

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Diseño y fabricación de una caja para colmena para instalación en  
patios de viviendas

Trabajo de graduación presentado por Cindy Elaine Luber Sulapas para  
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala  
2021



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Diseño y fabricación de una caja para colmena para instalación en patios de viviendas

Trabajo de graduación presentado por Cindy Elaine Luber Sulapas para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala  
2021



Vo.Bo.:

(f)   
Ing. Rodrigo Aragón

Tribunal Examinador:

(f)   
Víctor Hugo Ayerdi

(f)   
Rodrigo Aragón

(f)   
José Bagur

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de diciembre del 2021.



<b>Lista de figuras</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>XI</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>7</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>9</b>
4.1. Objetivo general.....	9
4.2. Objetivos específicos.....	9
<b>5. Marco teórico</b>	<b>11</b>
5.1. Abejas.....	11
5.1.1. Descripción general .....	11
5.1.2. Actividad dentro de la colmena.....	12
5.1.3. Clasificación.....	13
5.1.4. Distribución en Guatemala .....	13
5.2. Apicultura.....	15
5.2.1. Colmenas modernas.....	15
5.2.2. Equipo de protección y manejos .....	16
5.3. Meliponicultura .....	17
5.3.1. Cajas tecnificadas .....	17
5.3.2. Equipo y materiales.....	20
5.3.3. Trasiego .....	20
5.3.4. Métodos de cuidado y fortalecimiento .....	20
5.4. Producción y extracción de miel .....	21

5.4.1.	Instalación.....	22
5.4.2.	Situación en Guatemala.....	22
<b>6.</b>	<b>Metodología</b>	<b>25</b>
6.1.	Descripción de la metodología.....	25
6.2.	Requisitos.....	26
6.3.	Diseños preliminares.....	27
6.4.	Cálculo y diseños.....	29
6.4.1.	Parámetros iniciales.....	29
6.4.2.	Contactos.....	30
6.4.3.	Mallado.....	30
6.4.4.	Calor transmitido debido a las abejas.....	31
6.5.	Fabricación.....	33
6.6.	Pruebas.....	36
6.6.1.	Protocolo de pruebas para determinar la adaptación de las abejas.....	36
6.7.	Resultados.....	40
6.7.1.	Primer monitoreo.....	40
6.7.2.	Segundo monitoreo.....	40
6.7.3.	Validación del prototipo.....	41
6.8.	Discusión de resultados.....	42
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>45</b>
<b>8.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>47</b>
<b>9.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>49</b>
<b>10.</b>	<b>Anexos</b>	<b>51</b>



---

## Lista de figuras

---

1.	Diversidad y distribución de meliponinos para Guatemala.....	16
2.	Vestimenta de un apicultor.....	18
3.	Caja sencilla.....	20
4.	Caja tecnificada tipo Araujo.....	20
5.	Caja de tecnología intermedia.....	21
6.	Caja tecnificada UTOB.....	21
7.	Meliponario diseñado.....	29
8.	Explosión del meliponario.....	30
9.	Vista general.....	32
10.	Mallado final.....	33
11.	Configuración del sistema para temperatura exterior de 40° C.....	34
12.	Configuración del sistema para temperatura exterior de 0° C.....	34
13.	Resultados para temperatura de 40° C.....	35
14.	Resultados para temperatura de 0° C.....	35
15.	Construcción de estructura.....	36
16.	Construcción de estructura (continuación).....	36
17.	Estructura de madera.....	37
18.	Montaje del display de temperatura y humedad.....	37
19.	Caja de colmena completada.....	38
20.	Tubo para trampa de moscas en la entrada.....	41
21.	Trampa simple para moscas a ser colocada en la piquera.....	41
22.	Disposición inicial de colmenas en troncos de bambú.....	52
23.	Procedimiento de trasiego para caja no. 1.....	54
24.	Corte de tronco de bambú no. 1.....	55
25.	Separación de tronco de bambú no. 1.....	56
26.	Revisión de tronco de bambú no. 1.....	56
27.	Separación del nido de tronco de bambú no. 1.....	57
28.	Separación de nido de tronco de bambú no. 1 (continuación).....	57
29.	Separación de nido de tronco de bambú no. 1 (continuación).....	57
30.	Traslado de nido de tronco de bambú no. 1.....	58
31.	Traslado de nido de tronco de bambú no. 1 a caja tecnificada.....	58

32.	Ubicación de caja de colmena no. 1.....	59
33.	Procedimiento de trasiego para caja no. 2.....	59
34.	Corte de tronco de bambú no. 2.....	61
35.	Separación de tronco de bambú no. 2.....	61
36.	Traslado de nido de tronco de bambú no. 1.....	62
37.	Ubicación de caja de colmena no. 2.....	62
38.	Traslado de potes a caja de colmena no. 1.....	63
39.	Ubicación de potes en caja de colmena no. 1.....	63
40.	Traslado de potes a caja de colmena no. 2.....	64
41.	Ubicación de potes en caja de colmena no. 2.....	65
42.	Primer monitoreo para caja no. 1.....	66
43.	Ubicación inicial de sensor.....	66
44.	Estado del sensor.....	67
45.	Construcción de piquera.....	67
46.	Construcción de potes adicionales.....	67
47.	Inicio de orificios tapados con cera.....	68
48.	Condiciones ambientales dentro de la caja.....	68
49.	Primer monitoreo para caja no. 2.....	71
50.	Construcción de primera piquera.....	72
51.	Construcción de segunda piquera.....	73
52.	Estado de los potes.....	73
53.	Segundo monitoreo para caja no. 1.....	74
54.	Estado de piquera.....	74
55.	Construcción de cera en orificios de división de nido.....	75
56.	Condiciones ambientales dentro de la caja.....	76
57.	Construcción de nuevos potes.....	76
58.	Segundo monitoreo para caja no. 2.....	77
59.	Estado de piquera.....	78
60.	Construcción de cera en orificios de división de nido.....	79
61.	Condiciones ambientales dentro de la caja.....	80
62.	Colmena abandonada.....	80
63.	Modelo impreso en 3D del tubo para trampa de moscas.....	81
64.	Montaje para trampa de moscas.....	81
65.	Montaje de trampa en piquera.....	82
66.	Plano para diseño final de caja de colmena.....	83
67.	Plano para techo de diseño final.....	84
68.	Plano para división de techo de diseño final.....	85
69.	Plano para pared de madera de diseño final.....	86
70.	Plano para división de melario de diseño final.....	87
71.	Plano para división de sobrenido de diseño final.....	88
72.	Plano para ventana de diseño final.....	89
73.	Plano para base interior de diseño final.....	90
74.	Plano para banco de diseño fina	



1.	Tipos de abejas .....	12
2.	Restricciones del prototipo .....	26
3.	Requisitos de funcionalidad del prototipo .....	26
4.	Requisitos de rendimiento .....	27
5.	Procedimiento de prueba de trasiego .....	37
6.	Monitoreo .....	38
7.	Conteo de abejas por revisión .....	39
8.	Conteo de abejas para caja no. 1 .....	40
9.	Conteo de abejas para caja no. 2 .....	40
10.	Conteo de abejas para caja no. 1 .....	40
11.	Conteo de abejas para caja no. 2 .....	40
12.	Validación para restricciones del prototipo .....	41
13.	Validación para requisitos de funcionalidad del prototipo .....	41
14.	Validación para requisitos de rendimiento del prototipo .....	42



---

## Resumen

---

Las abejas son necesarias ya que por su aporte con la polinización los humanos obtenemos una diversidad de cultivos, productos y flora actualmente. Es decir, su participación en el medio ambiente ayuda en gran medida a la producción y conservación de recursos. Sin embargo, la extinción de estos seres es un problema que ha aumentado en los últimos años. Por ello, se diseñó una caja de colmena con el propósito de ser colocada en los patios de los hogares y de esa manera, proveerles un espacio en el que puedan desarrollar sus labores. Esta caja de colmena podrá ser utilizada de una manera segura y sencilla por usuarios sin conocimientos en apicultura y podrá observarse con más detalle el proceso de producción de miel. Adicionalmente, se incluyó un sensor para monitorear las condiciones interiores y por medio de un diseño que contempló las medidas, el rendimiento y otros factores, se realizó un análisis para determinar si cumplió con los requisitos. A partir de esta información, se construyó el prototipo y se efectuaron pruebas para buscar mejoras. Con la retroalimentación, se trabajó en un diseño final para ser construido. Finalmente, se consiguió una caja de colmena que puede ser colocada libremente en una vivienda sin la necesidad del usuario de intervenir directamente para revisarla.



---

## Abstract

---

Bees are necessary since, due to their contribution to pollination, humans obtain a diversity of crops, products, and flora today. Their participation in the environment greatly helps the production and conservation of resources. However, the extinction of these beings is a problem that has increased in recent years. For this reason, a beehive will be designed with the purpose of being placed in the patios of the homes and thus, providing them with a space in which they can carry out their work. This hive can be used by users without knowledge of beekeeping and provide honey in a safe and simple way. Additionally, a support will be included, as well as a sensor for the interior conditions. Using a design that will consider measurements, performance, and other factors, an analysis will be conducted to determine if the hive meet the requirements. Based on this information, the prototype will be built, and tests will be carried out to find improvements. With the feedback, a final design will be manufactured. Finally, we as humans will achieve a hive that can be freely placed in a home without the need for the user to intervene directly to use it.



La producción de cultivos y la conservación de la flora dependen ampliamente de polinizadores, uno de ellos siendo las abejas. Estos insectos vuelan de flor en flor realizando varios viajes al día y sin estas acciones, algunas de las consecuencias incluyen un impacto en nuestras dietas, disminución en la variedad de cultivos consumidos, así como de plantaciones cuya reproducción depende de ellas. La polinización es necesaria pues es parte del proceso que conlleva a un ecosistema saludable y funcional. A causa de la reducción de esta especie, se han incrementado las oportunidades para proveerles un espacio más seguro y controlado y así, impulsar su crecimiento. Parte de esta oportunidad se enfoca en construir colmenas artificiales en donde se buscaba diseñar y construir una caja de colmena para ser colocada en viviendas y ser mantenidas por personas sin conocimiento previo en apicultura.

El diseño se limitó a utilizar solamente herramientas y materiales que pudieran conseguirse en el territorio nacional y que, de gran importancia, pudiera ser compatible con las abejas. Con esto, se decidió diseñar una caja a la cual se le realizaron análisis térmicos para determinar si cumplía con las condiciones adecuadas en el interior. Pasado este requisito, se pretendía trabajar con Meliponas, pero dada la disponibilidad para conseguir una colmena, se optó por conseguir dos troncos de bambú las cuales contenían abejas del tipo *Tetragonisca angustula* (también conocidas como abejas angelitas o doncellas). La mayor ventaja de las abejas angelitas es que al pertenecer a la misma tribu que las Meliponas, comparten las mismas características y comportamiento.

Con la disponibilidad de dos colmenas, una de ellas fue introducida dentro de una caja que contenía divisiones de acrílico mientras que la otra contenía divisiones de acetato (que es con lo que trabajan algunos meliponicultores). Resultó que las abejas lograron adaptarse de mejor manera dentro de la caja con divisiones de acrílico a pesar de que ambas se encontraban fuera de los rangos esperados de temperatura y humedad. Basado en el rendimiento de ambas cajas, se rediseñó la primera caja prototipada a manera de incluir un espacio adicional para una ventana además de otros agujeros y guías para las paredes de madera. Con esto, se recomendaría trabajar y experimentar con diferentes tipos de abeja sin aguijón dada la diversidad que existe para ofrecerles un espacio más resguardado.



Una gran parte de la población no está consciente de que las abejas tienen otras tareas adicionales a producir la miel que todos conocen, un producto cuyo consumo conlleva diversos beneficios. Además de fabricarla, son consideradas como una de las polinizadoras que más impacto tienen sobre nuestro estilo de vida. A grandes rasgos, el viaje que realizan a diferentes especies de flora a lo largo de su existencia indirectamente se manifiesta tanto en la economía como en la biodiversidad y agricultura. A pesar de que las colmenas administradas han aumentado en un 45 % aproximadamente en los últimos años, la globalización económica demanda más servicios de polinización, así como de colmenas. En la investigación *The global stock of domesticated honeybees is growing slower than agricultural demand for pollination* se mencionaba que el comercio de la agricultura y la dependencia a polinizadores por parte de las plantaciones suelen ser las mayores razones por las que el cultivo de las mismas se ha expandido; no obstante, pueden llegar a desencadenar problemas, reflejados en la agricultura comercial y cultivos que dependen de estos seres, para esas mismas plantaciones y las especies nativas aledañas (Aizen & Harder, s.f.) Basado en la demanda creciente que surgió de la globalización, es necesario acercarse con una solución amplia y sencilla. Con la diferencia de que hoy en día han ganado importancia los métodos sostenibles y éticos, al implementarlos juntos, se podrían obtener grandes hallazgos.

Con el fin de profundizar en las características que definen a una colmena, el primer paso es tener un acercamiento a los problemas que enfrentan tanto las abejas como los apicultores. En 2018, Bekuma dispuso un estudio sobre las oportunidades y los desafíos de la apicultura en Etiopía. Utilizando una muestra de 156 apicultores a la cual se les entrevistó y encontró que el rendimiento promedio de miel era de 5.42 kg utilizando colmenas tradicionales mientras que de las que fueron mejoradas se obtuvieron 15.69 kg. Adicionalmente, otra oportunidad fue presentada por parte de los consumidores y la atención del gobierno quienes tenían una mayor preferencia por la miel producida localmente. Por otro lado, los mayores retos fueron la aplicación adecuada de agroquímicos, costos elevados de equipo moderno, presencia de pestes y enfermedades. Con base en lo que encontró, recomendó que los responsables debieran tener una debida preparación y ser proveídos de servicios en colaboración con microfinanzas. Serrano, 2005 en su estudio *Termorregulación* estableció que otro de los problemas con las que lidian es la termorregulación. Las abejas en conjunto poseen la capacidad de mantener una temperatura constante (entre 32 y 36°C) a pesar de las condiciones ambientales externas. Mas las altas o bajas temperaturas, así como la falta de recursos del agua debilitan el interior de las colonias; se dan situaciones en las que acaban asfixiándose, paralizándose, ralentizando el desarrollo de crías, manifestándose enfermedades, entre otros. Por lo que, al ayudarlas

a concentrarse menos en la termorregulación, consumirían menos miel y producirían una mayor cantidad.

Es por esto que se propusieron medidas como mejorar el aislamiento de los panales, acomodar el volumen de cuadros, evitar ranuras por las que se podría perder o ganar calor, proporcionar el agua que necesiten y en general, aportaciones que faciliten su trabajo. Con los obstáculos y conveniencias planteadas, existe una diversidad de colmenas. En 1852, apareció la primera construcción de la colmena Langstroth el cual, basado en una vivienda, realizó una construcción vertical con marcos auto espaciadores móviles con el propósito de darle paso a la abeja. La distancia entre cada marco es de 9.5 mm y resultó que las abejas respetaban el espacio y no cayeron en la necesidad de construir puentes de cera o panales de refuerzo. Esto permitía una extracción o un intercambio sencillo de panales; no obstante, se presentaron varios defectos pues la abeja reina debía trasladarse entre alzas y la capacidad de cría de la cámara era insuficiente para su expansión. De manera que, resultó que este método pasado un tiempo llegaba a volverse complicado y elevaba los costos de producción según Valega en su documento *La vivienda ideal para la colmena* publicada en el 2005. En 1920 se introdujo otra conocida como The Dadant Hive, planteada por Charles Dadant. Construido de madera, el propósito de este modelo es prevenir efectivamente el viento frío, humedad, moho, entre otros. A comparación del tipo Langstroth, los marcos auto espaciadores no son preferibles debido a que las abejas son aplastadas entre los espacios al manipularlos y el propóleo que producen se queda pegado de manera insatisfactoria (Dadant, 1920).

Existen variedades de construcciones de colmenas como la que se realizó en Brasil en el año 2004 por Lorenzon *et. al* utilizando cemento-vermiculita en una de tipo Langstroth. La vermiculita exfoliada es un producto económico de bajo peso conocido por sus propiedades de resistencia térmica al ser un material aislante. Durante los ocho meses que se llevó a cabo el experimento, 10 cajas de cemento-vermiculita (CVM) fueron comparadas con otras 10 cajas hechas de un material de control (madera de pino) con el fin de controlar la temperatura, conductividad térmica y su capacidad de absorber o perder agua. Fueron distribuidas en un colmenar, colocadas hacia el norte y eran abiertas semanalmente para verificar las condiciones internas. Los resultados entre sí fueron semejantes puesto que, en términos de absorción y pérdida de agua, los del CVM fueron mayores; pero en cuanto a la diferencia de temperaturas internas y las conductividades térmicas, los valores no diferían. De igual manera, se menciona que el CVM aún tiene oportunidades de mejora y puede ser utilizado como una alternativa por pequeños apicultores.

El Ministerio de Agricultura y Tierras de Canada (2006) propuso que, sin importar que el equipo fuese adquirido de un ensamble pre cortado o de una manufactura propia, la importancia reside en que se utilicen las medidas y los métodos estándar para asegurar que la colmena sea fuerte y duradera. Dicho eso, ofreció en su manual algunas dimensiones, procedimientos y consejos de ensamble. Son utilizados el pino o cedro seco como materiales de construcción (plywood para el techo y el fondo) con un espacio de 8 mm (medida más utilizada hoy en día) a fin de permitir el movimiento de las abejas. Para cubrir la parte superior y algunas piezas de los marcos, utilizaron hierro galvanizado o aluminio, y si se desea aislar (lo cual es recomendable), el manual aconseja aplicar una capa de espuma de poliestireno (EPS). Con el objetivo de fortalecer su duración, debe tratarse posteriormente con pintura base o algún conservante de madera. Se incluyen adicionalmente unas trampas barreras de polen para ayudar a las abejas a retirar el polen de sus patas y como una de las últimas etapas, se indica el uso de sujeciones con grapas o listones las partes superior e inferior para cuando sea necesario trasladar la colmena.

Tomando en cuenta los retos de los cambios climáticos, Greco *et. al* (2010) en su investigación «*A stingless bee hive design for a broader climate range*» sugiere que hay una constante necesidad de seguir mejorando las colonias de abejas ubicadas fuera de su distribución geográfica natural. En lo que se refiere a Australia, lugar donde se dio el estudio, se diseñó una colmena, Temperate Climate (TC), emulando anidaciones exitosas, naturales y sin agujones encontrados para compararlo con la colmena australiana de Trigona (OATH), la más utilizada en las áreas tropicales y subtropicales. El TC y OATH comparten características siendo ambas ligeras, compactas y sencillas de construir y permiten la propagación de las colonias. Sin embargo, el TC está constituido de un material más asequible, hueco, con una mayor resistencia a la humedad y paneles de puertas externas incluyendo una tubería interna de alimentación. Pese a las modificaciones que se implementaron, se concluye en que siempre hay espacio para nuevas mejoras como encontrar una forma de aumentar la protección a las abejas de las condiciones ambientales.

Por otro lado, fue presentado en 2018 otro diseño basado en una colmena a control remoto a fin de mejorar la eficiencia y el rendimiento de las actividades de la apicultura. Se introdujo tecnología de manera que las abejas no fueran molestadas a través de un software que reunía datos acerca del calor, la temperatura y humedad, sensores de peso y una cámara. La base de este diseño era minimizar lo mejor posible las intervenciones para el apicultor, pues existe una necesidad de controlar la colmena frecuentemente. Se utilizó un bosquejo con características similares a la colmena Langstroth y para examinar el estado interno, se sugirieron los siguientes componentes (los cuales son compatibles con el ordenador Raspberry Pi): para la información sobre la temperatura y humedad, un sensor DTH22; flujo del néctar y miel, un sensor de peso y una celda HX711; entrada y salida de abejas, una tarjeta de desarrollo y una cámara de 5MP. Si bien, fueron planteadas las formas de analizar el estado de la colmena para mejorar la situación, esta vía aún no podría ser implementada debido al costo elevado del sistema (Dogan y col., 2018).

Actualmente, uno de los diseños más comercializados es el FlowHive. Casi todo el modelo está compuesto de madera (ya sea de cedro, paulownia o araucaria) y lo innovador es que fueron introducidos ventanas de observación, una tapa de llave y una barra de acero para acceder a la miel cuando se desee, un canal para el paso de la miel y un espacio para recogerla mientras gotea fuera. El objetivo es que la cosecha de miel y la apicultura sean trabajados en una manera más gentil, regenerativa, ética y sostenible y al mismo tiempo educar sobre su importancia. Dentro de su manual de instrucciones se incluyeron detalles sobre las precauciones a tomar, el ensamble, procesamiento y almacenamiento, monitores de la salud, entre otros. Se resalta el valor que tiene usar un traje de protección y guantes, así como evitar las ranuras innecesarias para que las abejas no escapen. No obstante, no deben ser olvidados un debido monitoreo y un manejo de plagas, enfermedades y control de enjambres (Flow, s.f.).

En lo que respecta a Guatemala, uno de los principales productores y exportadores de miel a nivel centroamericano, el impacto en el país aún no es muy significativo, pero sin dudas ha ganado reconocimiento gradualmente. Actualmente, hay emprendedores que en un futuro cercano esperan que las colonias de abejas se extiendan. Adicionalmente, los productores mencionan que la floración del país es la mejor oportunidad de trabajar para conseguir miel, a pesar de ello, el cambio climático y la insuficiencia de colmenas son factores que detienen la producción y repercuten en las abejas (Prensa Libre, 2018). Si bien, la apicultura aún no es muy común, existen iniciativas como “Bee Hub Guate” que buscan fomentar la actividad responsable, orgánica y natural además de promover un proyecto que apoya a colmenas rescatadas. Con esto, se trata de estabilizar poblaciones que se trasladan de un lugar a otro, sin destino, pues tienden a establecerse en ubicaciones muy habitadas que, a la larga, no les conviene (A., 2019). Al día de hoy, ha aumentado la demanda de los países por la apicultura. Como se ha observado, cada vez hay más estudios relacionados a cómo disminuir los esfuerzos de las

abejas, facilitar el trabajo del apicultor, o bien, ambos. Es por esto que han surgido diferentes maneras de acercarse con un boceto o una propuesta que incorpore estos métodos con el propósito de favorecer estas actividades tan necesarias.

La disminución de polinizadores como lo son las abejas ha incrementado en los últimos años como consecuencia de la intervención humana. Las pérdidas de hábitat junto con el cambio climático han contribuido a la extinción de estos seres. De acuerdo a la ONUAA en su artículo «Why bees matter?», se mencionó que las abejas colaboran de tal manera que se ha obtenido de ellas una diversidad de alimentos con nutrientes y ecosistemas. No solamente de forma individual para cada ser humano, sino que la producción mundial de cultivos se debe mayormente a estos organismos. Si bien, se llegara al punto de una disminución drástica de la población, se tendría que recurrir a un caso similar e indeseable como el de China quien ha tenido que trabajar la polinización a mano. Una gran cantidad de sus territorios se ha vuelto inhabitable para polinizadores y esta fue una de las maneras para suplir la demanda de alimentos (Ya *et. al*, 2012). La polinización que se lleva a cabo es clave para mantener la reproducción de varias especies de plantas, incluyendo los cultivos. Esta tiene una relación con el bienestar del humano pues mantiene un ecosistema saludable y funcional, ayuda con la reproducción de flora y sustenta la seguridad de cultivos (Potts *et. al*, 2016). Sin embargo, debido a que se encuentran en peligro de extinción, es necesario ofrecerles un nuevo espacio amigable en medio de la urbanización de la ciudad en el que no estén expuestas a pesticidas o pérdidas de hábitat. Así como menciona Batra (1994), las abejas nativas no manejadas son importantes como polinizadores de cultivos y plantas silvestres, y el interés en mantener la biodiversidad ha crecido considerablemente, “la conciencia general sobre la diversidad de las especies de abejas y el conocimiento público de su valor para los ecosistemas está aumentando”. Por esto que, por medio del diseño y la construcción de la colmena para viviendas, estos organismos lograrán desarrollar una de sus mayores contribuciones que es la de polinizar. Con esto, se evitará que se eliminen los panales de las casas y a la vez, tendrá la función de educar a las familias usuarias sobre la importancia de las abejas en el ecosistema. El proyecto plantea una nueva alternativa a la expansión de la población y viviendas que significa una disminución en el hábitat de muchas especies. Al proveerles un sitio para que puedan seguir contribuyendo de manera tranquila, se podría mantener una diversidad de especies que coexistirían con el humano y aportarían en su día a día.



### **4.1. Objetivo general**

Diseñar y construir una caja de colmena de abejas sin aguijón, de la tribu Meliponini, con el fin de ser empleadas en viviendas.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Establecer los parámetros que permitan un espacio adecuado para que las abejas lo habiten.
- Determinar un proceso de manufactura en donde se utilicen herramientas de mano.
- Fabricar un prototipo que permita examinar el comportamiento de las abejas dentro de la colmena a través de ensayos (que incluyen abandono de la colmena, presencia de parásitos, elaboración de miel, temperatura y humedad) realizados en una vivienda.
- Simplificar el proceso de extracción de miel de la colmena.
- Reestructurar el diseño basado en su rendimiento durante las pruebas para construir un modelo final de la caja de colmena.



## 5.1. Abejas

### 5.1.1. Descripción general

Una de las tareas más importantes de las abejas no es solamente producir miel. Su valor radica en asegurar principalmente la producción de cultivos en el campo. Las abejas son insectos que vuelan de flor en flor para conseguir néctar, pero al mismo tiempo que realizan esto, en sus patas se queda estancada una pequeña cantidad de polen. Durante el viaje, este polen es trasladado entre las flores que visitan y esta acción es conocida como polinización. Tales su impacto que, sin ellas, nuestras dietas sufrirían de manera que habría una variedad de alimentos mucho menor y otros productos simplemente tendrían que subir de precio para suplir lo que ya no hay. Dentro de la amplia diversidad de abejas, en este caso, se enfocará en las abejas de miel, pertenecientes al orden *Hymenoptera*, ya que de ellas se tratará el estudio. Ellas viven en grandes grupos llamados colonias de familiares y siendo unos insectos de carácter social (generalmente la mayoría), todos los miembros tienen un rol específico para completar su ciclo de vida en la colonia. Naturalmente, construyen los panales en espacios como árboles huecos o cuevas pequeñas.

Dentro de la colonia, existen tres tipos de abejas: la abeja reina, las obreras y los drones. Una colonia se considera saludable cuando hay aproximadamente 50 mil a 60 mil obreras, mil drones o zánganos y una reina. Según la Universidad Tecnológica de Virginia, las funciones de cada uno son los siguientes:

Cuadro 1: Tipos de abejas

Tipo	Características	Función
<b>Reina</b>	Tiene ovarios desarrollados y no posee glándulas ni canastas de polen en las patas. Es alimentada por las obreras y usualmente son reemplazadas por apicultores cadados años o por las mismas abejas cuando deja de producir huevos.	Producción de huevos fertilizados (los que se convierten en obreras) y no fertilizados, regulación de la colonia secretando feromonas para mantener el orden y preparación de un enjambre para la temporada de apareamiento.
<b>Obrera</b>	Contiene canastas de polen en las patas y glándulas para producir esencias, cera y comida para larvas. Sus mandíbulas están diseñadas para manipular la colmena. También son las encargadas de la polinización.	Construcción de panal, cuidado de crías, producción de cera, transformación de néctar en miel, protección y limpieza de la colonia, acondicionamiento de aire, cuidado de la reina y alimentación a larvas dentro de las celdas.
<b>Dron</b>	Son producidos únicamente durante el verano y primavera, no viven dentro de la colmena, se alimentan de la miel en las celdas y mueren cuando terminan de aparearse.	Apareamiento con la reina.

Fuente: Universidad Tecnológica de Virginia, 2009

### 5.1.2. Actividad dentro de la colmena

Según un estudio de Entomología y Zoología realizado por Abou-Shaara, 2015, se deben trabajar en ciertas condiciones para que una colmena de abejas pueda iniciar su función. Primero, las abejas reina no son capaces de construir por sí solas una colmena debido a la ausencia de glándulas de cera ni tampoco un panal de cera pues se requiere de mucha energía para formar las celdas hexagonales (por cada 3.8 kg de miel, se producen solamente 0.453 kg de cera). Segundo, la abeja reina no puede alimentarse de jalea real ni del néctar directamente. Tercero, como la lengua de la abeja reina es demasiado pequeña para recolectar néctar, no tiene la habilidad de alimentar a las crías. Cuarto, las abejas melíferas no son capaces de conseguir alimento cuando emergen de las celdas directamente. Por último, la abeja reina no puede cuidar de los huevos hasta que hayan sido incubados, así como criarlos debido al período de incubación (que debe suceder en un rango de temperatura de 33 a 36°C y una humedad relativa arriba del 75 %) por lo que no podrá proveer a la colmena si el ambiente no se encuentra dentro del rango.

Al cumplirse esas limitaciones, lo que procede para la colmena es un enjambre (*swarming*). Conocer el mecanismo de reproducción es esencial para comprender su biología. Según Feffermany Starks, 2006, el único propósito de causar un enjambre es hacer que la colmena alcance la estabilidad, el punto donde la reina pone huevos en su máxima tasa. Con esto, algunas de las abejas obreras se mueven dentro de la colonia, ya sea con abejas reinas vírgenes o apareadas, a un nuevo lugar. Desde ese punto, las obreras trabajan desde cero para volver a construir una nueva colmena en donde las únicas tareas

de la abeja reina es la de poner huevos y controlar las feromonas. Así, cada enjambre conlleva a una nueva colmena. Sin reproducirse de esta forma, las abejas no podrían sobrevivir por un largo tiempo y, por lo tanto, no podrían almacenar miel debido al corto periodo de vida (Hossamy Abou-Shaara, 2015). Dentro de la colmena, es usual observar a las obreras trabajando en ella y conservándola comida en las celdas. Como materiales de construcción, se utilizan propóleos, polen, aguay néctar las cuales obtienen directamente de las plantas.

### **5.13. Clasificación**

En el libro *Bees and their role in forest livelihoods*, hay pocas especies de abejas productoras de miel en el mundo, en varios libros de apicultura se establece que estas son cuatro: *Apis mellifera*, *Apis cerana*, *Apis florea* y *Apis dorsata*. Aunque también se emplea otro tipo de abejas cuyas características especiales son que no tienen aguijón y son menos agresivas, las de la tribu Meliponini. El comportamiento al anidar (panales paralelos o en un solo panal) de las abejas es lo que define si soportarán vivir en colmenas artificiales (Bradbear, 2009). No obstante, una de las más utilizadas en la producción de miel y polinización es la abeja *Apis mellifera*.

### **5.14. Distribución en Guatemala**

Se determinó que, dentro de las especies mencionadas, en Guatemala se trabajan con los meliponinos nativos (conocidos también como las meliponas) y hay reportadas hasta el día, 33 especies distribuidas mayormente en áreas cálidas y húmedas (Escobedo y col., 2017). Estas meliponas que provienen de la misma familia que las *Apis*, Apidae, también se desarrollan en bosques de tierras bajas y son capaces de adaptarse a las condiciones climáticas de los trópicos.

Figura 1: Diversidad y distribución de meliponinos para Guatemala

	Especie	Distribución	Rango Altitudinal msnm
1	<i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)	AV, CHIQ, SR	0-1500
2	<i>Dolichotrigona schultzei</i> (Friese, 1900)	AV, QUE, REU, SM	0-1500
3	<i>Friesoemellita nigra</i> (Cresson, 1878)	PR	0-500
4	<i>Geotrigona acapulconis</i> (Strand, 1919)	G, SR	1000-1500
5	<i>Lestrimellita nitikib</i> Ayala, 1999	AV, G, PR	0-2000
6	<i>Melipona beecheyi</i> Bennett, 1831	AV, BV, CHIQ, QUI, PE, ESC, G, I, JUT, REU, SR, SOL	0-2000
7	<i>M. solani</i> Cockerell, 1912	AV, I, QUI, PE, HUE, QUE, REU, SM	0-1500
8	<i>M. yucatanica</i> Camargo, Moure & Roubik, 1988	HUE, JUT, SAC, SR	500-1000
9	<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	AV, BV, PE, G, I, JUT, SR, ZAC	0-2000
10	<i>Oxytrigona mediorufa</i> (Cockerell, 1913)	CHIM, I, QUE, SUCH	500-1500
11	<i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)	AV, SR	0-1500
12	<i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)	AV, BV, CHI, G, HUE, I, JUT, JAL, QUE, QUI, REU, SAC, SM, SOL, SUCH	0-2500
13	<i>P. orizabaensis</i> (Strand, 1919)	AV, CHIQ, QUI, QUE, REU, SM, SOL, SUCH	0-2500
14	<i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)	CHI, PE, I, ZAC	0-1500
15	<i>P. fulvopilosa</i> Ayala, 1999	CHI	1500-2000
16	<i>P. jattiformis</i> (Cockerell, 1912)	AV, G, SR	0-2000
17	<i>P. llorentei</i> Ayala, 1999	AV	0-500
18	<i>P. melanica</i> Ayala, 1999	BV, CHIQ, QUI	1500-2000
19	<i>P. moureana</i> Ayala, 1999	AV, JUT, SM	0-1000
20	<i>P. parkeri</i> Ayala, 1999	AV, G, QUE, SM, SR	0-1500
21	<i>P. pulchra</i> Ayala, 1999	AV, QUI, SR	0-1500
22	<i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin-Ménéville, 1844)	AV, CHIM, QUI, QUE, REU	0-2000
23	<i>S. pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	QUI, REU, SM, SR	0-1500
24	<i>Scaura argyrea</i> (Cockerell, 1912)	AV, PE	0-1000
25	<i>Tetragona mayarum</i> (Cockerell, 1912)	CHI, I	0-1000
26	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	CHIM, SUCH, QUE, REU, PR, G, JUT, I, CHIQ, AV	0-2000
27	<i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913	AV, BV, CHIQ, PR, JUT, I, SUCH, SR, ZAC	0-2000
28	<i>T. fulviventris</i> Guérin-Ménéville, 1844	AV, CHIQ, PE, PR, QUI, G, I, JUT, QUE, SAC, SM, SR, SOL, SUCH, ZAC,	0-2000
29	<i>T. fuscipennis</i> Friese, 1900	AV, CHIM, PR, I, JUT, SUCH	0-1500
30	<i>T. nigerrima</i> Cresson, 1878	AV, PE, QUE, SR, SOL, SUCH	0-2500
31	<i>T. silvestriana</i> (Vachal, 1908)	AV, I	0-1000
32	<i>Trigonisca maya</i> Ayala, 1999	PR	0-500
33	<i>T. pipioli</i> Ayala, 1999	BV, CHIQ	500-2500

AV Alta Verapaz, BV Baja Verapaz, CHIQ Chiquimula, CHIM Chimaltenango, ESC Escuintla, G Guatemala, HUE Huehuetenango, I Izabal, JAL Jalapa, JUT Jutiapa, PR El Progreso, PE Petén, QUE Quetzaltenango, QUI Quiché, RE Retalhuleu, SAC Sacatepéquez, SM San Marcos, SR Santa Rosa, SUCH Suchitepéquez, SOL Sololá, ZAC Zacapa (Yurrita & Vásquez, 2013)

Fuente: Escobedo *et. al.*, 2017

## 5.2. Apicultura

A causa del aumento de interés sobre las abejas surge la apicultura, que, según la RAE, son las técnicas y conocimientos relativos a la cría de abejas. Se debe proveer un ambiente de apoyo en el que puedan seguir proveyendo sus servicios naturalmente y a raíz de esa necesidad, se han construido colmenas artificiales. Estas prácticas iniciaron como un intento de domesticar abejas salvajes ofreciéndoles colmenas de troncos viejos, cajas simples de madera o vasijas de cerámica y paja (Rakesh *et. al.*, 2014). No fue hasta mediados del siglo 18 que se establecieron las primeras colmenas modernas que hoy en día se siguen utilizando. El Centro Técnico de Cooperación Agrícola y Rural de Uganda (2011) ha establecido que los beneficios de la apicultura incluyen un aumento de cultivos y obtención de productos derivados de la colección de miel, cera, propóleos y polen.

### 5.2.1. Colmenas modernas

1. **Horizontales.** Como su nombre lo indica, esta colmena horizontal es una de las más antiguas y utilizadas. Estas consisten en barras individuales colocadas a lo largo de la cavidad de la colmena horizontal. Las abejas construyen el panal para abajo y conforme se expanden, se retira el divisor y se colocan más alzas. En esta colmena, las abejas tienden a construir sobre las paredes internas por lo que se requiere de una herramienta complementaria para sacar las barras. Sin embargo, debido a la simplicidad, se utiliza menos equipo que en las colmenas verticales. En este caso, no son fundamentales alzas de miel, marcos adicionales, bases, excluidores de reina y extractores (Bee Built, s.f.).

Debido a su configuración, entre las principales ventajas que ofrece son: una rápida inspección de una colmena liviana ya que las verticales pueden llegar a pesar hasta 50 libras cada división; producción mayor de cera y miel; más económico y fácil de usar; entre otros. Por otro lado, existe desventajas que no pueden ignorarse, siendo estas: altos cuidados de la colmena cuando se está empezando y la extracción de miel solo puede conseguirse destruyendo los panales por lo que las abejas tienen que construir de nuevo (esto implica energía y tiempo para ellas) (Adjare, 1990).

2. **Langstroth.** Siendo una de las colmenas más utilizadas, desde su creación en 1851, ha revolucionado la apicultura. Desde las colmenas hechas de barro que aparecieron hace siglos hasta las artificiales de hoy en día, estas compartían una característica, su estructura era fija. Esto dificultaba al apicultor para detectar enfermedades o algún otro problema. Basado en estos inconvenientes, Langstroth concluyó que las abejas necesitaban de un espacio de aire de al menos 1 cm. pues, de no ser así, las abejas rellenaban el espacio con propóleos. Con estecambio que consistía en marcos suspendidos de la caja superior y separados por 1 cm. ya no existía la necesidad por parte de las abejas de rellenar los espacios y la del apicultor de separar marcos pegados con propóleos (Stamp, 2013).
3. **Flow Hive.** Actualmente, existen otros emprendimientos en el cual modificaron la colmena Langstroth para definir un nuevo método de extracción de miel. El *Flow Hive* es una colmena artificial de pino o cedro manufacturada en Australia. Sin embargo, tiene una diferencia que la hace resaltar y es la de los marcos de plástico. Estas contienen divisiones interiores que hacen que las celdas se separen para que la miel

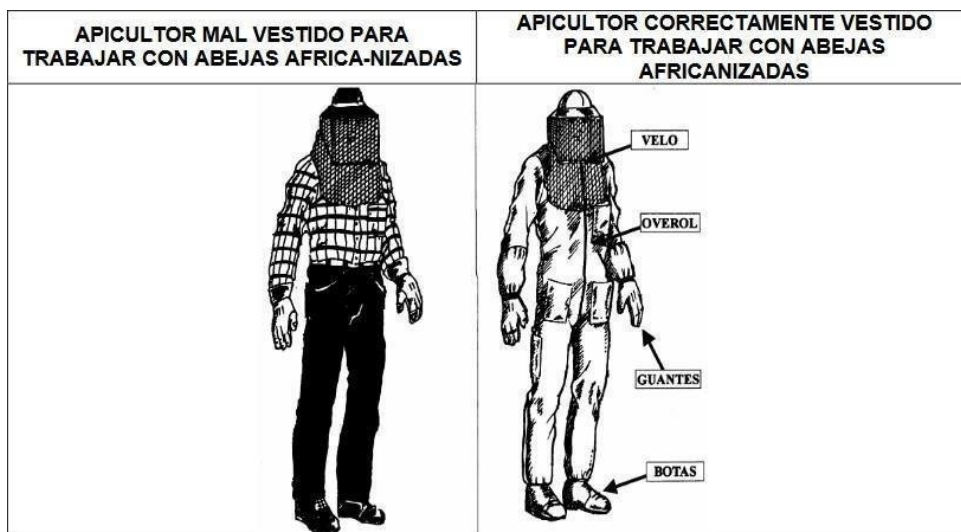
caiga. Con esta ventaja, se evita dañar a las abejas pues en el proceso convencional, los marcos removidos manualmente tienen que volver a colocarse en las cajas y, por ende, algunas abejas terminan siendo aplastadas. Esta colmena también ofrece menos intervención por parte del usuario comparado al trabajo que realiza un apicultor y ha logrado introducir una nueva manera de trabajar en el área de la apicultura.

### 5.2.2. Equipo de protección y manejos

Este equipo utilizado por un apicultor es necesario, sobre todo cuando las abejas tienen un comportamiento defensivo o posee aguijón, como las africanizadas. Para evitar estos ataques al manejar las colmenas, de acuerdo con el PNCAA, 1990 Manual básico de apícola (s.f.), esto consiste en:

- **Velo:** protege la cabeza y la cara. Consta de una malla mosquitera negra que permite ver contra el reflejo del sol y el resto consiste en una trama de hilo cáñamo o manta con una careta que permite pegar este velo al cuerpo.
- **Overol:** es una combinación entre un pantalón y una camisa de color blanco ya que otros colores pueden molestar a las abejas. Está hecha de algodón pues otros materiales como la lana o cuero tienen olores que irritan a las abejas. Por esta razón, es importante lavarlo frecuentemente y guardarse doblado o colgado en un lugar seco.
- **Guantes:** protegen las manos y están hechos de cuero liso y suave. También deben lavarse y guardarse en un lugar seco.
- **Botas o zapatos altos:** protege los pies de picaduras.

Figura 2: Vestimenta de un apicultor



Fuente: Shanahan & Guzmán, 2017

Asimismo, existen herramientas necesarias que facilitan el cuidado y manejo de las colmenas, las cuales son:

1. **Ahumador:** produce humo para controlar a las abejas. Para este, se pueden utilizar combustibles o bien, quemando olotes secos, astillas de madera, pedazos de cartón, entre otros. No se deben quemar materiales con olor fuerte como pino, plástico hule ni usar gasolina o diésel para encenderlo.
2. **Espátula o cuña:** es una pieza de acero con un extremo afilado utilizada para separarlas partes de la colmena que hayan sido pegadas con propóleos. El otro extremo sirve para raspar la cera de las paredes.

### 5.3. Meliponicultura

La crianza de las abejas sin aguijón inició aproximadamente en la época maya, quienes utilizaban su miel, polen y cera para sus actividades destinadas a la nutrición, medicina, comercio y religión. Sin embargo, desde la introducción de las abejas *Apis mellifera* en el campo de la apicultura, los campesinos mayas comenzaron a abandonar la meliponicultura. A esto debe agregársele que es causado por otros factores como la deforestación, destrucción de su hábitat y desconocimiento del manejo de las mismas (Pat y col., 2016).

Esta subfamilia, Meliponae, se conforma por dos tribus: Meliponini (quien posee solo un género, Melipona) y Trigonini (quien tiene más de 50 géneros y subgéneros). Se estima que entre el 30 % y 40 % de las especies vegetales en el trópico son visitadas por estas abejas (González y Quezada, s.f.). Las abejas sin aguijón generalmente construyen el nido en troncos o ramas huecas y su enjambrazón (reproducción) se da a cabo gradualmente, a diferenciade las *Apis mellifera*. Además, viven en colonias permanentes con una sola reina y tienen una mayor dificultad para termoregularse y por esta razón, se utilizan cajas más pequeñas para su cuidado y manejo.

A pesar de que este género no posee aguijón, han encontrado otras maneras para defenderse. El uso que se les da principalmente a este tipo de abejas es del tipo medicinal, pues la miel que producen tiene un alto valor de elementos que benefician a la salud humana. Su miel se ha empleado para tratar desde infecciones (ojos, piel, oídos, entre otros) hasta problemas respiratorios. A pesar de que ha tenido usos desde tiempo atrás por campesinos, existe poca información que respalde sus propiedades. De igual manera, esto representa una fuente de ingresos para varios de los meliponicultores y por ello es que las abejas de la tribu Meliponini y Trigonini tienen un alto valor entre la comunidad.

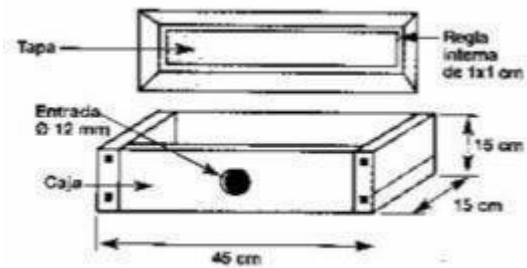
#### 5.3.1. Cajas tecnificadas

Se trabajan como una alternativa a los troncos o huecos de donde colocan las colmenas originalmente. Esta caja tiene el objetivo de facilitar su manejo, pero no permiten mucha visibilidad interna para poder revisarlas y detectar ataques. Esto las hace más delicadas para manipularlas sin hacerles daño, muchas veces terminan abandonando las cajas. Es muy importante tomar en cuenta la estructura del nido ya que mucha variación en el mismo podría hacer que no se adapten al nuevo espacio.

El uso de cajas tecnificadas para manejar abejas sin aguijón inició con el fin de monitorear el desarrollo de la colmena, evitar la entrada de plagas, agilizar la cosecha de miel y subproductos, así como facilitar la división de esta. En el *Manual de apicultura* (2006), se detallan los siguientes tipos:

- **Sencilla:** caja sencilla de 45x15x15 cm para Meliponas o de 20x15x15 cm para Trigonas.

Figura 3: Caja sencilla



Fuente: USAC, 2006

- **Araujo:** caja vertical con espacio para cámara de cría. Permite el uso de dos o más alzas para almacenar polen y miel. Las medidas dependen de la especie de abeja.

Figura 4: Caja tecnificada tipo Araujo



Fuente: USAC, 2006

- **Tecnología intermedia:** caja tecnificada básica, pero con bisagras en las paredes delanteras y traseras para facilitar la visibilidad y revisión de las colonias.

Figura 5: Caja de tecnología intermedia



Fuente: USAC, 2006

- **UTOB:** diseñada en 1999, posee tres espacios desprendibles (dos para la cámara de cría y un espacio para potes de alimento y polen).

Figura 6: Caja tecnificada UTOB



Fuente: USAC, 2006

### 5.3.2. Equipo y materiales

A comparación de las colmenas de abejas *Apis mellifera*, durante su manipulación se requiere de un equipo más simple y económico ya que las abejas sin aguijón tienen un comportamiento más social y amigable. La lista de equipo se encuentra a continuación:

- **Espátula:** para manipular las cajas y panales, con ella también se puede abrir las cajas en casode que las abejas sellen las intersecciones con propóleos.
- **Cinta adhesiva o plastilina:** a fin de sellar los espacios libres entre las partes.
- **Jeringa:** para succionar la miel de los potes.

### 5.3.3. Trasiego

Con trasiego se refiere al traslado de una colmena natural a una colmena moderna (las que cuentan con partes móviles como lo son el alza, cuadros, piquera, entre otros componentes), asegurándose de traspasar la mayor cantidad posible de abejas, crías, potes y subproductos como la cera o propóleos. Para este proceso, existen algunos métodos como el de tronco modificado o trasiego completo, cada uno detallado en una serie de pasos en el manual de meliponicultura básica (Shanahan & Guzmán, 2017). En el primer caso, se abre el tronco donde se encuentra la colmena, se le coloca encima una caja de madera y se usa el mismo tronco como base de la cámara de crías mientras que en el segundo, se extrae el nido y se pasa a una caja tecnificada. Ambos son procesos delicados y requieren de mucha paciencia por lo que es muy recomendable que el traslado lo realice alguien con experiencia en el campo de la meliponicultura.

### 5.3.4. Métodos de cuidado y fortalecimiento

Shanahan y Guzmán, 2017 recomienda revisiones periódicas semanales o cada 15 días, en climas no muy fríos para que el clima no perjudique el interior de la colmena al abrirla. Tomando esto en cuenta, también se debe observar:

1. **Cantidad de panales.** En caso de que haya pocos, se puede reforzar con panales maduros.
2. **Cantidad de potes de miel y polen.** Si no hay suficientes, puede dárseles alimentación extra con jarabe o miel.
3. **Exceso de propóleos.** Retirar excedentes en época de abundancia para promover la construcción de reservas de alimento.

En cuanto al control de plagas, se propone que cada 15 días se quiten las telarañas además de colocar una trampa tanto para hormigas (aceite). Asimismo, para el caso de los fóridos debe colocarse una botella con vinagre (cuya abertura tenga un embudo de 3mm para que entren las moscas, pero no las abejas) y es recomendable ubicar el meliponario apartado de materia orgánica en descomposición (Enríquez y col., 2006).

Puede suceder que, si se realiza un traslado en tiempos de escasez de néctar, sea difícil para las abejas mantener la tasa de construcción de celdas y las crías al mismo tiempo. Las colmenas débiles pueden sufrir hambre y terminar comiéndose a las crías lo cual indica que les falta proteína. Para ello, es recomendable colocarles una alimentación artificial a través de una jeringa (mezcla de agua azucarada 1:1 o miel de abeja melífera), tapando un lado y colocando un algodón en el agujero más grande. Hay que cambiar la mezcla en la jeringa al menos una vez a la semana para no atraer invasores o plagas (Enríquez y col., 2006).

## **5.4. Producción y extracción de miel**

La miel es una sustancia natural producida por las abejas del néctar que recolectan de una o varias flores. Utilizando sus glándulas, la transforman combinándolo con algunas sustancias que ellas producen, la almacenan y sellan dentro de las celdas y esperan a que madure. Se clasifica según el origen botánico, procedimiento de cosecha, presentación, o forma de producción (MAGA, s.f.).

Adhikari, 2010 presentó el proceso de la producción de miel en su artículo «Processing, Packaging and Storage of Honey», el producirla puede variar de acuerdo al tipo de colmena. En cuanto a las cajas tecnificadas, los pasos incluyen el manejo, sacudimiento con cepillo de las abejas de los marcos, desplazamiento y extracción. Durante la extracción se logran obtener 2/3 del volumen total de miel madura obtenido de marcos mantenidos a una temperatura cálida (no mayor a 30°C) para conseguirla de manera más fácil porque de otra forma, el panal obtendría una textura más suave y, por ende, es más propensa a romperse. Luego, con la ayuda de un cuchillo eléctrico caliente se remueve la capa sellada y se coloca el marco en un extractor de miel que consiste en una máquina centrífuga de una o dos rotaciones. El procesamiento consiste en un calentamiento indirecto en donde se pasteuriza a 63° C durante 5 a 6 minutos. Si se utiliza una temperatura más alta, la calidad se ve comprometida pues podrían perderse algunos nutrientes en el proceso. Otro método es exponer la miel al sol directamente por 30 minutos. Cuando se coloca dentro de envases para su conservación, se sedimentan los minerales sólidos junto con la cera y otras partículas, que es lo que se logra observar en la superficie. Este efecto se evita colando la miel mientras se extrae del extractor.

De acuerdo con la página oficial de Flow Hive, su manera innovadora de extraer miel, sin interactuar con los marcos ni ponerse el traje de protección, consiste de la siguiente forma: la caja Langstroth contiene de 8 a 10 marcos (cantidad estándar). Estos marcos están hechos de celdas de plástico a un ángulo de 10° aproximadamente, que rellenan las abejas y sellan como lo hacen normalmente. Con ayuda de una llave, las celdas se desplazan entre sí liberando un espacio para que la miel fluya entre ellas.

#### 5.4.1. Instalación

Los factores que se deben tomar en cuenta al instalar un apiario o meliponario giran alrededor de la comodidad de las abejas y la conveniencia del apicultor. Basado en el Manual de buenas prácticas apícolas, estos cuidados pueden dividirse en áreas de asentamiento, fuentes de agua y orientación de las colmenas (MAGA, 2009). De igual manera, en el Manual de meliponicultura se mencionan los siguientes aspectos (USAC, 2006).

##### 1. Áreas de asentamiento

- a) Se deben colocar las colmenas en un lugar con sol, sombra y ventilación balanceados a una distancia mínima de 3 km de focos de contaminación (centros industriales y basureros).
- b) La zona debe estar libre de plaguicidas, herbicidas y químicos derivados del petróleo.
- c) Las colmenas deben colocarse al menos a 15 cm. Sobre el suelo utilizando soportes o bancos para alejarlas de ataques de hormigas o exceso de humedad de lluvia. La distancia mínima entre colmenas es de 1 metro, en caso se tuvieran varias a la disposición.

##### 2. Fuentes de agua y alimentación

- a) Es preferible que se coloquen en lugares con fuentes de agua natural.
- b) En caso contrario, debe haber una fuente a 1 km. Como mínimo y esta debe estar libre de residuos tóxicos y metales pesados.
- c) Los bebederos deben contener agua potable y ser recipientes no contaminantes. Si se utilizaran depósitos de metal, deben ser recubiertos con pintura epóxica o resina fenólica para no contaminar el agua. Se puede usar cera de abeja para recubrir las superficies de los depósitos.
- d) Elegir un sitio con suficiente vegetación al que puedan acceder para su néctar y polen.

##### 3. Orientación

- a) Se deben colocar con piqueras resguardadas de vientos fuertes. Esto ayuda a regularla temperatura y humedad, y facilita la limpieza interna.
- b) Posicionarlas al sur (por la salida del sol), en el caso de Guatemala, para que las obreras puedan pecorear por un tiempo más largo.

#### 5.4.2. Situación en Guatemala

Actualmente, hay al menos 2,500 productores distribuidos en 30 organizaciones de apicultores y aproximadamente 21 centros de acopio para apicultores. En donde se concentra la mayor producción es en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Huehuetenango, Petén y Santa Rosa (Rodas, 2011). Asimismo, en el país, la crianza de abejas nativas sin aguijón radica mayormente en los pueblos indígenas de Mesoamérica. Los meliponicultores conocen ampliamente las especies de abejas nativas sin aguijón, así como su etología y ecología. La especie de mayor interés comercial es la *Melipona beecheii* pues produce mayores cantidades de miel. A pesar de que es la más empleada, tiene la diferencia de producir miel

cotizada a un precio hasta tres veces más que la miel derivada de la *Apis mellifera* debido a que se le atribuye varias propiedades nutritivas y medicinales (Escobedo y col., 2017).



#### 6.1. Descripción de la metodología

Para construir el prototipo de la colmena se realizó una investigación sobre las colmenas existentes y la información necesaria para comprender qué es lo que necesitan las abejas como las condiciones de termorregulación, por ejemplo. Además, se indagó en el tipo de material que las mismas aceptaban para luego seleccionar el más económico y accesible, siendo este la madera. Tomando los datos necesarios, se procedió a iniciar con el diseño de una colmena que facilitara el proceso de recolección de miel y permitiera interactuar con las abejas sin un equipo de seguridad. Este diseño se elaboró para abejas *Apis Mellifera*, las cuales no cumplían con uno de los requisitos por lo que se optó por modificar el tipo de colmena. En consecuencia, se seleccionó a las abejas de la tribu Meliponini debido a que son una especie que se comporta de una manera más amigable para su manejo. Se averiguó qué tipo colmenas utilizaban estas abejas, se realizó un bosquejo de una caja tecnificada para después analizarlo como un modelo 3D a través de un análisis térmico. Adicionalmente, se trabajó en un procedimiento de prueba y monitoreo (cuadro 2 y 3, respectivamente) para ser utilizados durante las pruebas y así controlar tanto el trasiego como la adaptación de las abejas al lugar.

## 6.2. Requisitos

En los cuadros 2, 3 y 4 se presentan los requisitos establecidos para el diseño y construcción de la caja de colmena.

Cuadro 2: Restricciones del prototipo

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
RT01	Ser construida con materiales de construcción obtenidos de proveedores locales.
RT02	Estar construido de un material compatible con las abejas.
RT03	Ser ensamblado en menos de 15 minutos por una persona.
RT04	La caja tecnificada debe tener una masa máxima de 5 kg.
RT05	La construcción de la caja de madera debe ser realizada mediante herramientas de mano.
RT06	La instalación en el patio de la vivienda no debe requerir de herramientas.
RT07	Garantizar un volumen no mayor a 0.05 m <sup>3</sup> debido a la dificultad de las abejas para termorregular.

Cuadro 3: Requisitos de funcionalidad del prototipo

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
FN01	Mantener una temperatura interior dentro de un rango de 25 a 32° C.
FN02	Mantener una humedad relativa interior dentro de un rango de 50 a 70 %.
FN03	Utilizar sensores que recolecten datos de la temperatura y humedad en tiempo real.
FN04	Asegurar que no se debe utilizar un equipo de seguridad.
FN05	Ofrecer libertad de no utilizar un ahumador ni espátula.
FN06	Poder ser montado en el suelo o en la pared.
FN07	Poseer una base de madera en caso de ser montado en el suelo.
FN08	Poder ser mantenido por personas sin experiencia en apicultura.

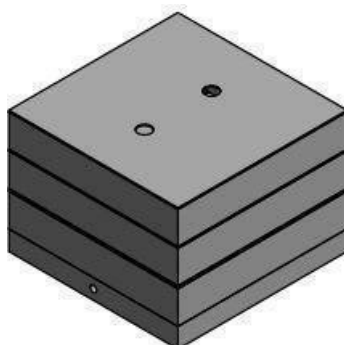
Cuadro 4: Requisitos de rendimiento

Código	Descripción
RN01	Contar con un techo para resguardarse de la lluvia.
RN02	Tener una elevación del suelo para resguardarse de la humedad.
RN03	Proveer una fuente adicional de alimento a base de agua y azúcar para las épocas de poca floración.
RN04	Contar con una trampa en la entrada en caso de que se presenten invasores.
RN05	Extraer la miel debe limitarse a utensilios de supermercado o farmacias (tomando como ejemplo, una jeringa o pipeta).

### 6.3. Diseños preliminares

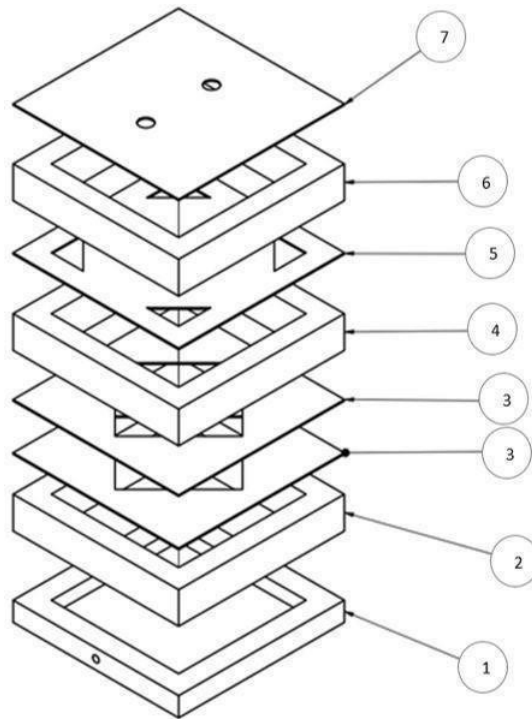
Se había iniciado el diseño de una colmena para abejas *Apis Mellifera*, sin embargo, estas no cumplían con algunos de los requisitos ya que son más agresivas y su manejo requería de un traje de seguridad. Por esta razón, se eligió trabajar con una especie de abejas con las que se lograran cumplir con los requerimientos del proyecto. Se seleccionó para la estructura la madera de pino debido a su asequibilidad y precio además de que es uno de los materiales más compatibles con las meliponas y abejas domesticadas en general. En esta primera iteración, lo que se buscó fue introducir un nuevo material dentro de la caja de colmena. De manera que, se eligió el acrílico pues su transparencia permitía observar lo que sucedía adentro sin intervenir directamente. Además, el acrílico es inoloro, un factor esencial debido a que las abejas pueden detectarlo y no adaptarse al nuevo ambiente. Esto facilitaría algunas tareas del apicultor pues como han mencionado algunos, con las cajas convencionales aún se les hacía difícil monitorear el interior. Se puede observar en las cajas mostradas en el capítulo anterior que, solo abriéndolas es posible revisar el estado de la colmena. Para esta ocasión, la caja fue diseñada con el fin de tener medidas internas de 26x26 cm, grosor de pared de 3cm y una altura total de 13 cm aproximadamente.

Figura 7: Meliponario diseñado



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Explosión del meliponario



En donde: las divisiones (3), (5) y (7) se fabricarían en acrílico

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8, cada uno de los números corresponde a las siguientes partes:

1. Base interior
2. Nido
3. Divisiones del nido y sobrenido
4. Sobrenido
5. División del melario
6. Melario
7. División del techo

## 6.4. Cálculo y diseños

Una caja tecnificada debe poder mantener una temperatura interior en el rango de 27 a 32° C, efecto que proviene de la termorregulación de las abejas. A partir del diseño preliminar, para realizar su análisis térmico, se consideraron varios factores. Inicialmente, se establecieron las propiedades de los materiales que conforman a la colmena: madera y acrílico. Para esto, se utilizaron solamente la conductividad térmica, densidad y calor específico, tomando en cuenta que la madera es un material no uniforme donde depende ampliamente de la humedad y la dirección los esfuerzos, yasea cortantes o de tensión paralelos a la dirección de las fibras, por ejemplo. Así, las propiedades utilizadas para esta ocasión fueron las siguientes:

### 1. Propiedades de la madera de pino

- Conductividad térmica: 0.25 W/mK (Hankalin y col., s.f.)
- Densidad: 350 kg/m<sup>3</sup> (Matweb, s.f.)
- Calor específico: 563.5 J/kgK (Zhang y col., 2017)

### 2. Propiedades del acrílico

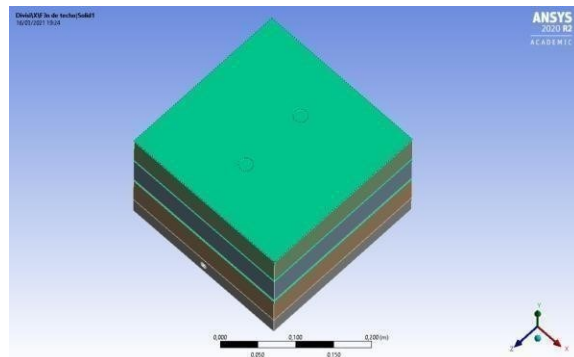
- Conductividad térmica: 0.19 W/mK
- Densidad: 1180 kg/m<sup>3</sup> (Omnexus, s.f.)
- Calor específico: 1465.4 J/kgK (AcrilicosOnline, s.f.)

Ansys es un software de elementos finitos utilizado para simulaciones de estructuras o prototipos para analizar fenómenos físicos relacionados a la dinámica, estática, fluidos, electromagnetismo, vibraciones y transferencia de calor. Con este último es que se realizará el procedimiento para determinar las temperaturas a las que la caja estará expuesta en condiciones extremas.

### 6.4.1. Parámetros iniciales

En cuanto al análisis por medio de Ansys, el modelo fue examinado a través de un *Steady State Thermal* o de estado estacionario (un tipo de análisis en el que se evalúa el equilibrio térmico) debido a que provee resultados tiempo después de que el sistema se ha establecido. A veces geometrías innecesarias como chaflanes dificultan o alargan el análisis a pesar de que no aportan resultados significativos. Considerando la forma de cada pieza que conforma la caja, no es necesario simplificar el diseño pues las geometrías no contienen bordes innecesarios, por lo que el ensamblaje se dejó con sus diseños originales.

Figura 9: Vistageneral



Fuente: elaboración propia

## 6.4.2. Contactos

Previo al análisis, se requiere de establecer algunos parámetros y propiedades sobre el modelo. Se asignaron los materiales de cada componente: acrílico para las divisiones y madera de pino, para los componentes restantes. Respecto al contacto, existen distintos tipos para imitar la unión entre los componentes, para este caso, se colocaron todos como *bonded* para simular la función de los clavos en la caja. De igual manera, los contactos que pueden trabajarse dentro del software se detallan en la siguiente lista.

Tipos de contactos configurados en Ansys de acuerdo a Capar, s.f.

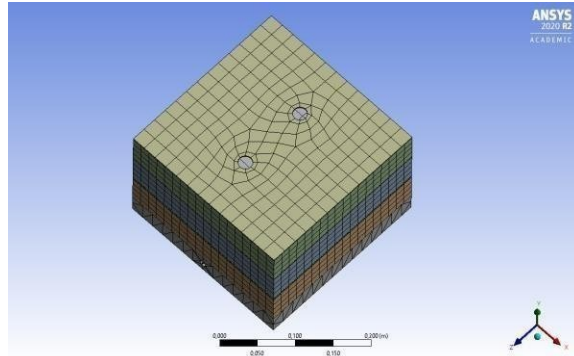
- **Bonded:** las geometrías definidas actúan como un solo cuerpo. Los cuerpos no pueden moverse, separarse ni rotar entre ellos.
- **No separation:** el objetivo y la superficie de contacto se unen. El deslizamiento es posible, pero los nodos en contacto están unidos a la superficie objetivo en la dirección normal.
- **Frictional:** el par de contacto puede deslizarse y separarse en la superficie seleccionada. El coeficiente de fricción afecta los movimientos tangenciales.
- **Frictionless contact:** el par de contacto puede deslizarse sobre la superficie seleccionada en la dirección tangencial y también puede trasladarse en la dirección normal.

## 6.4.3. Mallado

El mallado es un proceso en el que el objeto estudiado se separa en cientos de geometrías o miles más para definir la forma física de la estructura. Cuanto más detallado sea el mallado, más preciso será el modelo CAD en 3D resultando en simulaciones más concisas (Simutech, s.f.). Este influye directamente en la precisión de los resultados, así como la convergencia y la velocidad para obtenerlos. Con el mallado generado automáticamente por ANSYS se obtuvo una calidad del 0.61, con este valor se suele mejorar el *skewness*, un indicador de calidad donde 0 representa lo mejor. Se decidió refinar casi todos los elementos a través de un *Body sizing*, uno de los métodos para alterar el mallado ya que permite cambiar el tamaño de las geometrías. Desde un tamaño preestablecido de elemento de 20mm a uno de 15 mm, además de aumentar la resolución a 4 (donde 0 representa grueso y 7, fino), se logró bajar la calidad a 0.3, un valor más apropiado para proceder al análisis térmico.

Exceptuando la base, la cual presentaba geometrías adicionales (entradas de la piquera), esta fue trabajada con un método automático debido a que esta opción colocaba el mallado más adecuado de acuerdo con las diferentes geometrías de la base. Con estos cambios, se debe tener cuidado con el límite de nodos y elementos que permite la licencia porque es muy posible excederse del límite al generar un mallado con una calidad muy cercana a 0.

Figura 10: Mallado final



Fuente: elaboración propia

#### 6.4.4. Calor transmitido debido a las abejas

En cuanto a la configuración del análisis, representar a las abejas dentro del mismo fue algo complicado pues no existen muchos análisis térmicos sobre estos seres en específico. Por esta razón se optó por hacer una estimación, de acuerdo a Farenholz, Lamprecht y Schricker(1989), la tasa de producción de calor más baja la realizaban las abejas obreras, generando 142 mW/g. Como la tasa de producción de calor fue determinada por masa específica, la masa corporal promedio de una abeja Melipona se encuentra alrededor de los 80 mg (Lóriga y col., s.f.), Además de esto, se tomó en cuenta una variable más, el número de abejas por colmena. Tomando como comparación a las abejas *Apis Mellifera*, las Meliponas trabajan en colmenas mucho más pequeñas a causa de su dificultad para termorregular. Por esta razón, se consideró utilizar por lo menos un tercio de la cantidad promedio de 8,000 abejas *Apis Mellifera* de una colmena pequeña.

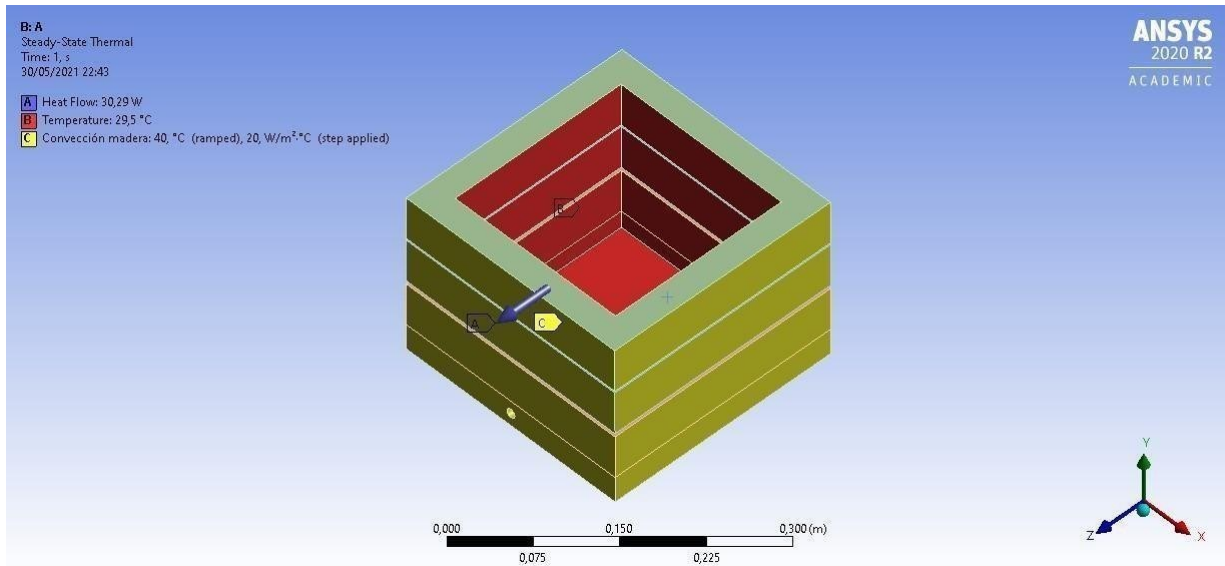
$$W = (W_{abeja})(m)(n) \quad (1)$$

donde:  $W_{abeja}$ , Tasa de producción por abeja en  $\frac{mW}{g}$ ;  $m$ , masa promedio de una abeja melipona en gramos;  $n$ , cantidad de abejas por colmena

$$W = (8000 \text{ abejas})(800 \text{ mg})\left(142 \frac{mW}{g}\right) = 30.29 \text{ W}$$

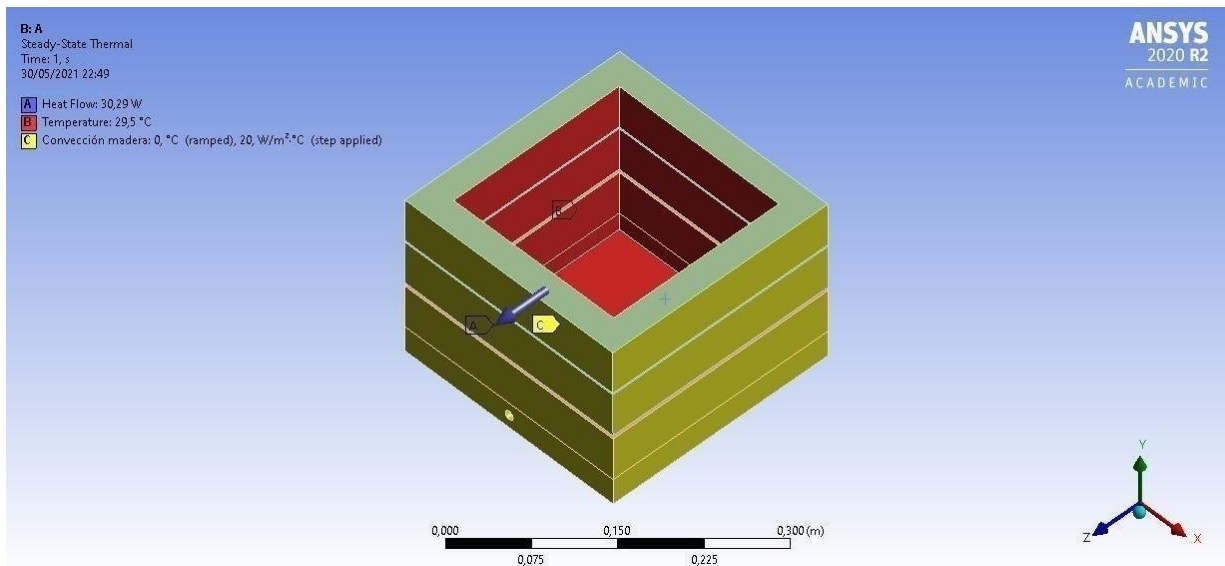
Así, se configuró un flujo de calor en el interior de 30.29 W con una temperatura promedio de 29.5° C para establecer la temperatura interna de la caja.

Figura 11: Configuración del sistema para temperatura exterior de 40°C



Fuente: elaboración propia

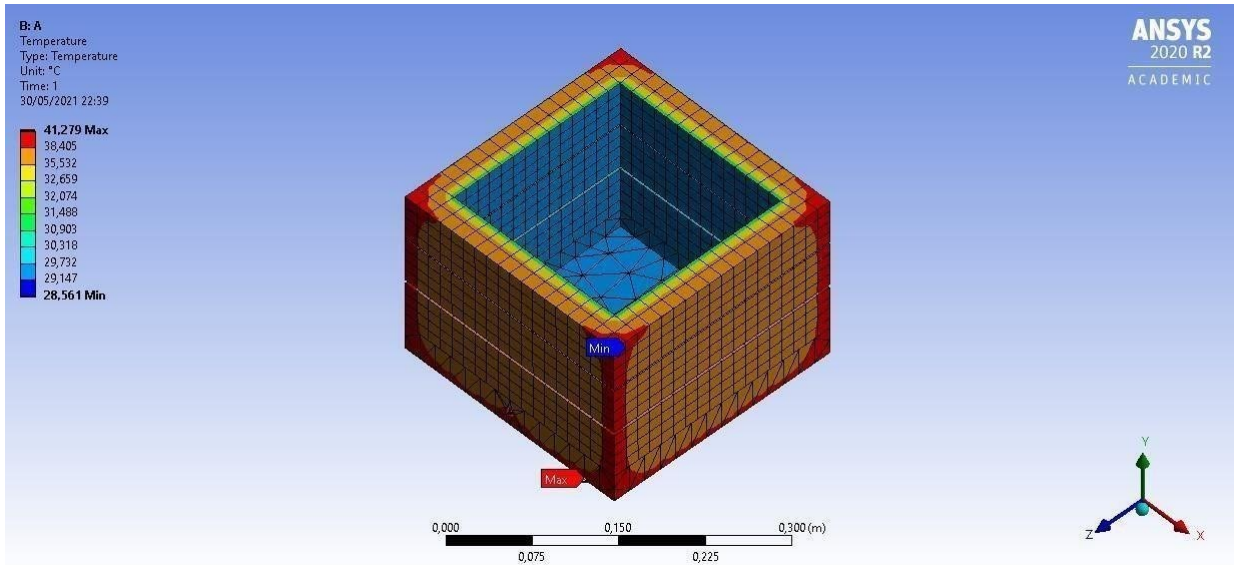
Figura 12: Configuración del sistema para temperatura exterior de 0°C



Fuente: elaboración propia

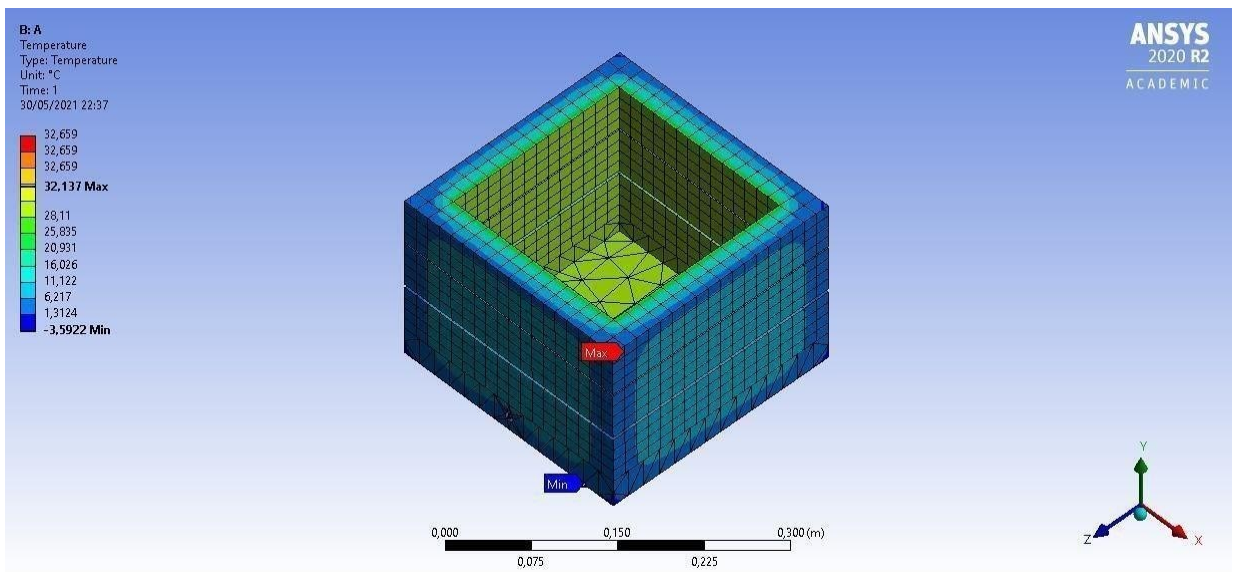
De esta forma, se analizó la caja en casos extremos de 0 y 40° a pesar de que estas temperaturas no son típicas de Guatemala. Se encontró que, tal como se observa en las figuras 13 y 14, en ambos la temperatura interior se encuentra dentro del rango aceptable de temperatura (29° C en el caso más caluroso y 27.5° C, en el más frío) para este tipo de abejas.

Figura 13: Resultados para temperatura de 40°C



Fuente: elaboración propia

Figura 14: Resultados para temperatura de 0°C



Fuente: elaboración propia

## 6.5. Fabricación

Para el proceso de manufactura, se utilizaron herramientas de mano y una cortadora de madera con el fin de construir la estructura de la caja. Así como se había mencionado en los

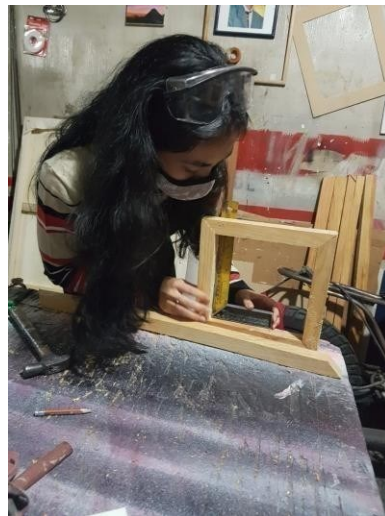
cálculos, la madera elegida fue la madera de pino pues su costo y accesibilidad además de la compatibilidad que tienen las abejas con esta convirtieron en la opción más adecuada para esta primera iteración. Las divisiones se trabajaron con acrílico y a través de una cortadora láser se les dio la forma requerida a cada plancha de 25x25 cm. En cuando al montaje del sistema para determinar la temperatura y humedad, se utilizó un sensor DHT 11 el cual está conectado a un *display* LCD como se observa en la Figura 18.

Figura 15: Construcción de estructura



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Construcción de estructura(continuación)



Fuente: E laboración propia

Figura 17: Estructurade madera



Fuente: elaboración propia

Figura 18: Montaje del *display* de temperatura y humedad



Fuente: elaboración propia

Figura 19: Caja de colmena completada



Fuente: elaboración propia

## 6.6. Pruebas

Existe una dificultad para trabajar con abejas Meliponas en Guatemala, pues no solo se encuentran en peligro de extinción, sino que mantener una caja requiere de más atención que una colmena tradicional con las abejas melíferas. Una caja con abejas meliponas puede llegar a costar hasta Q2,500 dependiendo de quién las provea. En esta ocasión, lo que se llevó a cabo fue una búsqueda de colmenas ubicadas naturalmente en troncos. Con el objetivo de trasladarlas a un espacio más seguro que la intemperie y al mismo tiempo, ensayar con el acrílico se encontró una colmena dentro de tarros de bambú.

### 6.6.1. Protocolo de pruebas para determinar la adaptación de las abejas

#### Listado de materiales y equipo

1. Cinta adhesiva o plastilina
2. Banco de mín. 30 cm.
3. Espátula
4. Palillos de madera de supermercado
5. Sensor de temperatura y humedad DHT 11
6. *Display* LCD
7. Microcontrolador Arduino UNO

En el Cuadro no. 5, se establece un procedimiento para verificar el cumplimiento de las condiciones de prueba durante el trasiego de la colmena.

Cuadro 5: Procedimiento de prueba de trasiego

Pa so	Condición por cumplir	Responsable
		Fecha (DD/MM/A A)
1	Colocar la base encima de un banco o silla (número 1 de la Figura 8) de por lo menos 30 cm de altura. Se recomienda que sea lo más recto posible (nivelado entre 0 y 5° respecto a la horizontal).	
Desviaciones encontradas:		
2	Situar el nido y su división (número 3 y 4 de la Figura 8) sobre la base.	
Desviaciones encontradas:		
3	Iniciando el traslado del panal a la caja, con cuidado de no dañar la estructura y utilizando la espátula, despegar las paredes.	
Desviaciones encontradas:		
4	Transferir el panal al nido de la caja.	
Desviaciones encontradas:		
5	Trasladar cualquier pote o reserva de propóleos alrededor de la colmena para que las abejas puedan usarlas como parte de su construcción.	
Desviaciones encontradas:		
6	De la cera del panal, poner un pedazo en la piqueta de la base asegurándose de que no la tape. Esto ayudará a las abejas a ubicar la entrada de la caja.	
Desviaciones encontradas:		
7	Posicionar el sensor en el interior del melario, a uno de los la dos.	
Desviaciones encontradas:		
8	Colocar las partes restantes de la caja de acuerdo a la Figura 8.	
Desviaciones encontradas:		
9	Conectar los cables del sensor a la pantalla que se encontrará arriba de la caja.	
Desviaciones encontradas:		
11	Sellar las uniones de cada sección con cinta adhesiva o plastilina.	
Desviaciones encontradas:		
12	Conectar el sensor de temperatura y humedad al Arduino que se encontrará fuera de la caja.	
Desviaciones encontradas:		
13	Conectar el Arduino a una fuente externa de voltaje.	
Desviaciones encontradas:		
14	Asegurarse de que la pantalla despliegue los valores de humedad y temperatura.	
Desviaciones encontradas:		
15	Si h ay necesidad de trasladar la caja, hacerlo de noche cuando todas las abejas se encuentren adentro para no desorientarlas.	
Desviaciones encontradas:		

Para el monitoreo de las abejas, se realizan revisiones una vez a la semana de la siguiente manera:

Cuadro 6: Monitoreo

Paso	Condición por cumplir	Responsable
		Fecha (DD/MM/A A)
1	Inspeccionar abandono de la colmena para determinar si las abejas se han adaptado.	
Desviaciones encontradas:		
2	Ex a minar si la caja se encuentra casi vacía desde el traslado de las abejas al día de la revisión.	
Desviaciones encontradas:		
3	Si se encuentra vacía, detenerse aquí.	
Desviaciones encontradas:		
4	Ex a minar actividad recolectora de polen de la colmena.	
Desviaciones encontradas:		
5	Contar la cantidad de abejas que entran y salen de la piquera durante 1 minuto.	
Desviaciones encontradas:		
6	Anotar resultados en el Cuadro no. 7.	
Desviaciones encontradas:		
7	Ex a minar presencia de parásitos (larvas blancas) en lospotes de miel.	
Desviaciones encontradas:		
8	Si h ay parásitos, detenerse aquí y proceder a un tratamiento de eliminación de los mismos (método del lavado con alcohol).	
Desviaciones encontradas:		
9	Ex a minar elaboración de miel.	
Desviaciones encontradas:		
11	Remover la división del techo (número 7 en Figura 8).	
Desviaciones encontradas:		
12	Ubicar potes de miel y abrir la capa insertando un palillo de madera.	
Desviaciones encontradas:		
13	Insertar el palillo dentro del pote en busca de miel. Si n o hubiese, considerar colocar una fuente de alimentación externa a base de agua y azúcar (proporción 1 :2 respectivamente) cerca de la colmena.	
Desviaciones encontradas:		
14	Ex a minar temperatura y humedad interior.	
Desviaciones encontradas:		
15	Revisar la pantalla que despliega los valores del sensor. Los rangos deberían encontrarse entre 27 a 32° C de temperatura y 60% a 80% de humedad.	
Desviaciones encontradas:		

Cuadro 7: Conteo de abejas por revisión

Especie	No. de abejas en piquera/min
Tetragonisca Angustula	

En el Cuadro no. 7 se establece un conteo de abejas que entran y salen por la piquera. Este debe realizarse por cada revisión.

Dentro de la investigación se encontró una trampa para las moscas y se decidió recrearla de la siguiente manera en donde uno de los materiales propuestos es PLA o bien, utilizar los materiales originales los cuales serían una botella de plástico y un tubo PVC. Aquí, al tubo PVC se le harían agujeros de 3 mm a lo largo de su eje. Luego, se le introduciría el tubo dentro de la botella de plástico y se vertería vinagre blanco en la misma (ver Figura 20 para su montaje).

Figura 20: Tubo para trampa de moscas en la entrada

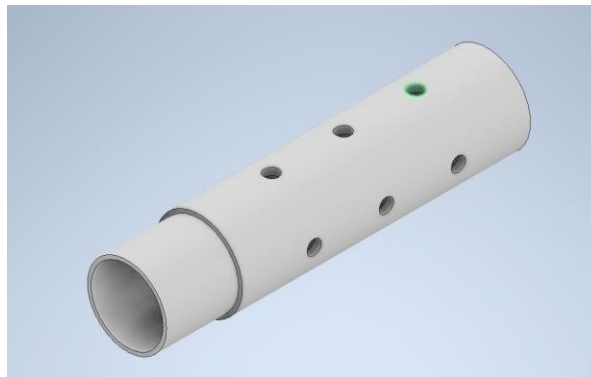


Figura 21: Trampa simple para moscas a ser colocada en la piquera



## 6.7. Resultados

### 6.7.1. Primer monitoreo

Cuadro 8: Conteo de abejas para caja no.1

Especie	No. de abejas en piquera/min
Tetragonisca Angustula	entran 9 salen 5

Cuadro 9: Conteo de abejas para caja no. 2

Especie	No. de abejas en piquera/min
Tetragonisca Angustula	entran 10 salen 5

### 6.7.2. Segundo monitoreo

Cuadro 10: Conteo de abejas para caja no. 1

Especie	No. de abejas en piquera/min
Tetragonisca Angustula	entran 14 salen 10

Cuadro 11: Conteo de abejas para caja no. 2

Especie	No. de abejas en piquera/min
Tetragonisca Angustula	entran 11 salen 5

### 6.7.3. Validación del prototipo

Cuadro 12: Validación para restricciones del prototipo

Código	Descripción	Validación
RT01	Ser construida con materiales de construcción obtenidos a través de proveedores locales.	Sí
RT02	Estar construido de un material compatible con las abejas.	Sí
RT03	Ser ensamblado en menos de 15 minutos por una persona.	Sí
RT04	La caja tecnificada debe tener una masa máxima de 5 kg.	Sí
RT05	La construcción de la caja de madera debe ser mediante herramientas de mano.	Sí
RT06	La instalación en la vivienda no debe requerir de herramientas.	Sí
RT07	Garantizar un volumen no mayor a 0.05 m <sup>3</sup> debido a la dificultad de las Meliponas para termorregular.	Sí

Cuadro 13: Validación para requisitos de funcionalidad del prototipo

Código	Descripción	Validación
FN01	Mantener una temperatura interior dentro de un rango de 25° a 32° C.	No
FN02	Mantener una humedad relativa interior dentro de un rango de 50 a 70 %.	No
FN03	Utilizar sensores que recolecten datos de la temperatura y humedad en tiempo real.	Sí
FN04	Asegurar que no se debe utilizar un equipo de seguridad.	Sí
FN05	Ofrecer libertad de no utilizar un ahumador ni espátula.	Sí
FN06	Poder ser montado en el suelo o colgado en una pared.	No
FN07	Poseer una base de madera en caso de ser montado en el suelo.	Sí
FN08	Poder ser mantenido por personas sin experiencia en apicultura.	Sí

Cuadro 14: Validación para requisitos de rendimiento del prototipo

Código	Descripción	Validación
RN01	Contar con un techo para resguardarse de la lluvia.	No
RN02	Tener una elevación del suelo para resguardarse de la humedad del suelo.	Sí
RN03	Proveer una fuente adicional de alimento a base de agua y azúcar para las épocas de poca floración.	No
RN04	Contar con una trampa en la entrada en caso de que se presenten invasores.	Sí
RN05	Extraer la miel debe limitarse a utensilios de supermercado o farmacias (tomando como ejemplo, una jeringa o pipeta)	Sí

## 6.8. Discusión de resultados

Inicialmente, el tipo de abejas con las que se buscaba ensayar pasó de ser las *Apis mellifera* a Meliponas debido a que varios de los requisitos no se lograban cumplir. Con este cambio, no se había tomado en cuenta la poca disponibilidad de Meliponas en el país con las cuales se podía experimentar y quienes pueden llegar a tener un costo elevado por colmena. Debido a la dificultad para conseguir a estas abejas, se hallaron abejas dentro de la categoría de *Tetragonisca angustula* o también conocidas como abejas angelitas. Las abejas angelitas con sus características muy similares a las meliponas y considerando que pertenecen a la misma tribu, se procedió a realizar las pruebas con las cajas de colmena.

En cuanto a las pruebas, con la disponibilidad de dos cajas y dos colmenas, se observó dentro de la investigación que varios meliponicultores empleaban divisiones de acetato. Con esto, se decidió utilizar en una caja las divisiones de acrílico y en la otra, de acetato a manera de comparar el comportamiento de las abejas ante un material nuevo y uno conocido. Aquí, se estará mencionando a la caja de colmena con divisiones de acrílico como caja no.1 y a la que contiene las divisiones de acetato, como caja no. 2. Dicho lo anterior, ambas cajas, cumplían con las restricciones del prototipo en donde principalmente se habían tomado en cuenta la construcción, materiales y propiedades físicas como se observa en el Cuadro 12. Luego, para los requisitos de funcionalidad (Cuadro 13), se incluyó un sensor que recolectaba la información en tiempo real además de que la misma naturaleza de la caja (y el comportamiento de las abejas angelitas) ofrecía la libertad de no utilizar equipo de seguridad o un ahumador. A su vez, lo que se consideraba como monitoreo y mantenimiento, podía realizarse por alguien sin experiencia previa en apicultura o meliponicultura ya que durante las pruebas no fue necesario llevar a cabo una investigación adicional para revisar los potes de miel, el nido, entre otros aspectos. De igual modo, en los requisitos de rendimiento (Cuadro 14), la elevación del suelo la proveía un banco como se observan los montajes de las cajas en las Figuras 38 y 43 de los anexos. No obstante, una fuente adicional de alimento no fue incluida durante el ensayo debido a que no se vio la necesidad de incorporarla. Para esto último, ambas cajas fueron instaladas dentro de un residencial con flora a su disposición y en caso de que se presentaran moscas Phoridae, se tenía preparada la trampa como se observa en la Figura 70.

Es posible fijarse que con el acrílico se adaptaron de una mejor manera que con el acetato. En este último las abejas vieron la necesidad de tapar todos los agujeros de las divisiones utilizando la cera de los potes en contraste con las divisiones de acrílico en donde se cubrieron solamente algunos orificios en las esquinas. Además, con la caja no. 1 (con las divisiones de acrílico), surgieron nuevos potes adicionalmente a los que se les había colocado del tronco de bambú donde se encontraban anteriormente. En lo que respecta al sensor, se planeaba colocarlo en el interior de las colmenas, a un costado de los melarios. Sin embargo, se había realizado una prueba para evaluar si las abejas lo consideraban como un elemento invasivo. Por esta razón, se colocó el sensor por 12 horas; pasado el tiempo, se encontró el mismo con cera alrededor de él, como se observa en la Figura 50. Por esta razón, anotar los datos de las condiciones dentro de las cajas se redujo a una toma de lectura de 15 min durante cada monitoreo cuando las abejas se encontraban pecoreando. Debe agregarse que el cambio a divisiones transparentes agilizó algunas tareas a lo largo de las revisiones, comparando con lo que han mencionado algunos meliponicultores, con las cajas convencionales aún se les hacía difícil revisar el interior ya que tenían que abrir las cajas muy seguido.

Un caso para considerar es que ninguna caja fue capaz de mantener las condiciones ideales y esperadas; todavía cabe resaltar que el sensor tiene un rango de precisión de 2°C y  $\pm 5\%$  y aún en esa situación, las abejas angelitas fueron capaces de adaptarse al entorno. Hecha esta salvedad, fuera del tiempo de pruebas se notó que la caja no. 2 había sido abandonada por las abejas, este comportamiento inició desde la actividad de la colmena evidenciada en los Cuadros 8 al 11, en donde se nota un aumento de actividad para la caja con acrílico, pero no para la caja con acetato. En la caja no. 2 fue encontrada un mayor esfuerzo por rellenar los agujeros y espacios libres utilizando la cera de los potes viejos en comparación la caja no. 1 en donde se observaba el desarrollo de potes recién construidos.

Tomando en cuenta los resultados y el comportamiento de las abejas con las cajas de colmena, para reestructurar el diseño se rediseñaron las paredes de madera. Esta vez, las paredes se componen de dos piezas de madera las cuales contienen dos cortes. Uno de estos cortes servirá de guía para la ventana, al momento de instalar la caja; el otro se utilizará para posicionar las divisiones de acrílico. Asimismo, se incorporó una ventana que, al igual que las divisiones, ofrece la opción de inspeccionar el interior sin manipular directamente la colmena. En la base interior, al cual se le agregó unos espacios a los costados, se encuentra un tope para la colocación de la ventana. Por otro lado, el tamaño también fue modificado considerando que, durante las pruebas, las abejas parecían rellenar los espacios vacíos con cera. Esto se ve principalmente en las dimensiones de las paredes y las divisiones de acrílico pasando de ser de 24x24 cm a 20x20 cm y 17x14cm, respectivamente (ver planos desde la Figura 73). No solo fueron alteradas las dimensiones de las divisiones de acrílico, sino también su forma como la del nido y sobrenido. La configuración fue cambiada para sus aberturas tuvieran la forma de un círculo (con un diámetro similar a las dimensiones del nido que contiene a la reina y los huevos) en vez de un rombo ya que las abejas habían rellenado las esquinas, como se había mencionado con anterioridad. Se debe agregar que en las divisiones del melario fueron removidas las aberturas y se optó por dejar dos entradas entre la ventana y cada división o pared (pueden verse los planos desde la Figura 73 en adelante para su referencia).

En contraste con lo anterior, lo único que no se logró contemplar fue la simplificación del proceso de recolección de miel. Debido a que la miel se encuentra dentro de potes agrupados uno encima de otro y porque las abejas no tienen un orden para acomodarlos, es necesario abrir cada pote individualmente en busca de miel. Esto quiere decir que para extraer la misma, debe abrirse la caja y de esa manera, obtenerla de manera convencional. En cuanto a la toma de condiciones, habría que considerar el utilizar un sensor más pequeño. De este modo, podría pasar desapercibido por las abejas

o bien, podría tomar los datos como se había realizado durante las pruebas, en donde solo se introducía el mismo durante unos minutos y luego se retiraba.

---

### Conclusiones

---

1. A pesar de que no fue posible trabajar con meliponas, se lograron realizar las pruebas con abejas sin aguijón de la misma tribu y con características y comportamiento similares.
2. El diseño y construcción de un prototipo fue llevado a cabo utilizando a abejas *Tetragonisca angustula*, de la tribu Meliponini. Esta caja de colmena pudo colocarse en viviendas debido al poco mantenimiento que se le debe dar a la caja y el comportamiento de las abejas ante las personas que interactúan con ellas.
3. Los parámetros para las condiciones en el interior fueron establecidos para mantener una temperatura entre 25 a 32 C y una humedad de 60 a 80%. Sin embargo, se encontró que ambas cajas se encontraban fuera de estos rangos (a 24°C y casi 90% de humedad aproximadamente) pero, aun así, las abejas eran capaces de adaptarse a esta situación.
4. El prototipo fabricado permitió facilitar el monitoreo sin interrumpir o alterar a las abejas a través del uso de las divisiones de acrílico que permitían ver el interior. Así, se facilitaba el seguimiento al abandono de colmena, presencia de parásitos y elaboración de miel.
5. El proceso de extracción de miel no se logró simplificar debido a la manera en la que las abejas acomodan los potes de miel. Es necesario abrir la caja para extraerla de forma convencional.
6. El modelo final consistió en cambios realizados a las paredes de madera, tamaños y dimensiones de la caja y las divisiones de madera, además de la adición de una ventana para tener un mayor rango de visión al interior.



---

### Recomendaciones

---

1. Contemplar desde un inicio la disponibilidad de las abejas con las que se busca trabajar. Idealmente, se buscarían varias colmenas con las que se pudiera colocar en más cajas de colmena durante los monitoreos y así, obtener más respuestas de su comportamiento ante nuevos materiales.
2. Si se desea examinar las condiciones en diferentes horas del día, utilizar un sensor más pequeño que pueda pasar inadvertido por las abejas al momento de colocarlo dentro de la caja como lo es el sensor de la marca Sensirion con dimensiones de 1.3 mm x 0.7 mm x 0.5 milímetros. Sin embargo, dada la disponibilidad en Guatemala, actualmente solo podría utilizarse el DHT 11 o DHT 22 por lo que, para este caso, solo se podría seguir el procedimiento descrito durante los monitoreos de este proyecto.
3. Puesto que no es solamente un tipo de abeja la que aporta a la polinización, se propone buscar y trabajar con abejas de diversas categorías para proveerles un espacio seguro y estimular su crecimiento.



## Bibliografía

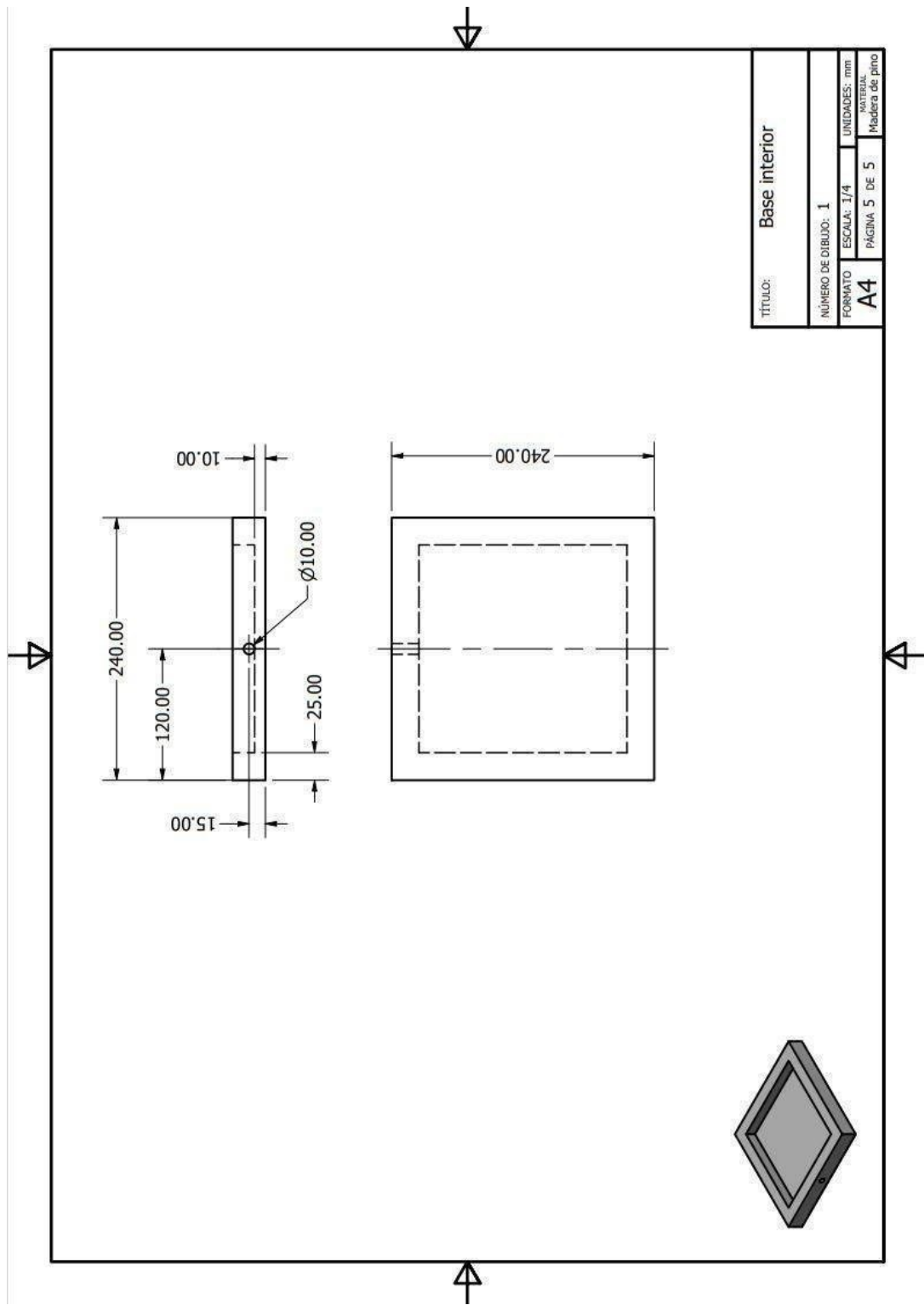
- A., P.L. (2019). Bee Hub Guate, la iniciativa que lucha por conservar las abejas que polinizan alimentos de consumo humano. <https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala-ciudades/bee-hub-guate-la-iniciativa-que-lucha-por-conservar-las-abejas-que-polinizan-alimentos-de-consumo-humano/>
- Abou-Shaara, H. (2015). The origin of honey bees life: A viewpoint. [https://www.researchgate.net/publication/305721731\\_The\\_origin\\_of\\_honey\\_bees\\_life\\_A\\_viewpoint](https://www.researchgate.net/publication/305721731_The_origin_of_honey_bees_life_A_viewpoint)
- AcrilicosOnline. (s.f.). *Propiedades Acrílico*. <https://www.acrilicosonline.com.ar/acrilicos/planchas/informacion-tecnica/>
- Adhikari, S. (2010). Processing, Packaging and Storage of Honey. [https://www.researchgate.net/publication/336578254\\_Processing\\_Packaging\\_and\\_Storage\\_of\\_Honey](https://www.researchgate.net/publication/336578254_Processing_Packaging_and_Storage_of_Honey)
- Adjare, S. (1990). Beekeeping in Africa. <https://www.fao.org/3/t0104e/T0104E00.html>
- Aizen, M. & Harder, L. (s.f.). The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982209009828>
- Bradbear, N. (2009). Bees and their role in forest livelihood. <http://www.fao.org/3/i0842e/i0842e03.pdf>
- Capar, Y. (s.f.). Contact Types and Behaviours in Structural Analysis. <https://yasincapar.com/contact-types-and-behaviours-in-structural-analysis/>
- Dadant, C. (1920). *Dadant System of Beekeeping*. American Bee Journal.
- Dogan, S., Akbal, E. & Ozmen, G. (2018). *Design of a Remote Controlled Beehive for Improving Efficiency of Beekeeping Activities*. Universidad de Firat.
- Enríquez, E., Armas, G., Dardón, M. & Yurrita. (2006). Biología y reproducción de abejas nativas. [https://issuu.com/abejassilvestres2013/docs/manual\\_de\\_meliponicultura\\_usac\\_2006](https://issuu.com/abejassilvestres2013/docs/manual_de_meliponicultura_usac_2006)
- Escobedo, N., Enríquez, E., López, J., Contreras, V., Escobar, D. & Casiá, Q. (2017). Distribución Potencial de las Abejas Nativas sin Aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante Posibles Escenarios de Cambio Climático.
- Fefferman, N. & Starks, P. (2006). *A modeling approach to swarming in honey bees. particle*

- Lóriga, W., Demedio, J. & Sanabria, J. (s.f.). *Determinación del peso, las dimensiones de la y la maculación cefálica de abejas sin aguijón Melipona Becheii Bennett en colmenas del municipio San José de las Lajas, La Habana, Cuba.*
- MAGA. (2009). Manual de buenas prácticas apícolas [pdf]. [https://visar.maga.gob.gt/visar/ia/doc/mapi\\_labp.pdf](https://visar.maga.gob.gt/visar/ia/doc/mapi_labp.pdf)
- MAGA. (s.f.). Perfil comercial de miel [pdf]. <https://www.maga.gob.gt/download/Perfil%5C%20miel.pdf>
- Matweb. (s.f.). American Eastern White Pine Wood. [http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=1bec7114d2524b63826044c3cc6c344c](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1bec7114d2524b63826044c3cc6c344c)
- MAYT. (2006). *Beehive Construction.*
- Omnexus. (s.f.). Density of Plastics: Technical Properties. <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/density>
- Pat, L., Franceschi, F., Pat, J., Hernández, P. & Ramos, R. (2016). Situación actual y perspectivas de la meliponicultura en comunidades aledañas a la reserva de la biosfera, Los Petenes. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-25742018000200227](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-25742018000200227)
- PNCAA. (1990). Manual Básico de Apícola. [https://www.google.com/url?sa=t&rc=1&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiixd20o4X0AhWOQTABHR\\_0A\\_YQFnoECAUQAQ&url=https%5C%3A%5C%2F%5C%2Fwww.mieldemalaga.com%5C%2Fdata%5C%2Fmanual\\_basico\\_apicultura.mex.pdf&usg=AOvVaw2CUJDv0m2XnMnej7nn-NkY](https://www.google.com/url?sa=t&rc=1&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiixd20o4X0AhWOQTABHR_0A_YQFnoECAUQAQ&url=https%5C%3A%5C%2F%5C%2Fwww.mieldemalaga.com%5C%2Fdata%5C%2Fmanual_basico_apicultura.mex.pdf&usg=AOvVaw2CUJDv0m2XnMnej7nn-NkY)
- Rodas, A. (2011). *Caracterización de la flora apibotánica en la zona de influencia de la asociación de apicultores del sur occidente de Guatemala (adasog) en el municipio de Coatepeque, departamento de Quetzaltenango, Guatemala.*
- Serrano, C. (2005). *Termorregulación.*
- Shanahan, M. & Guzmán, M. (2017). *Manual de meliponicultura básica.* <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000038192>
- Simutech, G. (s.f.). Why is Meshing Important for Fluid Simulations? <https://simutechgroup.com/why-is-meshing-important-for-fluid-simulations/>
- Stamp, J. (2013). The Secret to the Modern Beehive is a One-Centimeter Air Gap. <https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/the-secret-to-the-modern-beehive-is-a-one-centimeter-air-gap-4427011/>
- USAC. (2006). Manual de meliponicultura. <https://www.maga.gob.gt/download/Perfil%5C%20miel.pdf>
- UTV. (2009). The buzz about bees: Honey bee biology and behavior [pdf]. [https://extension.unh.edu/resources/files/Resource002757\\_Rep4058.pdf](https://extension.unh.edu/resources/files/Resource002757_Rep4058.pdf)



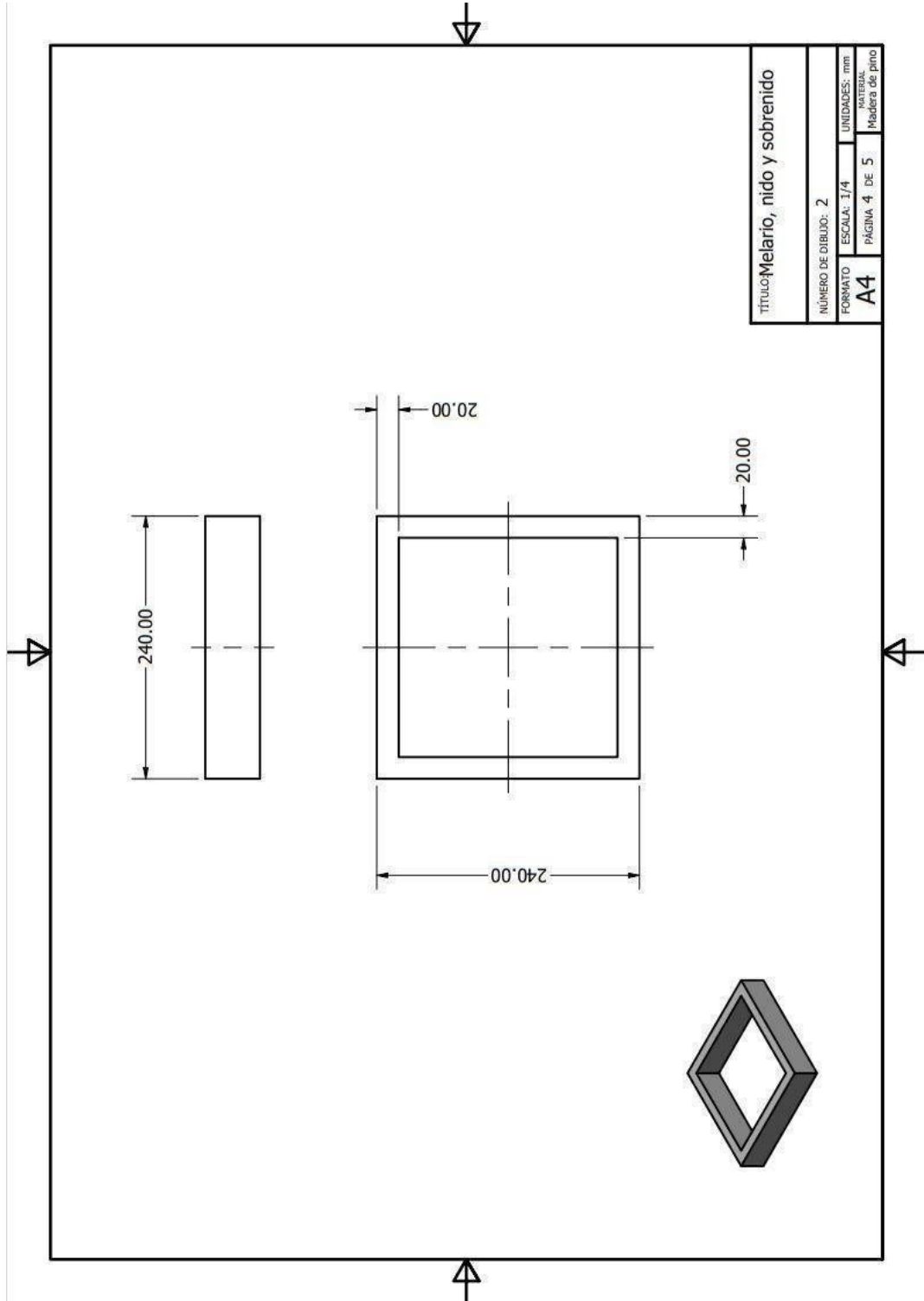
**11.1. Planos de construcción**

Figura 22: Plano para base interior de prototipo



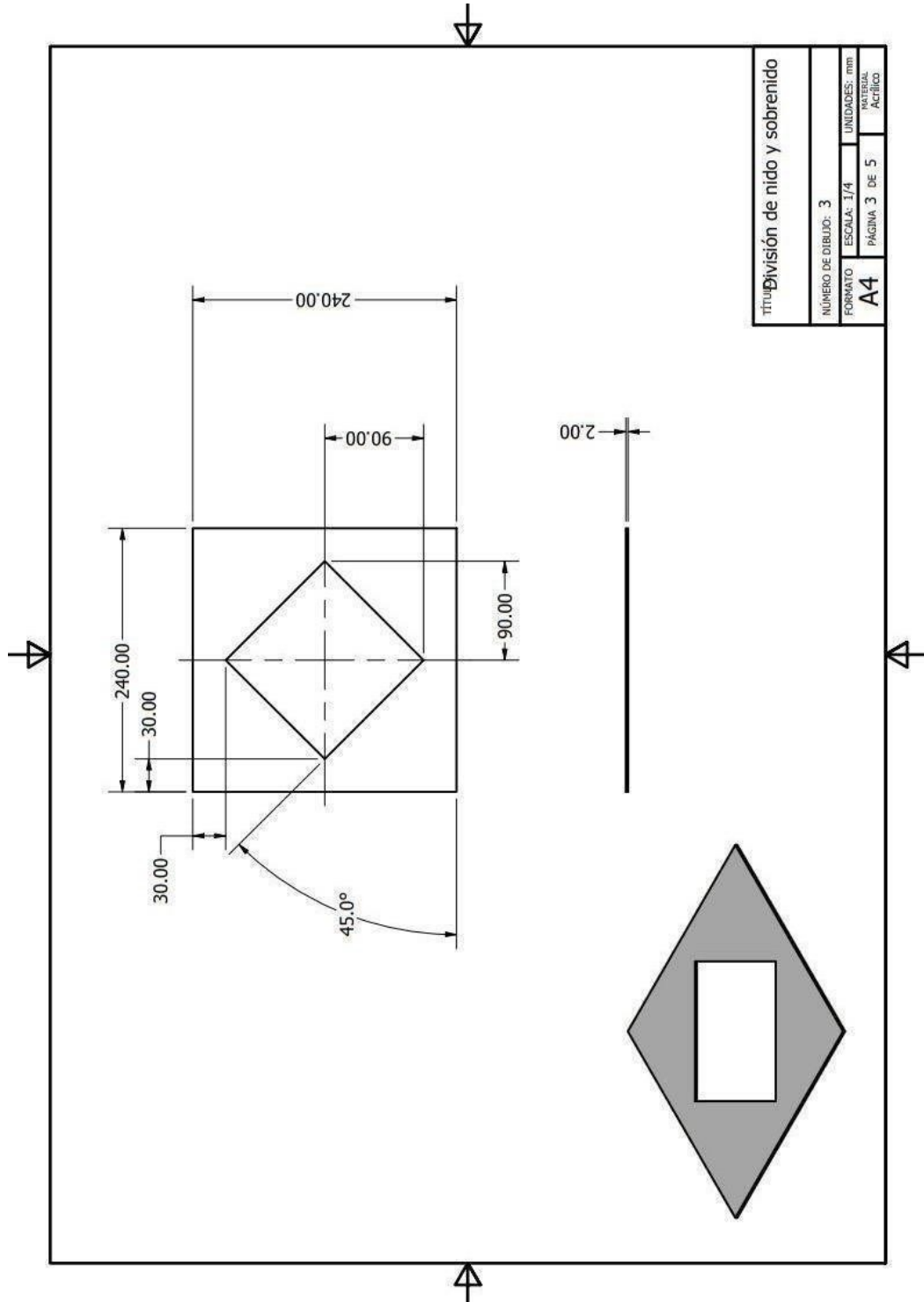
Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Plano para melario, nido y sobrenido de prototipo



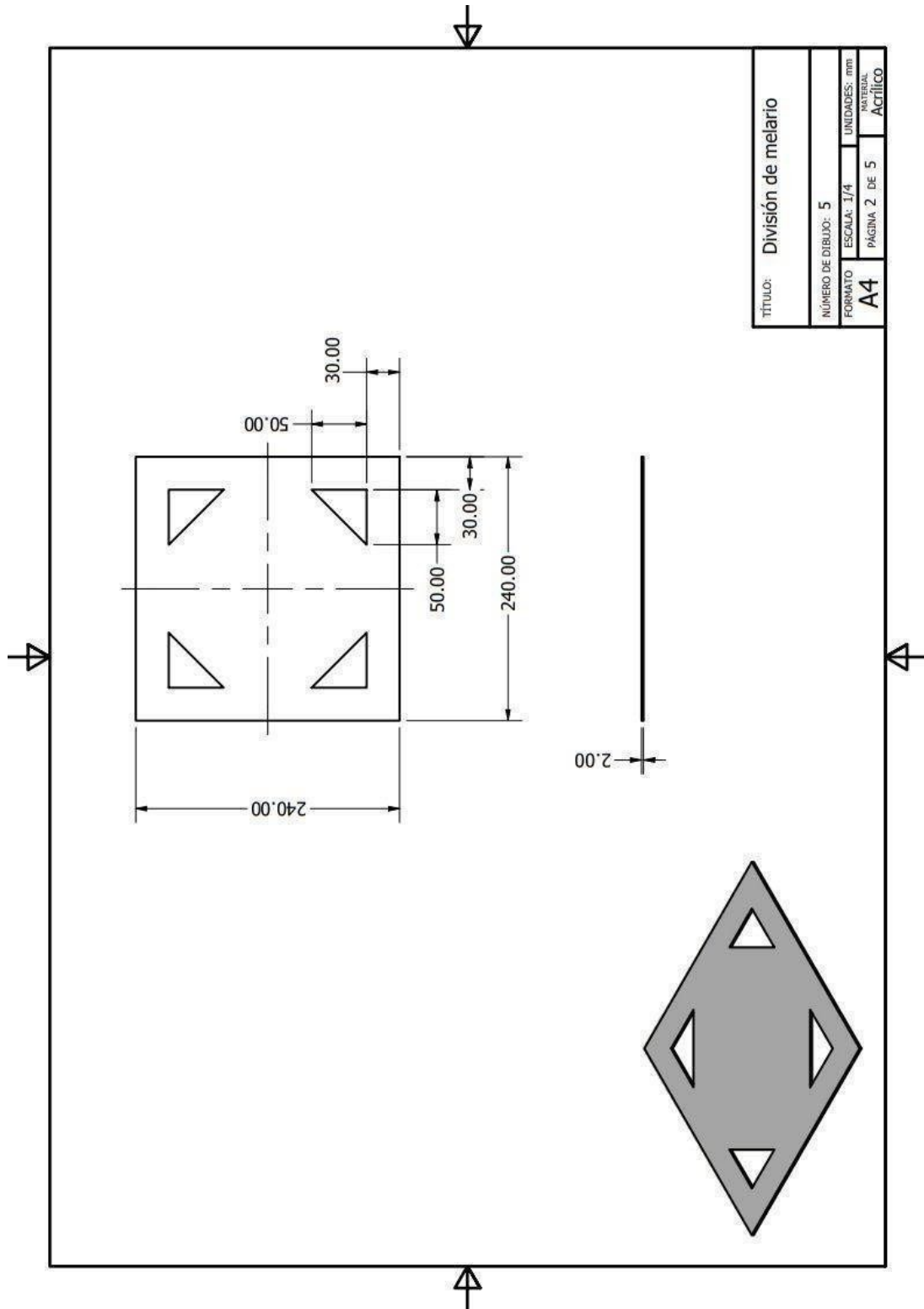
Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Plano para división de nido y sobrenido para prototipo



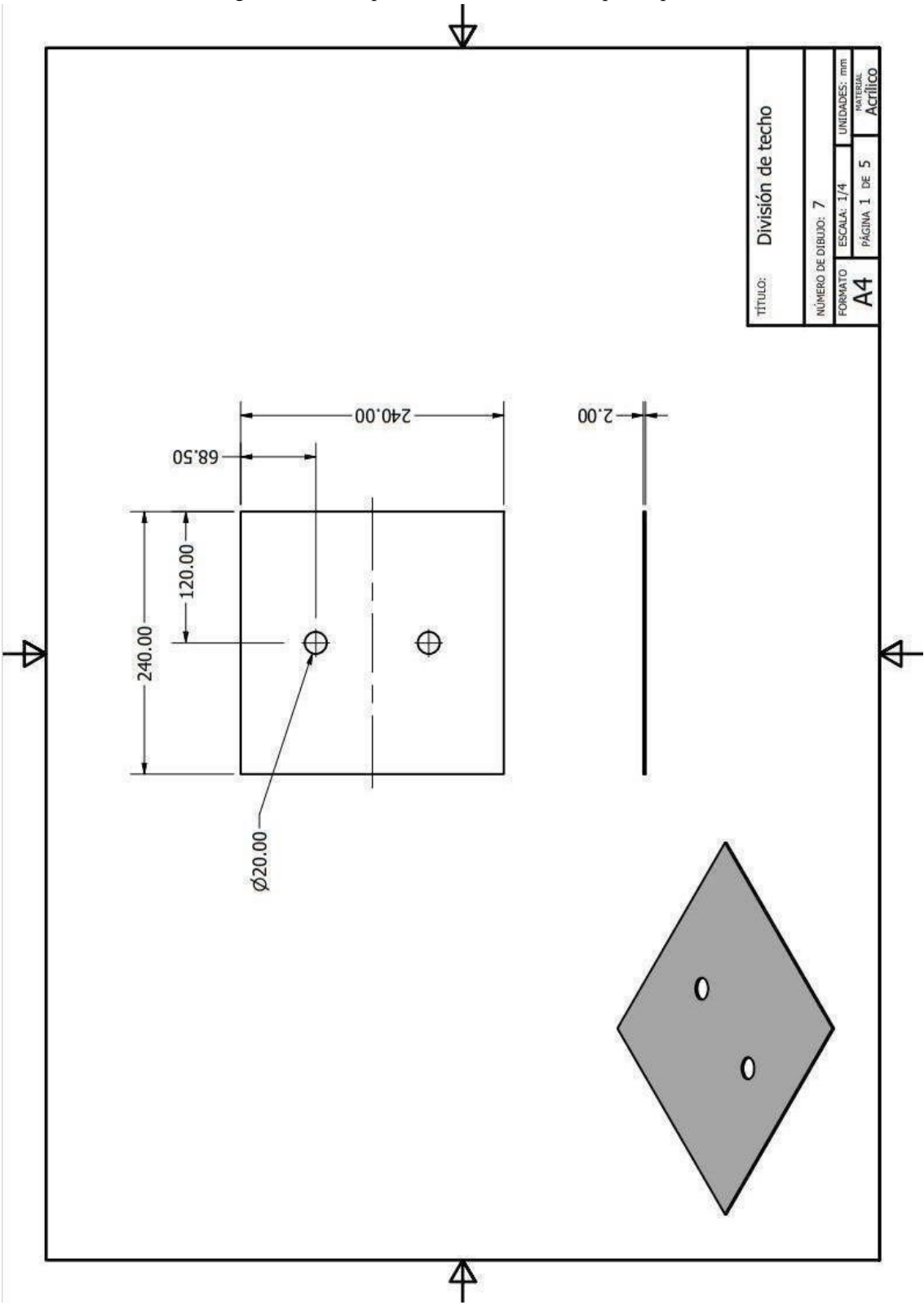
Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Plano para división de melario para prototipo



Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Plano para división de techo de prototipo



Fuente: Elaboración propia

## 11.2. Trasiego

Figura 27 : Disposición inicial de colmenas en troncos de bambú



## 11.2 Traslado de potes

### 11.2.1 Caja de colmena no. 1

Figura 28: Procedimiento de trasiego para caja no. 1

Cuadro 5: Procedimiento de prueba de trasiego

Paso	Condición por cumplir	Responsable
		Fecha (30/9/21)
1	Colocar la base encima de un banco o silla (número 1 de la figura 8) de por lo menos 30 cm de altura. Se recomienda que lo más recto posible (nivelado entre 0 y 5° respecto a la horizontal).	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
2	Situar el nido y su división (número 3 y 4 de la figura 8) sobre la base.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
3	Iniciando el traslado del panal a la caja, con cuidado de no dañar la estructura y utilizando la espátula, despegar las paredes.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
4	Transferir el panal al nido de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
5	Trasladar cualquier pote o reserva de propóleos alrededor de la colmena para que las abejas puedan usarlas como parte de su construcción.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
6	De la cera del panal, poner un pedazo en la piqueta de la base asegurándose de que no la tape. Esto ayudará a las abejas a ubicar la entrada de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
7	Posicionar el sensor en el interior del melario, a uno de los lados.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
8	Colocar las partes restantes de la caja de acuerdo a la figura 8.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
9	Conectar los cables del sensor a la pantalla que se encontrará arriba de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
11	Sellar las uniones de cada sección con cinta adhesiva o plastilina.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
12	Conectar el sensor de temperatura y humedad al Arduino que se encontrará fuera de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
13	Conectar el Arduino a una fuente externa de voltaje.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
14	Asegurarse de que la pantalla despliegue los valores de humedad y temperatura.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
15	Si hay necesidad de trasladar la caja, hacerlo de noche cuando todas las abejas se encuentren adentro para no desorientarlas.	
Desviaciones encontradas:		

Figura 29: Corte de tronco de bambú no. 1



Figura 30: Separación de tronco de bambú no. 1



Figura 31: Revisión de tronco de bambú no. 1



Figura 32: Separación del nido de tronco de bambú no. 1



Figura 33: Separación de nido de tronco de bambú no. 1 (continuación)



Figura 34: Separación de nido de tronco de bambú no. 1 (continuación)



Figura 35: Traslado de nido de tronco de bambú no. 1



Figura 36: Traslado de nido de tronco de bambú no. 1 a caja tecnicada



Figura 37: Ubicación de caja de colmena no. 1



## 11.2.1. Caja de colmena no. 2

Figura 38: Procedimiento de trasiego para caja no. 2

Cuadro 5. Procedimiento de prueba de trasiego

Paso	Condición por cumplir	Responsable
		Fecha (da / mes / año)
1	Colocar la base encima de un banco o silla (número 1 de la figura 8) de por lo menos 30 cm de altura. Se recomienda que lo más recto posible (nivelado entre 0 y 5° respecto a la horizontal)	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
2	Situar el nido y su división (número 3 y 4 de la figura 8) sobre la base	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
3	Inicio del traslado del panal a la caja, con cuidado de no dañar la estructura y utilizando la espátula, despegar las paredes.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
4	Transferir el panal al nido de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
5	Trasladar cualquier pote o reserva de propóleos alrededor de la colmena para que las abejas puedan usarlas como parte de su construcción.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas: no habían potes desarmados por completo		
6	De la cera del panal, poner un pedazo en la piqueta de la base asegurándose de que no la tape. Esto ayudará a las abejas a ubicar la entrada de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
7	Posicionar el sensor en el interior del melario, a uno de los lados.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
8	Colocar las partes restantes de la caja de acuerdo a la figura 8.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
9	Conectar los cables del sensor a la pantalla que se encontrará arriba de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
11	Sellar las uniones de cada sección con cinta adhesiva o plastilina.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
12	Conectar el sensor de temperatura y humedad al Arduino que se encontrará fuera de la caja.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
13	Conectar el Arduino a una fuente externa de voltaje.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
14	Asegurarse de que la pantalla despliegue los valores de humedad y temperatura.	Cindy Lubier
Desviaciones encontradas:		
15	Si hay necesidad de trasladar la caja, hacerlo de noche cuando todas las abejas se encuentren adentro para no desorientarlas.	
Desviaciones encontradas:		

Figura 39: Corte de tronco de bambú no. 2



Figura 40: Separación de tronco de bambú no. 2



Figura 41: Traslado de nido de tronco de bambú no. 1



Figura 42: Ubicación de caja de colmena no. 2



Figura 43: Traslado de potes a caja de colmena no. 1



Figura 44: Ubicación de potes en caja de colmena no. 1



Figura 45: Traslado de potes a caja de colmena no. 2



Figura 46: Ubicación de potes en caja de colmena no. 2



### 11.3. Primera revisión

Figura 47: Primer monitoreo para caja no. 1

Cuadro 6. Monitoreo

Paso	Condiciones por cumplir:	Responsable
		Fecha (d / m / a)
1	Inspeccionar abejas fuera de la colmena para determinar si las abejas se han adaptado.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
2	Examinar si la capa se encuentra en su lugar desde el traslado de las abejas al día de la revisión.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
3	Si se encuentra vacía, detenerse aquí.	
Desviaciones encontradas:		
4	Examinar actividad recolectora de polen de la colmena.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
5	Contar la cantidad de abejas que entran y salen de la piquera durante 1 minuto.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
6	Analizar resultados en el cuadro 1.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
7	Examinar presencia de parásitos (larvas blancas) en los potes de miel.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
8	Si hay parásitos, detenerse aquí y proceder a un tratamiento de eliminación de los mismos (método del lavado con alcohol).	
Desviaciones encontradas:		
9	Examinar elaboración de miel.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
11	Remover la división del techo (número 7 en figura 6).	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
12	Ubicar potes de miel y abrir la capa insertando un palillo de madera.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
13	Insertar el palillo dentro del bote en busca de miel. Si no hubiese, considerar colocar una fuente de alimentación externa a base de agua y azúcar (proporción 1:2 respectivamente) cerca de la colmena.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
14	Examinar temperatura y humedad interior.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas:		
15	Revisar la pantalla que despliega los valores del sensor. Los rangos deberían encontrarse entre 27 a 32° C de temperatura y 60 a 80 de humedad.	Cindy Huber
Desviaciones encontradas: condiciones fuera de los rangos		

Figura 48: Ubicación inicial de sensor



Figura 49: Estado del sensor



Figura 50: Construcción de piqueta



Figura 51: Construcción de potes adicionales



Figura 52: Inicio de orificios tapados con cera



Figura 53: Condiciones ambientales dentro de la caja



Figura 54: Primer monitoreo para caja no. 2

Caja no. 2		Responsable
Paso	Condición por cumplir	Fecha (A / M / A)
1	Inspeccionar aberturas de la colmena para determinar si las abejas se han adaptado.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
2	Examinar si la caja se encuentra casi vacía desde el traslado de las abejas al día de la revisión.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
3	Si se encuentra vacía, detenerse aquí.	
Desviaciones encontradas:		
4	Examinar actividad recolectora de polen de la colmena.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
5	Contar la cantidad de abejas que entran y salen de la piquera durante 1 minuto.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
6	Anotar resultados en el cuadro 1.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
7	Examinar presencia de parásitos (larvas blancas) en los pots de miel.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
8	Si hay parásitos, detenerse aquí y proceder a un tratamiento de eliminación de los mismos (método del lavado con alcohol).	
Desviaciones encontradas:		
9	Examinar elaboración de miel.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
11	Remover la división del techo (número 7 en figura 8).	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
12	Ubicar pots de miel y abrir la capa insertando un palillo de madera.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas: <i>no hay pots nuevos, quedan pocos disponibles</i>		
13	Insertar el palillo dentro del pote en busca de miel. Si no hubiese, considerar colocar una fuente de alimentación externa a base de agua y azúcar (proporción 1:2 respectivamente) cerca de la colmena.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
14	Examinar temperatura y humedad interior.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas:		
15	Revisar la pantalla que despliega los valores del sensor. Los rangos deberían encontrarse entre 27 a 32° C de temperatura y 60 a 80 de humedad.	Cindy Kubler
Desviaciones encontradas: <i>condición fuera de los rangos</i>		

Figura 55: Construcción de primera piquera



Figura 56: Construcción de segunda piqueta



Figura 57 : Estado de los pots



### 11.3. Segunda revisión

#### 11.3.1. Caja de colmena no. 1

Figura 58: Segundo monitoreo para caja no. 1

Cuadro 6: Monitoreo

Paso	Condición por cumplir	Responsable
		Fecha (M/A/A)
1	Inspeccionar abrevadero de la colmena para determinar si las abejas se han adaptado.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
2	Examinar si la caja se encuentra con vista desde el traslado de las abejas al día de la revisión.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
3	Si se encuentra vista, detenerse aquí.	
Desviaciones encontradas:		
4	Examinar actividad recolectora de polen de la colmena.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
5	Contar la cantidad de abejas que entran y salen de la piqueta durante 1 minuto.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
6	Anotar resultados en el cuadro 4.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
7	Examinar presencia de parásitos (larvas blancas) en los potes de miel.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
8	Si hay parásitos, detenerse aquí y proceder a un tratamiento de eliminación de los mismos (método del lavado con alcohol).	
Desviaciones encontradas:		
9	Examinar elaboración de miel.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
11	Remover la división del techo (número 7 en figura 8).	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
12	Ubicar potes de miel y alzar la capa insertando un palillo de madera.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
13	Insertar el palillo dentro del hote en línea de miel. Si no hubiese, considerar colocar una fuente de alimentación externa a base de agua y azúcar (proporción 1:2 respectivamente) cerca de la colmena.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
14	Examinar temperatura y humedad interior.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
15	Revisar la pantalla que despliega los valores del sensor. Los rangos deberían encontrarse entre 27 a 32° C de temperatura y 60 a 80 de humedad.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas: condiciones fuera de los rangos		

Figura 59: Estado de piqueta



Figura 60: Construcción de cera en orificios de división de nido



Figura 61: Condiciones ambientales dentro de la caja



Figura 62: Construcción de nuevos potes



### 11.3.2. Caja de colmena no. 2

Figura 63: Segundo monitoreo para caja no. 2

Cuadro II: Monitoreo

Paso	Condición por cumplir	Responsable
		Fecha (M/Año/Día)
1	Imprimir zonas abucheras de la colmena para determinar si las abejas se han adaptado.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
2	Examinar si la caja se encuentra así vacía desde el traslado de las abejas al día de la revisión.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
3	Si se encuentra vacía, detenerse aquí.	
Desviaciones encontradas:		
4	Examinar actividad y vectorización de polen de la colmena.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
5	Contar la cantidad de abejas que entran y salen de la piquera durante 1 minuto.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
6	Anotar resultados en el cuadro 4.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
7	Examinar presencia de parásitos (larvas blancas) en los potes de miel.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
8	Si hay parásitos, detenerse aquí y proceder a un tratamiento de eliminación de los mismos (método del lavado con alcohol).	
Desviaciones encontradas:		
9	Examinar elaboración de miel.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
11	Revisar la división del techo (número 7 en figura 8).	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
12	Ubicar potes de miel y abrir la tapa insertando un palillo de madera.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas: <b>no hay potes</b>		
13	Insertar el palillo dentro del pote en busca de miel. Si no hubiere, considerar colocar una fuente de alimentación externa a base de agua y azúcar (proporción 1:2 respectivamente) cerca de la colmena.	
Desviaciones encontradas:		
14	Examinar temperatura y humedad interior.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas:		
15	Revisar la pantalla que despliega los valores del sensor. Los rangos deberían encontrarse entre 27 a 32° C de temperatura y 60 a 80 de humedad.	Cindy Luber
Desviaciones encontradas: <b>condiciones fuera de la target</b>		

Figura 64: Estado de piquera



Figura 65: Construcción de cera en orificios de división de nido



Figura 66: Condiciones ambientales dentro de la caja



Figura 67 : Colmena abandonada



Figura 68: Modelo impreso en 3D del tubo para trampa de moscas



Figura 69: Montaje de trampa de moscas



Figura 70: Montaje de trampa en piqueta



Figura 71: Plano para diseño final de caja de colmena

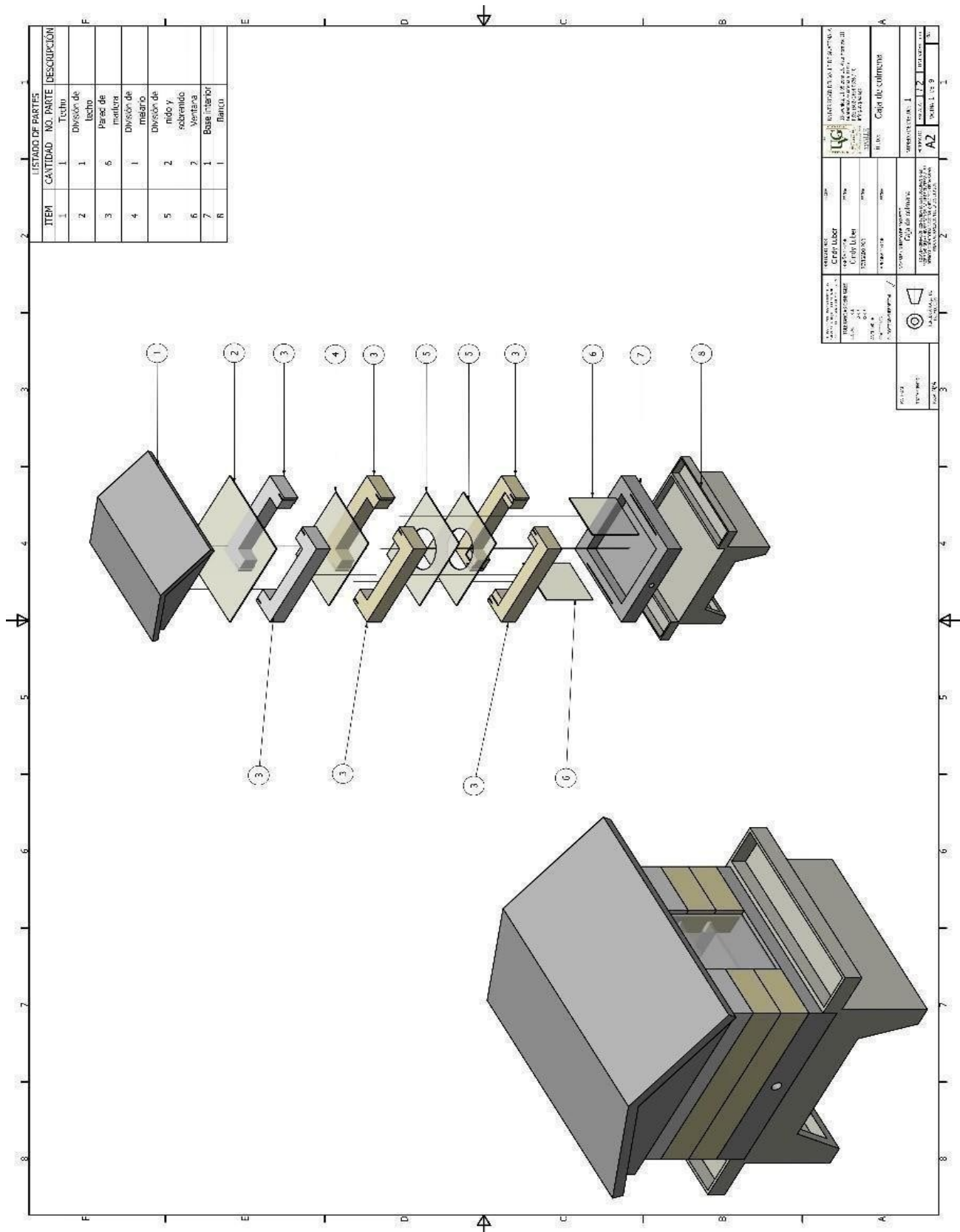
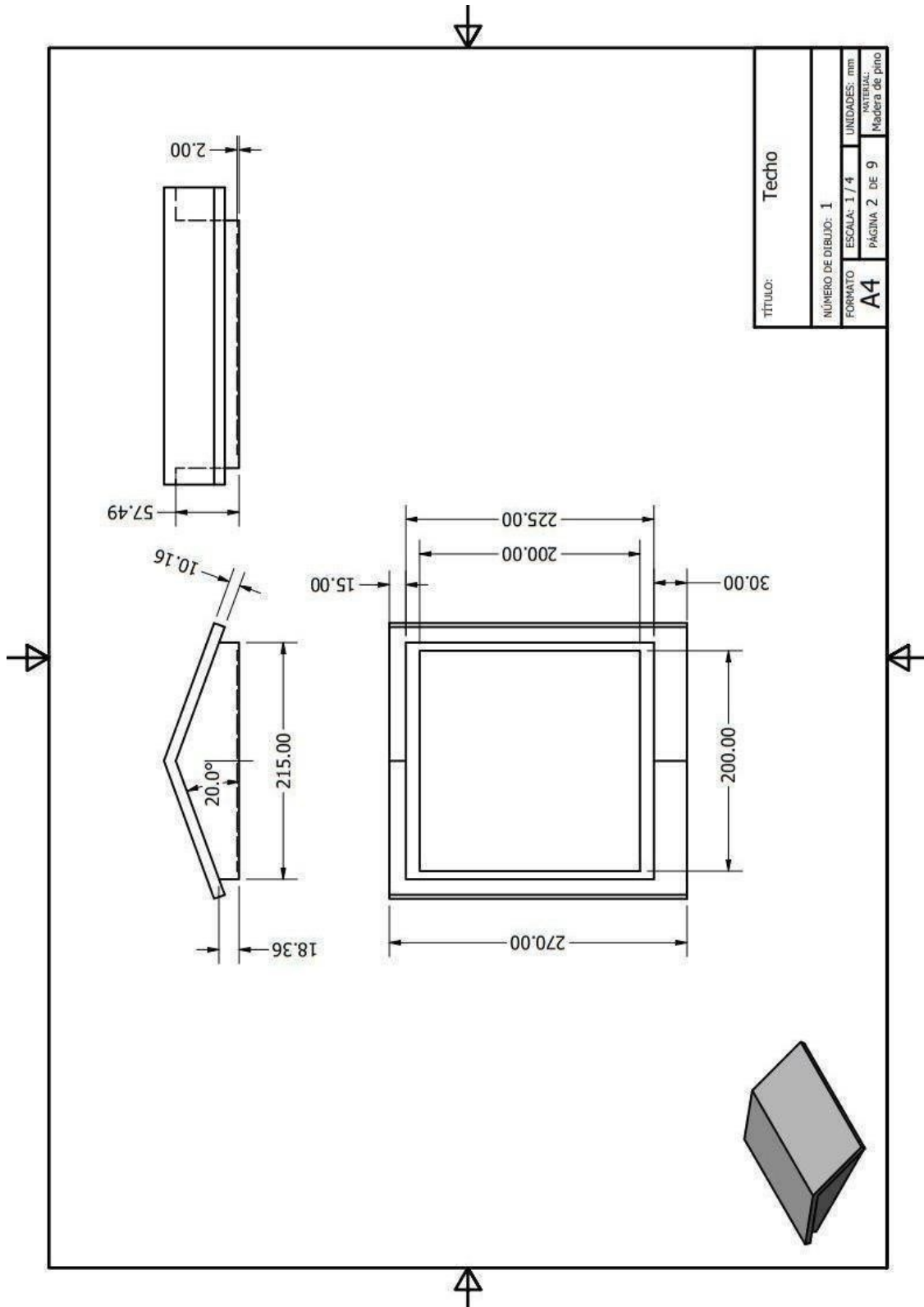
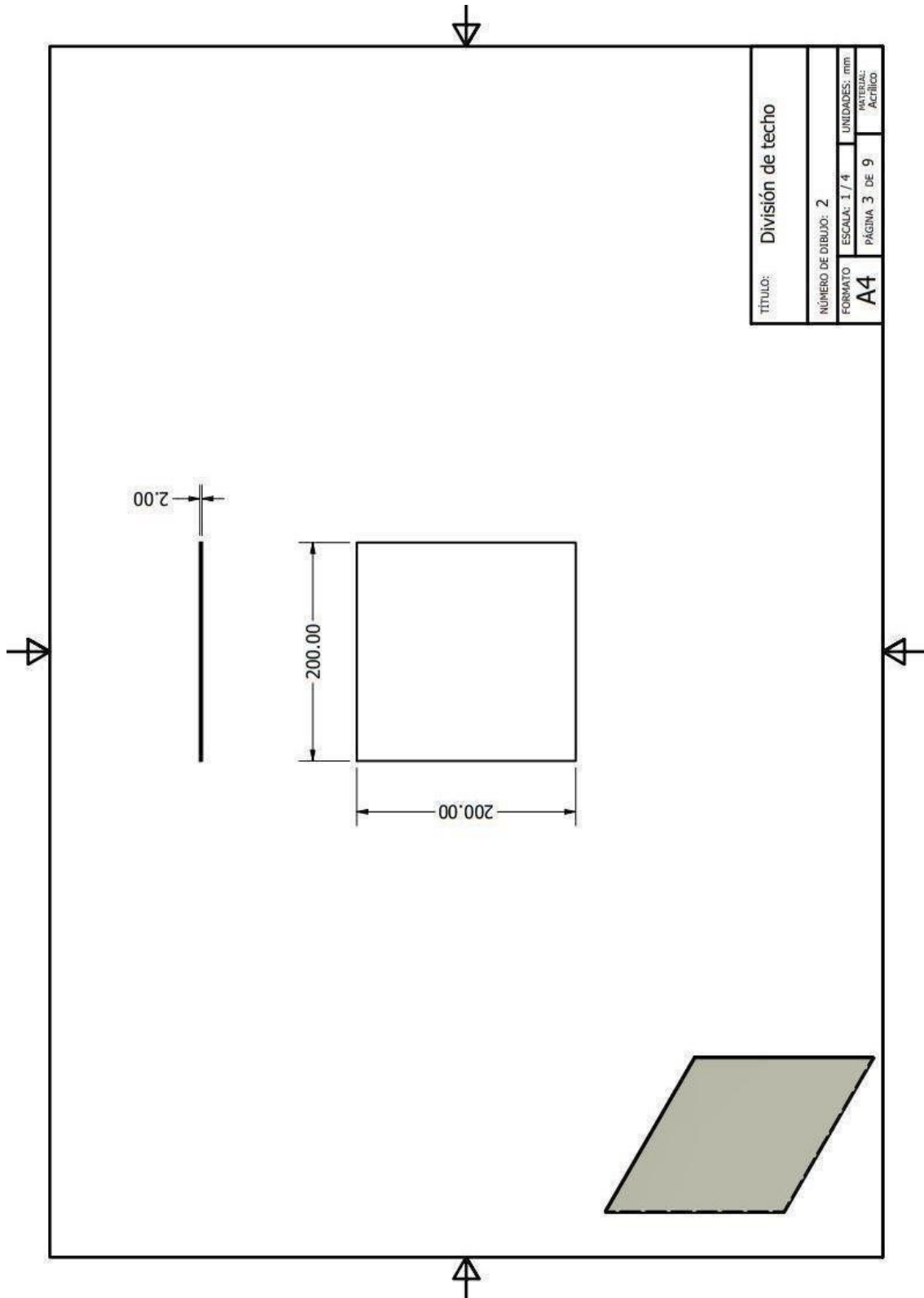


Figura 72: Plano para techo de diseño final



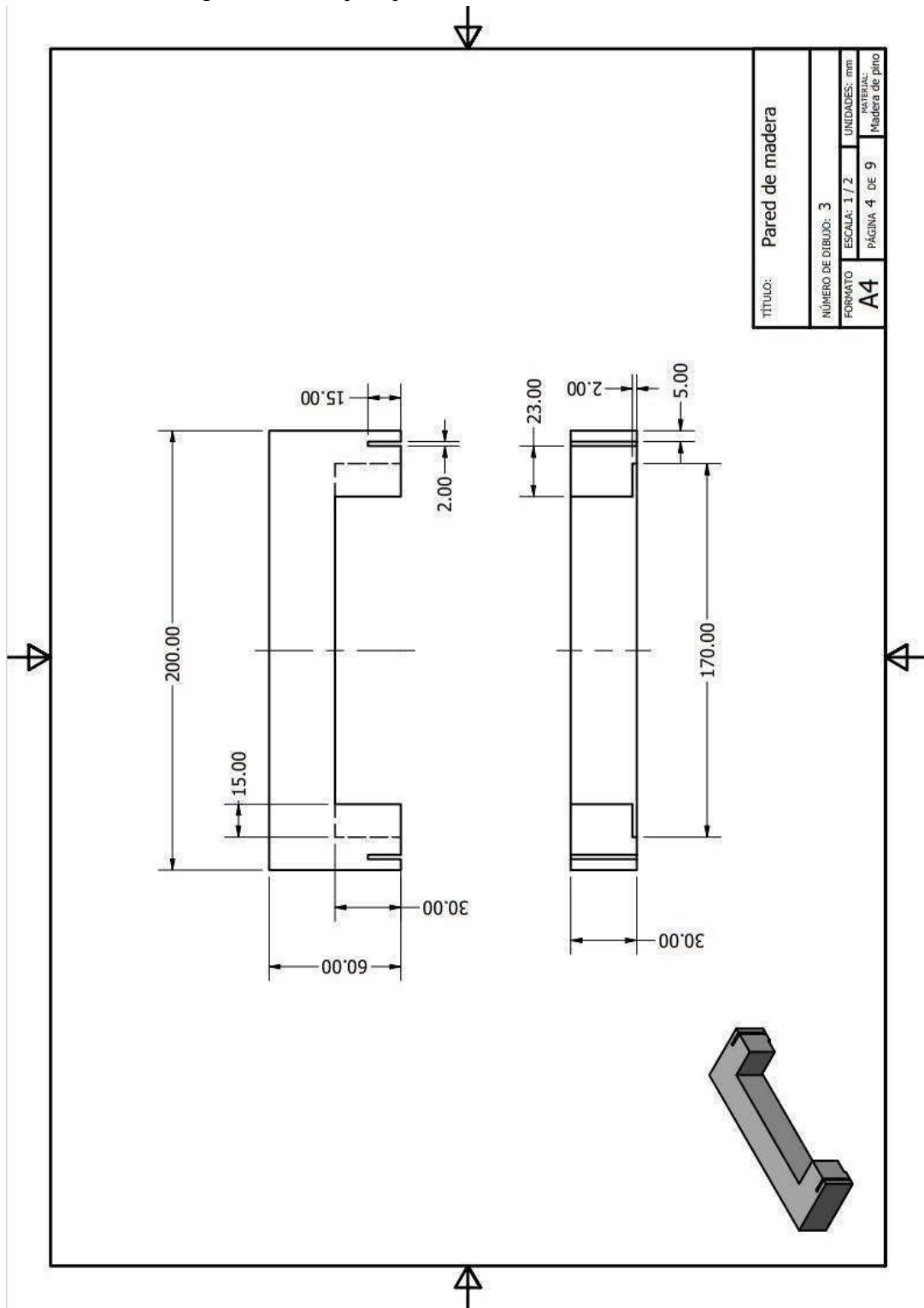
Fuente: Elaboración propia

Figura 73: Plano para división de techo de diseño final



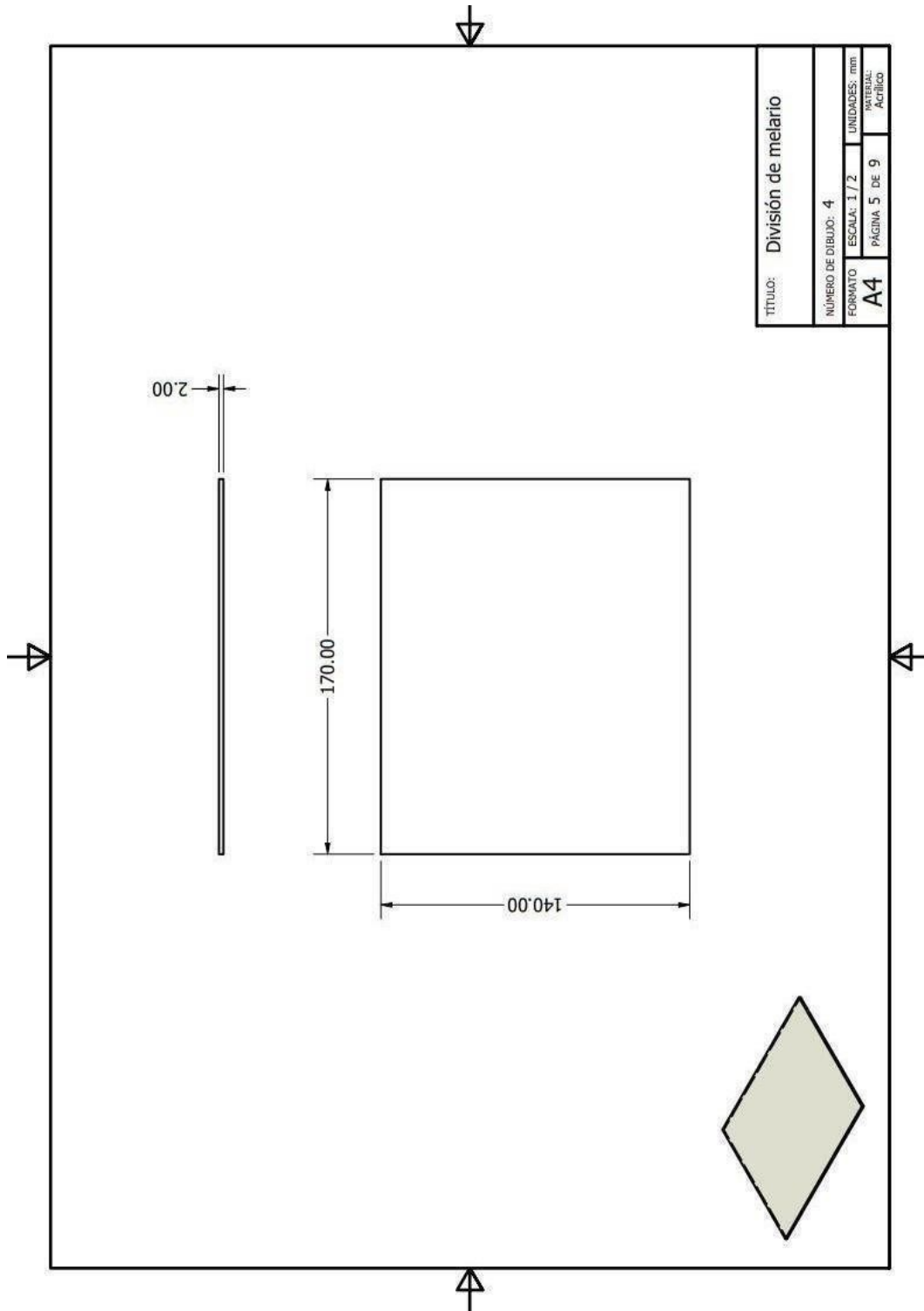
Fuente: Elaboración propia

Figura 74: Plano para pared de madera de diseño final



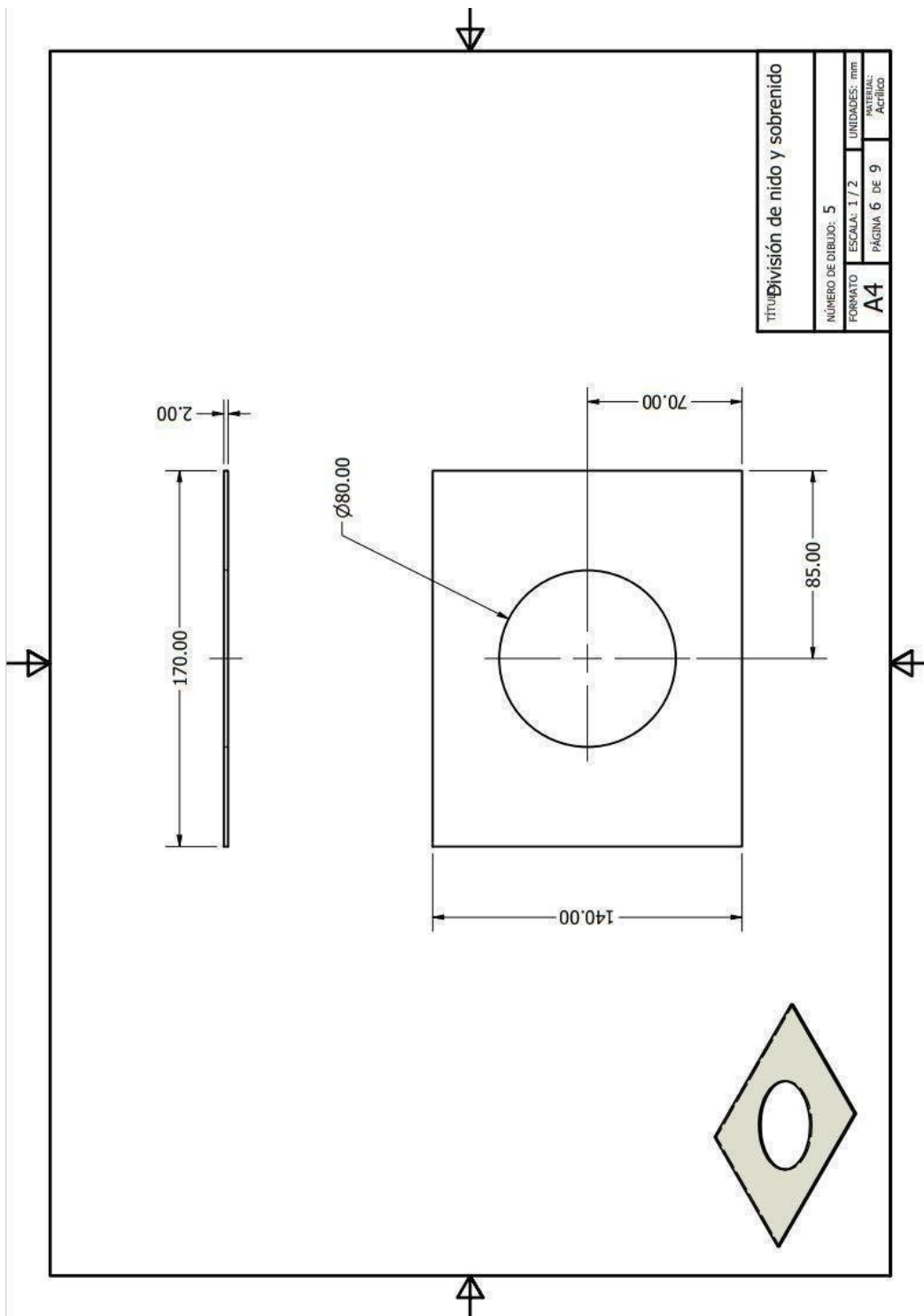
Fuente: Elaboración propia

Figura 75: Plano para división de melario de diseño final



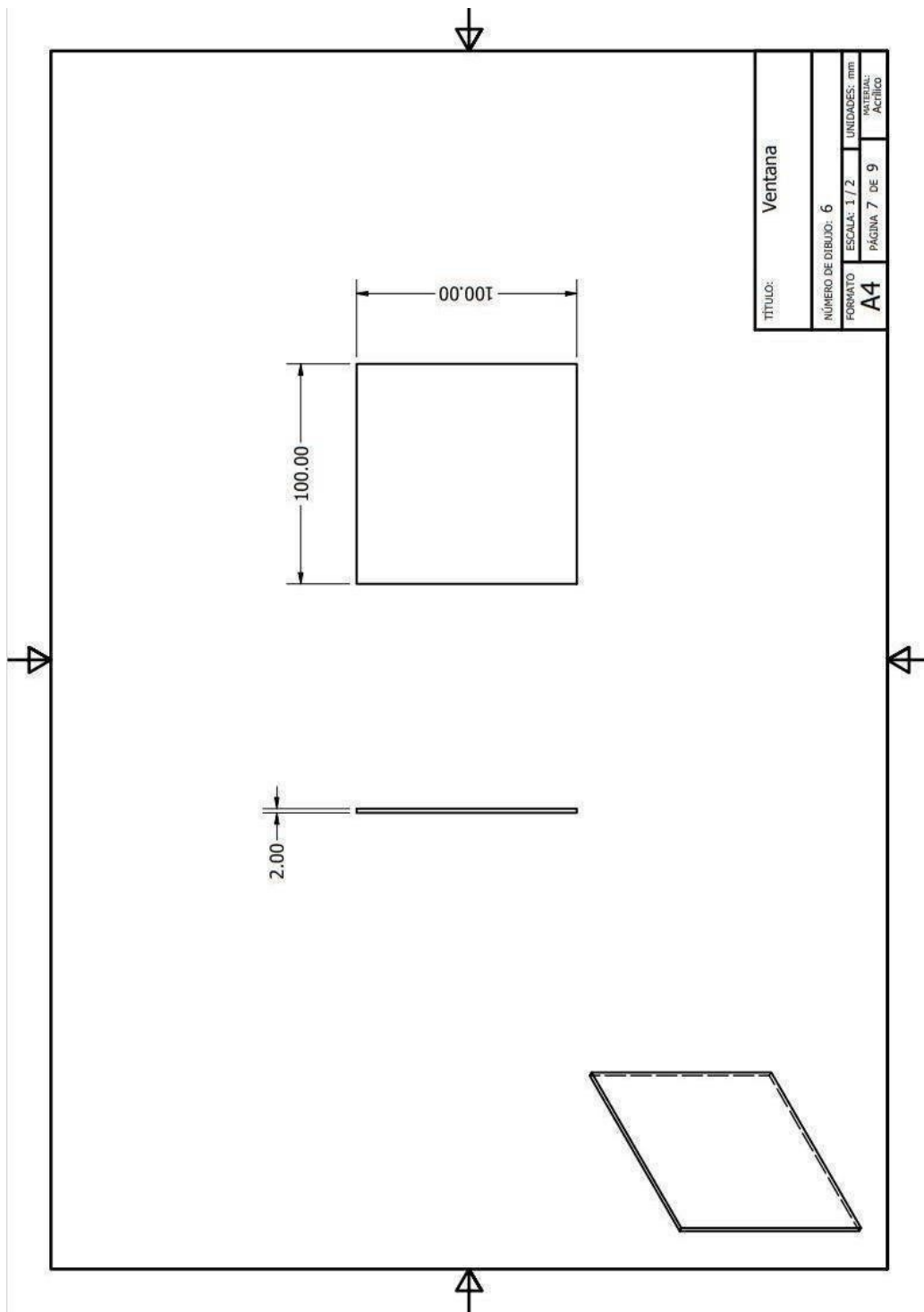
Fuente: Elaboración propia

Figura 76: Plano para división de nido y sobrenido de diseño final



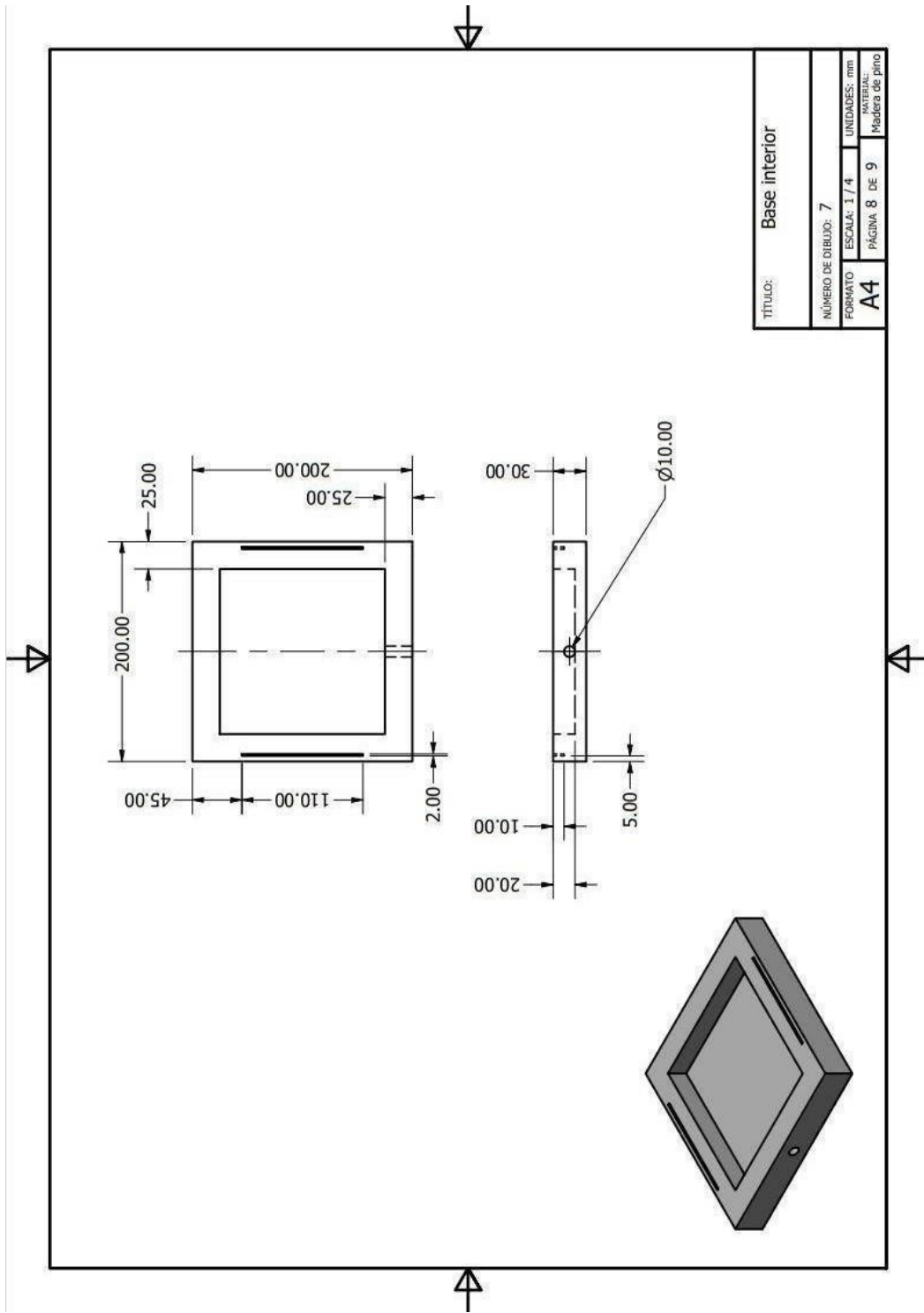
Fuente: Elaboración propia

Figura 77: Plano para ventana de diseño final



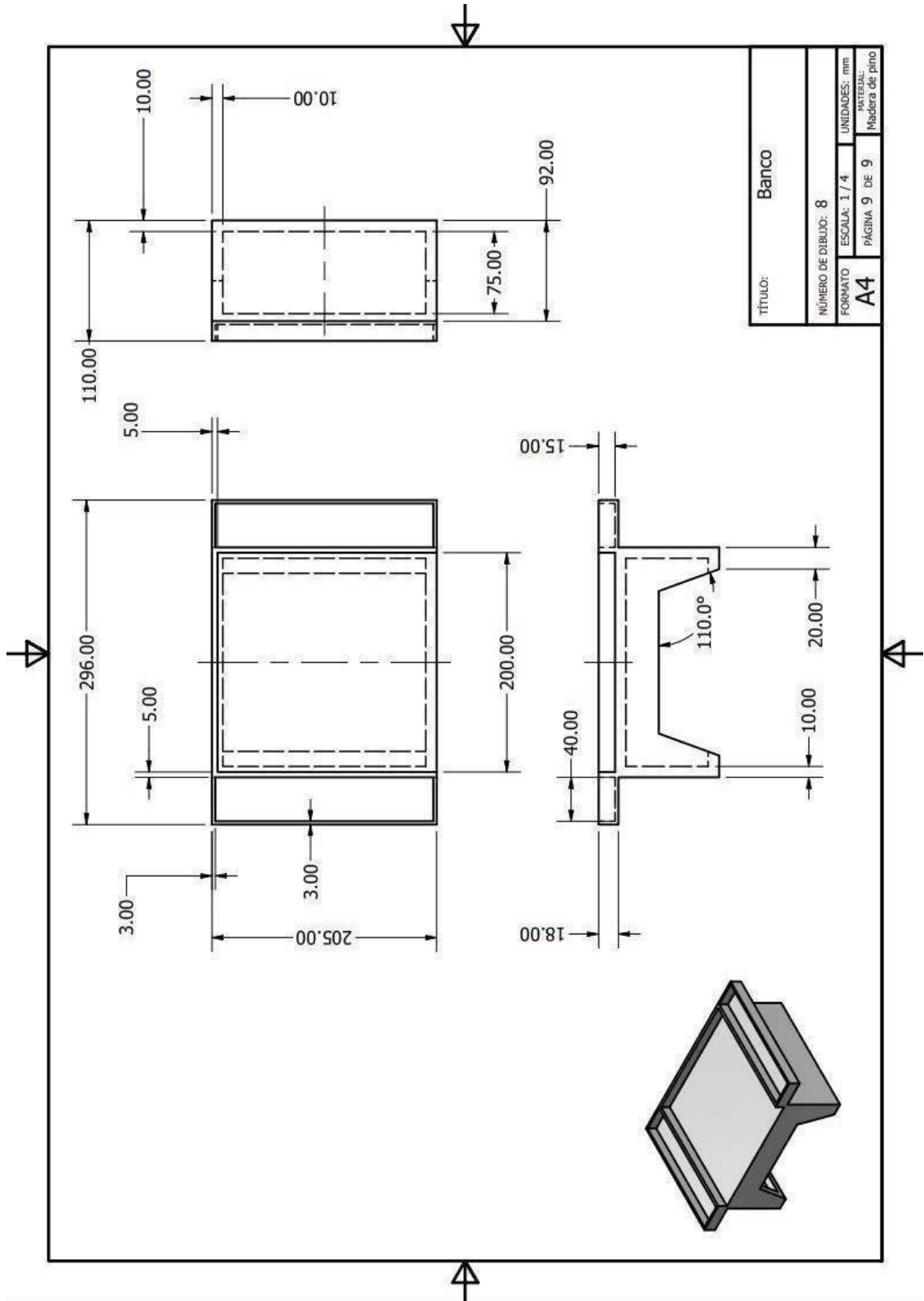
Fuente: Elaboración propia

Figura 78: Plano para base interior de diseño final



Fuente: Elaboración propia

Figura 79: Plano para banco de diseño final



Fuente: Elaboración propia