

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CENTRIFUGADORA RADIAL APÍCOLA AUTOMATIZADA, CON PANELES SOLARES, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ASPECTOS DE LA INDUSTRIA 4.0

Jaime Martínez Vásquez

Tecnológico Nacional de México/Instituto
Tecnológico de Pinotepa

Urfila Victoria Peláez Estrada

Tecnológico Nacional de México/Instituto
Tecnológico de Pinotepa

Gerardo Martínez Hernández

Tecnológico Nacional de México/Instituto
Tecnológico de Pinotepa

Marcos Samuel López Rivera

Tecnológico Nacional de México/Instituto
Tecnológico de Pinotepa

Omar López Maldonado

Tecnológico Nacional de México/Instituto
Tecnológico de Pinotepa

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: La apicultura es una práctica que, como indican Cruz Gutiérrez y Zaragos Pérez (2012), está dedicada a la cría y al cuidado de las distintas especies de abejas con la finalidad de recolectar sus diversos productos, principalmente miel, ya sea para el autoconsumo o para su comercialización. Es por tanto una importante actividad económica, y se encuentra catalogada dentro del sector pecuario como un subsector del sector agropecuario (Magaña Magaña, Tavera Cortés, Salazar Barrientos, y Sanginés García, 2016). De acuerdo con datos obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, por sus siglas SIAP (2020), en el periodo de 2006 a 2020 se produjeron en promedio un total de 57 mil toneladas de miel de abeja al año en México, siendo este un producto que se distribuye a nivel nacional, y que tiene también alcances comerciales a nivel internacional (Gómez et al., 2016). En la investigación se diseñó una máquina Diseño y Construcción de una Máquina Centrifugadora Radial Apícola Automatizada, con Paneles Solares, Mediante la Aplicación de Aspectos de la Industria 4.0, con la finalidad de mejorar e incrementar la producción de miel de abeja en la región del Campo experimental de San José Estancia Grande Oaxaca. La cual puede ser utilizada en el campo de la apicultura, permitiendo obtener miel apta para el consumo humano, tendrá una capacidad máxima de 6 marcos (bastidores), una velocidad máxima de rotación de 190 rpm, una temperatura de 35°C un sistema de seguridad basado en sensores capacitivos que no permiten realizar ningún proceso mientras estén abiertas las puertas, una termocupla para el control de temperatura en el momento de la extracción de la cera y un variador de frecuencia para el control de la velocidad del motor que es de 1 HP. El material de construcción del tanque de extracción se lo realizó en acero inoxidable AISI 304 por sus propiedades idóneas para los

procesos alimenticios.

Palabras clave: apicultura, Máquina Centrifugadora Radial, Automatización.

INTRODUCCIÓN

Con base en el valor de la producción obtenido del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2016), la comercialización de miel generó durante el mismo periodo ganancias de más de 20,523 millones de pesos para el país. Además de ayudar a preservar la especie y contribuir a la economía nacional, la apicultura también es una de las actividades que posiciona a México frente a otros países en cuanto a nivel de productividad y de exportaciones (Gómez et al., 2016).

Las abejas melíferas no solo juegan un papel clave en la preservación de los ecosistemas, sino que también contribuyen a un mayor ingreso (Bradbear, 2009). El papel de las abejas para la economía mundial y la seguridad alimentaria es indudable y, por lo tanto, no solo los científicos, sino también los agricultores, los ecologistas y los responsables políticos unen fuerzas para hacer esfuerzos para preservarlas (EFSA, 2013). Los proyectos no solo trabajan en su conservación sino en la tecnificación de los procesos de producción y en la mejora de la infraestructura para minimizar el impacto ambiental y obtener mayor eficiencia con seguridad a los trabajadores. En las últimas décadas el proceso extractivo de miel ha sufrido considerables cambios, dichos cambios han mejorado la extracción de este producto reduciendo considerablemente la merma del producto; aunque desafortunadamente estas máquinas de “nueva generación” se encuentran en países en los cuales la actividad apícola es una gran fuente de ingresos para dichos países, tal es el ejemplo de España o Argentina, a diferencia de México quien también podría ser un gran productor mundial de miel.

En México aún se utilizan en la mayoría de los lugares maquinaria de importación, rentada, o métodos “rudimentarios” para la extracción de su producto. Es por eso que los productores agropecuarios deben contar con el equipo necesario para poder llevar a cabo la generación de sus productos; desafortunadamente, se está pasando por un momento en que la calidad de los productos alimenticios que se consumen deja mucho que desear. Así pues, con un deseo de ayudar en la mejora de la producción de dichos productos, se ha llevado a cabo la realización de este trabajo, el cual está destinado a apoyar a los productores apícolas, pues son estos los que lo requieren más.

El presente trabajo Diseño y Construcción de una Máquina Centrifugadora Radial Apícola Automatizada, con Paneles Solares, Mediante la Aplicación de Aspectos de la Industria 4.0, consta de un equipo que apoye a los productores en la generación del producto que venden; el cual está pensado para dar al apícola una mayor generación del producto final y así mismo estar dentro de los parámetros de calidad, normas y leyes aplicables. En la actualidad se han impulsado investigaciones sobre métodos automáticos para ayudar a la producción de miel, como lo son extractores y desoperculadores automáticos, todos estos de manera independiente, los cuales no ayudan a cubrir en totalidad el arduo trabajo del apicultor.

Se hará mención de los sistemas actuales que se emplean para la extracción de la miel, para lo cual es necesario realizar un diagnóstico análisis de los mismos, abordando su estructura, sistemas de impulsos, de control y de seguridad, pues estos pueden servir de guía para el desarrollo del equipo ya mencionado.

A su vez, se realizará un diagnóstico al sistema que se ha pensado para desarrollar dicho equipo y se seleccionará la problemática

que este cubrirá.

METODOLOGÍA

La norma oficial mexicana a utilizar en este proyecto, para cuestión del diseño de los elementos mecánicos será la NOM-002-SSA1-1993, la cual hace referencia a los envases metálicos para alimentos y bebidas, especificaciones de la costura. Así mismo se mencionan los requisitos sanitarios para los equipos de manipulación de productos alimenticios.

- 1) Definición de especificaciones técnicas
- 2) Para definir las especificaciones técnicas, fue muy importante basarse en el usuario y relacionarlo con magnitudes técnicas, de tal modo se satisfagan las necesidades antes mencionadas. Se pueden visualizar en la tabla 2.

Con la definición de las necesidades y especificaciones técnicas (Ver Tabla 1) se procede con la elaboración de la Matriz QFD referente al proyecto (León y Herrera, 2022)

No.	N- Necesidad
1	Rapidez
2	Eficiente
3	Calidad-Costo
4	Interactiva
5	Disponibilidad repuestos
6	Resistencia a la intemperie
7	Control a distancia
8	Accionamiento a distancia
9	Bajo consumo energético
10	Diseño seguro

Tabla 1. Especificaciones técnicas del proyecto:

DISEÑAR LOS PLANOS DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA EN EL SOFTWARE FREECAD

Para la etapa del diseño mecánico, se realizó una propuesta de los diferentes mecanismos que conformaran al sistema HE-001, posteriormente se desarrolló un análisis de cada una de las partes que han sido propuestas.

Seleccionar la máquina centrifugadora más adecuada para los dos procesos de extracción.

Investigar los tipos de máquinas centrifugadoras para la extracción de miel, las características de todos los elementos de una máquina centrifugadora y posteriormente elaborar un flujograma para la automatización de la extracción de miel.

En la figura 1, se muestra el diseño de forma de la centrifugadora tipo radial automático, en el cual se indican los componentes principales:

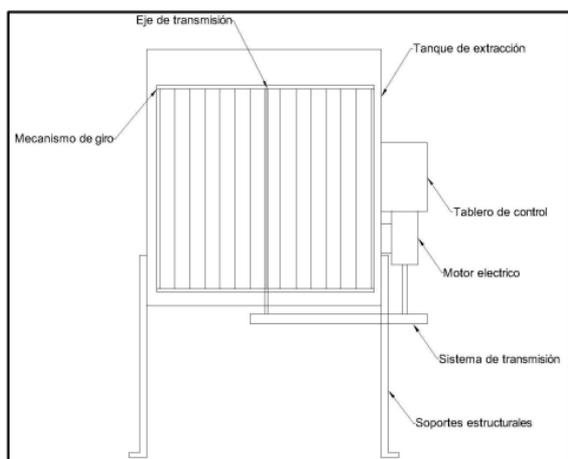


Figura 1. Diseño de forma de la centrifugadora tipo radial automático

El mecanismo de giro debe estar fabricado de acero inoxidable AISI 304 de uso alimenticio el cual sostendrá los 24 marcos tipos Langstroth cargados de miel (Ver figura 2), cada marco tiene una cantidad de miel que va desde 2 hasta 3 litros dependiendo de los espacios que tengan los marcos dentro

de la colmena. El peso de cada marco es de aproximadamente 3.59 kg, el mecanismo debe estar diseñado para soportar un peso de 86.16 kg.

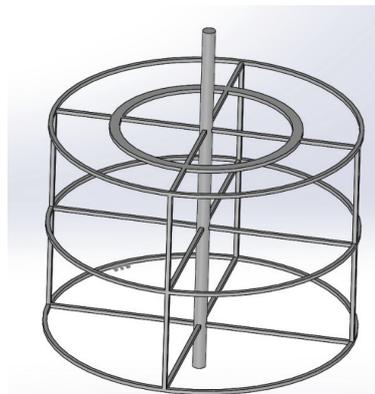


Figura 2. Diseño de forma Mecanismo de giro

El Sistema Mecánico se integró por la carcasa, bastidores y mecanismos necesarios para generar los movimientos requeridos por parte del nuevo sistema para que lleve a cabo su función. Figura 2, Para el diseño del extractor se comenzó por realizar un análisis de cada uno de los elementos que componen este sistema. Siendo que el bastidor es la parte central del extractor se comenzó el diseño a partir de este.

Para cumplir con la finalidad de aumentar la capacidad de cuadros de miel que se puedan incluir en un solo ciclo de extracción, los cálculos para el diseño de los bastidores se llevaron de forma geométrica, a fin de que en cada uno de los bastidores se puedan colocar treinta y dos cuadros.

El bastidor se puede descomponer en dos partes principales que son: las bases para los cuadros y los ejes o soportes del mismo. Para dar comienzo al diseño se necesita saber las medidas del diámetro de la base de sujeción interna de los cuadros.

Esto se logra conociendo los grados que tiene un círculo (360°) para conocer los grados de separación entre un cuadro y otro, aplicando una división obtenemos que:

$$360^\circ = 11.25^\circ \cdot 32$$

En la figura 3 se ilustra el diagrama de cuerpo libre de una polea (ver figura 4) y un tramo de banda, en donde F1 representa el lado tenso y F2 el lado holgado, la diferencia de estas dos fuerzas representa la fuerza neta que está relacionada con el par de torsión de la polea. La suma de F1 y F2 representa la fuerza de flexión del eje de transmisión.

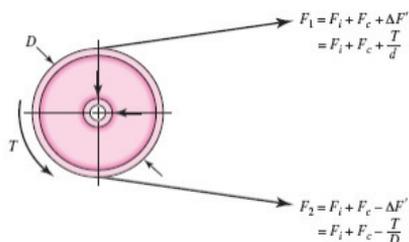


Figura 3 Mecanismo de giro

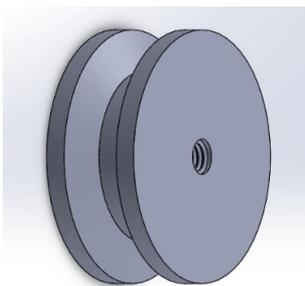


Figura 4. Polea

PROGRAMACIÓN Y MAQUINADO DE LAS PIEZAS DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA

Después de las validaciones realizadas en el diseño de las piezas que conforman a la máquina centrifugadora, se prosigue con la programación en lenguaje G y M (Ver Tabla 2) para el maquinado en el centro de maquinado CNC del Laboratorio de Ingeniería Industrial, para ello, se realizó un modelo software FreeCAD, que permite visualizar el diseño final antes de manufactura.

Lenguaje G:

- Definición: El lenguaje G, o código G,

es un conjunto de comandos utilizados para controlar el movimiento de la herramienta de corte y otras funciones de la máquina CNC.

- Ejemplo: G00 se usa para movimiento rápido, G01 para movimiento lineal, G02 y G03 para movimientos circulares, entre otros.

• Uso: Estos comandos definen el tipo de movimiento que la herramienta debe realizar.

• Lenguaje M:

• Definición: El lenguaje M, o código M, se utiliza para activar o desactivar funciones y dispositivos auxiliares de la máquina CNC.

• Ejemplo: M03 se usa para encender el husillo en sentido horario, M05 para apagar el husillo, M08 para encender el refrigerante, entre otros.

• Uso: Estos comandos controlan funciones como el encendido y apagado de dispositivos, cambios de herramientas.

REALIZAR LOS CÁLCULOS Y DISEÑAR LOS PLANOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

La propuesta de sistema eléctrico para este proyecto está conformada por los componentes que integran el circuito de control para el ciclo de operación del motor colocado en el extractor. Estos componentes son: Un contacto relevador, un relevador para el motor, un botón de arranque, uno de paro, un paro de emergencia, un interruptor de seguridad y un solenoide para el freno de emergencia del motor.

El único componente considerado electrónico en el control de este sistema es el variador de frecuencia (Véase Figura 9). Un variador de frecuencia es un sistema para el

O0001	N19 G00 X70.707	N37 G03 X52.218	N56 X47.034 Z1.854
N1 (CNMG 431 80DEG SQR HOLDER)	N20 Z40.354	Z-15.246 R1.9	N57 G00 X53.034
N2 T0101	N21 X52.925	N38 X53. Z-16.4 R1.9	N58 Z40.354
N3 B90.	N22 G01 X52.218 Z40.	N39 G01 Z-19.4	N59 X35.253
N4 G00 G96 S548 M03	N23 Z.754	N40 X58.109	N60 G01 X34.545 Z40.
N5 (Desbaste DE1)	N24 G03 X53. Z-.4 R1.9	N41 X58.816 Z-19.046	N61 Z1.5
N6 G54 G00 Z43.354 M08	N25 G01 Z-4.4	N42 G00 X64.816	N62 X40.436
N7 X70.707	N26 G03 X52.972	N43 Z40.354	N63 X41.143 Z1.854
N8 G01 X64. Z40. F409	Z-4.632 R1.9	N44 X47.034	N64 G00 X47.143
N9 Z-19.4	N27 G01 X52.218 Z-7.7	N45 G01 X46.327 Z40.	N65 Z40.354
N10 X70.	N28 Z-15.246	N46 Z1.5	N66 X29.362
N11 X70.707 Z-19.046	N29 X53.209 Z-15.312	N47 X49.2	N67 G01 X28.655 Z40.
N12 G00 X76.707	N30 X54.109	N48 G03 X52.218 Z.754 R1.9	N68 Z1.5
N13 Z40.354	N31 G00 X59.209	N49 G01 X53.209 Z.688	N69 X34.545
N14 X58.816	N32 Z-7.7	N50 G00 X59.209	N70 X35.253 Z1.854
N15 G01 X58.109 Z40.	N33 X53.267	N51 Z40.354	N71 G00 X41.253
N16 Z-19.4	N34 G01 X52.218	N52 X41.143	N72 Z40.354
N17 X64.	N35 X50.519 Z-14.618	N53 G01 X40.436 Z40.	N73 X23.471
N18 X64.707 Z-19.046	N36 X50.534 Z-14.621	N54 Z1.5	N74 G01 X22.764 Z40.
		N55 X46.327	N75 Z1.5

Tabla 2. código G

control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad.

Este dispositivo tiene una doble función dentro del sistema HE-001, en primera instancia un variador de frecuencia nos permite ajustar las llamadas rampas de aceleración y desaceleración de los motores a controlar por este dispositivo. En segunda instancia la rampa de aceleración de un motor nos sirve para tener un ahorro de energía y en consecuencia un ahorro monetario. Debido a que cuando un motor de corriente alterna (C.A.) que se conecta directamente a la alimentación de red, va a luchar por alcanzar la velocidad nominal tan pronto como sea posible. Esto llevará a alcanzar la máxima corriente de la alimentación y acelerar la aplicación con su máximo par.

$$F_N = \frac{2T}{Dp2}$$

Donde,

T: Torque ejercido en la banda [N-m]

Dp2: Diámetro de la polea del eje conducido [m]

FN: Fuerza normal [N]

Fuerza de flexión

FB = 1,5 FN

$$FB = 1,5 FN$$

Donde,

FB: Fuerza de flexión [N]

FN: Fuerza normal [N]

Estas fuerzas servirán para el análisis respectivo de los esfuerzos que está sometido el eje.

DISTANCIA ENTRE CENTROS DE LA POLEA

La distancia máxima en la que puede operar una banda tipo V, se lo encuentra con la siguiente ecuación: $C_{max} = 1.5 (D1 + D2)$

El tanque cilindro es la base fundamental

para la extracción de la miel ya que mantiene el contacto mutuo con el mismo, Para la construcción del tanque el acero inoxidable AISI 304 fue seleccionado debido a su aplicación en la industria alimenticia, describiendo sus propiedades en el Tabla 2.

TANQUE DE LA CENTRIFUGADORA

En la Figura 5, El tanque está diseñado para almacenar en su interior la miel durante la centrifugación, como la miel es un producto alimenticio, el tanque está fabricado de acero inoxidable AISI 304 (Ver Tabla 3) el cual posee excelentes propiedades para el conformado y el soldado, las propiedades del acero inoxidable son:

Resistencia a la fluencia (Sy)	276 MPa
Resistencia ultima a la tensión (Sut)	568 MPa
Elongación	30 %
Módulo de elasticidad	200 GPa
Densidad	7800 kg/m

Tabla 3. Propiedades del acero inoxidable

El tanque cilindro es la base fundamental para la extracción de la miel ya que mantiene el contacto mutuo con el mismo, Para la construcción del tanque el acero inoxidable AISI 304 fue seleccionado debido a su aplicación en la industria alimenticia, describiendo sus propiedades en el Tabla 3.

Estos aspectos permiten la selección de los componentes eléctricos que conformarán los circuitos de control. Para esta selección los circuitos se dividirán de acuerdo a la función que realizarán dentro del sistema de control:

- Alimentación de los Circuitos
- Panel de Control
- Etapa de Control
- Etapa de Potencia para el motor
- Indicadores de Funcionamiento

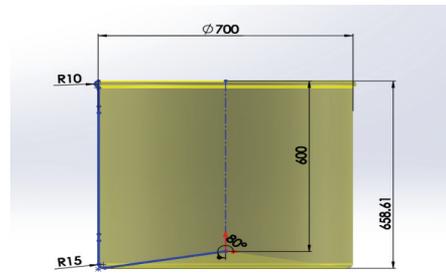


Figura 5. Tanque extractor

MAQUINADO DEL SISTEMA DE CENTRIFUGADO

En esta actividad, se consideran los planos y diseños validados del sistema de centrifugado para el desarrollo en lenguaje G y M para el maquinado en el centro de maquinado CNC del Laboratorio de Ingeniería Industrial, para ello, se realizó un modelo software FreeCAD. que permite visualizar el diseño final antes de manufactura.

El maquinado del sistema de centrifugado para un extractor de miel implica la fabricación de las partes mecánicas y componentes que permiten el giro y la extracción eficiente de la miel de los cuadros.

Pasos para el Maquinado:

1. Diseño Detallado:

- Con base en las especificaciones del extractor de miel y las dimensiones deseadas, crea un diseño detallado de los componentes del sistema de centrifugado.

2. Selección de Materiales:

- Elije materiales adecuados para cada componente según sus funciones y las condiciones de operación. Los aceros inoxidables son comunes debido a su resistencia a la corrosión.

3. Proceso de Torneado y Fresado: Utiliza tornos y fresadoras para dar forma a las partes principales, como el tambor centrífugo, el eje y los soportes. Como en la imagen 15 se muestra el torneado de una polea. Asegúrate de seguir tolerancias precisas.

4. Mecanizado de Ranuras y Agujeros:
 - Maquina ranuras y agujeros según sea necesario para los rodamientos, la sujeción de los cuadros de miel y otros componentes.
5. Soldadura (si es necesario):
 - Si el diseño requiere componentes soldados, realiza las uniones de manera precisa y asegúrate de que sean fuertes y duraderas.
6. Balanceo del Tambor:
 - Realiza un equilibrado preciso del tambor para evitar vibraciones durante la operación.
7. Pruebas y Ajustes:
 - Ensambla el sistema de centrifugado y realiza pruebas para asegurarte de que todos los componentes funcionen correctamente. Realiza ajustes según sea necesario.
8. Acabado y Revestimientos (opcional):
 - Aplica acabados o revestimientos según sea necesario para mejorar la resistencia a la corrosión o facilitar la limpieza.
9. Documentación del Proceso:
 - Documenta todos los pasos del proceso de maquinado, incluidos los ajustes y las pruebas realizadas.
10. Cumplimiento de Normativas:
 - Asegúrate de que el sistema de centrifugado cumpla con las normativas y estándares de seguridad aplicables.

REALIZAR LOS CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE CONTROL

El Sistema de Control se integró por todos los circuitos y componentes eléctricos que se encargarán de establecer la correcta secuencia de movimientos que realizará el Sistema

Mecánico, como son fuentes de alimentación, circuitos, programas de control, sensores y circuitos indicadores visuales y auditivos. Ver figura 6.

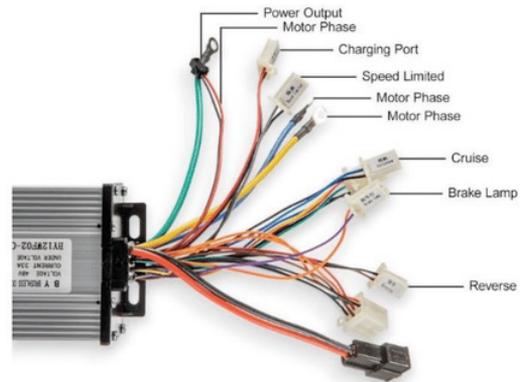


Figura 6. Controlador de Velocidad

PANEL SOLAR

Panel fotovoltaico con 60 celdas en silicio policristalino. Vidrio templado antirreflejante de 3.2 mm, caja de conexión IP67 con 3 diodos bypass y conectores compatibles con MC4.

Modelo	PV-01-250
Potencia nominal (Pmax)	250 W
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmax)	30.5 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8.19 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	37.7 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.79A
Eficiencia del panel	15.1%

CONTROLADOR DE CARGA SOLAR

Un controlador de carga solar es un componente esencial en sistemas de energía solar fotovoltaica (ver Figura 7) y se utiliza para regular la carga de las baterías que almacenan la energía generada por los paneles solares.



Figura 7. Panel solar

TIPOS DE CONTROLADORES DE CARGA SOLAR

PWM (Pulse Width Modulation):

Regula la carga controlando el ancho de pulso del voltaje enviado a las baterías. Son adecuados para sistemas más pequeños.

MPPT (Maximum Power Point Tracking):

Utiliza algoritmos avanzados para rastrear continuamente el punto de máxima potencia de los paneles solares, maximizando la eficiencia del sistema. Más eficientes, pero también más costosos.

- En la Figura 8, Los controladores MPPT son generalmente más eficientes, especialmente en sistemas más grandes y en condiciones de poca luz.

Características de Protección:

- Asegúrate de que el controlador tenga protecciones contra sobrecarga, cortocircuitos, descarga profunda, etc.

Monitoreo y Visualización:

- Considera las opciones de monitorización y visualización para un mejor seguimiento del rendimiento del sistema.

Durabilidad y Resistencia a las Condiciones Ambientales:

- Verifica la resistencia del controlador a las condiciones climáticas y ambientales locales.

Controlador seleccionado:

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES



Figura 8. Controlador de carga
RESULTADOS

ENSAMBLE DE LA MÁQUINA CENTRIFUGADORA

Se proyecta el ensamble de la máquina centrifugadora de conformidad a los planos de los diseños, y estar en condiciones de las pruebas de operación en campo primero en el apiario o colmenar del Instituto Tecnológico de Pinotepa, en el que se cuenta con cuarenta y tres colmenas, para posteriormente hacer las pruebas con apicultores de la región, ver figura 9 y 10.



Figura 9. Estación solar



Figura 10. Extractora de miel

CABLEADO

Realiza el cableado necesario para conectar los paneles solares, el inversor, las baterías y el sistema de carga/descarga.



Figura 11. Cableado

En Figura 12, Ensamble de la máquina centrifugadora, Montaje de polea se puede apreciar en la figura 13 y 14.



Figura 12. Montaje de polea



Figura 13. Montaje de motor



Figura 14. Montaje de porta bastidores

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para el proceso investigativo se utilizará el método Analítico que permite el análisis, la síntesis y seguir un proceso lógico, además se empleó el método Inductivo-Deductivo porque permite deducir y obtener conclusiones.

Por los Objetivos La investigación es aplicada, porque permite elaborará un prototipo da la máquina centrifuga Radial Apícola Automatizada, con Paneles Solares cuya construcción será la solución al problema.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CENTRIFUGA

Está basado en cálculos que sustenta un diseño mecánico funcionalmente óptimo con características tales como resistencia de materiales, facilidad de transporte, fácil uso, mantención y calibración.

La estética del diseño consta de superficies cilíndricas con líneas orgánicas que ofrecen simplicidad y funcionalidad al momento de operar la centrifuga.

AUTOMATIZACIÓN

Proceso de mecanización por medio de la sustitución de la intervención del ser humano en forma parcial o total por maquinas, para simplificar el trabajo, generalmente se basada en motores, que se encargan de producir movimiento a expensas de otra fuente de energía.

Se diseñó y construyó una Máquina Centrifugadora Radial Apícola automatizada mediante la aplicación de aspectos de industria 4.0 lo cual permitió una modernización en el proceso de extracción de miel con una mayor rapidez y seguridad con la capacidad de 24 bastidores y 25 Kg de miel en promedio

REFERENCIAS

- [1] Arrastía, M. A., Corp S., Energía, el invencible dios Sol., Editorial Científico-Técnica, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 2013, pp. 48-58.
- [2] Acosta, E. P. (2016). Aproximación a las cualificaciones profesionales en la Industria 4.0. *Fundación 1 de Mayo*, (22). [Links]
- [3] A. Rueda, «Motores Alta Eficiencia,» Programa de Ahorro de Energía del Sector Electrico, p. 70, 2017.
- [4] A. V. Lázaro, Simulación con SolidWorks, Lima: Empresa Editora Macro EIRL, 2014.
- [5] Bonifacio Fernández, Introducción a la Mecánica de Fluidos, Alfa Omega Grupo Editor, 2ª Edición, México 1999,
- [6] Enríquez Harper Gilberto, Transformadores y motores de inducción, 4ª edición, México, Limusa, 2002,
- [7] Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M. y Pilati, F. (2020). Motion Analysis System (MAS) for production and ergonomics assessment in the manufacturing processes. *Computers & Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.046> [Links]
- [8] Bravo, D., y Bermúdez, G., Sistema de aire acondicionado activado con energía solar térmica., *Energía y Tú.*, No. 64, No. 4, oct-dic., 2013, pp. 33-38.
- [9] Centrífugas Centrífugas Para Procesos Químicos y Minerales Para Procesos Químicos y Minerales.
- [10] Chapman Stephen, Máquinas eléctricas, 3ª edición, Santa Fe Bogotá, Colombia, México, Mc Graw Hill, 1991
- [11] Chavarria, R. (2005). Equipo eléctrico de máquinas herramienta. Órganos de servicio. Colores. Nota técnica de Prevención NTP n. 53. <<http://www.mtas.es/insht/ntp>>.
- [12] Coskun, S., Kayıkci, Y. y Gencay, E. (2019). Adapting engineering education to Industry 4.0 Vision. *Technologies*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.3390/technologies7010010> [Links]
- [13] Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. y Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019> [Links]
- [14] E. Lema y D. Tisalema, «Diseño y construcción de una máquina centrífuga semiautomática para la extracción de miel de abeja.» Riobamba - Ecuador, 2016.
- [15] Forero, S. (2019). Desarrollo de Protocolos para Evaluar Calidad de un Proceso de Separación de Almidón Extraído de Papa Diacol Capiro. Bogotá.
- [16] Foro Económico Mundial. (2018a). 10 skills you'll need to survive the rise of automation. <https://www.weforum.org/agenda/2018/07/the-skills-needed-to-survive-the-robot-invasion-of-the-workplace> [Links]
- [17] Foro Económico Mundial. (2018b). Readiness for the Future of Production Report 2018. <https://www.weforum.org/reports/readiness-for-the-future-of-production-report-2018> [Links]
- [18] Foro Económico Mundial. (2019). Fourth Industrial Revolution. <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000001RIhBEAW?tab=publications> [Links]
- [19] Frank, A. G., Dalenogare, L. S. y Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004> [Links]

- [20] Garzón, V., & Gonzáles, D. (2019). Desarrollo módulo de extracción de almidón de papa. Bogotá.
- [21] F. Arias, El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica, Caracas: Editorial Episteme, C.A., 2006.
- [22] Gussow Milton, Fundamentos de electricidad, México, Mc Graw Hill, 1991, 453 pp.
- [23] Juvinall, Robert C. Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica, Ed. Limusa México 2002.
- [24] Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057> [Links]
- [25] Gronau, N., Ullrich, A. y Teichmann, M. (2017). Development of the Industrial IoT Competences in the Areas of Organization, Process, and Interaction based on the Learning Factory Concept. *Procedia Manufacturing*, 9, 264-261. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.029> [Links]
- [26] Grzybowska, K. y Lupicka, A. (2018). Key competencies for Industry 4.0. *Economics & Management Innovations*, 1(1), 250-253. [Links]
- [27] H. Bazalar, «Diseño y fabricación de una máquina limpiadora de trigo.» Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima, 2004.
- [28] Jerman, A., Pejić Bach, M. y Bertoneclj, A. (2018). A bibliometric and topic analysis on future competences at smart factories. *Machines*, 6(3), 41. <https://doi.org/10.3390/machines6030041> [Links]
- [29] J. Holman, Transferencia de calor, México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. , 1999.
- [30] Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M. y Ramsauer, C. (2017). Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. *Procedia Manufacturing*, 9, 206-213. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.006> [Links]
- [31] L. Gonzales, «Estudio de viabilidad comercial para una marca de miel de abeja para la asociación de productores apícolas cruz verde del distrito Illimo.» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2015.
- [32] M. Tamayo, El proceso de la investigación científica, México: Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 2003.
- [33] M. d. Agricultura, «Propuesta del Plan Nacional de Desarrollo Apícola,» Lima, 2011.
- [34] Munson, Fundamentos de Mecánica de Fluidos, Ed Limusa, México 2000,
- [35] M. d. Agricultura, «Resultados Obtenidos en el Censo de productores Apícolas en el Departamento de Lambayeque,» Chiclayo, 2008.
- [36] Nogareda, C. (2005). Mandos: ergonomía de diseño y accesibilidad. Nota técnica de Prevención NTP n. 226. <<http://www.mtas.es/insht/ntp>>.
- [37] Robert I. Norton. Diseño de máquinas, Ed. Prentice Hall. México 1999.
- [38] R. A. Serway y J. W. Jewett, Física para ciencias en ingeniería con Física Moderna, México: EDITEC S.A. de C.V., 2009.
- [39] Santiago, Diego. 2003. “Técnica de Separación de Polímeros Por Centrifugación.” Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15897/u239871.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [40] Streeter, Mecánica de los fluidos, McGraw Hill, 9ª. Ed., México 2000,
- [41] VirgilMoringFaires. Diseño de elementos de máquinas, Ed. Limusa. México 2001.802 Págs.

- [42] V. Niño, Metodología de la Investigación: diseño y ejecución, Bogotá: Ediciones de la U, 2011.
- [43] W. Callister, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Barcelona: Editorial Reverté S.A., 2009.
- [44] «Encyclopedia Britannica,» [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/centrifugal-force#accordion-article-history>. [Último acceso: 5 Mayo 2018].
- [45] Comisión Nacional de los Derechos Humanos de México. (2019). *Informe especial sobre el derecho a la accesibilidad de las personas con discapacidad*. México: CNDH.
- [46] Finsterbusch Romero, C. (2015). La extensión de los ajustes razonables en el derecho de las personas en situación de discapacidad de acuerdo al enfoque social de derechos humanos. *Lus et Praxis*, 227-251.
- [47] Gobierno de la Ciudad de México. (2016). *Manual de Normas Técnicas de Accesibilidad*. Ciudad de México: CDMX.
- [48] Gutierrez Puebla, J. (1998). Transporte, movilidad y turismo en los centros históricos. *Eria*, 241-248.
- [49] H. Ayuntamiento Constitucional de Colima. (2015). *Catálogo de Imagen Urbana del Centro Histórico de Colima, versión 2015*. Colima: Gobierno Municipal.
- [50] H. Ayuntamiento Constitucional de Colima. (2017). *Manual de Imagen Urbana de la Ciudad de Colima*. Colima: Gobierno Municipal.
- [51] Pastor Palomar, N. (2019). Convención sobre los Derechos de las personas con Discapacidad. *Revista Electrónica de Estudios Internacionales*.
- [52] Publibace. (2018). *Publibace*. Obtenido de Mapa o Plano Háptico: <https://www.publibace.com/producto/mapa-o-plano-haptico/>
- [53] Santos Pérez , O., Mondejar Rodríguez, J., & Morciego Esquivel, H. (2019). Programa de capacitación para la gestión de accesibilidad y movilidad en centros históricos. *Arquitectura e Ingeniería*.
- [54] Secretaría de Economía. (2013). *NMX-AA-164-SCFI-2013* . México: NMX.
- [55] UNESCO. (2011). *Recomendación sobre el paisaje urbano histórico, con inclusión de un glosario de definiciones*. Obtenido de Portal Unesco: http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=48857&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html