

Diseño y construcción de un prototipo de una máquina de laminadora de cera de abeja

(Design and Construction of a Prototype of a Beeswax Laminating Machine)

Líder Castillo Laban¹, Mario Yacchirema Lopez²,
Rodger Salazar Loo³

¹ Diseñador independiente

² Unidad Educativa Rosa Amada Espinoza, Ecuador

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

lider.castillo.laban@gmail.com, mario.yacchirema2016@uteq.edu.ec, rsalazarl@uteq.edu.ec

Resumen: Este trabajo aborda la necesidad de optimizar la producción de láminas estampadas de cera para la apicultura en la provincia de Bolívar, ciudad de Guaranda. Ante la limitación tecnológica y el alto costo de importación de maquinaria, se diseña y construye un prototipo de máquina de rodillos estampadores de cera de abeja que opera de manera semiautomática. El uso de software de ingeniería permitió simular el funcionamiento del prototipo para optimizar su rendimiento antes de su fabricación física. Como resultado, se logró un sistema que no solo mejora significativamente el proceso de estampado de cera, sino que también promete beneficios económicos para los apicultores locales, representando una innovación sustancial en la industria. Este prototipo se destaca por su eficiencia mejorada en la producción de láminas, así como por su diseño que contempla la portabilidad y facilidad de uso, configurándose como una solución práctica y económica frente a las alternativas importadas.

Palabras clave: apicultura, láminas, cera de abeja, alvéolos, mecanizado.

Abstract: This work addresses the need to optimize the production of stamped wax sheets for beekeeping in the province of Bolivar, Guaranda city. Given the technological limitations and the high cost of importing machinery, a prototype of a semi-automatic beeswax stamping roller machine was designed and built. The use of engineering software made it possible to simulate the operation of the prototype to optimize its performance before its physical fabrication. As a result, a system was achieved that not only significantly improves the wax stamping process, but also promises economic benefits for local beekeepers, representing a substantial innovation in the industry. This prototype stands out for its improved efficiency in the production of foils, as well as for its design, which contemplates the use of a new system for the production of wax.

Keywords: beekeeping, foils, beeswax, alveolus, machining.

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes, la producción y comercialización de productos apícolas en Ecuador ha experimentado un notable crecimiento económico en áreas rurales, proporcionando ingresos y beneficios sociales significativos, especialmente para los agricultores que buscan diversificar sus actividades agropecuarias [1].

La apicultura es una actividad esencial que contribuye significativamente a la economía de varias regiones, incluida la provincia de Bolívar, ciudad de Guaranda [2]. Los apicultores, responsables de proveer y comercializar productos como la miel y la cera, enfrentan desafíos que

limitan su eficiencia y productividad [3]. La falta de tecnología adecuada para la fabricación de láminas de cera, esenciales en la producción de miel, persiste en el mercado actual, siendo crucial mejorar la eficiencia y calidad en el procesamiento de la cera para el éxito de la apicultura [4].

En Ecuador, la mayoría de las máquinas encargadas de esta actividad son importadas, lo que incrementa los costos y retrasa la producción. Además, la ausencia de estas láminas implica que las abejas deben construir un panal completo desde cero, lo que reduce la producción de miel [5].

El proceso de laminación de la cera se realiza mediante máquinas de rodillos, donde la cera en plancha se introduce entre dos rodillos que la comprimen y estampan el patrón del panal. Estas máquinas pueden ser accionadas manualmente o mediante energía eléctrica, y aseguran que la cera estampada avance sin riesgo de romper o alterar las delicadas estructuras [6].

Las estampadoras de láminas de cera de abeja se diseñan meticulosamente para optimizar eficiencia y precisión. El sistema de rodillos laminadores, adaptado a las propiedades de la cera y las necesidades de los apicultores, transforma la cera en láminas de 1 a 3 mm de espesor con geometría hexagonal [7]. Estas estructuras hexagonales reciben el nombre de alvéolos, y su tamaño varía según la región o el país, normalmente presentando diámetros que oscilan entre 5,1 y 5,5 mm y un espacio entre cada alveolo entre 0,5 y 0,8 mm [8].

Durante el proceso de laminación de la cera de abeja, es esencial comprender la distribución de esfuerzos para garantizar una formación uniforme y eficiente de la lámina. Una mayor fuerza de laminación incrementa el ángulo de presión y el coeficiente de fricción, permitiendo diseñar rodillos de menor diámetro para reducir la superficie de contacto con la cera [9].

Los componentes involucrados en el tratamiento de ceras están expuestos a alta humedad y temperatura constante, lo que acelera su oxidación y desgaste. Por ello, se utiliza acero inoxidable en su construcción debido a su resistencia a la oxidación y su idoneidad para la industria alimentaria [10].

2. TRABAJOS RELACIONADOS

En el trabajo de Tello [11] se ha presentado una iniciativa de diseño para una máquina laminadora de cera de abeja incorporando un sistema de calentamiento y refrigeración con el fin de optimizar el proceso artesanal de una empresa local colombiana. Adoptando prácticas implementadas por países líderes en apicultura, se apuntó a revolucionar la forma en que se produce y comercializa la cera de abeja en la región por parte de esa empresa.

Por otro lado, en la investigación de Guanín [12] se ha desarrollado un proceso de diseño para una máquina estampadora, evaluando las técnicas de laminación y compactación. Optó por la laminación debido a su precisión en el grabado, adaptabilidad a las necesidades del usuario y facilidad de uso, asegurando un proceso eficiente y optimizado para la producción de láminas de cera de abeja con un diseño intuitivo que permite una operación sencilla.

Por último, se menciona el trabajo de Pisco y Fonseca que aborda la exploración y la validación mediante simulación computacional de procesos de laminación de cera de abeja para una capacidad de producción de 6 láminas por minuto y hasta 20 kg de cera, determinándose que los esfuerzos y deformaciones en condiciones de operación del equipo son aceptables, cumpliendo con los requerimientos y necesidades de los apicultores de la zona previo a su manufactura [13].

3. METODOLOGÍA

3.1 Parámetros de diseño

En la fase de diseño y construcción de la máquina laminadora de cera de abeja, se establecieron los parámetros iniciales de acuerdo con Castillo [5]. Estos indicadores se muestran en la Tabla 1 para el proceso de cálculo y selección de elementos de máquinas.

Tabla 1. Parámetro de diseño.

Largo de lámina [mm]	Ancho de lámina (w) [mm]	Espesor de lámina [mm]	Temperatura de cera [°C]	Esfuerzo de laminado ($\bar{Y}_f$) [MPa]	Número de revoluciones de rodillo (N) [rpm]	Radio de rodillo [mm] (r_{ro})
422	198	2	62-65	3	10	37.65

3.2 Cálculo de rodillos

Para el diseño se ha considerado, según la literatura especializada [14], [15], una velocidad angular de 10 rpm proporcionada por el sistema motriz. A partir de ello, se determina la velocidad de laminado mediante la Ecuación 1.

$$v_r = N r_{ro} \quad (1)$$

Estableciendo un tiempo de laminado dividido en dos actividades: el tiempo que tarda en circular una lámina por los rodillos y el tiempo que tarda en removerse y cambiarse por una nueva lámina. Se ha considerado un tiempo de remoción t_2 de 15 s [5], mientras que el tiempo de circulación se expresa mediante la Ecuación 2.

$$t_l = \frac{L_l}{v_r} \quad (2)$$

De manera, que el tiempo total invertido en el proceso de laminación por lámina de cera de abeja se expresa con la Ecuación 3.

$$t = t_l + t_2 \quad (3)$$

Como se muestra en la Figura 1, durante el proceso de laminación se presenta un cambio del espesor b_o a b_f , este parámetro es importante en vista que durante el tramo L_C , se produce la deformación plástica debido a una fuerza requerida para la laminación, como se indica en las Ecuaciones 4, 5 y 6.

$$e_{m\acute{a}x} = b_o + b_f \quad (4)$$

$$L_C = \sqrt{r_{ro} e_{m\acute{a}x}} \quad (5)$$

$$F_L = \bar{Y}_f w L_C \quad (6)$$

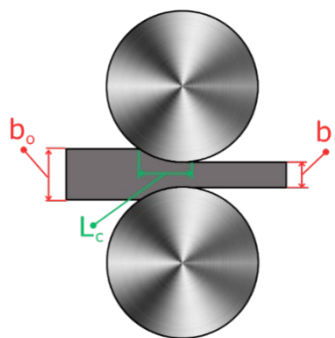


Figura 1. Parámetros geométricos de laminación.

De acuerdo con Kalpakjian [15], los metales tienen un adecuado valor de la fuerza real de laminado si se incrementa en un 20 %. Debido a la propiedad de adhesión se consideró un aumento del 30 % expresándose con la Ecuación 7.

$$F_{rL} = 1.3F_L \quad (7)$$

A partir de esta fuerza de laminación obtenida se determinan el torque de laminación, torque total y la potencia requerida para la selección del sistema motriz, como se muestra en las Ecuaciones 8, 9, 10.

$$T_L = 0.5F_{rL}L_C \quad (8)$$

$$T_{tL} = 2T_L \quad (9)$$

$$P_L = F_{rL}NL_C \quad (10)$$

3.3 Cálculo de engranajes

Para el posicionamiento entre los centros de los rodillos considerando un espesor mínimo de 0,3 mm, se emplea la Ecuación 11.

$$C_r = d_4 - S \quad (11)$$

A partir del valor C_r se procede a realizar el dimensionamiento de los engranajes rectos considerando valores iniciales de módulo de 2,5, número de dientes de 30 y el ángulo de presión de 20° mediante las Ecuaciones 12 y 13, para posteriormente emplear el software Geartrax para la modelación geométrica de los engranes.

$$D_e = (N_d + 2)m_t \quad (12)$$

$$D_p = \frac{N_d}{P_d} \quad (13)$$

3.4 Cálculo de poleas

En este estudio se ha seleccionado una transmisión directa por lo que se ha asignado un diámetro de poleas de 3 in de tipo A, expresando la velocidad de giro de la polea hacia el eje del rodillo mediante la Ecuación 14.

$$N_1 = \frac{ND_1}{D_2} \quad (14)$$

Para el cálculo de cargas producidas por transmisión de la polea motriz con la polea conductora para facilitar el movimiento de la banda se emplean las Ecuaciones 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21. Cabe mencionar que se selecciona un valor de $C=2$ correspondiente a correas trapezoidales tipo V y C.

$$T_1 = T_r \frac{D_2}{D_1} \quad (15)$$

$$F_n = \frac{2T_1}{D_2} \quad (16)$$

$$F_f = CF_n \quad (17)$$

$$F_{fy} = F_f \cos \theta \quad (18)$$

$$F_{fz} = F_f \sin \theta \quad (19)$$

$$F_{ty} = \frac{2T_1}{D_p} \quad (20)$$

$$F_{rz} = F_{ty} \tan \phi \quad (21)$$

3.5 Cálculo de ejes

El dimensionamiento del diámetro de un eje se realiza mediante un análisis estático realizado empleando el software MDSolids y la norma ANSI B 106.IM-1985 para considerar el diseño de flexión y torsión bajo la Ecuación 22 y 23.

$$M_T = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (22)$$

$$d = \left[\frac{32N_s}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_f M_T}{S'_E} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (23)$$

4. RESULTADOS

4.1 Dimensionamiento de componentes de transmisión

Para el dimensionamiento de los sistemas mecánicos involucrados en la laminadora de cera de abeja se emplean las Ecuaciones 1 a 22. Los parámetros de geometría y cargas de laminación se muestran en la Tabla 2. Por otro lado, el dimensionamiento en los engranajes se determinó con valores de control como se indican en la Tabla 3, mientras que en la Tabla 4 se muestran los valores de carga producidos en la transmisión por polea.

Por último, en la Tabla 5 se indican los parámetros de dimensionamiento del eje de transmisión, se ha considerado que se mantengan los tamaños relativos de los elementos de transmisión sobre los apoyos de los cojinetes para practicidad en su construcción, adicionalmente para su identificación clara se ha realizado su representación en la Figura 2.

Tabla 2. Resultados de parámetros de control del proceso de laminación.

Parámetro	Valor encontrado	Unidad
v_r	1,05	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$
t_l	11	s
t	26	s
$e_{m\acute{a}x}$	1	mm
L_C	6.14	mm
F_L	3644.78	N
F_{rL}	4738.22	N
T_L	14.52	Nm
T_{tL}	29.04	Nm
P_L	31	W

Tabla 3. Resultados de parámetros de control inicial de engranajes rectos.

Parámetro	Valor encontrado	Unidad
C_r	75	mm
D_e	80	mm
D_p	3	in

Tabla 4. Resultados de dimensionamiento de poleas.

Parámetro	Valor encontrado	Unidad
T_1	135	Nm
F_n	3543.31	N
F_f	7086.61	N
F_{fy}	6137.19	N
F_{fz}	3543.31	N
F_{ty}	3543.31	N
F_{rz}	1289.66	N

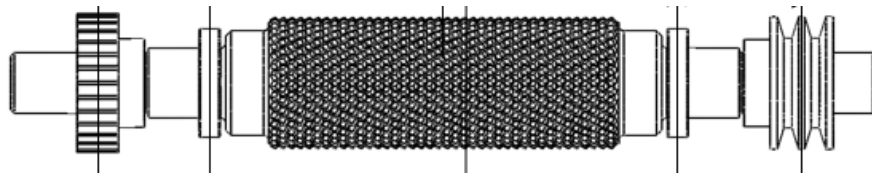


Figura 2. Representación de la distribución elementos de transmisión en eje.

Tabla 5. Resultados de dimensionamiento de eje.

Parámetro	Valor en Punto A	Valor en Punto B	Valor en Punto D	Valor en Punto E	Unidad
M_1	-	-	255,37	0	N m
M_2	-	-	441,89	0	N m
M_T	-	-	510,36	0	N m
d	50,14	50.14	50,14	20,54	mm

4.2 Simulación de elementos de transmisión

Este estudio, se realizó en función de una simulación estática, debido a la complejidad de la geometría y proceso de laminación durante el contacto de la cera de abeja con los rodillos alveolados. Las cargas aplicadas en el análisis estático del rodillo incluyeron la fuerza tangencial, la fuerza radial de la polea y los engranajes.

Adicionalmente, se aplicó la fuerza del laminado en la parte inferior de la cara del rodillo. Mediante el uso del software Ansys, se determinó que el esfuerzo de Von Mises es de 182,17 MPa, valor que se encuentra por debajo del límite elástico del material de 275 MPa, lo cual

garantiza que el rodillo no sufrirá deformación plástica. Asimismo, se evaluaron los factores de seguridad bajo condiciones de flexión y cortante, obteniéndose valores de 1,50 y 1,31, respectivamente. Estos valores, según la teoría de fallas, superan el umbral crítico de 1, lo que asegura la confiabilidad en el desempeño operativo del eje.

Las cargas consideradas en el análisis de los engranajes fueron la fuerza tangencial y radial, mediante el software Ansys, se obtuvo que el esfuerzo de Von Mises es 744,38 MPa. Este valor es inferior al límite elástico del material es de 1140 MPa, de manera que el engranaje no se deformará plásticamente. Asimismo, se determina el factor de seguridad en condiciones de flexión y cortante obteniéndose un valor de 1,53 y 1,46 respectivamente que, de acuerdo con la teoría de fallas, no supera los límites admisibles en el comportamiento mecánico.

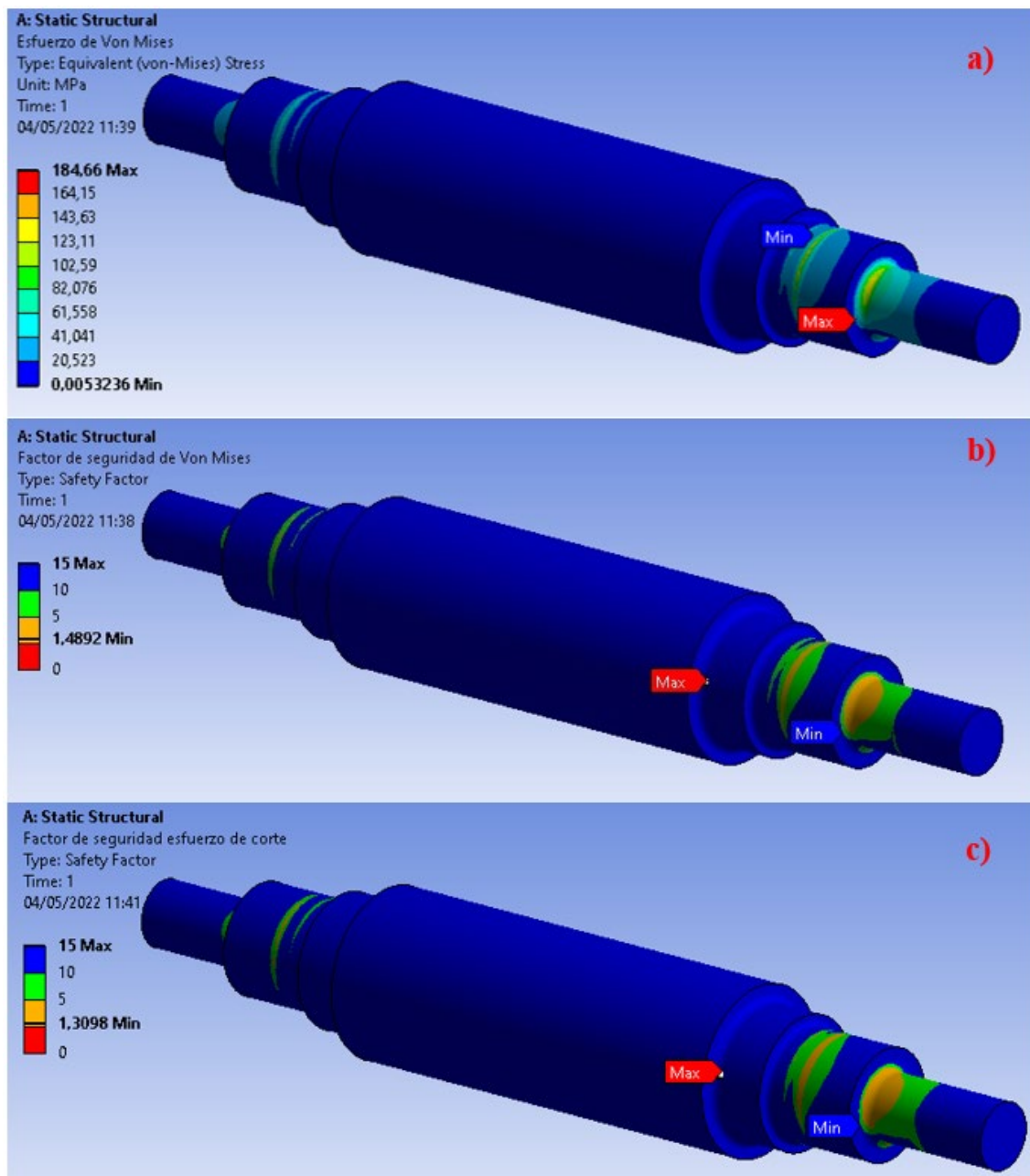


Figura 3. Estudio de simulación en eje y rodillo laminador para a) Esfuerzo de Von Mises, b) Factor de seguridad en flexión, c) Factor de seguridad en cortante.

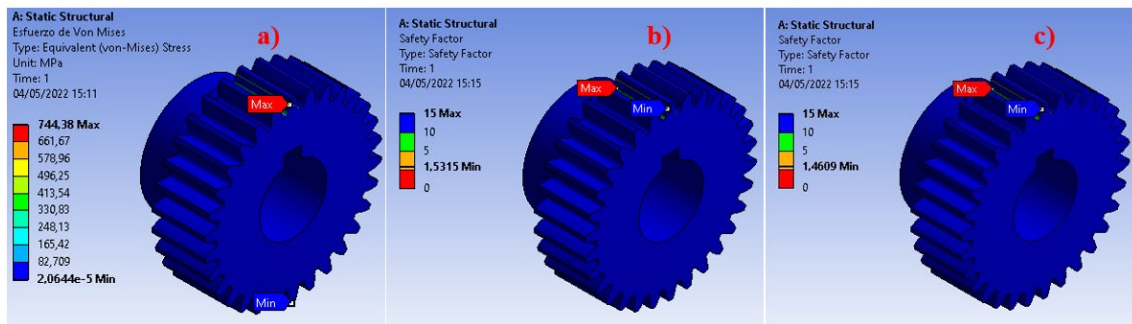


Figura 4. Estudio de simulación engranaje recto para a) Esfuerzo de Von Mises, b) Factor de seguridad en flexión, c) Factor de seguridad en cortante.

4.3 Construcción de equipo

Con la validación de los cálculos y la simulación se realizó el proceso de ensamblaje del equipo como se observa en la Figura 3 y 4, posteriormente se ejecutaron pruebas de laminación obteniendo perfiles de los alveolos adecuados a lo esperado con medidas de 1 mm como se muestra en la Figura 5.

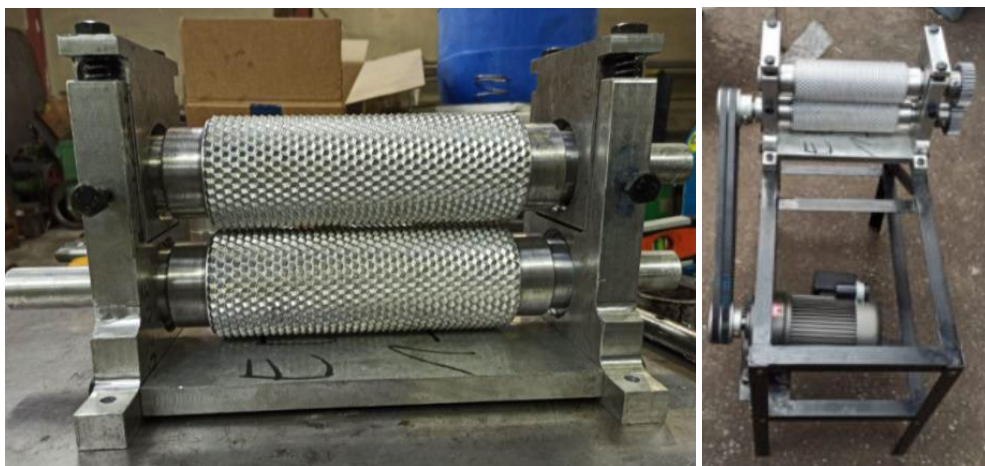


Figura 5. Ensamble de laminador de cera de abeja.



Figura 6. Laminación de cera de abeja con patrón alveolado de 1 mm.

5. DISCUSIÓN

El desarrollo y evaluación del prototipo de máquina de rodillos estampadores de cera de abeja presentado en este estudio demuestra una mejora significativa en la eficiencia de producción de láminas estampadas, alineándose con la necesidad identificada en la provincia de Bolívar, ciudad de Guaranda. La aplicación de software de ingeniería para el modelado y simulación del prototipo no solo optimizó su funcionamiento, sino que también permitió anticipar y resolver posibles fallos operativos antes de la construcción física, un enfoque que contrasta con las metodologías tradicionales.

Comparado con estudios anteriores, este trabajo explora diferentes diseños y procesos de laminación en el contexto de la apicultura. En el estudio de Tello [11], se desarrolló una máquina laminadora de cera de abejas que incorpora un sistema de calentamiento y refrigeración, lo cual optimiza el proceso artesanal en Colombia al permitir la producción continua de láminas de cera manteniendo una temperatura adecuada durante el proceso. Este enfoque mejoró significativamente la eficiencia y calidad del producto final.

Guanín [12], por su parte, diseñó una máquina estampadora que evaluó diversas técnicas de laminación y compactación. Su investigación destacó por la precisión en el grabado de patrones de cera y la adaptabilidad del proceso a las necesidades del usuario, facilitando una operación intuitiva y sencilla.

Además, Pisco y Fonseca [13] realizaron una validación exhaustiva mediante simulación computacional de los procesos de laminación, logrando una capacidad de producción de seis láminas por minuto. Su estudio evaluó los esfuerzos y deformaciones en condiciones operativas, asegurando que el equipo cumpliera con los requerimientos de los apicultores antes de su manufactura.

Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones del estudio. La implementación del prototipo en condiciones reales de producción requiere evaluaciones adicionales sobre su durabilidad, mantenimiento y adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. Además, la investigación se centró en la eficiencia de producción sin profundizar en el impacto de las láminas producidas sobre la salud y el comportamiento de las abejas, un aspecto crucial para garantizar la sostenibilidad de las prácticas apícolas.

Futuras investigaciones deberían explorar la integración de tecnologías de monitoreo y control en tiempo real para optimizar aún más la operación de la máquina. También sería valioso estudiar el impacto a largo plazo del uso de las láminas producidas por el prototipo en la salud de las colonias de abejas y en la calidad de los productos apícolas.

6. CONCLUSIONES

El prototipo diseñado ha demostrado una notable mejora en la eficiencia de la producción de láminas estampadas de cera de abeja, de manera que comparado con los métodos convencionales, el sistema semiautomático reduce el tiempo de producción y el esfuerzo manual necesario, lo que representa un avance significativo hacia la automatización del proceso de estampado de cera de abeja.

El uso de software de ingeniería para modelar y simular el funcionamiento del prototipo ha permitido optimizar su diseño, garantizando un rendimiento eficiente y la anticipación de posibles fallos operativos, de manera que esta aproximación tecnológica subraya la importancia de la innovación en el desarrollo de soluciones específicas para la industria apícola.

El prototipo propuesto promete beneficios económicos significativos para los apicultores de la región, permitiendo una producción más ágil de láminas de cera de abeja y, por ende, una mayor

eficiencia en la producción de miel y otros productos apícolas, de forma que puede contribuir al desarrollo económico de las comunidades rurales implicadas.

Aunque el estudio confirmó la viabilidad técnica y la eficiencia del prototipo, se identificaron áreas para futuras investigaciones, incluyendo la durabilidad, el mantenimiento y la adaptabilidad del sistema a diferentes condiciones ambientales, siendo necesario de considerar la sostenibilidad y adaptabilidad como factores clave en el diseño de maquinaria apícola.

REFERENCIAS

- [1] M. F. Miranda, D. K. Campoverde, and L. A. Velasco, "Proposal for the Production and Marketing of Beekeeping Products", ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S. T. E. A. M, vol. 2, no. 1, pp. 196–214, jun. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i2.11194>
- [2] A. M. Rea, "Diseño de un Plan Estratégico con el establecimiento de un balance Scorecard para el Gobierno Autónomo descentralizado del Cantón Guaranda", Tesis de Maestría, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/dc285366-6884-443a-a88e-9ce0f5817045/content>
- [3] S. A. Echeverría, "Plan de negocios para la importación de miel de abeja desde México hacia el Ecuador", Tesis de grado, Universidad De Las Américas, Quito, Ecuador, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/1901>
- [4] C. Ziegler, T. Sinigaglia y A. Michels, "Desenvolvimento de um equipamento para a produção de cera alveolada", Holos, vol. 2, pp. 53–67, apr. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3742>
- [5] L. Y. Castillo, "Diseño y construcción de un prototipo de una máquina de rodillos estampadores de cera de abeja", Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6617>
- [6] J. D. Higueros, "Manufactura de bases de cera de abeja con moldes impresos en 3D", Tesis de grado, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4324>
- [7] E. A. Chiluisa, "Diseño del sistema de rodillos gofradores para el moldeado de cera de abeja", Tesis de grado, Universidad Técnica del Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/outputs/525004813/?source=2>
- [8] J. D. Perez y G. C. Villamizar, "Diseño y construcción de rodillos estampadores de cera de abeja", Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2004. [En línea]. Disponible en: <https://noesis.uis.edu.co/items/556bf9f4-60a6-43ce-8238-890072eba3e7>
- [9] T. Khamdaeng, T. Wongsiriamnuay, N. Panyoyai, K. Narkprasom, and W. Intagun, "Mechanical properties and melting conditions of beeswax for comb foundation forming", *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*, vol. 18, no. 3, pp. 282–293, 2016. [Online] Available: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/3735/2441>
- [10] M. d. Rincón, "Ampliación de una industria apícola en Arnedo", Tesis de grado, Universidad de Valladolid, España, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/6064>

- [11] N. Tello, "Diseño y fabricación de una máquina de láminas de cera de abejas", Tesis de grado, Universidad Santo Tomás, Colombia, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/44459>
- [12] S. J. Guanín y J. L. Llumiquinga, "Diseño y construcción de una laminadora estampadora continua para cera de abejas", Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito 2006. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2523>
- [13] V. S. Pisco y L. A. Fonseca, "Diseño validado mediante software de una máquina automática laminadora y estampadora de cera de abejas para marcos de colmenas Langstroth", Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espacech.edu.ec/handle/123456789/15154>
- [14] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 5ª ed., México, Pearson Educación, 2008, pp. 349–350.
- [15] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 10ª ed., México, McGraw-Hill, 2019, pp. 670–673.

Glosario de términos

Símbolo	Parámetro	Símbolo	Parámetro
L_l	Largo de lámina (mm)	$T_t L$	Torque total (Nm)
w	Ancho de lámina (mm)	P_L	Potencia requerida (W)
e	Espesor de lámina (mm)	C_r	Separación entre rodillos (mm)
T_c	Temperatura de cera (°C)	D_e	Diámetro extremo de engranaje (mm)
Y_f	Esfuerzo de laminado (MPa)	D_p	Diámetro de paso (in)
N	Número de revoluciones de rodillo (rpm)	T^1	Torque de entrada (Nm)
r_o	Radio de rodillo (mm)	F_n	Fuerza tangencial (N)
v_r	Velocidad de laminado (rad/s)	F_f	Fuerza de flexión (N)
t_1	Tiempo de laminado (s)	F_{fy}	Fuerza de flexión en el eje y (N)
t	Tiempo total de laminado (s)	F_{fz}	Fuerza de flexión en el eje z (N)
$e_{\max}$	Pase de laminación (mm)	F_{ty}	Fuerza tangencial en el eje y (N)
L_c	Longitud de contacto (mm)	F_{rz}	Fuerza radial en el eje z (N)
F_L	Fuerza de laminado (N)	M_T	Momento torsor total (Nm)
$F_r L$	Fuerza real de laminado (N)	d	Diámetro del eje (mm)
T_L	Torque de laminado (Nm)		

Copyright (2025) © Líder Castillo Laban, Mario Yacchirema Lopez y Rodger Salazar Looor.

Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. También podrá adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material. [Ver resumen de la licencia](#).

