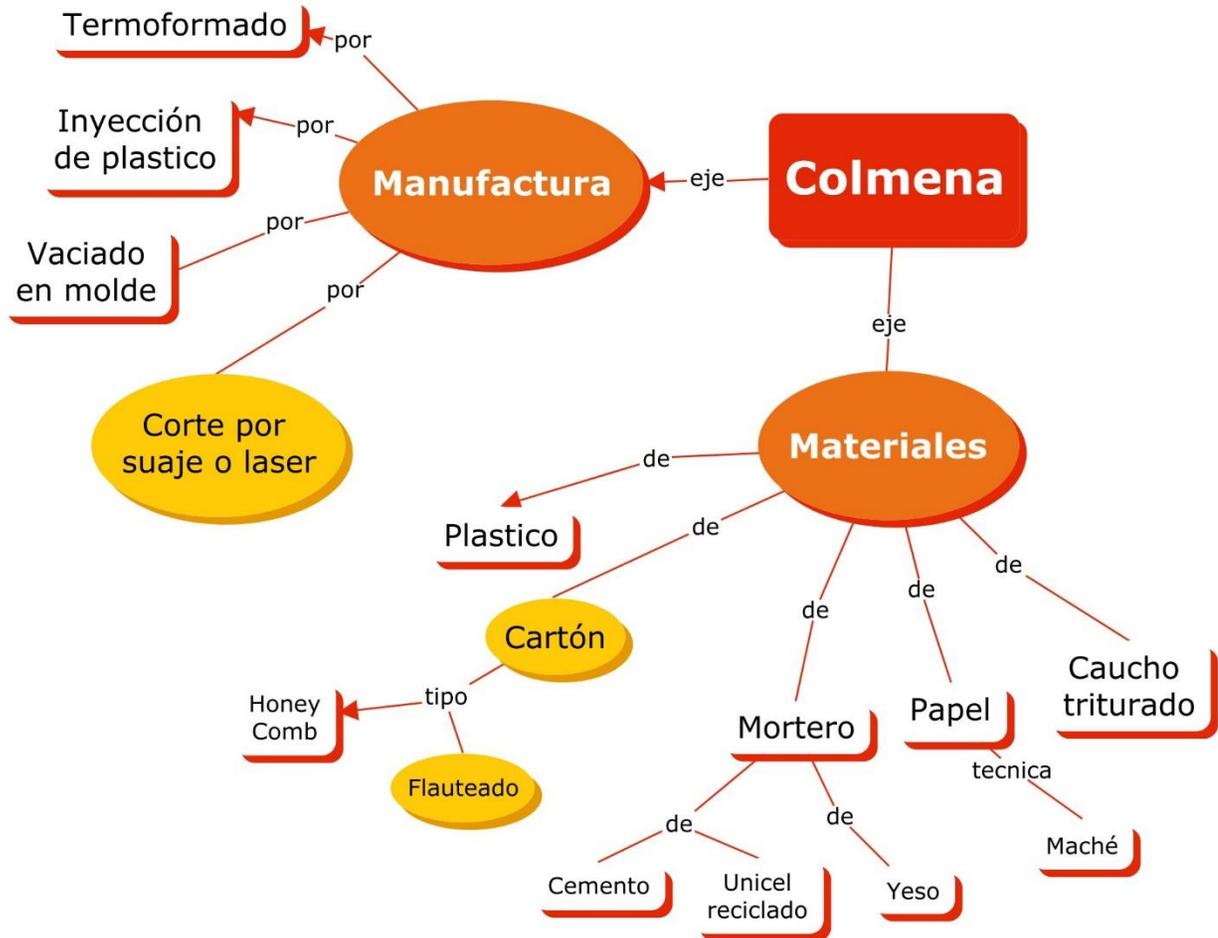


Figura 18 Requisitos y soluciones evaluadas para la manufactura de la cámara de cría

Ambos requisitos y las soluciones evaluadas para alcanzar su cumplimiento se ilustran en la Figura 18, donde se puede observar las distintas soluciones probadas y descartadas (en blanco), así como las que fueron desarrolladas hasta las últimas etapas del proyecto (en amarillo).

Con respecto a las técnicas de manufactura se evaluaron y compararon las ventajas y desventajas para la construcción de la colmena de técnicas como el

termoformado, el moldeo por inyección, el corte por troquelado y el corte laser, dicho análisis se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10 Comparativa de técnicas de manufactura disponibles, ventajas y desventajas. Fuente: Elaboración propia

Técnica	Ventajas	Desventajas
Termoformado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparativamente se requiere una menor inversión inicial</li> <li>• Es posible obtener piezas más delgadas y por tanto más livianas que en el proceso de inyección.</li> <li>• Es posible tener una mayor velocidad para obtener piezas, con posibilidad de cambios de producto a menor costo y velocidad.</li> <li>• El proceso de fabricación de moldes de termoformado para aplicaciones de vacío suele ser menos exigente que el de fabricación de moldes de inyección.</li> <li>• Se pueden tener varios productos con un solo molde y es posible hacer cambios sin alterar su precisión. Esto cuando hablamos de tecnologías para la producción de envases para bebidas lácteas y empaques para alimentos.</li> <li>• El costo de un molde de termoformado suele ser menor que el costo de un molde de inyección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se logra uniformidad en el espesor y fondo. Las geometrías típicas incluyen esquinas gruesas y paredes delgadas.</li> <li>• La necesidad de fabricar lámina puede aumentar el costo de la materia prima debido a que el porcentaje de desperdicio es elevado, aunque hay que tener en cuenta que la materia prima no se pierde, pero sí requiere de subprocesos.</li> </ul>
Inyección de plástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite obtener un gran número de piezas en un periodo corto de tiempo.</li> <li>• Los materiales utilizados para la inyección son baratos</li> <li>• Las piezas una vez acabadas requieren de poco acabado, son terminadas con la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de una inversión inicial considerable para crear un molde único</li> <li>• Para que sea rentable, la demanda piezas debe de ser numerosa</li> </ul>

	rugosidad deseada, color y transparencia.	
Vaciado en molde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Económico: es un proceso más barato que el resto de los evaluados.</li> <li>• Posibilidad de utilización en gran cantidad de materiales como matriz.</li> <li>• Acabado uniforme y semi-liso.</li> <li>• Se trata de un proceso flexible con costos de materiales bajos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se trata de un proceso recomendado para piezas de gran tamaño.</li> <li>• Las tolerancias que se obtienen suelen ser bastante grandes.</li> <li>• No es el proceso más adecuado para la realización de piezas de geometría compleja.</li> <li>• Los acabados superficiales que se obtienen no son los mejores.</li> </ul>
Corte por troquelado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor velocidad de producción y mayor número de piezas iguales a bajo costo</li> <li>• Economía del material, menor desperdicio y mayor número de piezas por rollo</li> <li>• Mayor seguridad de operación</li> <li>• Flexibilidad de la operación y menor cantidad de operarios y prensas</li> <li>• Operación automática</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión considerable en el costo del troquel</li> <li>• Diseño de operación complicado</li> </ul>
Corte laser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada precisión en chapas de espesor reducido</li> <li>• Corte de orificios muy pequeños, piezas estrechas, geometrías con ángulos muy agudos; fabricación de piezas con perfiles complejos</li> <li>• Bordes de corte perpendiculares</li> <li>• Muy buenas posibilidades de automatización</li> <li>• Aportación de calor muy reducida, no hay deformación de las piezas</li> <li>• Anchura de la vía de corte muy reducida (de 0,2 a 0,4 mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costes de inversión y de explotación elevados (elevado consumo de gas)</li> <li>• Requiere materiales de calidad especial (chapas para láser)</li> <li>• Rango limitado de espesores de la chapa (acero de construcción: 20 (25) mm, acero de alta aleación: 15 mm, aluminio: 10 mm)</li> <li>• No resulta rentable para lotes pequeños</li> <li>• Se tarda mucho en perforar los materiales gruesos</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada velocidad de corte en chapas de pequeño espesor (hasta aprox. 4 mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En chapas de espesor medio, no se obtiene una superficie de corte lisa en su totalidad</li> <li>• Exige controlar la distancia a la pieza con alta precisión</li> <li>• La estabilidad del rayo disminuye al cortar acero de construcción con un contenido normal en Si y P</li> <li>• La estabilidad del proceso disminuye al cortar materiales de superficie reflectante</li> <li>• Reducido rendimiento (láser de CO2: máx. 10 %)</li> </ul>
--	---	--

En lo referente a materiales para la construcción de la cámara de cría se evaluó el plástico, yeso, cemento, *unicel* reciclado, papel, caucho triturado, cartón flauteado y cartón *honeycomb*.

Para ello se tomó como guía la información recopilada en el libro “*Sustainable materials processes and production*” (Thompson, 2013) en el cual se evalúan diversos materiales y se les atribuye una escala de acuerdo a su disponibilidad, a la durabilidad, a que tan reciclable es y a su tendencia a ser biodegradable. Dicho análisis se aplicó a los materiales propuestos y se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11 Análisis de materiales de acuerdo a sus propiedades Fuente: Elaboración propia. Basado en la información del libro “Sustainable materials processes and production” (Thompson, 2013)

Plástico	Disponibilidad	■	■	■	■	■		
	Durabilidad	■	■	■	■	■		
	Reciclabilidad	■	■	■	■	■		
	Biodegradabilidad	■						
Yeso / Cemento	Disponibilidad	■	■	■	■	■		
	Durabilidad	■	■	■	■			
	Reciclabilidad	■	■	■	■	■		
	Biodegradabilidad	■	■					
Poliestireno expandido (unicef) reciclado	Disponibilidad	■	■	■	■			
	Durabilidad	■	■					
	Reciclabilidad	■						
	Biodegradabilidad	■						
Papel, cartón flauteado y cartón honeycomb.	Disponibilidad	■	■	■	■	■	■	
	Durabilidad	■	■	■	■	■		
	Reciclabilidad	■	■	■	■	■	■	■
	Biodegradabilidad	■	■	■	■	■	■	■
caucho triturado	Disponibilidad	■	■	■	■			
	Durabilidad	■	■	■	■	■	■	■
	Reciclabilidad	■	■					
	Biodegradabilidad	■						

Basado en este análisis se eligió el cartón por sus propiedades equilibradas y que están en concordancia con la propuesta.

#### V.9.6. Construcción del prototipo de cámara de cría colmena *Quarter isogrid*

Resultado de la búsqueda de casos análogos, de la evaluación de tecnologías de manufactura y de la evaluación de materiales se encontró que la matriz *Quarter isogrid* combinado con un material como el cartón y un método de manufactura como el corte por troquelado o el corte laser podrían ser una opción viable para la obtención del prototipo de colmena deseado, por lo que se procedió a realizar las primeras pruebas para conocer el comportamiento de los materiales.

##### V.9.6.1. Ingeniería inversa a tablas de surf y los ensambles de su estructura Quarter of Isogrid

Las tablas de surf diseñadas por Mike Sheldrake publicadas en su página <http://www.sheldrake.net> (Sheldrake, 2018) fueron estudiadas para conocer la forma en que su estructura de cartón estaba compuesta, la cual a grandes rasgos es una matriz de tiras de cartón de flauta tipo C ensambladas unas con otras, que son recubiertas con capas de resina y fibra de vidrio utilizando técnicas desarrolladas para el “*shaping*” de tablas para el surf (Figura 19).



Figura 19 Fotografía de la nariz de una tabla de surf hecha de un núcleo de matriz Quarter isogrid de cartón. Fuente: (Sheldrake, 2018)

Algunos aspectos relevantes encontrados al estudiar el diseño de las tablas de Sheldrake son:

- Las “costillas” de cartón que componen el núcleo de la tabla han sido cortadas de modo que su longitud paralelas a la dirección de mecanizado (MD) del cartón y perpendicular al flauteado.
- Están cortadas en dos patrones de ensamble diferentes, a los que se les ha bautizado como peine y zigzag (Figura 20).
- En cada una de las muescas de ensamble de las costillas el diseñador puso una pequeña muesca en forma de medio círculo (ver zona dentro del círculo rojo en la Figura 20) para permitir la ventilación entre celdas de la estructura una vez que esta se encuentra armada y encapsulada en la cubierta de fibra de vidrio y resina.
- Las costillas poseen formas curvas que una vez armadas permiten dar una forma orgánica e hidrodinámica a la tabla de surf que componen.
- En cada intersección de la matriz *Quarter isogrid* solo participan 2 costillas.

- El desempeño exitoso de la matriz de cartón en las tablas de surf depende de su recubrimiento de resina y fibra de vidrio le cual deberá ser impermeable y deberá proveer la resistencia mecánica suficiente para los esfuerzos e impactos que implica la práctica del surf.

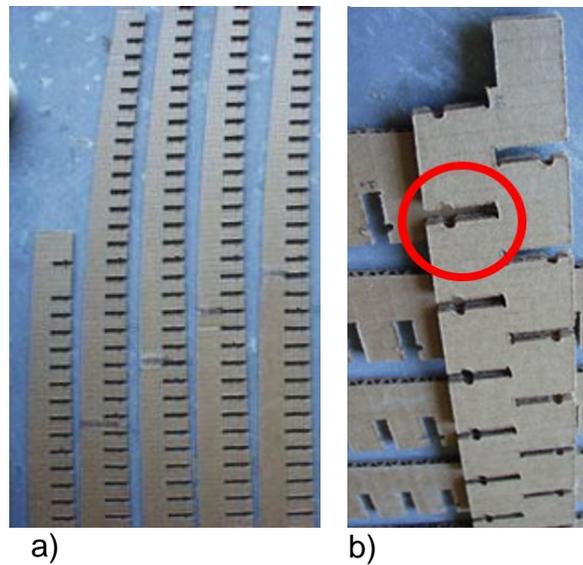


Figura 20 Patrones de corte del cartón en las tablas de Sheldrake. a) Costilla tipo peine, b) costilla tipo Zigzag. Fuente: (Sheldrake, 2018).

- Las dimensiones y forma de las costillas varían dependiendo de su posición en la tabla de surf, sin embargo el ancho de las muescas de ensamble es siempre el mismo (6.65mm), pues está diseñado para el grosor de un cartón de flauta tipo C, por su parte el ancho del espacio entre muescas es de 16.55mm (ver Figura 21).
- El largo de las muescas de ensamble varia con respecto al ancho del punto de la costilla en el que se encuentre manteniendo siempre una proporcionalidad de un 50.52% con respecto dicho ancho (ver Figura 21).

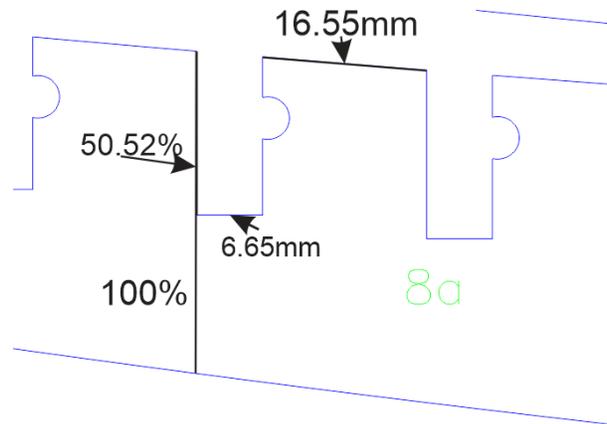
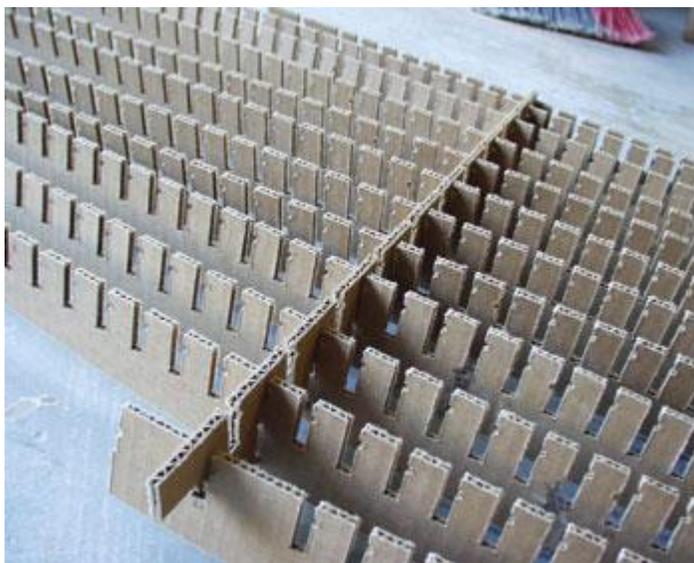


Figura 21 Dimensiones de la muesca de ensamble de las costillas. Fuente: (Sheldrake, 2018)

- Las costillas en *Zigzag* se ensamblan perpendicularmente sobre una serie de costillas en peine colocadas todas paralelas, para después colocar otra serie de costillas en peine sobre el arreglo de costillas en peine y *zigzag* previamente ensambladas.
- La matriz al final forma un arreglo de hexágonos alineados cuyas caras colindan con pequeños triángulos.



a)



b)

Figura 22 a) Ensamble de la tabla en proceso. b) Núcleo de la tabla completamente armado. Fuente: (Sheldrake, 2018)

### V.9.6.2. Diseño CAD de las costillas de la matriz

Partiendo del análisis de ingeniería inversa realizado, se desarrollaron las piezas básicas de la futura colmena el prototipo CP1 y el CZ1, el primero de ellos, un peine de 31.25cm de largo y 2 cm ancho con 14 muescas de 1cm por 0.47cm con una separación entre muescas de 1.83cm (ver Figura 23).

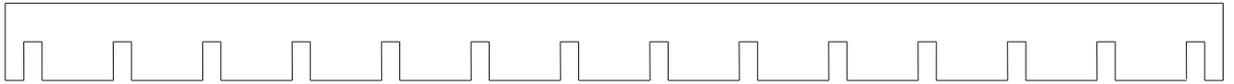


Figura 23 Prototipo CP1: peine 14 muescas

El segundo consistió en una costilla en Zigzag de 30.32cm de largo y 2cm de ancho con 45 muescas de 1cm de largo por 0.47cm 23 de un lado y 22 del otro con una separación entre muescas de 1.83cm, la cual en la colmena iría horizontalmente (ver Figura 24).



Figura 24 Prototipo CZ1: Zigzag 45 muescas

### V.9.6.3. Prueba de los ensambles

Ambos prototipos se cortaron en laser sobre láminas de cartón de flauta tipo C de 3mm de espesor y se probaron en ensambles, encontrando algunas áreas de oportunidad las cuales se ilustran en la Tabla 12.

Tabla 12 Áreas de mejora de los primeros dos prototipos

Áreas de oportunidad	Acción correctiva
El ancho de 3mm de las muescas era demasiado corto para permitir los ensambles a 60° que requiere la matriz <i>Quarter isogrid</i> , lo que ocasionaba que las piezas se deformaran para poder ensamblar.	Se aumentó el ancho de la muesca en el CP1 hasta 0.6cm y se redujo la separación entre las mismas a 1.4cm.
El prototipo CZ1 estaba mal diseñado pues la distribución y número de muescas estaba exagerado, lo que lo	El prototipo CZ1 se rediseño completamente, aumentando la separación de las muescas hasta los

hacía incompatible con el prototipo CP1.	3.4cm y el ancho de la muesca hasta 0.6cm.
Las piezas cuya longitud iba en sentido perpendicular a la dirección de la flauta tendían a doblarse durante los ensambles.	Durante el diseño del vector de corte y durante el proceso de corte laser se cuidó que el largo de la pieza fuera paralelo a la dirección de la flauta.
Una pieza en Zigzag como la CZ1 no podría funcionar apropiadamente como base durante el ensamble.	Se desarrolló una nueva pieza en forma de escuadra con muescas alineadas en peine que sirviera como base.
La longitud de las piezas cortadas en laser no coincide y no permite dar forma a una colmena con la matriz adecuadamente.	Se realizó un modelo 3D en software CAD para diseñar apropiadamente las piezas de la colmena y corroborar los ensambles.

#### V.9.6.4. Rediseño de las costillas de la matriz y modelado en 3D de la cámara de cría *Quarter isogrid*

Basado en las correcciones descritas en la Tabla 12 se creó un modelo 3D en *SolidWorks* del ensamble del núcleo de la cámara de cría, del cual se partió para construir el modelo real.

El prototipo estructural de la cámara de cría se alcanzó satisfactoriamente, por lo que se procedió a la siguiente etapa del proyecto, el desarrollo, encapsulado e incorporación del material de cambio de fase.

#### V.9.7. Evaluación del cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) como material de cambio de fase.

Para hexahidratar el cloruro de calcio se realizó un cálculo para determinar la cantidad de  $\text{CaCl}_2$  y de agua destilada necesaria para llegar a una proporción en la mezcla que garantizara que existieran 6 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  por cada molécula de  $\text{CaCl}_2$ . Para ello el cálculo se basó en los pesos moleculares de cada compuesto los cuales se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13 Pesos Moleculares

Compuesto	Peso molecular (g/mol)
CaCl <sub>2</sub> anhidro	110.98 g
H <sub>2</sub> O Destilada	17.99 g

Fuente: Elaboración propia

La lógica para realizar el cálculo se basó en una “regla de 3” la cual establecía que para obtener CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O por cada molécula de sal había que agregar 6 moléculas de agua y que al multiplicar el número de moléculas de cada sustancia por su peso molecular se obtendría la cantidad en gramos de cada sustancia que debería estar presente en la mezcla para obtener el nivel de hidratación deseado. Obteniendo que la cantidad de CaCl<sub>2</sub> que se requiere para 1 litro de solución es de 1028 g lo cual coincide con el método utilizado por (Meizhi, Luwei, & Zhentao, 2018) quien reporto haber usado una relación de 1.028:1 (CaCl<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O).

Para la hidratación del CaCl<sub>2</sub> se utilizó un vaso de precipitado de cristal de 1 litro como material de contención, se vertieron 500 ml de agua destilada los cuales se habían medido previamente con una probeta de 500 ml ± 5 ml, posteriormente se pesaron 514.2 g de CaCl<sub>2</sub> con la ayuda de una balanza digital con resolución de 0.1 g, una vez pesada la sal se agregó poco a poco a la mezcla en cantidades de 50 g aproximadamente por vez, hasta disolver el total del material.

Durante todo el experimento se monitoreo la temperatura de la mezcla para procurar que esta no superará los 100°C con la ayuda de termómetro de mercurio capaz de medir de 0 a 100°C con una resolución de 1°C y con la ayuda de una termoplaca de agitación de la marca “Barnstead Thermolyne” se mantuvo la mezcla en agitación para auxiliar a la disolución. Una vez disuelto todo el material se obtuvo una solución de apariencia café turbia tal como lo

indica la Figura 25, la cual se procedió a almacenar en una botella ambar con capacidad de 1 litro.



*Figura 25 Solución de  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$*

Para acelerar el proceso de solidificación se procedió a refrigerar la solución a  $5^\circ\text{C}$  por 12 horas obteniendo un arreglo cristalino de  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dentro de la botella tal como se muestra en la *Figura 26*.



*Figura 26 Arreglo cristalino de cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en frasco ambar. Fuente elaboración propia*

#### V.9.8. Evaluación del comportamiento como PCM del cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

Una vez obtenido el  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  se procedió a evaluar su comportamiento como material de cambio de fase, lo que se buscaba era la presencia de una curva isoterma en la gráfica de temperatura de material a través del tiempo.

Se colocó 1ml de  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en un vial de vidrio tapado con un tapón por el cual atravesaba un termopar que se pondría en contacto con el material al cerrar el recipiente.

El termopar estaba conectado a una tarjeta de adquisición de datos la cual registraba el comportamiento térmico dentro del vial a razón de una muestra por segundo.

El vial fue colocado en un termociclador *Peltier* el cual consistió en una cámara de poliestireno expandido de 10 x 10 x 10 cm en contacto con dos celdas *Peltier* de 4.5 x 4.5 cm, las cuales suministran los ciclos de calor y frío durante 2 horas y 46 minutos.

El resultado de este experimento fue una curva donde se observa el comportamiento térmico del material de cambio de fase.

#### V.9.9. Encapsulado del material de cambio de fase

La solución de  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  posteriormente se licuó con la ayuda de un horno de microondas, sometiéndola a 6 ciclos de calentamiento de 15 segundos cada uno, hasta fundir todos los cristales, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente ( $<28^\circ\text{C}$ ) sin dejar que solidifique de modo que se pudieran verter 10 ml de la solución en pequeñas bolsitas de plástico para su encapsulación tal como se muestra en la Figura 27.



*Figura 27 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O Encapsulado en plástico*

Una vez encapsulado el PCM se procedió a incorporar 55 cápsulas con 10ml de PCM cada una en la estructura interna de las paredes de la colmena y sellando cada cámara con láminas de aluminio de 0,2mm de modo que las capsulas se pudieran contener en su lugar y a su vez propiciar la transferencia de calor al interior de la colmena.

Esto se realizó para verificar el comportamiento del material dentro de las capsulas y dentro de la colmena, debido a los resultados insatisfactorios se procedió a buscar una alternativa para el encapsulado.

#### V.9.10. Rediseño de la capsula para el CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O

Se propuso la implementación de viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml de capacidad como los de Figura 28.



*Figura 28 Viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml de capacidad*

La solución presentada cumple con los requerimientos necesarios para la validación el prototipo. Por lo que se procedió a desarrollar el prototipo para la validación del sistema con este método de encapsulado, sin embargo una área de oportunidad es la de encontrar un encapsulado más efectivo.

#### V.9.11. Diseño del sistema de monitoreo de temperatura

Para medir el comportamiento térmico de la colmena se procedió a colocar un sistema instrumentado basado en “arduino” el cual cuenta con la capacidad de almacenar a través del tiempo los datos recolectados por sus 5 termómetros DHT22 los cuales trabajan en un rango de operación de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  con una resolución de  $0.1^{\circ}\text{C}$  y una precisión  $<\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  el diagrama de armado del sistema se encuentra en la Figura 29.

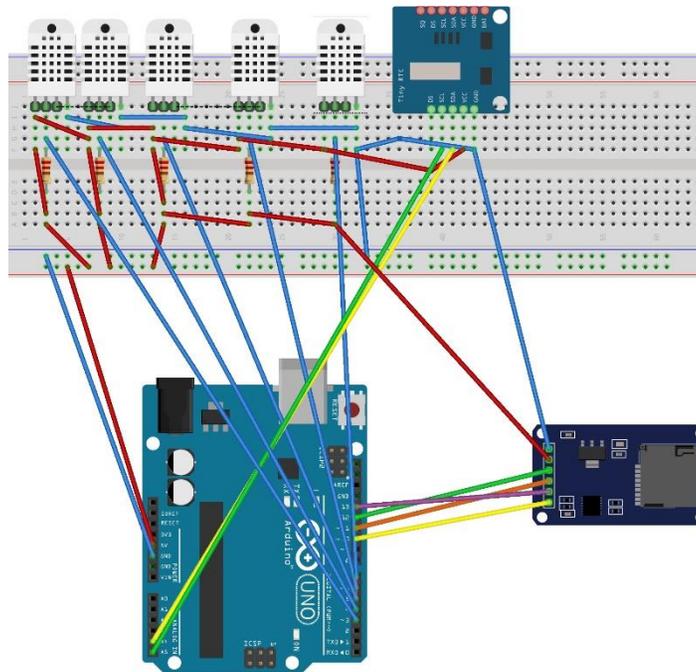
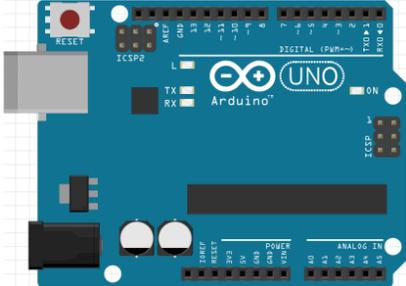
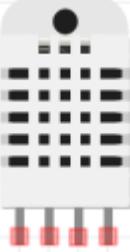
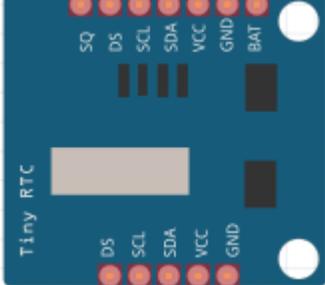
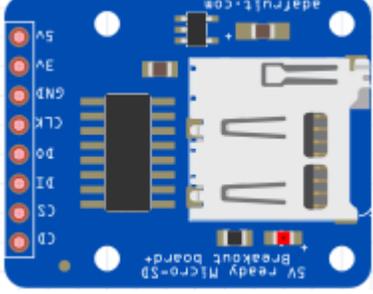


Figura 29 Diagrama del prototipo para la recolección de datos. Fuente: Elaboración propia

Los materiales necesarios para dicho sistema de monitoreo de temperatura se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14 Materiales necesarios para sistema de monitoreo de temperatura

Componente	Imagen
<p>Arduino Uno es un tablero para microcontroladores basado en el ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.</p>	

<p>Sensor DHT22: rango de medición de temperatura es de <math>-40^{\circ}\text{C}</math> a <math>80^{\circ}\text{C}</math> con precisión de <math>\pm 0.5^{\circ}\text{C}</math> y rango de humedad de 0 a 100% RH con precisión de 2% RH, el tiempo entre lecturas debe ser de 2 segundos como mínimo.</p>	
<p>DS1307 de <i>Maxim/Dallas</i> es un circuito integrado reloj en tiempo real (RTC) capaz de almacenar y llevar la cuenta de la fecha y hora de manera autónoma, además dispone de unos cuantos bytes de memoria RAM no volátil (NVRAM) para almacenar datos arbitrarios.</p>	
<p>Módulo de interfaz tarjeta <i>MicroSD</i> permite conectar a un microcontrolador una tarjeta de memoria, de forma que se pueden almacenar grandes cantidades de datos usando un microcontrolador como dispositivo de control.</p>	
<p>Resistencia eléctrica de <math>10\text{K}\Omega</math></p>	

#### V.9.12. Verificación y ajuste de las mediciones de los termómetros DHT22

Los termómetros utilizados para la recolección de datos son del tipo DHT22 obtenidos con el proveedor internacional *Sparkfun* su ficha técnica se encuentra en la Tabla 15.

Los DHT22 utilizan una tecnología de detección, asegurando su confiabilidad y estabilidad. Sus elementos de detección están conectados con una computadora de un solo chip de 8 bits.

Cada sensor de este modelo está compensado y calibrado en una cámara de calibración precisa y el coeficiente de calibración se guarda en el programa en la memoria OTP, cuando el sensor está censando, hará referencia al coeficiente de la memoria.

El tamaño pequeño y el bajo consumo y la larga distancia de transmisión (20 m) permiten que DHT22 se adapte a todo tipo de aplicaciones difíciles.

Su diseño de conexión de una sola fila empacada con cuatro pines, hace que la conexión sea muy conveniente.

Tabla 15 Ficha técnica del sensor DHT22. Fuente: (Aosong Electronics Co.,Ltd, 2018)

<b>Modelo</b>	<b>DHT22</b>
<b>Alimentación</b>	3.3-6V DC
<b>Señal de salida</b>	Señal digital vía bus de datos sencillo
<b>Elemento sensor</b>	Capacitor de polímero
<b>Rangos de operación</b>	Humedad 0-100%RH; Temperatura: 40~80°C
<b>Exactitud</b>	Humedad +-2%RH(Max +-5%RH); Temperatura <+-0.5 °C
<b>Resolución o sensibilidad</b>	Humedad 0.1%RH; Temperatura 0.1 °C
<b>Repetibilidad</b>	Humedad +-1%RH; Temperatura +-0.2°C
<b>Período de detección</b>	2s en promedio

Para el ajuste de los sensores se colocaron todos dentro de una cámara hermética con un volumen de 1 litro y se monitoreo en tiempo real la medición de

cada uno de los sensores encontrando que la dispersión en las mediciones eran menores a 0.2°C a través del tiempo entre algunos sensores.

Para homogenizar las mediciones se tomó como referencia de entre los 5 termómetros, el termómetro 1 y el termómetro 3 los cuales coincidían en medición de temperatura y se procedió a ajustar los otros tres termómetros colocando la corrección en el código del sistema de adquisición de datos, dicha corrección se encuentra en la Tabla 16.

Tabla 16 Tabla de correcciones de los termómetros DHT22

Termómetro	Ajuste °C
T1	0
T2	+0.2
T3	0
T4	-0.1
T5	-0.1

#### V.10. CORRIDA EXPERIMENTAL DE VALIDACIÓN DE LA TESIS

La corrida experimental consistió de 4 experimentos los cuales se encuentra resumidos en la Figura 30.

Los objetos experimentales son 4 colmenas (ver Tabla 17) dos de madera y dos desarrolladas durante este proyecto llamadas colmenas *Quarter isogrid* las cuales pueden tener o no un sistema de almacenamiento de calor latente dependiendo del experimento, sin embargo se considera que este sistema esté presente en el producto final.

Tabla 17 Colmenas empleadas en el experimento

Colmena	Descripción
---------	-------------



#### Colmena *Quarter isogrid*

- Posee un sistema de almacenamiento de calor latente 940ml de PCM  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  encapsulado en capsulas de cristal.
- Está hecha de una matriz de cartón
- Tiene un recubrimiento externo e interno de resina de poliéster y fibra de vidrio lo que la hace impermeable.
- Es translúcida, se prevé un posible efecto invernadero en sus capsulas.



#### Colmena tradicional nueva

- Carece de un sistema de almacenamiento de calor latente.
- La madera que la compone funge como aislante y almacén de calor sensible.
- Su superficie es de color madera claro condición que influye en la cantidad de radiación que puede captar
- La degradación de la madera es mínima
- Tanto esta como la anterior se encuentran ampliamente en uso en condiciones reales, la única diferencia es el tiempo de uso.



#### Colmena tradicional vieja

- Carece de un sistema de almacenamiento de calor latente.
- La madera que la compone funge como aislante y almacén de calor sensible.
- Su superficie es de color madera obscuro condición que influye en la cantidad de radiación que puede captar.
- La degradación de la madera es mayor en comparación con la anterior.
- Tanto esta como la anterior se encuentran ampliamente en uso en condiciones reales, la única diferencia es el tiempo de uso.

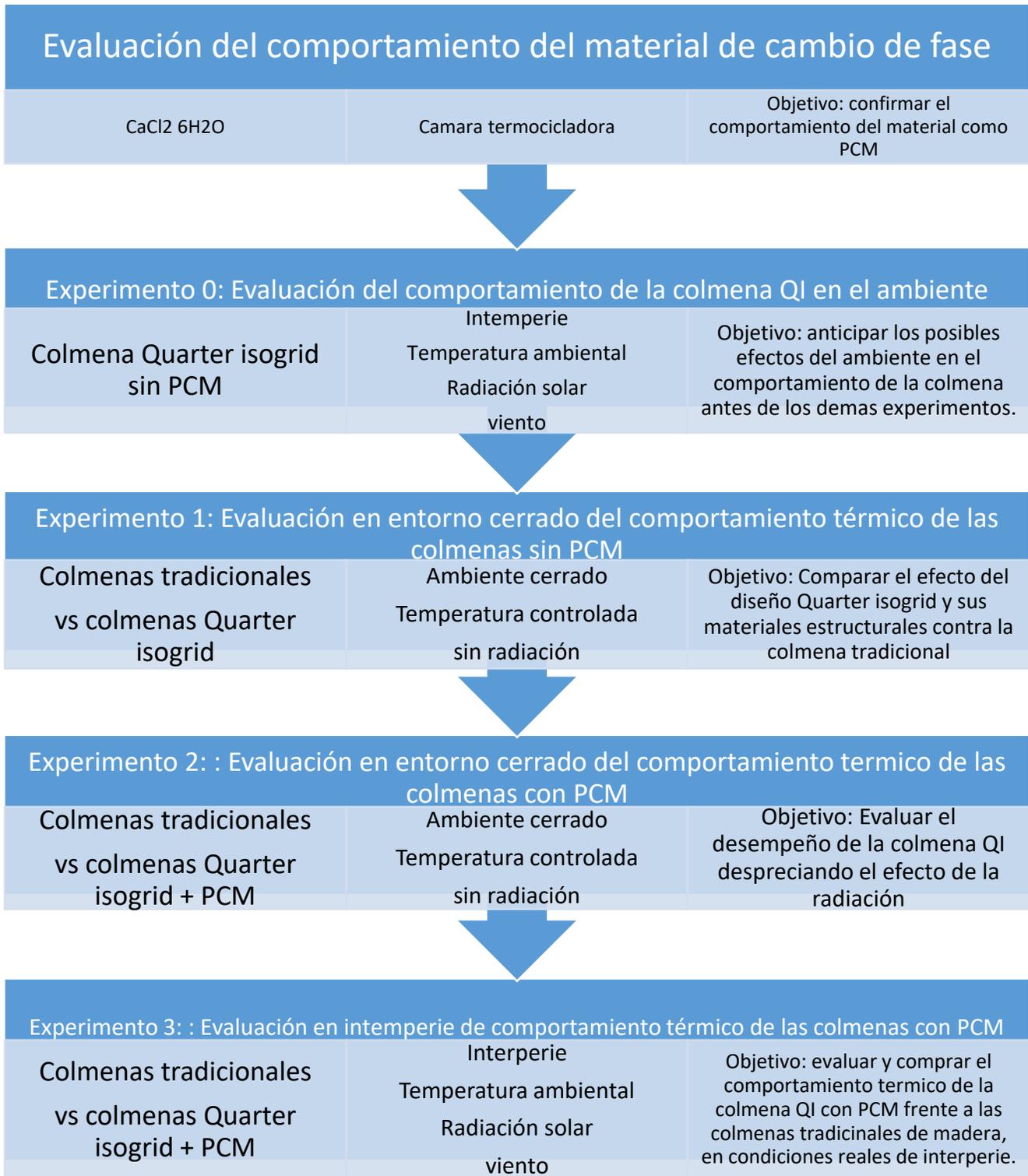


Figura 30 Diagrama de experimentos para la validación de la hipótesis

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### VI.1. Resultados del estudio bajo la metodología doble diamante del entorno apícola.

Como resultado de la etapa descubrir en su fase de revisión bibliográfica se encontraron los siguientes *insights*:

- La cera vieja en los panales guarda toxinas.
- La modificación artificial del tamaño de celdilla en los panales trajo efectos negativos en el desarrollo de las abejas.
- Importancia biológica de mantener la temperatura optima en la cámara de cría.
- Importancia económica de mantener la temperatura optima en la cámara de cría.
- Efecto negativo de los factores biológicos en las abejas y la apicultura mexicana.
- Aspectos socioeconómicos de la población que practica la apicultura (edad promedio, ingreso promedio, actividades económicas complementarias).
- Las grietas en la madera de las colmenas permiten el alojamiento de plagas y enfermedades, pues aunque las abejas tienen hábitos de higiene en la colmena, por su tamaño no tienen acceso a esos sitios.

Como *insights* resultantes de la etapa de investigación de campo en su modalidad entrevista se obtuvieron los siguientes:

- Existe una carencia de maquinaria especializada que reduzca las horas hombre durante la elaboración de colmenas.
- Dificultad para conseguir madera todo el año dentro del precio, calidad, densidad y peso.
- Efectos negativos del Cambio climático en retraso y adelanto de floraciones.

- Efectos negativos de la agricultura de monocultivo, uso de pesticidas y cambio de uso de suelo.
- La modificación artificial del tamaño de celdilla en los panales trajo efectos negativos en el desarrollo de las abejas.
- Importancia biológica de mantener la temperatura optima
- Efecto negativo de los factores biológicos en las abejas y la apicultura en la cámara de cría.
- Aspectos socioeconómicos de la población que practica la apicultura (edad promedio, ingreso promedio, actividades económicas complementarias).
- Robo de colmenas
- Calor extremo y su efecto en el enjambre.
- Necesidad de trashumancia.
- Las grietas en la madera de las colmenas permiten el alojamiento de plagas y enfermedades, pues aunque las abejas tienen hábitos de higiene en la colmena, por su tamaño no tienen acceso a esos sitios.

Analizando los descubrimientos se procedió a seleccionar 4 ejes rectores de la propuesta, con base en la problemática, las necesidades de los apicultores, las áreas de oportunidad en las prácticas apícolas, los conocimientos y área de especialización del equipo, por lo cual se eligieron como problemas factibles los siguientes ejes sobre los cuales avanzar a la siguiente etapa de definición:

- La manufactura de la colmena.
- Los materiales de la colmena
- La temperatura de la cámara de cría

Todo el proceso efectuado y los resultados de esta primera etapa de descubrimiento se ilustran en la Figura 31.

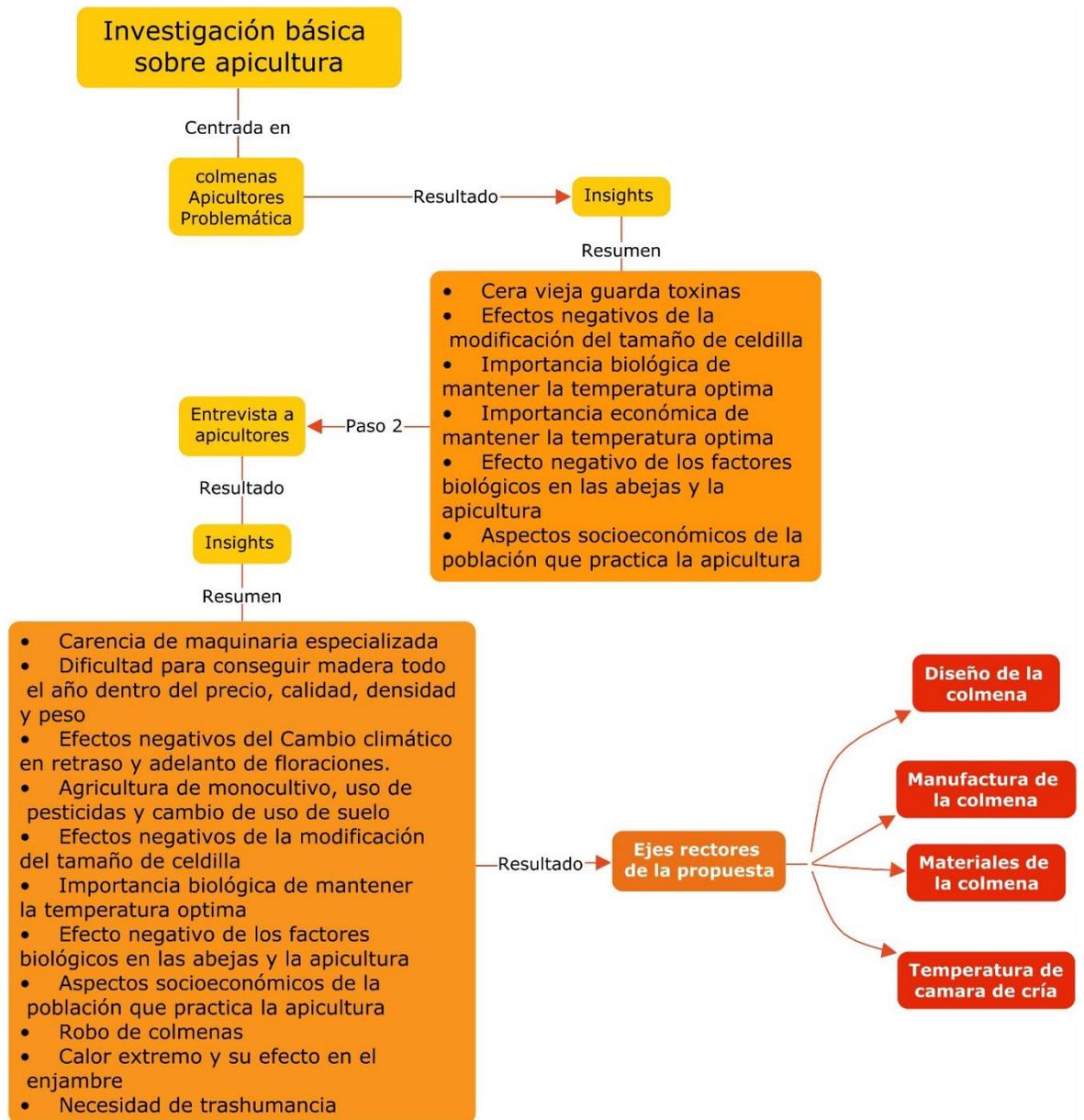


Figura 31 Etapa Descubrir Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis de interconexiones de los *insights* encontrados en la etapa previa se obtuvo la Figura 32 donde se pudieron identificar puntos de interconexión común con relaciones del tipo causa-efecto, y se logró saber que causa atacar para resolver la mayor cantidad de problemas o necesidades.

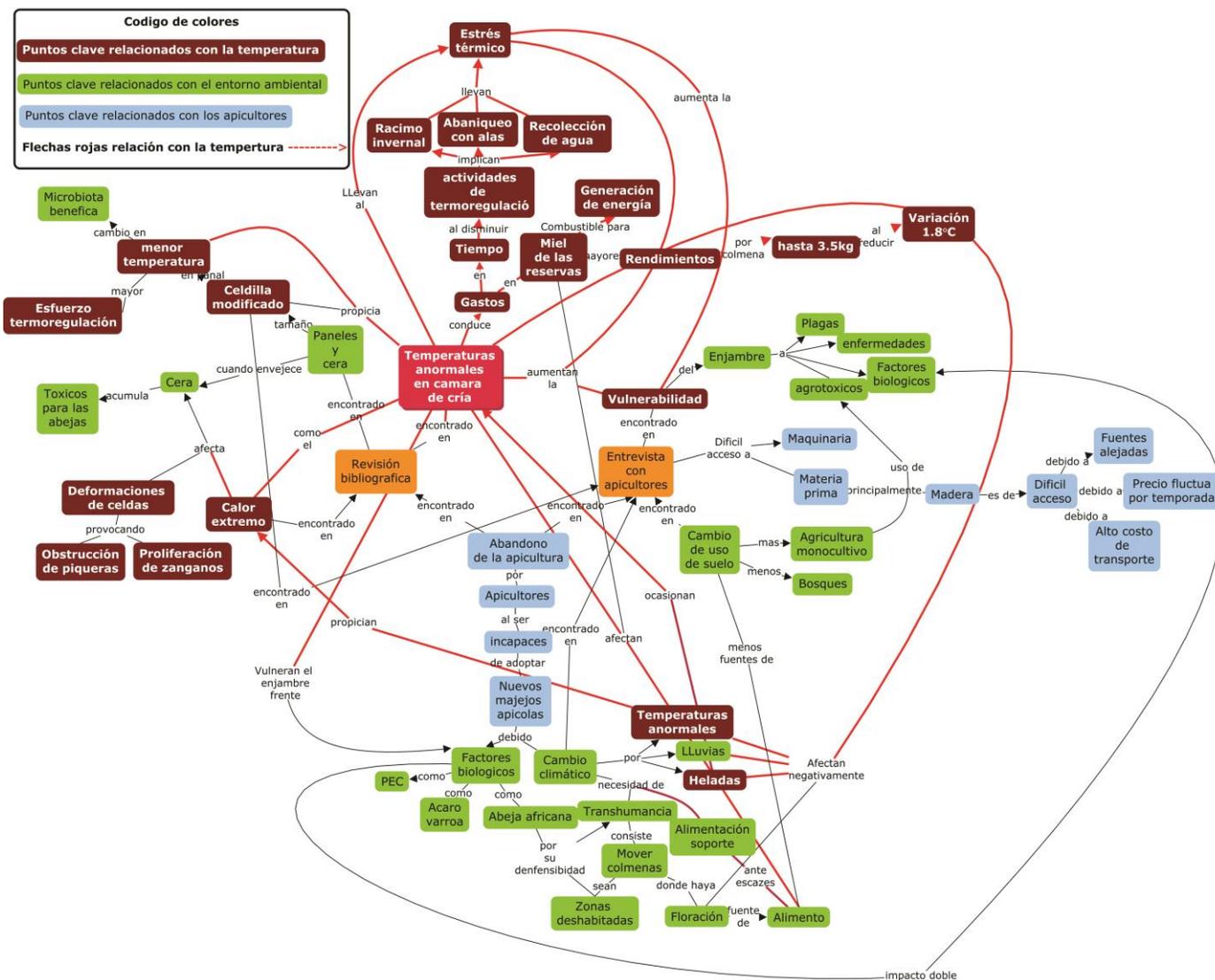


Figura 32 Gráfica de interrelaciones de los factores apícolas de la problemática estudiada Fuente: elaboración propia.

El problema en común sobre el cual recayeron una gran cantidad de conexiones relevantes fueron las temperaturas anormales en la cámara de cría en las cuales convergieron varios *insights* precisamente por la gran relevancia de este parámetro físico para el bienestar y óptimo desarrollo de cualquier organismo vivo. Según el diagrama de interrelaciones el incidir en este parámetro físico en el cultivo de las abejas puede lograr una mejora a nivel biológico en el desarrollo de

la especie y puede ayudar a contrarrestar varios aspectos ambientales que en el presente están incidiendo en los cultivos apícolas.

Otros *insights* secundarios sobre los cuales se podría incidir y que resultan de importancia son la colmena apícola y la forma en que se manufactura, pudiendo en conjunto hacer que se obtengan mejores resultados al mantener la temperatura optima de la cámara de cría y a su vez una manera más factible de obtener colmenas.

### Resultados de la etapa desarrollar

En la Figura 33 se esquematizan todas las soluciones de diseño evaluadas previamente y durante la construcción del prototipo, esto como resultado de un proceso iterativo de diseño en el cual las mejores soluciones y propuestas sobresalen de las demás.

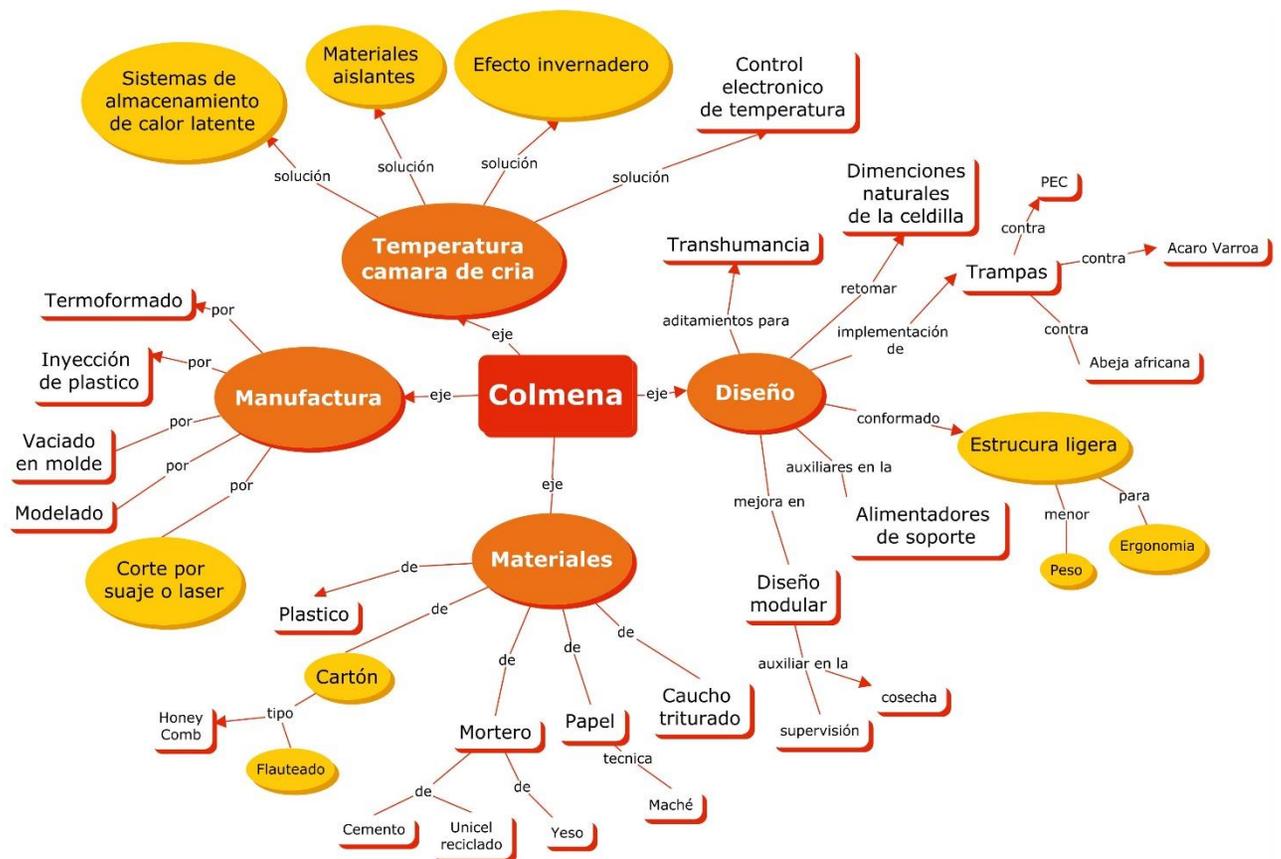


Figura 33 Posibles soluciones (en amarillo) a los ejes (naranja) sobre los cuales incidir Fuente: Elaboración propia

En lo referente al prototipo al final de esta etapa se concluyó con uno que contara con un sistema de almacenamiento de calor latente, un arreglo de materiales aislantes térmicos y la propiedad de generar efecto invernadero, hecho principalmente de cartón y manufacturado por máquinas de corte laser, corte CNC o de corte con troquel (suaje), que fuera más ligero que la madera de modo que su ligereza fuera auxiliar en la manipulación y uso de la misma.

#### VI.2. **Etapa 4: Entrega. Resultados del diseño estructural de la colmena *Quarter isogrid***

De la etapa de rediseño se obtuvieron oportunidades que llevaron al desarrollo de la estructura final de la cámara de cría, el modelo tridimensional se encuentra ilustrado en la Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37 en *Solidworks*.

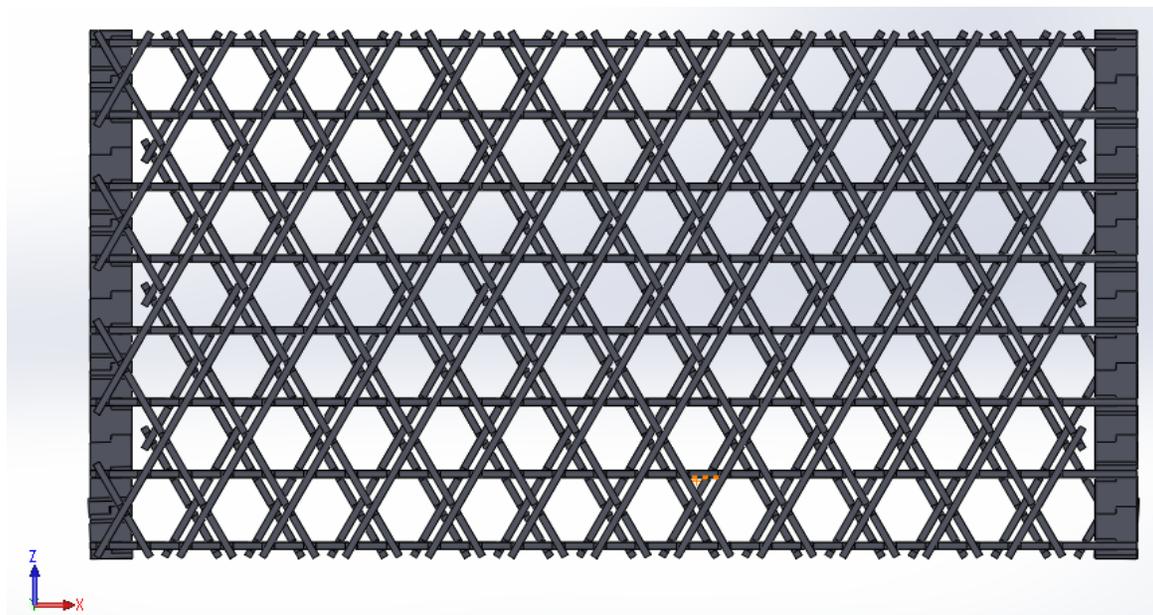


Figura 34 Vista lateral del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena

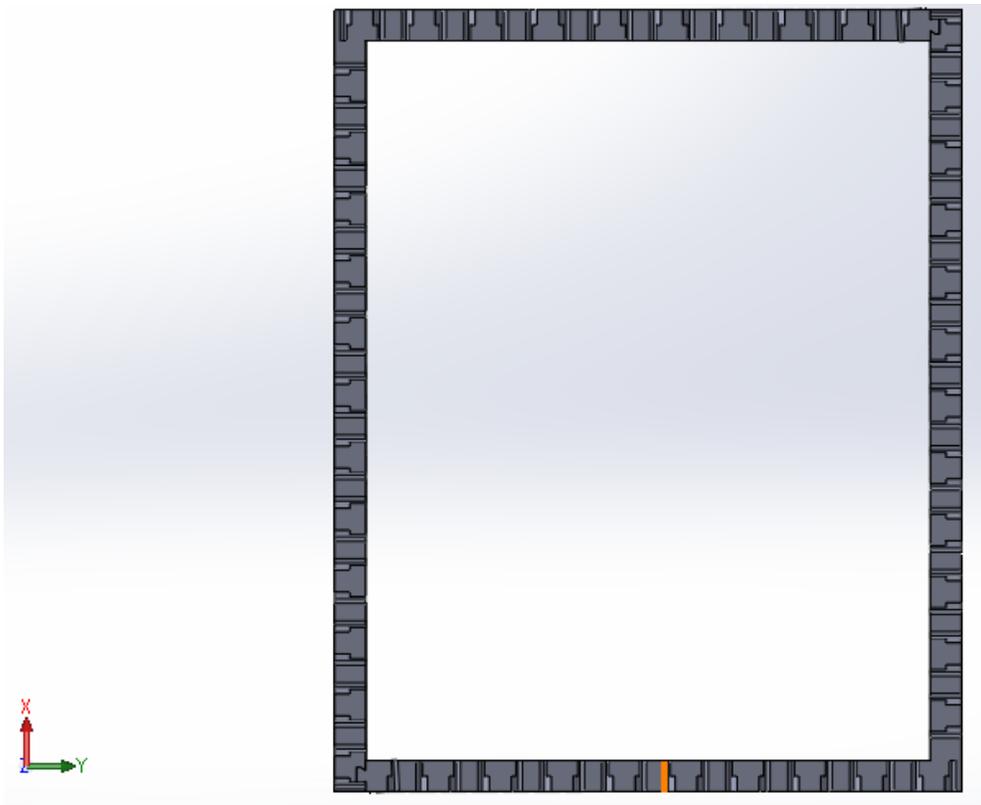


Figura 35 Vista superior del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena

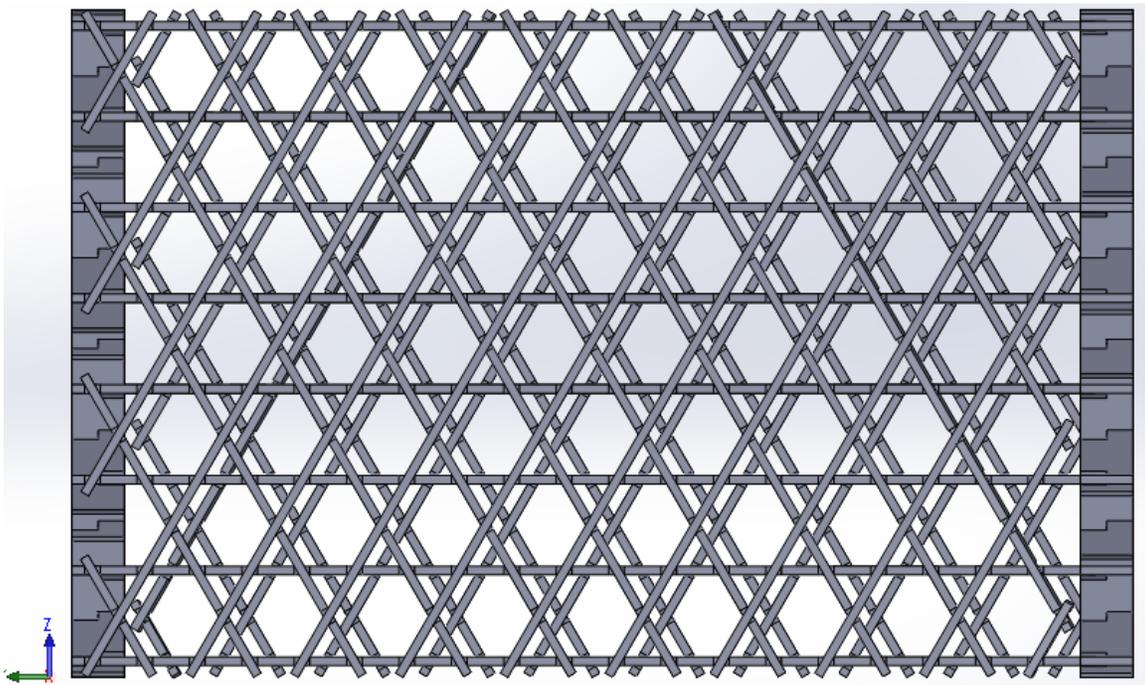


Figura 36 Vista lateral del lado angosto del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena

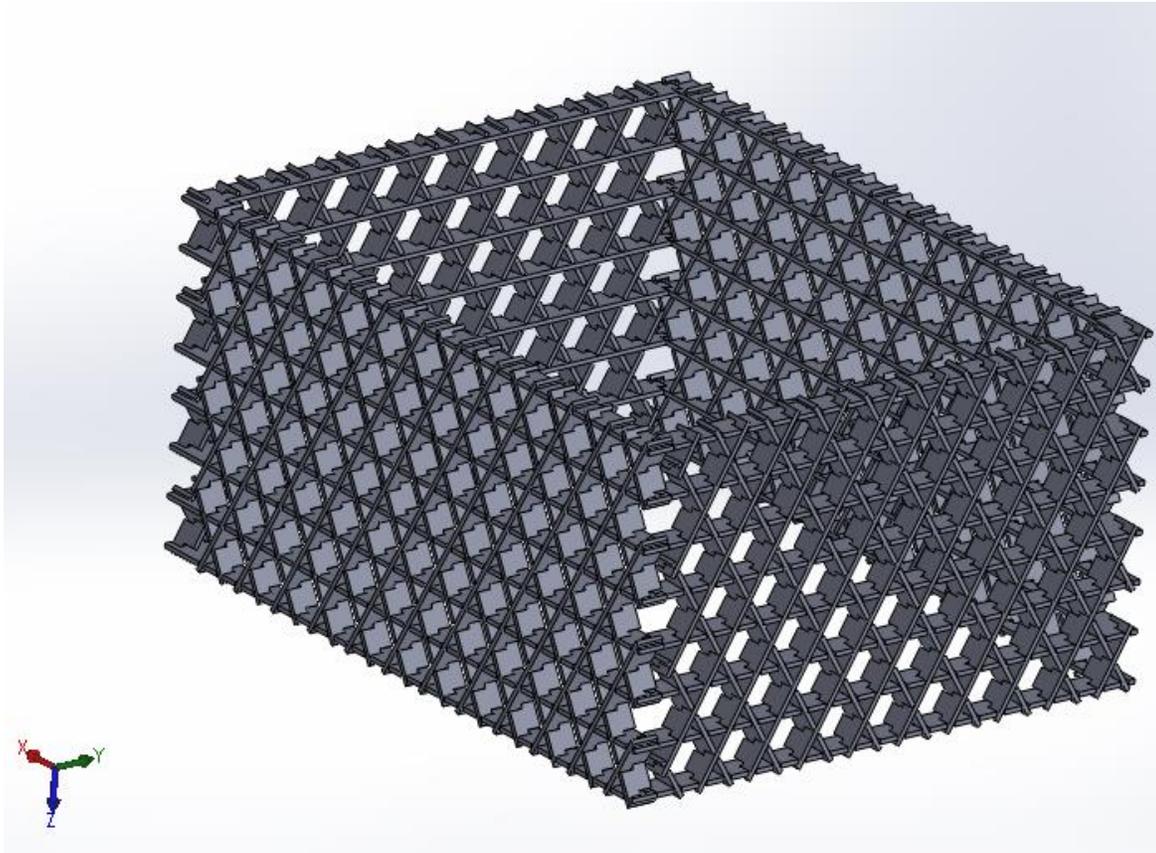


Figura 37 Vista isométrica del modelo tridimensional de la cámara de cría de colmena

De igual manera también resultó el número de piezas preciso y la cantidad muescas los cuales se detallan en la Tabla 18.

Tabla 18 Número de piezas necesarias para la colmena, Filas= tipo de piezas y columnas = número de muescas en cada pieza

# muescas Pieza	2	3	4	6	7	8	10	11	12	14	15	43
Peine	2	4	2	2	4	2	2	4	2	2	30	-
zigzag	2	4	2	2	4	2	2	4	2	2	30	-
Escuadra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16

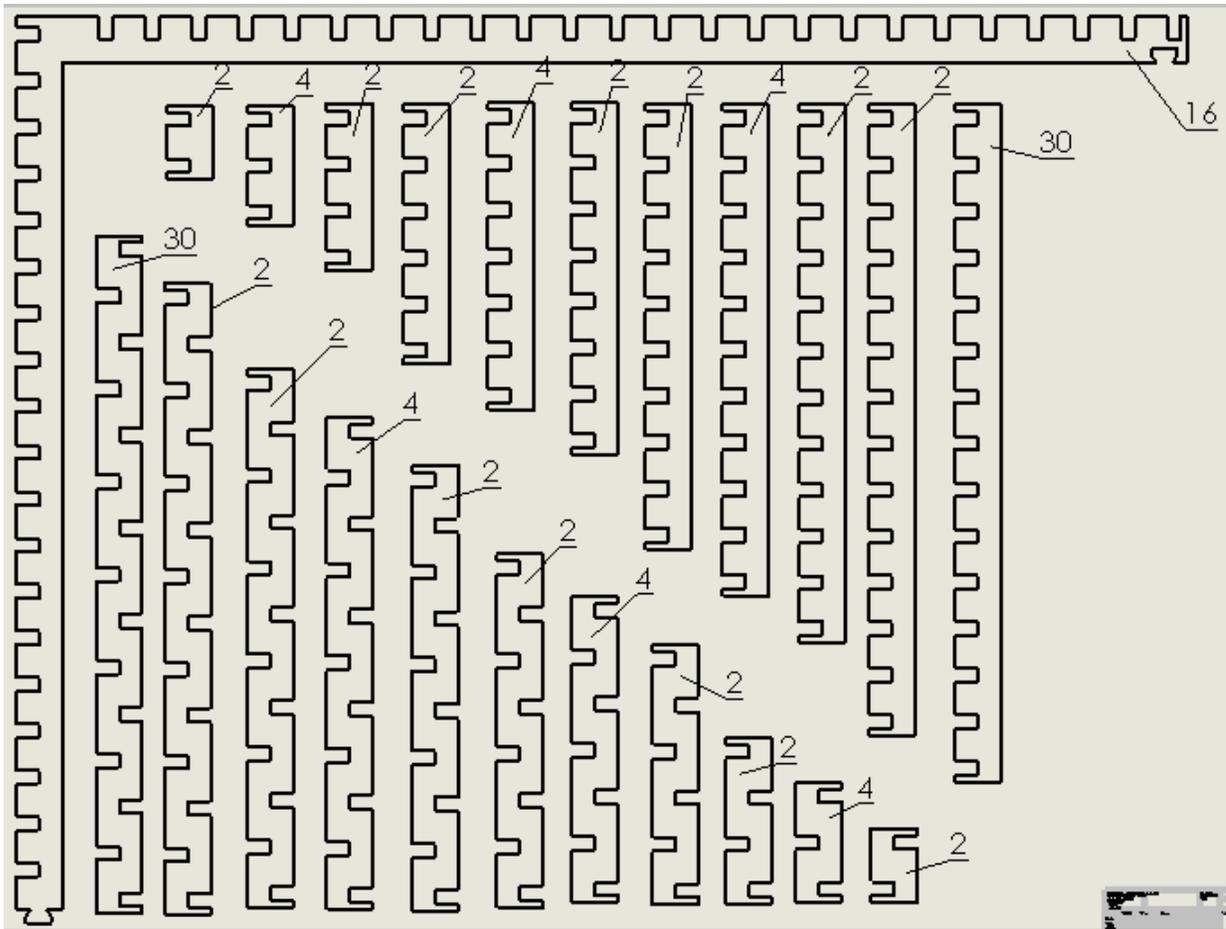


Figura 38 Dibujo técnico de las piezas necesarias para la cámara de cría. (El número necesario de cada una se encuentra como anotación a lado de la pieza)

En la Figura 38 se pueden observar el dibujo técnico de cada una de las piezas, así como la cantidad necesaria de cada una para generar una cámara de cría como la del modelo.

#### VI.2.4.1. Ensamble de panel *Quarter isogrid*

Una vez completado el análisis y la simulación de ensamble, se procedió a cortar las piezas diseñadas, esto se realizó con un proveedor local de servicios de corte laser. Una vez obtenidas las piezas se procedió al ensamble, el cual resultado ser satisfactorio como se tenía contemplado, en lo referente a la compatibilidad de las medidas de la cámara de cría desarrollada con el resto de los elementos de la colmena presento conformidad Figura 39 y se aceptó el diseño para llevarlo a la etapa de recubrimiento.



Figura 39 Matriz de cartón armada

#### VI.2.4.2. Recubrimiento con resina y fibra de vidrio de la cámara de cría de la colmena *Quarter isogrid*

El recubrimiento de la matriz de cartón que daba forma a la cámara de cría se realizó con los materiales descritos en la página 43, obteniendo como resultado la colmena en la Figura 40.



*Figura 40 Colmena completa con cámara de cría Quarter isogrid recubierta con resina y fibra de vidrio*

En el interior se dejaron cavidades sin recubrir de resina ni fibra de vidrio, con la intención de colocar en ellas el material de cambio de fase en el sistema de almacenamiento de calor latente, dichas cavidades se pueden observar en la Figura 41.



Figura 41 Vista interior de las paredes de la cámara de cría

Una vez obtenida satisfactoriamente la estructura del modelo funcional, se realizó una verificación partiendo de la lista de especificaciones establecida previo al desarrollo de los prototipos. En la primera columna de la derecha de la Tabla 19 se describe el grado de cumplimiento de cada uno de los requerimientos y deseos especificados.

Tabla 19 Lista de especificaciones para el diseño de la cámara de cría con su grado de cumplimiento, R=requerimiento, D=deseo. Fuente: Elaboración propia

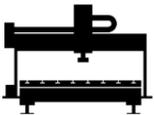
<i>LISTA DE ESPECIFICACIONES</i>	
<b>Proyecto</b>	Diseño de una cámara de cría para una colmena tecnificada
<b>Objetivo</b>	Crear una estrategia de manufactura para la cámara de cría de la colmena que contemple un material alternativo a la madera

Concepto	Fecha	R/D	Descripción	¿Cumple?
Función	01/06/2017	R	Dar soporte a los bastidores con miel, polen, cera y abejas.	Si
	22/06/2017	R	Acoplar perfectamente con otros aditamentos de la colmena (Bastidores, tapa, techo y piso).	Si
	22/06/2017	R	Tener cavidades para la colocación de materiales de cambio de fase.	Si 94 cavidades de 10ml expandible a 242
	22/08/17	R	Debe de ser impermeable y capaz de resistir al viento y a la radiación UV.	Si
	22/08/17	R	Debe de resistir impactos provenientes de la carga y manipulación de la misma así como de la interacción con otras herramientas (palancas, espátulas).	Si
	22/08/17	R	Compatibilidad con las abejas	Por validar
Materiales	01/06/2017	R	Materiales que mantengan la colmena impermeable	Si
	01/06/2017	R	Materiales que no se agrieten por efecto de la humedad	Si
	22/08/2017	D	Materiales durables para ciclos de vida largos	Si
Dimensiones	01/06/2017	R	Medidas de la cámara de cría 51 x 42.5 x 24cm	Si
Costos	27/06/2017	D	No mayor a \$400	Si \$273.4
Fabricación	22/08/2017	R	Uso de máquinas que agilicen la producción	Si Router CNC, troquel o Corte laser
	22/08/2017	R	Reducción el uso de mano de obra	Por validar
Relación y confort	28/06/2017	R	Mantener la familiaridad de la solución con los apicultores, conservando la forma de las colmenas tradicionales	Si
	28/06/2017	R	Peso menor a 10 kg	Si Peso= 3.4 Kg
Vida Útil y mantenimiento	28/06/2017	D	Vida útil de 20 años	Por validar
	28/06/2017	D	Mantenimientos preventivos anuales	Si
	28/06/2017	D	Mantenimientos correctivos de bajo costo y sencillos de realizar	Si

El análisis comparativo de ambas colmenas se encuentra en la Tabla 20.

Tabla 20 Comparativa de los atributos de ambas colmenas, en azul la colmena con las mejores especificaciones

Comparativa		
Atributo	 Colmena <i>Quarter isogrid</i>	 Colmena de madera
 <b>Ligereza</b>	Peso de la cámara de cría 1.8Kg	Peso de la cámara de cría 3.8kg – 4.93kg
 <b>Costo de manufactura</b>	Costo de cámara de cría \$190.72	Costo de cámara de cría \$110
 <b>Mantenimiento</b>	Permite que se le den mantenimientos correctivos in situ, inclusive, dependiendo de la zona dañada, sin remover el material biológico de la colmena. Al ser un material compuesto basta con que se parche el área dañada con un recordé de fibra de vidrio y se adhiera y refuerce con resina.	Con forme aumenta la cantidad de horas que pase expuesta a la intemperie y a organismos degradadores su desgaste global aumenta. Sus mantenimientos requieren el remplazo completo de cada componente (cámara de cría, techo, tapa, etc).
 <b>Impermeabilidad</b>	Por su naturaleza química la resina que recubre la matriz es un material hidrófobo por lo que no permite el paso del agua.	Sin algún recubrimiento o tratamiento químico la madera gana o pierde humedad dependiendo de las condiciones ambientales.
 <b>Anti grietas</b>	Las grietas en un material compuesto son inexistentes por lo que no dan lugar a recovecos donde se alojen patógenos para las abejas.	Las grietas en la madera aparecen con el paso del tiempo a medida que se expone a la intemperie.

 <p><b>Ciclo de vida</b></p>	<p>El ciclo de vida no ha sido determinado pero al estar recubierta por un material sintético como lo es la resina de poliéster, se vuelve inmune al ataque de la humedad, hongos y polillas.</p>	<p>La madera de pino con la que se fabrican las colmenas suele ser la más factible económicamente, sin embargo es la menos durable en una escala de 4 niveles dentro de la clasificación usada por la (Asociación española del comercio e industria de la madera, 2018).</p>
 <p><b>Manufactura</b></p>	<p>Permite su manufactura a través de maquinaria sencilla como troqueles de corte hasta maquinas complejas y eficientes como las cortadoras laser. El ensamble puede ser realizado por cualquiera sin ayuda de máquinas y el recubrimiento requiere conocimientos básicos de manejo de resina y fibra de vidrio, el equipo de seguridad es guantes y cubre boca</p>	<p>El elaborar una colmena de madera requiere de un personal adiestrado en el uso de sierras de corte y clavadoras, las cuales suelen representar cierto riesgo para el operador. El equipo de seguridad es guantes, lentes de seguridad y cubre boca.</p>

**VI.3. Resultado de la validación del comportamiento del cloruro de calcio hexahidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) como material de cambio de fase.**

Al transcurrir las 2 horas con 46 minutos que duró el experimento se obtuvo la curva que se ilustra en la Figura 42. En ella se puede observar encerradas en círculos de color verde las zonas isoterma propias de un material de cambio de fase, las cuales coinciden con los  $29^\circ\text{C}$ , la temperatura de cambio de fase del  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , durante el experimento la temperatura bajo y subió procurando alcanzar temperaturas mínimas de  $0^\circ\text{C}$  y máximas de  $48^\circ\text{C}$ .

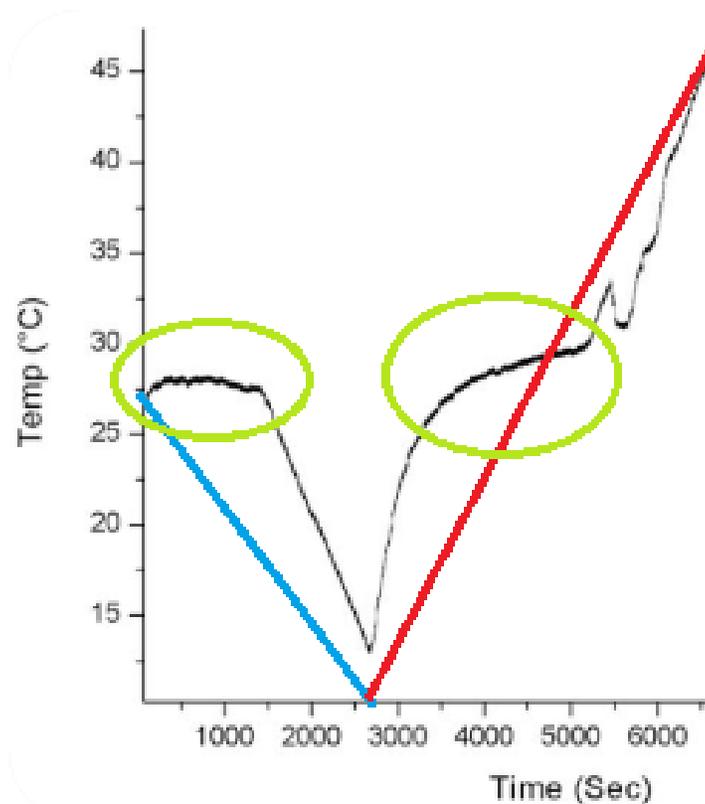


Figura 42 Curva temperatura/tiempo obtenida del experimento en la cámara Peltier, en verde las zonas isotermas, en azul y rojo los decrementos y aumentos de temperatura respectivamente.

El comportamiento antes descrito coincide perfectamente con el de los materiales de cambio de fase descritos en la literatura por (Meizhi, YANG, & ZHANG, 2017), por lo que se procedió a continuar con la encapsulación del material.

#### VI.4. Resultados de la encapsulación del material de cambio de fase

##### VI.4.4. Encapsulamiento en bolsas de polietileno

El material desarrollado luego de ser encapsulado en bolsas de polietileno presentó un comportamiento indeseable.

Resultado de la observación del comportamiento del sistema de almacenamiento de calor latente se encontraron algunas áreas de oportunidad, mismas que se detallan en la Tabla 21.

Tabla 21 Áreas de mejora del proceso de encapsulado

Áreas de oportunidad de mejora	Acción correctiva
--------------------------------	-------------------

<p>Los empaques de polietileno donde se encapsula el <math>\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math>, reacciona químicamente con el PCM, lo que causa que se creen rupturas en la capsula, este comportamiento también se observó en botellas de PET que estuvieron en contacto con el <math>\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math>, todo indica que el calor sirve como catalizador.</p>	<p>Reemplazar el material de la capsula por otro que no reaccione químicamente con el PCM</p>
<p>Los vértices afilados de las láminas de aluminio para contención de la capsula de PCM pueden romper la capsula.</p>	
<p>El sellado de la bolsa donde se encapsula el material puede ser ineficiente y propiciar las fugas</p>	

#### VI.4.5. Encapsulación en viales de vidrio

Como solución a las áreas de oportunidad para la mejora descritas en la Tabla 20 se propuso la implementación de viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml de capacidad como los de Figura 43.



Figura 43 Viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml de capacidad

La solución presentada cumple con los requerimientos necesarios para la validación el prototipo, sin embargo presenta algunas ventajas y desventajas las cuales son descritas en la Tabla 22.

*Tabla 22 Ventajas y desventajas de la encapsulación en Viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml*

Encapsulado en Viales de vidrio con tapón de caucho y sello de aluminio de 10ml	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No reacciona con el <math>\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math>.</li> <li>• Tiene una buena conductividad térmica en comparación con otros materiales no metálicos.</li> <li>• Provee una buena contención del PCM gracias al tapón de goma y al sello de aluminio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sus paredes son gruesas y aumentan el peso total de la cámara de cría</li> <li>• Su superficie de contacto para el intercambio de calor relativamente pequeña en comparación con otros tamaños de encapsulado.</li> </ul>

Después de este análisis se procedió a desarrollar el prototipo para la validación del sistema con este método de encapsulado, sin embargo una área de oportunidad es la de encontrar un encapsulado más efectivo.

#### VI.5. Resultados de la construcción del sistema de validación

En esta etapa se obtuvo un sistema de validación basado en arduino cuyo diagrama esquemático y el diseño digital de la PCB para el sistema se ilustran en la Figura 44 y Figura 45 respectivamente.

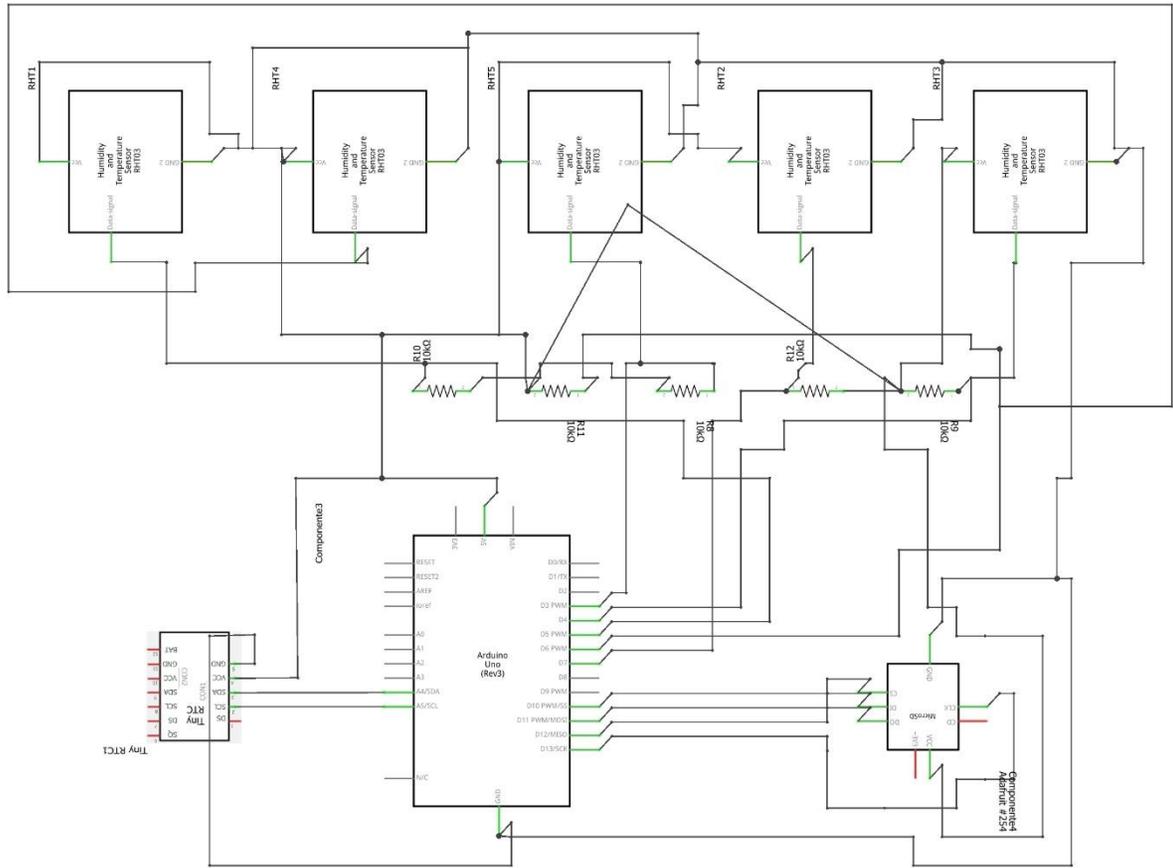


Figura 44 Diagrama esquemático del sistema de monitoreo de temperatura

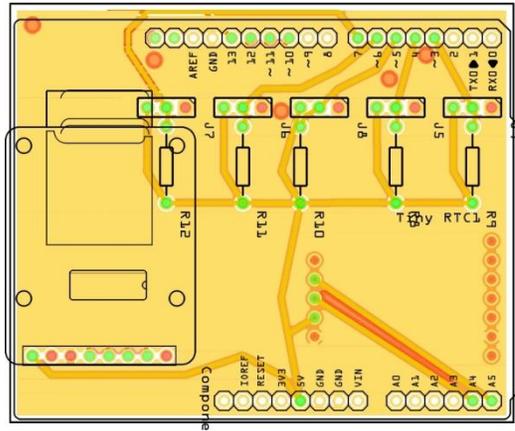


Figura 45 Diseño de PCB para el sistema de monitoreo de temperatura

## VI.6. Resultados de los experimentos de comportamiento térmico de las colmenas

### VI.6.4. Experimento 0: Evaluación del comportamiento de la colmena QI en el ambiente

El experimento 0 consistió en colocar la colmena *Quarter isogrid* a la intemperie para evaluar su comportamiento bajo condiciones reales de radiación solar, frío, calor y posibles precipitaciones; Con el objetivo de prever algún cambio o alteración indeseable en la colmena y poder corregir la vulnerabilidad antes de futuros experimentos. También se le incorporó un sistema de recolección de datos de temperatura para observar fenómenos o patrones en el comportamiento de la temperatura que no se habían contemplado en el diseño del experimento.

La descripción del objeto experimental del experimento 0 se encuentra en la Tabla 23.

Tabla 23 Objeto experimental del experimento 0

<b>Colmena <i>Quarter isogrid</i> sin PCM</b>	<b>Características</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cámara de cría:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Núcleo de cartón</li><li>○ Recubrimiento de resina y fibra de vidrio</li></ul></li><li>• Piso de madera</li><li>• Tapa techo de Madera, poliestireno expandido, recubierta con lámina.</li><li>• Sin material de cambio de fase</li><li>• Expuesta al ambiente</li><li>• Tiene dos termómetros en su interior y uno más afuera a merced de la temperatura ambiental</li></ul>

#### VI.6.4.1. Hipótesis particulares del experimento 0

I. La temperatura interna de la colmena es mayor que la del ambiente al menos en 2°C durante las 24 horas

$$H_a: \mu T_{\text{colm}} > \mu T_{\text{amb}} + 2^\circ\text{C}$$

$$H_o: \mu T_{\text{colm}} < \mu T_{\text{amb}} + 2^\circ\text{C}$$

II. La temperatura interna de la colmena es mayor que la del ambiente al menos 2°C durante las horas diurnas (de 06:57 a 18:49 horas).

$$H_a: \mu T_{\text{colmD}} > \mu T_{\text{ambD}} + 2^\circ\text{C}$$

$$H_o: \mu T_{\text{colmD}} < \mu T_{\text{ambD}} + 2^\circ\text{C}$$

III. Existe diferencia significativa entre la temperatura interna de la colmena y la temperatura ambiental en horas diurnas (de 06:57 a 18:49 horas).

$$H_a: \mu T_{\text{colmD}} \neq \mu T_{\text{ambD}}$$

$$H_o: \mu T_{\text{colmD}} = \mu T_{\text{ambD}}$$

#### VI.6.4.2. Datos recopilados del experimento 0

En la Tabla 24 se encuentran los datos recopilados durante el experimento corrido del 07/03/2018 al 08/03/2018, en el cual se observaron condiciones de nubosidad durante el primer día del experimento para concluir con un día soleado, las temperaturas registradas durante este intervalo se detallan en la Tabla 25.

Tabla 24 Cuadro de datos recolectados por el sistema en un periodo de 24 horas del 07/03/2018 al 08/03/2018

	Ítems	Variable dependiente Temperatura interna de la colmena	Variable Independiente Temperatura ambiental
--	-------	--	--

	Fecha	Hora	Termómetro#1 Colmena (°C)	Termómetro #2 Colmena (°C)	Ambiente (°C)
Horas diurnas	07/03/2018	14:36:55	24.9	24.9	24
	07/03/2018	15:06:58	24.8	24.9	23.9
	07/03/2018	15:37:02	26.4	28.6	24
	07/03/2018	16:07:05	25.5	26.6	23.5
	07/03/2018	16:37:08	23.7	24.4	22.7
	07/03/2018	17:07:11	23	23.3	22.4
	07/03/2018	17:37:15	22.1	22.4	21.5
	07/03/2018	18:07:18	21.4	21.8	20.9
	07/03/2018	18:37:21	20.3	20.7	19.9
Horas Nocturnas	07/03/2018	19:07:24	19	19.6	18.7
	07/03/2018	19:37:27	17.7	18.3	17.5
	07/03/2018	20:07:30	17.1	17.5	17
	07/03/2018	20:37:33	16.4	16.7	16.4
	07/03/2018	21:07:36	15.8	16.1	15.8
	07/03/2018	21:37:40	15.4	15.6	15.4
	07/03/2018	22:07:43	15	15.3	15.2
	07/03/2018	22:37:46	14.7	15	14.8
	07/03/2018	23:07:49	14.3	14.5	14.4
	07/03/2018	23:37:52	14	14.2	14.1
	08/03/2018	00:07:55	13.7	13.9	13.8
	08/03/2018	00:37:58	13.4	13.6	13.5
	08/03/2018	01:08:01	13.1	13.3	13.2
	08/03/2018	01:38:04	12.9	13.1	13.1
	08/03/2018	02:08:07	12.6	12.8	12.5
	08/03/2018	02:38:10	12.6	12.7	12.6
	08/03/2018	03:08:13	12.5	12.7	12.4
	08/03/2018	03:38:16	12.4	12.6	12.2
	08/03/2018	04:08:19	12.2	12.4	12.1
	08/03/2018	04:38:22	12	12.1	11.8
08/03/2018	05:08:25	11.9	12.1	11.7	
08/03/2018	05:38:28	11.7	11.9	11.5	

	08/03/2018	06:08:31	11.6	11.7	11.4
	08/03/2018	06:38:34	11.5	11.6	11.2
Horas diurnas	08/03/2018	07:08:37	11.3	11.4	11.1
	08/03/2018	07:38:40	11.3	11.4	11.1
	08/03/2018	08:08:43	12.7	13.3	12.8
	08/03/2018	08:38:46	16.2	17.3	14
	08/03/2018	09:08:50	18.8	21.1	15.2
	08/03/2018	09:38:53	22.4	25.5	19.9
	08/03/2018	10:08:56	25.4	28.7	22.2
	08/03/2018	10:39:00	29.1	33.6	24.5
	08/03/2018	11:09:03	33.6	35.8	30.8
	08/03/2018	11:39:06	35.1	36.6	30.9
	08/03/2018	12:09:10	37.3	39.9	33.2
	08/03/2018	12:39:13	38	39.9	33.4
	08/03/2018	13:09:17	36.8	38.4	32.2
	08/03/2018	13:39:20	38.4	41.6	30.4
	07/03/2018	14:36:55	40.2	42.1	30.1
	07/03/2018	15:06:59	40.2	42.2	30.1

Fuente: elaboración propia

Tabla 25 Condiciones climatológicas durante el experimento

Día	T. Max °C	T. Min °C	Condiciones
07/03/2018	24	13	Nublado
08/03/2018	26	6	Soleado

Fuente: Elaboración propia Datos: (Meteored, 2018)

La Figura 46 muestra el comportamiento de la temperatura recopilada por los 3 sensores del sistema donde la línea naranja muestra la temperatura del sensor ubicado en la parte superior interna de la colmena, la línea azul representa la temperatura captada por el

sensor colocado sobre el piso de la colmena y la línea gris muestra la temperatura captada del ambiente exterior a la colmena.

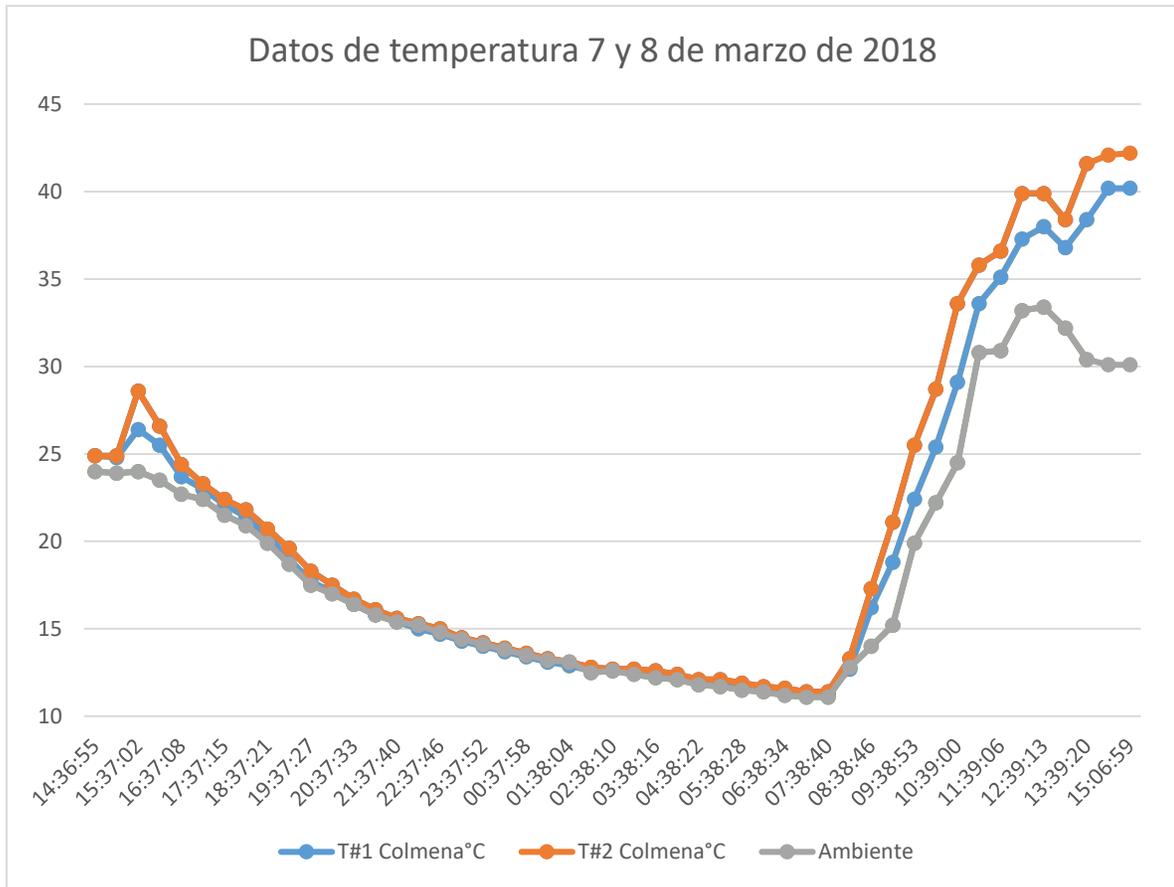


Figura 46 Comportamiento de temperaturas recolectadas por el sistema. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 26 Datos estadísticos del experimento con escalas de **color** podemos observar datos estadísticos del experimento dividido en tres secciones: el análisis las primeras 12 horas (Fase 1), el análisis de las segundas 12 horas (Fase 2) y el análisis del experimento completo.

Tabla 26 Datos estadísticos del experimento con escalas de color

		Min	Max	Prom.
	Techo colmena	12.6	26.4	18.2

Fase 1 Primeras 12 horas	Piso colmena	12.8	28.6	18.6
	Ambiente	12.5	24.0	17.8
Fase 2 Segundas 12 horas	Techo colmena	11.3	40.2	22.2
	Piso colmena	11.4	42.2	23.5
	Ambiente	11.1	33.4	19.6
Experimento completo	Techo colmena	11.3	40.2	20.3
	Piso colmena	11.4	42.2	21.1
	Ambiente	11.1	33.4	18.7

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 46 el comportamiento de la temperatura en la fase 1 no coincide con el de la fase 2 debido a la exposición a la luz solar de la colmena en cada fase, siendo en la primera menos del 40% y en la segunda más del 95%. La incidencia de los rayos solares en la colmena es un factor vital puesto que los materiales estructurales al ser translúcidos producen un efecto invernadero por lo que la transferencia del exterior al interior es mayor por radiación que por convección o conducción.

Se puede observar en la Tabla 27 que el promedio del diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) de la colmena es de 2°C más próxima a 35°C con respecto al diferencial de temperatura del ambiente.

Pudiendo también inferir que la colmena tiene un buen desempeño como amortiguador térmico en horas de alta exposición al sol observándose promedios de  $\Delta T$  de 3.25°C.

Con respecto a las temperaturas máximas alcanzadas podemos ver que las del interior de colmena se alejan considerablemente de la temperatura deseada (35°C) en comparación con las del ambiente, lo que podría ocasionar estrés por calor en el enjambre (Tabla 27).

Tabla 27  $\Delta T$  de la colmena contra el  $\Delta T$  del ambiente

		35°C – $\Delta T$	$\Delta t$ col. – $\Delta t$ Amb.
Max	colmena	6.2	4.6
	Ambiente	1.6	
Min	colmena	23.65	-0.25
	Ambiente	23.9	
Prom.	colmena	14.3	-1.1
	Ambiente	15.4	

#### IV.1.5.1. Pruebas estadísticas

##### IV.1.5.1.1. Prueba t de student

Hipótesis Particular 1: ¿La temperatura interna de la colmena es mayor que la del ambiente al menos en 2°C durante las 24 horas?

$$H_a: \mu_{T_{colm}} > \mu_{T_{amb}+2^\circ C}$$

$$H_o: \mu_{T_{colm}} < \mu_{T_{amb}+2^\circ C}$$

Con un nivel de confianza del 0.818 se encuentra que la temperatura interna de la colmena es mayor que la del ambiente superándola por 2.45 °C en promedio (ver Figura 47), sin embargo el nivel de confianza es demasiado bajo y el poder de la prueba también (ver Figura 48) por lo tanto:

**Ho Hipótesis Nula se acepta:** La temperatura interna de la colmena no es mayor que la del ambiente en al menos 2°C.

```
> print (t.test(x=dife,alternative = 'greater', mu=2, conf.level = .95))

One sample t-test

data: dife
t = 0.91714, df = 47, p-value = 0.1819
alternative hypothesis: true mean is greater than 2
95 percent confidence interval:
 1.62326      Inf
sample estimates:
mean of x
 2.454167
```

Figura 47 Prueba T de student datos 24 horas. Fuente: Elaboración propia, Formato de R.

```
> power.t.test(n=48,delta = mean(dife)-2, sd = sd(dife), power=NULL,alternative = "one.s
ided")

Two-sample t test power calculation

      n = 48
  delta = 0.4541667
    sd = 3.430834
sig.level = 0.05
  power = 0.1584143
alternative = one.sided

NOTE: n is number in *each* group
```

Figura 48 Poder de la prueba t de student 24 horas). Fuente: Elaboración propia, Formato de R.

Hipótesis particular 2: La temperatura interna de la colmena es mayor que la del ambiente al menos 2°C durante las horas diurnas (de 06:57 a 18:49 horas)

$$H_a: \mu_{TcolmD} > \mu_{TambD} + 2^\circ\text{C}$$

$$H_o: \mu_{TcolmD} < \mu_{TambD} + 2^\circ\text{C}$$

```

> print (t.test(x=dife,alternative = 'greater', mu=2, conf.level = .95))

One sample t-test

data: dife
t = 3.3962, df = 23, p-value = 0.001241
alternative hypothesis: true mean is greater than 2
95 percent confidence interval:
 3.296194      Inf
sample estimates:
mean of x
 4.616667

```

Figura 49 Prueba T de student datos diurnos (6:47 a 18:49 horas). Fuente: Elaboración propia, Formato de R

```

> power.t.test(n=24,delta = mean(dife)-2, sd = sd(dife), power=NULL,alternative = "one.s
ided")

Two-sample t test power calculation

      n = 24
  delta = 2.616667
    sd = 3.774476
sig.level = 0.05
  power = 0.7645698
alternative = one.sided

NOTE: n is number in *each* group

```

Figura 50 Poder de la prueba t de student datos diurnos (6:47 a 18:49 horas). Fuente: Elaboración propia, Formato de R

Con un nivel de confianza del 0.998 (Figura 49) se encuentra que la temperatura interna de la colmena durante las horas diurnas es mayor que la del ambiente superándola por 4.61 °C en promedio, el nivel de confianza es el adecuado y el poder de la prueba aunque se encuentra 0.04 (Figura 50) puntos debajo de lo deseable (hacen falta recopilar 3 datos más para obtener un poder de la prueba del 80%) es suficiente para:

**Aceptar Ha hipótesis alternativa:** La temperatura interna de la colmena en horas diurnas es mayor que la del ambiente al menos en 2°C.

#### IV.1.5.2. Análisis de Varianza

Hipótesis particular 3: Existe diferencia significativa entre la temperatura interna de la colmena y la temperatura ambiental.

Ha:  $\mu_{TcolmD} \neq \mu_{TambD}$

Ho:  $\mu_{TcolmD} = \mu_{TambD}$

```
> anova(m1)
Analysis of Variance Table

Response: Temperaturas
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Monitoreo 1 255.8 255.763  3.4788 0.06855 .
Residuals 46 3382.0  73.521
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

*Figura 51 Análisis de varianza Fuente: Elaboración propia, Formato de R*

Se realizó un análisis de varianza con la ayuda del software antes descrito en el cual se encontró que la diferencia de temperatura con respecto al ambiente atribuida al diseño de la colmena no es significativa, por lo tanto:

**Se rechaza Ha: no existe diferencia significativa** en las mediciones de temperatura de la colmena desarrollada frente a la temperatura del ambiente.

Dicho resultado se puede observar gráficamente en la Figura 52.

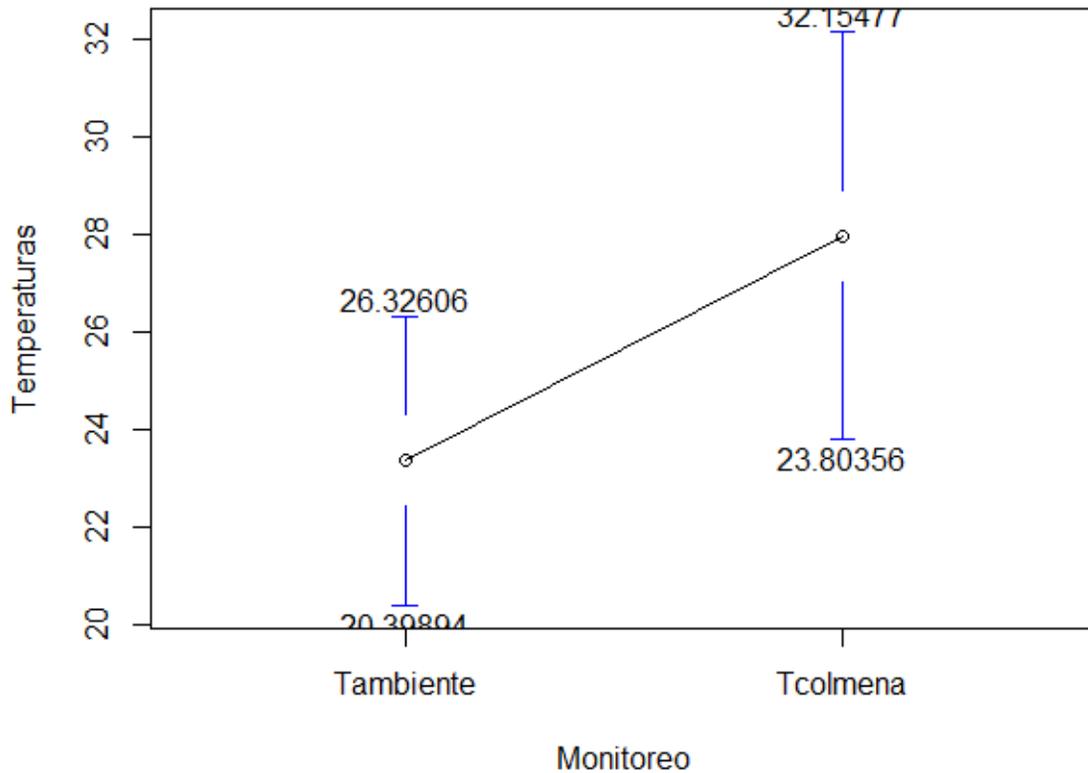


Figura 52 BoxPlot de los datos. Fuente: Elaboración propia

#### IV.1.6.Experimento 1: Evaluación en entorno cerrado del comportamiento térmico de las colmenas con PCM

El experimento 1 consistió en someter 2 colmenas de madera y 2 colmenas *Quarter isogrid* sin PCM a un monitoreo de su temperatura interna bajo condiciones controladas. Se colocaron en una cámara tenía un volumen de 11m<sup>3</sup> y permitía tener un control automatizado de temperatura en un rango de entre 15°C y 40°C, para este experimento se varió la temperatura de los 32°C a los 18°C.

Hipótesis I: Las temperatura interna de las colmenas QI sin PCM son iguales la temperatura inter de las colmenas de madera.

$$H_0: \mu_{TcolmQI} = \mu_{TQmadera}$$

$$H_a: \mu_{TcolmQI} \neq \mu_{TQmadera}$$

Los datos recopilados durante el experimento se muestran en la Tabla 28.

*Tabla 28 Temperaturas internas de las colmenas y el ambiente recolectadas durante el experimento 1*

Time	Madera1	Madera 2	Ambiente	QI #1	QI #2
14:48:07	24.6	24.3	25	24.4	25
15:03:10	24.6	24.2	25	24.3	24.9
15:18:14	23.3	23	20.7	22.7	23.2
15:33:17	23	22.4	19.7	21.9	22.4
15:48:20	22.6	22	19.2	21.3	21.7
16:03:23	22.2	21.6	18.7	20.8	21.2
16:18:27	21.9	21.2	18.4	20.5	20.8
16:33:30	21.6	20.9	18.3	20.2	20.6
16:48:33	21.3	20.7	18.2	20.1	20.4
17:03:36	21.1	20.4	18	19.9	20.3
17:18:39	20.9	20.3	17.8	19.7	20.1
17:33:43	20.8	20.1	17.7	19.6	19.9
17:48:46	20.5	19.9	17.4	19.4	19.8
18:03:49	20.4	19.7	17.3	19.2	19.7
18:18:52	20.2	19.6	17	19.1	19.5
18:33:55	20.1	19.4	16.7	18.9	19.3
18:48:58	19.9	19.3	16.6	18.8	19.1

La Figura 53 Muestra el comportamiento de la temperatura durante la realización del experimento.

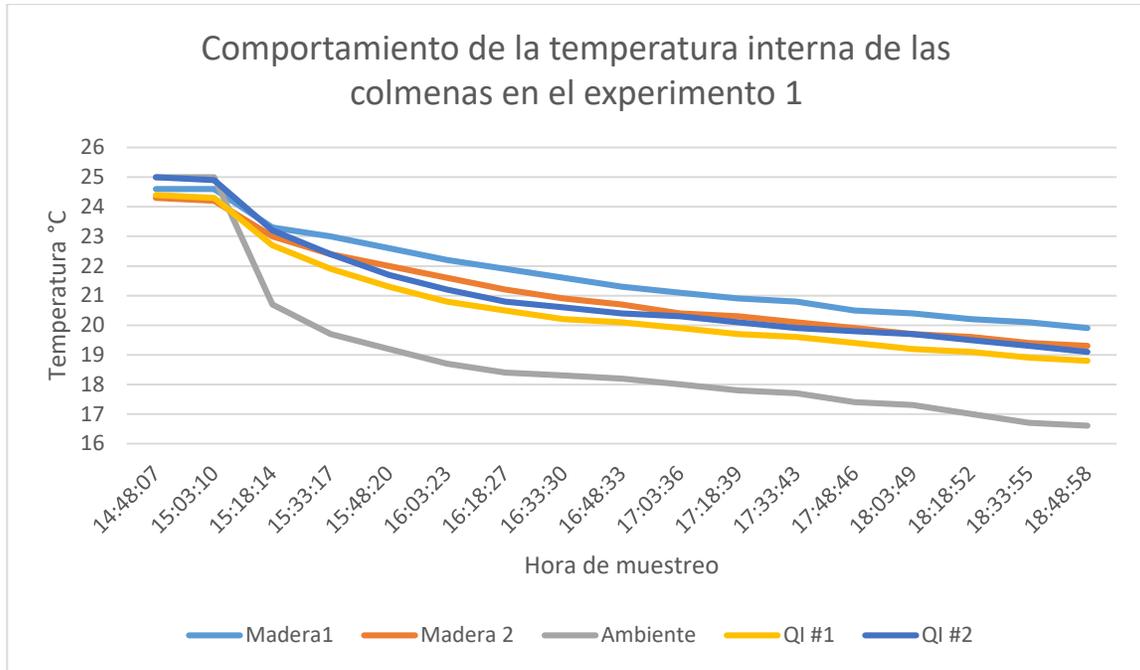


Figura 53 Muestra el comportamiento de la temperatura durante la realización del experimento

Los datos recopilados se sometieron a un análisis de varianza de un factor con ayuda del software Excel 2013 con su herramienta para análisis de datos para ver si había diferencia significativa entre las temperaturas registradas en las colmenas de madera y en las colmenas QI.

Tabla 29 Análisis de varianza de un factor de los datos de temperatura recolectados en el experimento 1

**ANOVA**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Colmenas de madera	34	728	21.41176471	2.38167558
Colmenas QI	34	708.7	20.84411765	3.1564795

**ANÁLISIS DE VARIANZA**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5.4777941	1	5.477794118	1.9782018	0.16427115	3.98626948
Dentro de los grupos	182.75912	66	2.76907754			
<b>Total</b>	<b>188.23691</b>	<b>67</b>				

Los resultados de la Anova demostraron con un 95% de confianza que no hay diferencia significativa en la temperatura interna de las colmenas de madera frente a la de las colmenas QI, por lo que se infiere que el mero diseño QI no influye significativamente en la temperatura bajo las condiciones experimentales.

Por lo tanto **Hipótesis Nula se Acepta** no existe diferencia significativa en las temperaturas internas de las colmenas QI y las colmenas de madera.

**Se acepta** Ho:  $\mu_{T_{colmQI}} = \mu_{T_{Qmadera}}$

#### **IV.1.7.Experimento 2: Evaluación en entorno cerrado del comportamiento térmico de las colmenas con PCM**

Para el experimento 2 se colocaron cuatro colmenas dentro de una cámara de  $11\text{m}^3$  que permitía tener un control automatizado de temperatura en un rango de entre  $15^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$ .

Dos de las colmenas eran colmenas tradicionales con cámaras de cría hechas de madera con tapa-techo y piso.

Las otras dos eran colmenas con cámara de cría *Quarter isogrid* con 940ml de  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  equipadas también con tapa-techo y piso (ver Figura 54).



Figura 54 Colmenas durante el experimento 2

Las fuentes de calor dentro de la cámara fueron 3 lámparas de sodio tubulares y un calefactor por convección. Para retirar el calor de la cámara se utilizaba un sistema de refrigeración tipo minisplit.

#### IV.1.7.1. Hipótesis particulares del experimento 2

- I. La temperatura interna de las colmenas *Quarter isogrid* estará entre los 26.4 y 32°C durante al menos el 20% de la duración del experimento.
- II. La temperatura interna de la colmena de madera estará al menos en un 20% más tiempo por fuera del rango de 26.4 y 32°C que la temperatura interna de la colmena *Quarter isogrid*.
- III. La temperatura promedio de las colmenas QI estará 2 °C más próxima a los 35°C en comparación con las colmenas hechas de madera
- IV. La variación térmica promedio de las colmenas QI será menor al menos en 2°C en comparación con la variación térmica de las colmenas de madera

El experimento se llevó a cabo durante 3 horas con 20 minutos durante los cuales se alcanzó una temperatura máxima ambiental de 35.7°C y se recopilaron los

datos mostrados en la Tabla 30 y cuya representación gráfica se encuentra en la Figura 55 .

*Tabla 30 Datos recopilados durante el experimento 2.*

<b>Time</b>	<b>PCM1</b>	<b>PCM2</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Madera 1</b>	<b>Madera 2</b>
14:42:33	25.8	25.6	30.8	26.3	28.7
14:47:37	25.8	25.7	30.8	26.3	28.7
14:52:41	26.3	26.2	33.4	26.8	29.7
14:57:45	26.8	26.7	34.6	27.4	30.4
15:02:48	27.3	27.3	35.1	27.9	31.2
15:07:52	27.9	27.9	34.6	28.5	31.5
15:12:56	28.3	28.4	35.2	28.9	32
15:17:59	28.7	28.9	35.1	29.4	32.3
15:23:03	29.1	29.3	34.9	29.8	32.6
15:28:07	29.5	29.8	35.6	30.1	33
15:33:11	29.9	30.1	35.3	30.5	33.1
15:38:14	30.1	30.4	35.1	30.7	33.3
15:43:18	30.4	30.9	35.7	30.9	33.7
15:48:22	30.7	31.1	35.3	31.1	33.6
15:53:26	30.9	31.3	35.5	31.4	33.9
15:58:29	31.1	31.6	35.7	31.6	34.1
16:03:33	31.3	31.8	34.9	31.8	33.9
16:08:37	31	31.6	30.7	31.6	31.8
16:13:40	30.6	31.2	27.1	30.8	29.8
16:18:44	29.9	30.7	24.5	29.7	28.1
16:23:48	29.2	30	22.5	28.5	26.4
16:28:52	28.3	29.2	20.9	27.3	25
16:33:55	27.5	28.3	19.7	26.2	23.7
16:38:58	26.7	27.4	19.3	25.1	22.4
16:44:01	25.9	26.5	18.9	24	21.6
16:49:04	25.1	25.6	18.6	22.9	20.8
16:54:07	24.3	24.7	18.3	22.1	20.1
16:59:10	23.5	23.8	18.1	21.3	19.5
17:04:13	22.7	22.9	17.9	20.5	19.1

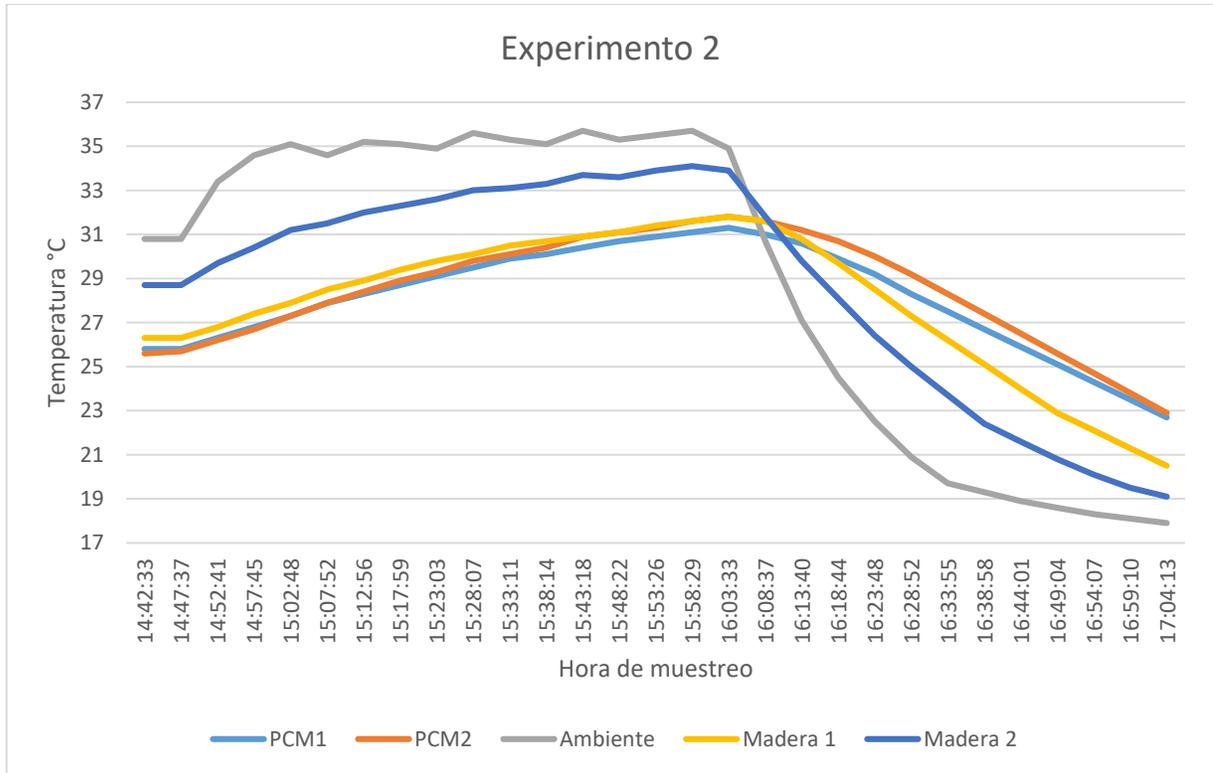


Figura 55 Grafico de los datos recopilados durante el experimento 2.

## IV.1.7.2. Resultados del experimento 2

### IV.1.7.2.1. Hipótesis I

Se realizó un histograma de frecuencias con los datos recopilados de cada uno de los tratamientos del experimento y se agruparon en 7 clases, de las cuales la clase 4 y 5 sirvieron como referencia, juntas formaban un rango que partía de los 26.4 a los 32°C. Se eligió este rango por ser el más próximo a la temperatura de cambio de fase del PCM y por estar próximo a la temperatura ideal de la cámara de cría.

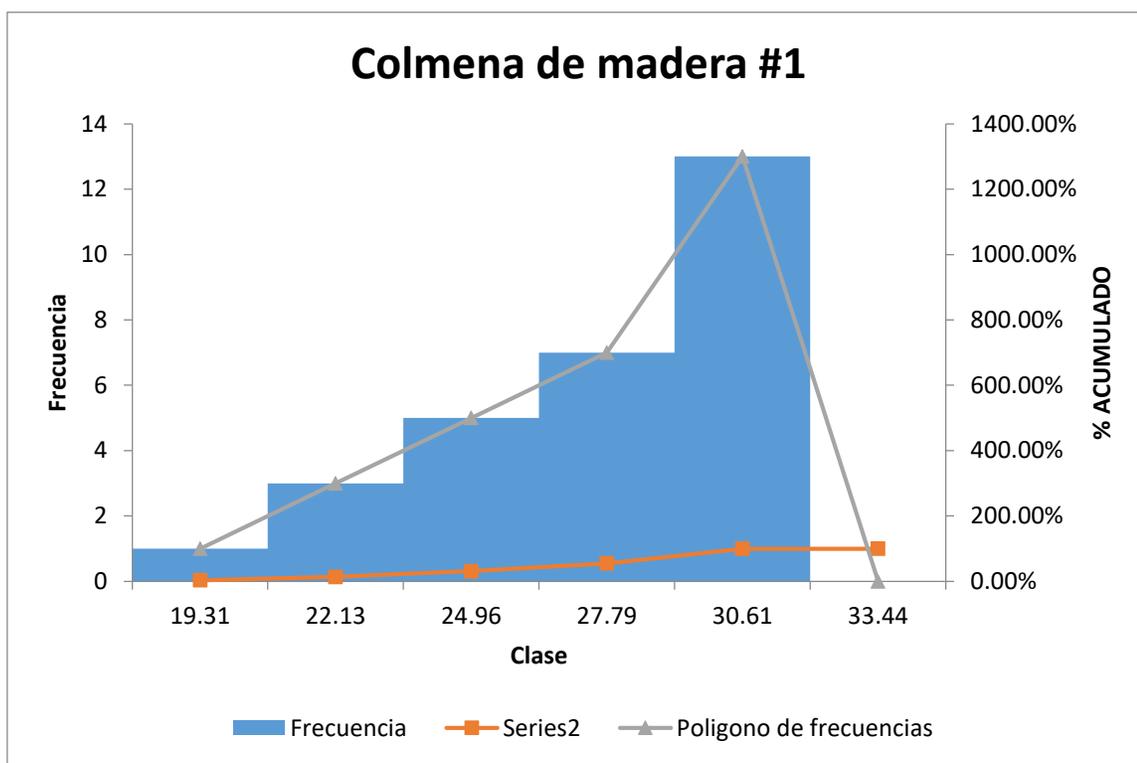


Figura 56 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena de madera #1 durante el experimento 2.

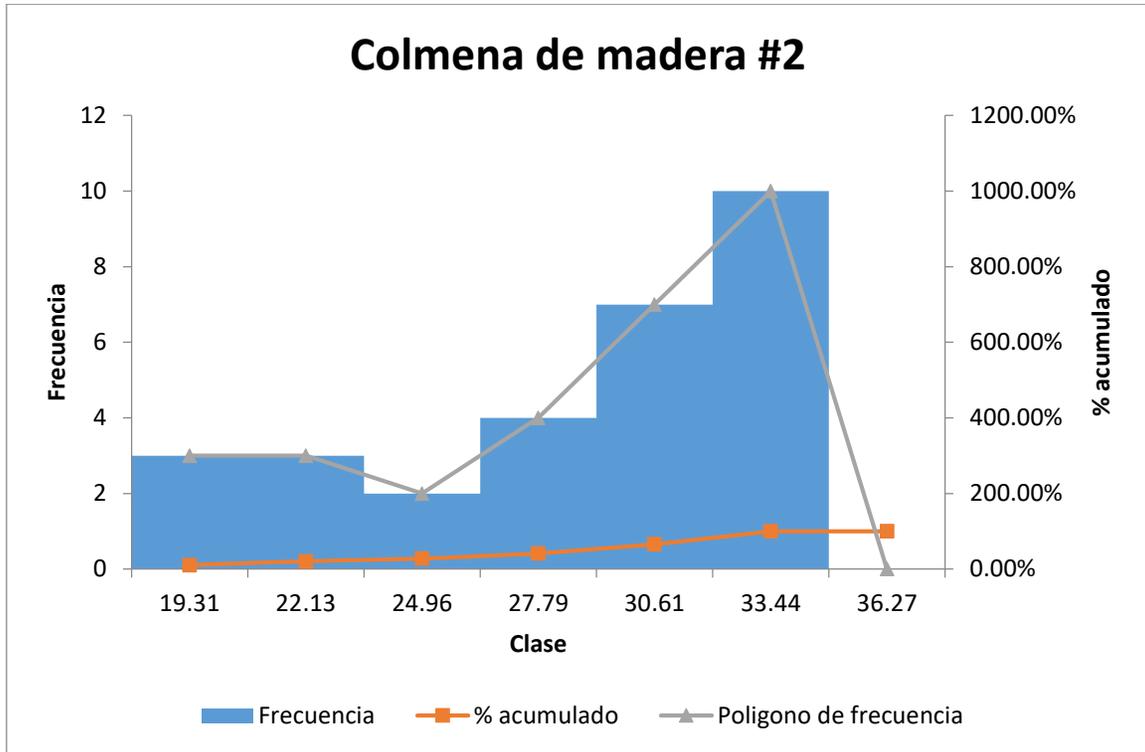


Figura 57 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena de madera #2 durante el experimento 2

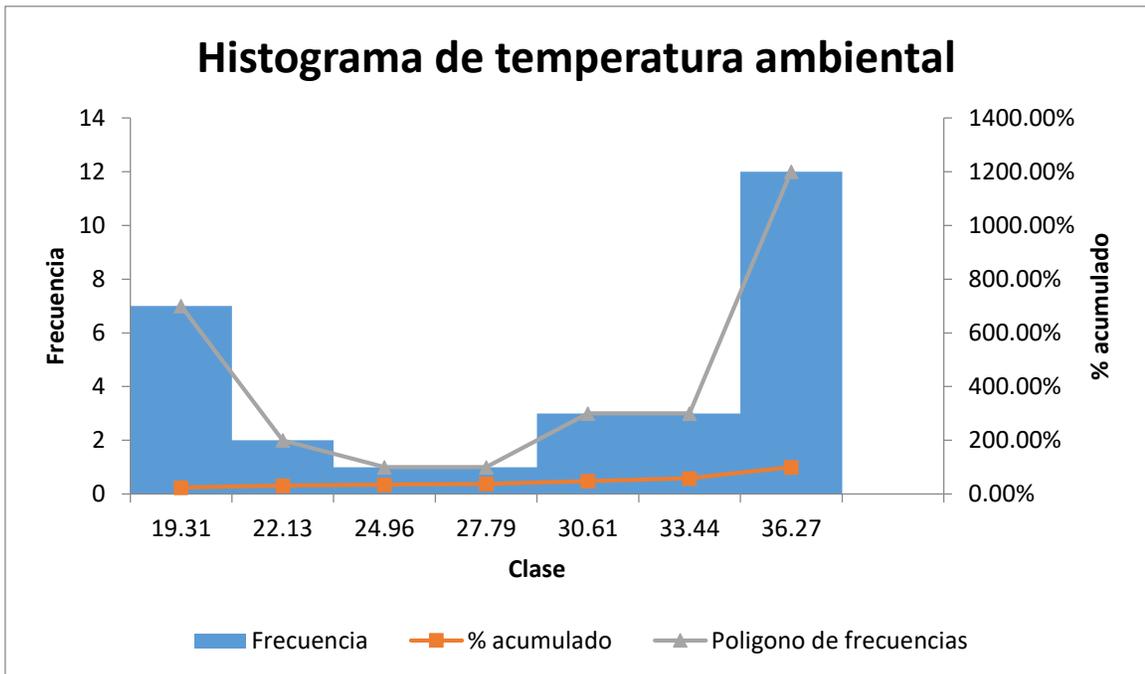


Figura 58 Histograma de frecuencias de la temperatura ambiental durante el experimento 2

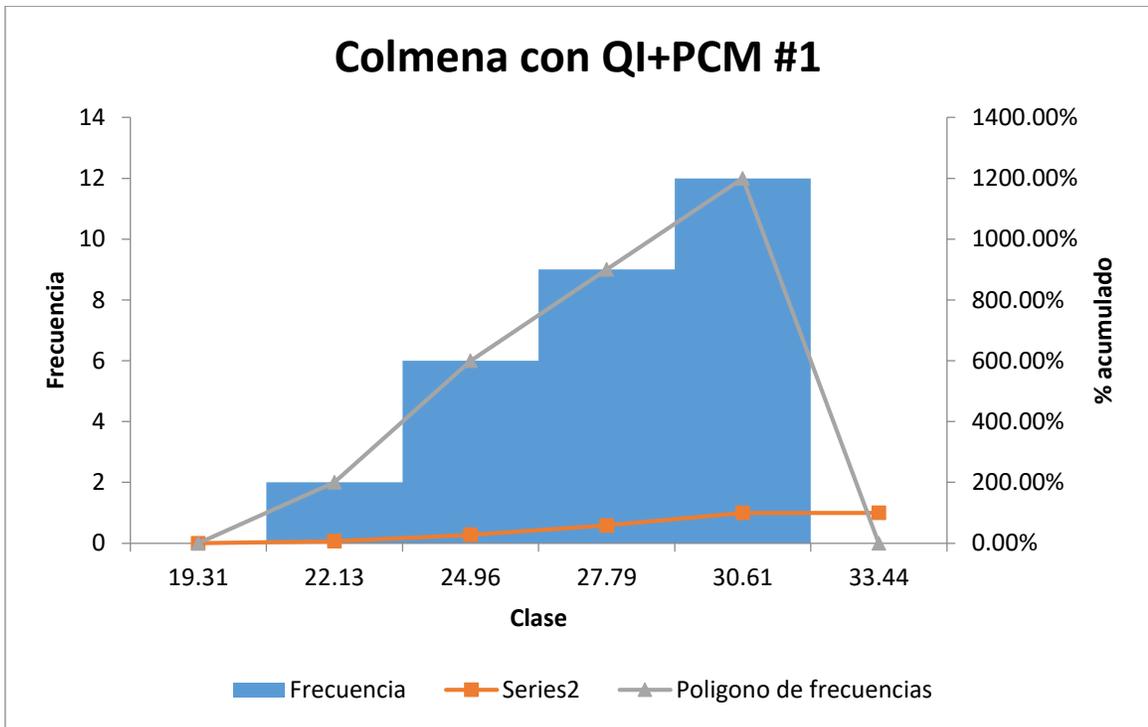


Figura 59 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena QI+PCM #1 durante el experimento 2

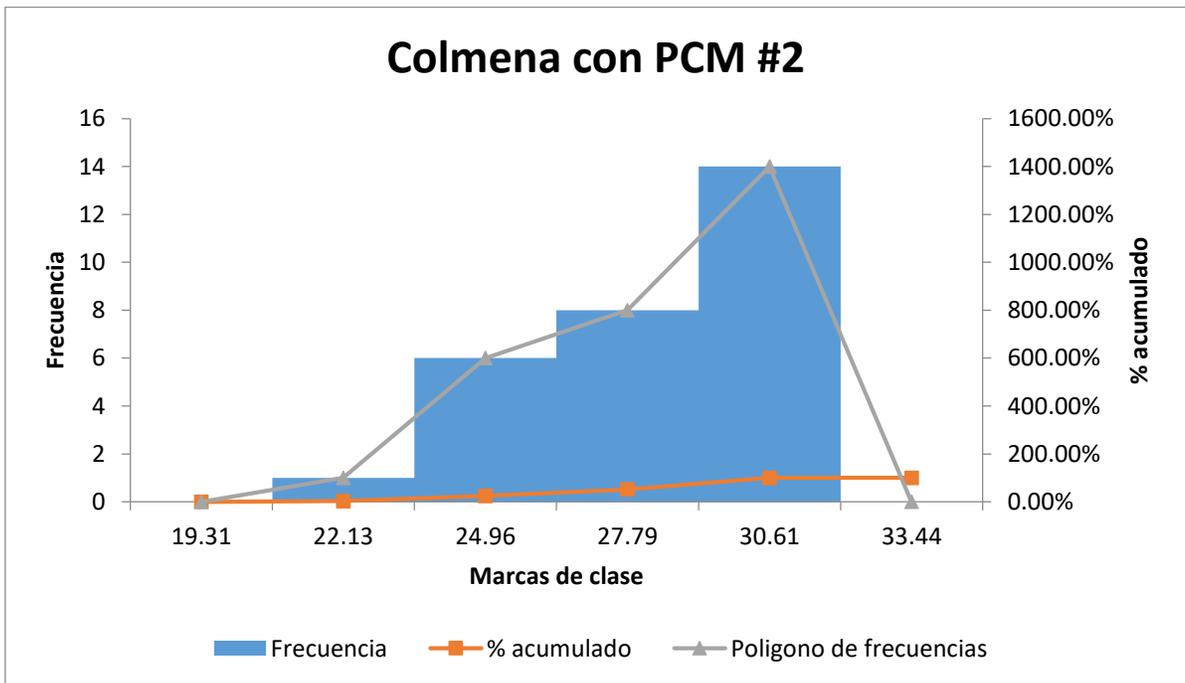


Figura 60 Histograma de frecuencias de la temperatura interna de la colmena QI+PCM #2 durante el experimento 2

Se evaluó el porcentaje del tiempo en el que se encuentra cada colmena dentro de este rango y los resultados fueron los siguientes:

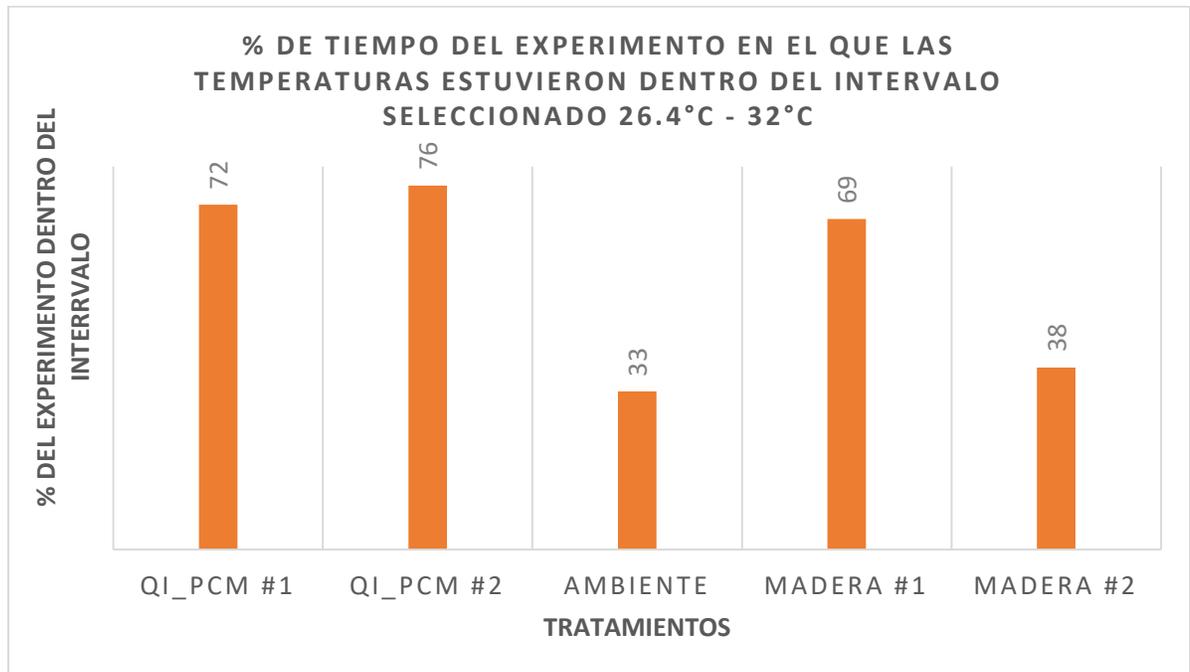


Figura 61 Grafica de barras del porcentaje del tiempo del experimento 2 en el que los 5 tratamientos estuvieron en el rango de 26.4 a 32°C

Al observar los resultados se puede inferir que las colmenas QI\_PCM #1 y QI\_PCM #2 pasaron la mayor parte del tiempo que duro el experimento dentro de este intervalo de temperatura superando el 20% establecido en la hipótesis con un 72% y 76% respectivamente, por lo tanto:

Se **Acepta** Hipótesis Alternativa:

La temperatura interna de las colmenas *Quarter isogrid* estaba entre los 26.4°C y 32°C durante al menos el 20% de la duración del experimento.

Se puede observar que la colmena de madera #1 también estuvo un 69% del tiempo del experimento dentro del intervalo a diferencia de la colmena de madera #2 la cual solo se encontró ahí el 38% del tiempo sin embargo esta última colmena alcanzo temperaturas más elevadas en el rango de los 32 a los 34.9°C las cuales sostuvo durante el 34% del experimento, al ser una colmena de madera más antigua que su contra parte, el tiempo y la exposición a la intemperie posiblemente

le confirieron propiedades fisicoquímicas que afectan su comportamiento térmico de esta manera.

#### IV.1.7.2.2. Hipótesis II

Se promedió el porcentaje del tiempo en el que estuvieron las colmenas QI y las de madera dentro del intervalo establecido y se calculó la diferencia tal como se puede observar en la Tabla 31.

Tabla 31 Diferencia de % de tiempo dentro del intervalo de la hipótesis de las colmenas QI contra las de madera

Tratamiento	% del tiempo	% Promedio	Diferencia %
QI_PCM #1	72	74	
QI_PCM #2	76		
Ambiente	33		20.5
Madera #1	69	53.5	
Madera #2	38		

Con tales datos se decidió **Aceptar la hipótesis Alternativa**: La temperatura interna de las colmenas de madera estarán al menos en un 20% más tiempo por fuera del rango de 33 a 34°C que la temperatura interna de las colmenas *Quarter isogrid*.

#### IV.1.7.2.3. Hipótesis III

Se calculó el promedio de mediciones de temperatura para cada uno de los tratamientos y posteriormente se promediaron los promedios de los duplicados, los resultados de estos cálculos se encuentran en la Tabla 32 Temperatura promedio de los tratamientos durante el experimento 2 Tabla 32.

Tabla 32 Temperatura promedio de los tratamientos durante el experimento 2

	PCM1	PCM2	Ambiente	Madera 1	Madera 2
Promedio temperaturas	28.1	28.4	29.1	27.9	28.8
Promedio colmenas	28.3			28.3	

Con tales resultados se decidió **Aceptar la hipótesis nula:** La temperatura promedio de las colmenas QI no presenta diferencias en comparación con la temperatura promedio de las colmenas hechas de madera.

#### IV.1.7.2.4. Hipótesis IV

Se calcularon las temperaturas mínimas y máximas alcanzadas en cada uno de los tratamientos durante el experimento 2 y se obtuvo la variación térmica de cada colmena al calcular la diferencia entre Tmax - Tmin la cual a su vez se promedió entre duplicados y se relacionó mediante una resta entre un tratamiento y otro, los resultados de estos cálculos se encuentran en la Tabla 33.

Tabla 33 Variaciones térmicas de las colmenas con PCM y las colmenas de madera

	PCM1	PCM2	Ambiente	Madera 1	Madera 2
Temperatura Min	22.7	22.9	17.9	20.5	19.1
Temperatura Max	31.3	31.8	35.7	31.8	34.1
Variación	8.6	8.9	17.8	11.3	15
Promedio variación	8.8			13.2	
Diferencia Variación térmica entre tratamientos		4.4			

Con base en estos resultados se **Acepta la hipótesis alternativa:** La variación térmica de las colmenas QI con PCM si es mayor al menos en 2°C en comparación con la variación térmica de las colmenas de madera.

#### IV.1.8.Experimento 3: Evaluación en intemperie de comportamiento térmico de las colmenas con PCM

El experimento 3 se llevó a cabo colocando a las colmenas bajo condiciones de intemperie, la locación seleccionada fue un solar dentro de las inmediaciones del campus Amazcala en las coordenadas 20°42'14.5"N 100°15'29.6"W con la orientación de las piqueras hacia el sur tal y como se muestra en la Figura 62 y Figura 63.

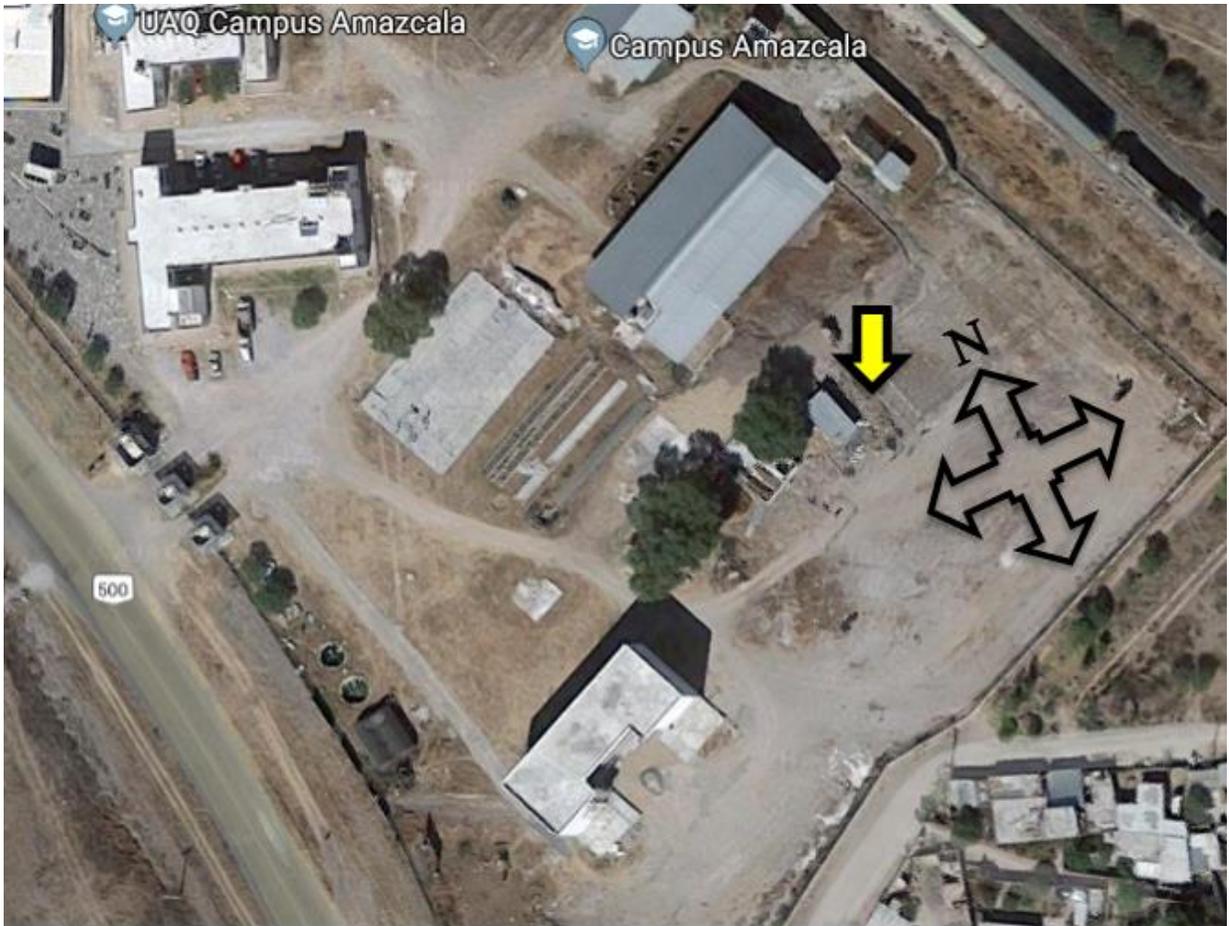


Figura 62 Marcado con una flecha amarilla el punto donde se colocaron las colmenas



*Figura 63 Colocación de las colmenas en el campo con las piqueras orientadas hacia el sur*

El experimento se corrió durante 5 días consecutivos iniciando el 03/10/2018 a las 16:18:36 para terminar el 07/10/2018 a las 17:20:47. Durante ese periodo de tiempo según (Meteored, 2018) se registraron las siguientes temperaturas en la región (ver Figura 64) tomadas de la estación climatológica ubicada en el aeropuerto Querétaro intercontinental.

DÍA	T. MEDIA	T. MÁX	T. MÍN	V. MEDIA VIENTO	RACHAS MÁX	PRESIÓN MEDIA	LLUVIA
1	19 °C	23 °C	12 °C	17.2 km/h	-- km/h	1027 hPa	-- mm
2	18 °C	21 °C	14 °C	18.5 km/h	-- km/h	1027.7 hPa	-- mm
3	18 °C	21 °C	13 °C	18.9 km/h	-- km/h	1026.2 hPa	-- mm
4	20 °C	24 °C	13 °C	19 km/h	-- km/h	1025.3 hPa	-- mm
5	20 °C	26 °C	15 °C	17.3 km/h	-- km/h	1024.6 hPa	-- mm
6	19 °C	25 °C	12 °C	8.9 km/h	-- km/h	1023.8 hPa	-- mm
7	19 °C	25 °C	14 °C	7.1 km/h	-- km/h	1022.8 hPa	-- mm

Figura 64 Condiciones climatológicas del 1 de octubre del 2018 al 7 de octubre del 2018

Se recopilaron un total de 483 datos, tomados cada uno en intervalos de 15min entre cada muestreo. El comportamiento de estas temperaturas se muestra en la Figura 65.

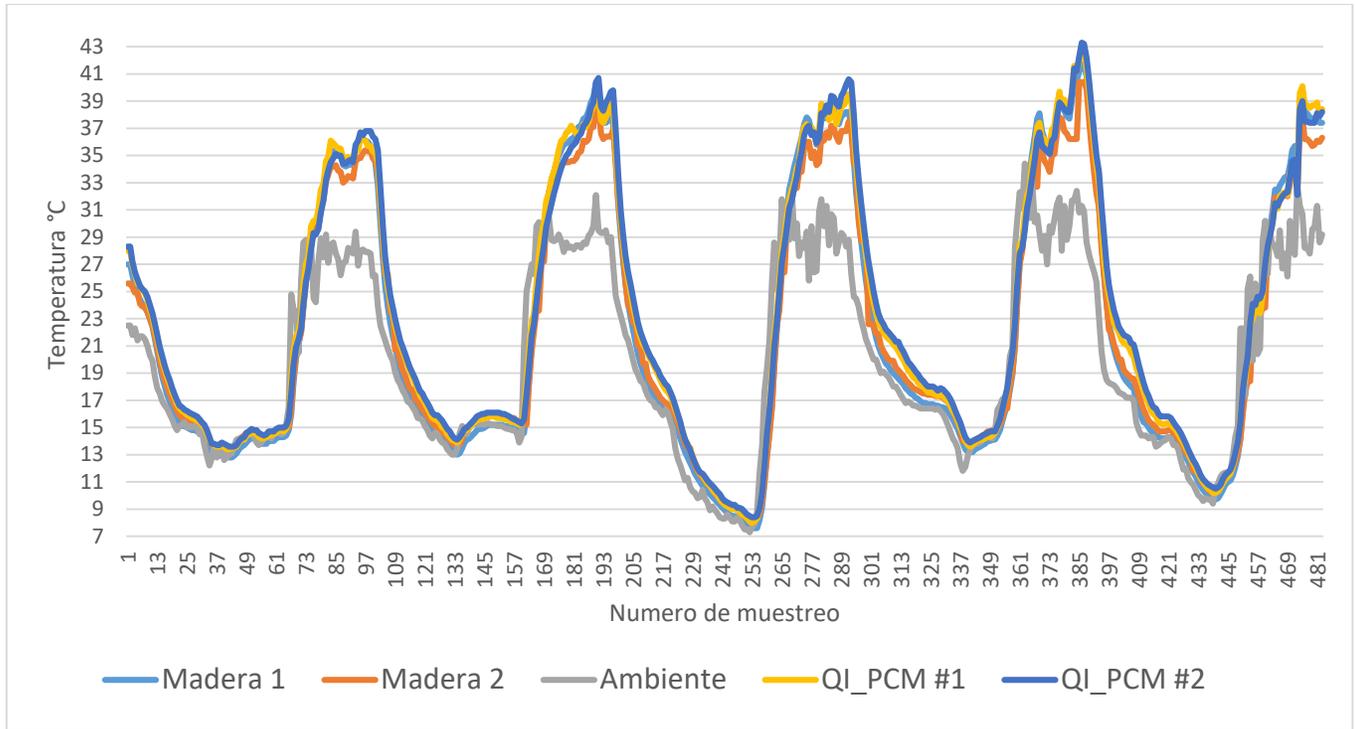


Figura 65 Grafica del comportamiento de las temperaturas registradas durante el experimento 3

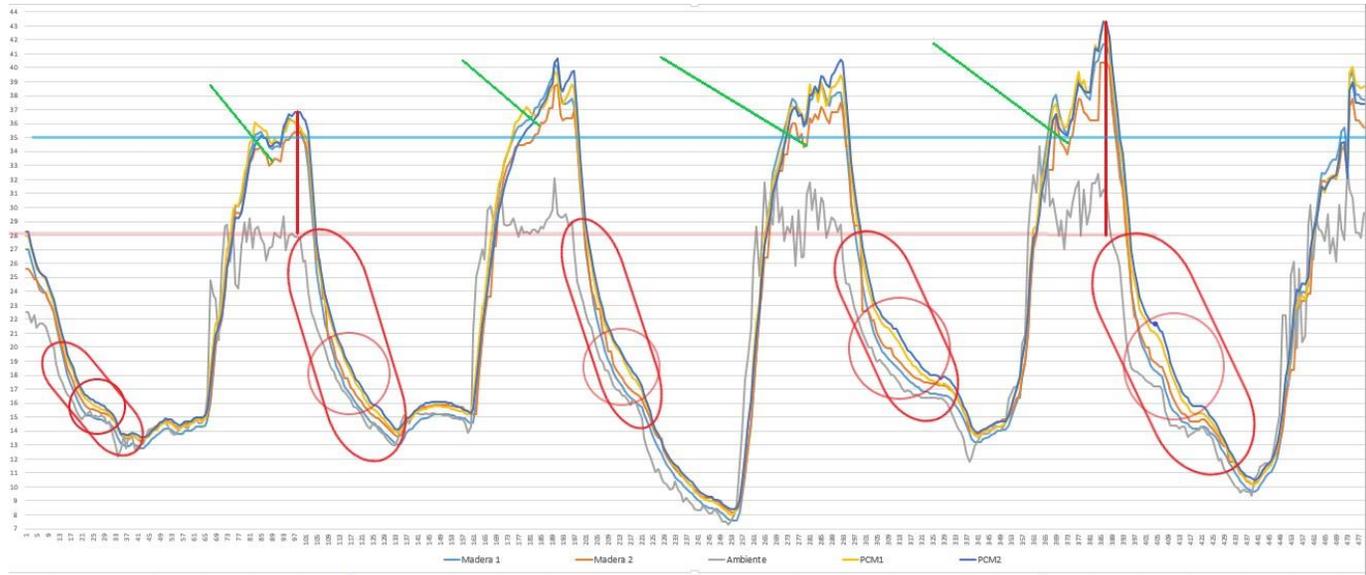


Figura 66 Grafica del comportamiento de las temperaturas registradas durante el experimento 3 con marcas del comportamiento térmico

En la Figura 66 se pueden observar patrones del comportamiento en las temperaturas, los más notorios son aquellos que se encuentran dentro del círculo y el ovalo rojo en las líneas amarilla y azul marino pertenecientes a las colmenas

QI con PCM, donde podemos ver una ligera curva isoterma característica de este tipo de materiales.

Para validar la hipótesis principal del trabajo de investigación se realizó un análisis de histogramas de frecuencias, agrupando los datos en 5 intervalos, donde los 3 centrales hacían referencia al rango de temperatura optima de la cámara de cría (33- 36°C). Dichos histogramas se encuentran en la Figura 67, Figura 68, Figura 69, Figura 70, Figura 71.

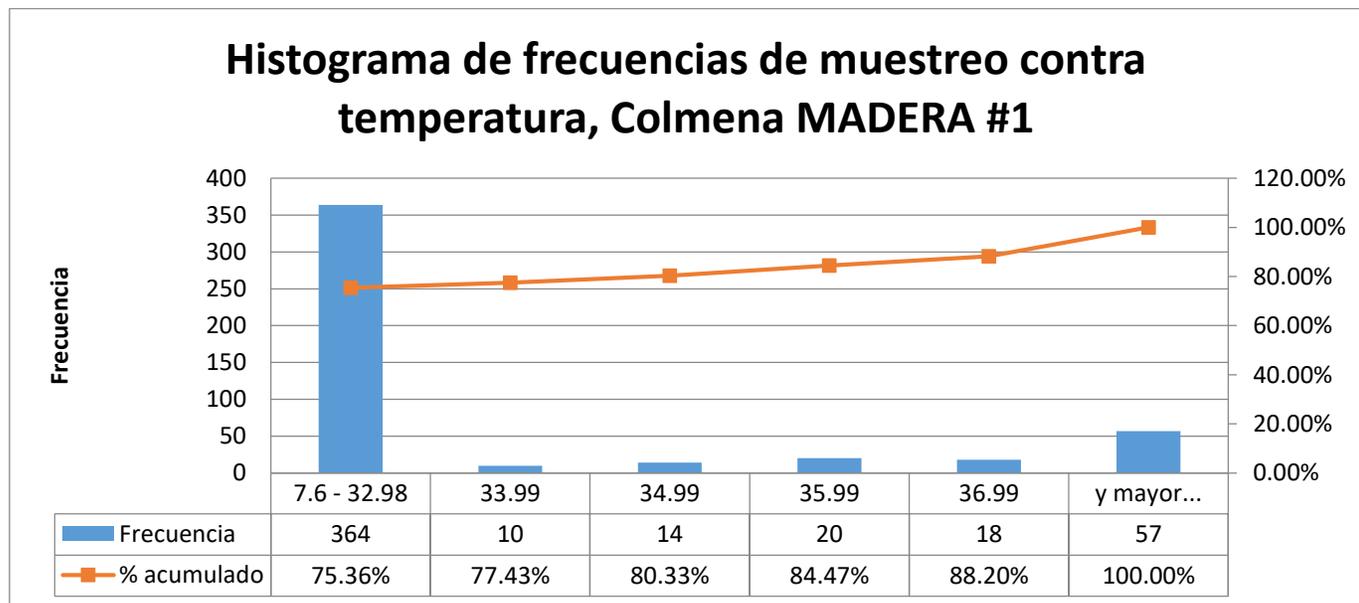


Figura 67 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena de madera #1 estaba dentro de los 33 - 36°C

### Histograma de frecuencias de muestreo contra temperatura, Colmena MADERA #2

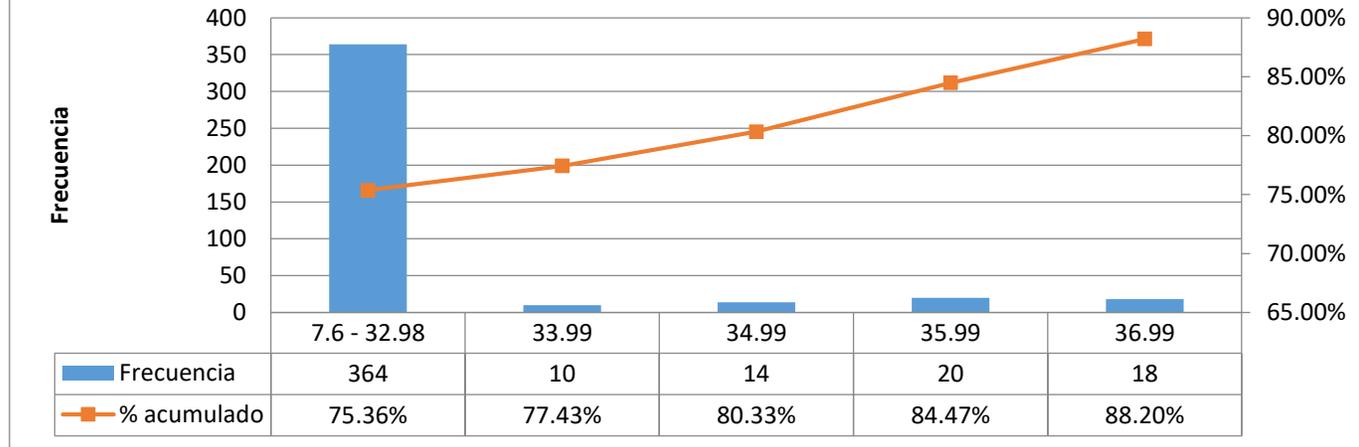


Figura 68 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena de madera #2 estaba dentro de los 33 - 36°C

### Histograma de frecuencias de muestreo contra temperatura, AMBIENTE

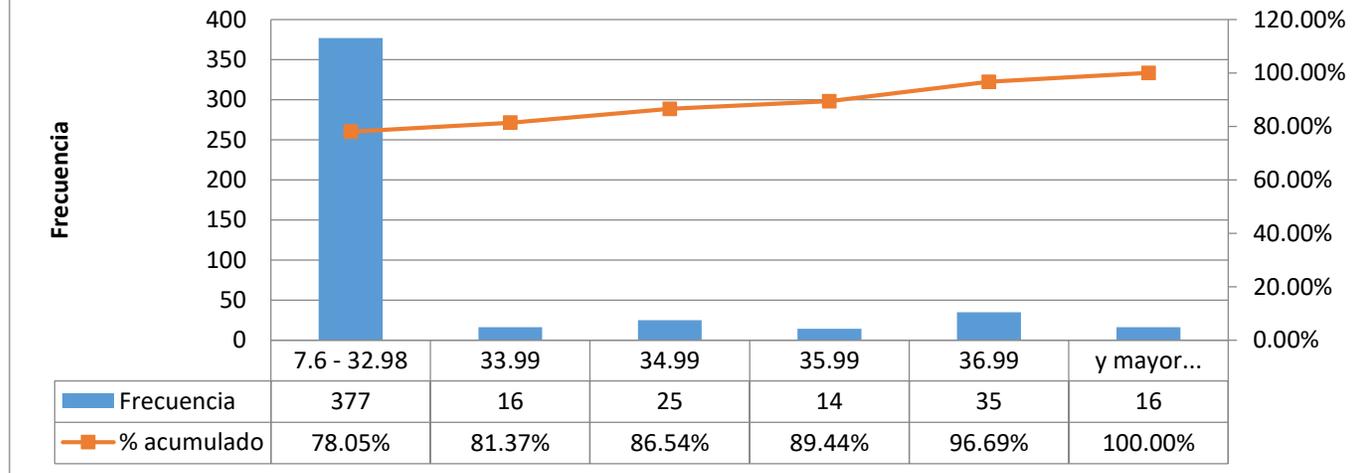


Figura 69 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura ambiental estaba dentro de los 33 - 36°C

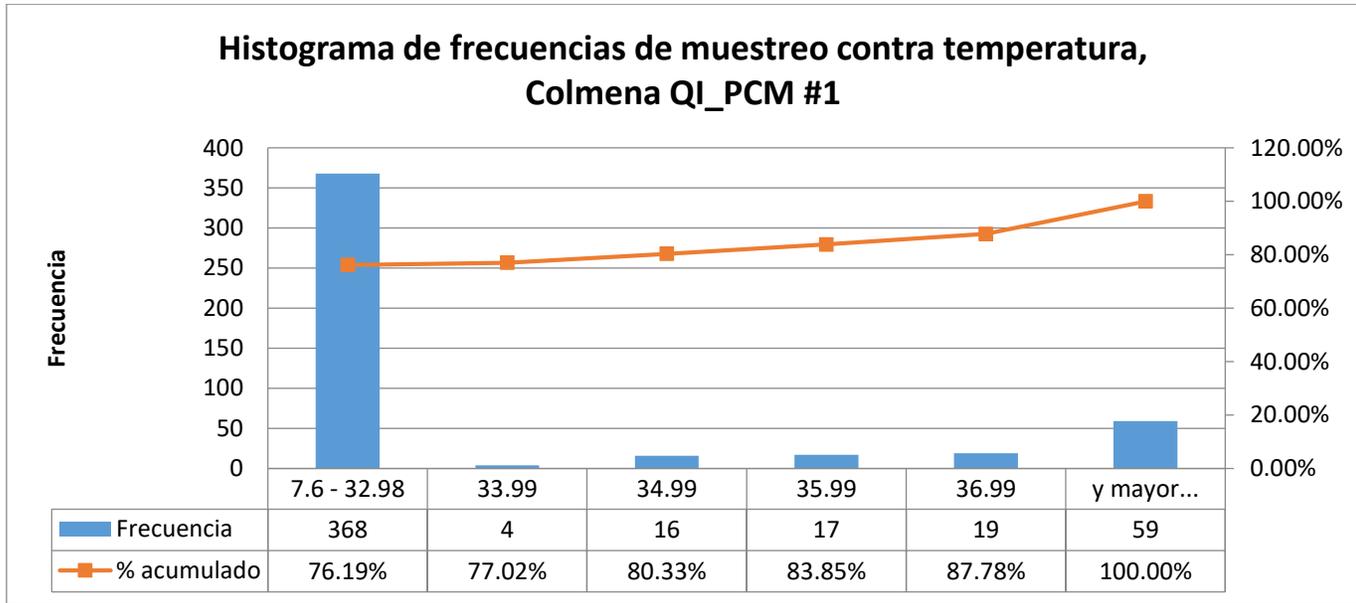


Figura 70 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena QI\_PCM #1 estaban dentro de los 33 - 36°C

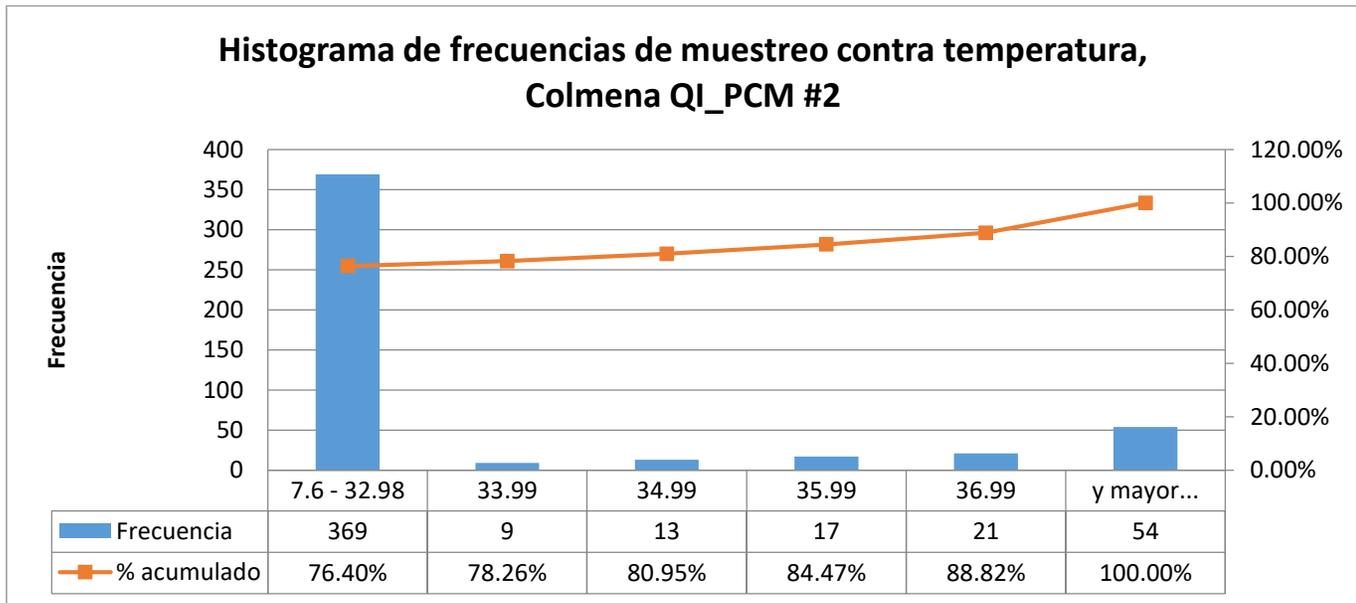


Figura 71 Histograma de frecuencia del tiempo en el que la temperatura interna de la colmena QI\_PCM #2 estaban dentro de los 33 - 36°C

Una vez construidos los histogramas de frecuencia se calculó el porcentaje de tiempo en el que la temperatura interna de cada uno de los tratamientos estaba dentro del rango de los 33 a 36°C, los resultados de dicho cálculo se muestran en la Figura 72.

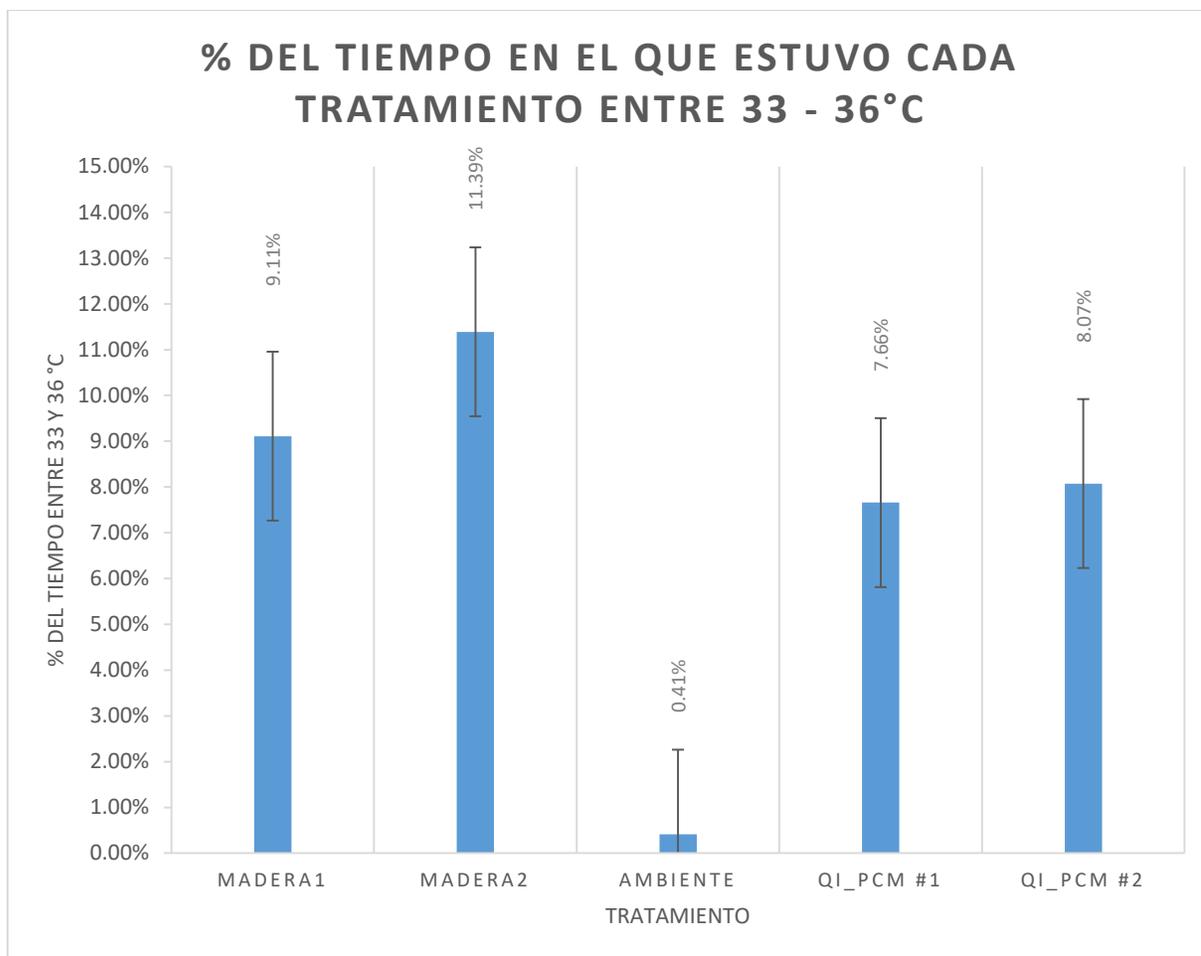


Figura 72 Porcentaje de tiempo en el que la temperatura interna de cada uno de los tratamientos estaba dentro del rango de los 33 a 36°C

Como se puede observar en el análisis las colmenas QI con PCM permanecieron una menor cantidad de tiempo que las colmenas de madera con unas tenues diferencias que no son suficiente para marcar una diferencia significativa entre un tratamiento y otro.

Por lo tanto **se rechaza la Hipótesis Ha**: Al incorporar un sistema de almacenamiento de calor latente en las paredes de la cámara de cría se podrá mantener su temperatura interna entre 33°C y 34°C durante al menos el 4.8 horas a lo largo de un día.

Las colmenas QI con un sistema de almacenamiento de calor latente no logran mantener su temperatura interna entre 33°C y 34°C durante al menos el 4.8 horas a lo largo de un día.

## **VII. CONCLUSIONES**

### **Sobre la colmena desarrollada**

- La colmena QI posee ventajas sobre la colmena de madera como una reducción de hasta un 63% del peso de la cámara de cría, una estrategia de manufactura más versátil en cuanto al tipo de maquinaria empleada para su elaboración en comparación con la estrategia utilizada para fabricar colmenas hechas de madera.
- Posee atributos que resultan evidentes sin embargo es recomendable validarlos apegados a alguna normativa, lo que puede ser una buena área de oportunidad para trabajos futuros. Un ejemplo de estos atributos serían su impermeabilidad, el tiempo de manufactura, el costo del mantenimiento, un estudio de agrietamiento del material y el ciclo de vida.
- Una vez validados se podría respaldar una relación costo - beneficio positiva al adquirir una colmena QI, la cual de momento no ha mejorado el costo de la colmena hecha de madera.

### **Sobre el desempeño del sistema de almacenamiento de calor latente**

- El sistema de almacenamiento de calor latente mostró zonas isotermas en ciertas horas de la tarde donde la radiación no incidió directamente en la colmena, con amortiguamientos térmicos de poco más de 2°C; de manera global hizo falta un mejor desempeño para cumplir adecuadamente con el objetivo para el cual fue diseñado.
- Un área de oportunidad es encontrar un método de encapsulamiento más eficiente en términos de transferencia de energía térmica, como por ejemplo alguna que garantice una mayor superficie de contacto o un mayor coeficiente de transferencia térmica.
- También podría ser beneficioso para la investigación el implementar un PCM disponible en el mercado que este respaldado por mayores estudios de modo que se prevengan condiciones indeseables típicas

de este tipo de PCM como el subenfriamiento y la separación de fases.

- Se observó un mejor desempeño térmico en una de las colmenas de madera cuyo color era más oscuro que las demás, este descubrimiento podría dar origen a una nueva hipótesis y a una nueva línea de investigación en el mismo tenor de los materiales inteligentes enfocado a materiales termocrómicos.

### **Fronteras de uso de la investigación**

El conocimiento recopilado a lo largo de este trabajo de investigación gira en torno a dos ejes principales, el desarrollo de un sistema de almacenamiento de calor latente con materiales de cambio de fase y el diseño de una estructura ligera y de bajo costo con propiedades mecánicas deseables en la industria de la construcción.

En este sentido el desarrollo del sistema de almacenamiento de calor latente pudiera aplicar para la conservación de energía proveniente del ambiente o de alguna fuente de calor intermitente para después ser aprovechada en sistemas termodinámicos sencillos con aplicaciones en la industria alimenticia, en la crianza de especies animales o en arquitectura.

En lo referente al proceso constructivo desarrollado para la matriz propuesta, este puede tener lugar en la industria de la construcción, con fines estructurales, estéticos y bioclimáticos, así como en el diseño de muebles y de embalajes. Solo por citar algunas, siendo un recurso constructivo con posibilidades ilimitadas.

## VIII. REFERENCIAS

- Aosong Electronics Co.,Ltd. (13 de Octubre de 2018). *sparkfun*. Obtenido de sparkfun: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- Arana, A., Tellez, A., Gonzalez , T., & González, A. (2002). *Aspectos generales de la degradación de la madera: aplicaciones industriales de las lacasas*. Madrid: BioTecnología.
- Asociación española del comercio e industria de la madera. (12 de Septiembre de 2018). <http://www.aeim.org>. Obtenido de <http://www.aeim.org>: <http://www.aeim.org/index.php/clasificacion-de-maderas-comerciales-segun-sus-caracteristicas/clasificacion-de-maderas-comerciales-segun-sus-caracteristicas-3/>
- Bastidas, A., & Martinez, R. (2016). Diseño social: Tendencias, enfoques y campos de acción. 89-113. Colombia.
- Biblioteca ambiental virtual de desarrollo sostenible y salud. (30 de Octubre de 2018). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org>: <http://www.bvsde.paho.org/arquitectura/clase24/clase24.htm>
- Bordier, C., Dechtre, H., Suchail, S., Peruzzi, M., Soubeyrand, S., Pioz, M., & Alaux, C. (2017). Colony adaptative response to simulated heat waves and consequences at the individual level in honeybees (*Apis mellifera*). *Scientific reports*, 7(1). Retrieved from <https://sci-hub.tw/10.1038/s41598-017-03944-x>
- Boucíguez, A. (2010). Acondicionamiento termico de colmenas con sustancias de cambio de fase. 14. Argentina. Retrieved 2016 йил 23-October from <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2010/2010-t003-a022.pdf>
- Contreras Escareño, F. (2013). *Características y situación actual de la apicultura en las regiones Sur y Sureste de Jalisco, México* (Vol. 4). Jalisco. Retrieved 2016 йил 18-October from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242013000300009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000300009)
- Coordinacion general de ganaderia. (2010). Situación Actual y perspectiva de la apicultura en México. Claridades Agropecuarias.
- DesingCouncil. (01 de Mayo de 2015). *abeldb.com*.
- Domínguez, M. (2009). *Aprovechamiento de los Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la Climatización* (Vol. 20). doi:[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642009000400012](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000400012)
- empaques y cajas. (21 de Febrero de 2018). <http://www.empaquesycajas.com>. Obtenido de ¿QUÉ ES LA FLAUTA EN EL CARTON CORRUGADO?: <http://www.empaquesycajas.com/informacion-de-cajas-de-carton-corrugado/que-es-la-flauta-en-el-carton-corrugado>

- Estudios e Investigaciones Meteorológicas. (2016). ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DEL CLIMA EN EL SECTOR AGROPECUARIO ECUATORIANO. *Instituto Nacional de Meteorología e hidrología* , 1.23.
- FAO. (30 de 10 de 2017). *Algunos Terminos de apicultura- FAO*. Recuperado el 30 de 10 de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/008/y5110s/y5110s0e.htm>
- Flórez Martínez, D. (2013). *Diseño de una minicadena productiva para apicultura orgánica en San Andrés Islas a través de un itinerario de ruta como herramienta de gestión e integración* (Vol. 14). Retrieved 2016 йил 18-October from <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/404/325>
- Global industry analysts. (29 de Agosto de 2016). *Honey Market Trends*. Obtenido de Global industry analysts: [http://www.strategyr.com/MarketResearch/Honey\\_Market\\_Trends.asp](http://www.strategyr.com/MarketResearch/Honey_Market_Trends.asp)
- Halcroft, M., & Neumann. (2011). *Behavioral defense strategies of the stingless bee, Austroplebeia australis, against the small hive beetle, Aethina tumida*. doi:10.1007/s00040-010-0142-x
- Hernández Sampieri, R., Hernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* . México: McGraw-Hill.
- INEGI . (2012). *La apicultura en la Península de Yucatán : Censo Agropecuario 2007*. Censo, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Recuperado el 14 de Octubre de 2016, de [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/agricola/peni\\_yuc\\_apicola/ApicYucatan.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/agricola/peni_yuc_apicola/ApicYucatan.pdf)
- INEGI. (15 de Noviembre de 2016). *Cuentame INEGI*. Obtenido de Cuentame Informacion por entidad Querétaro: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/queret/territorio/clima.aspx?tema=me&e=22>
- Jaguemont, J., Omar, N., Van den Bossche, P., & Van Mierlo, J. (2018). *Phase-change materials (PCM) for automotive applications: a review*. Brussels: Applied Thermal Engineering.
- JIMÉNEZ HERNÁNDEZ , P. (2016). *VALIDACIÓN ESTADÍSTICA EN CARTÓN CORRUGADO DEL EQUIPO DE LABORATORIO MULLEN DISEÑADO POR EL INSTITUTO MEXICANO DE PROFESIONALES EN ENVASE Y EMBALAJE S.C. CIUDAD DE MÉXICO: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL*.
- Jones, J. (2004). *Honey Bee Nest Thermoregulation: Diversity Promotes Stability*. Retrieved 2016 йил 31-October from [http://science.sciencemag.org/content/305/5682/402?variant=full-text&sso=1&sso\\_redirect\\_count=1&oauth-code=b43746f3-4797-4bde-8aa2-26e602a4608a](http://science.sciencemag.org/content/305/5682/402?variant=full-text&sso=1&sso_redirect_count=1&oauth-code=b43746f3-4797-4bde-8aa2-26e602a4608a)
- Kridi, D. S., De carvalho C, G. N., & Gomes, D. G. (2016). Application of wireless sensor networks for beehive monitoring and in-hive thermal patterns detection. *127*, 221-235.
- López Caballero, E. (2016). *Apicultura y Polinización Dirigida*. Alcalá: Universidad de Alcalá.

- Lorenzon, M. (2015). *Mortero de cemento-vermiculita: un nuevo material para la construcción de colmenas Langstroth*. Retrieved 2016 йил 03-Noviembre from <http://apimondiafoundation.org/foundation/files/100s.pdf>
- McDonnell Douglas Astronautics Company. (1973). *ISOGRID DESIGN HANDBOOK. ISOGRID DESIGN HANDBOOK*. Huntington Beach, California , EEUU.
- Medrzycki, P. (2010). *Influencia de la temperatura de la cría en el desarrollo de la abeja de la miel y susceptibilidad a la intoxicación por los pesticidas*.
- Meizhi, H., Luwei, Y., & Zhentao, Z. (2018). Experimental studies on cycling stable characteristics of inorganic phase change material  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  modified with  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and CMC. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. Beijing.
- Meizhi, H., YANG, L., & ZHANG, Z. (2017). Supercooling characteristics of inorganic phase change material  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . *CIESC Journal*, 4016-4024.
- Meteored. (22 de Noviembre de 2018). <https://www.meteored.mx>. Obtenido de <https://www.meteored.mx/queretaro/historico>
- Meteored. (07 de 03 de 2018). *Meteored*. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de [https://www.meteored.mx/clima\\_Queretaro-America+Norte-Mexico-Queretaro--horas-22380.html](https://www.meteored.mx/clima_Queretaro-America+Norte-Mexico-Queretaro--horas-22380.html)
- Moriaméz Banda, D. B. (2004). *Unión de una colmena construida de madera*. Valdivia: Región IX de La Araucanía Región XIV de Los Ríos.
- Mullin, C., Fraizer, M., Frazier, J., Ashcraft, S., Simonds, R., Engelsdopr, D., & Pettis, J. (2010 йил 19-marzo). High Levels of Miticides and Agrochemicals in North American Apiaries: Implications for Honey Bee Health. (F. Marion-Poll, Ed.) *Journal Plos one*, 5(3). doi:<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0009754>
- Nessler, D. (08 de Enero de 2018). *UX Collective* . Obtenido de <https://uxdesign.cc>: <https://uxdesign.cc/how-to-solve-problems-applying-a-uxdesign-designthinking-hcd-or-any-design-process-from-scratch-v2-aa16e2dd550b>
- Nielson, K., & Cox, J. T. (2013). DESIGN AND OPTIMIZATION OF A THERMAL CAPACITOR. *Undergraduate Honors Theses. Paper*, pág. 135. Recuperado el 09 de octubre de 2016, de <http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1134&context=honors>
- Noori, A.-W., Khelod, S., Ahmed, A.-G., & Mohammad, J. A. (2012). *Antibiotic, Pesticide, and Microbial Contaminants of Honey: Human Health Hazards*. (A. S. N. Ercal, Ed.) New York. doi:10.1100/2012/930849
- Oldroyd, B. P. (2007). *What's Killing American Honey Bees?* (Vol. 5). doi:10.1371/journal.pbio.0050168
- Oliver , A. (2012). *Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica*.



- Sheldrake, A. (29 de Octubre de 2018). *Sheldrake Astronautics*. Obtenido de *Quarter isogrid*: [http://www.sheldrake.net/quarter\\_isogrid/](http://www.sheldrake.net/quarter_isogrid/)
- Sinaringati, S., Putra, N., Amin, M., & Afriyanti, F. (2016 йил Enero). The utilization of paraffin and beeswax as heat energy storage in infant incubator. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(2), pp. 800-804. Retrieved 2016 йил 08-octubre from [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2016/jeas\\_0116\\_3404.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0116_3404.pdf)
- Sudarsan, R. (2012). *Flow currents and ventilation in Langstroth beehives due to brood thermoregulation efforts of honeybees*.
- Thompson, R. (2013). *Sustainable materials processes and production*. London: Thames & Hudson.
- Urbanik, T. J. (1996). Machine Direction Strength Theory of Corrugated Fiberboard. *Journal of Composites Technology & research*, 80-88.
- Valega , O. (09 de 11 de 2005). *Portal Apícola*. Obtenido de <http://www.islapro.com>: <http://www.islapro.com/ecologia/colmenas9.htm>
- VanEngelsdorp, D. (2009). *Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study*. doi:<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0006481>
- Wei, G., Wang, G., Xu, C., Ju, X., & Xing, L. (2017). *Selection principles and thermophysical properties of high temperature phase change materials for thermal energy storage: A review*. Beijing: Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- woodgears. (29 de Octubre de 2018). <https://woodgears.ca>. Obtenido de <https://woodgears.ca>: <https://woodgears.ca/dovetail/imp2.jpg>
- Xinxing , Z., Xiang , L., Yuan , Z., Chunxi , H., Yue , S., Xiufeng , R., & Jinbo, Z. (2018). *Calcium Chloride Hexahydrate/Diatomite/Paraffin as Composite Shape-Stabilized Phase-Change Material for Thermal Energy Storage*. Xining: Energy & Fuels.
- Zalba, B., Marín, J., Cabeza, L., & Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering* , 251–283.
- Zetola Vargas. (2013). *Mortero de Cemento Portland con parafinas microencapsuladas* (Vol. 12). Santiago de Chile. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100008>

## IX. ANEXOS

### Anexo 1



**RESINA**

**POLIESTER**

PP-70 X60

## **INFORMACIÓN DEL PRODUCTO**

---

# RESINA PARA LA FABRICACION DE PLASTICO

Contenido de Fibra de Vidrio

## PROPIEDADES DE RESINA LÍQUIDA

ESPECIFICACIÓN	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad @ 25° C, Brookfield LVF, aguja # 3 a 60 r.p.m. ( cps )	420 ± 40	EQPP-CC-002
Densidad @ 25°C (g/ml)	1.10± 0.02	EQPP-CC-008
Color	Rosa	EQPP-CC-007
% de Sólidos	62 ± 2	EQPP-CC-001

## PROPIEDADES DE CURADO \* ( 1 ) ver parte posterior de la hoja

Tiempo de gel @ 25 ° C ( min.) 100 g de resina + 1 % de catalizador mekp	12'± 2	EQPP-CC-004
Intervalo de Curado ( C, min)	20'±5	EQPP-CC-005
Tiempo de Curado ( min )	8±2'	EQPP-CC-005
Temperatura de Exotermia ( ° C )	165 ±20	EQPP-CC-006

## PROPIEDADES MECÁNICAS \* ( 2 ) ver parte posterior de la hoja

### REFORZADO DE F.V.

PROPIEDAD	ENCAPSULADO	LAMINADO	MET. DE PRUEBA
Contenido de Resina	100	70	( % Peso )

-----

30

( % Peso)

Densidad @ 25°C

1.10	1.35	EQPP-CC-008	
Dureza Barcol	35	40	EQPP-CC-010
HDT ( ° C a 264 psi )*	68	N.A.	EQPP-CC-020

N. A. = No Aplica

\* HDT = Temperatura máxima de distorsión al calor.

## DESCRIPCIÓN

La serie PP-70x60 de Poliformas, es una resina La serie PP-70x60 ha sido diseñada para poliéster insaturada, ortoftálica de reactividad media cubrir las necesidades de los fabricantes de preacelerada, cuyas aplicaciones son en fabricación artículos de plástico reforzado con fibra de do reparación de artículos varios de plástico vidrio y para mantenerse como líder en el reforzado con fibra de vidrio utilizando los procesos de mercado. moldeo manual.

## CARACTERÍSTICAS

Curado rápido aun en secciones delgadas. Preacelerada, porcentaje de sólidos adecuados para su aplicación. Fácil humectación a la fibra de vidrio.

Curado consistente a varios niveles de catalización.

Buena aceptación de cargas minerales.

Buen desarrollo de dureza barcol.

Cielito Lindo lote No. 25 y 27 Manzana 2. Parque Industrial  
Izcalli  
Col. Esperanza, Cd. Nezahualcoyotl Edo. de México C.P.  
57810

Tel. 01 800 56 19 101  
www.poliformasplasticas.com.mx

## BENEFICIOS.

Elevada compatibilidad con cargas minerales Rapidez de curado lo que permite alta productividad por molde. Viscosidad adecuada para humectar en forma fácil y rápida fibra de vidrio y cargas minerales.

## APLICACIONES.

Fabricación de artículos varios de plástico reforzado con fibra de vidrio utilizando procesos productivos de moldeo manual.

<b>Fecha de Elaboración</b>	<b>21/05/2011</b>
<b>Revisión</b>	<b>21/05/2012</b>
<b># de Revisión</b>	<b>1</b>



## RECOMENDACIONES DE EMPLEO

A.- Se debe mantener un rango entre el 0.8 y el 2% de catalizador Peroxido de Metil Etil Cetona sobre el peso total de la resina.

B.- Se almacena a temperaturas entre los 18 - 25 ° C y una humedad relativa entre 40 - 80 % para ayudar al fabricante a obtener una mayor calidad en sus productos.

### FABRICANTE:

Poliformas Plásticas S.A. de C.V.

## ESTABILIDAD DE ALMACENAMIENTO

La Resina tiene una estabilidad de 3 meses a partir de su fecha de producción. Debe ser almacenada en envases cerrados bajo techo a una temperatura no mayor de 25 ° C.

Durante los meses de verano donde la temperatura ambiente es elevada la estabilidad del producto se garantiza un máximo de dos meses a 30 °C ambientales (bajo techo)

### SEGURIDAD

Ver Hojas de Seguridad de Materiales y Hoja de Emergencia de Transportación de Resinas de

Poliformas.

Para el manejo del producto el personal debe utilizar el equipo de seguridad abajo descrito.

### III.1.1.1 NOTAS

( 1 )

Las características de gel pueden variar de lote a lote debido a la concentración del catalizador, inhibidor y promotores empleados o por un exceso de humedad en el ambiente.

Los pigmentos y las cargas pueden acelerar o retardar el tiempo de gel.

Es recomendable que antes de usar la resina, el fabricante haga pruebas con una pequeña porción de la resina para revisar las características de gel; esto es de

Acuerdo a sus condiciones de operación

( 2 )

Las pruebas mecánicas se realizaron en un laminado sin refuerzo (Casting), a una temperatura de 25 ° C y una

humedad relativa del 50 %.  
Las pruebas se realizaron  
adicionando el 1 % de  
catalizador PMEK al 50%.

**( 3 )**

Las resinas preaceleradas  
para exportación se envía el  
acelerador por separado  
para que el Cliente lo integre,  
esto se hace para garantizar  
la vida útil del producto.

**Dentro de la información que poseemos los datos aquí obtenidos son confiables. Esta información se suministra al margen de cualquier otra garantía expresa o implícita, incluida toda garantía de comercialización o uso para un fin particular es independiente de cualquier otra responsabilidad contraída con el fabricante en vista de que el uso de este material esta fuera de nuestro control. Esta compañía no se hace responsable de cualquier daño o perjuicio resultado del mismo. La decisión final respecto a la utilización de este producto para el uso contemplado, el modo de empleo y el caso que su uso infrinja alguna patente, es responsabilidad únicamente del comprador.**

---

Cielito Lindo lote No. 25 y 27 Manzana 2. Parque Industrial  
Izcalli  
Col. Esperanza, Cd. Nezahualcoyotl Edo. de México C.P.  
57810 Tel. 01 800 56 19 101  
[www.poliformasplasticas.com.mx](http://www.poliformasplasticas.com.mx)

<b><i>Fecha de Elaboración</i></b>	<b>21/05/2011</b>
<b><i>Revisión</i></b>	<b>21/05/2012</b>
<b><i># de Revisión</i></b>	<b>1</b>