



Diseño de una despulpadora de maracuyá para el fomento de tecnología circular en Actopan, Ver.

Design of a passion fruit pulping machine to promote circular technology in Actopan, Veracruz

Lizbeth Angélica Castañeda Escobar¹, Mariana López Palacios¹, Javier Blanco Rodríguez¹, Isaí Pacheco Tejada¹, Diego Garces Rosas¹, Claudia Patricia Fernández de Lara Arcos¹, Daniel Hernández Pitalúa¹ y

Fabiola Sandoval Salas²

¹TecNM/ ITS de Xalapa

²TecNM/ ITS de Perote

*Autor de correspondencia: lizbeth.ce@xalapa.tecnm.mx¹

Recibido 18 de marzo 2025; recibido en forma revisada 20 de junio 2025; aceptado 16 de octubre 2025

RESUMEN

Este artículo presenta el diseño y validación de un prototipo de despulpadora de maracuyá con enfoque mecatrónico, concebida como una solución adaptable para la agroindustria rural, específicamente en el municipio de Actopan, Veracruz. El proyecto se basa en un sistema de operación dual: un modo mecánico (pedal) para zonas sin acceso a electricidad y un modo eléctrico semiautomático para optimizar la eficiencia. En la fase mecánica, se desarrolló un mecanismo robusto y de fácil mantenimiento, capaz de realizar la extracción de la pulpa y la separación de la cáscara en un solo paso. Se seleccionó el acero inoxidable AISI-304 por su durabilidad e higiene alimenticia, y se utilizaron simulaciones estructurales en SolidWorks para validar la resistencia del chasis bajo condiciones de campo. El aporte mecatrónico se centró en el sistema eléctrico con un motor de 2 HP.

Para garantizar un rendimiento óptimo y adaptable, se implementó un sistema de control de velocidad híbrido lo que permite ajustar la velocidad del despulpado. El circuito de control integra componentes electrónicos, disyuntores, relé térmico, y sus envolventes cumplen con las normas de protección IP66–IP69K, asegurando la resistencia ante polvo, humedad y limpieza a presión. Los resultados validan un prototipo funcional que ofrece una solución tecnológica higiénica, robusta y adaptable para el procesamiento primario del maracuyá, con alto potencial de impacto positivo en las comunidades agrícolas locales.

Palabras Clave: Diseño mecánico, control de velocidad, despulpadora.

ABSTRACT

This paper presents the design and validation of a passion fruit pulp extractor prototype with a mechatronic approach, conceived as an adaptable solution for rural agroindustry, specifically in the municipality of Actopan, Veracruz. The project is based on a dual-operation system: a mechanical mode (pedal) for areas without electricity access, and a semi-automatic electric mode to optimize efficiency. In the mechanical phase, a robust and easy-to-maintain mechanism was developed, capable of extracting the pulp and separating the skin in a single step. Stainless steel AISI-304 was selected for its durability and food hygiene properties, and structural simulations in SolidWorks were performed to validate the chassis resistance under field conditions. The mechatronic contribution focused on the electrical system, which includes a 2 HP motor. To ensure optimal and adaptable performance, a hybrid speed control system was implemented, allowing for adjustable pulp extraction speed. The control circuit integrates electronic components, circuit breakers, thermal relays, and its enclosures meet IP66–IP69K protection standards, ensuring resistance to dust, moisture, and high-pressure cleaning. The results validate a functional prototype that provides a hygienic, robust, and adaptable technological solution for primary passion fruit processing, with high potential for positive impact on local agricultural communities.

Keywords: Mechanical design, speed control, pulp extractor

INTRODUCCIÓN

La agroindustria es el motor económico de muchas comunidades rurales, pero enfrenta un desafío constante: la necesidad de equipos que combinen resistencia industrial con adaptabilidad y eficiencia energética en zonas con infraestructura limitada. Las herramientas diseñadas para el campo deben ser capaces de soportar el trabajo rudo, mejorando al mismo tiempo la calidad, los tiempos de procesamiento y, crucialmente, la higiene de los alimentos. Este imperativo se observa claramente en el sector del maracuyá (*Passiflora edulis*), una fruta con gran potencial de exportación y procesamiento. Según Argüello-García (2024) en Actopan, Veracruz, una región destacada en la producción nacional, se cultiva principalmente la variedad de cáscara amarilla (*Passiflora edulis flavicarpa*), que se observa en la figura 1. A pesar de ser una zona productora clave, el proceso de despulpe en las pequeñas huertas se realiza de manera predominantemente manual. Este método artesanal resulta ser lento, consume valioso tiempo de los agricultores y dificulta el control de la calidad e higiene del producto final. Si bien existen equipos

industriales para grandes volúmenes, los pequeños y medianos productores carecen de una solución mecánica y económica que se ajuste a su escala de producción. En respuesta a esta necesidad, presentamos el diseño y desarrollo de una despulpadora de maracuyá con enfoque mecatrónico. Este trabajo propone un sistema robusto, eficiente y adaptable que incorpora ingeniería de materiales, análisis de esfuerzos y un control de velocidad variable para optimizar el rendimiento. Nuestro objetivo es demostrar cómo la integración de la mecánica y la electrónica puede ofrecer una herramienta que apoye directamente a los agricultores veracruzanos, transformando un proceso manual en una operación controlada e higiénica.



Figura 1. Maracuyá cultivado en Actopan, Ver. (elaboración propia, 2025).

METODOLOGÍA

El desarrollo de la despulpadora de maracuyá nace como un proyecto integrador de ingeniería mecánica, estructurado para asegurar un equipo funcional, robusto y apto para entornos de campo. La metodología se puede dividir en dos rubros principales de trabajo: el diseño y análisis mecánico y la simulación e implementación de un sistema eléctrico de arranque y paro y ajuste de velocidad. El uso de software CAD y de simulación (figura 2) fue muy importante para reafirmar el análisis del diseño antes de la fabricación física.

La primera etapa consistió en la investigación de otras máquinas con propósitos similares con el objetivo de entender los mecanismos que intervienen en el proceso y generar, a partir de ese conocimiento, la idea propia que se ajusta a la actividad que no atañe; se investigaron los componentes esenciales de las despulpadoras comerciales, se analizan diversos mecanismos de transmisión y se seleccionaron los materiales más adecuados para satisfacer la resistencia, durabilidad y la facilidad de limpieza en ambientes rurales, siendo este último aspecto el que más horas de diseño demandó debido a que se

pretende que la limpieza se fácil y se lleve a cabo en el menor tiempo posible.

Para el diseño se utilizó el software SolidWorks®, donde se generaron modelos funcionales y planos detallados. Esto permitió definir un sistema de operación dual: un modo automático impulsado por un motor eléctrico y un modo manual asistido por un sistema de pedales el cual aún no se define en su totalidad.

La selección de materiales es un punto importante debido al trabajo con alimentos. Se eligió el acero inoxidable AISI-304 para todas las piezas en contacto con la pulpa, debido a su excelente resistencia a la corrosión y facilidad de higienización. Para los elementos de soporte y la estructura principal, se optó por acero galvanizado para asegurar una larga vida útil y estabilidad estructural (INTEGRINOX, 2020).

Antes de cualquier corte o soldadura, se realizó un análisis de ingeniería asistido por computadora (CAE). Mediante software analítico, se simularon los esfuerzos y deformaciones bajo carga, lo que permitió optimizar el peso y la resistencia de la

estructura. Una vez validados estos resultados, procedimos al ensamblaje digital completo, que incluyó el diseño detallado de los componentes de corte y todas las piezas móviles.

La segunda fase aborda el sistema de potencia y control eléctrico. Con base en los requerimientos de torque del diseño mecánico, se dimensionó un motor eléctrico de 2 HP, ideal para un ambiente de trabajo rudo. En primera instancia, para el control de velocidad se implementó un sistema de regulación mediante componentes electrónicos: triodo para corriente alterna (TRIAC) y un diodo semiconductor de dos terminales (DIAC). Como segunda etapa del control de velocidad se mantiene una caja reductora mecánica, con lo que se asegura el toque necesario y permitiendo al usuario final ajustar la velocidad de despulpado según la madurez o variedad del maracuyá, optimizando así el rendimiento. La seguridad y la fiabilidad se priorizaron, por lo que se diseñó un circuito de arranque y paro, simulado en el software CadeSimu®, para garantizar la correcta operatividad y la protección del motor contra sobrecargas. Además, investigamos y aplicamos los

lineamientos de las normas IP (Ingress Protection), que especifican el nivel de protección de la envolvente eléctrica contra la intrusión de polvo y líquidos (Norma EN G0529), un factor indispensable en una planta de procesamiento de alimentos. Finalmente, se ejecutaron pruebas funcionales simuladas para cada modo de operación de la despulpadora. Estas pruebas no solo evaluaron la eficiencia del proceso de despulpado, sino también la ergonomía y la facilidad de uso, asegurando que el diseño final sea práctico para el operario en campo (Kolstad, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño y simulación, mecánico y eléctrico, de la despulpadora propone presentar un prototipo funcional integral que satisface la necesidad de disminuir el tiempo en el proceso de despulpado. Los resultados obtenidos a través de simulaciones y pruebas funcionales aportan confianza en el tema de la resistencia estructural y la operatividad dual del equipo (manual y eléctrica), cumpliendo con los objetivos de adaptabilidad y durabilidad en campo.

Para garantizar la seguridad y la durabilidad a largo plazo, la estructura de la base fue sometida a un análisis estructural bajo las cargas operativas máximas.

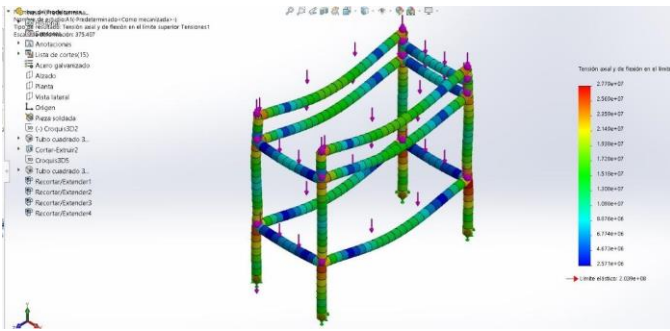


Figura 2. Análisis estructural de la base (elaboración propia, 2025).

El estudio de la distribución de tensiones axiales y de flexión (figura 2) arrojó que los valores máximos de tensión alcanzan aproximadamente $2.77 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Este valor se encuentra muy por debajo del límite elástico del material ($2.03 \times 10^8 \text{ N/m}^2$), lo que establece un amplio factor de seguridad para la despulpadora. Visualmente, el predominio de colores verdes y azules en el mapa de tensiones confirma que la estructura soporta la carga sin riesgo de deformación plástica, localizando las concentraciones de esfuerzo en las uniones superiores, tal como se esperaba en el diseño. La despulpadora se diseñó para separar eficientemente

la pulpa y semilla de la cáscara del fruto como se ve en la figura 3 y figura 4.

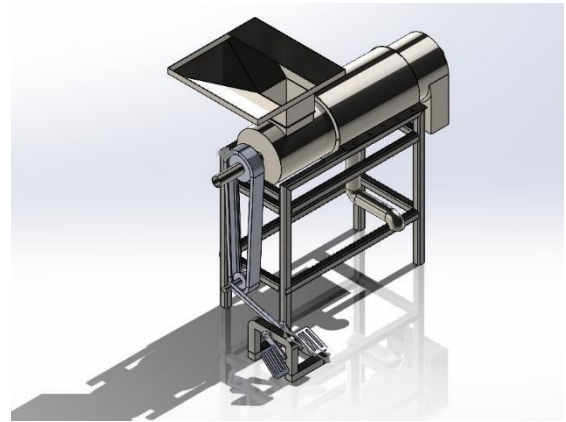


Figura 3. Despulpadora de maracuyá con operación manual (elaboración propia, 2025).

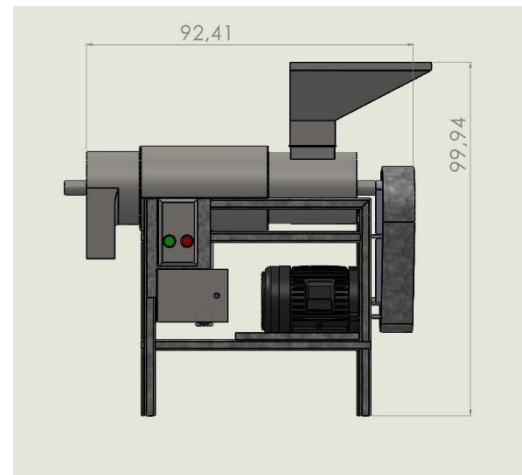


Figura 4. Despulpadora de maracuyá con operación eléctrica (elaboración propia, 2025).

El mecanismo central está compuesto por una tolva de alimentación y un tambor despulpador que incorpora un tamiz de precisión. Unas aspas giratorias son las encargadas de ejercer presión y

frotar el fruto para extraer su contenido. El movimiento de las aspas se transmite a través de un eje principal que permite la conexión dual al sistema de pedal o al motor eléctrico. La robustez se garantiza con el uso de acero inoxidable AISI-304 en todas las piezas de contacto con la fruta y acero galvanizado para la base. En cuanto a la ergonomía, la máquina se diseñó con unas dimensiones de 1m de largo por 1m de altura, una altura pensada para que el operario pueda depositar la fruta en la tolva sin realizar posturas incómodas, asegurando comodidad y estabilidad durante el proceso. El sistema eléctrico, crucial para la eficiencia, utiliza un motor de 2 HP y se compone de componentes de grado industrial: disyuntores, contactores y relé térmico (figura 5).

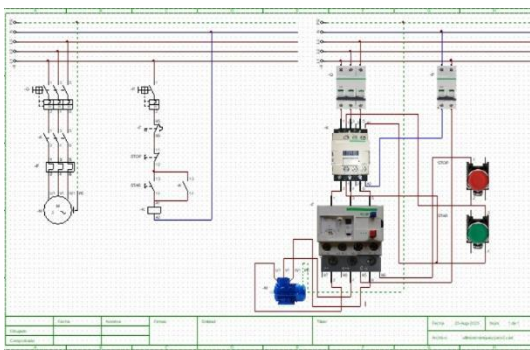


Figura 5. Circuito eléctrico (elaboración propia, 2025).

El control se activa mediante un circuito de arranque que solo permite el paso de corriente tras la

activación de los frenos de seguridad. La operación se gestiona a través de una botonera (verde para arranque, rojo para paro de emergencia), cuyo envolvente posee un grado de protección IP adecuado, lo que asegura su resistencia al polvo y al agua, imprescindible en entornos agroindustriales. El circuito de control electrónico permite variar la velocidad dentro de un rango que no afecta significativamente el par de la flecha para el trabajo realizado pero que sí permite trabajar a diferentes ritmos que se adaptan a las distintas personas que usarán el sistema.

Aunque el sistema propuesto no considera en sí una variación en la frecuencia de alimentación, el ajuste del voltaje mediante el dispositivos electrónicos resulta suficiente para obtener un control básico de velocidad en aplicaciones donde no se requiere precisión ni par constante, priorizando la simplicidad del circuito y la economía del sistema.

Sin embargo, para mantener el par, se sigue contando con una caja reductora tomando en cuenta que se realizó el cálculo correspondiente para obtener una velocidad de salida aproximada de 400 rpm debida a

la relación de transmisión de 5:1. Esta relación permite disminuir la velocidad del eje de salida, incrementando proporcionalmente el par motor disponible para el proceso. $V_s = V_m/RT = 1725/5 = 345\text{rpm}$. Las pruebas de simulación demostraron que el sistema manual con pedal es una alternativa más ecológica y con mayor control de proceso que el despulpado tradicional artesanal. Por su parte, la versión eléctrica incrementa drásticamente la eficiencia. El resultado es una despulpadora adaptable que ofrece una solución higiénica, robusta y escalable para los pequeños productores de maracuyá.

CONCLUSIONES

El diseño de la despulpadora de maracuyá que se presenta presume de viabilidad, primeramente porque es similar y/o parte de otros modelos en el mercado aunado a la aplicación de la ingeniería mecatrónica en la agroindustria rural. El diseño final cumple, en su mayoría con los objetivos planteados, esto considerando dos sistemas complementarios: el

modo manual, propuesto para trabajar en zonas donde no se cuente con energía eléctrica, y el modo eléctrico, propuesto para trabajar con un actuador eléctrico con el que mejore la eficiencia productiva. La selección de materiales garantizó la resistencia a la corrosión, la durabilidad y la higiene que es muy importante para el procesamiento de alimentos. La consideración del sistema de regulación ayudará a mejorar el desempeño de la máquina y ajustarse a la utilización por distintas personas con diferentes tiempos de manejo. Las simulaciones estructurales y eléctricas dan pie a ofertar seguridad en la operación y durabilidad de la máquina; esto permitirá mayor confianza en la construcción e implementación. Como siguiente paso, se programarán reuniones de evaluación con agricultores de la región de Actopan para asegurar que el diseño final responda eficientemente. En resumen, este proyecto no es solo una máquina, sino una solución integral práctica, adaptable y sostenible que tiene el potencial de generar un impacto positivo directo en la calidad de vida y la economía de las comunidades rurales y los pequeños productores locales de maracuyá.

BIBLIOGRAFÍA

Argüello-García, E. (12 de 12 de 2024).

Transición Agroecológica del cultivo de maracuyá (Passiflora edulis flavicarpa) en el estado de Veracruz. Obtenido de agro.divulgacion: <https://agrodivulgacion-colpos.org/index.php/1agrodivulgacion1/article/view/407>

INTEGRINOX. (ENERO de 2020).

INTEGRINOX. Obtenido de ACERO INOXIDABLE:

<https://integrinox.com/tipos-de-acero/aisi304.php>

Kolstad, C. (15 de enero de 2025).

TAMESON. Obtenido de <https://tameson.es/pages/tabla-de-clasificacion-ip-y-definiciones>