



Diseño y simulación de un prototipo de máquina peladora de chontaduro para cooperativa Asochon de Villa Garzón

Omar Andrés Arévalo Rojas

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2021

Diseño y simulación de un prototipo de máquina peladora de chontaduro para cooperativa Asochon de Villa Garzón

Omar Andrés Arévalo Rojas

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ph. D, Ingeniero *Karel Joel Arencibia Avila*

Línea de Investigación:

Diseño Mecánico de Elementos de máquinas.

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2021

(Dedicatoria o lema)

A Dios por darme perseverancia y sabiduría para lograr esta meta tan importante en mi formación profesional.

A mis padres, por el apoyo incondicional que me brindaron durante todo este proceso universitario, por ser quienes están ahí para darme ánimos de lograr cada una de mis metas.

Agradecimientos

El autor agradece a:

A mi asesor el ingeniero. Karel Joel Arencibia Avila, por sus aportes y acompañamiento en el proceso metodológico y de desarrollo temático del proyecto.

A la Universidad Antonio Nariño de Neiva, programa de Ingeniería Mecánica, por el saber ofrecido y por entregarnos sus capacidades de infraestructura, conocimiento y disposición de otros recursos para garantizar nuestra formación.

Resumen

Actualmente el chontaduro es pelado de forma manual, lo cual implica bajas producciones de materia prima para la fabricación de subproductos, con tasas de 237,6 kg/día, que corresponden al 20% de cumplimiento del plan de producción, el cual es de 1200 kg/día; por lo tanto, para incrementar la producción este proyecto de investigación se propone, diseñar y simular un prototipo de máquina peladora de chontaduro para la cooperativa ASOCHON de Villa Garzón. La propuesta permite, aumentar notablemente, la fabricación de subproductos como: conservas, yogurt, harinas, tortas, pan, yogurt, empacado al vacío entre otras; mitigar los riesgos derivados del proceso manual, y la optimización del recurso humano para asignarlos a otras tareas de control y soporte.

La metodología empleada para su desarrollo comprende 4 fases que inician con la conceptualización, el diseño, cálculos y simulación del tambor de abrasión y chasis mediante método Von Mises; como resultado de su aplicación se obtiene una máquina peladora de chontaduro compuesta por un tambor cilíndrico con una lámina abrasiva con una capacidad de procesar 30 Kg en 15 minutos, que significa como promedio 960 Kg/día, que equivale a un incremento de 75% comparado con el método manual.

Se concluye que el diseño es confiable y satisfactorio, ya que al aplicar el método de Von Mises sobre condiciones de carga máxima, no se presentan deformaciones, lo cual permite desempeñar su trabajo de manera adecuada, siempre y cuando se cumplan con las normas de uso y mantenimiento.

Palabras clave: Chontaduro, pelado, fuerza cortante, abrasión

Abstract

Currently the chontaduro is peeled manually, which implies low productions of raw material for the manufacture of by-products, with rates of 237.6 kg/day, which correspond to 20% compliance with the production plan, which is 1200 kg/day; therefore, to increase production, this research project proposes to design and simulate a prototype of a chontaduro peeling machine for the ASOCHON cooperative of Villa Garzón. The proposal allows a significant increase in the production of by-products such as: preserves, yogurt, flour, cakes, bread, yogurt, vacuum-packed, among others; mitigate the risks derived from the manual process, and the optimization of human resources to assign them to other control and support tasks.

The methodology used for its development comprises 4 phases that start with the conceptualization, design, calculations and simulation of the abrasion drum and chassis by means of the Von Mises method; as a result of its application, a chontaduro peeling machine is obtained, composed of a cylindrical drum with an abrasive sheet with a capacity to process 30 Kg in 15 minutes, which means an average of 960 Kg/day, equivalent to an increase of 75% compared to the manual method.

It is concluded that the design is reliable and satisfactory, since when applying the Von Mises method under maximum load conditions, there are no deformations, which allows it to perform its work adequately, as long as the rules of use and maintenance are complied with.

Keywords: Chontaduro, peeling, shearing force, abrasion

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XV
Introducción	1
Capítulo 1: Marco referencial	5
1.1 Estado del arte	5
1.2. Marco conceptual	9
1.2.1 Características del chontaduro	9
1.2.2 Proceso de producción de materia prima para subproductos	10
1.2.3 Métodos de pelado	11
1.2.4 Componentes estándar de una máquina peladora	12
1.2.5 Simulación y Software	14
Capítulo 2: Conceptualización y Diseño	15
2.1. Identificación de características del chontaduro (peso, medidas)	15
2.2. Propiedades físicas y mecánicas del chontaduro	19
2.3. Caracterización de prototipos	20
2.4. Selección y Caracterización de prototipo	20
2.5. Criterios de diseño de los componentes de la máquina peladora de chontaduro	22
2.5.1. Motorreductor	22
2.5.2. Tambor de pelado	23
2.5.3. Rodamientos	23
2.5.4. Chasis	24
2.5.5. Tolva	24
Capítulo 3: Cálculo del prototipo seleccionado	27
3.1 Cálculo del eje	27
3.2. Cálculo de la Potencia de la Peladora	29
Capítulo 4: Simulación del prototipo, resultados y análisis	33
4.1 Simulación de tambor de pelado	33
4.1.1. Esfuerzo máximo tambor	33

4.1.2. Desplazamiento máximo tambor	34
4.1.3. Factor de seguridad del tambor	35
4.2 Simulación chasis	36
4.2.1. Esfuerzo máximo Chasis	37
4.2.2. Desplazamiento máximo	37
4.2.3. Factor de seguridad chasis	38
Conclusiones y recomendaciones	41
Conclusiones.....	41
Recomendaciones.....	42
Anexo.....	43
Bibliografía	65

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Prototipo de peladora corteza Caña	6
Figura 1-2: Prototipo peladora de frutas	6
Figura 1-3: Prototipo peladora de maní	7
Figura 1-4: Vista Isométrica frontal, peladora de coco	7
Figura 1-5: Prototipo peladora de papa	8
Figura 1-6: Componentes del chontaduro.....	10
Figura 1-7: Subproductos del chontaduro.....	11
Figura 1-8: Sistema Piñón-Cadena.....	12
Figura 1-9: Componentes de un motor eléctrico usado en máquinas peladoras.....	13
Figura 2-1: Método de levantamiento de información de características del chontaduro	15
Figura 2-2: Muestra física de chontaduro precocido	16
Figura 2-3: Gramera para medición variable Peso	16
Figura 2-4: Calibrador para medición geométrica	16
Figura 2-5: Validación pesos	17
Figura 2-6: Validación dimensiones.....	18
Figura 2-7: Caracterización física del Chontaduro	19
Figura 2-8: Prototipo de máquina peladora con tambor cilíndrico por abrasión.....	21
Figura 3-1: Diagrama de cuerpo libre eje.....	27
Figura 4-1: Análisis de esfuerzo máximo del tambor	34
Figura 4-2: Análisis de desplazamiento máximo del tambor	34
Figura 4-3: Análisis de factor de seguridad del tambor	35
Figura 4-4: Análisis esfuerzo máximo del chasis	37
Figura 4-5: Análisis desplazamiento máximo del chasis	38
Figura 4-6: Análisis de factor de seguridad del chasis	38

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Consolidación datos pesos (gr)	17
Tabla 2-2: Consolidación datos dimensiones (mm)	18
Tabla 2-3: Resistencia a la compresión de variedad roja y amarilla de chontaduro	19
Tabla 2-4: Características de Prototipos.....	20

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	πr^2
F	Fuerza	$N.m$	$M*a$
N	Normal	$N.m$	
RPM	Revoluciones por minuto	V/min	n/t
D	Diámetro	r	$2r$

Símbolos con letras griegas

Subíndice	Término
μ_r	coeficiente de pérdida de potencia del sinfín corona (0.65)
μ_c	coeficiente de pérdida de potencia de piñón y cadena
Me	Momento equivalente
P_c	Potencia corregida de cálculo
D_w	Diámetro primitivo

Subíndices

Subíndice	Término
fs	Factor de seguridad
σ	Esfuerzo del material
V_t	Velocidad tangencial
i	Relación de transmisión
E	Experimental

Superíndices

Superíndice	Término
--------------------	----------------

N	Exponente, potencia
m	Momento flector

Abreviaturas

Abreviatura	Término
--------------------	----------------

<i>kg</i>	Kilogramos
<i>g</i>	Fuerza de gravedad
<i>gr</i>	Gramos
<i>mm</i>	milímetros

Introducción

El siguiente proyecto de investigación refiere al tema de diseño y simulación de un prototipo de máquina peladora de chontaduro para cooperativa ASOCHON de Villa Garzón (Putumayo).

El chontaduro es una palma de trópico cálido- húmedo de América- latina; el chontaduro como fruto y el palmito como palma fresca son consumidos en las dietas diarias; a nivel de Colombia las regiones más productoras son el Valle del Cauca, Putumayo, Caquetá, región centro de Colombia y la Costa Atlántica; esta fruta cuenta con un alto nivel nutricional razones por los cuales ha venido ganando terreno no solo en su consumo como fruta directa, si no que ha mostrado una gran capacidad para la elaboración de productos que pueden ir desde la producción de harinas que a su vez se vuelven en materia prima para la elaboración de subproductos como galletas, yogurt, dulces, conservas, jugos, tortas entre otros (1).

La materia prima para la fabricación de subproductos del chontaduro es la pulpa, a lo cual primero se le realiza el proceso de cocción para su pelado y procesamiento; esta operación de pelado la realizan en la cooperativa ASOCHON, por métodos manuales los cuales emplean 11 trabajadores que mediante cuchillos pelan o retiran la cáscara del chontaduro para luego depositarlo en una tolva de acero inoxidable para su posterior descerezado y obtención de la harina del chontaduro.

La productividad promedio diaria o por tuno es de 237, 6 Kg, lo cual es baja partiendo de la gran cantidad de recurso humano dedicada a este proceso, lo que la convierte en una problemática que preocupa a la Asociación, ya que como se tiene definido en su plan estratégico se requiere por lo menos aumentar a 1200 kg de chontaduro pelado para poder incrementar la producción de subproductos como harina, pan, yogurt, galletas entre otros y las condiciones actuales no lo permiten.

Pese a que existen máquinas peladoras no se ha diseñado una de forma específica para el chontaduro si se parte del hecho que la fruta no se pela fresca, sino que debe tener un tratamiento térmico primero para transformar la pulpa y las peladoras comerciales están diseñadas para fruta verde, a lo cual se suma un elevado costo de diseño y fabricación.

Por otro lado, al ser un proceso manual, ya que se usan utensilios de corte, existen una serie de riesgos en el proceso que pueden ir desde la contaminación que se puede generar del producto final como consecuencia de la manipulación y los riesgos por causa de condiciones físicas o de la propia actividad por uso de elementos cortopunzantes por parte de los trabajadores (2).

Como el proceso de pelado no está industrializado en la asociación, se hace necesario evaluar nuevas formas de aumentar la productividad de chontaduro pelado, y por ende de la materia prima para elevar inventarios de producto en proceso, la reducción de riesgos por contaminación cruzada y de seguridad y salud en el trabajo (3).

De acuerdo a lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿El diseño de un prototipo de máquina peladora podría aumentar la producción de materia prima para dar cumplimiento al plan estratégico para la fabricación de subproductos?

Para poder desarrollar este proyecto se definió como objetivo general “Diseñar y simular un prototipo de máquina peladora de chontaduro para la cooperativa ASOCHON de Villa Garzón (Putumayo); de acuerdo con lo anterior este objetivo se compone de unos objetivos específicos los cuales comprenden:

- Determinar las características físicas y mecánicas del chontaduro, así como los requerimientos de diseño del prototipo en cuanto a método de pelado, fuente de alimentación, componentes de funcionamiento y materiales a partir de cálculos.
- Establecer mediante análisis dinámico y estático las cargas que actúan sobre el prototipo propuesto.

- Diseñar los elementos y estructura por medio del software Autodesk Inventor con el fin de realizar planos y parámetros de dimensionamiento del prototipo.
- Validar mediante simulación del tambor y el chasis, el correcto funcionamiento del prototipo de peladora de chontaduro, en función de las cargas aplicadas.

La metodología empleada está compuesta de cuatro fases, las cuales se definen a continuación (4):

Fase 1: De Conceptualización

Comprende el estudio de características mecánicas del chontaduro, así como la construcción del marco referencial (Estado del arte).

Fase 2: De Diseño

Contempla el análisis de alternativas, planos, definición de mecanismos y sistemas de operación del prototipo de máquina peladora de chontaduro

Fase 3: De Cálculos

En esta fase se definen las variables y se realiza el análisis dinámico y estático del prototipo mediante el método de análisis de cuerpo rígidos y diagramas de cuerpo libre en equilibrio.

Fase 4: De Simulación y validación del prototipo

En esta etapa se realizarán la simulación de mecanismos mediante el método de Von Mises, para verificar el correcto funcionamiento de los materiales al aplicarles cargas máximas.

El alcance del proyecto comprende únicamente la fase o proceso de pelado en donde se ha identificado la problemática y parte del diseño del prototipo hasta la simulación del mismo.

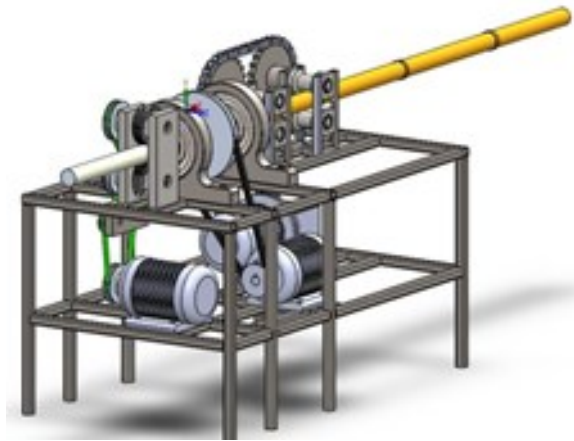
Los beneficiarios del proyecto comprenden por un lado la asociación y los otros productores de chontaduro, los cuales podrían adquirir el equipo para aumentar el precio de venta en la oferta de chontaduro pelado para procesamiento industrial.

Capítulo 1: Marco referencial

El capítulo presentado a continuación muestra aspectos básicos asociados a las tecnologías existentes, partiendo del estado del arte, el marco conceptual que describe las características del chontaduro, el proceso de producción para la obtención de subproductos como una forma ilustrativa de entender la importancia de la etapa de pelado para la obtención de la materia prima en la fabricación de subproductos; así como los métodos de pelado y los tipos de máquinas peladoras existentes.

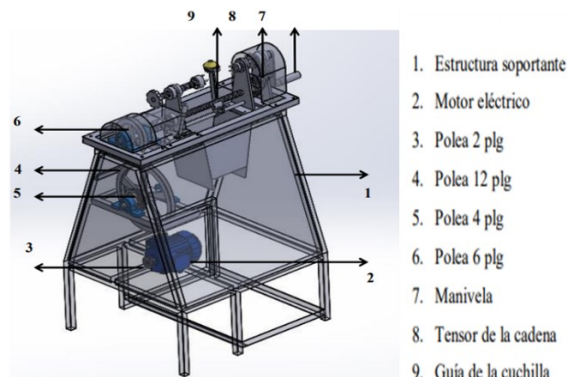
1.1 Estado del arte

Dentro de los estudios y avances realizados a nivel tecnológico, los cuales aportan para el desarrollo y conceptualización del prototipo propuesto se tienen, entre otros los aportes realizados por Chapoñan (2019), quien diseñó una máquina peladora de corteza de caña de azúcar con capacidad de 200 kg/h, con el fin de convertir una actividad de carácter manual a un proceso de tipo mecánico mediante la implementación de una máquina diseñada para tal fin; los resultados de esta investigación lograron un aumento en la producción diaria de 800 kg/d a 1500 kg/d, lo que adicionalmente daba cumplimiento con lo planificado por parte del cliente; el método empleado de pelado, fue de tipo mecánico mediante sistema de cuchillas con un motor de 1 HP por alimentación eléctrica como se indica en la figura 1-1 (5).

Figura 1-1: Prototipo de peladora corteza Caña

Fuente: Chapoñan, (6) .

Otro de los aportes lo realizaron Leitón y Meneses (2019), quienes diseñaron una máquina peladora de frutas con una potencia de un HP para la microempresa “El Salinerito”; el sistema de pelado usado fue de tipo mecánico; este prototipo incluye un tornillo sin fin por el cual las frutas verdes son desbastadas por una cuchilla, la potencia del 1/ 4 de HP, la estructura es de tipo vertical como se indica en la figura 1-2 (6)

Figura 1-2: Prototipo peladora de frutas

Fuente: Leitón y Meneses, (6)

Otras aplicaciones como la de Chamorro (2018), quien diseño una máquina peladora de maní tostado, empleado para ello para el pelado un método mecánico en su prototipo, el cual estaba integrado por dos cilindros separados por menos de 4 mm, los cuales, por

efecto de contacto de las superficies a nivel periférico del maní, retiraban la cáscara seca que cubría el maní; este diseño emplea un sistema de alimentación eléctrico y un motor de 0.5 HP, como se indica en la figura 1-3 (7).

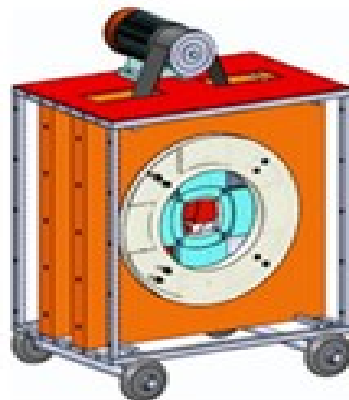
Figura 1-3: Prototipo peladora de maní



Fuente: Chamorro, (7).

A nivel nacional se han realizado desarrollos de prototipos de máquinas peladoras como la propuesta por Montañó (2019) en la figura 1-4, quien diseñó un prototipo de máquina para remover corteza de coco; el método empleado es el mecánico por sistemas de cuchillas, las cuales descansan sobre un porta tambor, el cual al ser accionado comprime el coco permitiendo a las cuchillas entrar más de 3 mm las cuales realizan un desprendimiento gradual; este equipo emplea un motor de 1 HP por sistema alimentación eléctrica (8).

Figura 1-4: Vista Isométrica frontal, peladora de coco



Fuente: Montaña, (9)

Montoya y Patiño (2015), diseñaron un prototipo de máquina peladora y lavadora de papa como se muestra en la figura 1-5, la cual cuenta, con una cuchilla en la pared lateral y un disco giratorio ubicado en la parte inferior del tambor, el cual hace girar la papa a una velocidad tal que la obliga a chocar contra la cuchilla, encargada de tajarla, cuenta con un motor de 1 HP, un sistema de transmisión de potencia para hacer girar el tambor de eje-piñón-cadena y los tiempos de corte son controlados por un PLC (9)

Figura 1-5: Prototipo peladora de papa



Fuente: Montoya y Patiño, (9)

A nivel internacional existen empresas como KRONEX en Alemania dedicada al desarrollo de maquinaria para la industria procesadora de frutas y hortalizas, con fábricas y zonas de ventas oficiales en Alemania y en New York y Wisconsin, con colaboradores en países latinoamericanos y del Caribe incluyendo Colombia, donde ofertan diversas máquinas peladoras, cortadoras y rebanadoras.

En Panamá y costa rica existen empresas como Ralex dedicadas a la fabricación de equipos y máquinas para la recolección y producción de harina de chontaduro por el método de molino de martillos. A nivel nacional empresas como PROCESAMAX, GRUENN entre otras también se dedican a la fabricación de máquinas peladoras para alimentos, dentro de los cuales no está contemplado el chontaduro ya que es una fruta de consumo y producción artesanal, que a hoy se está dando a conocer a partir de otros

subproductos y que se identifica a nivel cultural como de tomar a la mano es decir de recolectar y vender sin proceso industrial (solo la cocción artesanal) (10)

De acuerdo con lo anterior los equipos actuales para pelado tienen como ventajas, el de cumplir tareas específicas en cada producto o diseños a la medida y el uso de mecanismos de transmisión de potencias como poleas, cadenas y piñones, alimentados por motores cuya capacidad varía entre 0,5 HP y 1,5 HP como sistemas básicos y comunes que pueden garantizar mantenimientos de bajo costo; ahora bien la producción a gran escala a nivel internacional se ha centrado en el diseño de equipos genéricos para pelado de frutas y alimentos por métodos mecánicos o combinaciones de químicos y mecánicos; los cuales representan un alto costo para el cliente; sin embargo como ventajas cuentan con el respaldo y tecnología de base, ya que estos están configurados para grandes volúmenes de producción y garantías que las convierten en una inversión segura para un foco de clientes (11).

Como tendencias a nivel tecnológico los equipos de pelado cuentan con sistemas de automatización cada vez más precisos, pues el desarrollo de modelos de control y mando ha permitido establecer parámetros que apuntan al aumento de la eficiencia por unidad pelada, con menos tasas de desperdicio, lo que se debe considerar en el diseño propuesto en este proyecto.

1.2. Marco conceptual

1.2.1 Características del chontaduro

El chontaduro es una palma de trópico cálido- húmedo de América- latina, el chontaduro como fruto y el palmito como palma fresca son consumidos en las dietas diarias; a nivel de Colombia las regiones más productoras son el Valle del Cauca, Putumayo, Caquetá, región centro de Colombia y la Costa Atlántica; el chontaduro es un árbol que alcanza los 30 metros de altura y un tallo de 10 a 40 centímetros ancho, cuya fruta puede medir de 7 a 9 cm de diámetro y alcanzar un peso por unidad de 8 a 10 gr, su color puede variar de amarillo, naranja, rojo, anaranjado y para su consumo se debe iniciar un precocido, secado

y posterior pelado; su producción la alcanza a partir de los 3 años de edad hasta los 20 años en producción; la principal plaga que afecta a la palma es el picudo negro (1).

La fruta se compone de tres elementos como se indica en la figura 1-6, que son la cáscara que se retira por pelado, la pulpa y la almendra, la cual una vez pelada se debe separar en otro proceso de la almendra (12).

Figura 1-6: Componentes del chontaduro



Fuente: Agronet, (13)

1.2.2 Proceso de producción de materia prima para subproductos

Actualmente existen investigaciones que resaltan el uso de chontaduro por su alto nivel nutricional y por su capacidad para poder manufacturar otros subproductos como se indican en la figura 1-7 sin embargo la materia prima base para la producción de estos requieren del siguiente proceso de producción:

1-Recolección

2-Cocción

3-Pelado

4-Corte y retiro de almendra

5- Pulverización pulpa para conformado de harina base

A partir de esta harina base, se generan subproductos entre los cuales se destacan la fabricación de conservas, harinas, tortas, pan, yogurt, chontaduro empacado al vacío entre otras; todas estas alternativas de forma artesanal, ya que la fruta sigue siendo cosechada y comercializada en forma fresca (14).

Figura 1-7: Subproductos del chontaduro



Fuente: Asochon

1.2.3 Métodos de pelado

Dentro de los métodos empleados para realizar el proceso de pelado a nivel general tenemos:

1. Métodos mecánicos: Como el pelado por abrasión, donde el alimento entra en contacto con una superficie abrasiva y arranca la piel directamente; también puede hacerse mediante un sistema de cuchillos que cortan y arrancan la piel del vegetal. Por este método suelen pelarse los cítricos ya que su piel es suficientemente gruesa; dentro de sus desventajas se encuentran sus altos costos de adquisición, no todas las máquinas aplican a las diferentes frutas, en su mayoría consumen agua, y son de gran tamaño; dentro de sus acciones de mejora se encuentran aspectos relacionados a su tamaño. La posibilidad de mejora de estos equipos se centra en el diseño de nuevos métodos de abrasión, el no uso de agua, adaptar modelos a otras frutas que combinen más de un proceso (15)

2- El método térmico: Como el pelado por vapor, cuya finalidad es añadir vapor a alta presión de manera homogénea y eliminar la piel del vegetal, es uno de los más usados en zanahorias o remolachas, aunque se está extendiendo también a otras frutas y verduras;

otra aplicación de este método es el del pelado térmico mediante llama, exclusivo para cebollas, ya que se alcanzan temperaturas del orden de los 1.000°C y pocos vegetales los resisten; algunas de sus desventajas son el alto consumo de energía, para el caso del chontaduro, los tiempos de tratamiento térmico que requiere previo pelado son mayores a los que la máquina ofrece, son de alto costo y requiere de adecuaciones especiales a nivel de infraestructura; dentro de los aspectos a mejorar, es su sistema de descaldado o cocción para adaptar a la fruta de chontaduro; y el sistema de alimentación energética para la máquina (15).

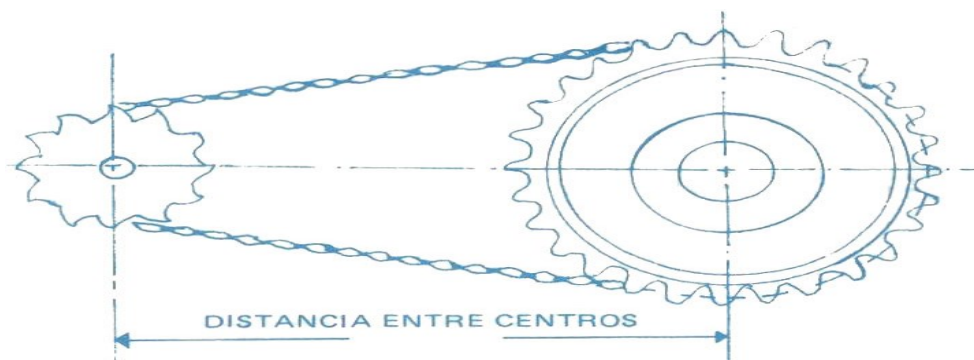
3- Otros métodos un poco más abrasivos son los químicos, que consisten en introducir los alimentos en sosa cáustica diluida al 1% a 100°C de manera que la piel se ablanda y posteriormente se elimina con agua. Este método está quedando en desuso porque el pelado al vapor es mucho más eficaz y nada corrosivo, dentro de sus desventajas se encuentra la necesidad de uso de químicos que pueden alterar la composición de la fruta, costos, la exposición de los operadores al mismo; de los aspectos a mejorar el uso de sustancias químicas para tratamientos (15).

1.2.4 Componentes estándar de una máquina peladora

- Sistema de transmisión por cadena

Las cadenas de transmisión son la mejor opción para aplicaciones donde se quiere transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas como lo indica la figura 1-8.

Figura 1-8: Sistema Piñón-Cadena



Fuente: Disponible en (16).

Las transmisiones por cadenas son las más usadas por su carácter robusto, diseñadas para trabajar en condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas, aunque

requieren de lubricación. Además, proporcionan una relación de transmisión fija entre las velocidades y ángulo de giro de los ejes de entrada y salida, lo que permite su aplicación en automoción y maquinaria en general que lo requiera (16).

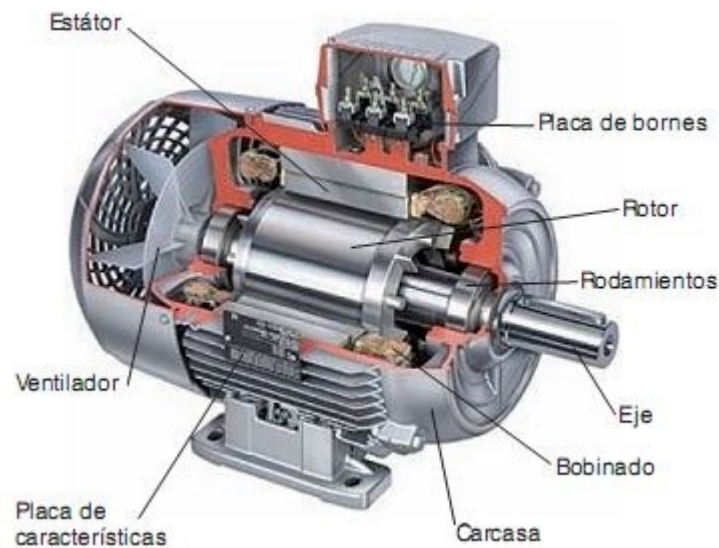
Para la selección de una cadena de rodillos se debe tener en cuenta (16):

- a. El paso
- b. Potencia a transmitir en caballos de fuerza
- c. Naturaleza de la carga, si es uniforme o a choque
- d. Sistema de lubricación

- Motor Eléctrico

Un motor eléctrico es esencialmente una máquina que convierte la energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos, las partes que lo componen se indican en la figura 1-9; la importancia de identificar sus partes radica en la forma como realizamos las conexiones eléctricas y mecánicas para convertir en movimiento mecánico o de giro.

Figura 1-9: Componentes de un motor eléctrico usado en máquinas peladoras



Fuente: Matienzo (2019). (17)

Una vez conectado el motor a la fuente de energía mediante placas de bornes, esta induce el rotor, el cual a su vez gira el eje para convertir esa energía eléctrica, en energía de movimiento para la máquina.

1.2.5 Simulación y Software

El programa empleado para desarrollar el análisis técnico del prototipo es Autodesk Inventor versión 2021, este es un programa para diseño mecánico avanzado en 3D, con modelado paramétrico, directo y libre, tiene una capacidad base para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensambles de partes.

Inventor ofrece simulación por elementos finitos, sistemas de movimientos y administración de datos; también es posible someter el diseño a una validación virtual variando sus parámetros, analizando su resistencia, desde la optimización de su forma hasta la preparación de moldes. En este caso las piezas simuladas corresponden al chasis y al tambor de abrasión presentadas en el capítulo 4.

De acuerdo con la información preliminar encontrada y condensada en el estado del arte, se ha podido establecer que, pese a que existen aplicaciones específicas de máquinas peladoras para frutas, que emplean diferentes métodos como el mecánico, químico y térmico entre otros, no existe una para el pelado de chontaduro; esta fruta tiene la particularidad de que para poder ser pelada debe someterse primero a un proceso de cocción con agua y las máquinas tipo térmicas emplean soluciones químicas.

Para el caso del chontaduro cualquier sustancia química cambia la calidad de la fruta; y las que existen y emplean agua para choque térmico tienen un alto costo pero como se indicó están diseñadas para otro tipo de alimentos como manzana, papas, yuca entre otros; de acuerdo con lo anterior se estableció que las máquinas peladoras actuales emplean sistemas combinados; sin embargo el método mecánico tiene gran aplicación en esta línea; al no identificar una máquina específica para el pelado del chontaduro, el cual es un proceso fundamental para la obtención de la materia prima o pulpa empleada para la fabricación de subproductos.

De acuerdo con lo anterior es necesario plantear una solución específica para las demandas y necesidades de la cooperativa Asochon de Villa Garzón (Putumayo) para lo cual se propone el desarrollo de un prototipo en función de los parámetros técnicos y de la empresa que cumpla con el objetivo de aumentar la disponibilidad de inventarios de pulpa, para que de igual manera se aumente la capacidad de la cooperativa como se indica en el capítulo que a continuación se desarrolla en el documento.

Capítulo 2: Conceptualización y Diseño

El capítulo 2 tiene como objetivo realizar la conceptualización y diseño del prototipo; para lograrlo, se deben establecer las condiciones geométricas y mecánicas del chontaduro con el fin de diseñar un adecuado sistema de pelado que responda a los requerimientos y expectativas de la cooperativa, esta tarea inicia con un trabajo de campo en donde a partir de la aplicación de procesos metodológicos se establecen dichas condiciones; definida estas condiciones se plantea el diseño del prototipo y la selección del mismo como se muestra en los numerales siguientes.

2.1. Identificación de características del chontaduro (peso, medidas)

Para el desarrollo de este ítem se realizó una prueba piloto con el fin de recoger la información previa relacionada con la geometría, peso y por ciento de cáscara de la fruta; esto con el fin de usar los datos para el diseño mecánico del prototipo; la metodología de la prueba piloto se indica en la figura 2-1.

Figura 2-1: Método de levantamiento de información de características del chontaduro



Fuente: Autor, 2021

- Definición de la muestra: Para la realización de la muestra se seleccionaron por conveniencia 9 chontaduros precocidos para medición.

Figura 2-2: Muestra física de chontaduro precocido



Fuente: Autor.2021

- Pesaje de la muestra: Se realizó mediante una gramera tipo pastelera como se indica en la figura 2-3.

Figura 2-3: Gramera para medición variable Peso



Fuente: Autor, 2021

- Dimensiones de la muestra: para esta actividad se empleó un calibrador digital marca mitutoyo.

Figura 2-4: Calibrador para medición geométrica



Fuente: Autor, 2021

- Consolidación y presentación de resultados: Las tablas 2-1 y 2-2 nos muestra la relación de variables medidas en la muestra seleccionada.

Figura 2-5: Validación pesos



Fuente: Autor, 2021

Tabla 2-1: Consolidación datos pesos (gr)

Muestra	peso total	cáscara	Muestra	peso total	cáscara
M1	68	2,6	M26	68	2,6
M2	45	2	M27	45	2
M3	37	2	M28	37	2
M4	55	2,5	M29	55	2,5
M5	14	2,3	M30	14	2,3
M6	42	1,6	M31	42	1,6
M7	45	1,3	M32	45	1,3
M8	28	1,3	M33	28	1,3
M9	33	1,8	M34	33	1,8
M10	27	1,54	M35	43	1,76
M11	35	1,24	M36	53	1,96
M12	34	1,54	M37	47	1,56
M13	41	1,66	M38	32	2,18
M14	47	2,14	M39	26	1,54
M15	39	2,17	M40	35	1,67
M16	33	2,34	M41	44	2,56
M17	36	1,76	M42	42	1,95
M18	43	1,89	M43	48	1,97
M19	42	1,93	M44	52	2,45
M20	40	1,84	M45	57	2,58
M21	38	1,87	M46	37	1,34
M22	50	1,94	M47	38	1,28
M23	24	2,34	M48	29	1,34
M24	47	2,15	M49	36	1,67
M25	39	1,98	M50	41	1,86
PROMEDIO	39,28	1,91	PROMEDIO	41,08	1,87
PT	40,18	1,89			

Fuente: Autor, 2021

Con respecto a las dimensiones geométricas se tiene:

Figura 2-6: Validación dimensiones



Fuente: Autor, 2021

Tabla 2-2: Consolidación datos dimensiones (mm)

Muestra	Largo	ancho	Muestra	Largo	ancho
M1	46,83	44,14	M26	46,83	44,14
M2	61,48	46,76	M27	61,48	46,76
M3	51,2	37,8	M28	51,2	37,8
M4	55,88	40,12	M29	55,88	40,12
M5	60,45	43,45	M30	60,45	43,45
M6	57,34	39,43	M31	57,34	39,43
M7	52,11	43,31	M32	52,11	43,31
M8	63,23	40,55	M33	63,23	40,55
M9	67,45	39,65	M34	67,45	39,65
M10	55,4	37,2	M35	50,4	38,14
M11	54,65	37,1	M36	49,63	39,1
M12	48,67	32,8	M37	54,61	42,35
M13	49,52	35,23	M38	63,4	45,6
M14	54,85	40,24	M39	58,75	42,6
M15	60,45	42,12	M40	61,21	45,1
M16	58,1	44,35	M41	64,54	47,32
M17	49,32	37,88	M42	58,76	39,86
M18	43,25	40,2	M43	60,64	40,25
M19	44,67	41,46	M44	65,8	41,44
M20	49,7	43,41	M45	48,5	39,56
M21	55,13	48,61	M46	54,37	44,35
M22	50,28	49,28	M47	58,18	47,62
M23	46,5	39,95	M48	40,56	38,15
M24	57,4	47,74	M49	58,87	41,3
M25	50,95	28,35	M50	52,15	40,01
PROMEDIO	53,8	40,6	PROMEDIO	56,7	41,9
PT	55,22	41,25			

Fuente: Autor, 2021

De acuerdo con lo anterior para efectos de cálculos en el diseño del prototipo, el peso promedio del chontaduro en la muestra fue de 40,18 gr y las dimensiones promedio en cuanto a longitud y ancho fueron de 55,22 mm y 41,25 mm respectivamente.

2.2. Propiedades físicas y mecánicas del chontaduro

Según Montealegre (2020) las propiedades físicas del chontaduro como fruta fresca contemplan estado de maduración, Brix, humedad y para el caso del proyecto la principal propiedad mecánica es la de la resistencia a la rotura, la cual viene dada por la fuerza máxima que se debe aplicar a la fruta para penetrar la cáscara; este dato será utilizado para el análisis de sistema de pelado, ya que constituye el foco principal del proyecto; en este sentido se tomó como referencia el estudio de Daza (2015), en cual realizaron pruebas de resistencia mecánica a una muestra de frutas amarillas y rojas precocidas mostrando los siguientes resultados, como lo indica la tabla 2-3:

Tabla 2-3: Resistencia a la compresión de variedad roja y amarilla de chontaduro

Variedad	Resistencia a la penetración (Newtons=N)	
	Fruta verde	Precocida
Chontaduro Amarillo	19,6353	11,7463
Chontaduro Rojo	39,5358	23,6431

Fuente: Daza, (18)

Para efectos de diseño se tomará la variedad roja con el valor obtenido de la prueba en fruta precocida, el cual es de 23,6431 N.

Figura 2-7: Caracterización física del Chontaduro

Parámetros	Resultados
° Maduración	4
° Brix	8
pH	6
Humedad (%)	46,17
Ceniza (%bs)	0,64
Fibra dietaria (%bs)	28,8
Vitamina A (UI/100g)	1251
Vitamina C (mg/100g)	17,56
Capacidad Antioxidante (µmoles Eq.Trolox/g muestra)	1604,00 ± 141,23

Fuente: Montealegre, (19)

2.3. Caracterización de prototipos

Los prototipos planteados se desarrollaron en función del método de pelado; de acuerdo con lo anterior se tienen las siguientes propuestas tomadas de las máquinas de pelado en el estado del arte y los métodos establecidos en el ítem 1.2.3 del marco referencial que establecen parámetros del sistema de pelado, fuente de alimentación, mantenimiento, ventajas y desventajas; a partir de ello se estableció la caracterización siguiente:

Tabla 2-4: Características de Prototipos

Criterios de diseño	Prototipo 1	Prototipo 2	Prototipo 3
Método de pelado	Mecánico	Mecánico	Mecánico
Sistema de pelado	Tornillo sin fin	Abrasión por tambor cilíndrico	Aspas
Fuente alimentación Equipo	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Motor neumático
Mantenimiento	Bajo	Bajo	Bajo
Ventajas	Bajo consumo de energía Bajo nivel de desperdicio Menor capacidad de volumen procesado	Bajo consumo de energía Bajo nivel de desperdicio Pelado uniforme y de mayor volumen La piel o cáscara es desprendida por efecto de la abrasión, lo cual genera menor desperdicio	Alto consumo de energía Bajo nivel de desperdicio Pelado uniforme, Se obtiene un mayor volumen
	Fruta es desbastada por el sin fin ocasionando un menor daño		Desbaste tangencial, menor desperdicio
Desventajas	Alta vibración conjunto sin fin	Baja vibración pelado es regular sobre superficie de chontaduros	Baja vibración
	devanado es por unidad de fruta	Alimentación por gravedad	Mayor nivel de desperdicio
	Alimentación manual piezas con alto nivel de desgaste	Piezas con nivel medio de desgaste	Alimentación mecánica Piezas bajo nivel de desgaste
	Costo elevado, diseño genérico Alta frecuencia de Mantto	De bajo costo, diseño a medida Mantenimientos periódicos	Costo elevado de adaptación del fluido usado Alta frecuencia mantenimientos
	Fuente de alimentación es directa	fuentes de alimentación es directa	fuentes de alimentación debe ser tratada previa alimentación equipos
	Materiales de fabricación pesados	Materiales de fabricación más livianos	Materiales de fabricación más livianos

Nota. Los criterios de diseño como le método, sistema de pelado, fuente de alimentación se obtuvieron a partir de las recomendaciones del Ing. Mecatrónico Juan Manuel gerente de JM-Ingeniería, quien tiene 25 años de experiencia en el diseño de máquinas para diferentes procesos.
Fuente: Autor, 2021

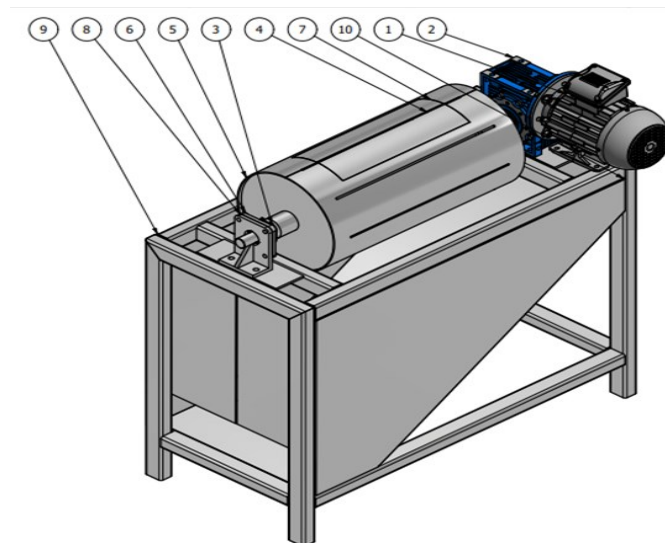
2.4. Selección y Caracterización de prototipo

Para efectos del proyecto el prototipo seleccionado es el de abrasión por tambor cilíndrico horizontal, ya que este sistema realiza un pelado regular en la fruta sin generar mucho desperdicio, lo cual incrementa el rendimiento para la obtención de materia prima; el prototipo propuesto permite procesar un mayor volumen por día, mejorando la eficiencia del proceso en cuanto a disponibilidad de materia prima, comparado con el prototipo uno ,

este diseño no genera vibraciones las cuales son perjudiciales para el operario; con respecto al prototipo 3 un sistema neumático requiere de una red de alimentación neumática la cual genera un costo adicional para la cooperativa, por lo que se parte del diseño eléctrico actual de la estructura la cual cumple con las condiciones de suministro eléctrico para la máquina.

A continuación, se presenta un bosquejo del prototipo seleccionado en la figura 2-8.

Figura 2-8: Prototipo de máquina peladora con tambor cilíndrico por abrasión



Fuente: Autor, 2021

Con respecto a los componentes del prototipo indicados en la figura 2-8, la caracterización de estos comprende:

- 1- Motor: Su función es la de generar o inducir el movimiento rotatorio para transmitir una potencia para efectos del giro del tambor de abrasión
- 2- Reductor: Tiene como objetivo ayudar a que se pueda pasar de una velocidad inicial elevada a otra menor, sin que el mecanismo se resienta; es el encargado de encargarse de ajustar la potencia mecánica de un sistema.
- 3- Eje: Está destinado a guiar el movimiento de rotación del sistema de engranaje

- 4- Disco de pelado: Elemento de corte de forma circular cuya función es la de retirar o pelar la cáscara del chontaduro
- 5- Tambor de pelado: Es un elemento cilíndrico en donde se realiza la operación de pelado y separación de la cáscara de chontaduro como lo indican los números 5 y 7.
- 6- Rodamientos FY 30 TF: Es un elemento rotativo, que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este sistema que sirve de apoyo y facilita su funcionamiento como lo indican los números 6 y 8.
- 7- Chasis: Sirve como soporte y sujeción de todos los elementos necesarios para la operación de la máquina; es una estructura de tubo cuadrado en acero AISI 304, con cuatro apoyos.
- 7- Tolva: Recipiente o tolva de recepción de chontaduro pelado, su función como se indicó es la de almacenar de forma transitoria el chontaduro, el material de fabricación es lamina de acero inoxidable calibre 22 soldada.

2.5. Criterios de diseño de los componentes de la máquina peladora de chontaduro

Seleccionado el prototipo de acuerdo con la tabla 2-4, los criterios empleados para la selección de los diferentes componentes o partes de la máquina son:

2.5.1. Motorreductor

La selección de este reductor para el motor de 1 HP, se hizo tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Sincronización: Este garantiza un equilibrio entre la velocidad como en la potencia transmitida.
- Potencia: Permite una mayor eficacia para la transmisión de la potencia proporcionada por el motor.
- Costo: Genera una mayor seguridad en la transmisión, para reducir así el coste en el mantenimiento.

- **Instalación:** Reduce los tiempos para su instalación, por su tamaño y facilidad de la misma para acoplarse a la misma, por otro lado, el peso no es valor representativo para la tarea que desarrolla la máquina.

2.5.2. Tambor de pelado

Con respecto al diseño del tambor de pelado los criterios tenidos en cuenta para su diseño y que ofrecen una ventaja frente a otros materiales, diseño contemplan:

- **Técnica de pelado:** Este diseño cilíndrico permite la adaptación de la lámina de abrasión para hacer menos robusto el tanque, permitiendo una mayor optimización de la velocidad de giro; adicionalmente su forma garantiza una abrasión regular en todas las aristas de la fruta permitiendo que por acción de la gravedad y de la velocidad de giro la misma pueda tener contacto con toda su superficie lo cual garantiza un pelado homogéneo.
- **Peso Material:** Material liviano permite una mayor maleabilidad para acoplarse a la forma del tambor.
- **Material:** Evita la contaminación del producto, ya que esta no permite la oxidación del mismo.
- **Eficiencia:** Permite que las áreas de contacto para abrasión mantengan un nivel de afilado regular y más horas de trabajo frente a otros materiales menos maleables y más pesados, los cuales pueden influir en la velocidad de giro.
- **Adaptabilidad:** Puede acoplarse con facilidad a otros sistemas, como un tambor adicional o sistema de alimentación con mayor capacidad sin aumentar los costos de forma desproporcionada.

2.5.3. Rodamientos

En lo que respecta a las consideraciones para la selección de los rodamientos estos implican:

- **Velocidad límite con tolerancia del eje:** Con respecto a este ítem, el motor trabaja a 1800 rpm, por tanto, este rodamiento FY 30 TF, resiste hasta 6300 r /min, lo cual indica que perfectamente puede desempeñarse para su trabajo con el motorreductor seleccionado.

- El rendimiento requerido. Garantiza un rendimiento en la transmisión de potencia
- Vida útil: Si se garantizan mantenimientos preventivos adecuados, este posee un alto número de horas de servicio.
- Velocidad: por su diseño, tiene una gran capacidad de mantener una velocidad regular, pese a las vibraciones que se puedan presentar por efecto de alineación del mismo eje.
- Comercialmente es un producto de mayor capacidad de consecución en el mercado.
- Mantenimiento: Proporciona una gran facilidad para su lubricación.

2.5.4. Chasis

De acuerdo con el chasis o estructura, las consideraciones para su diseño son:

- Peso: Estructura soldada en material Acero inoxidable 304, especial para soportar cargas extremas mediante trabajos continuos, sin riesgo de cizallamiento o deformación del mismo.
- Forma: Su diseño rectangular permite una adecuada distribución de cargas de los elementos que lo componen.
- Reutilización: Este concepto implica un reusó del material para otros fines.
- Buena apariencia higiénica.
- Material de diseño: Excelentes propiedades para su mecanizado como el doblado y plegado entre otras.
- Propiedades: Alta resistencia a temperatura y a la vibración, por ende, es altamente anticorrosivo.

2.5.5. Tolva

La tolva se considera como un depósito temporal; los criterios usados para su diseño tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

Diseño: Su diseño rectangular tipo embudo le da gran capacidad de almacenamiento temporal, así como la facilidad de poder realizar la evacuación del producto.

Forma: Permite una mayor área de apoyo para su manipulación y adaptabilidad al chasis.

Material de diseño: Acorde a los requerimientos para maquinas procesadoras de alimentos; el acero inoxidable, es higiénico, anticorrosivo y de fácil aseo e higiene con el fin de evitar contaminación cruzada en ellos proceso o baches de producción.

Realizada la conceptualización del diseño se estableció a nivel de la fruta que sus características geométricas corresponden a un fruto rojo, ya que esta variedad es la que siembra en la región, de acuerdo con lo anterior el peso promedio de un chontaduro es de 40,18 gr y sus dimensiones promedio son de 55,22 mm de largo y 41,25 mm de ancho; en cuanto a sus propiedades mecánicas la resistencia a la presión es de 23, 6431 N; para dar cumplimiento al objetivo de diseñar la máquina se analizaron 3 propuestas de las cuales se seleccionó el prototipo 2, cuyas características corresponden a un máquina con un motor eléctrico, que emplea un sistema de pelado mecánico por abrasión a partir de un tambor cilíndrico, y un sistema colector de la cáscara o tolva.

Seleccionado el prototipo se establecen los cálculos y parametrizaciones de sus componentes con el fin de determinar a escala real cuáles son sus métricas y patrones característicos para operar; de acuerdo con lo anterior el capítulo 3 nos muestra los cálculos y simulaciones realizadas al tambor y el chasis de la máquina.

El desarrollo de este capítulo, permite dar cumplimiento a la fase 1 y 2 de la metodología propuesta en la introducción, en cuanto a la conceptualización y diseño.

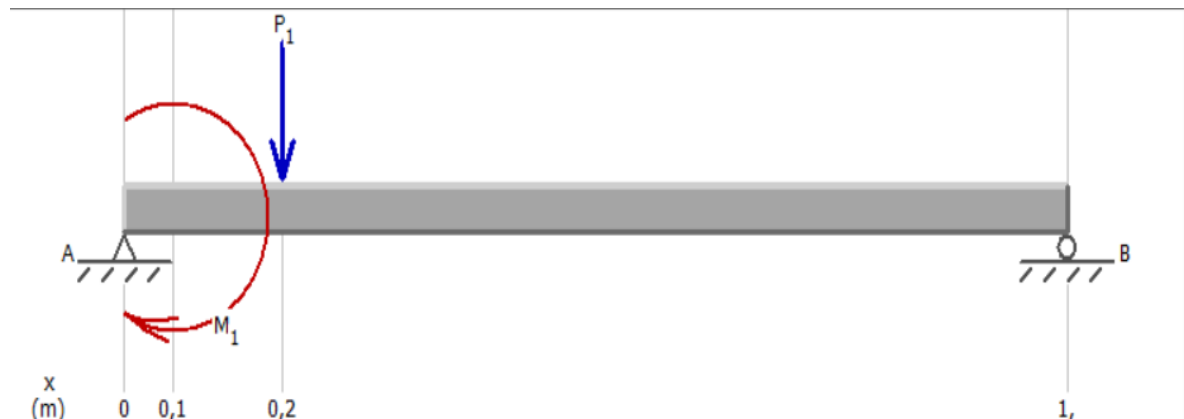
Capítulo 3: Cálculo del prototipo seleccionado

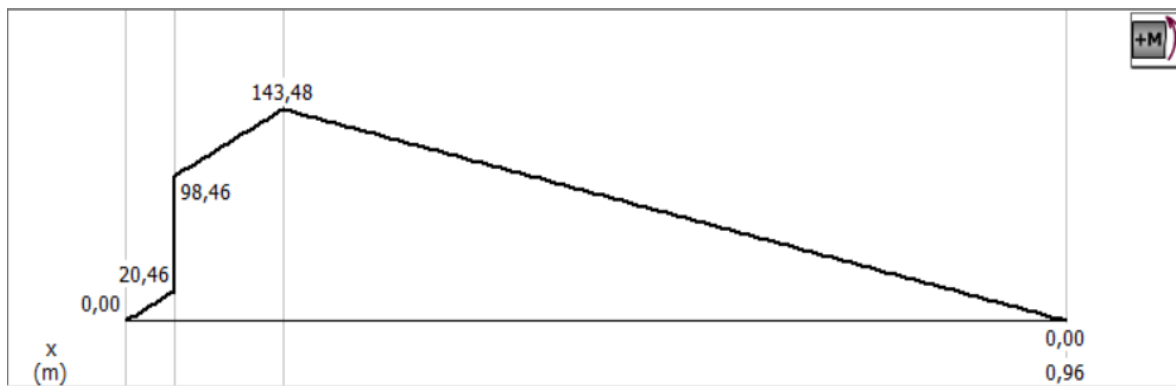
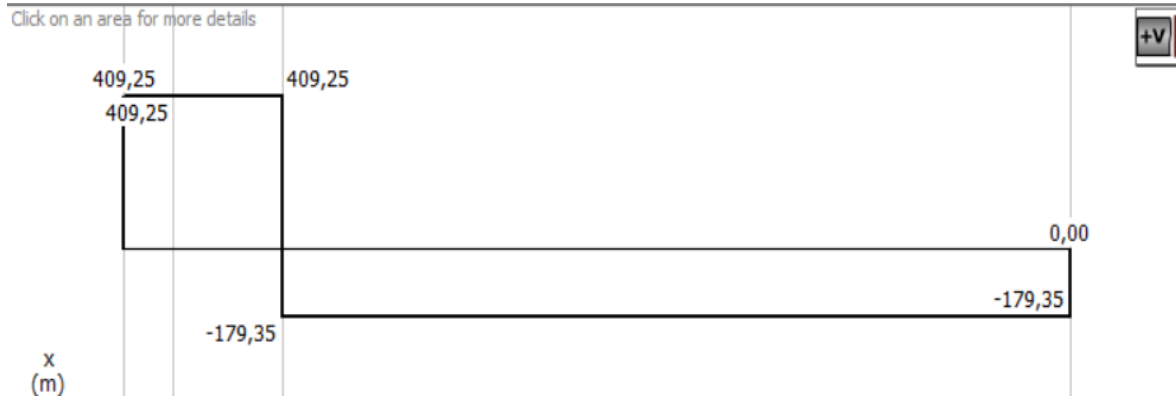
En el capítulo 3 se establecen y determinan los cálculos correspondientes a la potencia, ejes y sistemas de transmisión de potencia empleados en el prototipo de máquina peladora; el método empleado para el cálculo del eje en el numeral 3.1 incluye un análisis de cuerpo rígido el cual busca identificar a partir de un diagrama de cuerpo libre, las fuerzas, incluidos los pares que actúan sobre él para mantener el estado de equilibrio; de acuerdo con lo anterior se tiene.

3.1 Cálculo del eje

De acuerdo con el prototipo seleccionado y predimensionado, se realiza un diagrama de cuerpo rígido con el fin de identificar las fuerzas que actúan sobre el eje como se indica en la figura 3-1

Figura 3-1: Diagrama de cuerpo libre eje





Fuente: Autor

Para calcular la fuerza ejercida, Myszca, plantea que se realiza la sumatoria de momentos a partir del diagrama de cuerpo libre en equilibrio de la figura 3-1 (20).

Despejamos el momento equivalente (M_e) de donde:

M_t =Momento en t

M_f =Momento en f

$$M_e = \sqrt{M_t^2 + M_f^2} \quad (3.1)$$

$$M_e = \sqrt{(76491 \text{ N} \cdot \text{mm})^2 + (143480 \text{ N} \cdot \text{mm})^2}$$

$$M_e = 162595.76 \text{ N} \cdot \text{mm} = 16574.49 \text{ Kg} \cdot \text{mm}$$

Despejamos el diámetro del eje, el material es acero AISI SAE304 $\sigma = 28 \text{ Kg/mm}^2$

Donde:

$n = \text{factor de seguridad}$

$S_y = \text{esfuerzo corregido del material}$

$d = \text{Diametro exterior}$

$$S_y = \sigma * 0.35$$

$$S_y = 28 \text{ Kg. mm}^2 * 0.35 = 9.8 \text{ Kg. mm}^2$$

$$d = \left[\frac{32 \cdot n}{\pi * S_y} * M_e \right]^{1/3} \quad (3.2)$$

$$d = \left[\frac{32 * 2}{\pi * 9.8 \text{ Kg. mm}^2} * 16574.49 \text{ Kg. mm} \right]^{1/3}$$

$$d = 32.5 \text{ mm}$$

Por las condiciones geométricas del piñón ajustamos la medida en función a su diámetro exterior.

$$d \approx 35 \text{ mm}$$

3.2. Cálculo de la Potencia de la Peladora

Para determinar este valor, la metodología sugerida por Robert Molt (21), plantea que para hallar la potencia se debe inicialmente aplicar las fórmulas para el cálculo del torque y potencia a partir de la velocidad angular y la carga a trabajar.

La velocidad angular para la peladora de chontaduro debe ser de 120 rpm (12,56 rad/s).

La carga a trabajar es de 30 Kg por carga; el diámetro del tambor es de 30 cm. A partir de estos datos se calcula el torque del dispositivo como se indica en la ecuación 3.3. De la cual se emplean las siguientes variables:

$T = \text{Torque del dispositivo}$

$M = \text{Carga a trabajar}$

$D = \text{Diámetro del tambor}$

$$T = M * \left(\frac{D}{2}\right) \quad (3.3)$$

$$T = 30 \text{ Kg} * \left(\frac{0.3}{2}\right)$$

$$T = 4.5 \text{ Kg.m}$$

$$T \approx 44.14 \text{ Kg.m}$$

Para determinar la potencia aplicamos la ecuación 3.3, de donde:

$$P = T * w = \frac{T * n}{\frac{60}{2\pi}}$$

Donde:

P= potencia del motor W

T= torque o par motor (N.m)

w= velocidad en radianes rad/s

n= revoluciones por minuto rpm

$$P = \frac{44.14 \text{ N.m} * 120 \text{ rpm}}{\frac{60}{2\pi}}$$

$$P = 554.67 \text{ w}$$

$$P = 0.55467 \text{ Kw}$$

$$P = 0.743 \text{ HP}$$

$$P \approx 1.0 \text{ HP}$$

De los cálculos anteriores se puede establecer que la potencia requerida del motor es de 1 HP, para trabajar una carga de 30 kg por tanda, el cual genera un torque en el dispositivo o máquina de 44,14 Kg.m; el material de construcción del eje corresponde a un AISI SAE 304, ya que por sus características presenta buena resistencia a la corrosión garantizando para el proceso un alto grado de asepsia para el producto terminado; de acuerdo con las fuerzas que actúan en la peladora la potencia requerida es de 1 HP. Por lo tanto, bajo estas condiciones es necesario simular los elementos principales como lo son el tambor

de abrasión y la estructura que lo soporta como el chasis para identificar si al trabajar estos elementos bajo esfuerzo o cargas máximas presentan problemas y por ende baja confiabilidad para el funcionamiento de la misma como se indica en el capítulo 4 a continuación.

El desarrollo de este capítulo, permite dar cumplimiento a la fase 3 de la metodología propuesta en la introducción en cuanto a los cálculos.

Capítulo 4: Simulación del prototipo, resultados y análisis

En este capítulo se presenta un estudio estático de fuerzas en donde se analizará el comportamiento del tambor y el chasis bajo estas condiciones de carga. Los datos para tener en cuenta son, la pieza en un entorno virtual, el material del que se compone la pieza y la carga distribuida. El material que compone la pieza a analizar es acero inoxidable AISI SAE 304.

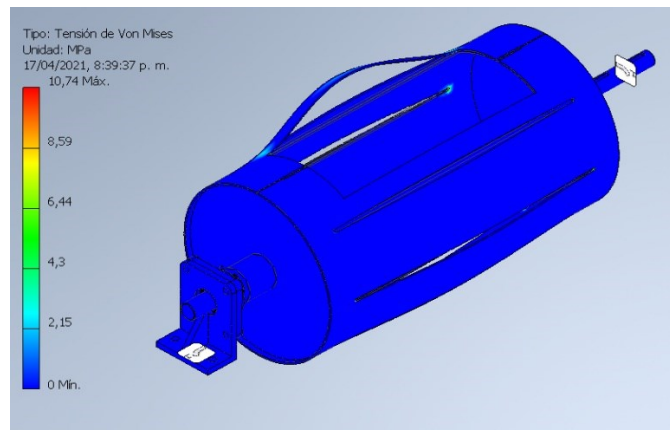
4.1 Simulación de tambor de pelado

Para efectos de la simulación del tambor se empleará el software de Autodesk Inventor 2021, para su análisis obteniendo los siguientes resultados:

Se somete el tambor a un torque de motorreductor, con valor de 80.33 N.m, adicional a esto se somete a una carga con chontaduro lleno de 300 N. los materiales de construcción del dispositivo son acero inoxidable 304.

4.1.1. Esfuerzo máximo tambor

Para la realización de la simulación se empleará el método de Von Mises, también llamado criterio de la máxima energía de distorsión, es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles. De acuerdo con lo anterior el esfuerzo máximo del tambor se representa en la figura 4-1

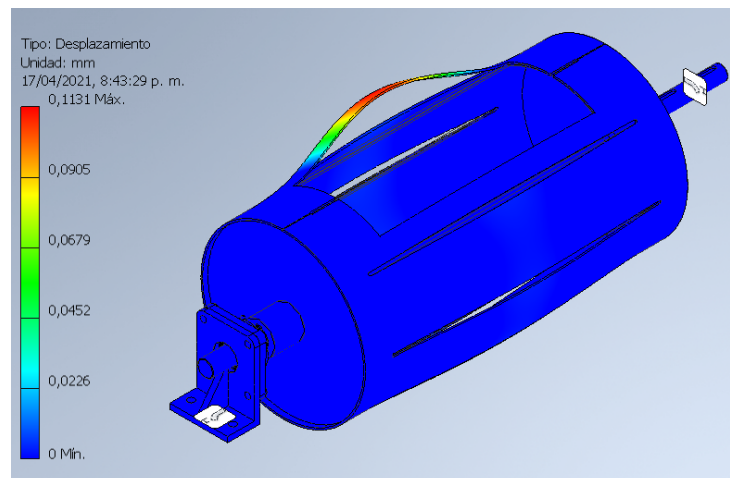
Figura 4-1: Análisis de esfuerzo máximo del tambor

Fuente: autor, 2021

En la figura 4-1, apreciamos un esfuerzo máximo de 10,74 MPa; este valor de esfuerzo se encuentra por debajo del esfuerzo máximo permisible del material, lo cual hace al elemento apto para su operación sin representar riesgo de cizallamiento o rotura del material.

4.1.2. Desplazamiento máximo tambor

El análisis de desplazamiento mediante el método de Von Mises, indica la cantidad de estiramiento que sufre un objeto o material al aplicarle o someterlo a una carga, lo que indica si se puede cizallar o no en su funcionamiento; la figura 4-2 indica el desplazamiento que sufre el tambor al aplicarle máximas cargas.

Figura 4-2: Análisis de desplazamiento máximo del tambor

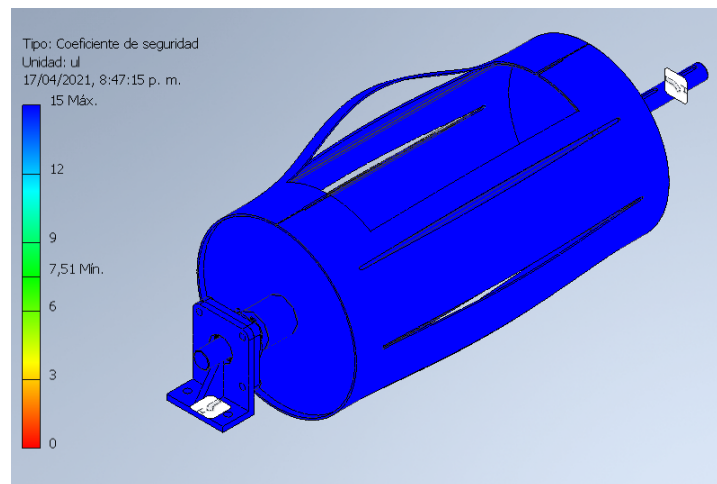
Fuente: Autor, 2021

De acuerdo con la figura anterior, se puede apreciar el desplazamiento máximo del tambor, la cual se encuentra ubicada en la sección de color rojo y cuyo valor es de 0.1131 mm, lo que indica su deformación máxima. El desplazamiento se focaliza en la parte media superior del tambor y su valor se encuentra por debajo del máximo permisible, por lo cual no presenta un riesgo a nivel de material que pueda afectar su operatividad.

4.1.3. Factor de seguridad del tambor

El factor de seguridad según el método de Von Mises debe ser superior a 1 para que el diseño sea aceptable y confiable en cuanto a la tensión o fuerza máxima, es decir que al calcular este valor debe estar por encima de este parámetro, para identificar que el componente analizado cumple con las condiciones de cargas a las que se somete sin presentar deformación la cual afecta el funcionamiento de la pieza y la operación.

Figura 4-3: Análisis de factor de seguridad del tambor



Fuente: Autor, 2021

El tambor tiene un coeficiente de seguridad de 7.51 al estar sometido a plena carga y a máxima torsión por el motorreductor, por lo tanto, de acuerdo con Shigley (22), como es mayor a 1, el diseño es confiable y satisfactorio. En conclusión, podemos decir que el tambor cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas, y se garantiza la durabilidad que permita, bajo un buen esquema de uso y mantenimiento (limpieza y ajustes preventivos periódicos), alcanzar una vida útil extendida.

4.2 Simulación chasis

Para realizar este cálculo, se debe despejar las cargas a las que este será sometido, por ende, las cargas que soporta son:

- Peso del tambor pelador (32 Kg)
- Peso del motorreductor (28 Kg)
- Peso de la carga útil de chontaduro (30 Kg)
- Peso de la tolva cargada (15 Kg)

El material del chasis es en acero inoxidable 304, ya que por ser alimentos este tipo de material es el recomendado a nivel de maquinaria por la FDA

Al realizar el análisis de cargas, obtenemos los siguientes valores, de un lado del chasis, por lo que:

$P1$ = Carga o fuerza que soporta al actuar el peso del tambor y el peso carga útil del chontaduro.

$$P1 = \frac{32 + 30}{2}$$

$$P1 = 31 \text{ kg} \approx 304.11 \text{ N}$$

Por el otro lado tenemos la reacción en el otro extremo del chasis:

$P2$ = Carga o fuerza que soporta al actuar el peso del tambor, el peso carga útil del chontaduro y el peso del motorreductor.

$$P2 = \frac{32 + 30}{2} + 28$$

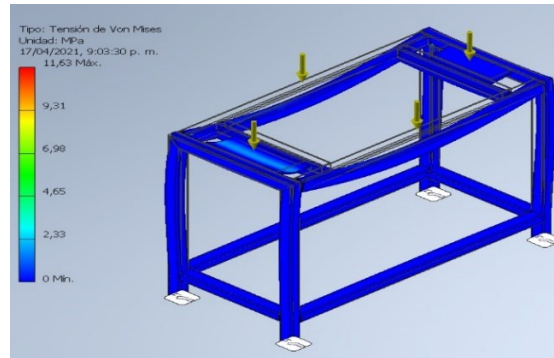
$$P2 = 59 \text{ Kg} \approx 578.79 \text{ N}$$

Para el análisis de cargas de las vigas de la estructura o chasis, se ingresan en el software Autodesk Inventor, los datos relacionados en el párrafo anterior como el peso del tambor pelado, peso del motorreductor, el peso de la carga útil del chontaduro, los cuales al ser procesados muestran los siguientes resultados en los epígrafes 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3, como se indica a continuación.

4.2.1. Esfuerzo máximo Chasis

Para la realización de la simulación de esfuerzo máximo, se empleará el método de Von Mises, también llamado criterio de la máxima energía de distorsión, es cual es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles. De acuerdo con lo anterior el esfuerzo máximo del chasis se representa en la figura 4-4

Figura 4-4: Análisis esfuerzo máximo del chasis

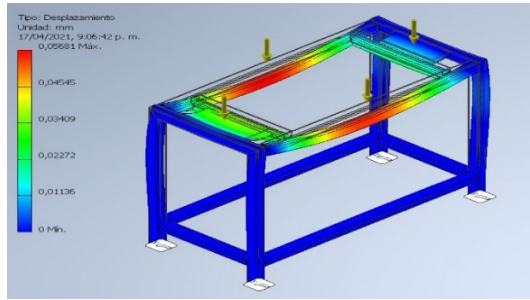


Fuente: Autor, 2021

En la figura 4-4, apreciamos un esfuerzo máximo de 11,63 MPa; este valor de esfuerzo se encuentra por debajo del esfuerzo máximo permisible del material, lo cual según Shigley (22), hace al elemento apto para su operación sin representar riesgo de cizallamiento o rotura del mismo; se aprecia la máxima deformación directamente en las placas de soporte del nuestro chasis.

4.2.2. Desplazamiento máximo

El análisis de desplazamiento mediante el método de Von Mises, representa el estiramiento que sufre un objeto o material al aplicarle o someterlo a una carga, lo que indica si se puede cizallar o no en su funcionamiento, este valor máximo permitido debe ser menor a 1; la figura 4-5 indica el desplazamiento que sufre el chasis al aplicarle máximas cargas.

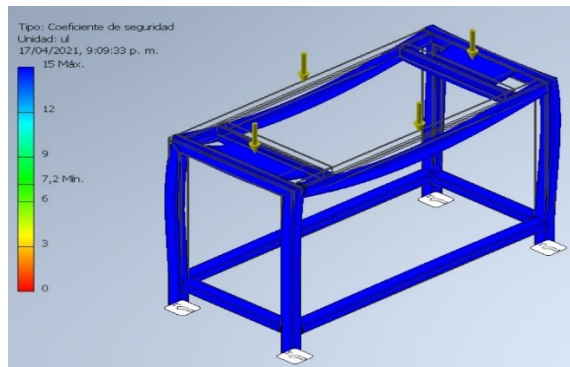
Figura 4-5: Análisis desplazamiento máximo del chasis

Fuente: Autor, 2021

De acuerdo con la figura 4-5, Bajo estas reacciones P1 y P2 junto con el peso de la tolva, apreciamos que el desplazamiento máximo del chasis es de 0.05 mm, se aprecia a lo largo de las vigas de la tolva. En los soportes, se aprecia un desplazamiento máximo de 0.03mm de color rojo y los desplazamientos mínimos en color azul, valores que están por debajo del parámetro establecido el cual es de 1 por el método Von Mises, lo que indica según Shigley (22), que no hay un riesgo de deformación de la estructura que afecte el funcionamiento de la peladora.

4.2.3. Factor de seguridad chasis

El factor de seguridad según el método de Von Mises debe ser superior a 1 para que el diseño del chasis sea aceptable y confiable en cuanto a la tensión o fuerza máxima, es decir que al calcular este valor debe estar por encima de este parámetro para establecer que el componente analizado cumple con las condiciones de cargas a las que se somete sin presentar deformación que afecte el funcionamiento del chasis.

Figura 4-6: Análisis de factor de seguridad del chasis

Fuente: Autor, 2021

Bajo estas cargas, el coeficiente de seguridad es de 7.2, lo que nos da a conocer que el chasis cumple sus condiciones de diseño, ya que dicho valor es mayor a 1; por lo tanto, según Shigley (22), no ofrece riesgos de deformación y cizallamiento.

Del capítulo 4 se puede establecer, que realizada la simulación mediante el método de Von Mises al tambor de abrasión y al chasis que soporta todos los componentes de la máquina diseñados, mediante la aplicación de cargas de trabajo, tanto el esfuerzo máximo, como el desplazamiento y el factor de seguridad, los valores resultantes están dentro de los límites permisibles, por lo tanto, estas piezas pueden trabajar de forma óptima para desarrollar la función asignada sin que exista una posible fractura del material.

El desarrollo de este capítulo, permite dar cumplimiento a la fase 4 de la metodología propuesta en la introducción, en cuanto a la simulación del tambor y el chasis.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

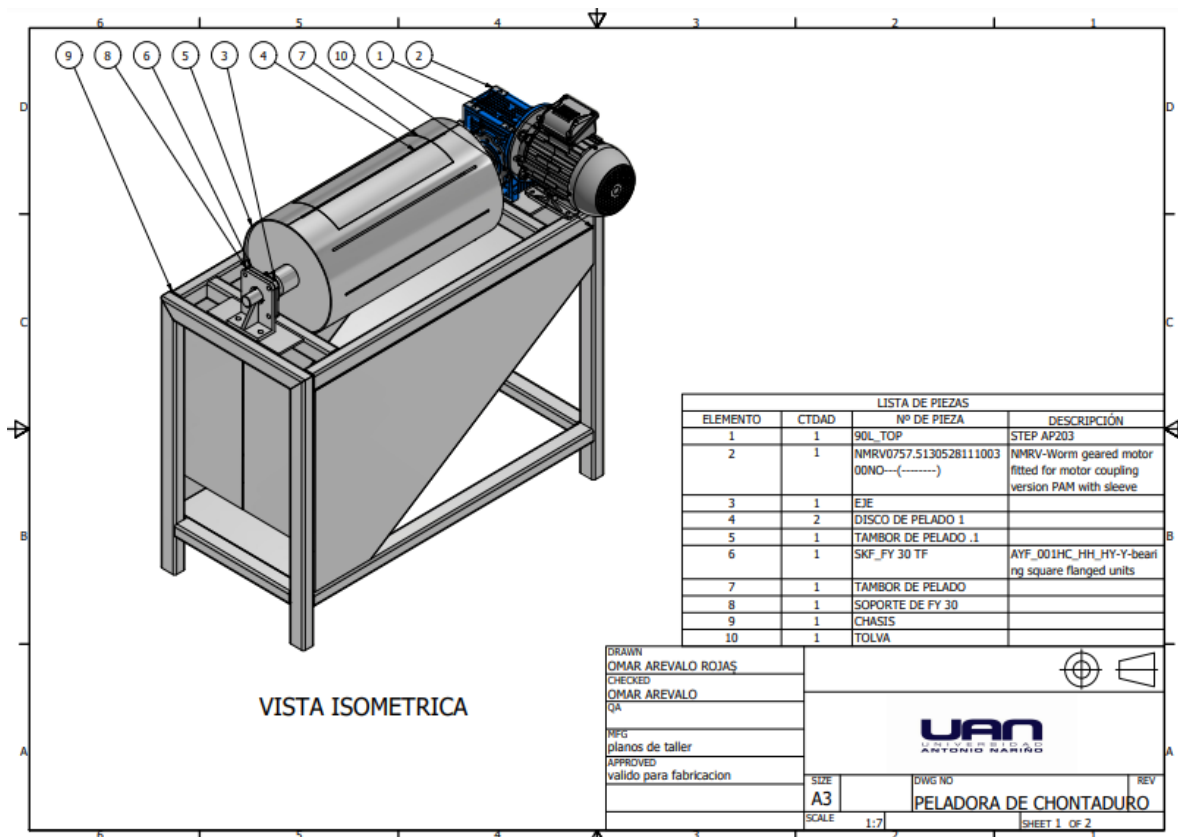
1. Se diseña un prototipo de máquina peladora de chontaduro, la cual contribuye al incremento de la producción de subproductos de 237,6 kg/día a 960 Kg/ día. Se mitigan los riesgos derivados del proceso manual y el personal disponible se asigna a otras actividades de la producción y el control de la calidad.
2. Las características físicas y mecánicas del chontaduro, indican una fruta compuesta por una cáscara, pulpa y almendra, cuyas medidas promedio de longitud es 55,22 mm y ancho 41,25 mm. Posee un peso promedio de 40,18 g y su resistencia al corte es de 23,6431 N.
3. Se determinó, mediante el análisis dinámico y estático, la metodología Von Mises y el Software Autodesk Inventor, que las cargas fundamentales que intervienen son: el peso de la tolva, el peso del motorreductor, el peso de la carga útil (Chontaduro) y el peso del tambor de abrasión para el pelado.
4. Se determinó mediante la simulación del tambor de abrasión, que el esfuerzo máximo se concentra en el área exterior y su valor es de 10,74 MPa, encontrándose por debajo del máximo permisible del material. El desplazamiento máximo entre el tambor y el chasis es de 0.1131 mm. El coeficiente de seguridad del tambor es de 7.51, resultando confiable y satisfactorio bajo las condiciones de estudio.
5. La simulación del chasis, evidenció que el máximo esfuerzo es de 11,63 MPa y se encuentra en las placas de soporte del chasis; por debajo del esfuerzo máximo permisible del material. El desplazamiento máximo del chasis, es de 0.05 mm y el coeficiente de seguridad es de 7.2, por lo tanto, es apto en todos los casos, para su operación, sin representar riesgo de cizallamiento o rotura, según las condiciones de estudio.

Recomendaciones

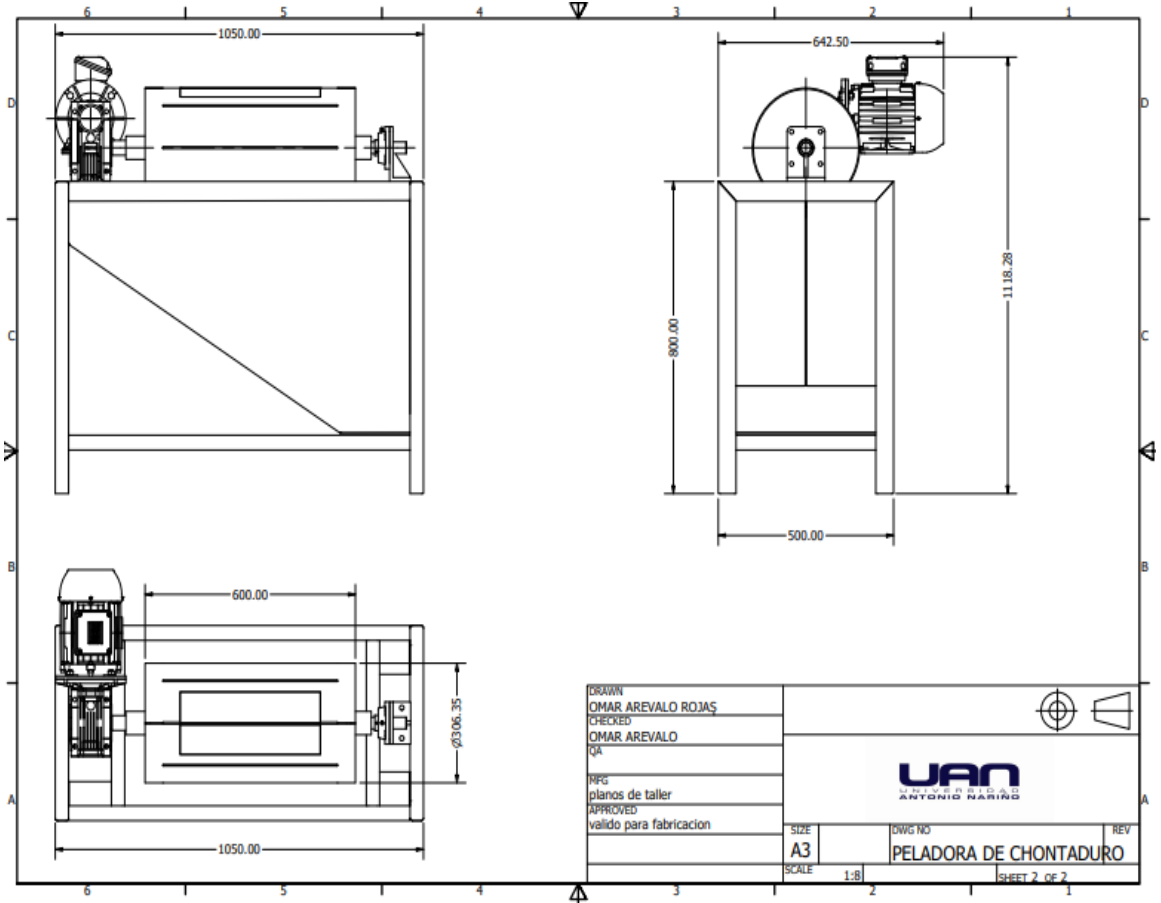
1. Se recomienda evaluar el secado del chontaduro antes de iniciar la abrasión.
2. Diseñar un mecanismo de paro de emergencia que permita actuar en caso de un eventual incidente a nivel de seguridad operacional que pueda comprometer la integridad física de la persona.
3. Evaluar el desempeño del prototipo y establecer un análisis de vida útil del mismo para determinar relación costo/ beneficio. Elaborar un manual de operación y mantenimiento.
4. Actualizar el manual de operación y mantenimiento una vez se construya la maquina; esto debido a cambios en su propio diseño, materiales o componentes.

Anexo

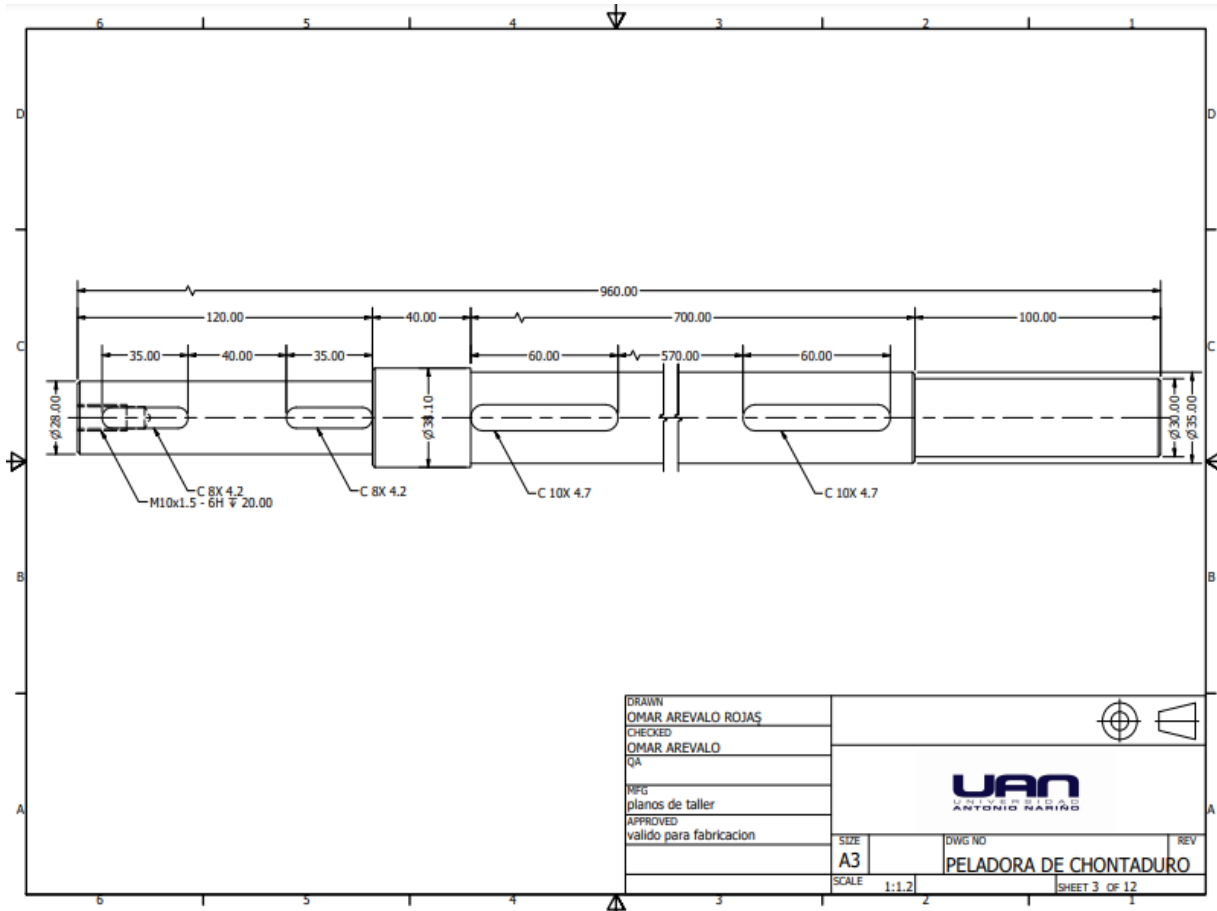
A. Anexo a: Isométrico de máquina peladora de chontaduro



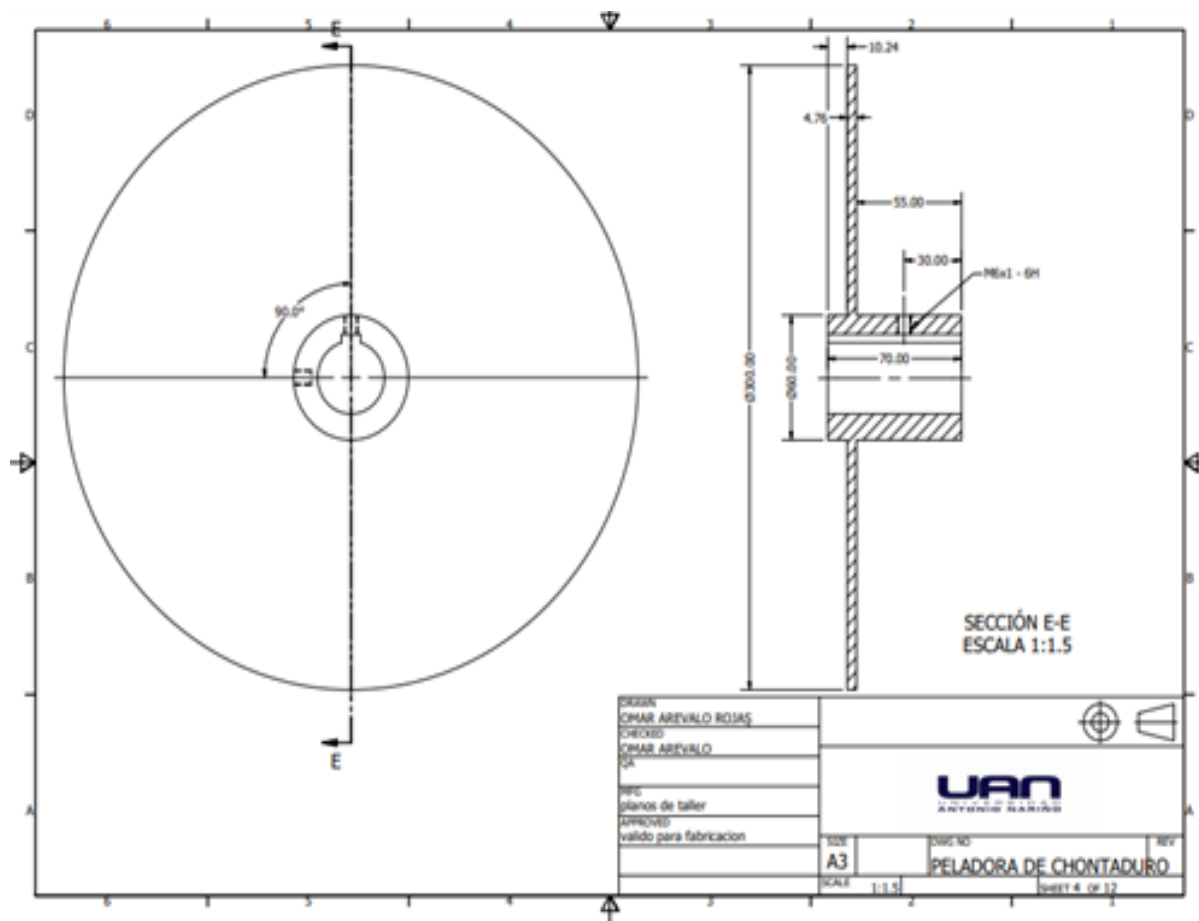
B. Anexo B: Vista lateral, frontal y vertical de máquina peladora.



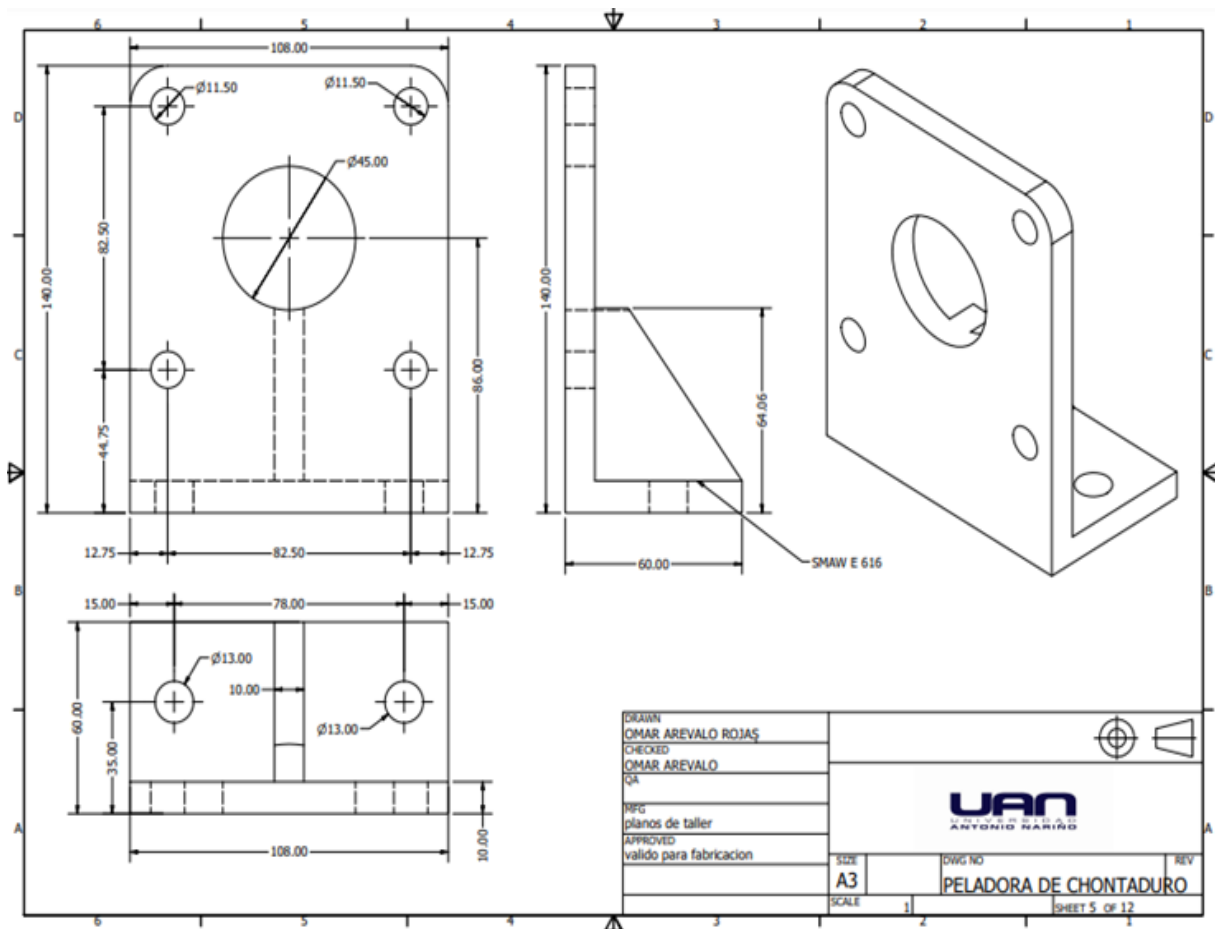
C. Anexo C: Vista lateral eje



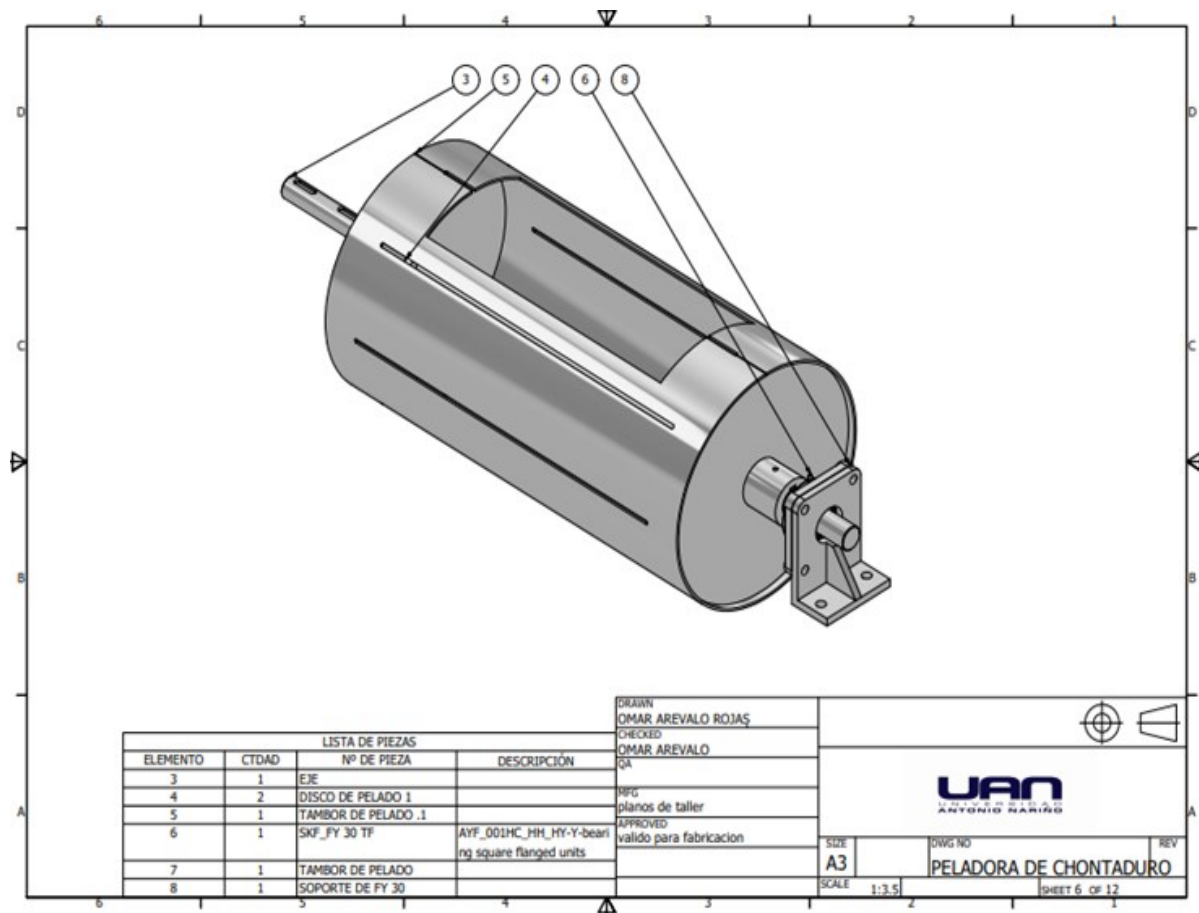
D. Anexo D: Vista lateral tambor de abrasión.



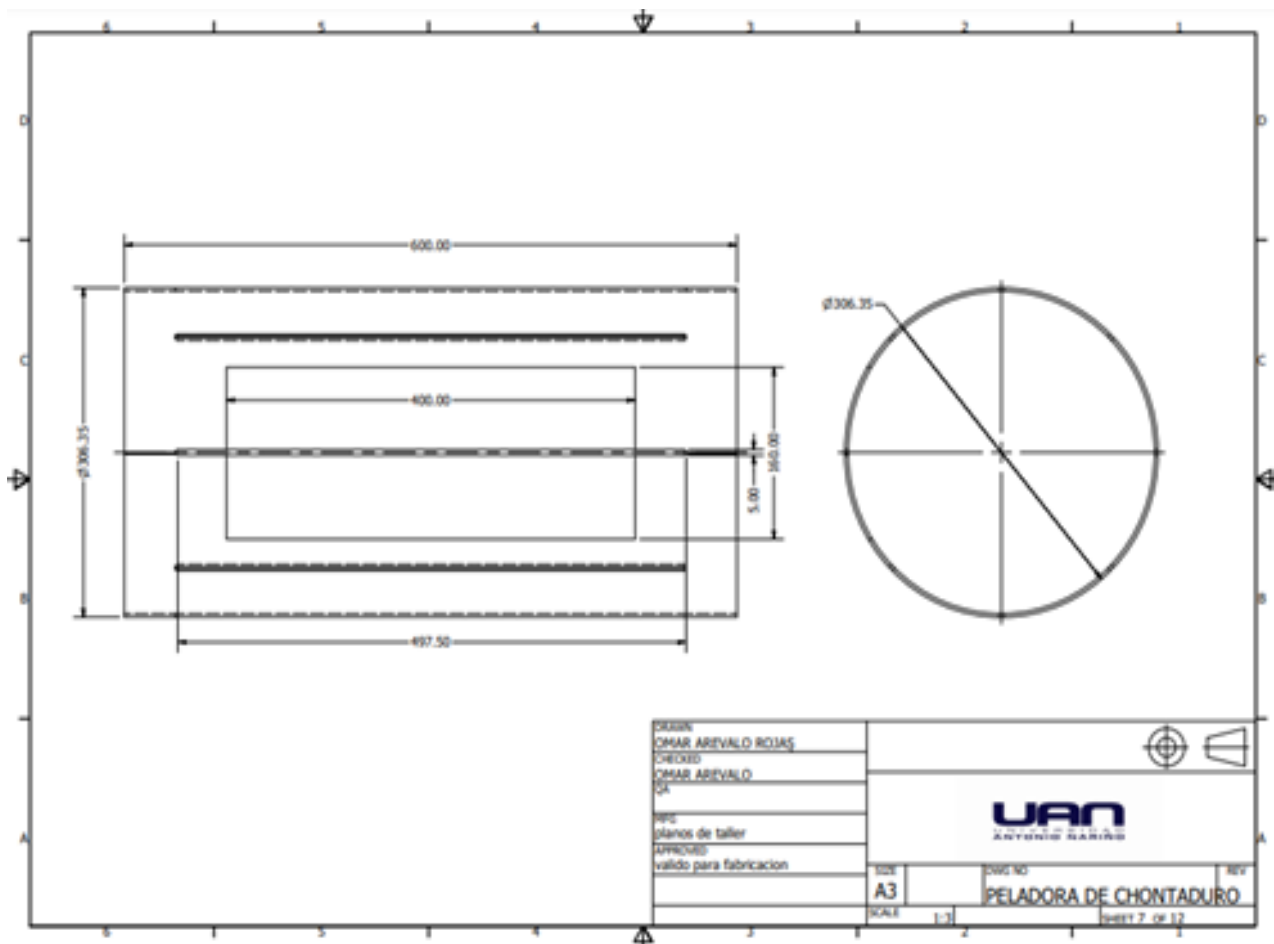
E. Anexo E: Soporte eje



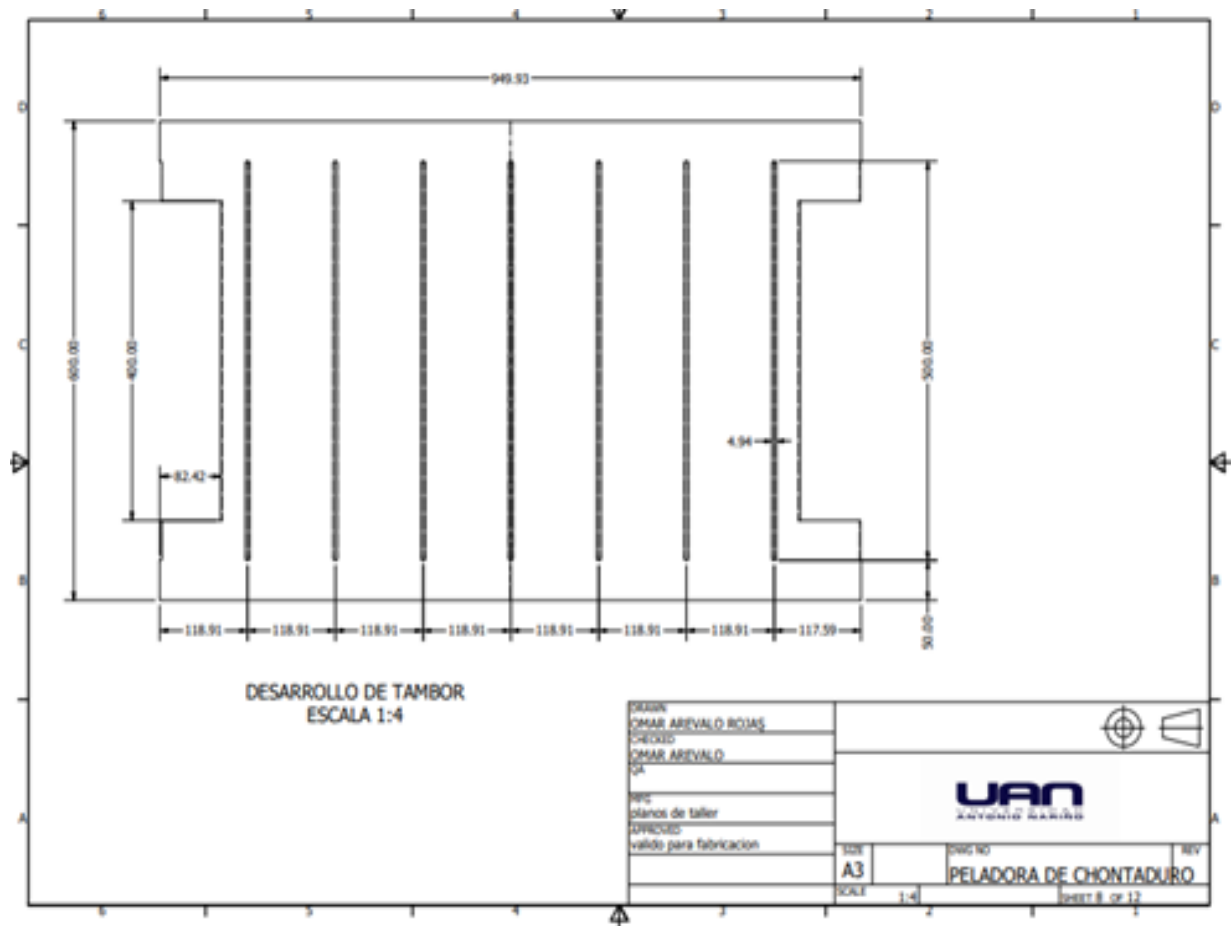
F. Anexo F: Componentes del tambor de abrasión



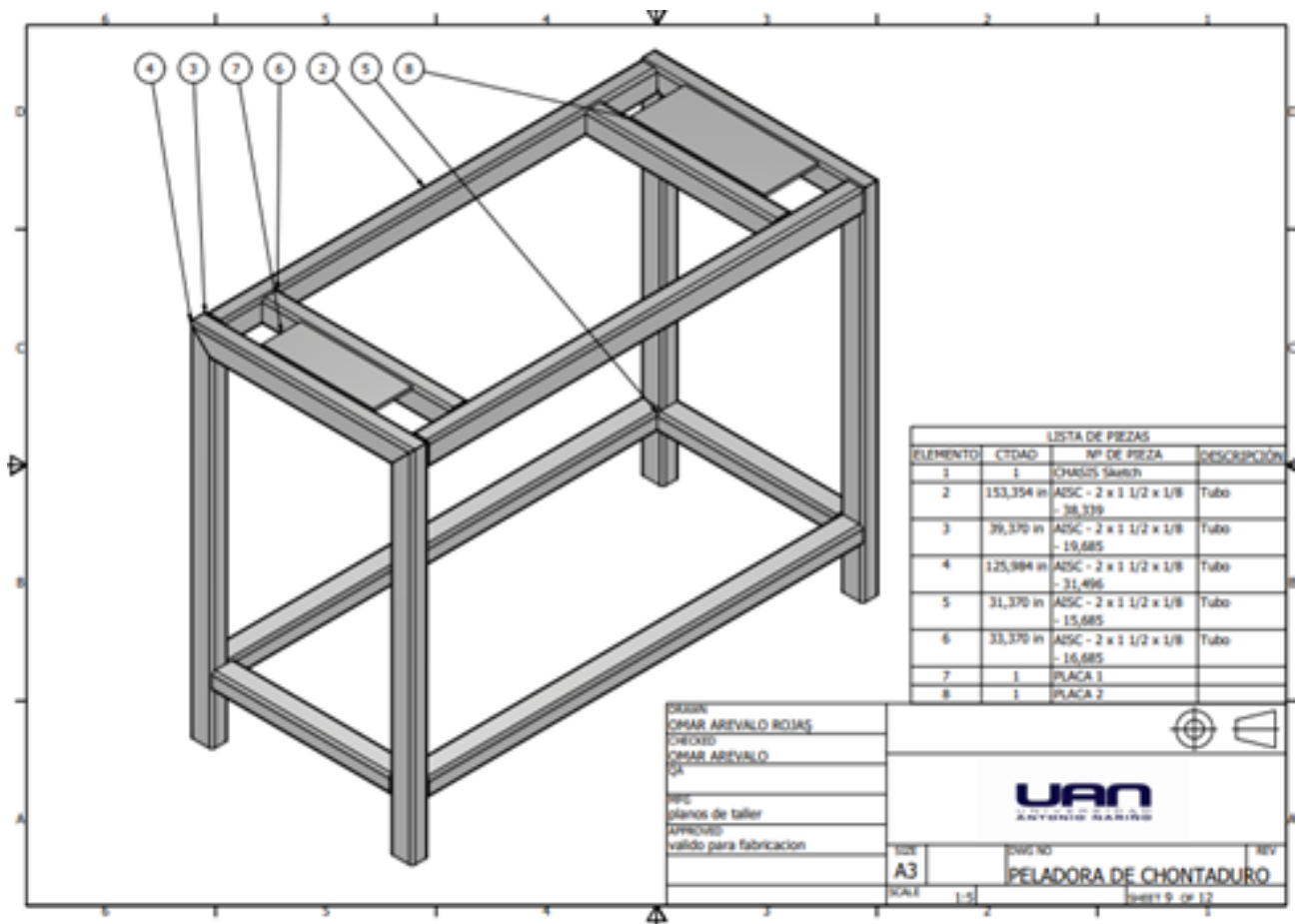
G. Anexo G: Vista lateral tambor



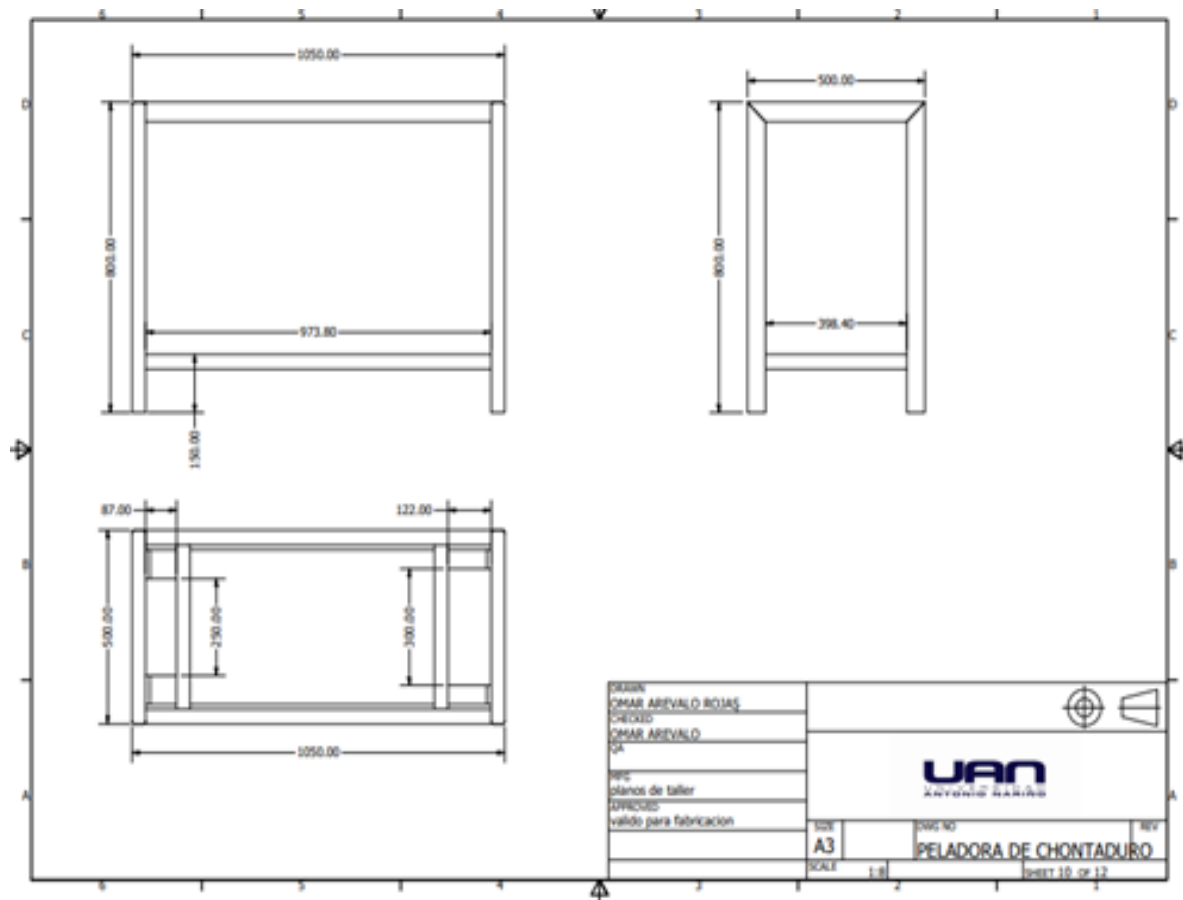
H. Anexo H: Desarrollo del tambor de abrasión



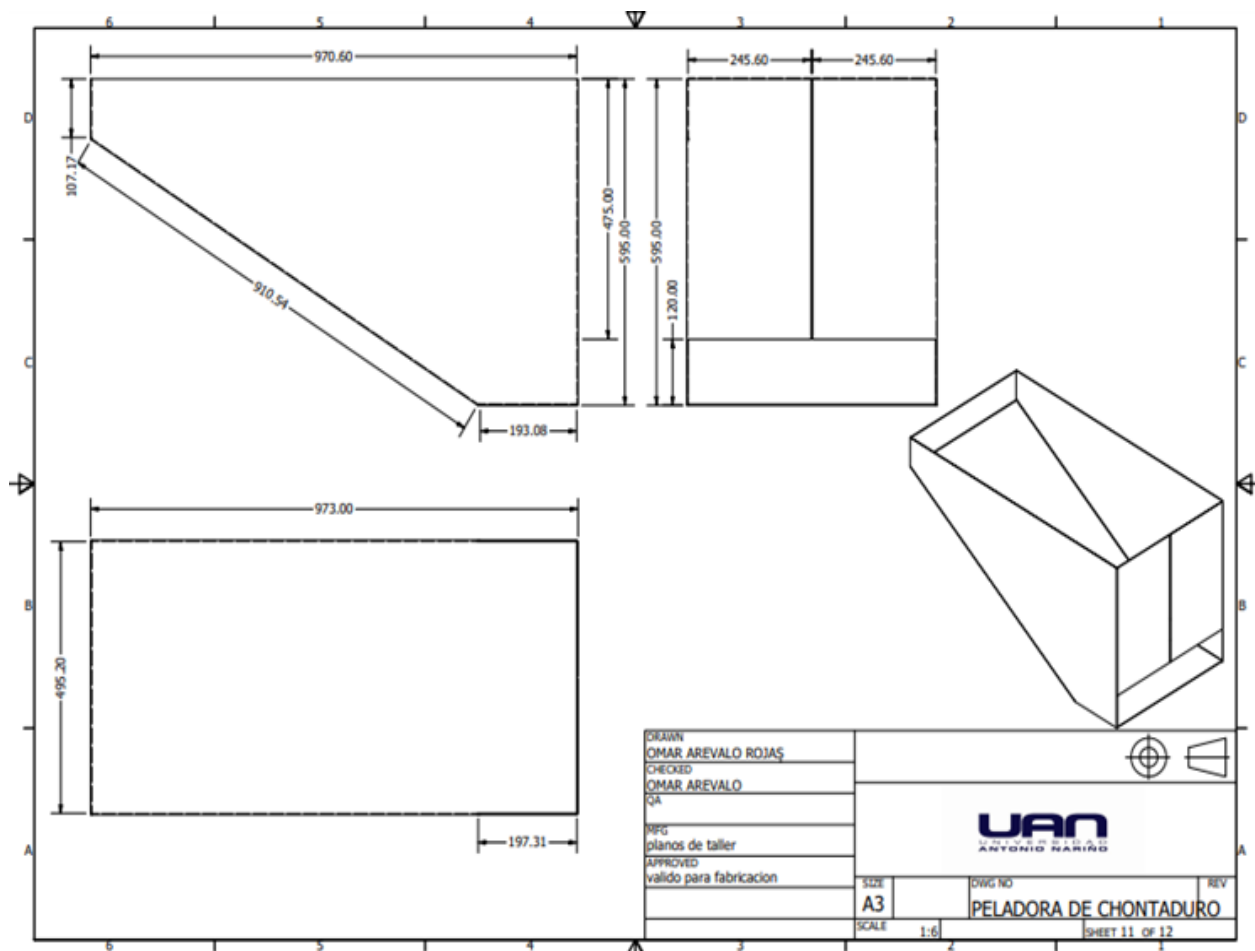
I. Anexo I: Chasis o estructura



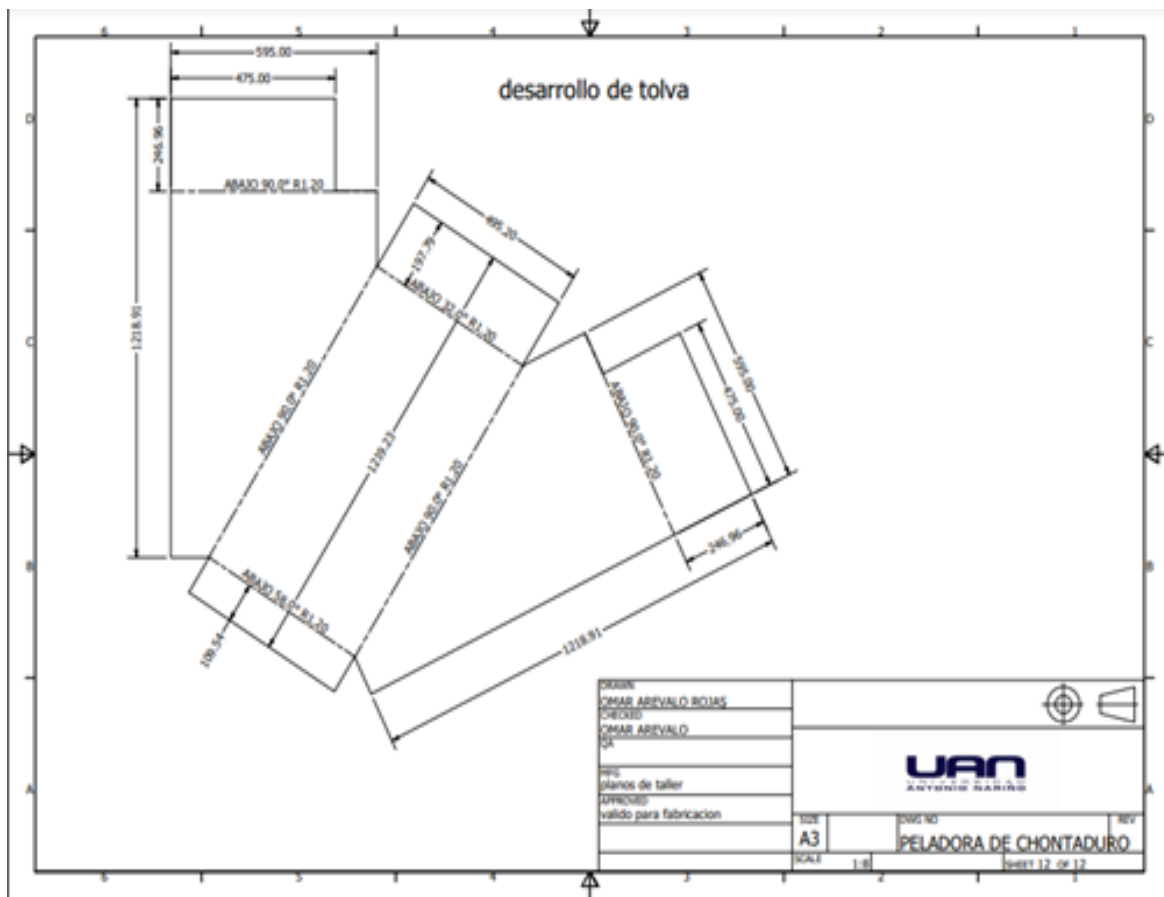
J. Anexo J: Vista lateral, vertical y frontal de chasis



K. Anexo k: Vista lateral, vertical y frontal e isométrica tolva

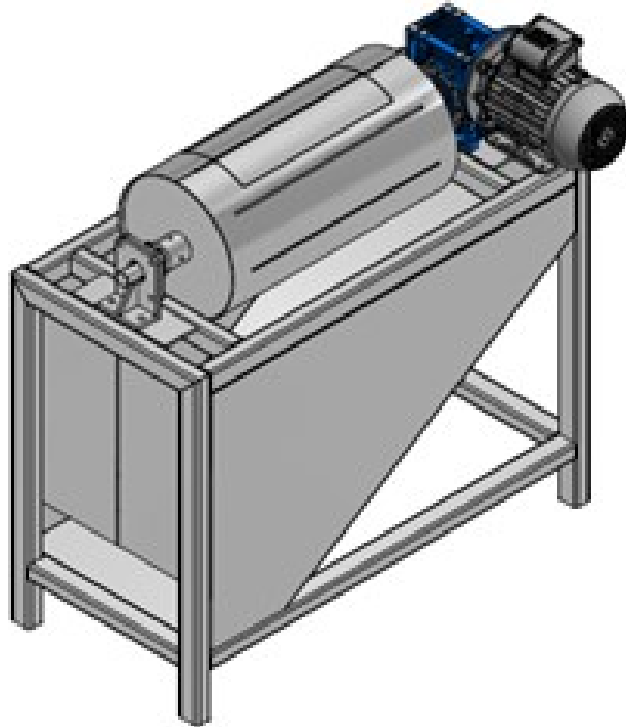


L. Anexo L: Desarrollo de tolva para residuos



M. Anexo M: Manual preliminar de operación y mantenimiento máquina peladora de chontaduro

Manual de operación y mantenimiento para máquina peladora de chontaduro D1



Versión 01, mayo de 2021

Autor: Omar Andrés Arévalo Rojas

Coautor: Ph. D, Ingeniero Karel Joel Arencibia Avila

Contenido

	Pág.
1. Introducción	59
2. Información de la máquina.....	59
3. Descripción General	60
3.1. Aspectos técnicos de operación.....	60
4. Características constructivas	62
5. Precauciones para mantenimiento preventivo	62
6. Operación de mantenimiento Máquina peladora de Chontaduro.....	63

1. Introducción

Este manual ha sido elaborado con el fin de proporcionar información clara y precisa, que permita al cliente poder operarla, desarrollar un plan de mantenimiento preventivo sobre el cuidado de la máquina y algunas recomendaciones de seguridad industrial para su(s) operador (es).

Este manual se debe proporcionar a todo el personal que va a utilizar o hacer mantenimiento a la máquina.

2. Información de la máquina

Precauciones generales

- ✓ El equipo sólo debe ser utilizado por personal debidamente capacitado y entrenado; debe contar con la dotación de EPP necesaria como se indica en la imagen 1 a continuación:

Ilustración 1. Elementos de protección personal (EPP)

Cara y cabeza	Guantes	Gafas	Protector auditivo	Vestuario	Botas
					
Caretta protectora facial borde aluminio, especial operación equipos y maquinarias	Camaza: Especial para operar equipos	Monogafa de protección 3M	C145 Earsoft detectable, tapón a presión para 60 Decibeles	Overol enterizo Ignífugo para trabajo pesado	Bota media caña de seguridad, Dieléctrica, antideslizante

Fuente: ARL Sura

- ✓ Si hay una rotación del personal, se proporcionará sin demora una formación adecuada para el nuevo personal, ya que de esto depende la buena operación del equipo
- ✓ Evite colocar las manos cerca de partes móviles y evite tocar la máquina con las manos mojadas o húmedas.
- ✓ Antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento y limpieza, desconecte el enchufe de la máquina de la toma eléctrica.
- ✓ Al trabajar por razones de mantenimiento o limpieza (quite las protecciones) evalúe cuidadosamente los riesgos residuales.

- ✓ Durante el mantenimiento o la limpieza siempre deben concentrarse en la operación en curso.
- ✓ Revise regularmente el estado del cable de alimentación (desenrolle completamente el cable, evitando torcerlo, es aconsejable evitar riesgos potenciales); un cable gastado o roto puede presentar un peligro grave de tipo eléctrico; evitar comprimir el alambre con algún peso, dejándolo en contacto con superficies calientes o cortantes y tirando de él para desenchufarlo de la corriente.
- ✓ Si la máquina muestra signos de mal comportamiento o no trabaja, no la use ni intente repararla; póngase en contacto con el “Fabricante.
- ✓ La máquina solo debe utilizarse para pelado de chontaduro

El fabricante no es responsable en los siguientes casos:

- ✓ Si la máquina no se utiliza correctamente o los dispositivos de seguridad son instalados por personal no autorizado.
- ✓ Si los componentes se reemplazan con piezas no originales o sugeridas por el fabricante.
- ✓ Si las instrucciones de este manual no se siguen cuidadosamente.
- ✓ Si las superficies de la máquina son tratadas con productos inadecuados (sustancias inflamables, corrosivas o nocivas)

3. Descripción General

La máquina D1 (Diseño uno), ha sido diseñada con el objetivo preciso de pelar la fruta de chontaduro; lo cual implica:

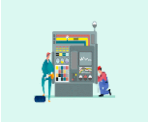


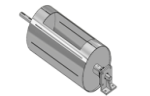

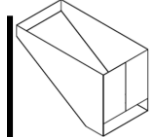
- ✓ Máxima seguridad durante el uso, limpieza y mantenimiento.
- ✓ Máxima higiene, el resultado de la cuidadosa selección de materiales que entran en contacto con la fruta de chontaduro.
- ✓ Todos los componentes son sólidos y estables.
- ✓ Nivel de ruido bajo.

3.1. Aspectos técnicos de operación

- Operación máquina

Para operar la máquina peladora de chontaduro debe tener en cuenta la siguiente secuencia para su manipulación:

Ilustración 2. Pasos para operación Máquina peladora de chontaduro

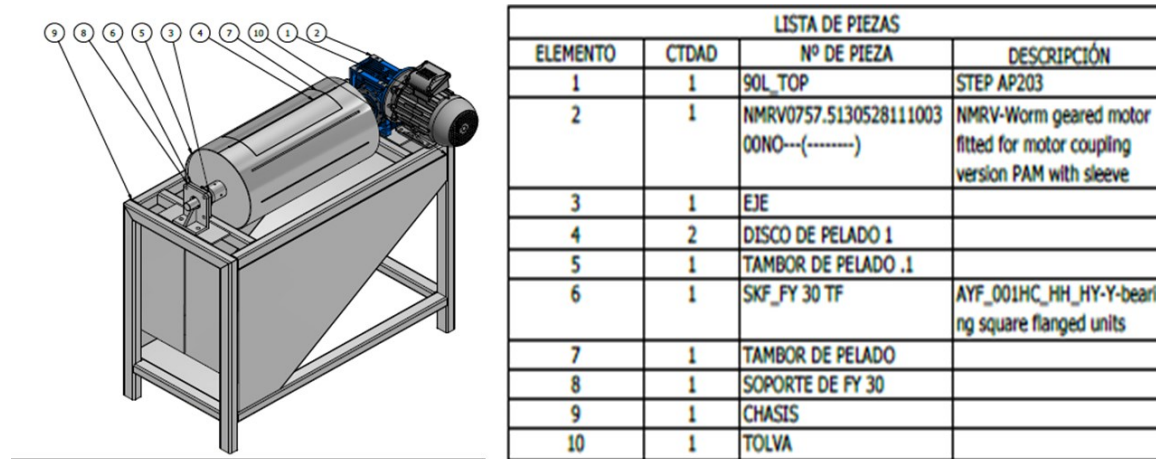
Operación	Forma
Inspeccione la máquina y verifique que sus elementos están fijos, que no hay partes móviles o separadas para el caso de la tolva, tambor abrasión, motorreductor	
Conecte el cable a la toma de 220 V, para energizar la máquina	
Presione el botón rojo de encendido	
Abra la tapa del tambor de abrasión y vacíe la fruta	
Oprima el botón de arranque para iniciar el proceso de pelado	
Pasado 15 minutos la maquina se detendrá	
Retire la cascara resultante del pelado del chontaduro contenida en la tolva	
Retire la tolva con la pulpa.	
Inicie el ciclo de cargue de chontaduro para pelado	

Fuente: Autor

Una vez terminada la operación, asegúrese de que la máquina quede limpia y desinfectada, para el próximo ciclo.

4. Características constructivas

Ilustración 3. Componentes máquinas



Fuente: Autor

5. Precauciones para mantenimiento preventivo

Las Peladoras de chontaduro, es una máquina simple de operar y limpiar, sin embargo, lea las siguientes precauciones para evitar accidentes o perjuicio:

ANTES de limpiar la máquina desconéctela de la red eléctrica.

NUNCA use herramientas que no pertenezcan a la máquina para ayudar en la operación.

NUNCA levante la tapa sin estar el tambor abrasivo completamente parado.

NO coloque las manos en la máquina durante la operación.

NUNCA conecte la máquina a la red eléctrica con las manos o ropas mojadas.

NUNCA tire agua u otro líquido directamente al motor.

SIEMPRE instale el equipo en un área de trabajo con luz y espacio adecuados y lejos de niños y visitantes.

NUNCA opere la máquina sin las calcomanías de Atención y sin el manual de instrucciones al alcance del usuario.

NUNCA deje la máquina trabajando sola.

SIEMPRE opere la máquina correctamente.

NUNCA procese alimentos congelados u otros productos allende papas y zanahorias.

PARE la máquina inmediatamente si usted escuchar ruidos anormales o sentir que accidentes puedan ocurrir

6. Operación de mantenimiento Máquina peladora de Chontaduro

Las labores de mantenimiento de la máquina implican:

Componente	Tipo de mantenimiento		Descripción Mantenimiento	
	Preventivo	Correctivo	Tipo de mantenimiento	Frecuencia
Motor	x		<p>El mantenimiento de los motores eléctricos, adecuadamente aplicado, se resume a una inspección periódica en cuanto a los niveles de aislamiento, elevación de temperatura, desgastes excesivos, correcta lubricación de los rodamientos</p> <p>La frecuencia con que deben ser hechas las inspecciones, depende del tipo de motor y de las condiciones del local de aplicación del motor. Los motores deben ser mantenidos limpios, exentos de polvo, residuos y aceites.</p> <p>a) Para la limpieza proceder como sigue, luego de desconectar la energía:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limpiar la carcasa colocando especial atención a las aberturas de ventilación. - Inspeccionar visualmente el estado de los cables. - Sacar la cubierta de la caja de terminales. - Chequear las conexiones y estado (terminales limpios, ajustados y sin oxidación) - Ajustar los cables si es necesario. - Cuidadosamente cerrar la caja de terminales cambiando todos los sellos 	<p>Limpieza exterior cada mes, limpieza interior según descripción planteada cada 6 meses</p>
Rodamientos	x	x	Limpieza rodamientos Y lubricación	<p>Lubricación cada 2000 horas y Cambio 30.000 horas</p>

Poleas	x	x	Limpieza poleas, para ello se debe desmontar la correa y las guardas de la polea. Alineación de poleas, en caso de se observe un bote en la transmisión del movimiento.	Cambio 30.000 horas
--------	---	---	---	---------------------

Fuente: Autor

I	Tipo de mantenimiento		Descripción Mantenimiento	
	Preventivo	Correctivo	Tipo de mantenimiento	Frecuencia
Correa		x	Tensión o Cambio de correa	cada 10.000 horas
Sistema de transmisión	x		Se requerirá una inspección registrada y actualizada del balanceo, lubricación, tensión de la correa y pintura. Chequear y limpiar todos los componentes Chequear todas las partes por desgastes y desalineaciones, reparar o reemplazar si es necesario; limpiar las partes internas de la carcasa.	
Reducción concéntrica	x		Limpieza sección y revisión de ajuste en tornillos	
Tolva	x		Limpieza y aseo de tambor para evitar contaminación cruzada	

Fuente: Autor

IMPORTANTE: Sobre ninguna circunstancia ponga las manos sobre el tambor abrasivo durante la operación o intente descargar el producto contenido en el tambor.

Bibliografía

1. **CORPOICA.** *El Cultivo del Chontaduro.* Bogotá : CORPOICA, 2006.
2. **García G, Nicolás M, Villalobos P, Silvana P y Moya B, Sneider.** *Design of a cocoyam peeling machine for low income communities in Cameroon.* Brranquilla : U. Del Norte, 2020.
3. **Fenghe, Wang, Yechun, Ding y Deyong, Yang.** *Design and experimental study of a separating machine for seed and peel of camellia oleifera fruit.* Beijing (China) : Science direct, 2019.
4. **Romero, Blanca.** *Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo.* Barcelona (España) : UPC, 2018.
5. **Chapoñan H, Jhoseth H.** *Diseño de una máquina peladora de corteza de caña de azúcar con capacidad de 200 kg/h para la distribuidora “Burgos” – Lambayeque.* Lambayeque (Perú) : USS, 2019.
6. **Leiton H, Jimmy A y Meneses M, Diego.** *Diseño y construcción de una peladora de frutas con potencia de un hp para la microempresa el salinerito.* Quito (Ecuador) : U. Politecnica, 2019.
7. **Erazo C, Vanessa.** *Maquina peladora rotatoria de maní tostado para la industria artesanal.* Ibarra (Ecuador) : UTN, 2018.
8. **Granja M, Elvi.** *Diseño de prototipo para remover corteza de coco.* Bucarmanga : U. Santo thomas, 2019.
9. **Montoya G, Jairo O, Patiño F, Álvaro A y Rubiano F, José L.** *Máquina automática procesadora de papa.* Bogotá : U. La Salle, 2015.
10. **Quintero, Mauricio y Martínez, Jader.** *Harina de chontaduro: una solución alimenticia durante la pandemia.* Bogotá : Univalle, 2020.
11. **usmp.** [En línea] 2 de Mayo de 2020. [Citado el: 13 de Marzo de 2021.] https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/MOTORES_ELECTRICOS_PARA_LA_IN.pdf.

12. **DoğuşTuncerbCeylinŞirinbHüseyinUstac, İsmailKırbaşaAzim.** *Modeling and developing a smart interface for various drying methods of pomelo fruit (Citrus maxima) peel using machine learning approaches.* Ankara, Turkey : Science direct, 2019.
13. **Agronet.** El Cultivo de chontaduro. [En línea] 12 de Febrero de 1996. [Citado el: 18 de Febrero de 2021.]
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4909/2/EI%20cultivo%20de%20chontaduro.pdf>.
14. *El chontaduro, una fuente alimenticia desconocida de alto valor nutricional.* **Revista Científica.** 2009, Revista Científica, págs. 3-15.
15. *Ciencia y tecnología al servicio de las frutas y verduras.* **Consumer.** 25, 2012, Consumer, Vol. 3, págs. 4-7.
16. **SENA.** SENA. [En línea] SENA, 12 de Marzo de 2015. [Citado el: 29 de Abril de 2020.] https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol7/volumen07.html#.
17. **Matienzo, benjámín.** sites.google.com/. *sites.google.com/*. [En línea] 12 de Junio de 2011. [Citado el: 23 de Marzo de 2021.]
<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>. 279.
18. **Daza, Jhon A, Rodríguez, José L y Mosquera, Silvio Andres.** *Cambios fisiológicos, texturales y fisicoquímicos de dos variedades de chontaduro.* Popayan (Colombia) : U.del cauca, 2015.
19. *Caracterización fisicoquímica y nutricional de pasabocas de chontaduro.* Florencia (Colombia) : UNAD, 2020.
20. **Myszca, David.** *Maquinas y mecanismos.* Mexico D.f. : Pearson, 4 ta edicion, 2012.
21. **Molt, Robert.** *Diseño de Elemtnos de Maquina. Diseño de ejes.* Dayton : Pearson, 2006, págs. 540-551.
22. **Budunas, Richard y Keith N, j.** *Diseño en ingeniria mecanica de Shigley. Diseño en ingeniria mecanica de Shigley.* New york : Mc Graw Hill, 2014, págs. 99-100.
23. **Guarneros, Ninde.** *Meodos de extraccion de pulpa en frutos.* Lima (Perú) : independent, 2014.
24. **lenntech.** lenntech. [En línea] lenntech, 12 de Enero de 2017. [Citado el: 28 de Abril de 2020.] <https://www.lenntech.es/centrifugacion.htm>.
25. **euston96.** euston96. [En línea] euston96, 2 de Septiembre de 2019. [Citado el: 28 de Abril de 2020.] <https://www.euston96.com/fuerza-centrifuga/>.

