Diseño de un sistema de extracción de jugo para productores de limón persa.

Design of a juice extraction system for persian lemon producers.

Ignacio Arrioja Cárdenas* (1).
Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

José Manuel Rasgado Bezares (2). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
jose.rb@tuxtla.tecnm.mx.

Erick Arrioja Castillo (3), Estudiante Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
L23270462@tuxtla.tecnm.mx.

Vitta Marlene Castillo Sánchez (4). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
vitta.cs@tuxtla.tecnm.mx.

Saul de Jesús Molina Domínguez (5). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
saul.md@tuxtla.tecnm.mx.

Juan Carlos Niños Torres (6). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez. juan.nt@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 12, 2025; aceptado en diciembre 17, 2025.

Resumen.

Este proyecto presenta el diseño de una máquina despulpadora de limón persa para procesar hasta 500 kg de fruta por hora. El proyecto parte de una investigación previa sobre máquinas similares y se enfoca en desarrollar un prototipo eficiente y confiable, adecuado para las necesidades de productores locales en Tuxtla Gutiérrez y alrededores. Se realizan distintas etapas en la operación del sistema: clasificación, corte, transporte, exprimido y expulsión de residuos. El diseño también contempla recomendaciones para su correcto funcionamiento y mantenimiento, con énfasis en la seguridad y la limpieza. Los costos de fabricación son menores en comparación con las máquinas comercializadas en el mercado, lo que puede beneficiar a pequeños productores al ofrecer una alternativa más económica y eficiente.

Palabras claves: Despulpadora, diseño, máquina, prototipo.

Abstract.

This project presents the design of a persian lemon pulping machine capable of processing up to 500 kg of fruit per hour. The project is based on prior research on similar machines and focuses on developing an efficient and reliable prototype, suitable for the needs of local producers in the city of Tuxtla Gutiérrez. Different stages are carried out in the system's operation: classification, cutting, transportation, juicing, and waste expulsion. The design also includes recommendations for proper operation and maintenance, with an emphasis on safety and cleanliness. The

manufacturing costs are lower compared to commercially available machines, which can benefit small producers by offering a more economical and efficient alternative.

Keywords: Design, machine, prototype, pulping machine.

1. Introducción.

En el mercado nacional existen diferentes máquinas que tienen como función la extracción de jugo, estas pueden ser manuales o eléctricas, siendo estas últimas las que brindan mejores prestaciones para los usuarios. Un factor negativo de estas de máquinas es un costo demasiado elevado. El desarrollo de este proyecto tiene como propósito el diseño de un sistema de extracción de jugo para productores de limón persa de Tuxtla Gutiérrez y zonas de influencia, eficiente y económico (Hernández, 2016).

El desarrollo está sustentado en la aplicación de teorías de diseño mecánico y validado mediante el diseño asistido por computadora, en particular se usa el software de SolidWorks (licencia institucional).

El sistema de extracción de jugo para limón persa está conformado con un motor eléctrico que es el encargado de trasmitir la energía al sistema, esta es transmitida mediante un sistema de poleas y bandas al mecanismo de extracción de jugo. El proceso de corte se realiza mediante un tornillo sin fin de paso variable, el despulpado o la extracción del jugo se realiza mediante un agitador doble paleta y las cascaras son expulsadas por medio de dos paletas soldadas al eje principal ubicadas a la salida de la máquina. Todos los materiales son de acero inoxidable o de grado alimenticio.

Finalmente se evalúan los costos de los materiales, manufactura y se determina la rentabilidad a comparación de las que se comercializan en el mercado nacional. Diseño de las piezas del prototipo usando el software de SolidWorks.

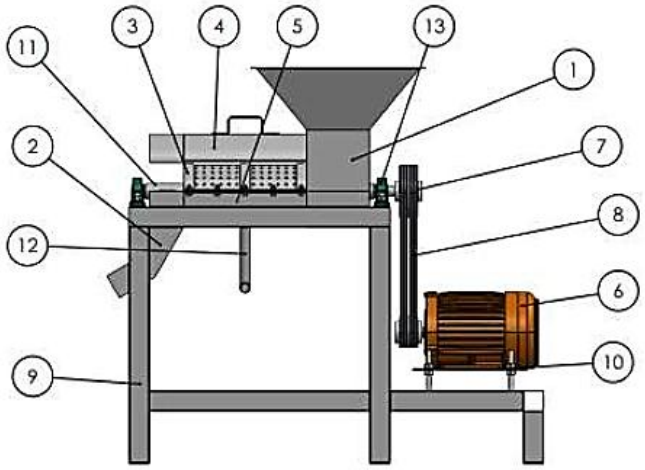


Figura 1. Componentes principales de la máquina.

Tabla 1. Accesorios de máquina.

Numero	Componente
1	Tolva
2	Tolva salida de los desechos
3	Tamiz
4	Tapa del tamiz
5	Base del tamiz
6	Motor eléctrico
7	Polea
8	Banda
9	Estructura
10	Base del motor
11	Eje
12	Tubería
13	Chumacera

2. Métodos.

Mediciones y características del limón persa.

Para el diseño de la maquina se realizaron diferentes pruebas de mediciones, las cuales corresponden al diámetro y el peso del limón (Hernández, 2016). Los resultados promedios fueron, diámetro = 5.91 centímetros y la masa = 99.33 gramos.

Figura 2. Mediciones del diámetro y masa del limón.

Para el cálculo de la potencia del motor se realizaron pruebas para conocer la resistencia a la compresión del limón, estas se realizaron mediante el uso de pesos conocidos, el resultado promedio es de 50 kilogramos para reventar el limón.

Figura 3. Medición de la resistencia a la compresión.

Modelado.

La mayoría de los elementos de maquina se modelaron con el software SolidWorks, así como los ensambles de los sistemas, estos se muestran en las figuras 4 y 5. Los nombres de los componentes se listan en la Tabla 1.

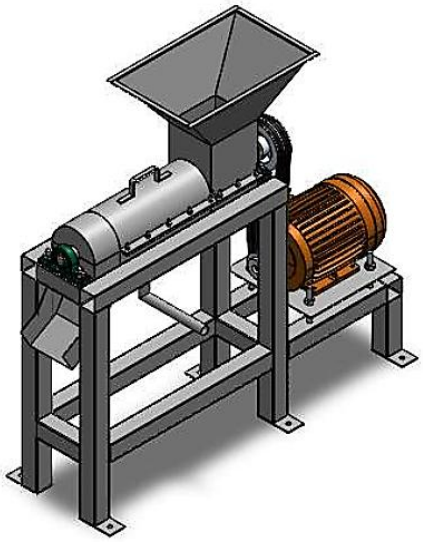


Figura 4. Modelado final de la máquina.

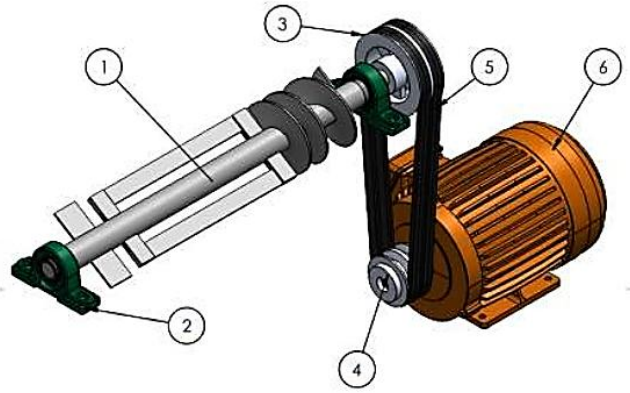


Figura 5. Sistema motriz de la máquina.

Cálculo potencia para selección del motor.

Se planteó una capacidad de extracción de 500 kilogramos por hora de limón persa que es igual a 139 gramos por segundo, los datos utilizados en este apartado corresponden al peso y resistencia a la compresión promedio. Para la selección del motor eléctrico de la máquina se consideraron los siguientes parámetros: velocidad angular de 280 rpm-1735 rpm y una potencia 1.16 hp-1.5 hp. Se selecciona un Monofásico Siemens Electromex 1.5 Hp 115-230v y 1735 RPM (Shigley, 2012).

Diseño del sistema de extracción.

El sistema de extracción de la maquina está conformado por cuatro elementos, el eje motriz, el tornillo sin fin, las paletas de despulpado y las paletas de remoción de cascaras, como se puede visualizar en la figura 6. Se realizaron los cálculos y simulaciones por el método de elemento finito para conocer el factor de seguridad de cada uno de los elementos (Bladimir, 2019).

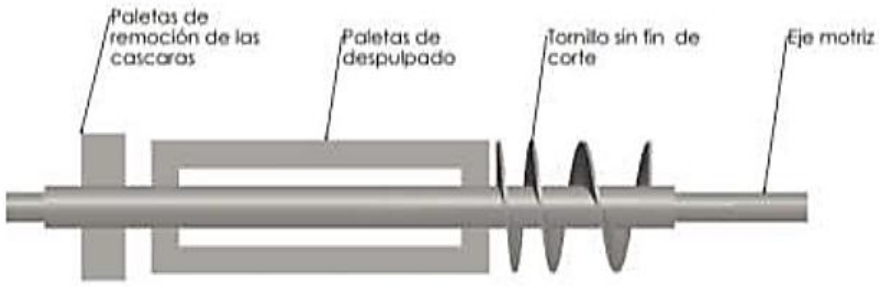


Figura 6. Sistema de extracción de la máquina.

Diseño del eje.

Para este análisis el eje está sometido a una carga distribuida w_1 generada por el peso de los elementos soldados y el peso de almacenamiento de la tolva, también está sometido a una fuerza P_1 generada por a las tensiones de las bandas, además está apoyado en dos chumaceras como se muestra en el diagrama de cuerpo libre. El eje fue modelado con un diámetro 38.1 mm. y una longitud de 0.701 m. Las masas de los elementos soldados al eje se obtuvieron por medio del software de SolidWorks, este valor es de 1.5 kg.

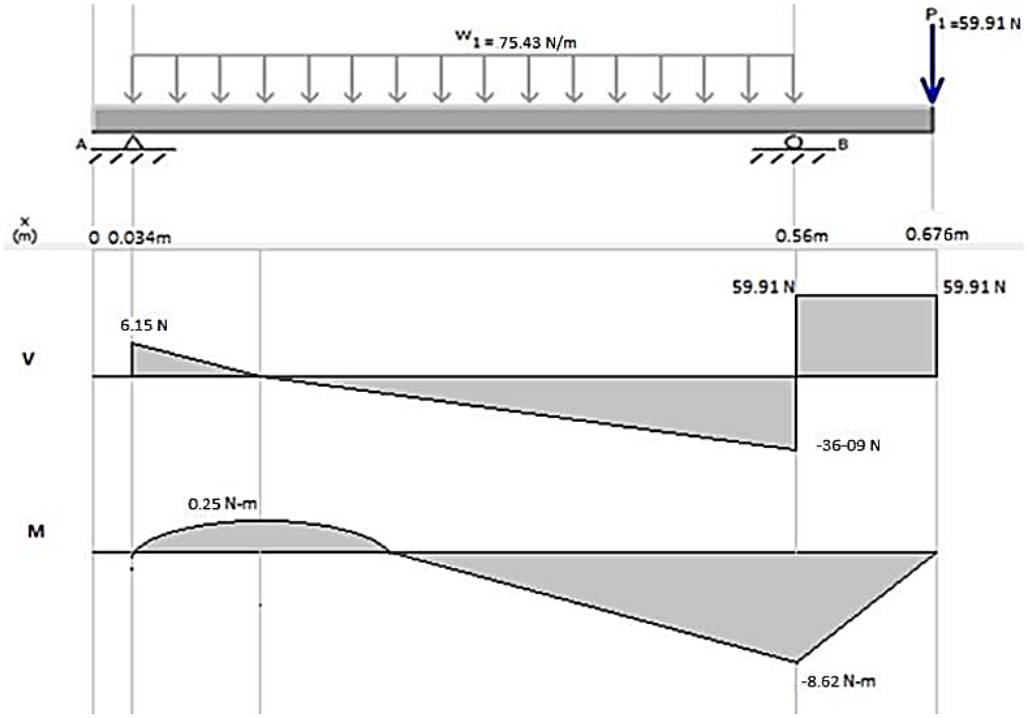


Figura 7. Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

Los resultados son:

Esfuerzo normal por flexión: $\boldsymbol{\sigma_{xx} = 0.46\ MPa}$
Esfuerzo cortante por torsión: $\boldsymbol{\tau_{xy} = 1.639\ MPa}$

Esfuerzos de von Mises: $\boldsymbol{(\sigma_e)_a = 0.46\ MPa}$ y $\boldsymbol{(\sigma_e)_m = 2.83\ MPa}$

Se emplea acero inoxidable AISI 304, Sut = resistencia última =517.017 MPa y Sy=límite de fluencia = 206.807 Mpa

El límite de resistencia a la fatiga es $\boldsymbol{S_e = 117.29\ MPa}$

Empleando el criterio de Soderberg para fallas por fatiga:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

El factor de seguridad es n = 71

El análisis estático del eje por el método de elemento finitos mediante el software de SolidWorks arroja los siguientes resultados:

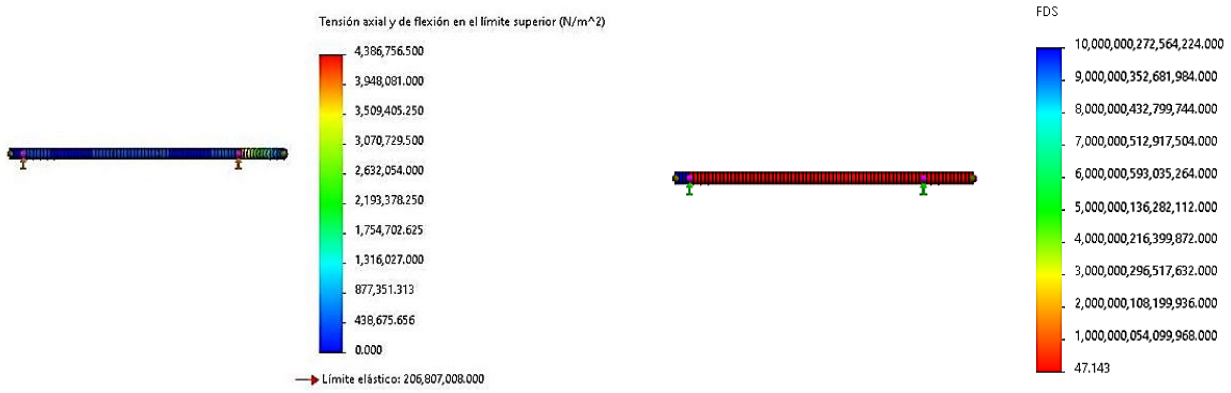


Figura 8. Modelado del eje en SolidWorks.

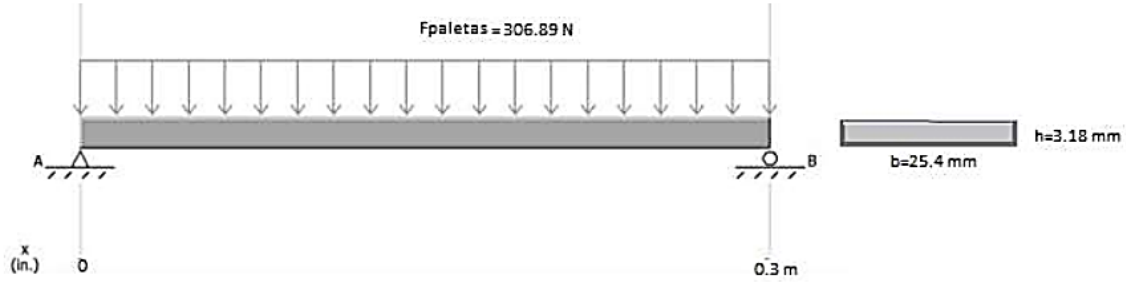
Diseño de las paletas de despulpado.

Las paletas generan un movimiento rotativo transmitido por un sistema formado por un motor, poleas, bandas y eje. Este movimiento rotativo es transmitido a la fruta previamente cortada, esta, con ayuda de las paletas entra en contacto con el tamiz, generando la salida del jugo de limón. Para el cálculo de la fuerza sobre las paletas se utiliza la potencia ya calculada. Las paletas de despulpado se modelaron con solera de acero inoxidable AISI 304 de 1 pulgada y calibre 1/8. Usando r = radio de las paletas en la ecuación

$$\boldsymbol{F_{paletas} = \frac{T}{r} = \frac{178\ N.m}{0.059\ m} = 306.89\ N}$$

La paleta está sometida a una carga distribuida de 306.89 N en sus 30 centímetros de longitud. Se analiza como una viga apoyada como se muestra en la figura 9.

Posteriormente se muestran los esfuerzos en la paleta de despulpado para el calculo del factor de seguridad (FDS o n_s). Se usa la resistencia de fluencia de 206.807 Mpa.



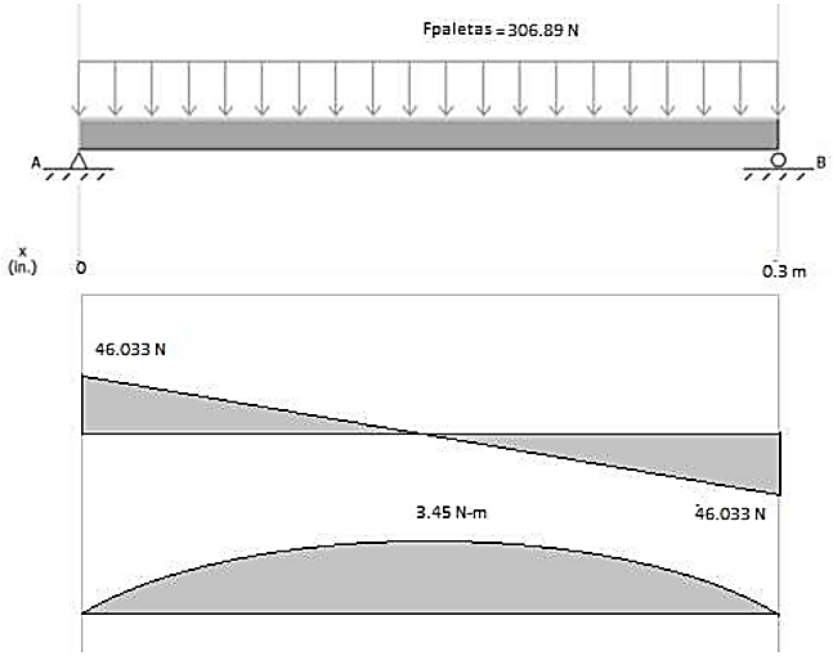


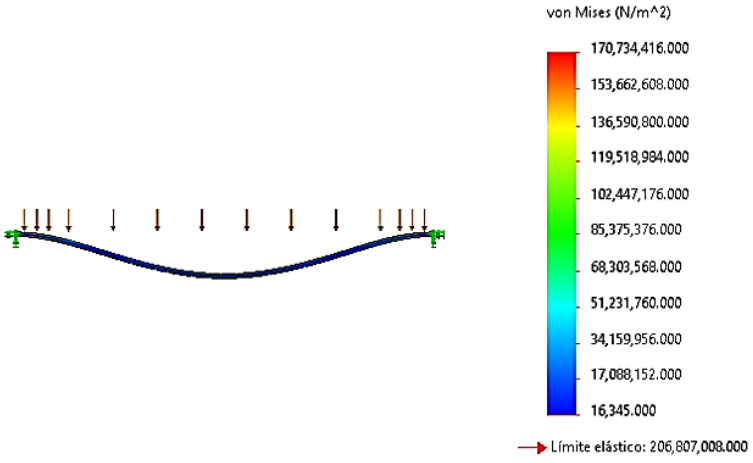
Figura 9. Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

$$FDS = \frac{S_y}{\sigma_{xx}} = \frac{206.807\ MPa}{201\ MPa} = 1.03$$

El diseño es seguro.

Análisis de las paletas de despulpado en SolidWorks

A continuación, el análisis estático de las paletas por el método de elemento finitos mediante el software de SolidWorks, considerando los valores que observamos en la figura 10 (Shigley, 2012). Como resultado del análisis se obtienen las tensiones por el teorema von Mises y el factor de seguridad.



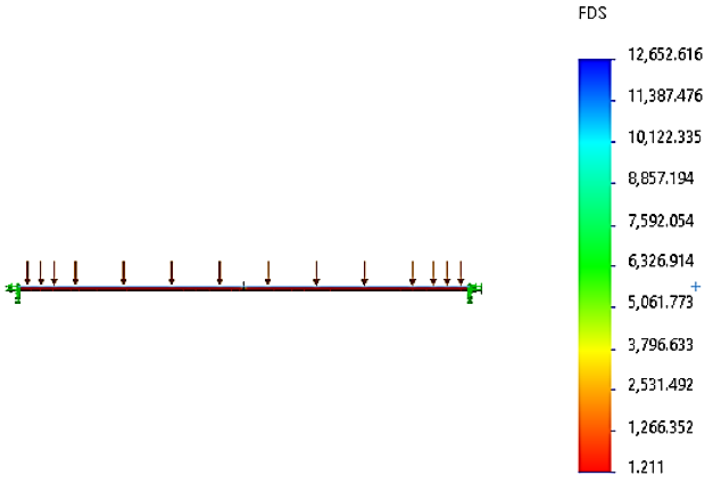


Figura 10. Esfuerzos de von Mises y factores de seguridad.

Diseño de las paletas de remoción de las cáscara.

Para el cálculo de las paletas, estas se consideran soldadas al eje y están sometidas a una fuerza P_1 = 306.89 N que corresponde a la fuerza generada con el par motor. El análisis se realiza como una viga en voladizo con el material antes especificado. Posteriormente se calcula el factor de seguridad de la pieza. Figura 11.

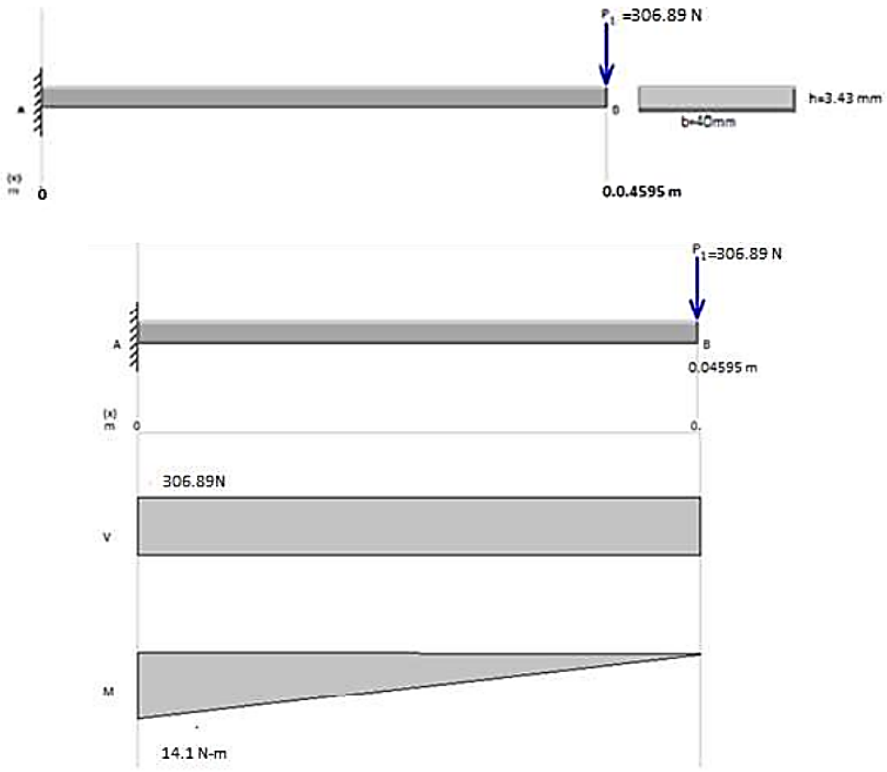


Figura 11. Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

$$FDS = \frac{S_y}{\sigma_{xx}} = \frac{206.807\ MPa}{183.45\ MPa} = 1.12$$

El diseño es seguro.

Análisis de las paletas de remoción de la cáscara en SolidWorks.

A continuación, el análisis estático de las paletas por el método de elemento finitos mediante el software de SolidWorks, considerando los valores que observamos en la figura 12. Como resultado del análisis se obtienen las tensiones por el teorema von Mises y el factor de seguridad (Gere, 2016).

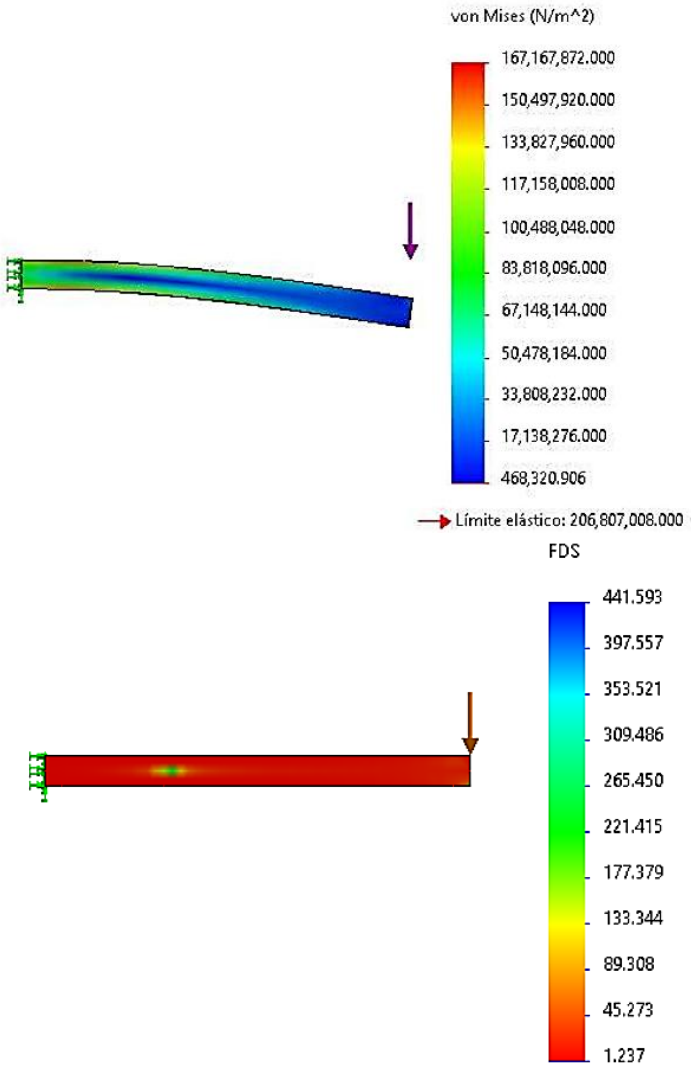


Figura 12. Esfuerzos de von Mises y factores de seguridad.

Análisis del tamiz en SolidWorks.

Para el análisis estático del tamiz por el método de elemento finitos mediante el software de SolidWorks, se consideran las fuerzas producidas las paletas. El análisis genera las tensiones tensión por el teorema de von Mises y el factor de seguridad. El tamiz fue diseñado de acuerdo con las dimensiones de las paletas de despulpado. Para el modelado se consideró las medidas de la solera de acero inoxidable con calibre de 1/8 y 1 pulgada. Figura 13.

Resultado	Mínimo	Máximo
Tensiones en von Mises	0.00002449 MPa	1.47 MPa
Factor de seguridad	140	8.44E6

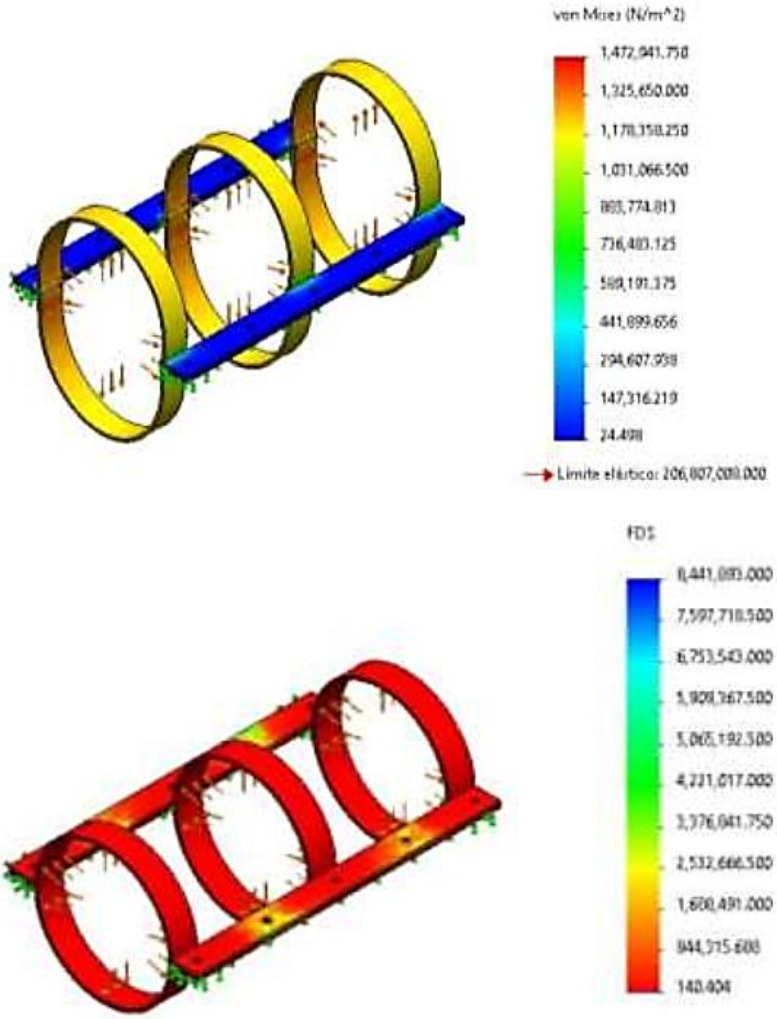


Figura 13. Esfuerzos de von Mises y factores de seguridad

Análisis de la tolva de salida de los desechos en SolidWorks.

La tolva de salida de los desechos está sometida a una carga de 60.72 N que corresponde al peso ejercido por el limón persa que almacena la tolva, como resultado del análisis obtenemos tensiones por el teorema de von Mises y el factor de seguridad (Gere, 2016). Para el modelado se consideró una lámina de acero inoxidable AISI 304 de 1.9 mm de espesor. Figura 14.

Resultados	Mínimo	Máximo
Tensiones von Mies	0.00634 MPa	11.38 MPa
Factor de seguridad	18.162	32,598.23

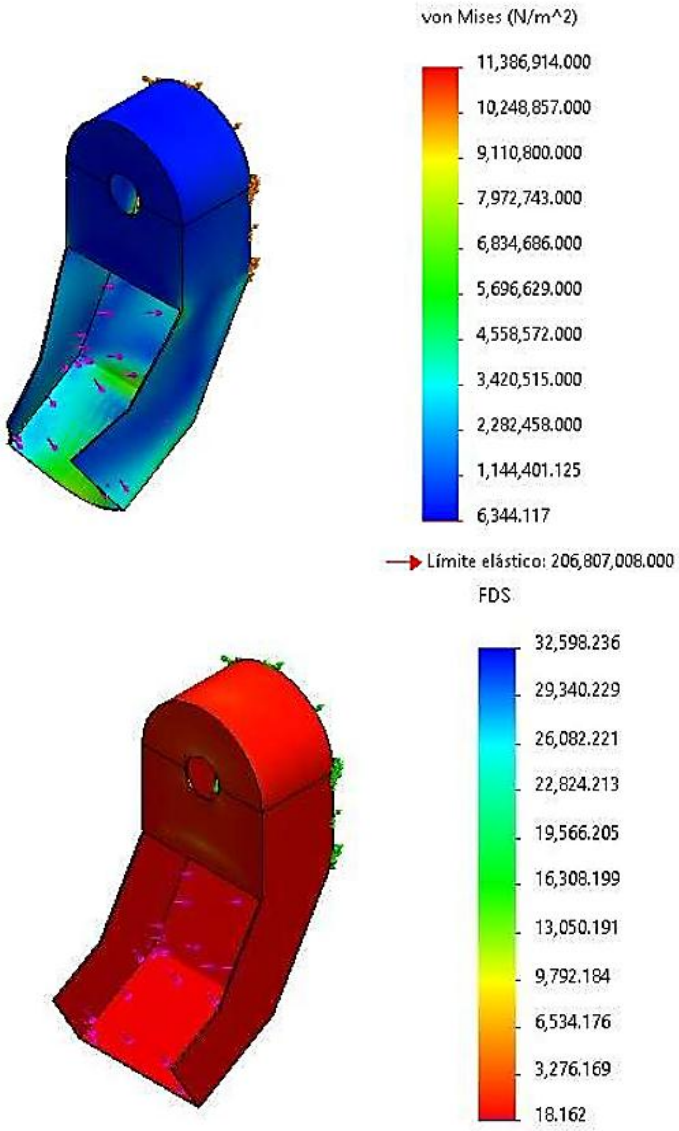


Figura 14. Esfuerzos de von Mises y factores de seguridad.

Análisis de la estructura en SolidWorks.

Para el análisis se toma la fuerza que ejerce el peso de la máquina y la capacidad de limón persa que almacena la tolva que corresponde 490.5 N, además la fuerza que ejerce el peso del motor peso del motor que corresponde 147.15 N, como resultado del análisis se obtienen la tensión axial y su factor de seguridad. Para el modelado de la estructura de utilizo PTR de 2 pulgadas de acero inoxidable calibre 16. Figura 15.

Resultado	Mínimo	Máximo
Tensiones axiales	2.14 Mpa	30.9 Mpa
Factor de seguridad	96.28	10e15

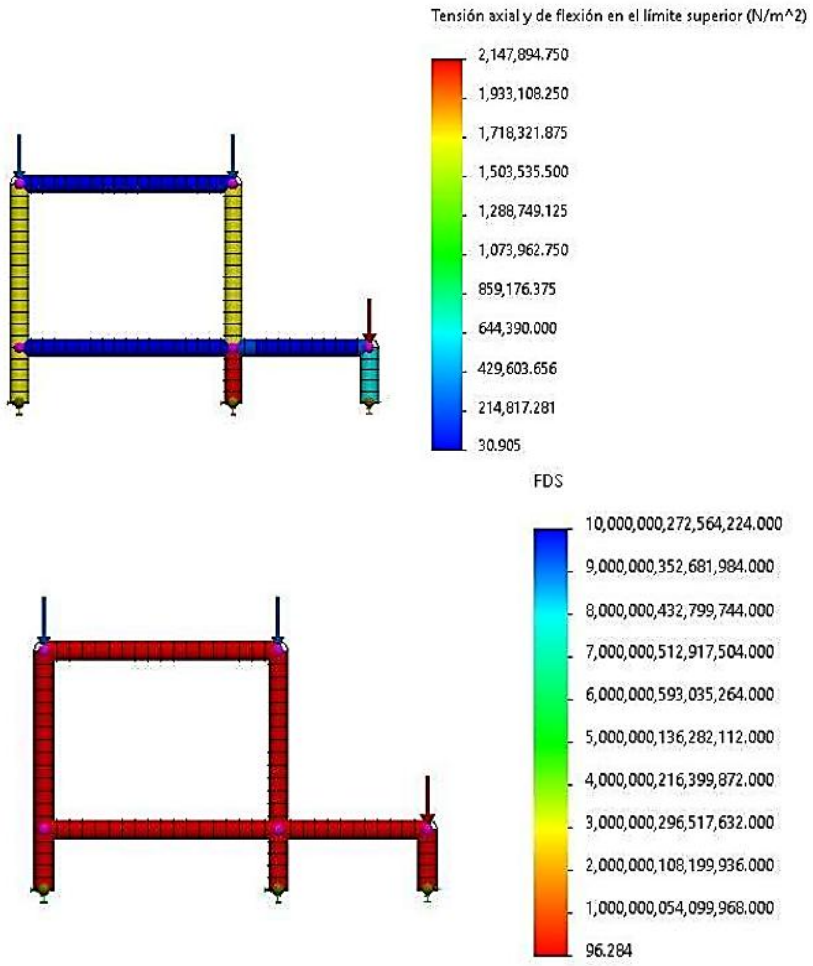


Figura 15. Esfuerzos de von Mises y factores de seguridad.

3. Desarrollo.

Los componentes de la maquina se ilustran en la figura1 y tabla 1 de este artículo. El funcionamiento de la máquina extractora de jugo de limón persa se describe en cuatro etapas (Bladimir, 2019):

- En la primera etapa se enciende el motor eléctrico, posteriormente se introduce el limón persa a través de la tolva, después de ser limpiada.

- En una segunda etapa, el limón persa es cortado por medio de un tornillo sinfín que además se encarga de trasportarlo hacia el tamiz.
- En la tercera etapa los trozos de limón persa pasan por unas paletas ajustadas al tamiz, encargándose de extraer el jugo, este se filtra por el tamiz y sale por una tubería a los recipientes de almacenamiento.
- En la cuarta y última etapa las cáscaras y vástagos son expulsadas por la parte delantera de la máquina.

Algunas recomendaciones y características de la maquina son:

- La máquina fue diseñada para introducir limones enteros de un diámetro máximo de 6 cm.
- Al ingresar la fruta por la tolva, se debe tener cuidado en no permitir el ingreso de pedazos de metales, rocas u otros objetos hacia el interior del cuerpo de la máquina.
- Por ningún motivo se debe apagar la máquina a la mitad del proceso, siempre se debe apagar cuando el proceso haya terminado.
- Una vez terminado el ciclo de trabajo de un día, se debe apagar la máquina y asegurarse de limpiar, de preferencia proyectar un chorro de agua desde la tolva alimentadora hasta el sistema de corte y exprimido.
- Evitar dejar residuos de pulpa ya que este se puede agriar y producir malos olores.
- Para tener una mayor fijación de la máquina y disminuir vibraciones, se recomienda anclar hacia el piso a las placas con pernos expansivos.
- Se debe tensar adecuadamente las bandas, para evitar patinamiento en las poleas.
- Mediante la elección del diámetro de perforación de la malla se podrá variar el grado de afinado del jugo según las necesidades.

El mantenimiento de la máquina se realiza con el siguiente cronograma:

Elemento	Operación	Diario	Semanal	Mensual
Estructura general	Limpieza	X		
Tamiz	Limpieza	X		
Tolva	Limpieza	X		
Eje	Limpieza	X		
Chumacera	Lubricación	X	X	
Banda	Revisión	X		X
Motor	Revisión	X		X

Conclusiones.

El diseño de esta máquina proporciona en el mercado nacional una alternativa a las diferentes máquinas que tienen como función la extracción de jugo, como se comentó, un factor negativo de estas de máquinas es el costo demasiado elevado. El desarrollo de este proyecto cumple con el propósito de diseño de un sistema de extracción de jugo para productores de limón persa de Tuxtla Gutiérrez y zonas de influencia, eficiente y económico.

El desarrollo está sustentado en la aplicación de teorías de diseño mecánico y validado mediante el diseño asistido por computadora, en particular se usa el software de SolidWorks.

Dentro de las ventajas de este equipo, se encuentran, el sistema de extracción de jugo para limón persa conformado con un motor eléctrico que es el encargado de trasmitir la energía al sistema, esta es transmitida mediante un sistema de poleas y bandas al mecanismo de extracción de jugo. El proceso de corte se realiza mediante un tornillo sin fin de paso variable, el despulpado o la extracción del jugo se realiza mediante un agitador doble paleta y las cascaras son expulsadas por medio de dos paletas soldadas al eje principal ubicadas a la salida de la máquina. Todos los materiales son de acero inoxidable o de grado alimenticio. Todos los materiales y accesorios se pueden adquirir en el mercado local, el mantenimiento es mínimo y es de fácil operación.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, al Departamento de Metal-Mecánica y a la Academia de ingeniería Mecánica.

Referencias bibliográficas.

Bladimir, S. B. (2019). *Diseño y construcción de una máquina despulpadora de frutas con una capacidad de 500 kg/h para la empresa productos suiza dajed cia.* ambato: Universidad técnica de Ambato.

Gere, J., & Goodno, B. (2016). *Mecánica de materiales. México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.*

Hernández, S. (11 de agosto de 2010). *despulfruc-tpa.blogspot.com. Recuperado el 09 de enero de 2022, de* http://despulfruc-tpa.blogspot.com/2010/08/despulpadorade-futas-verduras-y.html.

Shigley, J. E. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica. México: Mc Graw Hill. Recuperado el 09 de enero de 2022*

Información de los autores.

Ignacio Arrioja Cárdenas es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestro en Ciencias Físicas por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

José Manuel Rasgado Bezares es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; ha trabajado en proyectos de construcción y ampliación de Centrales Hidroeléctricas como supervisor de obra electromecánica de la Comisión Federal de Electricidad. Actualmente es jefe del Departamento de Metalmecánica y docente en activo del claustro en la H. Academia de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Ha publicado dos libros

Erick Arrioja Castillo es estudiante del quinto semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Vitta Marlene Castillo Sánchez es Maestra en Ciencias de la Educación por el Colegio de Formación Educativa Tenam, es Ingeniera Industrial en Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, actualmente es profesora de medio tiempo en el departamento de Ciencias Básicas del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Ha publicado 2 libros.

Saúl de Jesús Molina Domínguez es Ingeniero mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de Chiapas, cuenta con una Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto tecnológico de Celaya Guanajuato, cuenta con Doctorado en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam.

Juan Carlos Niños Torres es Ingeniero Mecánico egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya, así también con el Doctorado en Ingeniería Aplicada de la Universidad TENAM. Actualmente es Profesor Investigador del Departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de la División de Estudios Profesionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez del 2017-2023. Cuenta con el perfil PRODEP 2022-2025 como miembro del Cuerpo Académico Ingeniería Mecánica en la línea de investigación de Diseño Mecánico. Es miembro del comité de evaluadores del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI A.C.) avalado por CIEES desde 2016.