

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE LÁMINAS DE CERA DE ABEJAS

NICOLÁS TELLO QUIROZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2022

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA DE LÁMINAS DE CERA DE ABEJAS

NICOLÁS TELLO QUIROZ
2159600

Trabajo de grado

Director:
Johanny Franchesco Niño Fonseca
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2022

CONTENIDO

Pág.

1.	GENERALIDADES	14
1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3	MARCO TEÓRICO	16
1.4	MARCO CONCEPTUAL.....	19
1.5	ALCANCE.....	20
1.6	OBJETIVOS	20
1.6.1	Objetivo general.....	20
1.6.2	Objetivos específicos.....	20
2.	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	22
3.	DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ELABORAR LÁMINAS DE CERA DE ABEJAS	32
3.1	DISEÑO METODOLÓGICO	32
3.2	VIGILANCIA TECNOLÓGICA	33
3.3	ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA.....	36
3.4	GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	37
3.5	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	39
3.5.1	Metodología QFD	40
3.5.2	Análisis del QFD	41
3.5.3	Selección de alternativas.....	42
3.5.4	Conceptos	42
3.6	CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO.....	43
3.6.1	Cálculos preliminares	43
3.6.2	Cálculo de calor en un elemento finito de lámina	47
3.6.3	Cálculo de ejes	49
3.6.4	Cálculo lengüetas	52
3.6.5	Cálculo rodamientos	52
3.6.6	Cálculo Engranajes.....	55

3.6.7	Cálculo Soldaduras.....	57
3.6.8	Cálculo Tornillos	58
3.6.9	Cálculo Pandeo	60
3.6.10	Cálculo del controlador electrónico.....	61
3.6.11	Selección de la bomba	62
3.7	MODELADO EN SOFTWARE CAD	63
3.8	PRESUPUESTO Y COSTOS DE MANUFACTURA.....	64
3.9	FABRICACIÓN Y ENSAMBLE	66
3.10	PRUEBAS Y VALIDACIÓN	79
4.	CONCLUSIONES.....	89
5.	RECOMENDACIONES.....	91
6.	REFERENCIAS	92

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Costos fijos de funcionamiento empresa Beeswax	26
Tabla 2. Número de colmenas en Colombia	26
Tabla 3. Apoyo financiero proyectos apícolas	27
Tabla 4. Flujo de caja mensual empresa Beeswax	30
Tabla 5. (Continuación) Flujo de caja mensual empresa Beeswax	30
Tabla 6. Flujo de efectivo empresa Beeswax 5 años.	31
Tabla 7. Indicadores financieros del proyecto	31
Tabla 8. Máquina hecha en China.....	34
Tabla 9. Máquinas de láminas de cera de abejas	34
Tabla 10. (Continuación) Máquinas de láminas de cera de abejas	35
Tabla 11. (Continuación) Máquinas de láminas de cera de abejas	36
Tabla 12. Método de Pugh	43
Tabla 13. Datos cera de abejas.....	44
Tabla 14. Flujo de calor promedio en rodillos de aluminio. ANSYS	46
Tabla 15. Flujo de calor promedio en rodillos de nylon. ANSYS	47
Tabla 16. Cálculo de Calor y Velocidad Mínima de los Rodillos.....	47
Tabla 17. (Continuación) Cálculo de calor y velocidad mínima de los rodillos	48
Tabla 18. Precálculo del diámetro del eje a torsión pura.....	50
Tabla 19. Diseño a fatiga del eje	51
Tabla 20. Cálculo lengüeta.....	52
Tabla 21. Catálogo rodamientos SKF 12 mm de diámetro.....	53
Tabla 22. (Continuación) Catálogo Rodamientos SKF 12 mm de Diámetro	53
Tabla 23. Cálculos para aproximar valores de C y Co	54
Tabla 24. Factores de carga equivalente para cojinetes de bola	55
Tabla 25. Cálculo de carga equivalente definitiva	55
Tabla 26. Cálculo de engranajes rectos a desgaste.....	56
Tabla 27. (Continuación) Cálculo de engranajes rectos a desgaste	56
Tabla 28. (Continuación) Cálculo de engranajes rectos a desgaste	57

Tabla 29. Cálculo de altura de la soldadura en uniones de la estructura	58
Tabla 30. Cálculo tornillos que sujetan apoyos de las cubetas	58
Tabla 31. (Continuación) Cálculo Tornillos que sujetan apoyos de las cubetas.....	59
Tabla 32. Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF	59
Tabla 33. Especificaciones SAE para pernos de acero.....	59
Tabla 34. Resistencia a la tensión y fluencia AISI 1006	60
Tabla 35. Cálculo de miembros a pandeo	60
Tabla 36. Cálculo de controlador electrónico 5V	62
Tabla 37. Costos máquina cera de abejas	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cajón con cuadros de una colmena.....	15
Figura 2. Máquina de calandrado de caucho	17
Figura 3. Láminas grabadas de forma artesanal	17
Figura 4. Molde portátil para conformado de cera de abejas	18
Figura 5. Trozo de cera con miel de abejas	19
Figura 6. Cera de abejas virgen	23
Figura 7. Apiario - Piedras - Tolima.....	24
Figura 8. Resultados de la encuesta – pregunta 1	24
Figura 9. Resultados de la encuesta – pregunta 2	28
Figura 10. Resultados de la encuesta – pregunta 3	28
Figura 11. Resultados de la encuesta – pregunta 4	29
Figura 12. Concepto Máquina 1. Solid Edge 2.020	37
Figura 13. Concepto Máquina 2. Solid Edge 2.020	38
Figura 14. Concepto Máquina 3. Solid Edge 2.020	39
Figura 15. QFD evaluación de alternativas	40
Figura 16. Perfil de temperatura en rodillos en aluminio. ANSYS	45
Figura 17. Flujo de calor en rodillos de aluminio. ANSYS	45
Figura 18. Perfil de temperatura en rodillos en nylon. ANSYS	46
Figura 19. Flujo de Calor en Rodillos de nylon. ANSYS.....	46
Figura 20. Diagrama de cuerpo libre plano YZ. ForceEffect	49
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre plano XZ. ForceEffect	49
Figura 22. Rodamientos SKF 12 mm de diámetro	53
Figura 23. Segundo momento del área unitaria	57
Figura 24. Esquema circuito para el controlador LM555P	61
Figura 25. Ensamble máquina de cera de abejas	63
Figura 26. Uniones soldadas estructura.....	66
Figura 27. Tanque de cera con resistencia eléctrica	67
Figura 28. Anclaje sistema hidráulico	67

Figura 29. Motor de pasos D.C.	68
Figura 30. Ensamble tablero eléctrico	69
Figura 31. Prueba ataque químico en un tubo de acero inoxidable	70
Figura 32. Modelado CAD rodillo después del proceso	70
Figura 33. Calentamiento de la superficie del rodillo	71
Figura 34. Rodillo estampado con tinta laser	71
Figura 35. Experimento ataque químico (agua con sal) con 24 V	72
Figura 36. Rodillo grabado después del proceso y la limpieza de la tinta	72
Figura 37. Rodillo grabado mecanizado CNC	73
Figura 38. Imprimiendo pieza de prueba	74
Figura 39. Rodillo grabado final en impresión 3D.....	74
Figura 40. Prueba de grabado y adherencia con la pieza quieta	75
Figura 41. Pedazo de cera grabada	75
Figura 42. Grabado acoplado al cilindro.....	76
Figura 43. Sistema mecánico acoplado	77
Figura 44. Montaje final máquina de láminas de cera de abejas.....	78
Figura 45. Características bomba de agua.....	79
Figura 46. Máquina en funcionamiento	80
Figura 47. Sistema de refrigeración final	81
Figura 48. Sistema de engranajes.....	82
Figura 49. Tablero eléctrico final	83
Figura 50. Resistencia eléctrica de la llave de paso.....	84
Figura 51. Temperatura del agua de las cubetas y de la cera en el tanque	85
Figura 52. Retirando lámina de los rodillos	85
Figura 53. Lámina grabada hecha por la máquina	86
Figura 54. Lámina de cera de abejas con suministro de cera constante.....	87

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Datos cera de abejas	Cálculos finales.xlsx
Anexo B. Cálculos Térmicos	Cálculos finales.xlsx
Anexo C. Cálculo Ejes.....	Cálculos finales.xlsx
Anexo D. Cálculo Lengüeta.....	Cálculos finales.xlsx
Anexo E. Cálculo Rodamientos.....	Cálculos finales.xlsx
Anexo F. Cálculo de engranajes rectos a desgaste.....	(F) Cálculo de engranajes rectos a desgaste.xls
Anexo G. Cálculo de engranajes rectos a flexión.....	(G) Cálculo de engranajes rectos a flexión.xls
Anexo H. Cálculo Soldaduras.....	Cálculos finales.xlsx
Anexo I. Cálculo de tornillos	Cálculos finales.xlsx
Anexo J. Cálculo Pandeo	Cálculos finales.xlsx
Anexo K. Cálculos controlador	Cálculos finales.xlsx
Anexo L. Financiero.....	(L) Financiero.xlsx
Anexo M. Video de funcionamiento.....	(M) Video de funcionamiento 1.mp4
Anexo N. Video de funcionamiento 2.....	(N) Video de funcionamiento 2.mp4

RESUMEN

En este documento se presenta el diseño y fabricación de una máquina que realiza láminas de cera de abejas de forma semiautomática en la ciudad de Bogotá D.C.. Para ello se parte de una fase introductoria en la cual se describen aspectos generales de la apicultura y de la cera de abejas. Además, se plantea el problema y justificación, así como los pasos a seguir para identificar el mercado, las posibilidades de diseño y fabricación de la máquina, y la tecnología requerida para su funcionamiento en distintas condiciones.

Por otro lado, se estudia la factibilidad económica para un proyecto de venta de láminas de cera de abejas en la ciudad de Ibagué – Tolima. Mediante la consulta de fuentes primarias y secundarias de información, así como la recolección de datos por medio de encuestas y vigilancia tecnológica, se busca diseñar una máquina y un modelo de negocio acorde con el momento actual del negocio de la cera de abejas en Colombia. El estudio financiero se realiza mediante la estimación de ventas y otros indicadores de interés proyectados a 5 años. Se tiene en cuenta un capital del inversionista de 10.000.000 COP para el estudio, diseño y fabricación, y se le pedirán prestados 15.000.000 COP al banco para el funcionamiento de la empresa por 10 meses.

Los factores de innovación y tecnología fueron pilares fundamentales para el desarrollo de la máquina; ya que en el contexto internacional, pueden costar más de 20.000 USD. El reto fue construir un prototipo funcional de la máquina, utilizando procesos y materiales accesibles al presupuesto acordado. Para su diseño, se realizaron cálculos preliminares de transferencia de calor al conformado de la lámina de cera de abejas, para determinar el tiempo de enfriamiento con distintos tipos de materiales. La transmisión de potencia, que consta de un sistema de engranajes de relación 1:1, se mueve por medio de un motor D.C de 0,5 hp con controlador electrónico. Se calcularon todos los componentes estructurales sometidos a esfuerzos. Se validó la funcionalidad y las variables de la máquina construida. También se exponen los costos del estudio y de manufactura y se realizan recomendaciones para trabajar con cera de abejas.

Palabras claves:

Apicultura, Cera de abejas, Control, Diseño, Emprendimiento, Factibilidad, Manufactura, Máquina, Prototipo, Transferencia de Calor.

ABSTRACT

In this document is presented the design and manufacture of a semiautomatic machine that produce sheets made of beeswax, located in Bogota, besides that the document includes an introduction of how-to beekeeping and general aspects of the beeswax. Complementing the information, a development of the idea considering a problem and justification, adding steps on how to identify the market, the possibilities of the machine in an industrial environment, and the technological development necessary in different conditions.

Another important aspect of the documents is the economic projection made for a project based on selling beeswax sheets in the city of Ibagué - Tolima. Through the consultation of primary and secondary sources of information, as well as the collection of data through surveys and technological surveillance.

The purpose of the project is to design a machine and a business model in accordance with the current moment of the beeswax business in Colombia. The financial study is carried out by estimating sales and other indicators of interesting a 5-year projection; An investor's capital of COP 10.000.000 for the studies, design and manufacturing of the machine, and a bank financing of COP 15.000.000 will be used to operate the company 10 months.

The innovation factors and the technology were fundamental pillars for the development of the machine; because in the international context, a machine like this has a cost of more than 20.000 USD. The main challenge was to build a functional prototype of the machine, using accessible materials and procedures and techniques available in Colombia that fits the estimated budget. For its design, preliminary calculations of the heat transfer to the shaping of the beeswax sheet were made, to determine the cooling time with different types of materials. The power transmission, which consists of a 1:1 ratio gear system, is moved by a 0,5 hp D.C motor with electronic controller. All structural components subjected to stresses were calculated. The functionality and variables of the fabrication of the machine were validated.

Key words: Beekeeping, Beeswax, Control, Design, Entrepreneurship, Feasibility, Heat Transfer, Manufacturing, Machine, Prototype.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se reportaron cerca de 135.117 colmenas en el año 2.019, las cuales producen 3.838 toneladas de miel al año (MADR 2020). En los últimos años, la apicultura ha venido experimentando un crecimiento sostenido, pues en todo el país se han desarrollado proyectos apícolas como proyectos productivos ecológicamente viables para las regiones más afectadas por la violencia, la deforestación y la minería ilegal. Por tanto, se ha establecido como una gran alternativa para campesinos y pequeños agricultores, ya que su inversión inicial es baja comparada con otros sistemas pecuarios, y los beneficios obtenidos solo requieren de un recurso esencial, que es el entorno de las abejas (MADR 2020). En la actualidad la apicultura presenta un gran desarrollo, por lo cual se necesitan insumos de buena calidad y buenas prácticas para desarrollar dichos proyectos.

Uno de los insumos principales es la cera. En un proceso natural, las abejas segregan unas escamas que utilizan para construir sus colmenas. Estas escamas conforman la cera de abejas. Los apicultores utilizan láminas de cera de abejas para organizar el lugar de “trabajo” de las abejas, el cual está enfocado a la reina de la colmena. En este proceso se genera la polinización de una gran variedad de cultivos, flores y árboles (Bogdanov 2016). La polinización dirigida en Colombia está en auge, y en algunos de los cultivos en los cuales se ha aumentado la producción significativamente en el país gracias a este proceso son los de aguacate, café, curuba, fresa, mango, naranja, mora, pepino cohombro y pitaya, entre otros (Pfeiffer, Chamorro y Nates 2016).

Gracias a las iniciativas del gobierno nacional, se ha avanzado en el objetivo de capacitar y apoyar a campesinos y pequeños apicultores para que, en un proceso conjunto, se puedan explotar todas las alternativas de negocio con las que cuenta la apicultura. En los próximos años se espera llegar 1.000.000 de colmenas, lo cual implica que se pueden utilizar más de 6.000.000 de láminas en las colmenas que existen en el país, las cuales se reemplazan cada 6 meses aproximadamente. Además, se espera el crecimiento de la apicultura por ser una alternativa clave asociada a la protección ambiental, de tal forma que es un requisito para las empresas agrícolas exportadoras. Además, es preciso considerar que la apicultura genera alrededor de 9.000 empleos (3.000 empleos directos y 6.000 empleos ocasionales) (MADR 2020).

Este proyecto busca reemplazar la fabricación artesanal de las láminas, con una máquina que cumpla con las necesidades del cliente y que a su vez sea accesible para futuros proyectos de venta de láminas de cera de abejas. Es un momento importante para la apicultura, debido al interés en el gobierno nacional, y al diseño de diversos proyectos para la protección de las abejas, teniendo en cuenta que desde hace algunos años se

viene reportando la extinción masiva de miles de colmenas en toda Colombia por uso indebido e incorrecto de agroquímicos (Cámara Procultivos ANDI 2020).

El desafío del proyecto ha sido el construir un prototipo de bajo costo y que fuera 100% funcional. Para ello se buscaron los mejores procesos y materiales para realizar prototipos y probar los funcionamientos de las máquinas, realizando los ajustes pertinentes para competir con las máquinas exhibidas en el mercado asiático y europeo.

1. GENERALIDADES

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El actual crecimiento de la apicultura en Colombia trae consigo nuevos retos en la agricultura, especialmente en lo que se refiere a la polinización dirigida, pues se genera una mejora significativa en producción y calidad de diversas flores y frutos. Además, no solo se polinizan los cultivos seleccionados, sino también la flora y vegetación de la región, ya que las abejas trabajan varios kilómetros a la redonda (Cámara Procultivos ANDI 2020). Gracias al apoyo del gobierno se ha venido promoviendo un desarrollo progresivo y sostenido, ayudando a los campesinos y pequeños apicultores a entrar en la cadena productiva de las abejas, con el fin de que puedan comercializar sus productos al precio justo y mejorar su competitividad por medio de la conformación de asociaciones, empresas y centros de acopio de productos de las abejas como la miel, el polen, el propóleo, la cera, entre otros (MADR 2020).

Este proyecto surge con la necesidad de suplir el mercado de las láminas de cera de abeja, ya que con el auge de la apicultura en la polinización dirigida de cultivos y en los productos de la cadena de las abejas, se requieren los insumos necesarios para desarrollar la práctica. En Colombia se consumieron 3.838 toneladas de miel de abejas en el año 2019, con un incremento sostenido del 5% anual entre el 2.012 y 2.019 (MADR 2020). El aumento se debe al mejoramiento de las prácticas y técnicas de producción de campesinos y pequeños apicultores, además de los grandes productores. Por otro lado, se resalta que el consumo de los productos de las abejas se asocian con múltiples propiedades en beneficio de la salud humana (Bogdanov 2020).

Actualmente, las potencias en apicultura son China, Turquía, Argentina, Irán, Estados Unidos, Rusia, México, entre otros (MADR 2020). El ideal es llegar a competir en los próximos años con países del continente como Argentina, Estados Unidos, México, Brasil, Canadá, Uruguay y Chile. Colombia ocupa el puesto 10 en producción de miel anual, y produce menos miel que países con un área de superficie menor como Uruguay, Chile, Cuba y Guatemala. Colombia cuenta con un gran potencial para la producción apícola, debido a la ausencia de estaciones. Su riqueza floral y su amplio territorio por explotar, hacen de estas condiciones, importantes para el desarrollo de la apicultura y la cadena de las abejas, fabricando productos de mejor calidad y auténticos, y generando valor agregado a la práctica (MADR 2020).

1.2 JUSTIFICACIÓN

El apicultor en cada cajón de colmena puede utilizar 10 cuadros, cada uno con la lámina de cera de abejas bien ubicada. Normalmente, de esos 10 espacios se usan de 6 a 10 láminas, dependiendo de la población de abejas y otros factores asociados al clima y al ambiente. Los apicultores suelen organizar estas colmenas cerca de los cultivos que

desean polinizar, o de un espacio ciertamente adecuado con sistemas de seguridad y fácil acceso tanto para el apicultor como para la abeja (MADR 2020). En la figura 1 se observa un cajón con cuadros usado en una colmena.

Figura 1. Cajón con cuadros de una colmena



Fuente: Autor

La producción industrial de cera de abejas comienza a mediados del siglo XIX. En 1.857, un apicultor alemán llamado Mehring funde láminas grabadas, debido al auge de la apicultura en esa región. De esta forma, se comenzó a producir también a pequeña escala, y comenzó su comercialización en los países europeos (Bogdanov 2016).

En Colombia, la apicultura es un sector pequeño, y aún existe desconocimiento en torno a especificidades de los diversos procesos requeridos, como la extracción de miel, polen, propóleo y cera. Esto implica que la calidad de los productos se vea afectada, razón por la cual se viene trabajando en campañas de buenas prácticas, generación de empleo, emprendimiento, inversión en investigación y en créditos, con el fin de mejorar los productos que se están consumiendo en el país. De esta forma es posible generar confianza y satisfacción en los clientes finales, teniendo en cuenta que el consumo es clave para que la cadena siga creciendo (Cámara Procultivos ANDI 2020).

El inversionista plantea el diseño de una empresa que se recibirá el nombre “Beeswax”, encargada de la manufactura y comercialización de láminas de cera de abejas necesaria para la apicultura. Los principales clientes de la empresa son los campesinos, pequeños apicultores, acopiadores y apicultores que polinizan cultivos. Teniendo en cuenta que la cera de abeja también puede utilizarse en las industrias de alimentos, belleza y farmacéutica, es importante que a medida que la empresa crezca se puedan fabricar otro tipo de productos (MADR 2020).

El proyecto surge con la necesidad de optimizar este proceso artesanal, ya que se quieren vender láminas de forma industrial para competir en la apicultura creciente. Este método viene siendo implementado en la apicultura en otros países de Europa y Asia, como Alemania, Italia, China, Japón y Corea del sur entre otros (Kohsaka, Park y Uchiyama 2017).

De esta manera, plantear el diseño y fabricación de una máquina es el punto de partida más importante para la empresa Beeswax, pues se parte de un importante enfoque en la innovación. Apropiarse de la tecnología y entender los procesos es parte del desarrollo de la idea de negocio; y hacer una máquina competitiva para la región aportará significativamente en la práctica de la apicultura.

Como empresa, es necesario evaluar el impacto generado con la máquina respecto a la práctica realizada de manera artesanal, en cuestión de calidad y tiempos de manufactura. Es esencial, además, identificar las variables que puedan mejorar la productividad para así promover la consolidación en el campo de la apicultura. Finalmente, teniendo en cuenta que el ingeniero mecánico tiene la capacidad de plantear soluciones de ingeniería a problemas de la vida diaria, se parte de reconocer que la apicultura le sirve significativamente a la agricultura y a la población en general. Por tanto, este desarrollo es de suma importancia, pues es una forma para empezar a ser la despensa alimenticia de Latinoamérica.

1.3 MARCO TEÓRICO

Existen dos procesos ampliamente usados en la fabricación de láminas de cera de abejas: el proceso de calandrado y el proceso de conformado utilizando moldes.

El calandrado es un proceso con el cual se logra conformar una lámina de material a partir de materia prima caliente o fría, principalmente papel, textiles y plásticos. Consiste en dos rodillos que generalmente trabajan a presión, haciendo pasar el material en medio de ellos para estirar el material, dejándolo de un espesor uniforme. En muchos de los casos es usado para grabar en las superficies o para aplicar recubrimientos. Es un proceso ampliamente usado en la industria del caucho, especialmente en la fabricación de llantas. En la figura 2 se observa una máquina de calandrado:

Figura 2. Máquina de calandrado de caucho



Fuente: (Cjp24 2008)

El proceso realizado de forma artesanal consiste en calentar la cera a una temperatura de 70 °C en un contenedor. Por otro lado, se utilizan tablas de madera que deben ser sumergidas en agua. Luego, se sumerge la tabla en el contenedor de cera. Suficiente cera queda adherida a la superficie de la tabla, tratando de que el excedente vuelva al contenedor. Inmediatamente realizada esta acción, se debe sumergir en otro contenedor con agua a temperatura ambiente para retirarle calor a la lámina adherida a la tabla. De esta forma y cuando la lámina se encuentra completamente sólida, se procede a retirar las láminas de la tabla. De esta forma, el apicultor debe realizar láminas una por una, teniendo en cuenta que no todas las láminas salen del espesor requerido, por lo cual es un proceso que requiere tiempo y atención.

Figura 3. Láminas grabadas de forma artesanal



Fuente: Autor

El otro proceso normalmente utilizado por los apicultores para fabricar las láminas, es un proceso de conformado por molde. Pueden ser moldes de silicona, o moldes maquinados en acero inoxidable. Este proceso es eficaz pero muy poco eficiente, ya que la lámina demorará más tiempo en perder el calor necesario para conformarse. Este es un factor importante el cual depende toda la integridad de la lámina. Por tanto, es un proceso que requiere bastante tiempo, pero al finalizar las láminas quedan completamente grabadas.

Figura 4. Molde portátil para conformado de cera de abejas



Fuente: (Benefitbee 2022)

La cera de abejas es una materia prima que depende principalmente del tipo de abeja. En Colombia, y en varias partes del mundo, se trabaja con la *Apis Mellifera*. Este tipo de abeja ha sido modificada genéticamente a lo largo de la historia, ya que se han encontrado cruces de abejas los cuales presentan una mejor productividad y supervivencia al medio (Bogdanov 2016).

La calidad de esta cera depende en gran parte de los métodos de obtención: por un lado, la cera de abejas 100% pura es la cera virgen, la cual se produce a través de panales que las abejas construyen en la naturaleza y en sus respectivas colmenas, en espacios vacíos y en las láminas que coloca el apicultor.

Figura 5. Trozo de cera con miel de abejas



Fuente: Autor

En el proceso de la mantener la colmena, las propias abejas toman de la cera que les pone el apicultor, y la van moviendo dependiendo del tipo de colmena. Esto es importante tenerlo en cuenta ya que toda esta cera que las abejas van moviendo se va llenando de impurezas. El apicultor cuenta con algunos métodos para recuperar la cera de abejas. Sin embargo, solo el 30% de la cera es recuperada, y el apicultor debe retirar las impurezas por medio de filtros con la cera derretida (Bogdanov 2016).

1.4 MARCO CONCEPTUAL

Acero: Es una aleación entre hierro y carbono con un máximo de 2,11% de carbono. Se le adicionan otros elementos para modificar sus propiedades mecánicas ampliamente utilizadas en la industria.

Apicultor: Quien practica la apicultura.

Apicultura: Es una práctica agrícola que consiste en criar abejas para polinizar cultivos. En el proceso las abejas recolectan diversos productos que son posteriormente comercializados por el apicultor.

Ataque químico: Se utiliza una base para forzar un intercambio de partículas, excitado por una fuente de energía eléctrica.

Cera de abejas: Material que segregan las abejas y que utilizan para construir sus colmenas. Es ampliamente usado en la industria de cosméticos y alimentos.

Engranajes: Es un mecanismo para transmitir potencia dentro de una máquina. Son conformados por dos ruedas dentadas: la de mayor diámetro es llamada corona y la de menor se llama piñón.

Eje: Transmite la potencia entre los engranajes.

Impresión 3D: Proceso que adhiere material normalmente plástico, utilizado para realizar moldes de piezas comunes y con alto grado de complejidad.

Motor de pasos DC: Motor que trabaja con corriente continua y al ser a pasos, se puede configurar de manera electrónica para tener altos grados de precisión, son usados en robots.

Productos apícolas: Cadena de productos derivados de las abejas, tales como la miel, el polen, el propóleo y cera de abejas.

Refrigeración: Sistema con el cual se retira el calor.

Resistencia térmica: Elemento que transforma la energía eléctrica en calor.

1.5 ALCANCE

El desarrollo del proyecto inicia analizando los procesos y maquinaria utilizada en la fabricación de láminas de cera de abejas artesanal e industrial. Se realiza un estudio económico para determinar la factibilidad económica del proyecto; y se plantean diferentes diseños CAD preliminares, para evaluarlos con la herramienta de diseño QFD. De esta forma, y estableciendo el proceso que debe realizar la máquina, se diseñan en detalle los sistemas de transmisión de potencia, transferencia de calor, control y estructura. Se elaboran los planos de manufactura mostrando los sistemas que conforman la máquina. Se realizan pruebas de materiales probando la adherencia de la cera, ya que es un factor importante en el conformado de la lámina.

Posteriormente, se fabrican las partes y piezas con diversos procesos de manufactura y materiales. Se presentan los costos del estudio y fabricación de la máquina. Se ensamblan las piezas fabricadas con las piezas estándar y se procede a montar todo el cableado, junto con los controladores electrónicos, de forma que todos sus sistemas estén en correcto funcionamiento. Luego se procede a realizar las pruebas y validación del prototipo fabricado. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones respecto a la máquina y a las láminas de cera de abejas.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Diseñar y fabricar una máquina para elaborar láminas de cera de abejas.

1.6.2 Objetivos específicos

- Evaluar la factibilidad económica para producir comercialmente láminas de cera de abejas en el departamento del Tolima.

- Diseñar una máquina para elaborar láminas de cera de abejas.
- Fabricar y validar experimentalmente el diseño propuesto.

2. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El crecimiento del sector de la apicultura de 2.012 a 2.019 fue del 5% anual (MADR 2020). Es un sector que se encuentra en un crecimiento constante gracias a la implementación de proyectos apícolas en las regiones. Colombia es un país que se encuentra en una etapa temprana en cuanto al sector de la apicultura, comparándolo con otros países de la región como Argentina, México, Chile, Estados Unidos, entre otros (MADR 2020). Esto hace que cada vez se requieran más insumos de calidad. Por tanto, el paso de una lámina maquilada de forma artesanal a una lámina conformada por una máquina, ayuda a estandarizar el tipo de lámina y la cantidad de material utilizado. Esto ayuda a saber exactamente la cantidad de cera de abejas que se está utilizando, además de automatizar el proceso para lograr mejores tiempos de producción y eficiencia.

Para tecnificar el proceso, es necesaria la construcción de una máquina nacional, acorde con las necesidades del cliente. Sin embargo, las máquinas en el mercado internacional pueden llegar a costar varios millones, por lo cual es importante que la máquina sea accesible también para los pequeños empresarios, quienes buscan también buenas alternativas para aprovechar los productos de las abejas.

Se realizará la factibilidad económica de un proyecto de negocio que se encargue de la fabricación y venta de láminas de cera de abejas en la ciudad de Ibagué – Tolima. Cuenta con una ubicación privilegiada, cerca de numerosos cultivos de frutas y flores. Su fácil acceso al departamento del Tolima y Cundinamarca, hace que la industria de la apicultura sea una práctica en inminente auge. La polinización dirigida se utiliza para la exportación de diversos productos florales y frutales, ya que ayuda a mejorar notablemente la calidad y producción. Por lo tanto, la cantidad de cera que se requiere va a estar en constante movimiento, por lo cual los canales con los proveedores deben ser los más importantes, ya que también serán los primeros clientes de la empresa.

Ibagué es una ciudad mediana, lo cual implica que los costos asociados a la producción y operación de la máquina serán mucho más bajos que en una ciudad grande como Bogotá, debido a que los arriendos y servicios son mucho más económicos. En lo que se refiere a los trabajadores, se espera al comienzo realizar una contratación para una jornada laboral de medio tiempo, que puede ir aumentando dependiendo de las láminas que vaya vendiendo la empresa. Los costos de vida en una ciudad mediana son bajos y la idea de la empresa es también poder ayudar a personas que lo necesiten.

Cabe reconocer que la cera de abejas es el principal insumo de la empresa, el cual se encuentra en la naturaleza en estado virgen, es decir, en las colmenas que hacen las abejas silvestres, y algunas veces en espacios en las colmenas de los apicultores. En la figura 6 se muestra la cera virgen:

Figura 6. Cera de abejas virgen



Fuente: Autor

Esta cera de abejas es indispensable para generar las láminas, por lo cual es importante contactar el personal que atiende las emergencias de las colmenas en las ciudades y municipios aledaños (Bomberos y defensa civil), con los apicultores locales y personas del gremio. De esta forma es posible garantizar que la cera sea de buena calidad, pues en ocasiones suele adulterarse hasta el punto en que queda completamente inservible. Si bien la cera se combina con parafina para darle un poco de estabilidad y flexibilidad a la lámina, no puede superar el 20%, ya que las abejas detectan ese exceso y no trabajan en la lámina grabada (Serra y Orantes 2012).

Generalmente, los apicultores conocen los porcentajes que están utilizando, y utilizan diversos métodos para mantener la calidad de la cera en los procesos de recolección. Por tanto, uno de los focos del proyecto debe ser garantizar la disponibilidad inmediata de láminas de cera de abejas.

Las láminas de cera de abejas se utilizan y se cambian periódicamente por los apicultores, usando de 6 a 10 láminas por caja. Normalmente se organizan en bloques de 1 a 3 cajas, y pueden llegar a ser más de 20 colmenas como en la figura 7.

Figura 7. Apiario - Piedras - Tolima



Fuente: Autor

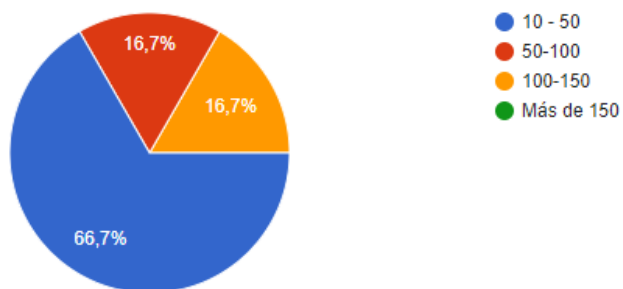
Siguiendo este ejemplo, se utilizarían 200 láminas de cera de abejas. Los apicultores tienen varias razones por las cuales cambian algunas de las láminas en las colmenas o agregan más cuadros para más abejas. De esta manera, las láminas normalmente se cambian en un periodo de 3 a 6 meses. Cuando la colmena cumple su ciclo y el apicultor saca los productos, la cera de la lámina queda prácticamente deteriorada, de tal forma que mucha cera se pierde. Por ello, la cera que se utiliza para las nuevas láminas debe ser prácticamente nueva o mezclada con un poco de cera antigua tratada apropiadamente (Bogdanov 2016).

Se realizó una encuesta a 12 apicultores en tiendas de apicultura de Ibagué, con el motivo de obtener información respecto al planteamiento del negocio de la venta de las láminas. La encuesta también sirvió para conocer precios de comercialización comunes y cantidad de láminas utilizadas por mes. A continuación se muestran los resultados de la encuesta:

Figura 8. Resultados de la encuesta – pregunta 1

Aproximadamente cuántas láminas de cera de abejas utiliza usted al mes?

12 respuestas



Fuente: Autor

Según la encuesta, el valor esperado de ventas de láminas en la ciudad de Ibagué es de 75 láminas de cera. El modelo de negocio de la apicultura en Colombia se practica principalmente en las zonas rurales, y se estima que en Colombia existen alrededor de 3.000 apicultores. De esta manera, el interés de la empresa se encuentra en abarcar toda la región andina, la cual participa en el 51% de la producción nacional de miel (MADR 2020).

Teniendo en cuenta que en Colombia existen más de 120.000 colmenas, y que se quiere llegar a 1 millón de colmenas en todo el territorio, se debe contar con las herramientas apropiadas para abastecer el creciente mercado de la cera de abejas.

La cera que se consigue con los apicultores es normalmente una cera lista para laminar, ya que ellos la mezclan antes con suficiente parafina, y de esta manera venden el bloque sólido entre 30.000 a 45.000 COP el kilogramo. Las láminas se suelen conseguir en las tiendas de apicultura desde 3.000 a 4.000 COP, y se venden según la cantidad que quiera el cliente, generalmente partiendo de montos de 10 láminas. Una lámina de cera de abejas estándar pesa 50 gramos, de tal manera que de 1 kg de cera se obtienen 20 láminas grabadas.

Dependiendo del número de ventas, se maquilarán las láminas y se tendrán también algunas maquiladas de reserva, esperando siempre aumentar las ventas de las láminas. También se va a alquilar el servicio de maquilado al apicultor que desee maquilar las láminas con su propia cera, cobrando 500 COP por cada lámina maquilada.

Se realizó un contacto con el vendedor de una empresa de China, en la cual venden la máquina completamente automática. El precio de la máquina varía entre 18.000 a 22.000 USD sin gastos de envío, aproximadamente 80 millones COP. La máquina elaborada en este proyecto debe ser mucho más económica, pues se quiere desarrollar un negocio factible para la venta de láminas de cera de abejas que está realmente enfocado en producir de forma mediana, tecnificada y de calidad. De esta manera, las personas que decidan hacer la inversión de la máquina, encontrarán el mejor costo-beneficio.

El presupuesto del inversionista para todos los gastos de manufactura de la máquina es de 5.000.000 COP.

En la siguiente tabla se muestran los gastos aproximados de funcionamiento por mes de la empresa Beeswax:

Tabla 1. Costos fijos de funcionamiento empresa Beeswax

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Mantenimiento	2	50.000	100.000
Arriendo y servicios	1	250.000	250.000
Trabajador	0,5	1.000.000	500.000
Crédito del banco	1	470.000	470.000
Gasolina	1	150.000	150.000
Gasto total mensual			\$1.470.000

Fuente: Autor

El operario de la máquina estará encargado de suministrar la cera a la máquina cada que sea necesario, además de saber la cantidad de cera que entra y las láminas que salen; hacer inventario, empacar y enviar las láminas a su destino. También es encargado de su funcionamiento tanto mecánico como eléctrico. Realizará funciones de mantenimiento básicas, como limpieza y lubricación, y debe verificar el correcto funcionamiento de la máquina, evaluando el funcionamiento corrector del tanque y el sistema térmico, el motor, sistema de rodillos, sistema hidráulico, ventilador y estructura. La máquina deberá contar con todos los requisitos de seguridad para que el operario, y cualquier persona que manipule la máquina, cuide de su integridad. Lo anterior es clave considerando que existen piezas móviles, superficies calientes y componentes eléctricos y electrónicos.

Tabla 2. Número de colmenas en Colombia

	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018
Colmenas (No.)	92.793	95.419	97.219	100.881	110.689	120.437

Fuente: (MADR 2020)

Un apicultor emplea entre 50 a 150 láminas al mes para sus colmenas. Cada caja de una colmena requiere de 5 a 10 láminas cuando se instalan y cuando se reemplazan, teniendo máximo 3 cajas por colmena, para un total aproximado de 30 láminas. De esta manera, si se quiere llegar en Colombia a tener 1 millón de colmenas se requerirán más de 1,8 millones de láminas de cera de abejas. Por tanto, este proyecto es importante considerando que ya se están invirtiendo cantidades considerables de dinero en proyectos apícolas. El inminente crecimiento hace que exista un mercado que debe ser suplido con calidad y eficiencia.

Tabla 3. Apoyo financiero proyectos apícolas

Apoyos directos	Valor
Oportunidades Rurales	\$ 447.820.000
ALIANZAS	\$ 1.580.152.000
Subtotal	\$ 2.027.972.000
DRE	Valor
Desarrollo Rural con Equidad (LEC)	\$ 8.243.590
Desarrollo Rural con Equidad (ICR)	\$ 522.143.794
Subtotal	\$ 530.387.384
CREDITO ORDINARIO	Valor
Finagro	\$ 1.402.548.403
Subtotal	\$ 1.402.548.403
TOTAL	\$ 3.960.907.787

Fuente: (MADR 2016)

Teniendo en cuenta los gastos de funcionamiento y los precios en el mercado de la cera en general, se planteó un modelo en el cual la empresa Beeswax vende láminas de cera de abejas, comercializa con cera y maquila láminas a otros apicultores.

Para su funcionamiento, el inversionista aporta 5.000.000 COP, con lo cual se pretende realizar un prototipo funcional de la máquina de láminas de cera de abejas, el cual debe ser probado y verificado, de forma que la máquina tenga oportunidad de mejoras y ajustes para un mejor funcionamiento.

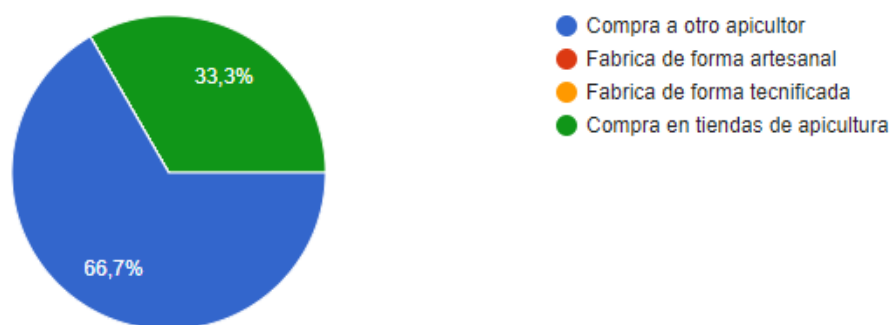
Teniendo en cuenta la cantidad de láminas que se requieren en el mercado, la idea es comenzar con la venta de láminas a partir de materia prima. La maquilada se desarrolla a partir de la materia prima de otros apicultores, por lo cual, para el primer mes, se pretenden vender 300 láminas y 100 láminas maquiladas. Al finalizar el año, se espera una venta de 1.050 láminas y 320 maquiladas.

Teniendo en cuenta la encuesta realizada a apicultores de la región, se pudieron identificar variables en los precios de la materia prima y el precio de venta de las láminas. A la vez, brinda información determinante relacionada directamente con el negocio de las láminas y la máquina que se ha planteado:

Figura 9. Resultados de la encuesta – pregunta 2

Cómo hace usted para conseguir láminas de cera de abejas?

12 respuestas



Fuente: Autor

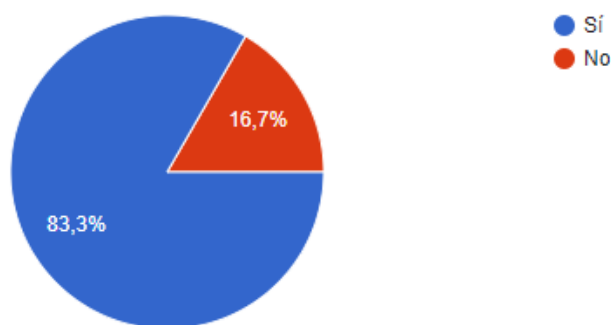
De lo anterior se puede inferir que es un producto que se comercializa entre apicultores y en tiendas de apicultura, pero que son muy pocos los que se encargan exclusivamente de la fabricación de láminas de cera de abejas.

Esto es una gran oportunidad, ya que se identifica un mercado totalmente nuevo y que está muy poco reglamentado. Un producto como la miel es artesanal y orgánicos, de tal forma que tiene una repercusión positiva en los consumidores. Además, la apicultura en general ayuda el crecimiento de la industria alimenticia del país, a pesar de que en comparación con otros países de la región, Colombia ha explotado muy poco ésta práctica (MADR 2020).

Figura 10. Resultados de la encuesta – pregunta 3

Pagaría por maquilar láminas de cera de abejas??

12 respuestas



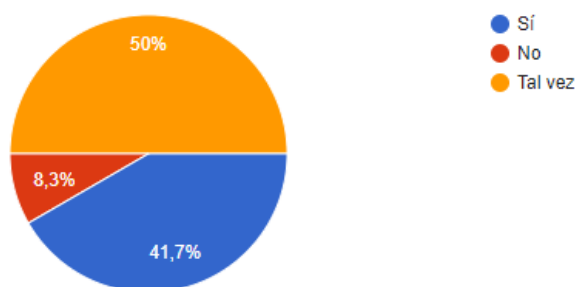
Fuente: Autor

Esta imagen hace referencia a la oportunidad que se tiene para brindar el servicio de maquila con la máquina fabricada. En el lugar de instalación de la máquina, será en donde llegará la materia prima de los clientes para transformarla en láminas. También se plantea a futuro la posibilidad de poder transportar la máquina y dar el servicio a domicilio.

Figura 11. Resultados de la encuesta – pregunta 4

Estaría dispuesto a comprar una máquina que haga láminas de cera de abejas??

12 respuestas



Fuente: Autor

La mayoría de personas, al no tener conocimiento de máquinas en general, tienen dudas respecto a la posibilidad e invertir. No obstante, es posible identificar en qué nivel se encuentran otras regiones que están a la vanguardia en cuestión de apicultura. Por ejemplo, se observa que esta máquina ya existe en el mercado asiático y europeo, que es donde más se toman en serio la polinización y los subproductos de las abejas. Al ser potencias a nivel tecnológico y económico, las máquinas llegan a tener un precio demasiado elevado para un mercado que hasta ahora está naciendo en Colombia. Por tanto, la calidad de manufactura de las máquinas es impecable, y se configuran como una solución integral para los inversores.

Este proyecto quiere promover el desarrollo de una inversión viable para los apicultores, y que además pueda facilitar el arduo trabajo de la apicultura. La forma de fabricación artesanal demanda tiempo y esfuerzo, por lo cual es una alternativa viable para la mayoría de apicultores.

El ingeniero mecánico debe estar dispuesto a generar soluciones reales a problemas de la vida diaria. Por tanto, con este tipo de proyectos se espera reducir los costos de una máquina accesible a la mayoría de los apicultores que deseen trabajar directamente con la cera de abejas.

A partir de los resultados de las encuestas, se plantearon situaciones hipotéticas y se determinó un flujo de caja mes a mes con las expectativas de ventas de láminas fabricadas y láminas maquiladas, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Flujo de caja mensual empresa Beeswax

Mes	0	1	2	3	4
# de láminas	0	300	400	500	600
# de maquiladas	0	100	120	140	160
Cantidad de kg	0	15	20	25	30
Cantidad de horas	0	5,0	6,7	8,3	10,0
Ingresos	0	\$ 500.000	\$ 660.000	\$ 820.000	\$ 980.000
Egresos	-\$ 15.000.000	-\$ 1.470.000	-\$ 1.470.000	-\$ 1.470.000	-\$ 1.470.000
Flujo de efectivo					
Neto	-\$ 15.000.000	-\$ 970.000	-\$ 810.000	-\$ 650.000	-\$ 490.000

Fuente: Autor

Tabla 5. (Continuación) Flujo de caja mensual empresa Beeswax

Mes	5	6	7	8	9
# de láminas	700	750	800	850	900
# de maquiladas	180	200	220	240	260
Cantidad de kg	35	37,5	40	42,5	45
Cantidad de horas	11,7	12,5	13,3	14,2	15,0
Ingresos	\$ 1.140.000	\$ 1.225.000	\$ 1.310.000	\$ 1.395.000	\$ 1.480.000
Egresos	-\$ 1.470.000	-\$ 1.470.000	-\$ 1.470.000	-\$ 1.470.000	-\$ 1.470.000
Flujo de efectivo					
Neto	-\$ 330.000	-\$ 245.000	-\$ 160.000	-\$ 75.000	\$ 10.000

Fuente: Autor

A continuación, se presenta el flujo de efectivo esperado a lo largo de 5 años, con el fin de evaluar el proyecto, teniendo en cuenta los 15 millones de la inversión, 5 de un inversionista y 10 que se pedirán prestados al banco:

Tabla 6. Flujo de efectivo empresa Beeswax 5 años.

Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
-\$ 15.000.000	-\$ 3.180.000	\$ 6.315.000	\$ 7.262.250	\$ 8.351.587	\$ 9.604.325

Fuente: Autor

El flujo de efectivo en el año 0 corresponde al capital del inversionista (5.000.000) más el préstamo del banco (10.000.000) que serán utilizados para los gastos de funcionamiento del emprendimiento y modificaciones que se deban realizar al prototipo.

Con el flujo de efectivo, teniendo en cuenta las ventas de las láminas y maquila, todos los costos de funcionamiento presentados en la tabla anterior, y la cuota de amortización del préstamo bancario, se realizaron los cálculos de la TIR, VPN y TMAR para evaluar la factibilidad del proyecto:

Tabla 7. Indicadores financieros del proyecto

Tasa de interés efectiva anual	10%
VPN(COP)	\$ 4.452.112
TIR	18%
Tasa de riesgo	6%
Tasa de inflación del productor (IIP)3/	18%
Recursos propios	33%
Inversión con crédito	67%
TMAR	15%
Retorno Inversión (Años)	3,55

Fuente: Autor

Se busca que la tasa de rendimiento se encuentre entre el 25 y el 40% a precios corrientes. Al pedir prestado al banco con una tasa de interés anual del 10%, se determina que para ese flujo de efectivo, que es la proyección que se tiene en ventas, un VPN positivo y una TIR mayor a la tasa de interés que presta el banco. Esto quiere decir que el proyecto es factible y que, con las ventas esperadas, la inversión se retornará en 3 años y medio. El hecho de que la TMAR sea del 15% quiere decir que teniendo en cuenta que este tipo de proyecto denota un bajo riesgo, y se toma una inflación correspondiente al año 2.021(Banco de la República 2022). Lo anterior teniendo en cuenta que se está restableciendo la economía, y que en los próximos años puede mejorar significativamente, también resaltando que es importante el aporte de capital del inversionista.

3. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ELABORAR LÁMINAS DE CERA DE ABEJAS

En un mundo competitivo y globalizado es de suma importancia encontrar soluciones que se adapten a las situaciones socioeconómicas de la región. De esta forma, y sabiendo el gran poder tecnológico con el cual cuentan los países desarrollados, se tiene un punto de partida para analizar las metodologías utilizadas para solucionar los distintos tipos de problemas que se encuentran día a día.

El diseño de una máquina abarca un número de actividades que se convierten en un paso a paso, el cual se desarrolla de forma estructurada, dándole cabida a distintas ideas que serán enfrentadas unas contra otras, teniendo en cuenta los aspectos a favor y en contra que conllevan a realizar un diseño de una máquina nacional, para así determinar la mejor opción y diseñarla a profundidad.

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

Se comienza el proyecto recolectando información de manera detallada de los procesos implicados en la fabricación de láminas de cera de abejas, incluyendo un análisis de los antecedentes y del estado actual. Se reconoce también que el cliente requiere información de los proveedores y los actores relacionados con la compra y venta de láminas de cera de abejas. Por tanto, se realiza una encuesta en la que se recolectará información respecto a precios en el mercado y pronósticos de ventas.

De este modo, para evaluar la factibilidad económica, se establecer un escenario en una ciudad intermedia, se toman situaciones reales de costos y se plantea hipotéticamente una proyección de ventas. Teniendo en cuenta que este proyecto cuenta con un inversionista y con el préstamo de un banco, se toman indicadores actuales para realizar los respectivos análisis.

Con la información recolectada en el estudio económico del proyecto, se establecerá el tamaño de la máquina adecuado, de forma que cumpla con las necesidades del proyecto y sea competitiva respecto a las máquinas que se encuentran en el mercado. Se diseñarán modelos preliminares de máquinas, para lo cual se usa la vigilancia tecnológica, respetando el presupuesto que se tiene para el proyecto.

Se utiliza la metodología de diseño para evaluar los requerimientos del cliente, con el fin de cuantificar todas las variables de la máquina. De esta forma, se emplea un modelo comparativo entre las máquinas propuestas con el fin de evaluarlas usando los criterios más importantes identificados por el diseñador.

Posteriormente se selecciona la máquina preliminar que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto, respectivamente evaluada con las herramientas de diseño. Se

procede también a dimensionar la máquina, utilizando modelos de elementos finitos con el programa ANSYS, para encontrar las variables de diseño necesarias. Se calculan las partes y piezas necesarias para hacer funcionar todos los sistemas de la máquina. De esta forma, es posible diseñar en detalle cada pieza en un modelador CAD con el fin de generar planos de manufactura.

Las partes y piezas se fabricarán en talleres de la ciudad de Bogotá D.C., aprovechando la ventaja de encontrar la mayor variedad de procesos, experiencia y materiales utilizados en las industrias. Para ello se realizan las respectivas cotizaciones, y se tratará de utilizar la mayor cantidad de piezas estándar y recicladas, de modo que la máquina sea elaborada a través de materiales y piezas nacionales.

Teniendo las partes y piezas, se procede a ensamblar todos los sistemas que componen la máquina. Una vez ensamblada, la máquina deberá pasar por un proceso de validación, en el cual se prueba su funcionalidad y su aporte a la práctica de la apicultura

3.2 VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Se realiza un análisis de mercado haciendo una inspección rigurosa de las diversas bases de datos disponibles, como revistas indexadas y libros académicos. También se destaca el banco de ideas que conforma el Internet, partiendo de videos, bocetos e ideas de máquinas alrededor del mundo.

Este benchmarking es el primer paso para descubrir las máquinas que son competencia en el mercado. A partir de estas referencias se pueden identificar algunas características que son generales en todas las máquinas, las cuales ayudarán a evaluar las alternativas, para de esta manera seleccionar la que mejor se ajuste a las necesidades del cliente.

Se utilizará un solo tamaño de celda para los rodillos de la máquina, ya que el tipo de abeja regularmente utilizada para la polinización de cultivos en Colombia es la Apis Melífera, que maneja una distancia entre cresta y cresta de los hexágonos de 5 milímetros.

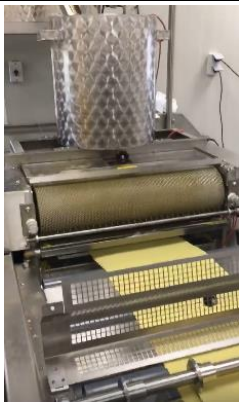
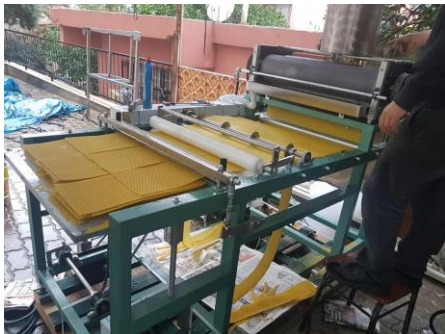
A continuación, se presentan dos tablas describiendo las características más importantes de las máquinas encontradas en el mercado:

Tabla 8. Máquina hecha en China

Máquina	Dimensiones	Características
	Largo: 260 cm Ancho: 100 cm Alto: 120 cm Peso: 115 kg Radio del rodillo: 170 mm Largo del rodillo: 750 mm Velocidad: 3 r.p.m Potencia del motor: 2,5 hp Capacidad: 52 kg/h Precio: 25.000 USD	Máquina totalmente automática. Cuenta con: Tanque de acero inoxidable para contener la cera derretida. Estufa externa para otro tanque. Rodillos maquinados en acero inoxidable. Refrigeración con agua de forma lateral y un ventilador para refrigerar el agua. Corta las láminas con una cuchilla y un pistón hidráulico

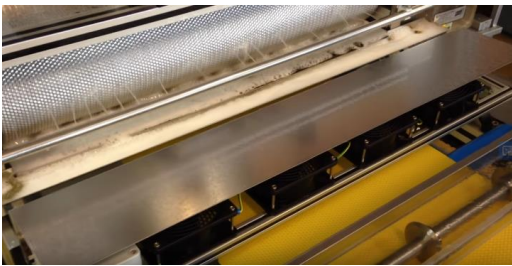
Fuente: (Henan Xuanhua Imp. & Exp 2020)

Tabla 9. Máquinas de láminas de cera de abejas

Máquina	Características
	Máquina totalmente automática. Hecha en acero inoxidable, cuenta con rodillos y una cortadora para darle dimensiones a la lámina.
	Máquina totalmente automática. Cuenta con rodillos en acero inoxidable y realiza 3 láminas que quedan cortadas y apiladas en su extremo

Fuente: (Albert Reynaers 2018), (Fatih Çoban 2019)

Tabla 10. (Continuación) Máquinas de láminas de cera de abejas

Máquina	Características
	Máquina totalmente automática. Cuenta con rodillos maquinados en acero inoxidable, de gran tamaño comparado las otras máquinas. Cuenta con un intercambiador de calor que refrigera agua que le cae a los rodillos de forma lateral
	Esta máquina cuenta con unas bandejas que recuperan el agua que enfría a los rodillos, adicionalmente se utiliza una serie de ventiladores para mejorar la transferencia de calor en la lámina solidificada
	Máquina totalmente automática. Cuenta con: Tanque de acero inoxidable para contener la cera derretida. Cuenta con panel de control Corta las láminas con una cuchilla y un pistón hidráulico
	Máquina semiautomática. Utiliza un tanque de acero inoxidable para contener la cera derretida. La cera se adhiere a un tambor de acero inoxidable que se encuentra refrigerado por dentro, logrando solidificar la lámina. Con una cuchilla retira la lámina lisa y completa el proceso estampando el grabado

Fuente: (Alice Zhang 2015), (Api-inoX 2014), (Petmak Makine 2009), (Paul. M. 2018a)

Tabla 11. (Continuación) Máquinas de láminas de cera de abejas

Máquina	Características
	Máquina semiautomática. Utiliza una configuración de cadenas dentadas, logrando la relación de transmisión necesaria para sincronizar todos los ejes

Fuente (Paul. M. 2018b)

3.3 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA

Esta máquina está pensada para que sea utilizada por un solo operario, el cual se encargará de que se cumpla el proceso y lo detenga si ocurre alguna anomalía. Es preciso que sea sencillo para el operario restablecer el servicio, disminuyendo el desperdicio en tiempo. La lámina debe salir totalmente grabada y cortada, por lo cual el proceso debe ser formar la lámina después de fundir cera de abeja virgen. Debe ser fácil para el operario identificar que el proceso puede detenerse, teniendo en cuenta para ello variables de funcionamiento.

Además, el esfuerzo realizado por el trabajador con la materia prima debe ser el mínimo necesario, para causarle el menor inconveniente. La seguridad del operario está en juego porque se debe fundir la cera, y habrán temperaturas elevadas en algunas superficies. El riesgo también se presenta debido a los elementos móviles del proceso.

Por otro lado, el cliente que realiza la inversión de la máquina para suplir la necesidad de láminas de cera de abeja en una región determinada, esperará generalmente que la máquina sea duradera y que el costo de operación y mantenimiento sea el menor posible.

Requerimientos del cliente vs Especificaciones de Ingeniería – Importancia de 1 a 10

1. Fácil de operar – Número de indicadores - 10
2. Ergonómico – Altura de la máquina - 9
3. Seguridad del operario – Número de sistemas de seguridad - 9
4. Buen sistema de bloqueo – Número de sistemas de parada de emergencia - 8
5. Fácil de hacer mantenimiento – Número de sistemas de lubricación - 7
6. Mínimo mantenimiento – Desgaste de piezas - 9
7. Mínimo consumo de energía – Potencia del motor - 10
8. Mínima pérdida de energía – Número de sistemas térmicos – 10
9. Mejor tiempo de operación – Capacidad en kg/h – 8
10. Fácil de mover en la planta – Número de módulos - 7
11. Fácil de ensamblar – Tamaño de las piezas - 10
12. Menor ruido posible – Porcentaje de ruido - 5
13. Fácil de reemplazar piezas – Número de piezas estándar - 10

- 14. Fácil de transportar- Número de mecanismos móviles – 9
- 15. Condiciones de operación: clima; humedad y temperatura, características de la materia prima

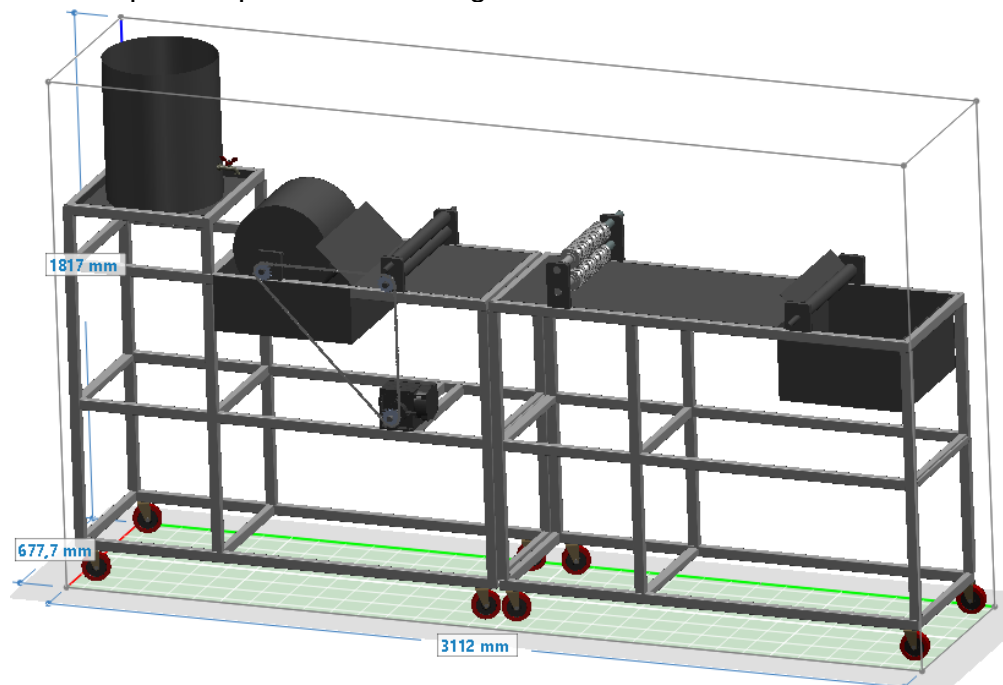
Basado en los requerimientos del cliente y las especificaciones de ingeniería, se generaron tres modelos diferentes, los cuales se especifican teniendo en cuenta las posibilidades de manufactura para garantizar una máquina de calidad y competitiva en el mercado.

3.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Máquina 1

La máquina comienza el proceso de elaboración de la lámina: se derrite la cera en un tanque que lleva unas resistencias por dentro. Esta cera derretida cae al tanque que está en contacto con un tambor, que se encuentra ligeramente sumergido en cera de abejas previamente calentada, logrando una película que se adhiere al costado del tambor. De esta manera, se libera fácilmente raspándola, logrando una lámina continua de cera. Por medio de un servomotor y un juego de cadenas se mueve el tambor, el eje impulsor, eje del rodillo grabado y eje de corte. Cuenta con un sistema de refrigeración para el agua que se utiliza para enfriar el tambor y la cera, logrando la consistencia deseada.

Figura 12. Concepto Máquina 1. Solid Edge 2.020



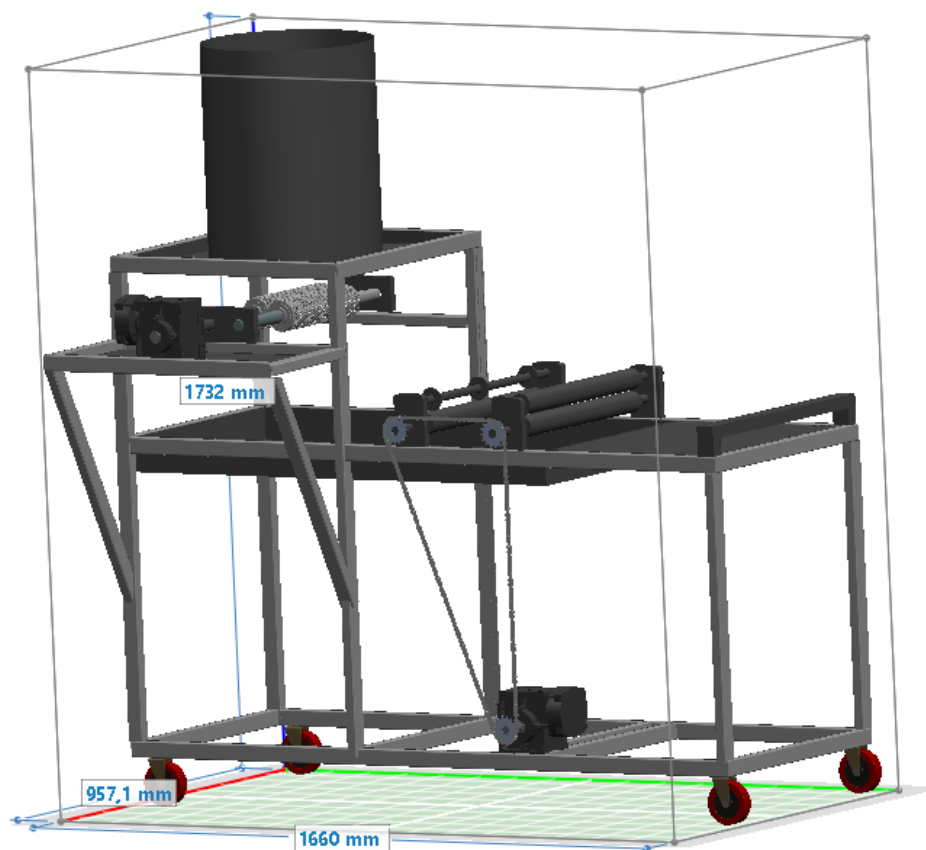
Fuente: Autor

Máquina 2

La máquina comienza el proceso de elaboración de la lámina: Se derrite la cera en un tanque que lleva unas resistencias por dentro. Esta cera derretida cae directamente a dos rodillos grabados que se encargan de conformar la lámina. Los rodillos son impulsados por un motorreductor que los lleva a una velocidad necesaria para el conformado. El sistema de refrigeración será instalado para refrigerar los rodillos grabados, los cuales estarán siempre en contacto con la lámina.

Por el mismo movimiento, son guiados hacia un eje que empareja la lámina a un ancho determinado, impulsados por un eje independiente y una cadena para mover a la misma velocidad una banda impulsora. De la misma manera, sigue hasta una cuchilla de corte que es accionada por medio de un cilindro.

Figura 13. Concepto Máquina 2. Solid Edge 2.020



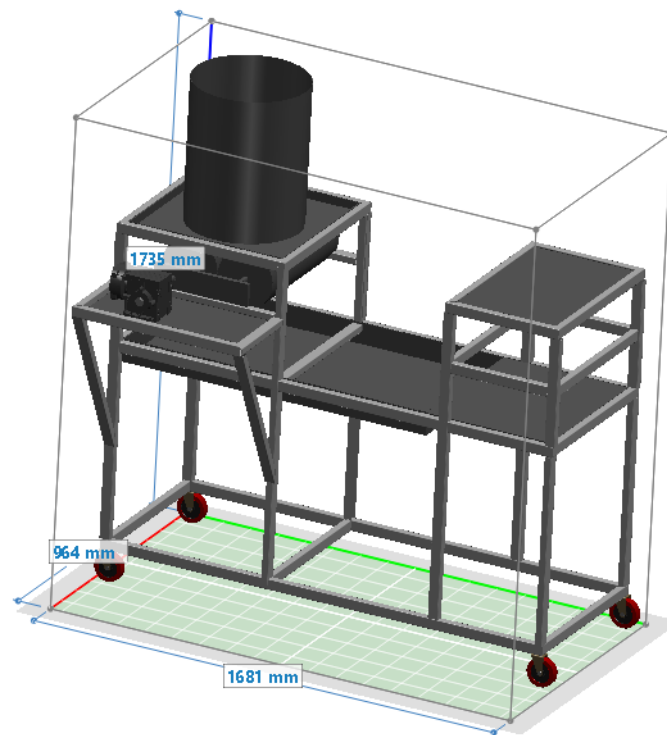
Fuente: Autor

Máquina 3

Esta máquina comienza el proceso derritiendo la cera en un tanque que cuenta con unas resistencias. Por medio de una llave de paso automatizada, la cera cae en unos rodillos lisos generando una lámina uniforme. Para este proceso es necesario que cuente con un sistema de refrigeración. Se necesita refrigerar los rodillos para la generación de la lámina, y una película de agua evitará que se pegue a alguno de los componentes.

El proceso de elaboración final de la lámina de cera de abejas se establece por medio de una prensa hidráulica, que cuenta con una placa grabada con los hexágonos de la abeja *Apis Melífera*. La prensa estampará y cortará la lámina a la medida. Está diseñada con un control que se encargará de mover el motor que genera la lámina lisa, y que se detendrá para realizar el estampado y el corte final de lámina. A su vez, cuenta con una banda transportadora que se encargará de apilar el producto final.

Figura 14. Concepto Máquina 3. Solid Edge 2.020



Fuente: Autor

3.5 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A partir de la información recolectada en la vigilancia tecnológica, se diseñaron diferentes alternativas teniendo en cuenta las especificaciones de ingeniería generadas a través de

La metodología QFD es utilizada para comparar las alternativas generadas por medio de una lluvia de ideas, generando conceptos básicos para el funcionamiento de las máquinas, las cuales cumplen los requerimientos del cliente y están a la altura de la competencia internacional.

3.5.2 Análisis del QFD

Según el análisis del QFD, se pueden identificar diferentes variables para el desarrollo final de la máquina. En conjunto, dichas variables ayudan a establecer aproximaciones a la máquina que será más apropiada para la necesidad, garantizando la calidad y eficiencia.

La primera variable importante es que la máquina debe tener todos los indicadores necesarios para que la persona que está operando la máquina pueda desenvolverse sin ningún problema, y que sea un entorno seguro para su operación. La variable de seguridad en general es un punto clave, pues la máquina va a manejar altas temperaturas y también distintos mecanismos móviles.

La máquina debe ser ergonómica, ya que el operario deberá depositar cera en la unidad donde se derrite. También deberá recoger el producto final, por lo cual la altura, las dimensiones y la comodidad del operario son fundamentales. Debe contar con un sistema de paradas de emergencia por seguridad del operario, para que se pueda detener rápidamente en caso de que exista algún error en el proceso, o por si falla alguna de las partes de la máquina.

Este proceso requiere un control riguroso de la temperatura, porque la cera debe pasar de un estado líquido a estado sólido en pocos segundos. Además, el proceso depende de las condiciones del ambiente y de todas las maneras que se van a utilizar en sistemas de refrigeración. Todas estas variables es preciso tenerlas en cuenta para que el producto final sea el deseado y no pierda las propiedades de flexibilidad (Api-Inox, 2014). Por tanto, los controles e indicadores de temperatura de la cera en la fundición, deben ser precisos para que se cumpla el tiempo necesario de solidificación de la cera.

Dependiendo de la forma en la se va a transmitir la potencia del motor o motores al sistema, se debe contar con sistemas de lubricación. Es preciso que el proceso de ensamble y desensamble de las piezas móviles sea sencillo, principalmente de las que están en constante desgaste.

La última variable importante es la cantidad de piezas estándar. Se tratará utilizar la mayor cantidad de este tipo de piezas, evitando en la mayor medida de lo posible la manufactura. Esto no solo generará impactos importantes en la eficiencia del proceso sino también en la construcción de la máquina.

Variables como el ruido y el desgaste de las piezas son normales en cualquier máquina, por lo que se necesita que las piezas y mecanismos sean diseñados de forma que garanticen la calidad por medio del uso de materiales certificados.

Los modos de falla existentes en cada una de las máquinas existen, pero son variados, incluyendo la parte que controla las variables, así como los indicadores o las piezas móviles. Por tanto, es preciso tener en cuenta el grado de tecnología que se va a utilizar para realizar el proceso, pues para el diseño final se pueden ir acoplando e integrando sistemas para garantizar la simplicidad del proceso, sin perjudicar la calidad del producto.

3.5.3 Selección de alternativas

Luego de evaluar la funcionalidad de cada uno de los diseños propuestos por medio del QFD, se seleccionó la mejor alternativa para ser diseñada en detalle. Estos conceptos son un medio para comparar cada alternativa, observando la fidelidad que tiene la máquina respecto a aspectos enfocados en diseño final y fabricación. El método de Pugh es otra herramienta para tomar mejores decisiones a la hora de relacionar varias alternativas.

3.5.4 Conceptos

Manufacturabilidad: permite orientar análisis sobre cuál máquina es más fácil de manufacturar, cuál cuenta con un sistema menos complejo. Se deben poder manufacturar todas las piezas y partes que no sean piezas estándar.

Dimensiones: La importancia que tiene si la máquina es un poco más pequeña y más fácil de manufacturar, o por cuestión de ubicación.

Precio: Se deben tener en cuenta los precios aproximados de cada uno de los procesos que conforman el sistema de la máquina.

Costo de mantenimiento: Dependiendo del tipo de mecanismo para el proceso, se debe considerar el costo del mantenimiento, y el tiempo que duraría.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizará el método de Pugh con una comparación relativa, comparando las máquinas mediante la siguiente escala: 0 = Igual; 1 = mejor que; -1 peor qué.

Tabla 12. Método de Pugh

Objetivo: Escoger la máquina de cera de abejas		Máquina china	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3
Manufacturabilidad	35	Dato comparativo	1	1	0
Dimensiones	10		-1	1	0
Precio	35		1	1	1
Costo de mantenimiento	20		0	0	-1
Total			1	3	0
Ponderado total			60	80	15

Fuente: (Ullman 2010)

Se utiliza como dato comparativo una de las máquinas que se encuentra en el mercado internacional, en este caso una máquina china que se vende alrededor de los 22.000 USD, sin costo de envío.

Teniendo en cuenta la comparación y evaluación de las máquinas, se determina que la mejor opción es la máquina dos. Esto porque es más compacta, y se facilita su fabricación, independientemente del sistema de transmisión que se utilice, en este caso las cadenas. Se pueden realizar configuraciones para realizar el proceso con uno o varios motores, con diferentes sistemas de engranajes y cadenas. Esto hará que no se necesiten sistemas más complejos que la refrigeración, por lo cual la compra de las partes estándar, manufactura, ensamble y desensamble será mejor que las demás opciones que tal vez también cumplen la función.

3.6 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO

Realizar una máquina desde cero requiere de un trabajo detallado desde la concepción de las alternativas, la definición de criterios y la selección final. Considerando que es muy difícil copiar una máquina usando solo videos de funcionamiento, los puntos de partida deben ser datos reales de todas las variables que están relacionadas con la máquina. Por ello, se tuvieron en cuenta variables de la cera de abejas, además de análisis relacionados con la transferencia de calor, para encontrar valores aproximados de las variables que se requieren para el funcionamiento de la máquina.

3.6.1 Cálculos preliminares

Para iniciar la concepción del proyecto es necesario tener claro las variables del proceso, pues de eso dependerá el resto de la operación. La cera debe pasar de 65°C en fase líquida a 50°C, lo cual se puede lograr ubicando los rodillos girando a una distancia de 2mm. Se debe calcular el tiempo que se necesita para que se vaya solidificando la lámina,

para de esta manera calcular la reducción necesaria. Así, se plantea un sistema que será impulsado por un solo motor, el cual se encarga de mover los rodillos. También incluye engranajes para transmitir la potencia al otro rodillo, cuyo diámetro se fija como el perímetro de la circunferencia obtenida al doblar una lámina de cera promedio de 390mm.

La velocidad de rotación del eje de los rodillos que conforman la lámina está determinada por la transferencia de calor de la cera caliente derretida, a los rodillos que deben refrigerarse a una temperatura óptima para el proceso.

Teniendo en cuenta que la geometría de los rodillos es grabada, y es única para esta aplicación, no se tienen referencias de los números adimensionales necesarios para calcular los coeficientes de transferencia de calor por convección. De la misma manera, no se conocen datos suficientes de la cera de abejas a las distintas temperaturas:

Tabla 13. Datos cera de abejas

Comienzo Temperatura de fusión	°C	47,61
Pico Temperatura de fusión	°C	62,28
Comienzo Temperatura de solidificación	°C	57,45
Pico Temperatura de solidificación	°C	52,02
Coeficiente de transferencia de calor 40 °C	W/m*K	0,25
Coeficiente de transferencia de calor 60 °C	W/m*K	0,2
Calor específico	kJ/kg*K	0,508
Viscosidad dinámica a 100°C	Pa*s	0,02
Viscosidad cinemática a 62,28°C	centipoise	0,1

Fuente: (Amin et al. 2017)

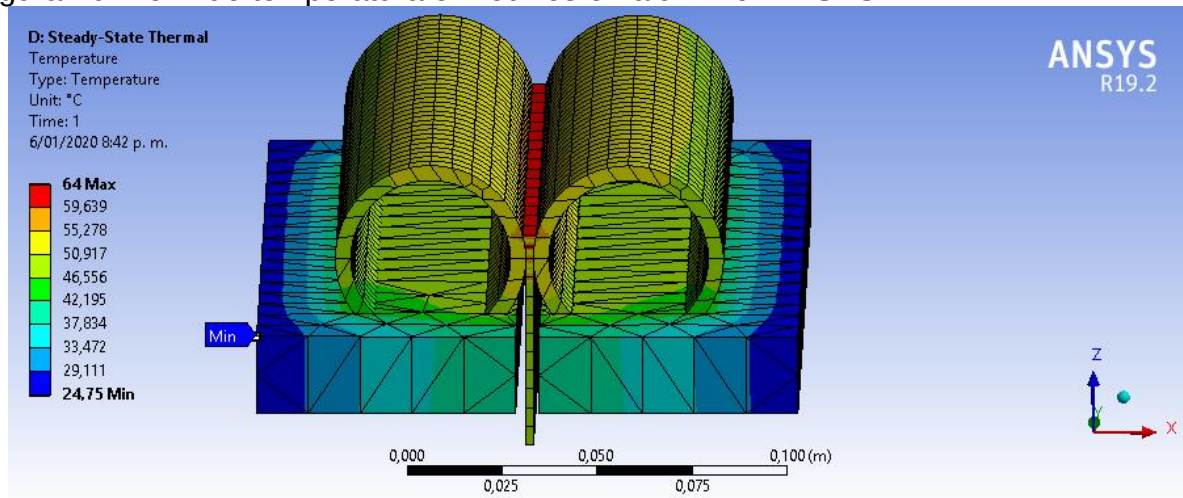
De esta manera, se debe tener el control de algunas variables, las cuales permitirán que, de forma iterativa y por análisis de elementos finitos, se determine el funcionamiento óptimo de la máquina, logrando láminas de cera de abejas grabadas y sin grietas.

Para esto se debe tener un control en la velocidad final de los rodillos, por lo cual se deberá hacer una aproximación del tiempo que se tarda en enfriar un pedazo finito de cera de abejas. Se utiliza el programa ANSYS para determinar la transferencia de calor promedio en los rodillos, realizando una simulación de la situación térmica en estado estacionario con dos diferentes materiales: aluminio y nylon. Se calculará el calor del pedazo finito de la lámina de cera de abejas en dos instantes: cuando está líquida (justo cuando está en contacto con los rodillos), y cuando está endurecida. Gracias al benchmarking, se puede realizar una comparación de esta velocidad.

El diámetro de los rodillos será de 143 mm, ya que la longitud requerida de la lámina de cera es de 390 mm.

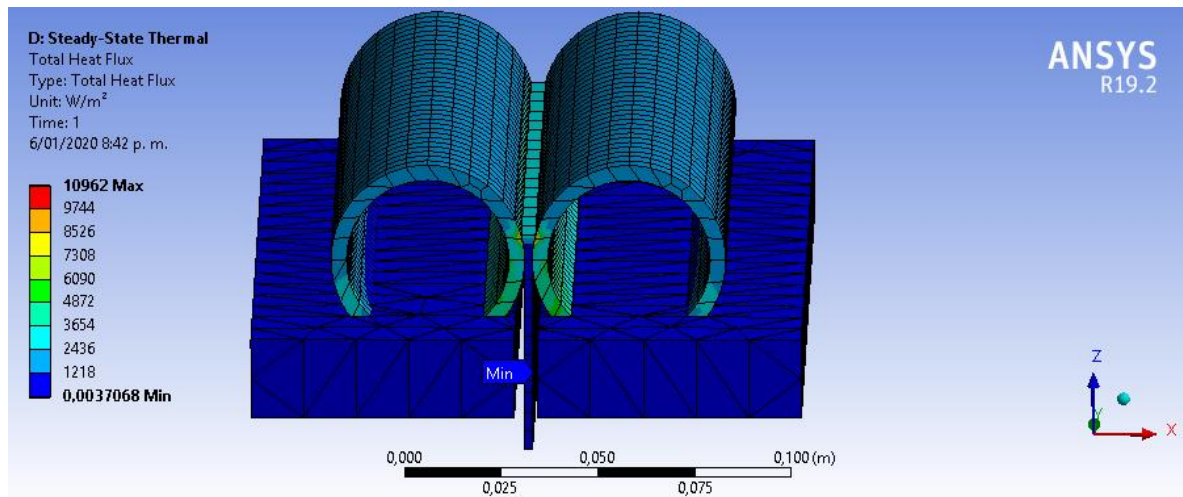
Se seleccionan para los análisis el aluminio y el nylon, ya que, por manufactura, serán los ideales para su fabricación. El rodillo en aluminio se puede hacer como una fundición en molde y en CNC; y de la misma manera, el rodillo en nylon se puede realizar con impresión 3D y en CNC.

Figura 16. Perfil de temperatura en rodillos en aluminio. ANSYS



Fuente: Autor

Figura 17. Flujo de calor en rodillos de aluminio. ANSYS



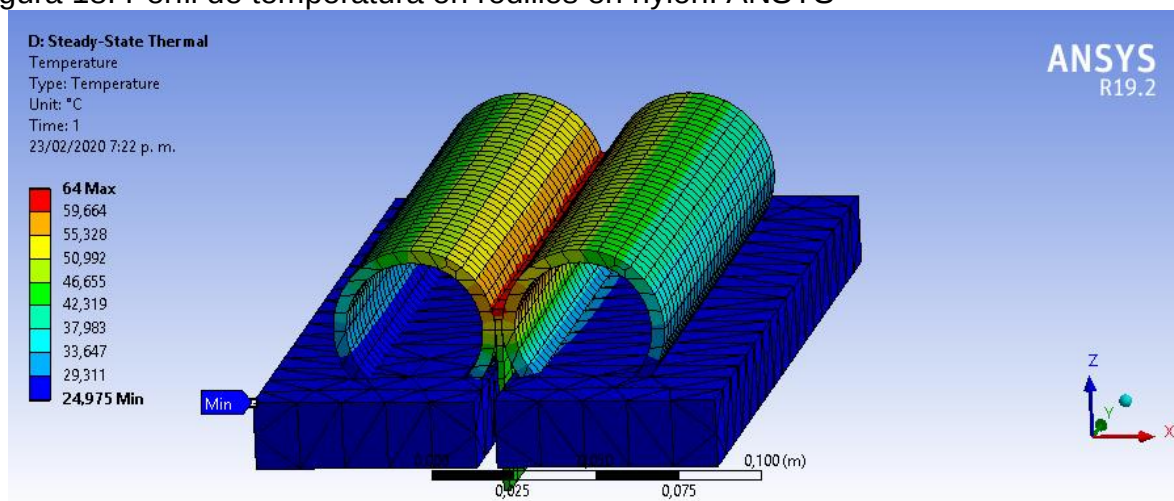
Fuente: Autor

Tabla 14. Flujo de calor promedio en rodillos de aluminio. ANSYS

Resultados	Flujo de Calor
Mínimo	3,71E-03
Máximo	10962
Promedio	1964,7

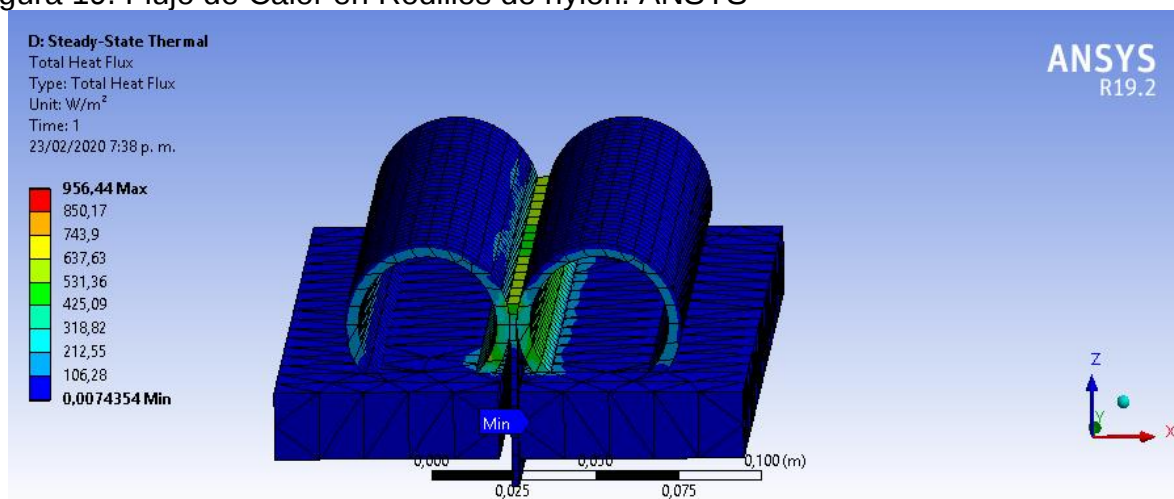
Fuente: Autor

Figura 18. Perfil de temperatura en rodillos en nylon. ANSYS



Fuente: Autor

Figura 19. Flujo de Calor en Rodillos de nylon. ANSYS



Fuente: Autor

Tabla 15. Flujo de calor promedio en rodillos de nylon. ANSYS

Resultados	Flujo de Calor
Mínimo	7,44E-03
Máximo	956,44
Promedio	213,13

Fuente: Autor

Se tomaron valores iniciales conocidos para el desarrollo de la simulación. Para ello, se establece el punto de fusión y solidificación de la cera de abejas, que son 64°C y 58°C respectivamente. De la misma manera, se modela el agua con una temperatura de 25°C en un extremo de las paredes de cada cubeta de agua.

Se debe poder controlar la temperatura del agua que entra al sistema al refrigerar los rodillos, ya que es en la interfaz agua–cera de abejas en la cual se realiza realmente la transferencia de calor, la cual debe variar de 18°C a 25°C. Para ello, se hace uso de un intercambiador que garantice estas temperaturas.

Los dos ejes que se van a diseñar se establecen como un sistema que llevará acoplados los rodillos por medio de dos bridas soldadas en los extremos del rodillo. Los ejes contarán con un sistema de engranes de la misma relación, la cual se necesita para girar los dos rodillos a la misma velocidad.

3.6.2 Cálculo de calor en un elemento finito de lámina

Se basaron los cálculos suponiendo una cantidad determinada de cera que corresponde al tamaño de una lámina: 2 mm X 50 mm X 190 mm.

Tabla 16. Cálculo de Calor y Velocidad Mínima de los Rodillos

b	Base pedazo lámina	mm	2
h	Altura pedazo lámina	mm	50
l	Longitud pedazo lámina	mm	190
v	Volumen pedazo lámina	mm ³	19.000
d	Densidad de la cera punto de fusión	g/mm ³	7,89E-04
m	Masa	g	15
Cpc	Calor específico de la cera	kJ/kg*°C	0,508
Q	Calor pedazo lámina derretida	J	45,72
T1	Temperatura cera derretida	°C	64
T2	Temperatura final cera sólida	°C	58

Fuente: Autor

Tabla 17. (Continuación) Cálculo de calor y velocidad mínima de los rodillos

q̃1	flujo de calor promedio aluminio	W/m ²	1.964,7
q̃2	flujo de calor promedio nylon	W/m ²	213,16
q̃3	flujo de calor promedio acero inoxidable	W/m ²	654,27
At	Área transversal de enfriamiento	mm ²	19.000
Q.1	Transferencia de calor promedio aluminio	W	37,329
Q.2	Transferencia de calor promedio nylon	W	4,05
Q.3	Transferencia de calor promedio A.I.	W	12,43
t1	Tiempo de enfriamiento aluminio	s	1,225
t2	Tiempo de enfriamiento nylon	s	11,289
t3	Tiempo de enfriamiento Acero Inoxidable	s	3,679

Fuente: Autor

La densidad de la cera se utiliza para determinar el peso aproximado de una lámina de forma teórica. Teniendo en cuenta el calor específico de la cera, se calcula la cantidad de calor del pedazo de lámina de cera derretida (Çengel y Ghajar 2011).

$$Q = mC_v\Delta T \quad (1)$$

De esta forma, y por medio del análisis térmico con elementos finitos, se aproximó a un promedio de flujo de calor en estado estacionario de un pedazo de lámina que se está conformando. Siendo sus unidades de energía por longitud cuadrada.

Se determinó el área transversal de enfriamiento para calcular la cantidad de transferencia de calor promedio en cada uno de los materiales analizados. Así, sabiendo el calor contenido en una lámina de cera que debe ser enfriada, se calcula el tiempo en el cual se enfriaría en cada uno de los materiales a la temperatura final, que es de 58°C aproximadamente, ya que depende de su composición.

Por lo tanto, se puede inferir del cálculo anterior, que la velocidad angular será inversamente proporcional al tiempo de enfriamiento en cada uno de los materiales. De esta forma, se va a diseñar un sistema en el cual se pueda variar la velocidad del motor.

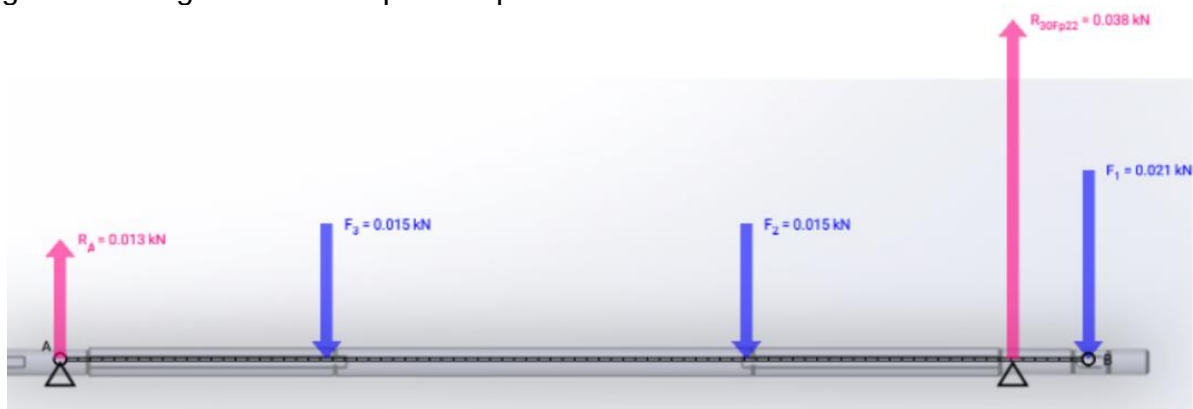
Para lograr una mayor velocidad en los rodillos de la máquina, también se va implementar un ventilador que apunte directamente hacia los rodillos por la parte de abajo. De esta manera, aumenta la transferencia de calor por convección, y a su vez, enfría el agua que va cayendo en forma de cascada al tanque principal de agua.

Los cálculos se presentan en el anexo (B) Cálculos Térmicos del archivo Cálculos Finales.xlsx.

3.6.3 Cálculo de ejes

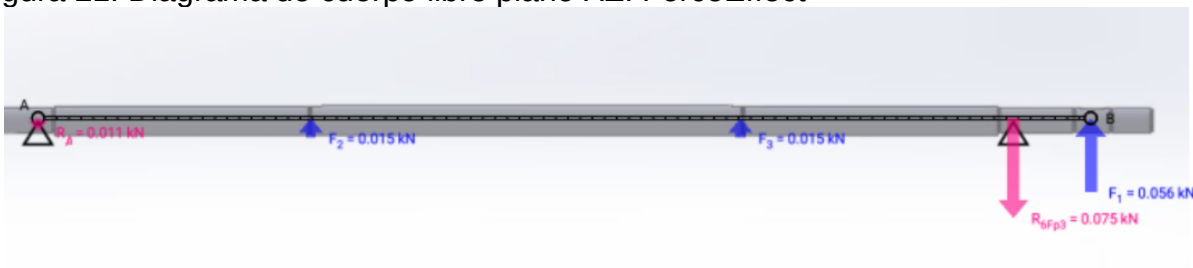
Se realizó un cálculo de las zonas críticas a las cuales el eje iba a estar sometido a distintas configuraciones de esfuerzos y momentos. Se propone un eje durable que cumpla con la función de transmitir potencia y de soportar las demás piezas en su composición.

Figura 20. Diagrama de cuerpo libre plano YZ. ForceEffect



Fuente: Autor

Figura 21. Diagrama de cuerpo libre plano XZ. ForceEffect



Fuente: Autor

Para el cálculo del eje se realiza primero un cálculo a torsión pura, para determinar un diámetro aproximado para la aplicación.

Tabla 18. Precálculo del diámetro del eje a torsión pura

Dp1	Diámetro primitivo engranaje 1	mm (m)	142	0,1420
Dp2	Diámetro primitivo engranaje 2	mm (m)	142	0,1420
Te	Torque de entrada	N*m (kgf*mm)	4	408,16
θ	Ángulo	grados(rad)	20	0,3491
Ft1	Fuerza tangencial 1	kgf(kN)	5,75	0,0563
Fr1	Fuerza radial 1	kgf(kN)	2,09	0,0205
Fe	Fuerza de entrada	kgf(kN)	13,61	0,1333
Fro	Peso de los rodillos	kgf(kN)	1,50	0,0147
Sy	Esfuerzo de fluencia del acero inoxidable AISI 304	kgf/mm ² (ksi)	28,16	40
Sut	Esfuerzo último a la tensión del acero inoxidable AISI 304	kgf/mm ² (ksi)	57,96	82,4
Y	Factor de seguridad	Adimensional	2	
d	Diámetro mínimo	mm	6,66	
Mx	Momento en x	kgf*mm(kN*m)	102,0	01
My	Momento en y	kgf*mm(kN*m)	204,1	02
M	Suma de los momentos	kgf*mm(kN*m)	228,2	022
dmin	Diámetro mínimo por teoría de Tresca y eje macizo	mm	7,0	
d1-d3	Diámetro sección 1 y 3	mm	12	
d2	Diámetro sección 2	mm	14	

Fuente: Autor

Se utiliza la teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles en un eje macizo, dejando de incógnita el diámetro mínimo adecuado con las variables a las cuales sería sometido el eje (Budynas y Nisbett 2008i).

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{2n} \quad (2)$$

$$\frac{T*r}{J} = \frac{16T}{\pi*d^3} = \frac{S_y}{2n} \quad (3)$$

Sabiendo que esta es una teoría de falla bastante conservadora, y ya que se utilizó un factor de seguridad de 2, se puede inferir que si se toman valores más altos al calculado, se podrá optimizar el resultado, ya que si se toman tamaños más pequeños, el maquinado

se tornaría muy difícil. Por lo tanto, se manejaron tamaños de eje de 12 y 14 mm para los cálculos en fatiga, y así determinar si se cumplen los requisitos de la teoría.

Tabla 19. Diseño a fatiga del eje

Cl	Coeficiente de carga	Adimensional	1
Cd	Coeficiente de diámetro	Adimensional	0,93
Cs	Coeficiente de superficie	Adimensional	0,92
Ct	Coeficiente de temperatura	Adimensional	1
Cr	Coeficiente de confiabilidad	Adimensional	0,87
S10 ⁶	Esfuerzo para 10E6 ciclos	kgf/mm ²	21,68
r	Radio de entalla	mm	1
r/d	Relación factor de concentrador de esfuerzos	Adimensional	0,08
D/d	Relación factor de concentrador de esfuerzos	Adimensional	1,17
KtF	Concentrador de esfuerzos residuales	Adimensional	2
KtT	Concentrador de esfuerzos residuales	Adimensional	1,60
q	Factor de Peterson	Adimensional	0,80
KfF	Factor de concentración de esfuerzos por fatiga a flexión	Adimensional	1,80
KfT	Factor de concentración de esfuerzos por fatiga a torsión	Adimensional	1,48
dminf	Diámetro mínimo por fatiga	mm	8,90

Fuente: Autor

Se calcula el esfuerzo para la vida útil del eje a ciclos, 10⁶ considerando el eje de vida infinita y un esfuerzo repetido. Debido a que el esfuerzo último del material es menor a 200 Ksi, el Se' será Sut*0.5 (Budynas y Nisbett 2008c).

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (4)$$

Para determinar el diámetro mínimo admisible por fatiga, fue necesario utilizar la teoría de falla de Goodman modificado (Budynas y Nisbett 2008e):

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (5)$$

Los diámetros seleccionados son mayores a el diámetro calculado. Por lo tanto, estarán bien diseñados para la carga establecida. Debido a que el eje va a estar en contacto con

el agua, se diseñó un eje de acero inoxidable AISI 304, el cual es común para tipo de aplicaciones y que a su vez es fácil conseguirlo en el mercado.

Los cálculos se presentan en el anexo (C) Cálculo Ejes del archivo Cálculos Finales.xlsx.

3.6.4 Cálculo lengüetas

Las lengüetas en este montaje se utilizan para transmitir la potencia del eje a los engranajes. De esta manera, sabiendo los diámetros seleccionados del eje, y el ancho del engranaje, se propone una chaveta estándar de la norma DIN 6885. Se analizan las lengüetas en sus formas normales de falla, que son aplastamiento y corte (Budynas y Nisbett 2008f).

Tabla 20. Cálculo lengüeta

Te	Torque de entrada	kgf*mm	408,16
d	Diámetro del eje	mm	12
h	Altura de la lengüeta	mm	4
	Esfuerzo de fluencia acero		
Sy	1045	kgf/mm ²	31,63
Y	Factor de seguridad	Adimensional	2,50
L.apla	Longitud de aplastamiento	mm	2,69

Fuente: Autor

$$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{tl/2} \quad (6)$$

Para calcular la longitud de aplastamiento se considera un esfuerzo normal sobre la lengüeta, por lo cual se reemplaza la fuerza por el torque en ese punto. De la misma forma, la longitud de corte, teniendo en cuenta que el espesor ya no es la mitad. Al ser iguales la altura y el ancho de la lengüeta, para este caso, la longitud de aplastamiento y la longitud de corte también son iguales.

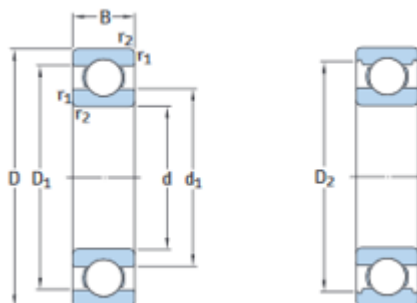
Se selecciona la lengüeta de ajuste A 4 X 4 X 12 DIN 6885 de un catálogo de lengüetas forma baja estandarizadas. Los cálculos se presentan en el anexo (D) Cálculo Lengüeta del archivo Cálculos Finales.xlsx.

3.6.5 Cálculo rodamientos

Teniendo en cuenta las cargas a las que está sometido el sistema, se realiza un cálculo preliminar con las cargas equivalentes en los rodamientos, el cual servirá para tomar parámetros iniciales de los distintos rodamientos estándar en el mercado. Así, es posible

seleccionar uno que satisfaga los requerimientos para poder iterar y encontrar que ese rodamiento efectivamente no fallará ni por fatiga superficial, ni por falso Brinell.

Figura 22. Rodamientos SKF 12 mm de diámetro



Fuente: (Grupo SKF 2019)

Tabla 21. Catálogo rodamientos SKF 12 mm de diámetro

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas 12mm de diámetro					Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo			Factores de cálculo	
d	d1	D1	D2	r1,2 mín.	d3 mín	Da máx	ra máx	Kr	f0
mm					mm			-	
12	17	23,2	24,8	0,3	14	26	0,3	0	13

Fuente: (Grupo SKF 2019)

Tabla 22. (Continuación) Catálogo rodamientos SKF 12 mm de Diámetro

Factores de cálculo		Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga
Kr	f0	d	D	B	C	C0	
-		mm			kN		kN
0,03	13	12	28	8	5,4	2,36	0,1

Fuente: (Grupo SKF 2019)

A partir de las cargas axiales y radiales en los apoyos internos del rodamiento, se realiza el cálculo dependiendo de la vida útil esperada, se determinan en millones de revoluciones y se calcula la fatiga superficial y el falso Brinell (Budynas y Nisbett 2008d):

$$F_{eq} = [\sum f_i (a_{fi} F_{ei})^a]^{1/a} \quad Leq = \frac{K}{Fa_{eq}} \quad (7)$$

Tabla 23. Cálculos para aproximar valores de C y Co

Te	Torque de entrada	N*m (kgf*mm)	4	408,16
ωe	Velocidad angular entrada	(r.p.m)(rad/s)	20	2,09
Ft1	Fuerza tangencial 1	kgf(kN)	1,33	0,013
Fr1	Fuerza radial 1	kgf(kN)	1,12	0,011
Ft2	Fuerza tangencial 2	kgf(kN)	3,88	0,038
Fr2	Fuerza radial 2	kgf(kN)	7,65	0,075
F1	Fuerza 1	kgf(kN)	1,74	0,017
F2	Fuerza 2	kgf(kN)	8,58	0,084
Fa	Fuerza axial	kgf(kN)	2	0,020
Sy	Esfuerzo de fluencia del acero AISI 304	kgf/mm ²	28,16	39,974
Sut	Esfuerzo último a la tensión del acero AISI 304	kgf/mm ² (ksi)	57,96	82,264
Y	Factor de seguridad	Adimensional	2	
Mx	Momento en x	kgf*mm(kN*m)	102,04	01
My	Momento en y	kgf*mm(kN*m)	204,08	02
M	Suma de los momentos	kgf*mm(kN*m)	228,17	02
hr	Horas de servicio	hr	20.000	
L	Millones de revoluciones de falla	rev	24	
Kr	Factor de confiabilidad 95%	adimensional	0,62	
LR	Millones de revoluciones de falla confiabilidad	rev	14,88	
If	Factor de impacto	adimensional	1,10	
P	Carga dinámica equivalente	kgf	9,44	
C	Fatiga superficial calculado	kgf(kN)	35,12	0,344
Co	Falso Brinell calculado	kgf(kN)	12,17	0,119
C	Fatiga superficial seleccionado	kgf(kN)		5,4
Co	Falso Brinell seleccionado	kgf(kN)		2,36

Fuente: Autor

Se obtienen así valores de C y Co, los cuales serán la base de la selección siguiente, ya que deben ser mayores a los resultados obtenidos. Así, es posible volver a realizar la iteración teniendo en cuenta que ahora los valores de la carga equivalente tendrán unos coeficientes dependiendo de un factor de cálculo Fo que da el fabricante del rodamiento, en este caso SKF.

Tabla 24. Factores de carga equivalente para cojinetes de bola

Fa/C0	e	x1	y1	x2	y2
0,014	0,19	1	0	0,56	2,3

Fuente: (Budynas y Nisbett 2008b)

Tabla 25. Cálculo de carga equivalente definitiva

Variable	Descripción	Unidades	Valor
Fo	Factor de cálculo Fo	Adimensional	13
Fc	Factor de selección	Adimensional	0,11
e	Calculado interpolando	Adimensional	0,19
x	Calculado interpolando	Adimensional	0,56
y	Calculado interpolando	Adimensional	2,3
Pe	Carga equivalente definitiva	kN(kgf)	0,09
C	Fatiga superficial calculado	kN(kgf)	0,34
Co	Falso Brinell calculado	kN(kgf)	0,12

Fuente: (Budynas y Nisbett 2008a)

$$F_e = X_i V F_r + Y_i F_a \quad (8)$$

Con los respectivos coeficientes se calcula la carga equivalente definitiva y sus correspondientes tipos de falla de los valores C y Co, por lo cual son mayores los valores seleccionados. Los cálculos se presentan en el anexo (E) Cálculo rodamientos del archivo Cálculos Finales.xlsx.

3.6.6 Cálculo Engranajes

Más que transmitir potencia en este caso específico, se requería que los dos ejes tuvieran la misma velocidad angular. Por lo tanto, se utilizaron dos engranajes iguales, de tal manera que la relación de transmisión sea 1 a 1. Para los cálculos de los engranajes, se evalúan a flexión y a desgaste, por medio de una hoja de cálculo diseñada por la AGMA (American Gear Manufacturers Association) para el cálculo de engranajes rectos.

Tabla 26. Cálculo de engranajes rectos a desgaste

$\theta =$	20		degrees	Pressure angle
$m =$	2		mm	Modulus
$n =$	1			Gear ratio
$P =$	0,011		hp	Power
$\omega =$	20	20	r.p.m.	Angular velocity
$P_d =$	12,7		teeth/in	Diametral pitch
$b =$	0,63		inches	Face width
$\psi =$	1,50			Factor of safety-pitting
$K_a =$	1,3			Overload factor
$Q_v =$	6			Quality class of gear set
$C_f =$	1,0			Surface cond'n factor
$K_L =$	1,0			Stress cycle factor-pitting
$K_T =$	1,0			Temperature factor
$K_R =$	1,0			Reliability factor

Fuente: (American Gear Manufacturers Association 1994)

Tabla 27. (Continuación) Cálculo de engranajes rectos a desgaste

	Pinion	Gear		
$Z_i =$	71	71	teeth	Number of teeth
<i>Gear style</i> =	1	1		-1=intnl teeth,+1=extrnl
<i>Addendum</i> =	0%	0%		Percent +long/-short
<i>Material</i> =	Bronze	Bronze		Material type
<i>grade</i> =	Grade 1	Grade 1		Material grade
Hardness	70	70	BHN	Brinell hardness number
$n =$	0,30	0,30		Poisson's ratio
$E =$	0	0	psi	Elastic Modulus
$S_{ac} =$	51.640	51.640	psi	Allowable stress

Fuente: (American Gear Manufacturers Association 1994)

Tabla 28. (Continuación) Cálculo de engranajes rectos a desgaste

$d =$	5,591	5,591	in	Pitch diameter
$F_t =$	12		lbf	Transmitted load
$v_t =$	29		ft/min	Pitch line velocity
$I =$	0,0803			Geometry factor-pitting
$C_p =$	1.651		$(\text{lb/in}^2)^{0.5}$	Elastic coefficient
$C_H =$	1	1		Hardness ratio factor
$K_v =$	1,07			Dynamic factor
$K_m =$	2,3			Load distribution factor
$s_c =$	19.134	19.134	psi	Left-hand side of eqn.
RHS	34.427	34.427	psi	Right-hand side of eqn.
Status	SAFE	SAFE		

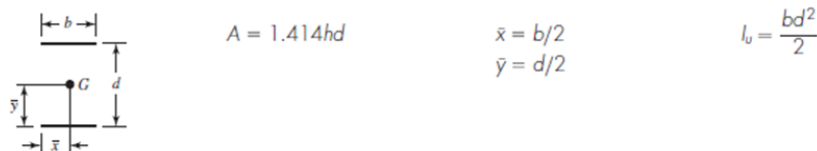
Fuente: (American Gear Manufacturers Association 1994)

Los cálculos se presentan en el anexo (E) Cálculo de engranajes rectos a desgaste.xlsx y (G) Cálculo de engranajes rectos a flexión.xlsx.

3.6.7 Cálculo Soldaduras

Teniendo en cuenta que las uniones son críticas, se calcula la altura de las soldaduras en donde irá soportado el tanque de la cera, teniendo en cuenta que la base de acero ayudará la distribución de la carga por el resto de la estructura. A continuación, se presenta el segundo momento de área unitaria de la forma que se va a soldar la parte superior de la estructura.

Figura 23. Segundo momento del área unitaria



Fuente: (Budynas y Nisbett 2008h)

Tabla 29. Cálculo de altura de la soldadura en uniones de la estructura

L1	Longitud barra 1	mm	339
Dx	Distancia en X	mm	111
r1	Radio a la fuerza	mm	202,61
V	Fuerza cortante (Peso del tanque + contenido)	kgf	80
T	Torque	kgf*mm	7680
d	Distancia entre soldaduras	mm	30
Aw	Área de soldaduras	mm ²	42,42 h
X-	Componente X	mm	15
Y-	Componente Y	mm	15
I	Segundo momento del área unitaria	mm ⁴	9544,5 h
T'	Esfuerzo principal	kgf/mm ²	1,886 /h
Tax	Esfuerzo en X	kgf/mm ²	12,070 /h
T"ay	Esfuerzo secundario en Y	kgf/mm ²	12,070 /h
Tay	Esfuerzo en Y	kgf/mm ²	13,956 /h
Ta	Esfuerzo en el punto A	kgf/mm ²	18,451 /h
Sys	Esfuerzo a la fluencia	kgf/mm ²	12,961
h	>	mm	2,847

Fuente: Autor

Los cálculos se presentan en el anexo (H) Cálculo Soldaduras del archivo Cálculos Finales.xlsx.

3.6.8 Cálculo Tornillos

Se calcularon los tornillos que ayudarán a sostener las cubetas de agua en las que se sumergen parcialmente los rodillos y que, a su vez, se refrigeran por goteo. Los tornillos se calcularon para soportar conjuntamente el peso de las dos cubetas en carga estática, suponiendo una configuración de 4 tornillos de 3/16".

Tabla 30. Cálculo tornillos que sujetan apoyos de las cubetas

Sy	Esfuerzo de fluencia acero estructural	Ksi	24
Sut	Esfuerzo último de tensión acero estructural	Ksi	43
Sp	Resistencia mínima a la fluencia perno	Ksi	36
St	Resistencia mínima a la tensión perno	Ksi	60

Fuente: Autor

Tabla 31. (Continuación) Cálculo Tornillos que sujetan apoyos de las cubetas

V	Fuerza ejercida por las cubetas	lbf	50
n	Factor de seguridad	Adimensional	2
w	Ancho de la barra	in	1,5
d	Diámetro nominal tornillo	in	0,3125
Ar	Área del diámetro menor	in ²	0,0524
t	Espesor de contacto	in	0,1260
Fp	Aplastamiento de los pernos	Kip	1,417
Fe	Aplastamiento de los elementos	Kip	0,945
Fp	Cortante del perno	Kip	3,186
Fr	F si las roscas se extienden	Kip	2,177
a	Distancia del borde del elemento	in	0,5938
Fc	Cortante del borde del elemento	Kip	2,072
Ft	Fluencia por tensión	Kip	5,102
Fl	Fluencia del elemento	Kip	2,268

Fuente: Autor

Tabla 32. Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF

Designación de tamaño	Serie gruesa - UNC				Serie fina - UNF		
	Diámetro mayor nominal	Roscas por pulgada	Área de esfuerzo de tensión	Área del diámetro menor	Roscas por pulgada	Área de esfuerzo de tensión	Área del diámetro menor
	in	N	in ²	in ²	N	in ²	in ²
	in	N	in ²	in ²	N	in ²	in ²
5/16	0,313	18	0,052	0,045	24	0,058	0,052

Fuente: (Budynas y Nisbett 2008j)

Tabla 33. Especificaciones SAE para pernos de acero

Especificaciones SAE para pernos de acero						
Grado SAE	Intervalo de tamaños inclusive	Resistencia de prueba mínima	Resistencia mínima a la tensión	Resistencia mínima a la fluencia	Material	Marca en la cabeza
Número	pulgada	kpsi	kpsi	kpsi		
	1/4 a 1				Acero de bajo o medio carbono	
1 1/2		33	60	36		

Fuente: (Budynas y Nisbett 2008j)

Tabla 34. Resistencia a la tensión y fluencia AISI 1006

SAE y/o AISI	Proceso	Resistencia a la tensión	Resistencia a la fluencia	Elongación en 2 pulgadas	Reducción en área	Dureza Brinell
número		Mpa(Kpsi)	Mpa(Kpsi)	%	%	
1006	HR	300(43)	170(24)	30	55	86
1006	CD	330(48)	280(41)	20	45	95

Fuente: (Budynas y Nisbett 2008g)

Los cálculos se presentan en el anexo (I) Cálculo de tornillos del archivo Cálculos Finales.xlsx.

3.6.9 Cálculo Pandeo

Teniendo en cuenta que la estructura iba a estar soportando el peso del tanque, las cubetas y demás elementos, se calcularon los pilares de la estructura, de forma que se podría saber si el perfil seleccionado no fallaría por medio del pandeo.

Tabla 35. Cálculo de miembros a pandeo

L	Longitud del tubo	mm(in)	663	26,10
P	Carga	kgf(lbf)	50	110
Sy	Esfuerzo de fluencia	Mpa(psi)	220	32.000
Y	Factor de seguridad	Adimensional	4	4
t	Espesor	mm(in)	0,8	0,031
E	Módulo de elasticidad	Mpa(psi)		30.000.000
C	Constante que incluye la inercia del tubo	mm ² (in ²)		1,58
Lf	Longitud efectiva	mm(in)		54,81
a	Ancho del tubo	mm(in)		1,5
A	Área transversal del tubo	mm(in)		2
Kr	Coefficiente de reducción	mm(in)		0,46
Sr	Esbeltez	Adimensional		120,09
Ppr	Carga permisible	kgf(lbf)		9.765,12

Fuente: Autor

Los cálculos se presentan en el anexo (J) Cálculo Pandeo del archivo Cálculos Finales.xlsx.

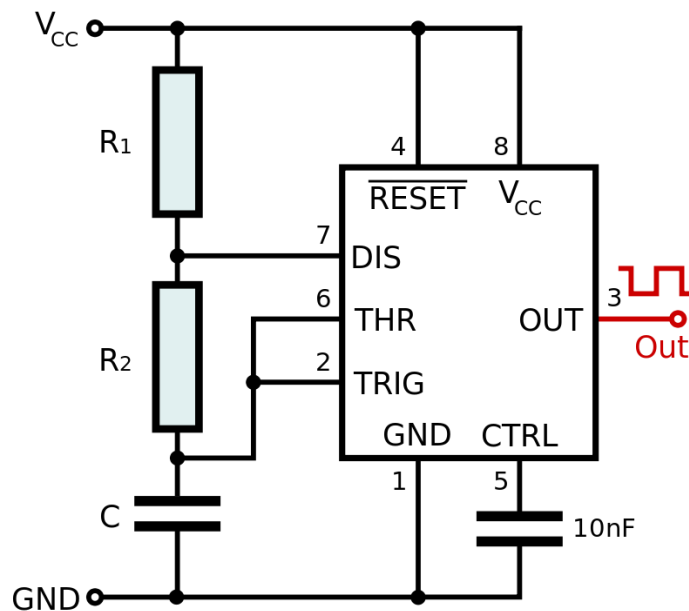
3.6.10 Cálculo del controlador electrónico

El motor eléctrico a pasos utilizado para transmitir la potencia a todo el sistema consta de un controlador, que finalmente le entrega la cantidad de pulsos necesaria para realizar cada paso de $1,8^\circ$. Por tanto, para mover una revolución necesita recibir una gran cantidad de pulsos que se convierten en micropasos.

De esta manera, el controlador cuenta con una configuración, la cual se puede establecer desde 400 micropasos hasta 25.000 micropasos. Para que funcione dicho controlador, es necesario establecer una frecuencia. Esta frecuencia es la que se toma como referencia para generar los pulsos y pasos, que resultan en una velocidad angular que debe variar para encontrar el punto óptimo de funcionamiento de la máquina.

Se parte del hecho de que la velocidad promedio de los rodillos debe ser desde 5 r.p.m a 20 r.p.m. Así mismo, como se utiliza la configuración de 400 pulsos para un movimiento de paso del motor, se consigue la frecuencia máxima y mínima, la cual se debe variar para controlar la velocidad del motor. La frecuencia se logra utilizando un circuito electrónico basado en un circuito integrado LM555P, el cual, por medio de una configuración, puede dar una salida de frecuencia en forma de pulsos:

Figura 24. Esquema circuito para el controlador LM555P



Fuente: (jjbeard 2006)

De esta manera, partiendo de la frecuencia máxima y mínima, se fija la resistencia R1, y se hayan los valores de R2 para los cuales la frecuencia es máxima y mínima. De esta manera es posible ajustar las resistencias variables con lo que realmente se encuentra en el mercado.

Tabla 36. Cálculo de controlador electrónico 5V

Vm	Velocidad mínima	rpm[°/s]	1
Vm	Velocidad máxima	rpm[°/s]	10
pa	Cada paso del motor	°	1,8
Pmi	Pulsos mínimos	Hz	3,33
Pma	Pulsos máximos	Hz	33,33
Pv	Pulsos necesarios para 1 vuelta	Adimensional	400
fmi	Frecuencia mínima	Hz	1.333,33
fma	Frecuencia máxima	Hz	13.333,33
C	Capacitor	Faradios	1E-07
R1	Resistencia 1	Ohm	220
R2min	Resistencia 2 mínima	Ohm	431,01
R2max	Resistencia 2 máxima	Ohm	5.300,11

Fuente: Autor

$$f \approx \frac{1}{\ln(2) * C * (R1 + 2 * R2)} \quad (9)$$

Como se debe graduar la frecuencia para tener también un rango de velocidades, la resistencia R2 debe ser una configuración de resistencias en serie, la cual tendrá una fija y dos variables; una variable que controle fina y la otra gruesa, para así tener una aproximación más exacta de la velocidad requerida, en cualquier caso (Philips ECG 1981). Los cálculos se presentan en el anexo (K) Cálculos controlador del archivo Cálculos Finales.xlsx.

3.6.11 Selección de la bomba

Los rodillos requieren un intercambio de calor constante, de modo que se pueda extraer la cantidad de calor que absorben al conformar la lámina, así, la cera siempre llegará al punto de solidificación, logrando una lámina completamente uniforme.

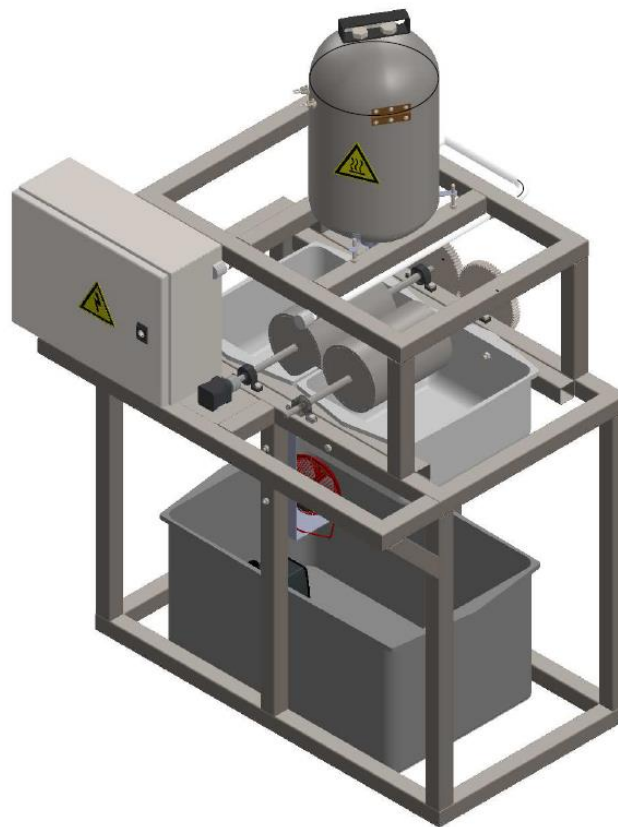
Debido a que los rodillos están sumergidos parcialmente en agua, se refrigerarán siempre, por lo que se debe manejar un flujo constante de agua, para que, por medio de

cascada, caiga el agua al tanque principal mientras el ventilador retira el calor del agua de las cubetas.

De esta forma, no se requiere una bomba de presión de agua, sino que debe suministrar caudal constante para hacer recircular el agua. Ya que la altura del sistema de refrigeración es de 1,2 metros, se selecciona una bomba D.C. de 18 vatios de potencia, que alcanza una altura de 1,6 metros, con un caudal máximo de 1.000 litros por hora.

3.7 MODELADO EN SOFTWARE CAD

Figura 25. Ensamble máquina de cera de abejas



Fuente: Autor

La máquina final es diseñada a través del benchmarking y de la selección de materiales y componentes que se pueden conseguir de diversas formas, especialmente para el caso de las piezas no estándar y partes del funcionamiento costosas. La idea siempre es realizar una máquina colombiana. Teniendo en cuenta que esta máquina será la primera que se va a diseñar y construir, es muy importante minimizar costos, pensando en mejorar dicha tecnología para tener una variedad dependiendo de las necesidades del cliente.

Cuenta con un sistema de una resistencia eléctrica que derrite la cera de abejas en un tanque de acero inoxidable. Cuando la cera se encuentra en su punto, aproximadamente 64 °C, se abre la válvula que se encuentra en la parte de abajo del tanque. De esta manera, y con los rodillos moviéndose, se debe graduar el caudal que sale de cera encontrando el grado óptimo. Las condiciones climáticas de la región incidirán en variables determinantes como lo es la velocidad de rotación de los rodillos.

Esta velocidad es manejada por medio de un control y un controlador electrónicos que funcionan a base de pulsos, por lo cual este motor DC cumple con el torque necesario para mover el sistema. A la vez, se utiliza un sistema que refrigera los rodillos con agua desde la parte de arriba, de tal forma que el agua cae como cascada a un tanque de almacenamiento en la parte del suelo, y es refrigerada por un ventilador que apunta hacia donde se conforma la lámina de cera, ayudando así también a su endurecimiento y refrigerando el agua del ciclo.

Se utilizaron engranajes de hierro, puesto que se requería la rotación invertida del otro eje y a la misma velocidad, garantizando el funcionamiento del sistema. Los rodillos se fabricaron en acero inoxidable junto con las tapas y ejes que conforman el ensamble. El motor es un motor a pasos DC de 0,5 hp, justo necesario para mover el sistema. Las láminas se irán cortando con un tope puesto a lo largo del rodillo, el cual hará que pase cera por ese lugar, y en ese instante se cortará.

Las láminas quedan cubiertas de agua, lo cual evita que se peguen unas a otras y sea fácil separarlas. También se debe reponer si hace falta esa agua que se pierde por evaporación al sacar las láminas, ya que es fundamental para que el sistema funcione correctamente. Las cubetas y tanques son removibles y fáciles de limpiar. La llave es de acero, por si es necesaria calentarla frente algún taponamiento. Consta de una bomba que está ubicada en el tanque principal del agua y las láminas.

3.8 PRESUPUESTO Y COSTOS DE MANUFACTURA

Con el diseño se quisieron minimizar los costos de fabricación, y se usaron piezas y partes que ya estaban hechas o ensambladas, para ir armando la máquina sin tener que mandar a fabricar tantas piezas. Siempre se ha buscado tener ese balance entre lo necesario por fabricar y la solución más sencilla y de bajo costo posible. De esta manera, se presenta la tabla 31, con todos los gastos de piezas y manufactura. Los cálculos y análisis financiero se presentan en el anexo (N) Financiero.xlsx.

Tabla 37. Costos máquina cera de abejas

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Estudio	1	4.000.000	4.000.000
Tanque acero inoxidable	1	24.000	24.000
Soldadura válvula tanque	1	25.000	25.000
Válvula de bola	1	21.900	21.900
Bisagra	1	2.300	2.300
Resistencia eléctrica con termostato	1	90.000	90.000
Papel de transferencia	1	40.000	40.000
Tubo redondo 5" SCH 40 20cm	3	61.068	183.204
Tapas laterales A.I. 3/16"	4	18.000	72.000
Erosión tapas	1	90.000	90.000
Anillos de retención	1	5.000	5.000
Tubo cuadrado 1,5" X 1,5" X 6m C20	3	29.000	87.000
Tornillería general	1	60.900	60.900
Soldadura implementos general	1	64.000	64.000
Cubetas de agua	2	25.000	50.000
Tanque de agua	1	35.000	35.000
Acople	1	30.000	30.000
Motor eléctrico de pasos 0,5hp	1	250.000	250.000
Bomba de agua	1	50.000	50.000
Ventilador	1	80.000	80.000
Chumaceras 12mm	4	15.000	60.000
Mano de obra soldadura	1	400.000	400.000
Mano de obra ensamble	1	400.000	400.000
Tratamiento rodillos de prueba	1	60.000	60.000
Grabado impresión 3D	2	284.000	568.000
Engranajes	2	180.000	360.000
Ejes	2	100.000	200.000
Tubería PVC 0,5"	1	40.000	40.000
Retenedores	2	20.000	40.000
Resistencia eléctrica llave de paso	1	30.000	30.000
Patas niveladoras	4	4.500	18.000
Electrónica	1	250.000	250.000
Total			\$ 7.686.304

Fuente: Autor

3.9 FABRICACIÓN Y ENSAMBLE

Lo primero que se realizó fue la compra de los recipientes que iban a almacenar el agua del ciclo. Así se pudieron medir las distancias en las cuales se sostendrían las cubetas y el tanque, para diseñar y sacar la lista de corte con los ángulos y longitudes requeridos. La estructura se soldó y se pintó, y tiene unas patas niveladoras necesarias para su funcionamiento.

Figura 26. Uniones soldadas estructura



Fuente: Autor

El tanque en el que se va a derretir la cera se realizó en acero inoxidable. Consta de agujeros para la resistencia, el termostato y la bisagra, además de unas patas que lo fijarán a la estructura.

Figura 27. Tanque de cera con resistencia eléctrica



Fuente: Autor

Para el sistema de refrigeración de los rodillos, se utilizará una tubería de PVC, la cual estará sometida a poca presión. Los tubos tienen agujeros a lo largo, de manera que el agua caerá a los rodillos por un costado y en forma de cascada.

Figura 28. Anclaje sistema hidráulico



Fuente: Autor

Debido a que el sistema está sometido solamente a las fuerzas de fricción de sus componentes, el sistema de transmisión de potencia requería más de la regulación de la velocidad, que de la posibilidad mover una gran carga. Por ello, se acopló un motor DC de 4 Nm el cual funciona con un controlador que funciona a 24 V y debe recibir unos pulsos para funcionar. De esta manera, se realizó el montaje de la electrónica, que convierte pulsos en micropasos.

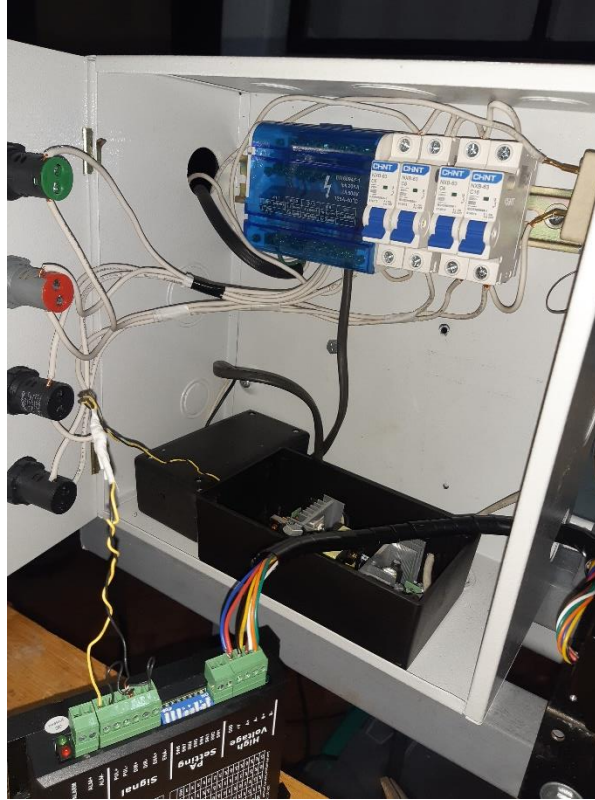
Figura 29. Motor de pasos D.C.



Fuente: Autor

Se utilizó una caja para instalar los componentes eléctricos. Se instalaron breakers para los controladores de 24 V y 5 V(motor), para la resistencia, la bomba y el ventilador. De la misma manera, se colocaron pilotos en la parte externa para brindar información del funcionamiento de los componentes eléctricos y electrónicos.

Figura 30. Ensamble tablero eléctrico



Fuente: Autor

La tarea de mayor complejidad en el proyecto era la realización del grabado en la superficie del rodillo, necesaria para poder conformar las láminas con la dimensión del hexágono requerida, que varía desde 5 a 5,5 mm de diámetro circunscrito. Se intentaron varios métodos para tener el grabado, teniendo en cuenta los diferentes procesos de manufactura y el costo final del rodillo.

De esta manera, se aplicó un método de electro erosión, que consiste en ubicar el metal en un ácido o en una base salina. En este caso se utilizó agua con sal sometida un proceso químico con energía eléctrica, la cual se generó con una batería de 24 V de un carro.

Se realizaron pruebas en un mismo acero, pero en una pieza más pequeña, la cual presento un muy buen resultado en cuanto a la profundidad del grabado:

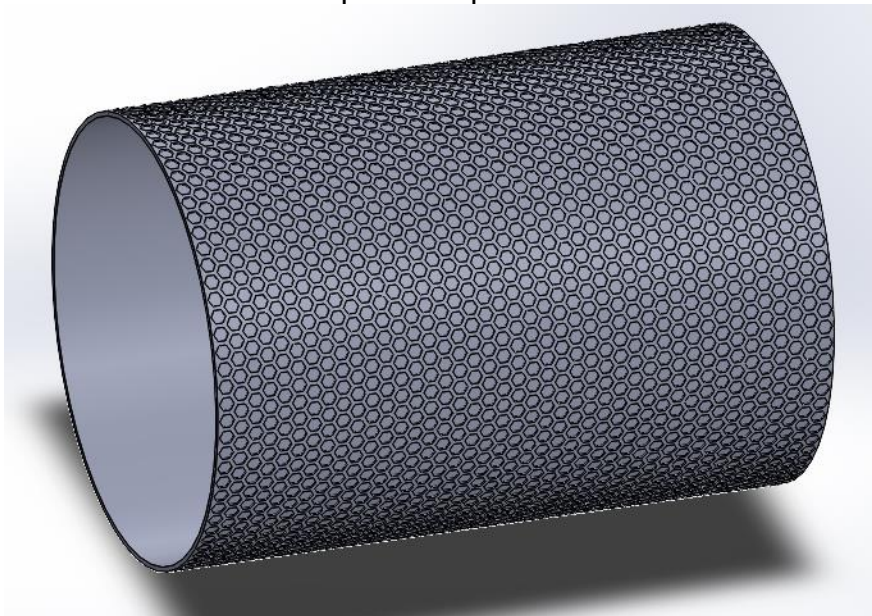
Figura 31. Prueba ataque químico en un tubo de acero inoxidable



Fuente: Autor

Se modeló el cilindro en CAD para visualizar el resultado que se quería obtener al realizar el proceso de ataque químico.

Figura 32. Modelado CAD rodillo después del proceso



Fuente: Autor

Se debía preparar el rodillo con el grabado hecho en tinta láser. Se transmite por medio de un papel especial de transferencia en calor, llamado papel de transferencia. Esto genera la capa que conserva el material mientras que el otro se remueve por el proceso

electro-químico. Se tuvo que calentar el rodillo para poder transferir la tinta del papel al material, resultando una capa grabada en el rodillo de acero:

Figura 33. Calentamiento de la superficie del rodillo



Fuente: Autor

Para garantizar que la transferencia del material solo se realice en las zonas requeridas, se cubrieron los bordes y la parte interior, aunque en esta no ocurre el proceso.

Figura 34. Rodillo estampado con tinta laser



Fuente: Autor

Se debe ubicar en polaridades para garantizar el flujo de corriente eléctrica. Además, se debe aislar el material de la superficie de la olla. En este experimento, se realizó con una tapa plástica:

Figura 35. Experimento ataque químico (agua con sal) con 24 V



Fuente: Autor

Figura 36. Rodillo grabado después del proceso y la limpieza de la tinta



Fuente: Autor

El grabado obtenido es notable, pero para efectos prácticos, la profundidad lograda no es suficiente para realizar un grabado funcional.

Encontrando la solución al componente más importante y determinante de la máquina, se consideraron tres opciones: la primera era seguir el procedimiento de electro erosión pero de forma profesional. Teniendo en cuenta que la geometría se debe adherir a la superficie de acero, este material de impresión o tinta se debía aplicar de forma en que no se cayera como anteriormente en el experimento, pues de esta forma se elevarían los costos de manufactura.

La segunda opción era realizar el grabado en una máquina CNC, la cual, debido a su gran versatilidad, puede realizar casi todo tipo de procesos de manufactura, necesarios para realizar este tipo de geometrías. Es una de las soluciones más eficientes pero a la vez la más costosa, además de que se debe preparar una herramienta especial en un software CAD/CAM para su manufactura.

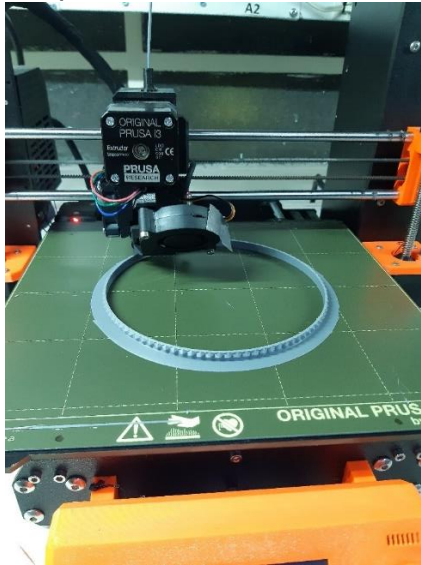
Figura 37. Rodillo grabado mecanizado CNC



Fuente: (Fatih Çoban 2019)

La tercera opción, por la que finalmente se optó, fue la impresión 3D. Teniendo en cuenta la realización de la máquina, varios factores eran realmente importantes para el cliente cuando se realizó el QFD: uno de esos era la manufacturabilidad de las piezas, y que la máquina resultara lo más económica posible. La impresión 3D siempre es una gran opción porque se pueden realizar desde moldes hasta aplicaciones en biomedicina. Además, permitía realizar un grabado de los hexágonos modelado en un software CAD.

Figura 38. Imprimiendo pieza de prueba



Fuente: Autor

La pieza terminada de 200 mm de longitud, diámetro exterior de 143 mm y diámetro interior de 138 mm hecha de material PET, resistirá los 64° C, que es la temperatura de la cera derretida en contacto con el material.

Figura 39. Rodillo grabado final en impresión 3D



Fuente: Autor

Se realizaron unas pruebas para observar el grabado y la adherencia de la cera al material fabricado.

Figura 40. Prueba de grabado y adherencia con la pieza quieta



Fuente: Autor

El pedazo de cera obtenido, queda grabado de una gran manera, probando así su funcionalidad.

Figura 41. Pedazo de cera grabada



Fuente: Autor

Figura 42. Grabado acoplado al cilindro



Fuente: Autor

De esta manera, se ensamblaron las tapas junto a los rodillos, con unas soldaduras para asegurar la pieza al rodillo y transmitir el movimiento a la camisa grabada, que por fricción rueda solidaria al rodillo, conformando la lámina.

Se realizó el montaje de los ejes ya acoplados con los rodillos a las chumaceras, para de esta manera montar también los engranajes para completar el sistema. Finalmente, se colocaron anillos de retención necesarios para los engranajes y rodillos.

Figura 43. Sistema mecánico acoplado



Fuente: Autor

Se cortaron las cubetas de plástico por la parte lateral lo suficiente para que no entre en contacto con el rodillo, y pueda pasar la lámina por la mitad fácilmente. De la misma manera, el agua caerá en forma de cascada a través de las cubetas hasta el tanque principal que se encuentra en la parte de abajo. El ventilador se colocó en un soporte, de modo que apunte al lugar en el cual se está conformando la lámina y por donde cae el agua:

Figura 44. Montaje final máquina de láminas de cera de abejas



Fuente: Autor

La bomba se coloca en el tanque principal y por medio de unas chupas queda fijado. Es una bomba que regularmente se utiliza para peceras, y en esta aplicación será suficiente la cantidad de caudal que puede manejar. De igual forma, se tuvo en cuenta la altura que debe alcanzar, por lo cual se instaló esta bomba:

Figura 45. Características bomba de agua

技术规格:

MODEL	POWER	H.MAX	F.MAX
XL-3310	5W	1.0M	600L/h
XL-3320	18W	1.6M	1000L/h
XL-3330	26W	2.0M	1200L/h
XL-3340	45W	2.4M	1800L/h
XL-3350	50W	3.0M	2900L/h

VOLTAGE: 110V 60Hz
MADE IN CHINA

1. 用户在使用水泵前，必须检查水泵上的铭牌所标额定电压与实际使用电压是否一致。
2. 此泵只能在淡水或咸水中使用，不能在其它液体中使用。
3. 此泵不要在35℃以上或者冰点以下的水中工作，否则会对泵造成损害。
4. 此泵完全潜水使用，不能让泵长时间空转，以免损坏泵体。
5. 水泵电源线不能更换，如在使用中发现电源线有破损，切勿继续使用。
6. 安装或拆卸及清洗水泵时，必须先拔掉电源插头，切断电源，以确保安全。

MADE IN CHINA
执行标准: GB 4706.66-2008

Fuente: Autor

De esta forma queda ensamblada toda la máquina, por la cual se ingresará la cera de abejas en forma sólida, pasará por el proceso y saldrá una lámina de cera de abejas continua, mucho más fácil cortar a las dimensiones estándar. Así, es posible fabricar una gran cantidad de láminas en poco tiempo. La máquina debe ser sometida a pruebas en las cuales se determinen las temperaturas reales de funcionamiento por medio de mediciones, lo mismo con la velocidad para determinar el punto óptimo de operación de la máquina.

3.10 PRUEBAS Y VALIDACIÓN

Una vez la máquina fue ensamblada, se comenzó un proceso de pruebas que generaron como resultado diversos tipos de mejoras enfocadas al funcionamiento óptimo de la máquina. Se realizaron numerosas y diferentes tipos de pruebas hasta encontrar unas condiciones en la temperatura de la cera, teniendo en cuenta la configuración de las velocidades de los mecanismos y la entrada de agua y aire al sistema.

Figura 46. Máquina en funcionamiento



Fuente: Autor

A lo largo de las pruebas que se realizaron para calibrar el funcionamiento de la máquina, surgieron diferentes tipos de inconvenientes que se fueron solucionando para tener efectos prácticos en el desarrollo de las láminas de cera de abejas. El diseño que se estaba probando en un inicio constaba, de un sistema de tuberías en PVC anclado a la parte superior de la estructura metálica. Este sistema hacía que la cera entrara directamente en contacto con el agua, generando una combinación de cera y agua que, a la hora de juntarse, no se conformaba, sino que se volvía de textura arenosa y se pegaba a los rodillos.

De esta manera, se comprobó que el agua es solo utilizada para refrigerar los rodillos y que ese excedente de agua que queda en su superficie ayuda como material antiadherente en las superficies del rodillo.

Figura 47. Sistema de refrigeración final



Fuente: Autor

El segundo problema que se tuvo fue con los rodillos, ya que se fabricaron en nylon. Este plástico es recomendado para tener una buena calidad en la impresión 3D, por lo cual fue una excelente alternativa para fabricar este prototipo funcional, además que eran seis veces más económicos que si se realizaba el proceso de mecanizado en un CNC.

Para solucionar este inconveniente, se tuvieron que probar distintos tipos de lubricantes naturales y sintéticos. Los lubricantes naturales no eran efectivos con la superficie de nylon, por lo cual se buscó una solución para efectos prácticos de la máquina, sabiendo que se está contaminando la cera y esto seguramente traería repercusiones en las abejas.

Cabe resaltar que esto se usó únicamente para validar la máquina, y que esta cera que fue utilizada no será mezclada, ni comercializada, pues se manejará como un residuo. Se comprueba, por tanto, que el grabado funciona pero que se requiere un material que tenga un coeficiente de transferencia de calor más alto como el aluminio o el acero inoxidable. Se realizaron pruebas con el lubricante, con y sin agua, comprobando que efectivamente se alcanza a refrigerar parte de la superficie del rodillo, logrando así la acumulación de cera y por ende la lámina grabada.

Así mismo, se tuvo un inconveniente relacionado con la distancia entre centros, que es tan importante para que funcione el mecanismo principal de la máquina. Esto se debió a que en el diseño se tomó una distancia entre rodillos de 1mm. Esta distancia es grande respecto a lo necesitado, ya que no existe un estudio relacionado con este tipo de

máquinas, y se debía realizar el prototipo para poder investigar este tipo de variables. Se descubrió que la distancia entre los rodillos debe ser cero, y que el ancho de la lámina lo da el alto de la pirámide asociada al hexágono de cada uno de los rodillos. Por tanto, en este diseño, se debió corregir la fabricación de los engranajes. Para que pueda ceder ese milímetro de error, se lograron disminuir unas milésimas los engranajes, logrando que los rodillos quedaran casi juntos en la parte de los engranajes, ya que la otra es más fácil de juntar debido al mecanismo que usó para alinear los ejes.

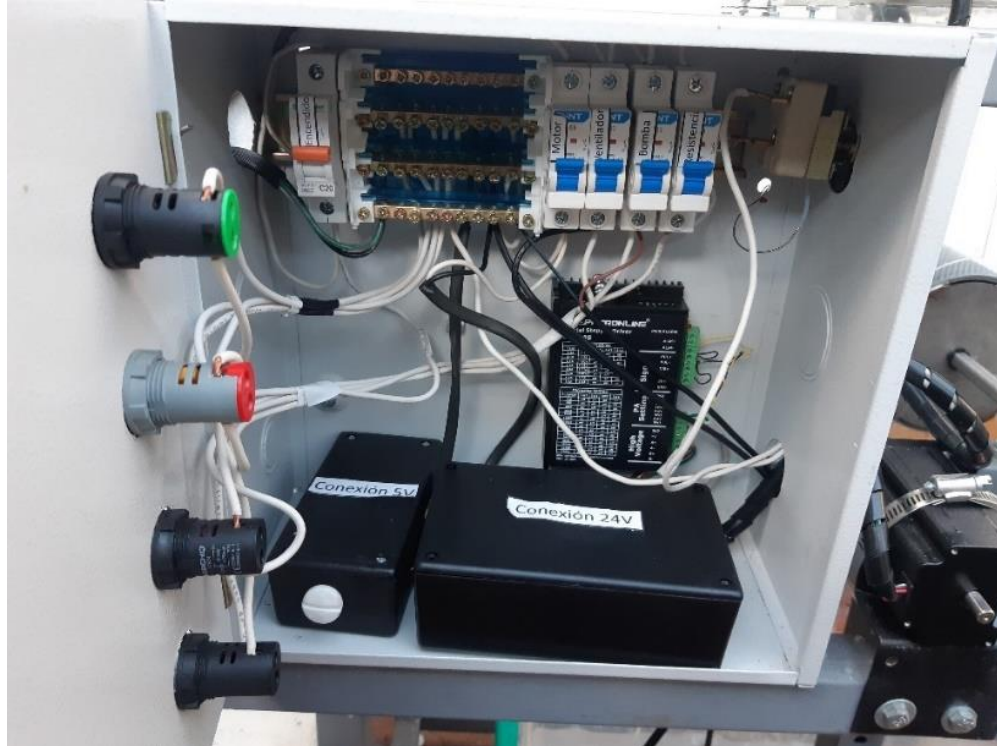
Figura 48. Sistema de engranajes



Fuente: Autor

En la parte electrónica se realizó un generador de baja frecuencia. Al utilizarlo con el controlador del motor, se pueden lograr velocidades realmente bajas. Se realizaron pruebas en la máquina para su funcionamiento desde 2 a 0,5 r.p.m y se determinó que una velocidad óptima del motor, es de 1 r.p.m.

Figura 49. Tablero eléctrico final



Fuente: Autor

El ventilador juega una parte importante en el sistema de refrigeración de la cera, ya que manda una corriente de aire que choca directamente con la cera ya conformada y con el agua, ya que sale sumergida. Este intercambio de calor hace que la cera pierda calor rápidamente, ayudando a su solidificación. A su vez, esto a retirar sin complicaciones la cera, ya que se han realizado también pruebas con cera bien caliente, más de 70 °C, y pasa que la cera está muy líquida en ese punto, no logra conformarse y pasa directamente hacia abajo, cayendo en el tanque de agua que la recibe debajo de la estructura.

Se logró identificar por medio de las pruebas, que la cera no se mezcla con el agua cuando sale del sistema, pero que echándole agua adentro del tanque, se logra una mezcla casi homogénea. Cuando se tiene muy poca agua, siempre se acumula abajo, pero es un residuo que se debe eliminar, ya que el agua con cera a esa temperatura se enfría, y quedan burbujas de agua atrapadas en la cera. Esto genera que la cera tampoco se adhiera bien a la superficie. Por lo tanto, es necesario que no exista agua en la mezcla que se encuentra en el tanque. Así, la cera que se ha dejado caer en el tanque se deja secando al sol, tratando de abrirla porque queda agua atrapada entre las capas de cera.

El sistema térmico inicialmente era una resistencia que estaba controlada con un termostato desde la caja de control. Debido a su posición, dentro del tanque, calentaba

la cera, pero para lograr la precisión en la temperatura, pasaba que se enfriaba a tal punto la llave que se solidificaba la cera a su paso y no dejaba fluir la cera caliente. Para solucionar este problema, se instaló otra resistencia, de un poco menos potencia (350 W) que sería conectada en paralelo con la otra resistencia por lo cual funcionaría, siempre y cuando la otra resistencia estuviese prendida. Esto ocasionó un calentamiento exagerado de la llave, por lo cual se le instaló un switch, el cual será manejado por el operario. Este switch permite accionar la resistencia de la llave siempre y cuando la otra esté prendida, apagarla cuando esté suficientemente caliente, y solo activarla para cuando se tapone el paso.

Figura 50. Resistencia eléctrica de la llave de paso



Fuente: Autor

Para las pruebas se realizaban cada vez muestras de la temperatura de la cera, tanto la que salía como la que estaba en el tanque de la cera con un multímetro que mide temperatura. Las temperaturas que se tomaban eran en grados Celsius, y se toman como referencias las temperaturas de fusión y de solidificación de la literatura. También se tomaron muestras de la temperatura del agua que estaba en circulación almacenada en los tanques.

Figura 51. Temperatura del agua de las cubetas y de la cera en el tanque



Fuente: Autor

Algo usual con la cera de abejas es que el apicultor trata de quitar la mayor cantidad de impurezas, pero, aun así, como es un proceso artesanal, llegan contaminadas de material que normalmente queda acumulado en la parte inferior de la mezcla. Siempre se retiran esos residuos e impurezas con las que viene la cera, por lo cual es clave realizar una prueba de viscosidad por inspección visual, ya que es difícil saber la temperatura justo al salir de la llave de paso.

Figura 52. Retirando lámina de los rodillos



Fuente: Autor

De esta manera y luego de muchas pruebas, se logró calibrar la máquina hasta un punto en el que salen láminas de cera de abejas en ambas direcciones. A partir de un tiempo, la cera deja de enfriarse de la mejor manera por la transferencia de calor del grabado de los rodillos y la leve separación que aún tienen, haciendo que los fragmentos de lámina queden pegados al rodillo, acabando con la lámina en ese instante. De esta manera se han repetido los procedimientos para identificar opciones de mejora que son necesarias para su correcto funcionamiento.

Figura 53. Lámina grabada hecha por la máquina



Fuente: Autor

Para el diseño y construcción de esta máquina se tomaron en cuenta siempre los requerimientos del cliente, y así lograr un prototipo que cumpla en gran parte la solución que se estaba buscando para el problema de ingeniería. La solución planteada es acertada, ya que al ver la magnitud de máquinas que se encuentran en el mercado, se observa que existen otras más robustas y sofisticadas. Pero el diseño que se ha planteado será mucho más económico que los encontradas en el mercado internacional, por lo cual será competitivo. De esta forma, el préstamo que se solicitará para el

funcionamiento de la empresa Beeswax, tiene contemplado la inversión del grabado en CNC de los rodillos en acero inoxidable, que tiene un costo aproximado de 3.000.000 COP. Se realizarán unos engranajes más grandes para hacer los rodillos de un diámetro mayor y a su vez hacerlos más largos.

Figura 54. Lámina de cera de abejas con suministro de cera constante



Fuente: Autor

A su vez, esta máquina está probada en la ciudad de Bogotá D.C., por lo cual variables como la tempera del agua van a jugar un papel importante cuando la máquina se utilice en regiones más calientes, como la ciudad de Ibagué. Los cilindros se hicieron en acero inoxidable para simular el peso y la inercia de todos los elementos móviles del sistema, para comprobar la suficiencia del motor D.C. instalado.

Si este es el caso de la instalación de la máquina en una región más cercana al nivel del mar, se propone instalar un intercambiador de calor (chiller), el cual mantendrá la temperatura del agua en un punto óptimo para la refrigeración de los rodillos. La máquina cuenta con sistemas de seguridad para que el operario esté siempre seguro, pero teniendo en cuenta de que la cera estará a altas temperaturas, también siempre debe

tener a la mano un extintor. En las evidencias y anexos están los videos y fotos del funcionamiento de la máquina, así como todos los cálculos realizados para el diseño de la máquina.

4. CONCLUSIONES

El uso de tecnologías como el CFD para la simulación del comportamiento térmico y el uso de la impresión 3D, fueron de gran ayuda en la manufactura de la máquina, generando soluciones inmediatas en el proceso de moldeado de cera de abejas y en la fabricación de piezas en general; facilitando la etapa de validación y reduciendo el costo de la manufactura en más del 50%.

La identificación de las necesidades del cliente, la caracterización de las especificaciones de ingeniería, el benchmarking y la evaluación de alternativas según la casa de la calidad, hizo que se llegara a un resultado satisfactorio y funcional de la máquina, logrando el objetivo de producir láminas de cera de abejas.

Dependiendo de la ubicación geográfica (temperatura, humedad, altura sobre el nivel del mar de la zona) de la empresa donde se fabrican las láminas, se generan variaciones en los tiempos de solidificación de las láminas, variaciones en la viscosidad, variaciones en el espesor del producto, excesos de material reprocesado. Para ello, se seleccionaron y se validaron distintos sistemas controlados de enfriamiento, cuyo objetivo era garantizar una temperatura constante en la cámara de solidificación y homogenizar los tiempos de producción de las láminas.

La materia prima que venden los apicultores, viene con residuos orgánicos propios del proceso de producción y no cuenta con un porcentaje de parafina regulado, por lo cual, las propiedades de la cera varían entre lote y lote producción, generando dificultades en la estabilización de la temperatura del producto, la conformación de la lámina, el nivel de adherencia con el rodillo de grabado. Por tal razón, se debe usar cera de abejas 100% pura para mitigar el efecto nocivo del exceso de parafina y se requiere filtrar muy bien la materia prima que se utiliza en la máquina; los apicultores de la región mezclan la cera derretida con ácido ascórbico conocido como vitamina C, la reacción hace que las partículas sólidas se decanten, de esta forma se pueden retirar impurezas sólidas fácilmente.

Durante el proceso de validación se ajustaron variables como: la velocidad de conformación de las láminas a partir de la velocidad de rotación del rodillo, la posición adecuada del ventilador, la temperatura de entrada del producto al proceso de conformación, la temperatura de conformación de la lámina, todo este proceso tomó seis meses y se utilizaron 30 kilogramos de cera.

Desarrollar una máquina que cuenta con distintos componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, hace que el proyecto sea integral, ya que logra sincronizar de la mejor manera todas las piezas y componentes, buscando siempre esa sinergia desde el diseño para que todo funcionara bien. Sin embargo, se presentaron obstáculos que obligaron a realizar métodos de fabricación tan diferentes, como el ataque químico y la impresión 3D para generar los resultados esperados.

El costo promedio de una máquina de prestaciones similares en el exterior es de 20.000 USD, comparado con el costo del prototipo de cerca de 2.000 USD, hace que esta solución sea una alternativa viable para la producción de láminas a nivel local.

A partir del trabajo del trabajo realizado, se identifica que existe una alta demanda de láminas de cera de abejas a nivel nacional, por lo que se proyecta suplir esta necesidad con un emprendimiento de fabricación y venta de láminas de cera de abejas, aunque no es el alcance de este trabajo, ya han habido contactos con empresas y asociaciones de apicultores de Ibagué y Bogotá, interesados en adquirir grandes volúmenes de láminas de cera de abejas.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de elementos de protección cuando se trabaja con cera de abejas derretida, ya que se encuentra a una temperatura de 65 °C, por lo cual, puede causar quemaduras en la piel. El control de temperatura es de gran importancia ya que garantiza una temperatura uniforme, de modo que se reduzcan los riesgos al trabajar con una materia prima que es inflamable.

Es importante validar nuevos diseños cambiando el material del rodillo de grabado en plástico tipo nylon, por uno mecanizado en acero inoxidable que, aunque es más costoso, daría una mejor calidad en la impresión y conformado de la lámina.

El uso de procesos de manufactura convencionales fue importante para el desarrollo del prototipo, pero es necesario el uso de tecnologías que garanticen las especificaciones de diseño en el proceso de fabricación final de las piezas, evitando reprocesos y confiabilidad en el producto final.

6. REFERENCIAS

- ALBERT REYNAERS, 2018. Beeswax Machine. *Facebook* [en línea]. [Consulta: 13 enero 2020]. Disponible en: <https://www.facebook.com/albert.reynaers/videos/2134876056742736/>.
- ALICE ZHANG, 2015. full automatic beeswax machine. *YouTube* [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=uHnzLQsoa5Y>.
- AMERICAN GEAR MANUFACTURERS ASSOCIATION, 1994. *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*. S.l.: American Gear Manufacturers Association 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, Virginia 22314. ISBN 1-55589-648-0.
- AMIN, M., PUTRA, N., KOSASIH, E.A., PRAWIRO, E., LUANTO, R.A. y MAHLIA, T.M.I., 2017. Thermal properties of beeswax/graphene phase change material as energy storage for building applications. *Applied Thermal Engineering* [en línea], vol. 112, pp. 273-280. ISSN 13594311. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2016.10.085. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.085>.
- API-INOX, 2014. Api-inoX WaxStar1 (english). *YouTube* [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=cHB17DM9Yuc>.
- BANCO DE LA REPÚBLICA, 2022. Información recopilada y calculada por el Departamento Técnico y de Información Económica. *Boletín de indicadores económicos* [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/bie.pdf>.
- BENEFITBEE, 2022. Benefitbee Beeswax foundation sheet mold portable. *Alibaba* [en línea]. [Consulta: 1 enero 2022]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/Benefitbee-Beeswax-foundation-sheet-mold-portable_60809853873.html.
- BOGDANOV, S., 2016. Beeswax: Composition and Control. *Beeswax Book* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 1-18. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Bogdanov/publication/304012435_Bee_swax_Production_Properties_Composition_Control/links/5762c6ca08ae0eda643110f6/Beeswax-Production-Properties-Composition-Control.pdf.
- BOGDANOV, S., 2020. Antiviral properties of the bee products: a review. *Bee products against viruses and for covid-19 ...* [en línea], pp. 1-16. Disponible en: https://www.happycultureinc.com/uploads/6/9/1/1/69116215/bee_products_covid_19_prevention.pdf.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008a. Carga radial equivalente. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 559.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008b. Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 560.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008c. Factores de Marin. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 279.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008d. Fuerza equivalente. *Diseño en ingeniería*

- mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 565.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008e. Goodman modificado. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 298.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008f. Longitud de aplastamiento. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 383.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008g. Resistencias determinísticas a la tensión y a la fluencia. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 1020.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008h. Segundo momento unitario del área. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 470.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008i. Teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 212.
- BUDYNAS, R.G. y NISBETT, J.K., 2008j. Tornillos, sujetadores y diseño de uniones no permanentes. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. 8. S.l.: s.n., pp. 396-435.
- CÁMARA PROCULTIVOS ANDI, 2020. *Manual de coexistencia entre apicultura y agricultura* [en línea]. 2020. S.l.: s.n. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ManualCoexistencia_637598798280511562.pdf.
- CJP24, 2008. File:Calender machine.jpg. *Wikipedia* [en línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Calender#/media/File:Calender_machine.jpg
- ÇENGEL, Y.A. y GHAJAR, A.J., 2011. Balance de energía para sistemas cerrados(masa fija). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones Cuarta edición*. 4. S.l.: s.n., pp. 12.
- FATİH ÇOBAN, 2019. Beeswax Equipment. *Facebook* [en línea]. [Consulta: 13 enero 2020]. Disponible en: <https://www.facebook.com/ricardo.tello.90038/posts/2516558968570829>.
- GRUPO SKF, 2019. Rodamientos rígidos de bolas. *Rodamientos*. S.l.: s.n., pp. 266-267.
- HENAN XUANHUA IMP. & EXP, 2020. Full automatic beeswax foundation machine. *Alibaba* [en línea]. [Consulta: 18 enero 2020]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/Full-automatic-beeswax-foundation-machine-for_60293580683.html?spm=a2700.7724857.normalList.109.3dbe16eaHqu4ul.
- JJBEARD, 2006. File:555 Astable Diagram.svg. *Wikipedia* [en línea]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:555_Astable_Diagram.svg.
- KOHSAKA, R., PARK, M.S. y UCHIYAMA, Y., 2017. Beekeeping and honey production in Japan and South Korea: past and present. *Journal of Ethnic Foods* [en línea], vol. 4, no. 2, pp. 72-79. ISSN 23526181. DOI 10.1016/j.jef.2017.05.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jef.2017.05.002>.
- MADR, 2016. Cadena de las Abejas y la Apicultura. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/2016-10-30> Cifras sectoriales.pdf.
- MADR, 2020. Cadena de las Abejas y la Apicultura. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/2020-03->

31%20Cifras%20Sectoriales.pdf

- PAUL. M., 2018a. Build rolling machine for center walls yourself. *YouTube* [en línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=NxTAgY-f6Oo&t=2s>.
- PAUL. M., 2018b. Rolling machine for center walls. *YouTube* [en línea]. [Consulta: 13 enero 2020]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=bXEWzQI9klg>.
- PETMAK MAKINE, 2009. BEESWAX MACHINE-2. *YouTube* [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=iQuoJz2mguc>.
- PFEIFFER, P.M.M., CHAMORRO, F. y NATES, G., 2016. Apis mellifera como polinizador de cultivos en Colombia. *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: Abejas ICPA* [en línea], no. November, pp. 95-110. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311722329_Apis_mellifera_como_polinizador_de_cultivos_en_Colombia.
- PHILIPS ECG, I., 1981. ECG955M TIMER/OSCILLATOR. En: I. PHILIPS ECG (ed.), *Sylvania Linear Modules and Integrated Circuits*. 1. S.l.: s.n., pp. 474-479.
- SERRA BONVEHI, J. y ORANTES BERMEJO, F.J., 2012. Detection of adulterated commercial Spanish beeswax. *Food Chemistry* [en línea], vol. 132, no. 1, pp. 642-648. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2011.10.104. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.104>.
- ULLMAN, D.G., 2010. *The Mechanical Design Process, Fourth Edition*. 4. S.l.: McGraw-Hill.