



Diseño de un prototipo de máquina desmenuzadora de piñas cocidas de maguey papalote (*Agave cupreata* Tren. & Berger)

Design of a Prototype Shredder Machine for Cooked Pineapples from Maguey Papalote (*Agave cupreata* Trel. & Berger)"

María Victoria Gómez Águila

mvaguila@hotmail.com.

<https://orcid.org/0000-0001-9603-2856>

Xinatiuh Flores Mendoza

xinatiuh@gmail.com.

<https://orcid.org/0009-0005-8335-449X>

Martín Hidalgo Reyes

mhidalgor@chapingo.mx.

<https://orcid.org/0000-0002-6836-6848>

Luis Tonatiuh Castellanos Serrano

procesoslcce@hotmail.com.

<https://orcid.org/0000-0002-1071-3923>

Ulises Leonardo Mora Mayáns

al22107462@chapingo.mx.

<https://orcid.org/0009-0001-7414-5347>

Universidad Autónoma Chapingo.

Chapingo, Edo. México. México

Resumen

Este trabajo presenta el diseño de un prototipo de máquina desmenuzadora de piñas cocidas de agave papalote, creado específicamente para optimizar la producción de mezcal en la Unión de Productores de Mezcal Xochicalehualatl en Chilpancingo, ubicado en el Estado de Guerrero, México. El objetivo principal del diseño es mejorar el proceso de martajado, fundamental en la elaboración del mezcal. El prototipo consta de una tolva de alimentación, eje con barras que facilita la introducción de las piñas al mecanismo desmenuzador, y al canalón de descarga que permite depositar los trozos en las tinas de fermentación. La transmisión de movimiento se efectúa mediante un sistema flexible de poleas y bandas, compuesto por tres juegos de poleas, con productividad de 2.1 toneladas por hora, permitiendo procesar las piñas sin necesidad de cortarlas previamente, reduciendo el tiempo de trabajo en un 60% la producción de bebidas alcohólicas. El diseño presentado, cumple con los requerimientos de trabajos planteados, y humaniza el trabajo de los operadores.

Palabras Clave: Eficiencia, mezcal, triturado, productividad, equipo.

Abstract

This work presents the design of a prototype machine for shredding cooked pineapples of agave papalote, specifically created to perfect mezcal production at the Union de Producers de Mezcal Xochicalehualatl in Chilpancingo, found in the State of Guerrero, Mexico. The main objective of the design is to improve the process of "bruse," which is fundamental to mezcal production. The prototype consists of a feeding hopper, an axle with bars that eases the introduction of the pines into the shredding mechanism, and a discharge chute that allows the pieces to be deposited into fermentation tanks. The movement transmission is achieved through a flexible system of pulleys and belts, composed of three sets of pulleys, with a productivity of 2.1 tons per hour. This setup allows the pineapples to be processed without the need for prior cutting, reducing working time by 60%. The presented design meets the stipulated work requirements and humanizes the work of the operators.

Keywords: Efficiency, mescal, bruse, productivity, equipment.

Introducción

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de comprender los obstáculos que enfrentan tanto los productores como las fábricas artesanales. Esto no solo impacta su viabilidad económica, sino que también afecta la preservación de una tradición cultural y la sostenibilidad del cultivo de maguey.

A través de un análisis exhaustivo, esta investigación busca contribuir al desarrollo de políticas y estrategias que puedan ayudar a fortalecer esta industria, promoviendo prácticas sostenibles y mejorando la calidad de vida de los productores. La introducción de tecnologías como el prototipo de máquina desmenuzadora del maguey cocido, humaniza la labor de triturado, reduce los accidentes, aumenta calidad en los procesos, y reduce el tiempo.

El estado de Guerrero, México es el segundo mayor productor de mezcal artesanal en México, con una producción anual aproximada de 1.5 a 1.7 millones de litros, basada principalmente en el agave Cupreata y desarrollada por más de 450 fábricas artesanales distribuidas en diversas regiones del estado.

El estado de Guerrero produce anualmente entre 1.5 y 1.7 millones de litros de mezcal artesanal, generando ingresos por cerca de 180 millones de pesos. Esta producción posiciona a Guerrero como el segundo productor nacional después de Oaxaca, que aporta cerca del 65% de la producción total de mezcal en México. El mezcal guerrerense es reconocido por su gran calidad y sabor característico, principalmente por el uso del agave Cupreata, endémico de la cuenca del Balsas. La elaboración del mezcal se da en más de 80 localidades ubicadas en 18 municipios, principalmente en las regiones Centro, Costa Grande, Tierra Caliente, Norte y Montaña. Se estima que hay alrededor de 775 productores de maguey y 450 productores de mezcal, operando cerca de 450 fábricas artesanales Cárdenas, 2023°. Sin embargo, solo cerca de 100 de estas fábricas cuentan con certificación, lo que plantea interrogantes sobre la calidad del producto y la competitividad dentro del mercado.

El proceso tradicional de producción es un arte heredado de generación en generación. La cocción del agave se realiza en hornos cónicos subterráneos, la fermentación se lleva a cabo en tinas mayormente de madera y la destilación en alambiques de cobre. La producción está sincronizada con el calendario agrícola local: inicia en febrero tras la cosecha del maíz y concluye en junio, antes del siguiente ciclo agrícola, contribuyendo también a la economía rural en periodos de escasez de empleo.

La producción de mezcal en el estado de Guerrero se ha venido realizando de manera

tradicional por lo que los volúmenes de producción son menores, a pesar de esto, los productores han logrado colocar el producto en el mercado nacional e inclusive internacional aumentando de esta forma la demanda del producto, por esta razón se requiere mecanizar algunos procesos, con el propósito de aumentar la eficiencia y obtener con mayor rapidez el producto que ofrecen. El mezcal en Guerrero no solo tiene valor económico sino también un profundo arraigo cultural e histórico. La producción se mantiene en gran parte familiar y artesanal, reflejando tradiciones indígenas y campesinas. Sin embargo, enfrenta retos como la falta de apoyo gubernamental suficiente, poca organización empresarial, la escasez de plantaciones comerciales de maguey, y amenazas ambientales por la sobre explotación y la variabilidad climática.

El estado promueve la ruta del mezcal, especialmente en la región Centro alrededor de Chilpancingo, para impulsar el turismo gastronómico y cultural, donde visitantes pueden conocer la producción, degustar diversas variedades y acercarse a las tradiciones locales. En resumen, la producción de mezcal en Guerrero es una actividad artesanal de gran tradición y relevancia económica, con un importante impacto social en las comunidades rurales y un creciente reconocimiento internacional, aunque con desafíos que requieren atención para su desarrollo sostenible y competitivo.

La cosecha se realiza mediante el corte de las pencas y raíces para dejar la “piña” o corazón del agave, que es la materia prima principal para la producción del mezcal. Los procesos que intervienen en la elaboración del mezcal en la fábrica o destiladora son la cocción de las piñas, seccionado y martajado, fermentación, destilación y mezclado.

El presente proyecto tiene como finalidad estudiar una alternativa de solución a un problema que se presenta en el proceso de martajado el cual implica la extracción de los jugos de las piñas cocidas de agave para pasar a la fermentación. El martajado es una etapa crucial en la producción de mezcal, que se realiza después de la cocción de las piñas del agave. Este proceso es fundamental para extraer el jugo que se utiliza para la fermentación. El martajado no solo es vital para la extracción del jugo, sino que también influye en el sabor y la calidad del mezcal final. La técnica utilizada y la calidad del jugo extraído son determinantes para la fermentación y, por ende para el perfil del mezcal (Cervantes Luna et al., 2022). En particular en el estado de Guerrero, el magueyero es recolector, cultivador, transportista, fabriquero (productor de mezcal) y comerciante.

El martajado de las piñas es un proceso, que por lo general se realiza de forma manual, generando en los trabajadores: exceso de fatiga, problemas de salud, por la posición de trabajo, riesgos, todo lo cual incide negativamente en la productividad. Por tal motivo, el

objetivo principal de la presente investigación fue, el diseño de un prototipo de máquina desmenuzadora de piñas cocidas de maguey papalote (*Agave cupreata* Trel. & Berger).

Métodología

La investigación se clasifica, según los datos recolectados, como una investigación y desarrollo experimental. De acuerdo con la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2015), la investigación y desarrollo experimental comprende trabajos creativos realizados de manera sistemática con el propósito de incrementar el conocimiento y utilizarlo para desarrollar nuevas aplicaciones o mejorar procesos existentes. En este sentido, la investigación con desarrollo permite articular la dimensión teórica con la práctica, favoreciendo la innovación y la transferencia de conocimiento hacia los productores de pequeñas comunidades rurales durante la etapa de desmenuzamiento de las piñas cocidas, un proceso que se realiza de manera manual.

El primer paso del diseño consistió en recopilar información sobre las máquinas disponibles para martajar la materia prima destinada a la extracción del jugo de las piñas. La investigación reveló que la mayoría de estas máquinas oscilan entre los 50,000 y 80,000 pesos (50,000.80,000 MXN), lo que las hace incosteable para los pequeños agricultores, y están diseñadas para grandes producciones, mientras que otras son muy simples, basadas en equipos para moler forrajes, lo que resulta en una baja eficiencia para martajar las piñas. Además, en algunos casos, estas máquinas pueden ser inseguras para el usuario.

El crecimiento del agave está relacionado con la acumulación de carbohidratos y azúcares. En promedio, a los 10 años, el agave alcanza su madurez y está listo para ser cosechado. Esta actividad implica quitar las pencas de la planta y cortar el tallo desde la raíz usando una tarecua o coa afilada, como se muestra en la Figura 1. Así se obtiene la piña, que luego pasa al proceso de cocción.

Las piñas cocidas se airean durante uno o dos días y, posteriormente, se seccionan para iniciar el proceso de "martajado", que consiste en la extracción del jugo del agave. Antes de comenzar esta extracción, los productores seccionan manualmente las piñas, reduciéndolas a trozos de tamaño variable que se puedan sostener en la palma de la mano.

Utilizando el software Autodesk, Inc. (2007). *AutoCAD 2008* [Software]. Autodesk, se llevó a cabo el modelado en 3D del prototipo de la máquina. Se analizaron y determinaron los principales parámetros para el diseño del prototipo de máquina, contemplando la selección de los materiales que se utilizarán para su fabricación. Además, se elaboraron los

dibujos correspondientes a los elementos diseñados, especificando las tolerancias y acabados superficiales requeridos. También se estableció el flujo de trabajo (ver Figura 3) a considerar en el diseño, detallando las variables de entrada y salida, así como sus características (Tabla 1).

Al evaluar las máquinas existentes, se tuvieron en cuenta su principio de funcionamiento, así como sus ventajas y desventajas. Asimismo, se consideró la decisión del cliente con relación a aspectos como la funcionalidad, los tiempos de mantenimiento y reparación, la facilidad de traslado entre diferentes áreas de trabajo, seguridad, costos, y se propuso el modelo del prototipo máquina (ver Figura 4).

Figura 1. Labrado de la planta de agave.



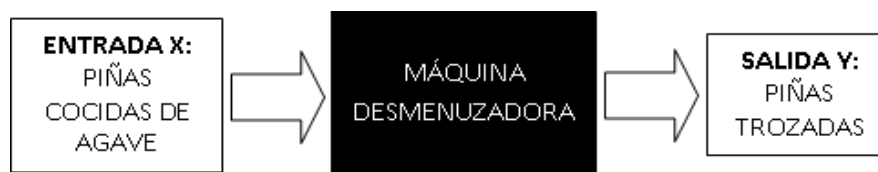
Fuente: elaboración propia

Figura 2. Martajado de las piñas sobre la canoa.



Fuente: elaboración propia

Figura 3. Flujo tecnológico.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Características de las variables.

| Característica | Variable de entrada (X) | Variable de salida (Y) |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| Peso | 35 – 45 Kilogramos | Variable |
| Forma | Media esfera | Indefinida |
| Dimensiones | D = 60cm. h = 30 cm | 2 – 8 cm |
| Cuantificación | 300 cabezas/horneada | ≥ 1 ton/hora |

Fuente: elaboración propia

Las partes del modelo de la máquina (figura 4) consta de la estructura o chasis 1. Las piñas cocidas, se vierten en la tolva 2, pasando hasta el órgano desmenuzador 3, que rota a una frecuencia de rotación impulsada por el mecanismo de transmisión polea-correa 4, una vez que se ha encendido el motor 5. Las piñas ya trituradas desprenden un porcentaje elevado de jugo, y son vertidas al canal de descarga 6.

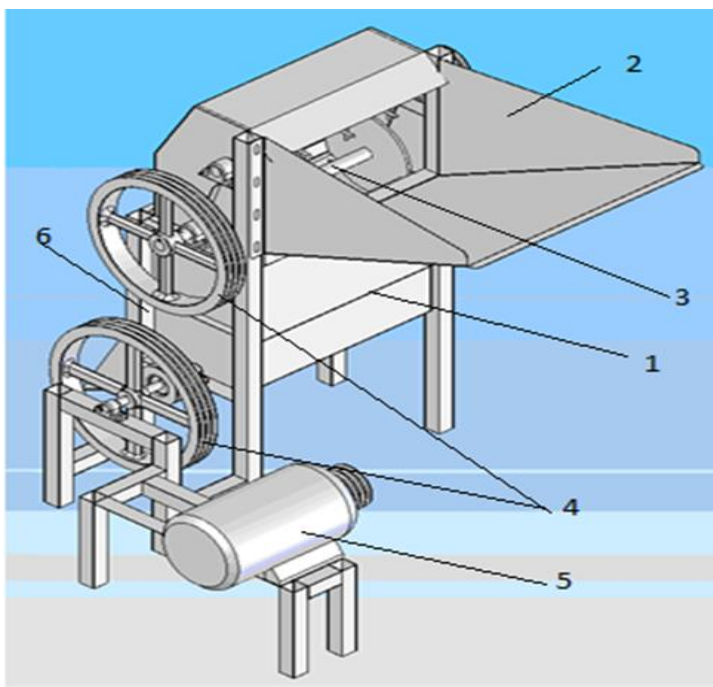


Figura 4. Modelo de la máquina.

- 1-estructura
- 2- tolva de alimentación
- 3-órgano desmenuzador
- 4-transmisión
- 5-motor
- 6- canal de descarga.

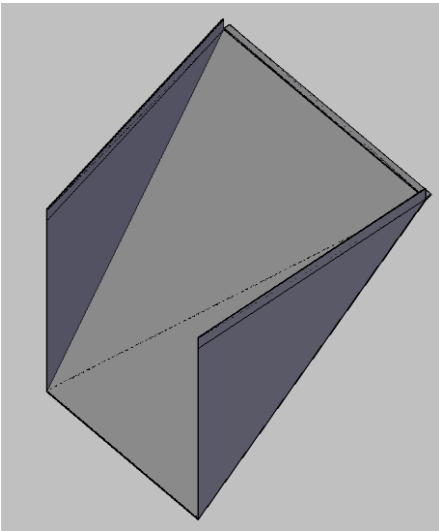
Fuente: elaboración propia.

Función de los elementos y órganos de trabajo.

Tolva de alimentación.

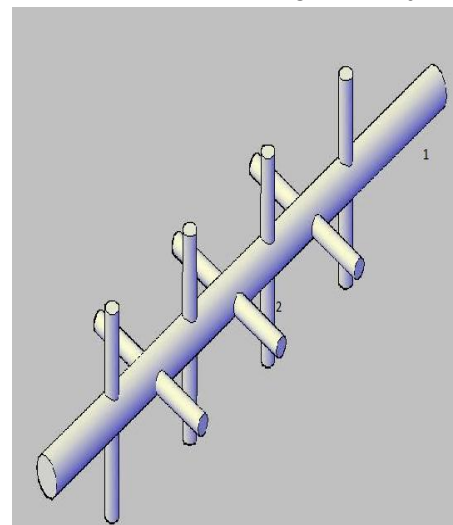
Sobre la tolva de alimentación (figura 5), se depositan las piñas de agave previamente cocidas para posteriormente ser procesadas por el órgano desmenuzador. El requerimiento mínimo que se establece es que la tolva tenga la capacidad de recibir piñas completas o fraccionadas. El flujo de entrada de las piñas se regula a través de los vástagos 1, soldados al eje 2, (figura 6).

Figura 5. Tolva de alimentación.



Fuente: elaboración propia

Figura 6. Eje.

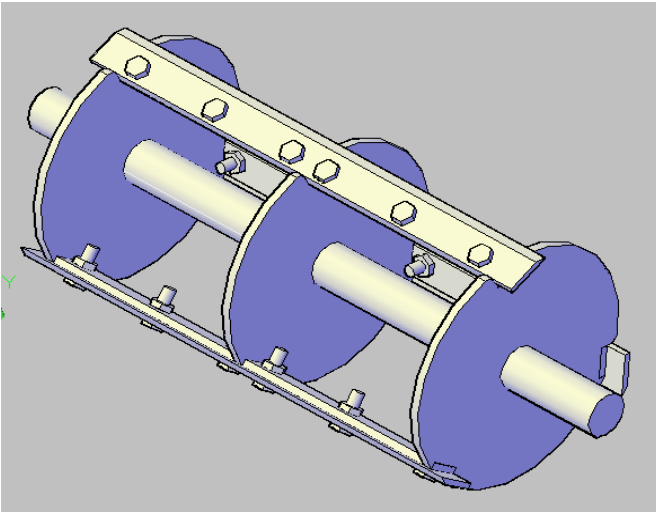


Fuente: elaboración propia

Órgano desmenuzador o de picado.

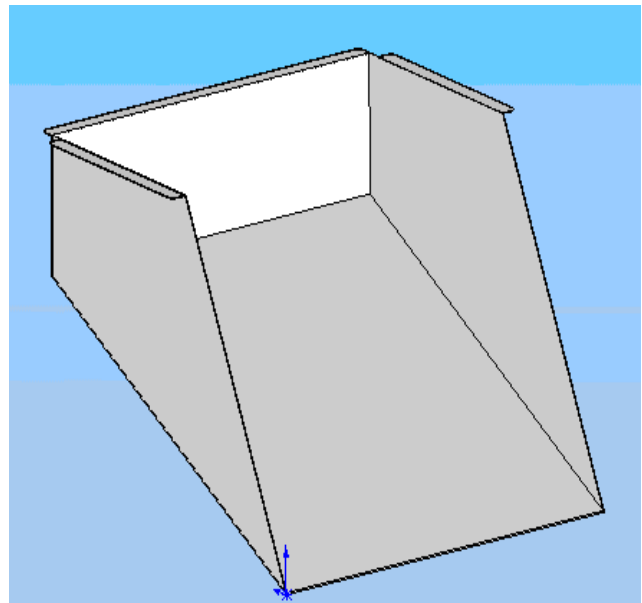
El órgano desmenuzador (figura 7), consta de un tambor de cuchillas que realiza el troceado de las piñas precocidas, una vez que se activa el motor, y la transmisión, descargándola al canal de salida (figura 8).

Figura 7. Órgano desmenuzador.



Fuente: elaboración propia

Figura 8. Canal de descarga.



Fuente: elaboración propia

Una vez establecido las principales partes del modelo, se analiza, calcula y diseña los diferentes elementos mecánicos, considerando la geometría de las piñas, y los requerimientos a cumplir en el diseño (tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de diseño.

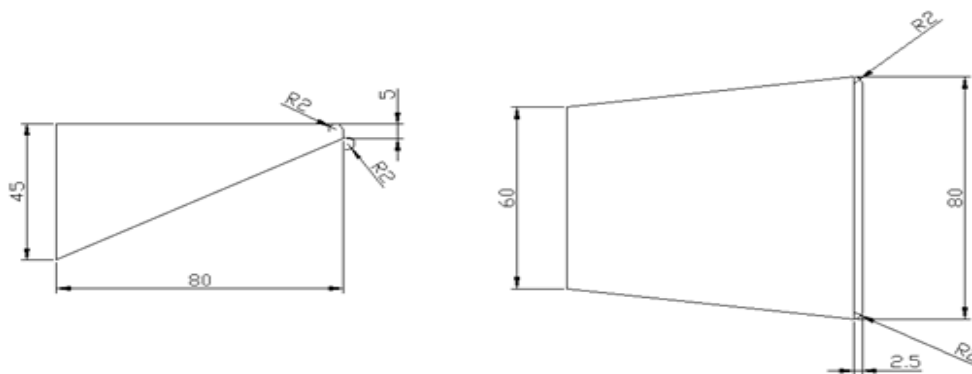
| Características del agave | Magnitud |
|---|---------------------------|
| Altura de la piña | 44 cm |
| Diámetro de la piña | 60 cm |
| Masa de la piña | 35 kg |
| Coefficiente de fricción (valor supuesto) | 0.987 |
| Densidad aparente [1] | 1056.03 kg/m ³ |
| Resistencia al corte [1], [E] | 12102 N*m/m ² |
| Requerimientos | Magnitud |
| Cantidad de material a procesar | 300 piñas (10.5 ton) |
| Tiempo para procesar | 5 horas |
| Productividad | 2.1 ton/h |

Fuente: elaboración propia.

Para satisfacer el requerimiento del material a procesar, igual a 10.5 ton/h, el volumen de la tolva tiene que ser mayor o igual que el volumen de llenado. El volumen de la tolva de alimentación depende de la masa m_a y la densidad de las piñas ρ_a . El volumen de la tolva se determina mediante la ecuación 1. El volumen para procesar en una hora de trabajo es igual a 1.9886 m^3 , De este resultado se infiere que, para lograr ese volumen, se requiere llenar la tolva 20 veces cada 3 minutos, y tener la geometría (figura 9).

$$V_a = m_a / \rho_a = \frac{2100 \text{ kg/h}}{1056 \text{ kg/m}^3} = 1.9886 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (1)$$

Figura 9. Geometría de la tolva (vista lateral y vista superior de izquierda a derecha).

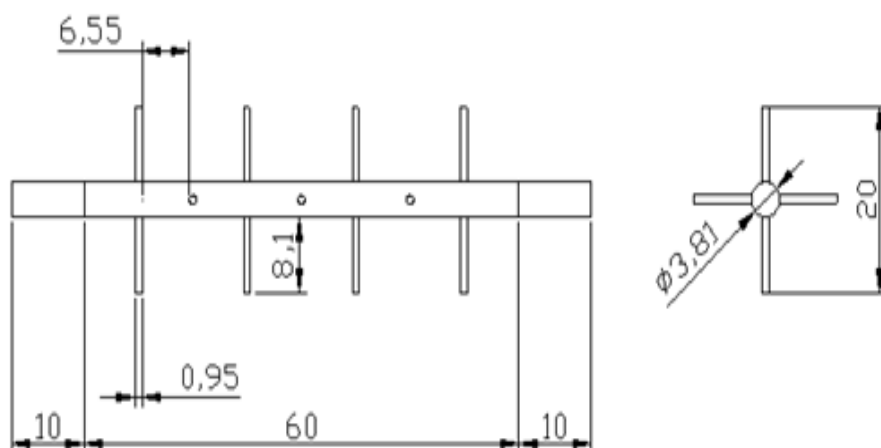


Fuente: elaboración propia.

Diseño del eje con barras

De igual manera para el acomodo de las piñas en el órgano desmenuzador, la longitud máxima del eje es de 80 cm, y longitud de los vástagos igual a 8.1 cm espaciados entre sí a 6.55 cm (figura 10).

Figura 10. Dimensiones que tendrá el eje con barras.



Fuente: elaboración propia.

El diámetro de la sección transversal del eje (figura 10), se determina a través del criterio de Von Mises (Moreno, 2020), mediante la ecuación 2. Para ello, se determinan las fuerzas reactivas del elemento mecánico, para la condición de equilibrio estático (Alemán, 2024). Con la magnitud de estas y aplicando el método de las secciones se calcula por el método de las secciones las fuerzas cortantes y momentos flectores (Domínguez, 2023).

El análisis se realiza para los planos XY y XZ, (Childs & Masen, 2024). El diagrama de las fuerzas cortantes y momentos flectores para el plano XY con una magnitud máxima de momento flector es igual a 69.328 Nm, y se muestra en la figura 11. Para el plano XZ (figura 12), con momento flector máximo igual a 23.475 N. m.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 f_s \sqrt{M_f R^2 + T^2}}{\pi \sigma_y}} \quad (2)$$

Donde:

d : diámetro de la sección transversal; m

f_s : coeficiente de servicio; $f_s = 1.5$

M_{fR} : momento flector resultante, y se determina mediante la ecuación 3.

T : momento torsor; N.m, y se calcula según la ecuación 4.

σ_y : esfuerzo de fluencia, comúnmente denominado de cedencia; σ_y : 207 MPa. (Domínguez E, Francisco J., 2023).

$$M_{fR} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2} \quad (3)$$

donde:

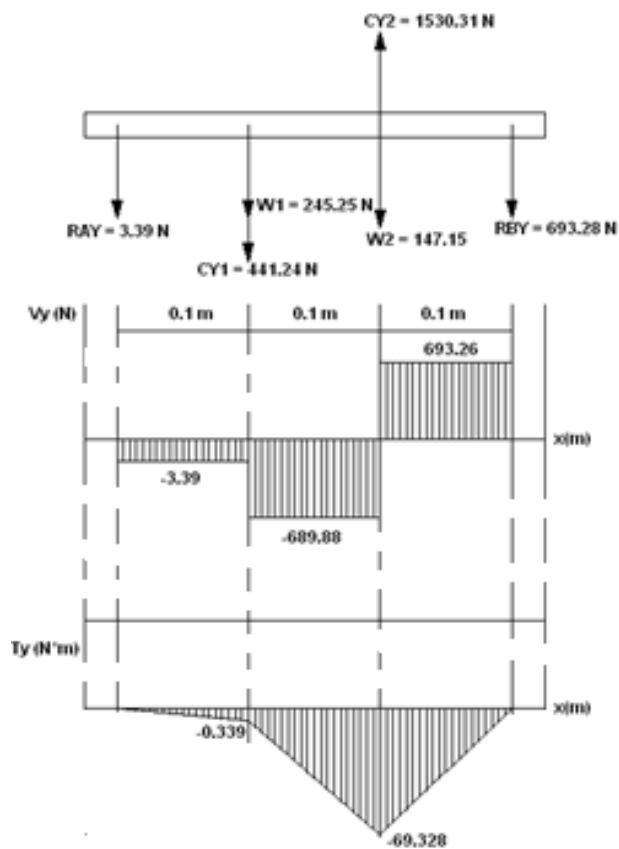
M_{xz} : Momento flector respecto al plano xy; $M_{xy} = 69.328$ N.m

M_{xy} : Momento flector respecto al plano xz; $M_{xz} = 23.475$ N.m

Sustituyendo en la ecuación 3, se obtiene el momento flector resultante igual a:

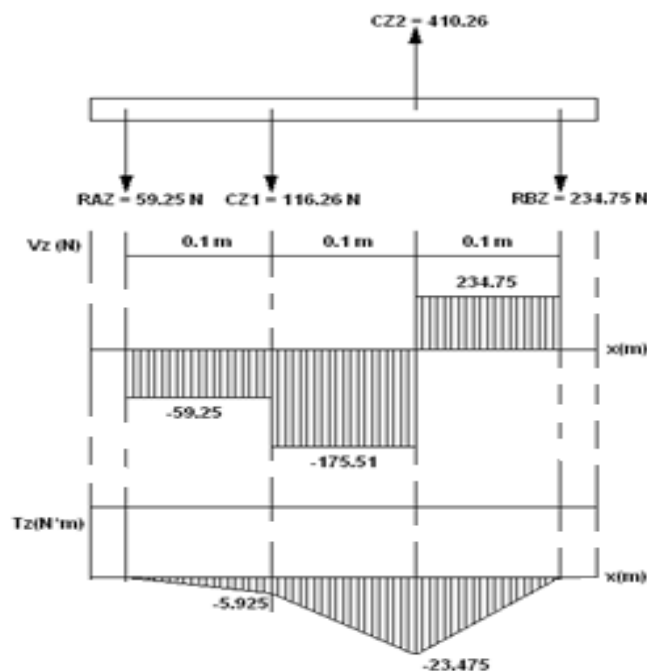
$$M_{fR} = \sqrt{69.328^2 + 23.475^2} \rightarrow M_{fR} = 73.11 \text{ N.m}$$

Figura 11. Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano XZ.



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Diagramas de fuerza y momento flector en el plano XZ.



Fuente: elaboración propia.

Momento torsor.

El momento torsor se determina según la ecuación 4 (Aleján, 2024), y depende de la potencia, y la frecuencia de rotación. Para ello se considera las especificaciones técnicas, que aparecen en el catálogo D.81 2008 de la empresa SIEMENS © Siemens 2025; un motor de cuatro polos con 1800 rpm, misma que se deben reducir a través de la transmisión polea-bandas a 450 rpm, según los requerimientos iniciales. La frecuencia de rotación será de 450 rpm.

$$T = P/\omega \quad (4)$$

Donde:

P: potencia; $P = 8\,143.04\text{ W}$

ω : velocidad angular, igual a: $\omega = \frac{2\pi n}{60} = 47.124\text{ rad/s}$

Sustituyendo en la ecuación 4, se obtiene un momento torsor igual a 172.8 Nm. Una vez conocida las magnitudes del momento flector resultante y el momento torsor, se sustituye en la ecuación 3, y se obtiene el diámetro del eje igual a: 0.024 m.

Transmisión

Para una potencia de diseño de 10.92 hp, y la frecuencia de rotación igual a 450 rpm, se elige una banda “V”, (Moreno, 2020). El diámetro de la polea de transmisión de acuerdo con las restricciones iniciales es igual a 12.7 cm.

Longitud de paso de la banda

La longitud de paso de la banda se determina mediante la ecuación 5 (Moreno, 2020; Domínguez, 2023). Para ello se tiene en cuenta los datos arrojados por Flores (2011), tales como: L: distancia entre ejes igual a 23.62 cm, D: diámetro de la polea motriz igual a 20 cm, y de la conducida d igual a 5 cm. El número de bandas son tres (Flores, 2011).

$$L_p = 2C + 1.57(D + d) + \left(\frac{(D-d)^2}{4C} \right) = 2.43 \text{ m} \quad (5)$$

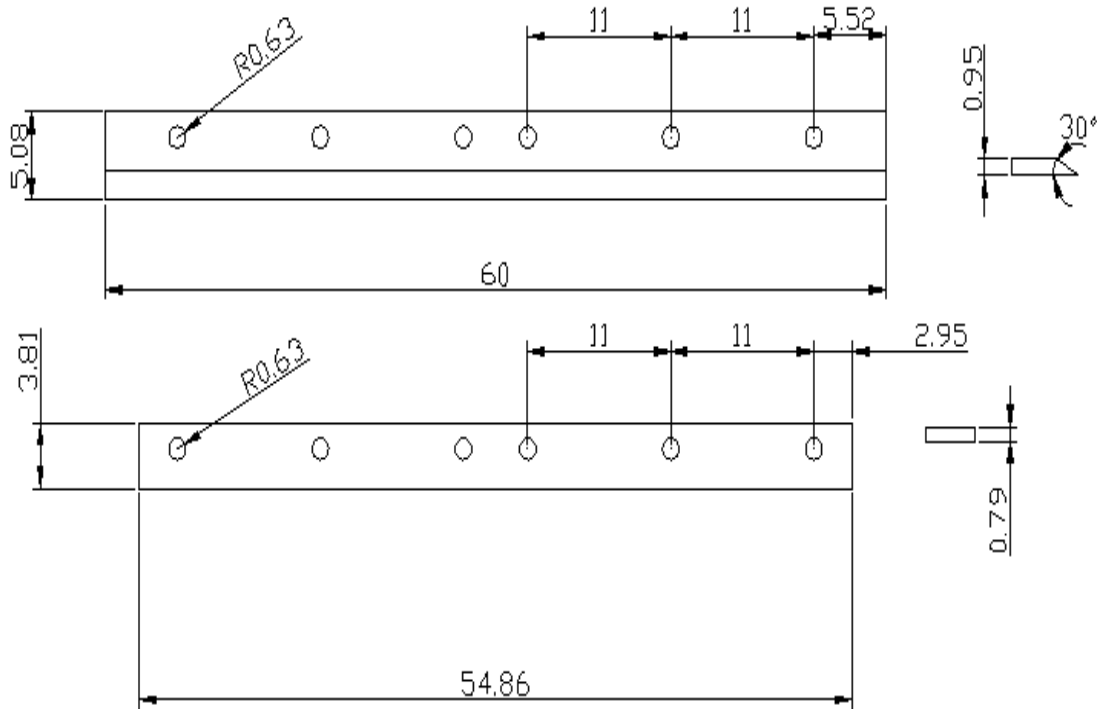
Órgano desmenuzador

Para desmenuzar las piñas de agave, se selecciona el conjunto de cuchillas, de espesor 5/16'', y ángulo de filo igual a 30° (Flores M.X., 2011), las que se sueldan a la placa de 1/4'' (figura 13).

Las cuchillas y porta cuchillas se ensamblan sobre tres discos de acero 3/8'', los cuales están configurados para montar la porta cuchilla con soldadura y a su vez sujetar la cuchilla con tornillos de alto grado de 1/2'' con cabeza y tuerca hexagonal de 7/8'' (figura 14). Las cuchillas tienen una longitud de 60 cm, coincidiendo con el diámetro de las piñas de agave. La geometría de las cuchillas se muestra en la figura 15.

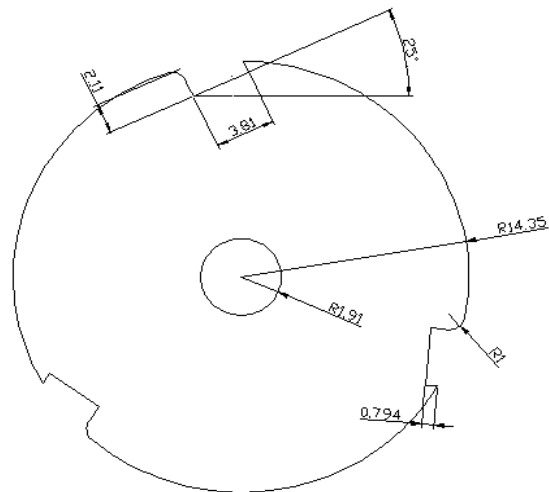
Los discos de soporte se ensamblan sobre el eje de 1 1/2'' de diámetro separados cada uno a 26 cm, además el conjunto estará compuesto por tres cuchillas desfasadas 120° con respecto a la circunferencia y estarán fijados sobre seis lugares para finalmente lograr el ensamble de los elementos que conforman el órgano desmenuzador (figura 16).

Figura 13. Dimensiones de la placa para ensamble porta cuchilla-cuchilla.



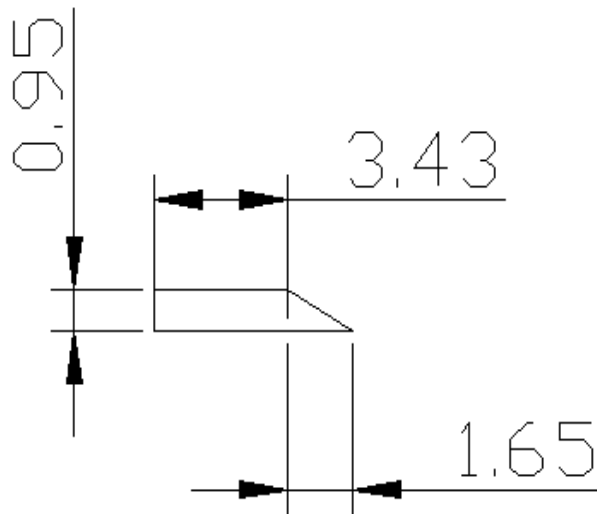
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Dimensiones y detalles del disco de soporte.



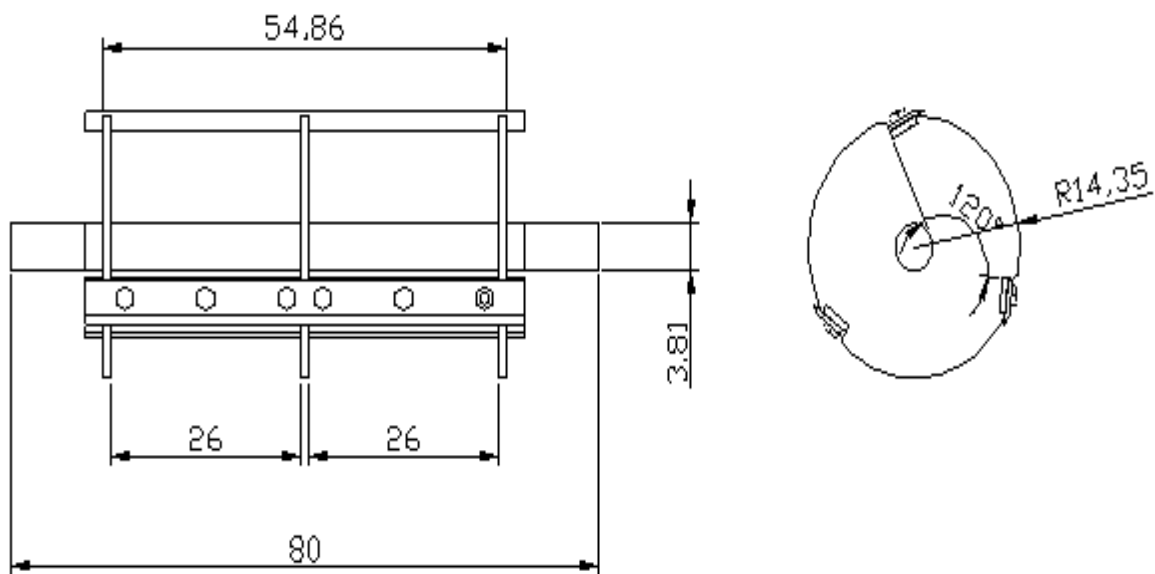
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Geometría de las cuchillas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Unión de los elementos que conforman el órgano desmenuzador.



Fuente: elaboración propia

Selección de rodamientos.

Los rodamientos se seleccionan siguiendo la metodología establecida por Moreno (2020), y las especificaciones de trabajo la máquina (ver Tabla 3), y las magnitudes de las fuerzas radiales y axiales obtenida para la determinación de los momentos flectores (Flores, 2011).

Tabla 3. Duración recomendada para rodamientos.

| Aplicación | Duración de diseño L ₁₀ , h |
|--|--|
| Electrodomésticos | 1000 – 2000 |
| Motores de aviación | 1000 – 4000 |
| Automotores | 1500 – 5000 |
| Equipo agrícola | 3000 – 6000 |
| Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos | 8000 – 15000 |
| Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales | 20000 – 30000 |
| Bombas y compresores | 40000 – 60000 |
| Equipo crítico en funcionamiento las 24 h | 100000 - 200000 |

Fuente: elaboración propia

Se elige un rodamiento de 25 mm de diámetro de agujero, con capacidad de carga dinámica de 22.9 kN y designación es 305 – 2Z (Catálogo general SKF), para un eje de 2.54 cm (1 pulg) de diámetro, velocidad de giro del eje es de 120 rpm y duración de 30000 h.

Diseño del canalón de descarga.

Para este elemento se establecen medidas similares a la tolva de alimentación, debido a que saldrá el mismo material que entra; por lo que se proponen las dimensiones (en mm) que se muestran en la figura 17.

Análisis de costos

Los costos (Flores, 2011), para la fabricación del prototipo de máquina, contempla: los materiales para la construcción, costos de mano de obra, consumo de energía, y uso de las instalaciones.

Los materiales de construcción empleados para el ensamble del prototipo de máquina tienen un costo de treinta y cuatro mil setecientos ocho pesos con setenta y dos centavos (34,708.72 MNX), y se muestran en la tabla 4.

Mano de obra requerida

El costo de mano de obra se calculó considerando a un ingeniero y un ayudante, con el compromiso de fecha de entrega de quince días posterior a la adquisición de todos los

materiales. Se estima un total de ocho mil setecientos cincuenta pesos (8,750.00 MNX).

Maquinado

El costo para el maquinado se estima sea de, cuatro mil quinientos pesos (4,500.00 MNX).

Consumo de energía eléctrica

El costo estimado de energía eléctrica por los quince días de trabajo es igual a mil cincuenta pesos (1050.00 MNX).

El costo total de fabricación de la máquina es igual a cuarenta y nueve mil ocho pesos (49,008.72 MNX).

Tabla 4. Materiales de construcción.

| Nombre | Precio Unitario; (MNX) | Cantidad | Costo; MNX |
|---|---------------------------|---------------------|---------------|
| Lámina de acero inoxidable austenítico 304 calibre 16. | 3317.6/hoja | 4.75 m ² | 4240.61 |
| Barra de acero inoxidable T – 304 1 pulg. | 1714.30/3m | 0.35 m | 200.00 |
| Barra de acero inoxidable T – 304 1.5 pulg. | 2900.00/3m | 1.70 m | 1643.33 |
| Barra de acero inoxidable T – 304 3/8 pulg. | 306.24/6m | 1.14 m | 58.20 |
| Solera de acero inoxidable 2 pulg , ¼ pulg espesor. | 678.60/ 6m | 1.80 m | 203.60 |
| Solera de acero inoxidable 1.5 pulg, 5/16 pulg espesor. | 502.28/6m | 1.65 m | 138.13 |
| Placa de acero inoxidable 3/8 de espesor. | 20001.88/placa | 0.27 m ² | 1453.26 |
| Ángulo de acero inoxidable 2 x 2 pulg. | 1249.32/6m | 4.02 m | 837.04 |
| PTR de acero inoxidable 2 x 2 pulg., lámina calibre 14. | 1620.52/6m | 7.46 m | 2014.84 |
| Chumaceras de piso 1.5 pulg. SY1.1/2TM | 200.00/pza | 4 piezas | 800.00 |
| Chumaceras de piso 1 pulg. SY1TM | 150.00/pza | 2 piezas | 300.00 |
| Bandas trapeciales B – 96 | 117.05/pza | 3 piezas | 351.15 |
| Bandas trapeciales B – 80. | 97.20/pza | 3 piezas | 291.60 |
| Bandas trapeciales B – 38. | 53.35/pza | 3 piezas | 160.05 |
| Polea de 20 pulg. de diámetro de paso. | 1895.50/pza | 1 unidad | 1895.50 |
| Polea de 18.40 pulg. de diámetro de paso. | 1437.41/pza | 1 unidad | 1437.41 |
| Polea de 5 pulg. de diámetro de paso. | 408.50/pza | 4 unidades | 1634.00 |
| Motor eléctrico SIEMENS 7.5 kW | 15000.00/unidad | 1 unidad | 15000.00 |
| Electrodo para soldar P308 | 800.00/caja | 1 unidad | 800.00 |
| Tornillos de acero inoxidable | 25.00/unidad | 50 piezas | 1250.00 |
| | | Costo total | 34,708.72 |

Fuente: elaboración propia.

Discusiones

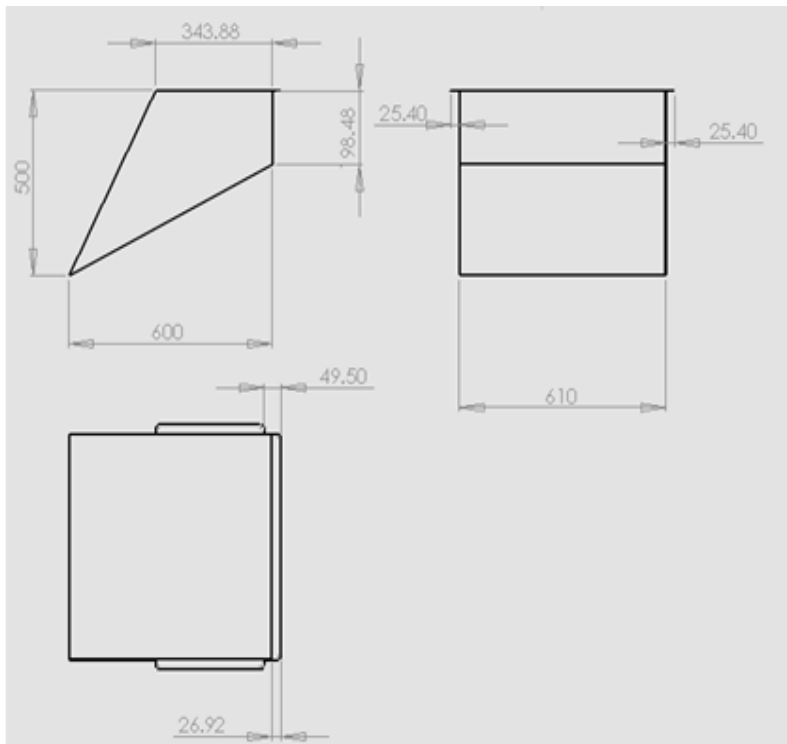
El principal resultado de la investigación es el diseño del prototipo de máquina desmenuzadora de piñas cocidas para la extracción del jugo del maguey (ver Figura 18), y consta de la estructura o chasis 1. Las piñas cocidas, se vierten en la tolva 2, pasando hasta el órgano desmenuzador 3, que rota a una frecuencia de rotación impulsada por el mecanismo de transmisión polea-correa 4, una vez que se ha encendido el motor 5. Las piñas ya trituradas desprenden un porcentaje elevado de jugo, y son vertidas al canal de descarga 6.

Los materiales de construcción son de hacer inoxidable, grado alimenticio para evitar la corrosión, los proveedores son nacionales.

Los elementos de conexión para el ensamble de la máquina están compuestos por chumaceras, rodamientos y componentes de sujeción (tornillería).

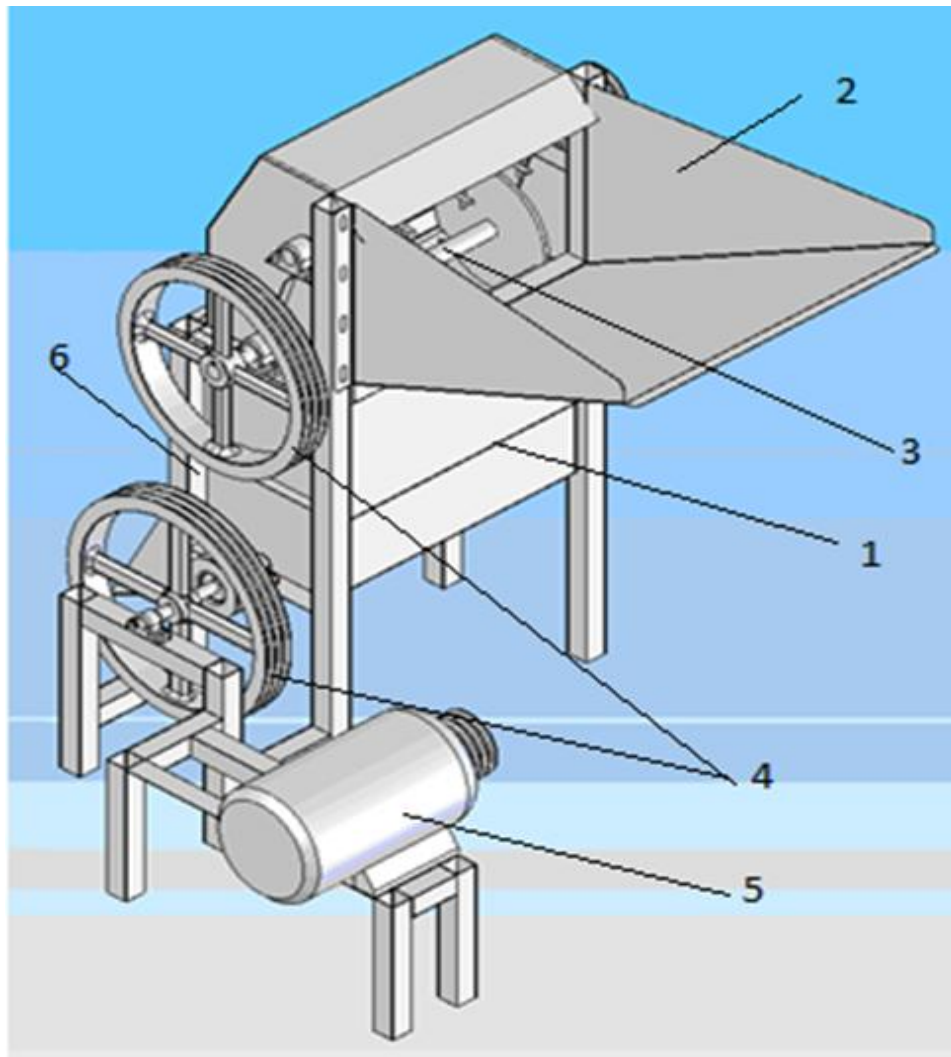
El funcionamiento de la máquina se logra por la transmisión polea y correa, impulsadas por un motor de 10.92 hp, que gira a una frecuencia de rotación igual a 450 rpm.

Figura 17. Geometría del canalón de descarga.



Fuente: elaboración propia

Figura 18. Modelo de la máquina
(1-estructura, 2- tolva de alimentación, 3-órgano desmenzador,
4-transmisión, 5-motor, 6- canal de descarga).



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

El diseño presentado, cumple con los requerimientos de trabajos planteados, y humaniza el trabajo de los operadores.

El prototipo de máquina será activado con un motor D.81 2008 de la empresa SIEMENS © Siemens 2025; de cuatro polos con 1800 rpm a una frecuencia de 60 Hz.

Las propiedades de resistencia al corte del agave verde, no varía de una variedad a otra, por lo que este equipo se puede utilizar para cualquier variedad de agave.

Las partes principales de la máquina consta del chasis, tolva de alimentación, órgano desmenuzador, fuente motriz, mecanismo de transmisión del movimiento, y canal de descarga.

La máquina estará construida por sistemas sencillos, de fácil mantenimiento, y reparación. Su costo de fabricación es de aproximadamente cuarenta y nueve mil nueve pesos.

Recomendaciones

Dado las variedades de maguey destinados a la producción de mezcal, y sus propiedades físico -mecánicas, se debe considerar la estandarización de las cuchillas, capacidad del órgano desmenuzador, cambio en la relación de transmisión para garantizar el corte en dependencia de la dureza del maguey.

Referencias

- Alemán, T. W. (2024). *Resistencia de materiales*. Alfaomega, Marcombo.
- Autodesk, Inc. (2007). *AutoCAD 2008* [Software]. Autodesk.
<https://www.manuales.mx/autodesk/autocad-2008/manual>
- Cervantes-Luna, J. O., Hernández-Ortiz, J., Valdivia-Alcalá, R., Melo-Guerrero, E., Sandoval-Romero, F., & González-Juárez, A. (2022). Análisis de la cadena de valor del mezcal en San Felipe, Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(3), 497–509. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2873>
- Childs, P., & Masen, M. (2024). *Mechanical design engineering handbook* (3.^a ed.). Elsevier.
- Domínguez, F. J. (2023). *Elementos de máquinas* (2^a ed.). Alfaomega, Marcombo.
- Flores, X (2011). *Diseño de una máquina desmenuzadora de piñas cocidas de Maguey Papalote (Agave cupreata Trel & Berguer)* [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://chapingo.koha.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=101492>. <http://10.13.5.2/tesis/113152.pdf>
- Moreno, E. (2020). *Diseño avanzado en ingeniería: una aproximación sistémica a la innovación sostenible* (1^a ed.). Dextra Editorial.
- Siemens AG. (2025). *IEC motors product catalog* (Versión 5.23.0). Siemens Industry Mall.
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:8ca146be-c299-4404-9f67-9155e48479e0/simotics-20200811.pdf>