

# Desarrollo de prototipo de máquina automática de pulverizado de miel de caña

Juan Felipe García Zarama<sup>1</sup>

Anderson Steven Figueroa Mora<sup>2</sup>

Richard Geovanni Moran Perafan<sup>3</sup>

**Cítese como:** García-Zarama, J. F., Figueroa-Mora, A. S. y Moran-Perafan, R. G. (2023). Desarrollo de prototipo de máquina automática de pulverizado de miel de caña. En R. G. Moran-Perafán, F. C. Gómez-Meneses, T.M. Piamba-Mamian, F. A. Guasmayán-Guasmayán, A. L. Ibarra-Ordoñez y E. M. Moncayo-Torres (comps.), *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva* (pp. 61-70). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173.c263>

## Resumen

El procesamiento de panela es una actividad productiva y económica importante en el departamento de Nariño. Infortunadamente este proceso aún se lleva a cabo con bajo desarrollo tecnológico. En un esfuerzo por mejorar las condiciones del sector panelero del departamento, se propone automatizar el proceso de pulverización de miel de caña a través del desarrollo de un prototipo mecatrónico. Para el desarrollo del hardware mecánico del prototipo, se usó la metodología de diseño de máquinas presentada por Norton y Shigley, la cual se puede resumir como definición del problema, investigación, síntesis y análisis. En las fases de síntesis y análisis se usaron herramientas de diseño e ingeniería asistida por computadora como las tecnologías CAD/CAE. El control electrónico se basa en un microcontrolador inteligente, el cual está programado para que el usuario pueda operar la máquina de forma automática y manual. Una vez completada la fase de diseño, el prototipo se construyó usando procesos de mecanizado comunes tales como corte, soldadura y maquinado. El prototipo tiene la capacidad de procesar 5 kg de miel de panela y tarda un tiempo aproximado de 20 minutos en completar esta tarea. Evaluaciones preliminares sugieren que el prototipo se desempeña de acuerdo con las especificaciones de diseño, sin embargo, una evaluación a largo plazo es necesaria para determinar la durabilidad y confiabilidad del equipo.

*Palabras clave:* panela pulverizada, prototipo, diseño mecánico, control electrónico, microcontrolador.

## Introducción

La panela es un producto agroindustrial consumido en el mundo, pero principalmente en Colombia y la India (García et al., 2011). Colombia ocupa el primer lugar en consumo de panela, el cual se estima en 34,2 kg de panela por habitante al año, seguido de la India con un consumo de 7,9 kg por habitante al año (Finkeros, 2015). El departamento de Nariño es uno de los mayores productores de panela en Colombia, una actividad que se realiza en 41 de los 64 municipios de la región (Rodríguez, 1997).

<sup>1</sup>Correo electrónico: juangarcia@umariana.edu.co

<sup>2</sup>Correo electrónico: andersonfigueroa64@gmail.com

<sup>3</sup>Correo electrónico: r Moran@umariana.edu.co

La producción y consumo de panela en Colombia se destina casi en su totalidad al mercado nacional, y solo cerca del 0,3 % se exporta. Por lo cual, este sector tiene el potencial de desarrollarse y proyectarse a mercados extranjeros. No obstante, a pesar del potencial de este producto, su producción en el departamento de Nariño presenta varias dificultades. Primero, la transformación de miel de caña a panela en bloque se realiza en pequeñas explotaciones campesinas o plantas agroindustriales, mediante procesos artesanales en los que prevalece una alta intensidad de trabajo y una muy baja introducción de tecnología (Gómez, 2007). Como resultado de ello, este proceso es ineficiente, genera problemas de calidad en el producto, altos costos y tiempos de producción, grandes cantidades de desperdicios y problemas ambientales. Otra dificultad es la oferta de panela falsa a menor costo, la cual se obtiene por la fundición de los excedentes de azúcar, que ingresa al país en cantidades excesivas y que saturan el mercado nacional. Además, es evidente que el 90 % de la población mundial prefiere otros derivados de la caña como el azúcar, ya que esta se encuentra en una presentación pulverizada y es más práctico su consumo (Castellanos, 2019).

Todas estas dificultades provocan una crisis en el sector panelero, debido a que el precio de venta del producto está por debajo del costo de producción, lo que quiere decir que los productores están trabajando a pérdida, siendo los departamentos más afectados Huila y Nariño. Por lo tanto, se necesitan mejorar los procesos para producir panela o sus derivados, así diversificar los productos y generar mejores rendimientos económicos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).

Recientemente, la panela pulverizada ha mostrado un alto potencial de comercialización. La pulverización de panela es un proceso en la cual la miel de caña se extrae a 140 °C y con 90° brix, punto en el cual es agitada vigorosamente por un tiempo de aproximadamente 30 minutos hasta que la panela se enfría y se quiebra y se forma panela pulverizada. En muchos trapiches se realiza este proceso de forma manual, sin un control preciso de la velocidad de agitación, tiempo y temperatura, por lo cual, en algunos casos, se presenten inconvenientes como la generación de grumos en el pulverizado, en cuyo caso, el producto se vuelve a fundir, representado una pérdida de tiempo y trabajo.

En este documento se presenta el desarrollo de un prototipo de pulverizado de panela con el que se pretende aumentar la eficiencia de este proceso, mejorar la calidad y disminuir el impacto ambiental. Por otro lado, este proyecto permite aportar al desarrollo de la Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Mariana, ubicada en la región del departamento de Nariño, zona caracterizada por su actividad agroindustrial.

## Metodología

La metodología utilizada, para este estudio, es adaptada de la presentada detalladamente por Norton (2004), de la cual se adoptaron los 9 primeros pasos, a saber: definición de la necesidad, investigación, planteamiento de objetivos, definición de especificaciones de desempeño, ideación, análisis de alternativas, evaluación y selección, diseño detallado y construcción del prototipo. Teniendo en cuenta que el problema fue presentado previamente, así como los objetivos del proyecto, la metodología empieza con una breve investigación y llega hasta la construcción del prototipo de acuerdo con el alcance del trabajo.

## Tipos de máquinas de pulverizado

En el mercado existen diversos equipos utilizados para el pulverizado, estos equipos utilizan agitadores de diversas formas dispuestos en ejes verticales u horizontales (ver Figura 1). Los ejes de los agitadores son impulsados por motores AC bifásicos y trifásicos con una potencia entre 2 hp y 3 hp. Las máquinas de tamaño medio manejan capacidades entre 70 y 100 kg de producto y pueden tardar entre 15 a 30 minutos en procesarlo. El material en contacto con el producto es acero inoxidable AISI 304 para cumplir con las buenas prácticas de manipulación de alimentos.

### Figura 1

*Algunos tipos de pulverizadoras de panela disponibles en el mercado*



Fuente: García y Figueroa (2021).

Con base en la investigación preliminar, se propuso una serie de especificaciones de desempeño (ver Tabla 1), las cuales se ajustan al alcance de la investigación y presupuesto.

### Tabla 1

*Especificaciones de desempeño del prototipo*

Tipo de Material	Material inoxidable para uso en alimentos
Alimentación	Energía eléctrica (AC 220V-330V)
Tiempo de mezclado	10-15 (min)
Costo de la máquina	Precio inferior a (COP \$2.500.000)
Capacidad	5 kg
Dimensiones	Equipo portable
Control inteligente	Sistema inteligente para controlar el tiempo de pulverizado

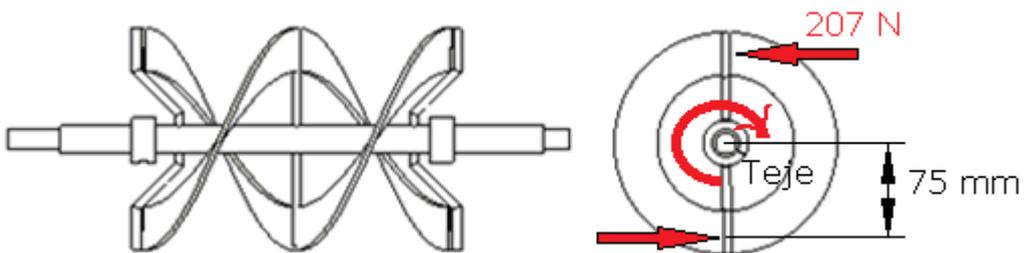
Teniendo en cuenta los equipos existentes en el mercado y las especificaciones de desempeño definidas, se propuso el boceto del prototipo (ver Figura 2). Este prototipo está compuesto por las siguientes partes: (a) estructura soporte, (b) recipiente de mezclado, (c) eje principal, (d) motor para vaciado, (e) ventiladores de enfriamiento, (f) agitadores, (g) soportes del eje, (h) motor reductor del eje principal y (i) sistema eléctrico de monitoreo y control.



**Tabla 2***Resumen de las dimensiones del recipiente*

Descripción	Ecuación	Resultado
Volumen ocupado	$V_o = \frac{m}{\rho} = \frac{D^2}{4} * L \left( \frac{\pi}{2} + 1 \right)$	0.004m <sup>3</sup>
Altura total del recipiente	$h_t = \left( (h) + \left( \frac{D}{2} \right) \right) * 2$	0.24m
Diámetro del fondo del recipiente	$D = \sqrt{\frac{8 * V_o}{(\pi + 2) * L}}$	0.16m
Longitud del recipiente	Por construcción	0.25m
Espesor de pared	Simulación de cargas de las fuerzas resultantes en SolidWorks	1.2 mm

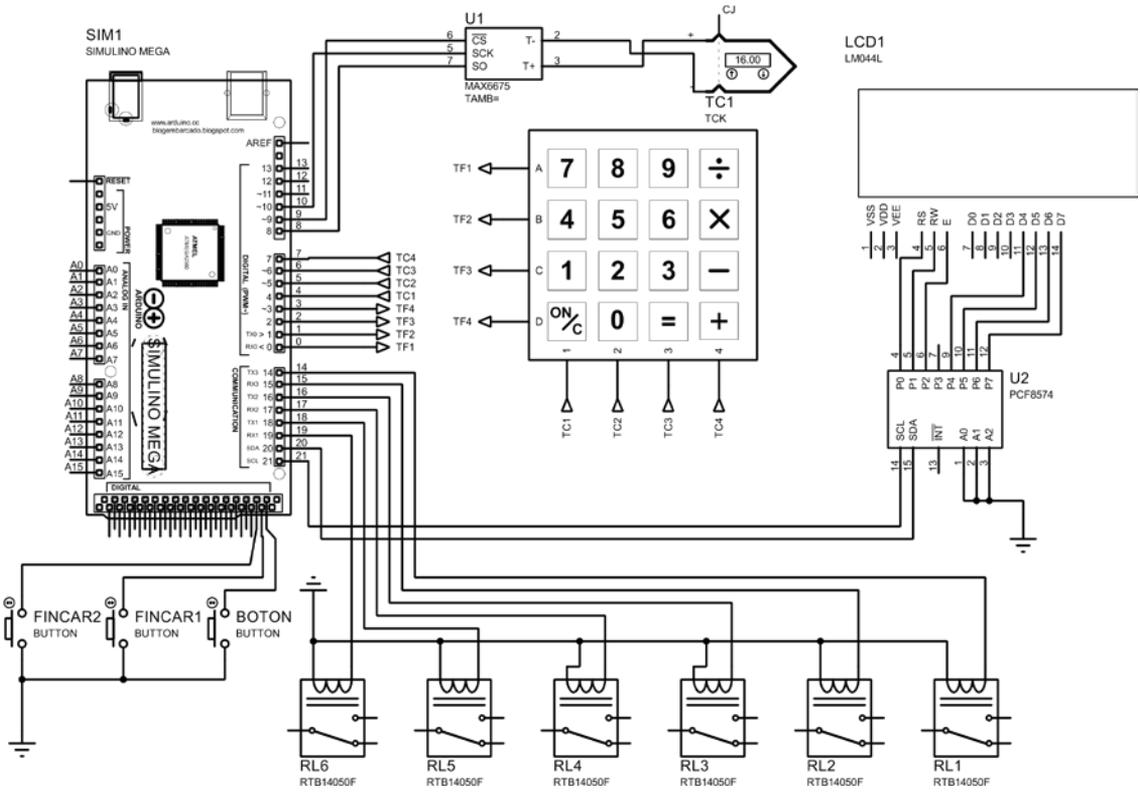
La potencia del motor que mueve las aspas de agitación se estimó considerando la fuerza viscosa y de arrastre con base en la metodología presentada por Crespo y Cruz (2018), con lo cual se obtuvo una fuerza tangencial de 207 N sobre cada una de las dos hélices (Figura 4). Así, el torque requerido en el eje del agitador sería igual al producto de la fuerza tangencial sobre el aspa multiplicado por el radio promedio del aspa (75 mm) y por el número de aspas (2), el cual resultó de 31.4 N.m., considerando una velocidad de 60 rpm, la potencia requerida en el motor resultó de 197 W, para lo cual, se eligió un motorreductor con una potencia nominal de un tercio de caballo girando a 60 rpm.

**Figura 4***Fuerzas resultantes en las aspas del agitador y torque requerido en el eje*

Para el diseño eléctrico y electrónico, se consideró circuitos de mando y control del motor de agitación y accesorios adicionales. El control se realizó de manera digital usando una tarjeta Arduino Mega con sus periféricos de entrada y salida como son un teclado y una pantalla LCD (ver Figura 5).

**Figura 5**

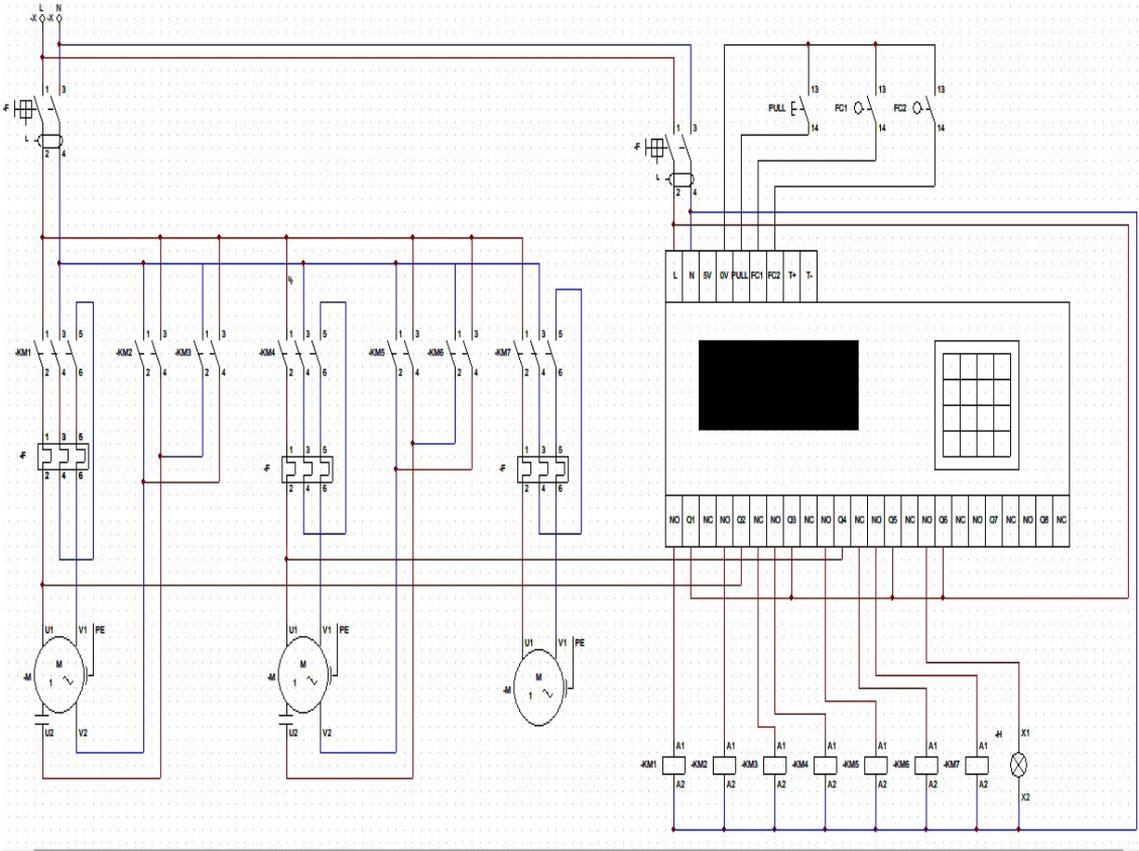
Esquema del circuito de control y periféricos de entrada y salida



La etapa de potencia incluyó contactores y protecciones para el motor principal y un motor que controla el giro del recipiente en el proceso de descarga. Así mismo, se incluyó un ventilador ubicado en la parte superior del recipiente principal que acelera el enfriamiento de la miel. Con estos componentes es posible controlar la temperatura y el tiempo del proceso (ver Figura 6).

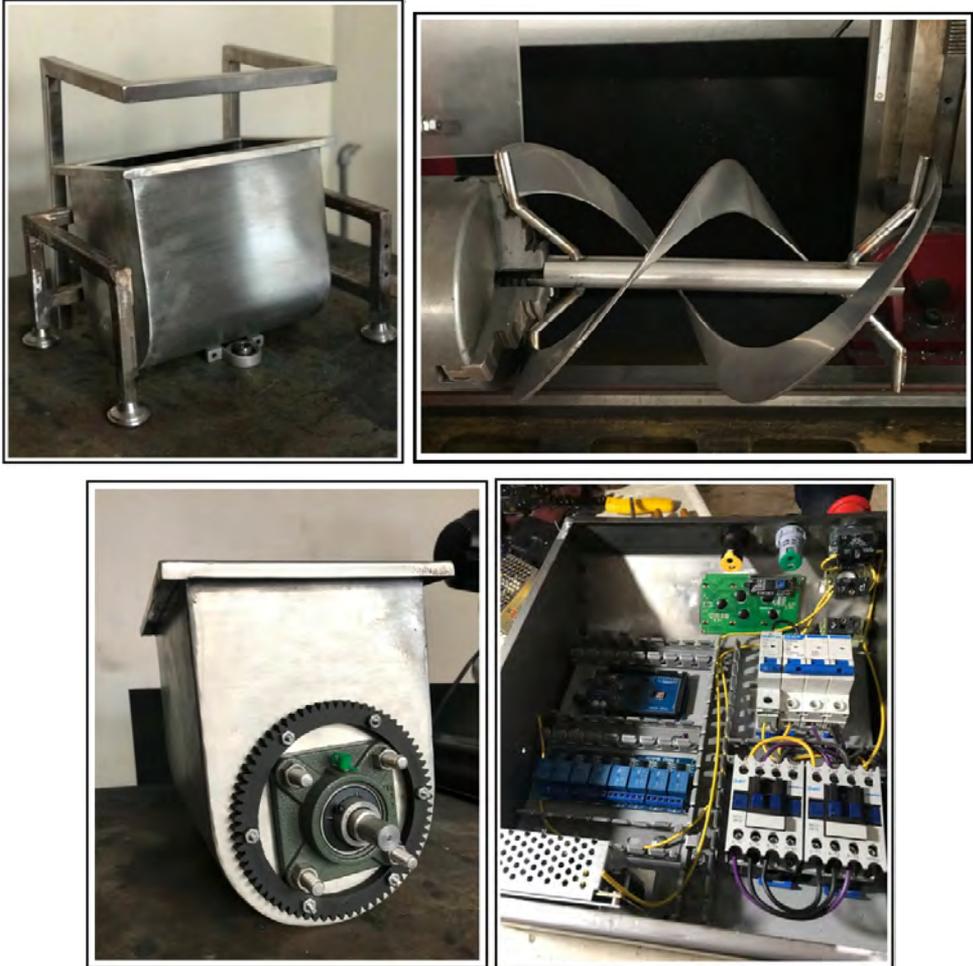
**Figura 6**

*Esquema de los circuitos de potencia*



**Construcción**

En la etapa de construcción se utilizaron procesos comunes de mecanizado como corte con discos abrasivos, soldadura con electrodo revestido, torneado y taladrado. En la Figura 7 se presentan algunos componentes, mientras se completaba su fabricación.

**Figura 7***Estructura en proceso de ensamble y adecuación*

En la Figura 8 se presenta una fotografía con el estado final del prototipo. Después de completar la construcción y el ensamble, se realizaron pruebas preliminares con miel de caña a 120° y 93° Brix, con una masa de 3 kg (ver Figura 9). Después de 6 minutos se completó la pulverización, en la Figura 10 se presentan los resultados de las pruebas de granulometría con tamices número 4, 16, 30 y 40, en los cuales se obtuvieron los correspondientes porcentajes en masa de 31 %, 44 %, 24 % y 1 %.

**Figura 8**

*Prototipo final*



**Figura 9**

*Proceso de agregación de miel de caña en la tolva*



**Figura 10**

*Prueba de granulometría a través del tamiz*



## Conclusiones

La metodología de diseño mecánico abordada permitió exitosamente desarrollar el prototipo. Asimismo, en el ensayo preliminar del prototipo en donde se procesaron 3 kilos de panela se obtuvo un pulverizado completo con 6 minutos de duración, en el cual, el 68 % del producto procesado atravesó los tamices 16 y 30, lo que sugiere un alto porcentaje de pulverizado fino, estos resultados deben confirmarse con pruebas posteriores.

El desarrollo del prototipo es un aporte al desarrollo de la industria panelera en el departamento de Nariño.

## Referencias

- Castellanos, J. (2019). *Diseño y construcción de máquina para la producción de panela pulverizada* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Bucaramanga]. Repositorio UNAB. <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7025>
- Crespo, M. y Cruz, E. (2018). *Diseño y construcción de una pulverizadora de miel de caña a panela en polvo para la asociación de pequeños productores maquita* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19896>
- Finkeros. (2015, 27 de mayo). La panela en el mundo. *Abc del finkero*. <https://abc.finkeros.com/la-panela-en-el-mundo/>
- García, F. y Figueroa, A. (2021). *Desarrollo de prototipo de máquina automática de pulverizado de miel de caña* [Tesis de pregrado, Universidad Mariana].
- García, H., Peña, A., López, R., Duran, E. y Olvera, G. (2011). Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela. *Boletín Técnico*, (335). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1258>
- Gómez, F. (2007). *Estudio de factibilidad para la elaboración de panela pulverizada saborizada con limón y canela en la empresa Delizia de la ciudad de Pasto* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Sired. <https://sired.udenar.edu.co/5688/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2002). *Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera municipio de Mocoa. Diversificación de productos derivados de la caña panelera*. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4773?mode=full>
- Norton, R. (2004). *Diseño de máquinas. Un enfoque integrado* (4.ª ed.). Pearson.
- Rodríguez, G. (1997). La panela en Colombia frente al nuevo milenio: Un análisis de la cadena agroindustrial. En *Manual de caña de azúcar para la producción de panela* (pp. 25-39). Corpoica - Fedepanela - Fondo Nacional de Panela.