



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MECATRÓNICA**

TEMA

**“PROTOTIPO DE MÁQUINA PELADORA DE SEMILLA DE TAGUA PARA
INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL”.**

AUTOR

PINEDA DE LA TORRE RICHARD JEFERSON

DIRECTOR

ING. VALENCIA FERNANDO. MSC.

Ibarra - Ecuador

Diciembre 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100341296-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pineda De La Torre Richard Jeferson		
DIRECCIÓN:	Pucará De San Roque, panamericana antigua y calle Benito Juárez		
EMAIL:	ripinedad@utn.edu.ec - richipdlt92@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062693030	TELÉFONO MÓVIL:	0988422386

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"PROTOTIPO DE MÁQUINA PELADORA DE SEMILLA DE TAGUA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL".
AUTOR (ES):	Pineda De La Torre Richard Jeferson
FECHA: DD/MM/AAAA	11/12/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Fernando Valencia

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de diciembre de 2020

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Pineda De La Torre Richard J.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico, que el proyecto de titulación denominado "PROTOTIPO DE MÁQUINA PELADORA DE SEMILLA DE TAGUA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL". fue desarrollado por Pineda De La Torre Richard Jeferson, bajo mi supervisión para la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.



Firmado electrónicamente por:
FERNANDO VINICIO
VALENCIA AGUIRRE

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a nuestro Padre Celestial y a su hijo Jesucristo, por brindarnos la oportunidad de adquirir experiencias, conocimientos e inteligencia, las cuales nos permiten realizar planes, ponernos metas y cumplir objetivos a lo largo de nuestra vida.

Agradezco infinitamente a todos mis familiares, en especial a mi madre “Yolanda de la Torre” y mi tío “Orlando de la Torre”, quien con su amor y paciencia permitieron que línea por línea, de centavo en centavo, llegue a cumplir una de mis más grandes metas, no obstante, no hay palabras aptas para expresar todo el sentimiento de gratitud por el esfuerzo y el sacrificio abnegado.

Tengo un sentimiento de gratitud hacia todos los líderes, docentes, maestros, amigos y compañeros quienes me compartieron e impartieron, los conocimientos, consejos y valores que lo practican a diario; y a pesar de que somos imperfectos todos y cada uno de nosotros seguimos luchando por cumplir nuestras metas y brindar servicio a quienes nos rodean.

Por último, agradezco a la Universidad Técnica del Norte por ser mi segundo hogar durante los años de estudios y a mi tutor por ser una guía hacia la meta de titulación. Gratitud por siempre.

Richard J. Pineda de la Torre

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que más admiró por su amor y esfuerzo por quienes los rodean. Mi mamá “Yolanda De la Torre” y a mis tíos “Orlando y Eusebio De la Torre”, son las personas que, a pesar del tiempo demorado y los fracasos que he cometido; con sus apoyos discretos, la alimentación espiritual, temporal que me brindaron y todos los sacrificios que realizaron a diario me permiten cumplir con la meta de tener un título profesional en este país. Sus esfuerzos jamás tendrán un precio, con la cual les pueda pagar.

Richard J. Pineda De la Torre

RESUMEN

Los procesos que actualmente se aplican en el país para extraer la piel de las semillas de tagua en su gran mayoría son completamente manuales y se complementan con el uso de herramientas de impacto y corte, como el cuchillo y el combo de madera. Al tener la semilla de tagua una dimensión de 50 a 70 mm, se realiza el proceso de retiro de cáscara repetitivamente durante toda la jornada laboral, afectando la salud y sufriendo lesiones músculo-esqueléticas por incorrectas condiciones ergonómicas en su proceso. Actualmente este proceso de pelado no cuenta con un sistema automatizado, por ende, al ser el pelado manual, los artesanos consumen gran cantidad de energía las tres primeras horas de su jornada laboral diaria, por lo que este trabajo no produce grandes beneficios al terminar su jornada. El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal realizar el prototipo de máquina peladora de semilla de tagua para incrementar la producción artesanal de forma automatizada, evitando el contacto entre el obrero y las semillas, mejorando el tiempo de pelado y evitando el riesgo de sufrir lesiones.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ABREVIATURAS.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Alcance.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. Marco teórico.....	6
2.1. Taguas.....	6
2.1.1. Características.....	6
2.1.2. Proceso primario de producción.....	7
2.1.3. Proceso secundario de producción.....	7
2.1.4. Comercialización de la tagua.....	8
CAPÍTULO 3.....	9
3. Metodología del diseño.....	9

3.1.	Análisis de alternativas de solución	9
3.1.1.	Evaluación de las alternativas de solución para el proceso de pelado.....	9
3.2.	Evaluación de las alternativas de solución para el pelado abrasivo.....	16
3.3.	Sistema mecánico.....	20
3.4.	Sistema eléctrico	21
3.5.	Máquina peladora de tagua y los sistemas que lo conforman	21
3.5.1.	Potencia requerida de la máquina.....	23
3.5.2.	Diseño de la tolva de alimentación para el sistema.....	27
3.5.3.	Cálculo de potencia de pelado.....	31
3.5.4.	Selección del motor	43
3.5.5.	Selección de transmisión	49
3.5.6.	Diseño del eje estático	55
3.5.7.	Selección de chumacera.....	68
3.5.8.	Análisis Estructural.....	69
3.5.9.	Sistema de encendido.	70
CAPÍTULO 4.....		72
4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	72
4.1.	Montaje físico de la máquina	72
4.1.1.	Tolva de Entrada.....	73
4.1.2.	Estructura de la máquina	74
4.1.3.	Cilindro y tapas.....	75
4.1.4.	Malla electrosoldada.....	76
4.1.5.	Salida de semilla de tagua	76
4.1.6.	Tolva de salida de la cáscara de tagua.....	76
4.1.7.	Eje de la maquina	77

4.2.	Análisis de resultados en el diseño final	77
4.3.	Análisis de costos del proyecto.	79
4.3.1.	Costos directos.....	79
4.3.2.	Costos indirectos.....	79
4.3.3.	Costo Total	80
4.4.	Análisis del Costo-Beneficio.....	80
4.4.1.	Análisis del sistema de pelado manual.	80
4.4.2.	Análisis del sistema de pelado automático.	81
CAPÍTULO 5		82
5.	Conclusiones y Recomendaciones del Proyecto	82
5.1.	Conclusiones	82
5.2.	Recomendaciones.....	86
ANEXOS.....		90

SIMBOLOGÍA

A_t	Ancho de la tagua
E_t	Espesor de la tagua
h	Hora
seg	Segundos
Kg	Kilogramo
m	Metro
mm	Milímetro
Ta_t	Producción neta
Ta_q	Taguas por quintal
n	Taza de producción por lotes
Tt_{in}	Tiempo de llenado de tolva
Tt_{out}	Tiempo de vaciado de tolva
T_t	Tiempo de pelado
W_t	Peso unitario de la tagua
L_t	Longitud de la tagua
V_t	Volumen de la tagua
P	Potencia requerida para el proceso de pelado
K_k	Constante de kicks
F_f	Fuerza de arranque o fricción
L_1	Longitud nominal inicial
L_2	Longitud nominal final
$P_{diseño}$	Potencia real del motor
P_{motor}	Potencia ideal del motor
F_s	Factor de servicio
W_{motor}	Velocidad de rotación del motor
i	Factor de reducción de velocidad
H_{tolva}	Profundidad de la tolva
A_{tolva}	Altura de la tolva
V_{tolva}	Volumen de la tolva

V_c	Volumen del cilindro
D_{int}	Diámetro interno del cilindro
V_{cil}	Volumen del cilindro
L_{cil}	Longitud del cilindro
F_{tagua}	Fuerza que ejerce la tagua
$P_{interna}$	Presión interna
E_{cil}	Espesor del cilindro
E_{sol}	Eficiencia de soldadura
W	Velocidad Angular
W_o	Velocidad Angular inicial
M	Momento
$M_{flector}$	Momento flector
S	Esfuerzo permisible
I	Inercia de todas las masas
M_{torsor}	Momento torsor
S_y	Resistencia a la fluencia
S_{ut}	Resistencia a la rotura en tracción
σ_a	Esfuerzo de tensión
τ_{xy}	Esfuerzo cortante
S_e	Límite de resistencia a la fatiga
F_c	Fuerza de corte que se ejerce sobre el prisionero
Amp	Amperios

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Partes de la tagua	7
Fig. 2.2 Secado de la Tagua	8
Fig. 3.1 Pelado manual de la tagua.....	9
Fig. 3.2 Diagrama del pelado manual de la tagua	10
Fig. 3.3 Máquina peladora con cámara de paredes abrasivas	11
Fig. 3.4 Diagrama de pelado con cámara de paredes abrasivas	12
Fig. 3.5 Máquina con escobillas abrasivas	13
Fig. 3.6 Diagrama de pelado con escobillas abrasivas	14
Fig. 3.7 Máquina de cilindro reforzado y eje con cadenas giratorias.....	15
Fig. 3.8 máquina de cilindro reforzado.	15
Fig. 3.9 Diagrama de flujo de sistema mecánico	20
Fig. 3.10 Diagrama de sistema eléctrico	21
Fig. 3.11 Metodología de diseño y componentes de la máquina	22
Fig. 3.12 Requerimiento de fuerza en dinamómetro digital.....	26
Fig. 3.13 Angulo de reposo	27
Fig. 3.14 Angulo de inclinación de la tolva	27
Fig. 3.15 Posicionamiento del perno.....	30
Fig. 3.16 Selección del Perno.....	30
Fig. 3.17 Bosquejo del cilindro	33
Fig. 3.18 Diagrama del cuerpo libre de la viga uniformemente distribuida.....	39
Fig. 3.19 Vigas perfectamente empotradas.	40
Fig. 3.20 Secciones circulares huecas	41
Fig. 3.21 Características del motor.....	47
Fig. 3.22 Factor de Seguridad	48
Fig. 3.23 Selección de banda en función de la potencia de diseño y la velocidad.....	52
Fig. 3.24 Diagrama de cuerpo libre del eje	56
Fig. 3.25 Diagramas de: Cuerpo Libre, Fuerza Cortante, Momento Flector y Momento Torsor ..	59
Fig. 3.26 Esfuerzos en las secciones críticas del eje	60

Fig. 3.27 Elipse de la teoría de la energía de distorsión.....	62
Fig. 3.28 Variación de esfuerzos en el tiempo	63
Fig. 3.29 Prisioneros de sujeción	66
Fig. 3.30 Chumacera de piso.....	68
Fig. 3.31 Características de la chumacera	69
Fig. 3.32 Resultado de la deformación en carga estática	70
Fig. 3.33 Circuito de fuerza.....	70
Fig. 3.34 Circuito de control	71
Fig. 4.1 Tolva diseñada en SolidWorks	73
Fig. 4.2 Tolva construida.....	73
Fig. 4.3 Suelda de la estructura de la máquina.....	74
Fig. 4.4 Estructura de la máquina terminada.....	74
Fig. 4.5 Construcción del cilindro.....	75
Fig. 4.6 Cilindro con perforaciones.....	75
Fig. 4.7 Construcción de la malla.....	76
Fig. 4.8 Construcción de la salida de semilla de tagua	76
Fig. 4.9 Construcción de la tolva de salida	76
Fig. 4.10 Eje con soldadura de cadenas	77
Fig. 4.11 Prisioneros para sujeción.	77
Fig. 4.12 Máquina peladora de tagua	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Matriz de ponderación.....	17
Tabla 3.2 Evaluación de los requisitos de calidad	18
Tabla 3.3 Parámetros de consideraciones de producto	24
Tabla 3.4 Características de la semilla de tagua.....	25
Tabla 3.5 Resistencia al agrietamiento de la cáscara	26
Tabla 3.6 Universidad De Málaga.....	28
Tabla 3.7 Características de la tolva.....	28
Tabla 3.8 Porcentaje de semilla. Fuerza de pelado.	31
Tabla 3.9 Eficiencia máxima permisible para juntas soldadas.....	35
Tabla 3.10 Propiedades mecánicas del acero AISI 304	36
Tabla 3.11 Características mecánicas del sistema.....	49
Tabla 3.12 características comparativas.....	50
Tabla 3.13 Matriz de decisión.....	51
Tabla 3.14 Diámetro de polea mínimo.....	53
Tabla 3.15 Selección de poleas conducidas	54
Tabla 4.1 Costos directos	79
Tabla 4.2 Costos indirectos	79
Tabla 4.3 Costo Total	80
Tabla 4.4 Tabla Costo-Beneficio en pelado manual	80
Tabla 4.5 Tabla de Costo-Beneficio de un pelado automático.	81
Tabla 5.1 Pruebas de funcionamiento	85

ABREVIATURAS

ISO	Organización Internacional para la Estandarización
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
FS	Factor de servicio
HP	Caballos de fuerza
RPM	Revoluciones por minuto

CAPÍTULO 1

1. Introducción

El siguiente documento muestra el proceso para llevar a cabo el diseño de una máquina peladora de semillas de tagua que permite optimizar el proceso de pelado, sin dañar la semilla de tagua.

Este capítulo comprende la descripción del problema, objetivos, justificación y el alcance en cada una de las etapas del proceso.

El capítulo 2 comprende el marco teórico necesario para el diseño de la máquina, tal como: las características y las especificaciones de la tagua.

En el capítulo 3 se establece la descripción de la metodología del diseño, siguiendo un modelo de proceso estructurado según [1]; inicia con el diseño conceptual, las alternativas y descripción de diseño y los tipos de máquinas peladoras tagua, terminando con la selección de la mejor alternativa. el modelo del sistema, se establece los parámetros de funcionamiento y diseño, detallado del producto final destacando los procesos de fabricación, selección de materiales y normas necesarias para estandarizar y validar dicho diseño. Cada uno de los diseños de los componentes mecánicos se basa en la determinación de factores de seguridad considerando las condiciones en las que trabaja el elemento, relacionando dos parámetros, la resistencia del material y el esfuerzo al que está sometido.

El factor de seguridad permite establecer si un material sometido a esfuerzos mecánicos sufrirá alguna falla o fractura. Por otro lado, toda máquina requiere de una fuente de energía. Los motores eléctricos son muy utilizados para proveer de energía mecánica a una gran cantidad de sistemas, y su potencia se puede determinar relacionando la velocidad de rotación del eje de salida con el respectivo torque que este recibe.

En el Capítulo 4, se realiza el análisis de los resultados, junto a ello el análisis del diseño final, análisis de costos y factibilidad del proyecto. En este capítulo se analiza las limitaciones del diseño obtenido de la metodología, en el análisis de costo se estima el retorno de la inversión y se analizan los índices de rentabilidad.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó después del diseño y la implementación de la peladora de tagua.

1.1.Descripción del problema

En la industria artesanal ubicada en el cantón Otavalo se retira la cáscara de la semilla de tagua manualmente desde hace aproximadamente 12 años. Para poder pelar la semilla de tagua, se utiliza el cuchillo y/o rodillo de madera, como herramienta para el proceso de pelado, debido a su dureza [2] [3].

Al tener la semilla de tagua una dimensión de 50 a 70 mm [2], se realiza el proceso de retiro de cascara repetitivamente durante toda la jornada laboral, afectando la salud y sufriendo lesiones músculo-esqueléticas por incorrectas condiciones ergonómicas en su proceso. [4]

Actualmente tienen una demanda de 2.000 kg de semilla pelada de tagua en sus 5 días de trabajo durante la semana. No obstante, al ser procesada de una manera manual, los artesanos consumen gran cantidad de energía las tres primeras horas de su jornada laboral diaria, por lo que únicamente abastecen del 25% al 30% de la demanda total. Cuyo porcentaje es usado únicamente para producción local.

Los artesanos por lo general se dedican los dos primeros días de la semana en pelar la semilla de tagua ya que las mismas personas son las que realizan los procesos complementarios como son corte, selección, perforación, finalizando el producto al término de la semana [5].

Actualmente la demanda de la semilla de tagua va en aumento, debido a los nuevos usos y descubrimientos de la semilla, dificultando a la industria artesanal cubrir la demanda [6] [7].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Construir un prototipo de máquina peladora de semilla de tagua para incrementar la producción artesanal en la zona de Otavalo.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros principales de pelado de la semilla.
- Diseñar el sistema para el pelado de semilla de tagua.
- Construir la peladora de tagua para incrementar la producción.
- Realizar la prueba de funcionamiento y calibración de la máquina peladora de semilla de tagua.

1.3. Justificación

En la actualidad el pelado de la semilla de tagua se realiza de manera manual lo que ha ocasionado lesiones en los artesanos [5], además por su lentitud no alcanza a cubrir la demanda actual existente en el mercado.

Este proyecto tiene como objetivo realizar la construcción de la máquina peladora de semilla de tagua, que incrementará la producción que actualmente tiene, brindando un valor agregado, llegando también a tener el precio establecido por pelado de tagua. [8] y minimizando las lesiones músculo-esqueléticas por falta de condiciones ergonómicas en su proceso. [4]

Al mejorar la rapidez de servicio de la industria artesanal se logrará la satisfacción del cliente que es lo primordial en este tipo de negocios.

Con el prototipo de la máquina se generará actividades comerciales; siendo una de las muy pocas las industrias artesanales que presentan avances significativos en sus procesos productivos, este trabajo se alinea al plan del buen vivir acorde a la zona 1 del norte de país a través del uso de tecnologías prácticas e innovadoras. [9]

Un ejemplo claro es una peladora de almendra realizada en la ciudad de Guayaquil donde al sexto mes de producción se recuperó la inversión y se empezó a obtener ganancias al final de su primer año operativo. [10]

1.4. Alcance

Este proyecto se centra en el diseño y construcción de una máquina peladora de semilla de tagua semiautomática suministrada con energía eléctrica.

Dentro del diseño de la máquina se llevará a cabo la simulación. La simulación estructural servirá para verificar que los modelos matemáticos estén aceptables.

Al finalizar el proceso de diseño; la construcción de la máquina incluye algunos procesos como:

- En primer lugar, el enfoque es incrementar la producción. [11]

- En segundo lugar, al ser una máquina para una producción artesanal, será de bajo costo, sin embargo, cumplirá con las siguientes normas:

La Organización de Estándares Internacionales (ISO, por sus siglas en inglés) recordando que existirá fatiga dada la vibración obtenida por el motor eléctrico y el tamiz vibratorio. [12]

Igualmente, para el segundo, con base en las normas de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés) para soldadura por vibración usando los factores de seguridad sugeridos y aplicando la teoría de falla por fatiga.

- En tercer lugar, la tagua pasa por una etapa de secado; el sistema de admisión estará lista para que luego del secado el usuario coloque las semillas; y comenzar con el proceso, ya que al estar seca la semilla, la cascara de tagua facilita el desprendimiento. [13] [14] ,las semillas de tagua saldrán por el sistema de descarga y el usuario procederá a retirar la semilla. [10]
- Por último, los componentes utilizados para su construcción como: motores, piezas electrónicas y metales; serán de los que se encuentren en el mercado local, para su adquisición y bajo costo.

CAPÍTULO 2

2. Marco teórico

2.1. Taguas

Origen: En las montañas tropicales y húmedas del Ecuador existe una singular planta llamada Tagua o Marfil Vegetal, semejante por su morfología a las palmas, aunque botánicamente no es una palmácea, sino que, pertenece a la familia de las ciclantáceas [3].

Por tal razón las provincias de Esmeraldas, Los Ríos, Manabí, Guayas y El Oro son ambientes propicios para que la semilla de tagua crezca con mayor abundancia por su cercanía a los ríos. Desde la década de los noventa la semilla de tagua brinda trabajo a cientos de artesanos por ser un material con características de brillo y dureza aptos para elaborar botones y artesanías [15].

2.1.1. Características

Cada planta produce anualmente quince mazorcas (mocochoas), a partir de las cuales se puede obtener aproximadamente un quintal de semillas con un peso variable de 100 kg cada una [16].

De cada semilla de tagua se obtienen dos cortes longitudinales para sus diseños (animelas); excepcionalmente hasta 4 dependiendo del tamaño y características de la semilla. Una tagua pelada promedio puede pesar entre 35 a 47 gr [8].



Fig. 2.1 Partes de la tagua

Fuente: [2]

El secado favorece que los frutos se endurezcan para ser trabajados. El tiempo de secado depende de las técnicas que emplee el artesano. [13]. Se procede a retirar la cascara de la tagua con la ayuda de una maquina o manualmente, para retirar el sobrante se utiliza un cuchillo. [3]

2.1.2. Proceso primario de producción.

Crece en forma silvestre en bosques llamados taguales. La Tagua, Corozo o Marfil Vegetal, es la almendra celulósica compleja de la semilla de *Phytelephas* de color blanco, ebúrnea, dura, pesada, lisa y opaca que adquiere brillo con el pulimento, inodora, insípida; pero no es elástica ni incorruptible como el verdadero marfil. La planta tarda de 14 a 15 años desde que se la siembra hasta recolectar los primeros frutos y no se interrumpe la producción durante un siglo [17].

2.1.3. Proceso secundario de producción.

En la (Fig. 2.2) se muestra el proceso real del secado de la semilla de tagua para luego fabricar perlas de tagua [17].

- a) Secado: Luego de que las pepas son recolectadas se necesita poner a secarlas, aproximadamente 3 meses.



Fig. 2.2 Secado de la Tagua

- b) Pelado: Utilizando la máquina peladora de tagua o manualmente se procede a retirar la cáscara de las pepas y para eliminar cualquier sobrante se utiliza un cuchillo pequeño.
- c) Clasificación Pepas: El siguiente paso es clasificar a las pepas por tamaños utilizando zarandas con diferentes tamaños de agujeros [5].

2.1.4. Comercialización de la tagua

En 1985 se exportó la primera carga hacia el país de Alemania, después de su hallazgo las costas ecuatorianas fueron los lugares de producción de tagua más cotizado por los alemanes y su envío llegaba hasta la ciudad de Hamburgo. De esta comenzó la millonaria negociación para la exportación de tagua [17].

CAPÍTULO 3

3. Metodología del diseño

El diseño de la máquina es un proceso secuencial y repetitivo conformado por una serie de operaciones tomando en cuenta ciertas consideraciones y pasos requeridos para un producto final. A continuación, se analiza la metodología un poco más específica, mostrando un mejor panorama del sistema.

3.1. Análisis de alternativas de solución

El problema se analiza desde diferentes puntos de vista, incluyendo procesos que actualmente se utilizan con la cual podemos brindar alternativas de solución para el proceso de pelado, las misma que se detallan a continuación.

3.1.1. Evaluación de las alternativas de solución para el proceso de pelado.

Alternativa de solución a.

Pelado manual

La industria artesanal de producción de taguas se caracteriza por la aplicación de métodos manuales para la extracción de la piel de la semilla (Fig. 3.1), utilizando diferentes herramientas para facilitar la operación de pelado.



Fig. 3.1 Pelado manual de la tagua

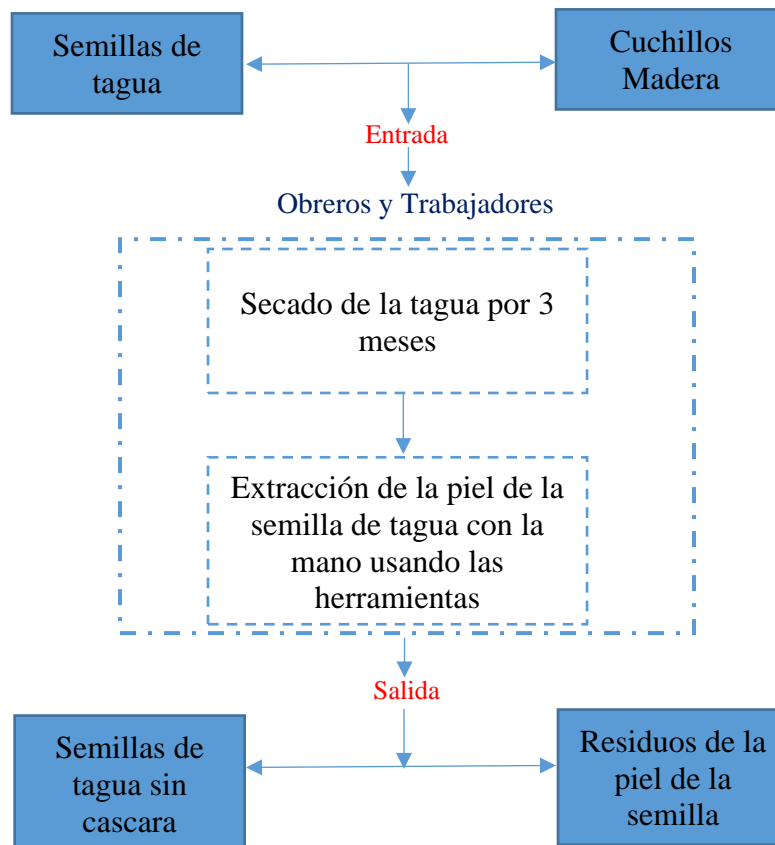


Fig. 3.2 Diagrama del pelado manual de la tagua

Utilizar las manos para extraer la piel seca de la tagua (Fig. 3.1), es el procedimiento más utilizado por los artesanos desde hace mucho tiempo atrás. Extraer esta piel utilizando únicamente las manos sin dañar la semilla resulta una tarea complicada, razón por la cual se hace necesario utilizar algún método para ablandar la corteza exterior. Generalmente se deja la semilla de la tagua expuesta al sol durante 3 meses.

Ventajas del proceso

- Se obtiene una semilla completamente pelada y entera, sin picaduras ni daños en la superficie de esta.
- No hay consumo de energía eléctrica o mecánica durante el proceso debido a que se realiza manualmente.

Desventajas del proceso

- Baja producción de almendras peladas por unidad de tiempo, debido a que se extrae la piel de una sola tagua a la vez.
- Se requiere la utilización de más de una persona para poder producir una cantidad aceptable de taguas peladas, lo cual implica un incremento en los costos de capital de trabajo.
- Existe contacto directo entre la persona y la tagua con herramientas punzocortantes (Fig. 3.1.), lo cual puede derivar en algún tipo accidente.

Equipos y las posibilidades de falla durante el funcionamiento.

Alternativa de solución b.

Máquina peladora con cámara de paredes abrasivas

Esta máquina se usa principalmente en hortalizas y frutas, y consiste en un sistema motriz que es accionado eléctricamente el cual es conformado por una cámara.

La cámara comenzara a rotar con la tagua dentro de ella, lo que ocasionara que la semilla rose las paredes periódicamente. La piel de la semilla sea arruinará por las paredes cuando la cámara rote a grandes velocidades [10].



Fig. 3.3 Máquina peladora con cámara de paredes abrasivas

Fuente: [18]

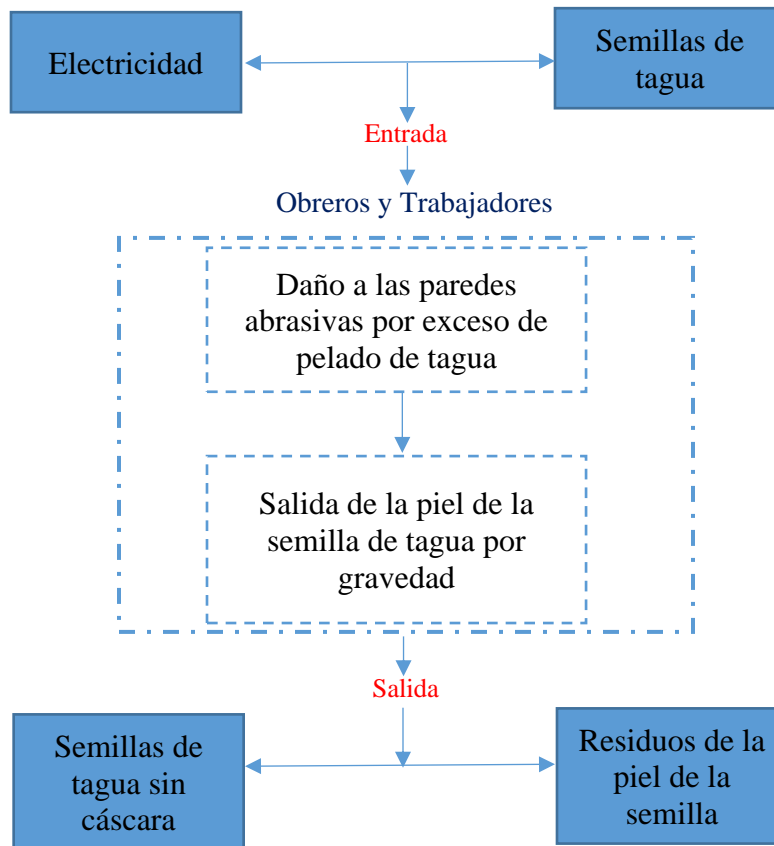


Fig. 3.4 Diagrama de pelado con cámara de paredes abrasivas

Ventajas

- Producto de tagua bien pelado
- Mínimo trabajo para operadores

Desventajas

- La semilla y la cáscara no se encuentran separadas
- Gran consumo de energía eléctrica
- Bajo nivel de percepción visual.

Alternativa de solución c.

Máquina con escobillas abrasivas.

La máquina consiste en dos cilindros excéntricos que tienen una gran cantidad de escobillas de alambre sujetas a la superficie externa del cilindro interior, mientras que en el interior del cilindro más grande se encuentran barras totalmente rígidas que sirven de obstáculo oponiendo resistencia al paso de las semillas, logrando que estas se presionen con mayor fuerza hacia las escobillas y mejorando la abrasión producida por ellas [10]. Las taguas se introducen por medio de una tolva en la parte superior, llegando a un espacio comprendido entre ambos cilindros. Una vez que las taguas tocan las escobillas, estas las arrastran por fricción introduciéndolas hacia el espacio comprendido entre los dos cilindros y son peladas conforme las escobillas se mueven rotacionalmente en el tambor (Fig. 3.5).

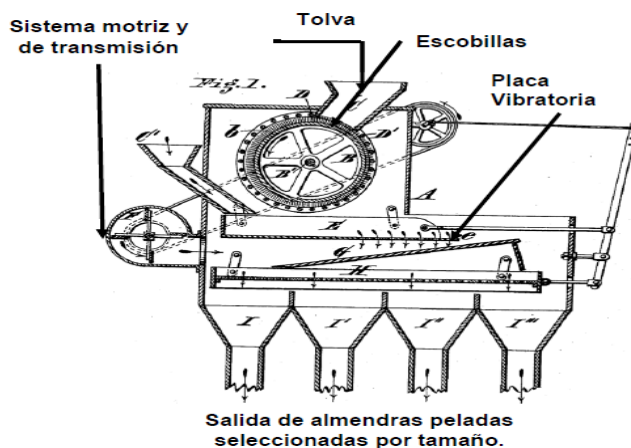


Fig. 3.5 Máquina con escobillas abrasivas

Fuente: [19]

Luego de ser peladas, caen a la sección inferior, en una placa que está sujeta excéntricamente al motor, dando como resultado una vibración que funciona como transporte de las taguas peladas y la piel, logrando separarlas debido a que la piel tiene menor densidad que las taguas peladas.

Finalmente, las taguas van introduciéndose en su respectivo recipiente que está obstaculizado por algunos tamices para que se logren separar por tamaño.

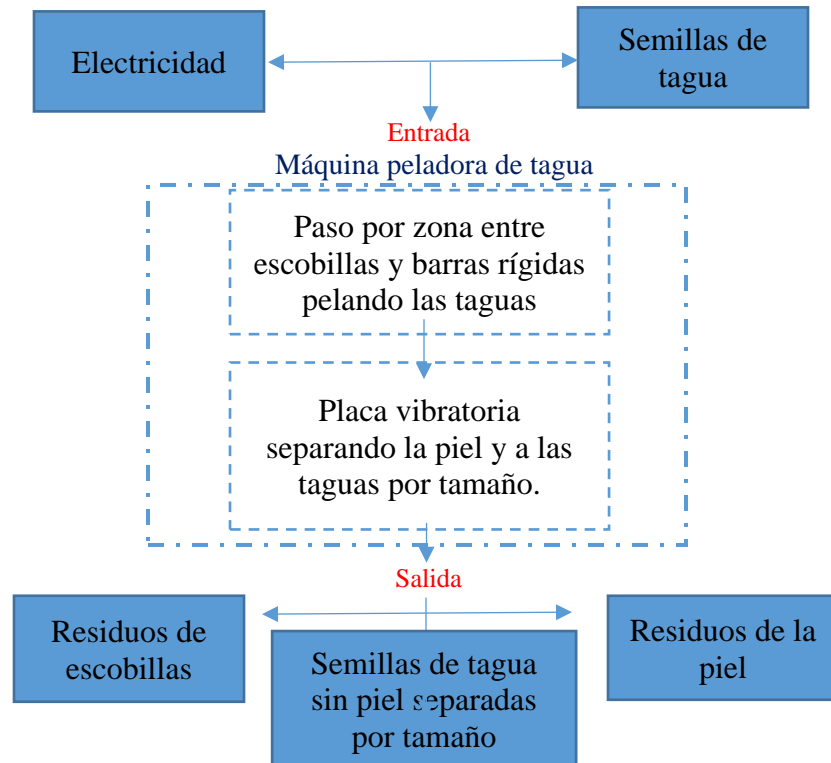


Fig. 3.6 Diagrama de pelado con escobillas abrasivas

Ventajas

- Potencia baja, no necesita mover gran cantidad de masa
- Taguas peladas y seleccionadas de cascar y semilla

Desventajas

- Difícil mantenimiento, principalmente en las escobillas, porque en ésta parte se acumula la suciedad de las semillas

Alternativa de solución d.

Máquina de cilindro reforzado y eje con cadenas giratorias.

La máquina consiste un cilindro reforzado adherido al cuerpo de la máquina sin producir ningún movimiento. Este mecanismo combina un juego de poleas que transmite un movimiento rotacional hacia el eje dando como resultado golpes entre las cadenas y las taguas, los golpes son suficientes para el pelado de las taguas (Fig. 3.7).



Fig. 3.7 Máquina de cilindro reforzado y eje con cadenas giratorias.

Fuente: [20]

En la parte interior se encuentra un material resistente con la cual se realiza el proceso de pelado. El operador realiza la respectiva inspección visual y cuando lo amerite (las taguas se encuentran peladas) se abrirá la puerta de salida a medias con el objetivo de que pasen las taguas peladas.

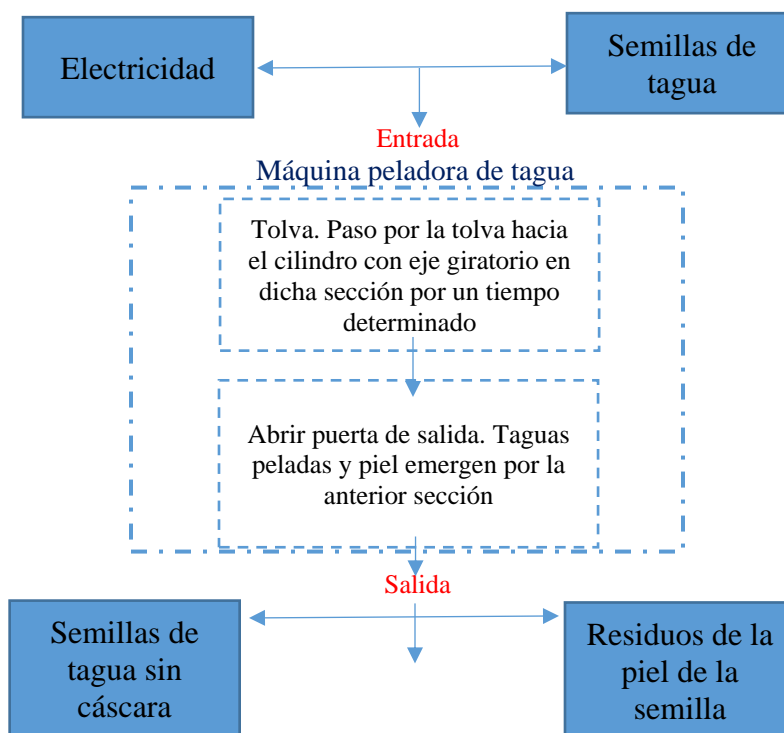


Fig. 3.8 máquina de cilindro reforzado.

Ventajas del Proceso

- Se puede inspeccionar fácilmente el proceso de pelado por lo que se puede observar posibles fallas.

- Fácil mantenibilidad.
- Bajo costo de operación.
- Tiempo reducido en el proceso.
- Separa la piel de las taguas peladas, obteniendo materia prima clasificada para un proceso posterior.

Desventajas del Proceso

- Difícil de manufacturar, sobre todo el forjado del cilindro.
- El tiempo que debe estar en la sección cilíndrica es crítico para que pueda pelar correctamente las taguas, pero sin generar desgaste.

3.2. Evaluación de las alternativas de solución para el pelado abrasivo.

Los criterios de la matriz QFD, se obtuvieron mediante una investigación de campo. Estos criterios son ponderados acorde a su importancia. Para este caso, se pondera con mayor cantidad a la confiabilidad debido al requerimiento principal, que es obtener un aproximado de 90-95% de semillas de taguas peladas.

La ponderación de cada requerimiento viene dada por los requerimientos del usuario y los parámetros técnicos que debe poseer la máquina peladora de tagua, haciendo que la relación sea de 9 cuando la relación es fuerte y es el mayor número con la cual se evalúa; se le da un valor de 3 si la relación es media y 1 si es baja, véase *tabla 3.1*.

				Parámetros Técnicos									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				0,12	0,05	0,07	0,12	0,12	0,12	0,15	0,08	0,09	0,08
Requisitos de Calidad Nivel 1	Nº	Requisitos del Calidad Nivel 2	Peso Ponderado	Costo de fabricación	Costo de instalación	Costo de mantenimiento	Durabilidad	Consumo eléctrico	temperatura de la herramienta	Ciclos por minuto	Sincronismo del proceso	Calidad de otros insumos	Ergonomía del operador
Materia prima	1	Buen funcionamiento	9,98	3	3	1	1	1	3	3	3	9	3
	2	Materiales de calidad	5,59	3	1	1	9	1	3	0	3	1	1
	3	Semilla intacta	8,06	1	1	1	3	1	3	3	3	3	3
Proceso	4	Buen pelado	16,35	3	1	1	3	3	9	9	1	1	3
	5	Varias medidas	15,46	1	1	3	1	3	3	3	3	1	1
	6	Cantidad de peladas	14,16	9	3	3	9	9	3	9	3	1	3
Mercado	7	Mantenimiento	8,21	3	3	9	3	1	3	3	3	9	1
	8	Precio justo	10,52	9	1	1	3	3	1	1	3	3	1
Diseño	9	Seguridad de pelado	5,35	3	3	1	3	1	3	1	1	3	1
	10	Consumo de energía	6,32	3	3	3	3	9	3	9	3	3	1

Tabla 3.1 Matriz de ponderación

De acuerdo con el resultado obtenido mediante los valores expuestos, se realiza un análisis de correlación véase. *tabla 3.2.*

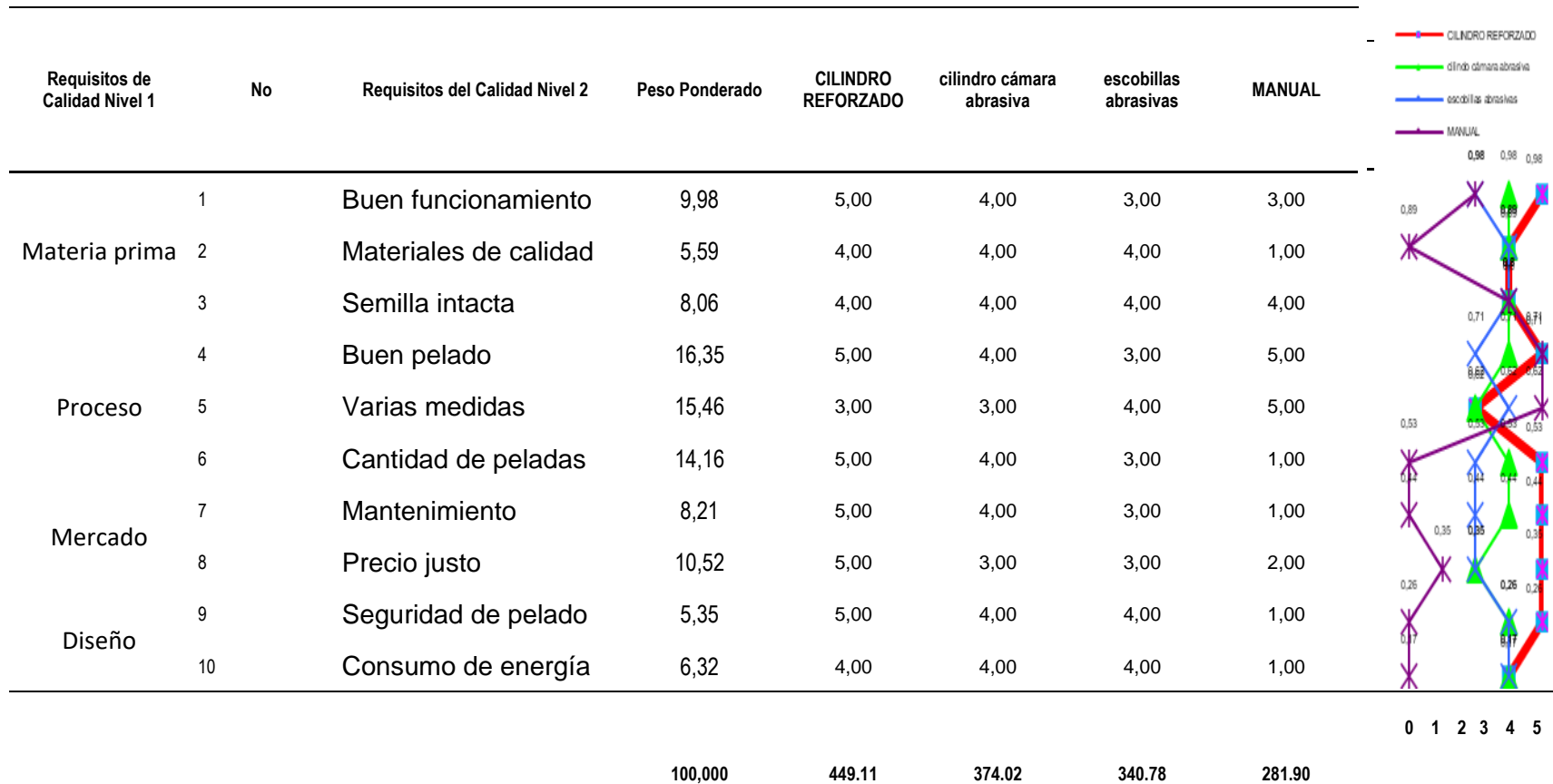


Tabla 3.2 Evaluación de los requisitos de calidad

PONDERACIÓN TOTAL DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS. A fin de tener una idea más completa de la contribución relativa que brinda cada máquina para satisfacer a los distintos requisitos de calidad, es necesario evaluarlos. El valor del peso de ponderación total de cada columna de la máquina se calcula multiplicando la prioridad dada por los clientes a cada requisito de calidad por los valores de la columna del peso ponderado de interés y sumando el resultado de todas las multiplicaciones realizadas sobre esa columna. Un valor de ponderación total alto sugiere la necesidad de dirigir las actividades de desarrollo en un sentido compatible con la alta ponderación.

Por lo cual se puede observar que la máquina de escobillas abrasivas son alternativas aceptables por lograr tener un mínimo del 70% de lo requerido con una puntuación de 340; sin embargo, como se observa en la *tabla 3.2*, la máquina de cilindro de cámaras abrasivas tiene una confiabilidad con un puntaje de 374, es relativamente mejor debido a que los golpes producidos en las paredes bridan un mejor pelado, no obstante, no es suficiente para el desprendimiento de la cáscara.

La seguridad del operador es mayor con la máquina de cilindro reforzado y eje con cadenas giratorias por la durabilidad de las cadenas y su fácil cambio; se incluye a eso un pelado con mayor eficacia y rapidez. En base a esto se puede llevar a cabo un buen proceso de evaluación de todas las máquinas como alternativas dominantes. Y por su mayor puntuación la máquina de cilindro reforzado con cadenas giratorias es la mejor opción con un puntaje ponderado total de 449.

3.3. Sistema mecánico

El siguiente diagrama de flujo es del funcionamiento mecánico.

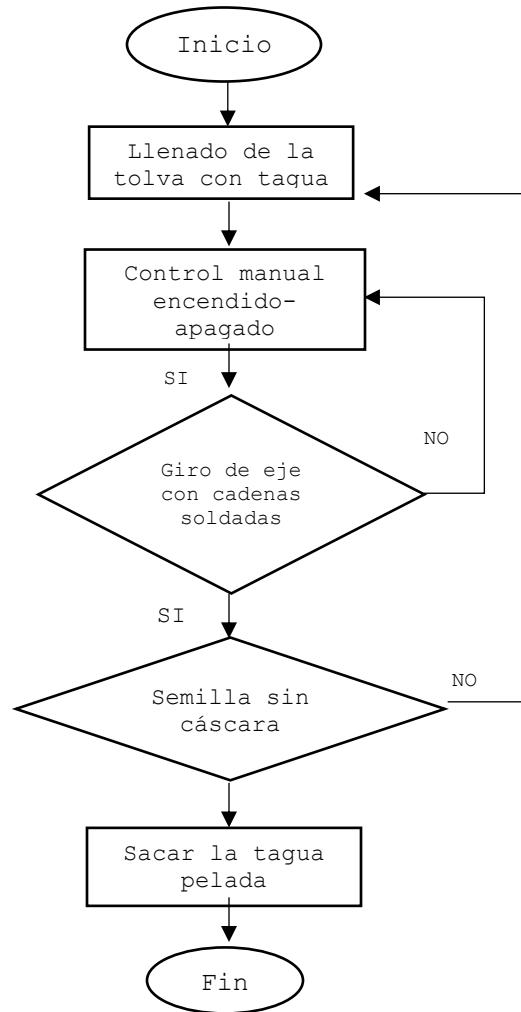


Fig. 3.9 Diagrama de flujo de sistema mecánico

3.4. Sistema eléctrico

Diagrama de flujo del sistema eléctrico de la máquina peladora de tagua.

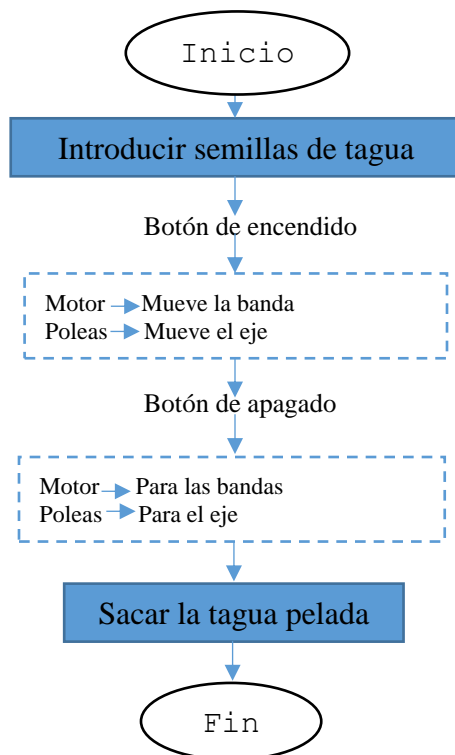


Fig. 3.10 Diagrama de sistema eléctrico

El esquema completo que se muestra a continuación indica todas las partes que la conforman.

3.5. Máquina peladora de tagua y los sistemas que lo conforman

Para el proceso de diseño de la máquina, se toman en cuenta ciertas consideraciones y pasos requeridos para obtener el producto final, el cual es la máquina peladora de taguas.

A continuación, se muestra la metodología completa de todos los sistemas y sus especificaciones; con el objetivo de tener un mejor panorama del proceso. Sin embargo, en los apéndices se muestra con más detalles los pasos con su respectivo método. Dichos procesos se registran en los cálculos realizados junto con las imágenes de las secciones de las normas que se usan para plasmar el diseño final y las suposiciones elaborada (Fig. 3.11).

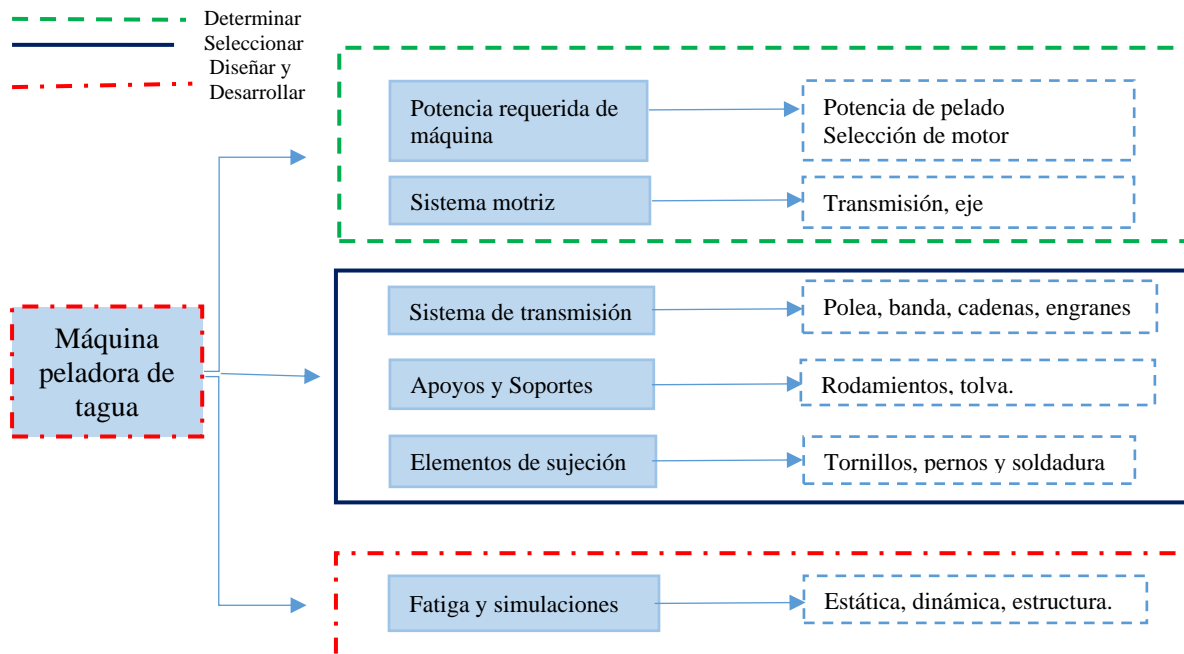


Fig. 3.11 Metodología de diseño y componentes de la máquina

Requisitos

- Mantener una velocidad adecuada de giro del eje, con la finalidad de evitar el maltrato excesivo de la tagua procurando que la mayoría de las semillas no sufran daños.
- Sistema eléctrico de control ON/OFF.
- Separar un mínimo de 100-120 kg de semillas de tagua por hora, mediante los golpes de las cadenas.

Las partes que conforman la máquina peladora de tagua son:

- 1) Potencia requerida de la máquina
- 2) Sistema motriz
- 3) Sistema de transmisión
- 4) Apoyos y soportes
- 5) Elementos de sujeción
- 6) Fatiga y simulaciones

3.5.1. Potencia requerida de la máquina

Está constituida por cadenas soldadas y ubicadas de acuerdo con el tamaño de la tagua *tabla 3.4*, misma que se encuentra dentro del cilindro reforzado para fracturar la cáscara manteniéndose con ese movimiento durante un tiempo determinado.

3.5.1.1. Producción de semillas de taguas peladas

Semillas peladas a mano - 10 a 12 [kg/h].

Semillas peladas a máquina de mediano tamaño - 100 a 120 [kg/h].

Está claro que este factor influye en el tamaño real de la máquina. Una empresa dedicada al pelado de tagua suele alcanzar lotes de hasta 200-250 [kg/h], en una jornada diaria [5].

Con base a los indicadores de la *tabla 3.3* y factores de influencia, se establece una capacidad productiva a cubrir entre 100 a 120 [kg/h], de semillas de tagua peladas utilizando la máquina que se propone construir, cubriendo así la demanda vigente (promedio) de forma satisfactoria.

Consideraciones de producción	
Producción neta (Ta_t)	100-120 [kg/h].
Taguas por quintal (Ta_q)	850-900[tag/kg].
Taza de producción por lotes (n)	3[lotes/hora]
Tiempo de llenado de tolva (Tt_{in})	60 s
Tiempo de vaciado de tolva (Tt_{out})	60 s
Tiempo de pelado (T_t)	18 min 1080s

Tabla 3.3 Parámetros de consideraciones de producto

El proceso de producción de taguas peladas es por lote. En cada lote se ingresa una determinada cantidad (780 aprox.). La capacidad del sistema de entrada, es decir, el volumen de almacenamiento de la tolva determina el número de lotes que se pueden llegar a producir en un periodo de tiempo. La estimación del tiempo del pelado se realizó mediante cálculos, en donde se determinó un valor aproximado de 18 min. Todos los valores determinados se encuentran en la *tabla 3.3*.

3.5.1.2. Características de la semilla de tagua

Al tratarse de un producto de naturaleza agrícola, de una sola región y no industrial, no se puede encontrar los parámetros necesarios.

Sin embargo, se realizó varias investigaciones por artesanos locales dirigidos a la obtención de las propiedades y características de las semillas.

Parámetros	
Masa unitaria de la tagua (W_t)	65-80 [gr/tagua]
Longitud de la tagua (L_t)	54 [mm]
Ancho de la tagua (A_t)	46 [mm]
Espesor de la tagua (E_t)	7,6[mm]
Volumen de la tagua (V_t)	0,05 [lts/tagua] o $0,00005 m^3$

Tabla 3.4 Características de la semilla de tagua

Estas dimensiones son primordiales al momento de llevar a cabo el diseño detallado y óptimo del eje con las cadenas en sus distancias respectivas. De igual forma el lugar que ocupa y el peso de cada tagua sirve para establecer una distribución de carga estática en el cilindro.

Con los parámetros mencionados, y mediante una investigación se procede a realizar un ensayo para determinar la fuerza que se necesita para fracturar la cascara de tagua. Este ensayo experimental se realiza de una forma manual, porque al ser un producto nacional, no existen investigaciones o ensayos que nos proporcionen estos datos. Además, se observa que con una fuerte presión manual se puede fracturar ligeramente la cáscara de tagua.

Se procede con la selección de semillas de tagua listas para su pelado, con las dimensiones similares a los expuestos en la *tabla 3.4*, debido a que son los más indicados para este ensayo por su agarre manual.

El ensayo consiste en ejercer una fuerza de presión con la mano, para lo cual se tiene una investigación con los datos de la fuerza que ejerce la muñeca usando un dinamómetro [21] (Fig. 3.12).

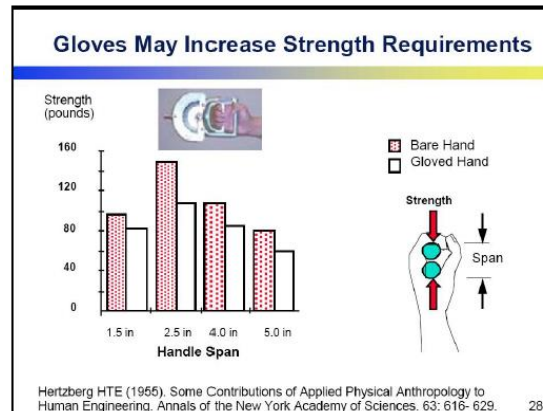


Fig. 3.12 Requerimiento de fuerza en dinamómetro digital

En la *tabla 3.5* se muestra la media de la fuerza máxima de agarre de acuerdo con la apertura que se muestra en la (Fig. 3.12). En dicha figura se confirma que el tamaño ideal de apertura para la etapa 2 es la de 47 mm, ya que el pico más alto de la media con y sin guante se da en con la apertura dos.

#	Genero	KG. - F.	Apertura (mm)	Max. Carga (N)
1	M	45	50	441,2
2	M	42	55	411,8
3	M	42	55	411,8
4	M	44	60	431,4
5	M	56	50	549,1
6	M	49	60	480,5
7	M	49	55	480,5
8	M	44	50	431,4
9	M	70	47	686,4
10	M	61	45	598,2

Tabla 3.5 Resistencia al agrietamiento de la cáscara

La carga máxima promedio 492,23 encontrada para fracturar la cascara de la tagua, es similar al resultado 490 N de la revista [22]. Con esta información se procede a realizar los análisis respectivos para el diseño de la máquina.

3.5.2. Diseño de la tolva de alimentación para el sistema

3.5.2.1. Cálculo de ángulo de inclinación

La tagua seleccionada será depositada en la tolva de descarga. Para comenzar con el diseño es indispensable analizar el ángulo de inclinación para que no exista ningún atascamiento [23]. El ángulo de reposo se estima formando un montón con la muestra representativa (Fig. 3.13).



Fig. 3.13 Angulo de reposo

La inclinación de la caída de tolva que permita que la semilla fluya, es aproximadamente 15 grados más que el ángulo de reposo.

$$\beta = \alpha + 15^\circ \quad \text{Ec. (1)}$$

Un esquema que representa el diseño se encuentra en la (Fig. 3.14).

Donde

α Inclinación ángulo de reposo

β Inclinación secundaria de la tolva

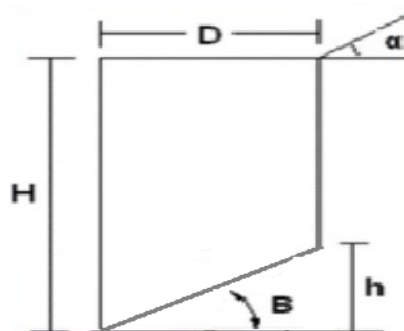


Fig. 3.14 Angulo de inclinación de la

Se reemplaza los valores conocidos en la ecuación Ec. (1):

$$\beta = \alpha + 15^\circ = 38 + 15 = 53^\circ$$

3.5.2.1. Cálculo de volumen de la tolva

La dimensión de la tolva depende de la producción de 100-120 kg. El diseño de la tolva se realizó con base a una caída para evitar que las taguas se quedasen atascadas sin ser enviadas al sistema de pelado. El estudio realizado por universidad de Málaga, el peso máximo que puede cargar una persona es de 30 [kg] [4] *tabla 3.6.*

TIPO	PESO MÁXIMO
En general	20 [Kg]
Mayor protección (mujeres, jóvenes, mayores)	15 [Kg]
Trabajadores entrenados	30 [Kg]

Tabla 3.6 Universidad De Málaga.

Fuente (MCA-UGT., 2017)

Sin embargo, por motivos de altura, se diseñó para levantar cargas por la altura de los hombros (1.5 [m] aprox.), para la cual, la Universidad Nacional de Córdoba recomienda no cargar más de 30 [kg].

Características	
Longitud (L_{tolva})	500 mm
Ancho (A_{tolva})	300 mm
Profundidad (H_{tolva})	300 mm
Pendiente mínima. (α , β)	38° y 53°
Volumen total de la tolva (V_{tolva})	0,045 m ³

Tabla 3.7 Características de la tolva

Al conocer las características de la tagua y de la tolva se tiene la siguiente ecuación.

$$N_t = \frac{V_{tolva}}{V_{utagua}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

N_t	Número de taguas
V_{tolva}	Volumen de la tolva
V_{utagua}	Volumen de la tagua unitario

Se reemplaza los valores conocidos en la ecuación Ec. (2):

$$N_t = 792$$

Conociendo la masa de la tagua especificado en la *tabla 3.4* se tiene una masa equivalente que se puede colocar en la tolva de:

$$M_{tagua} = 51,8 \text{ Kg}$$

3.5.2.2. Selección de los pernos para la sujeción de la tolva

El perno se considera como un pasador de acero con una cabeza formada en un extremo y con una rosca en el otro, las cuales ayudan para fijar las piezas por unir, por medio de una tuerca que debe enroscarse y apretarse una vez que el perno se ha colocado a través de un agujero [24].

Debido a que el perno solo cumple con la función de sujeción de la placa soldada a la tolva no requiere de un material especial, por lo cual se define usar los pernos denominados comunes, fabricados bajo la norma ASTM 307 (NOM-H-118). Y ésta se acopla también a la parte de la solución económica de la máquina.

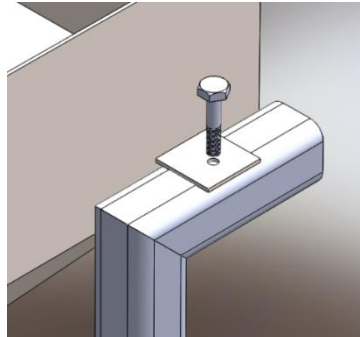


Fig. 3.15 Posicionamiento del perno

El esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tracción, F_u es de 4200 kg/cm² (415 MPa)

PERNO BLANCO CABEZA HEXAGONAL		CÓDIGO:	DIÁMETRO:	LONGITUD:	MÁSTER (KG)
TIPO DE CABEZA: 		PBT05030	1/2"	3"	50 KG.
FAMILIA: PBT MEDIDAS: PULGADAS ESTÁNDAR TIPO DE ROSCA: ACERO INOXIDABLE ESTÁNDAR MATERIAL: ACERO INOXIDABLE ESTÁNDAR HILO:					
CÓDIGO: FAMILIA PBT	VENTA: KG				
NOMENCLATURA DE CÓDIGO					
					
					

Fig. 3.16 Selección del Perno

Para calcular el F.S. usamos los siguientes datos en la Ec. (3).

$$S_p = 33 \text{ kpsi}$$

$$S_y = 36 \text{ kpsi}$$

$$A_t = 75 \text{ mm}$$

$$C_J = 0.85$$

$$F_i = 50\% \cdot S_p \cdot A_t = 1237.5 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$F_b = F_i + C_J = 1238.35$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = 17.63$$

$$F.S. = \frac{36}{\sigma_b} = 2.04$$

3.5.3. Cálculo de potencia de pelado

3.5.3.1. Potencia requerida para fracturar la cascara

La potencia requerida para el proceso de pelado se puede estimar de forma empírica o utilizando relaciones experimentales consideradas como válidas. La relación de kicks [10] es una ecuación experimental (Ec. 4) desarrollada para determinar un valor estimado de la potencia requerida para fracturar la cáscara de las semillas secas.

Dicha ecuación está en función de la longitud nominal inicial y final de la semilla a pelar, la fuerza requerida *tabla 3.8* según el tipo de semilla y de un valor constante obtenido experimentalmente.

Factor	Semilla	Fuerza de Pelado
Año	%	N
2004	37,11+-9,89	490,0+-202,0
2005	40,36+-9,82	486,8+-214,5

Tabla 3.8 Porcentaje de semilla. Fuerza de pelado.

Fuente: [10]

$$P = K_k \cdot F_f \cdot \ln\left(\frac{L_1}{L_2}\right) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

- P Potencia requerida para el proceso de pelado.
- K_k Constante de kicks; 1.2 [m/seg]
- F_f Fuerza de arranque o fricción; 700 [N] [10]
- L_1 Longitud nominal inicial; 21 [mm]
- L_2 Longitud nominal final; 21 [mm]

Se resuelve la Ec. (1), y se tiene:

$$P = 134,688[\text{Watts}]; 0,18[\text{HP}]$$

El resultado adquirido como lo mencionamos es para fracturar o romper la cascara de la semilla de tagua, sin embargo, es necesario recordar que para su pelado total se requiere de un cilindro en forma de tambor con un 25% de semillas, la cual también tiene un consumo de potencia, por tal razón se calcula la potencia necesaria para mover y fracturar la cáscara.

3.5.3.2. Cilindro

El cilindro de la máquina peladora de tagua funciona bajo los siguientes parámetros:

- Horas de trabajo [8 h]
- Temperatura de trabajo [18°]

3.5.3.2.1. Cálculo del espesor del cilindro.

La capacidad que el cilindro debe tener es de 51,48 Kg; también se conoce que el volumen que ocupa una tagua es de $0,00005 m^3$. Con estos datos se puede calcular el volumen que debe tener el tambor para contener las semillas de tagua. Para generar fricción y golpes en la tagua con el movimiento giratorio de las cadenas soldadas al eje, debe existir un volumen moderado de semillas de tagua, las mismas que no debe ocupar un volumen mayor al 25 % total.

Teniendo en cuenta esto el volumen que tendrá el cilindro se calcula haciendo una regla de 3 de la siguiente manera.

$$x = \frac{\text{volumen calculado(para } 51,48\text{kg)} \cdot 100}{25} \quad \text{Ec. (5)}$$

Se resuelve la ecuación, y se tiene:

$$V_e = 0,158 m^3$$

El volumen que finalmente debe tener el cilindro es de $0,158 \text{ m}^3$

Para dimensionar el cilindro se le da al radio un valor de 230 mm.

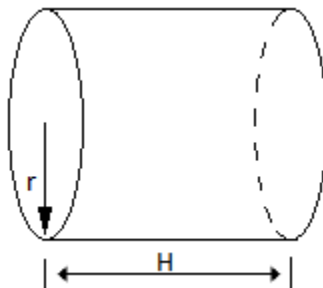


Fig. 3.17 Bosquejo del cilindro

A continuación, se calcula la longitud.

$$D_{int} = 2 \cdot r_{cil} = 0,46 \quad \text{Ec. (6)}$$

$$L_{cil} = \frac{V_c}{\pi \cdot r_{cil}^2} \quad \text{Ec. (7)}$$

Resolviendo la ecuación se tiene:

$$L_{cil} = 953,12 \text{ m}$$

El cilindro será de pared delgada y para calcular la presión interna que soportará a causa de la tagua se utilizará la siguiente ecuación:

$$F_{tagua} = \rho \cdot L_{cil} \cdot D_{cil} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde

F_{tagua} Fuerza que ejerce la tagua

$\rho_{interna}$ Presión interna [N]

L_{cil} Altura del cilindro, [380 mm]

D_{cil} Diámetro del cilindro, [400 mm]

Ya que se conoce la fuerza que ejerce la semilla dentro del cilindro es de 51.48 Kg se transforma ese dato a [Newton] para hallar la presión.

$$F_{tagua} = M_{tagua} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \quad \text{Ec. (9)}$$

$$F_{tagua} = 504,50 \text{ N}$$

De la Ec. (9) se despeja:

$$\rho_{interna} = \frac{F_{tagua}}{L_{cil} \cdot D_{int}}$$

$$\rho_{interna} = 1,511 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$$

La máquina trabajará a una presión de $1,511 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$. Para obtener el valor de presión de diseño se debe escoger un factor de seguridad y se multiplica por la presión obtenida.

Para elegir el factor de seguridad se debe tener en cuenta que, si el cilindro llegara a fallar por sobrecarga, no existe mayor riesgo de que se produzcan accidentes que involucren vidas humanas. Además, el valor de presión a la que trabajará la máquina no es grande por lo que se escoge un valor de 1,5 para el factor de seguridad.

$$\rho_{interna} = \rho_{interna} \cdot FS \quad \text{Ec. (10)}$$

Finalmente, se obtiene un valor de presión de diseño de:

$$\rho_{interna} = 1,726 \cdot 10^3 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Para encontrar el espesor se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{cil} = \frac{\rho_{interna} \cdot r_{cil}}{S \cdot E_{sol} - 0.6 \cdot \rho_{interna}} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

E_{cil} Espesor del cilindro

S Esfuerzo permisible 49 kgf/mm²

$E_{sol} = 0,85$ Eficiencia de la soldadura

La *tabla 3.7* muestra la eficiencia de las juntas:

Descripción de la junta	Grado de examen		
	Radiografía completa	Examen por puntos	N° examinadas por puntos
• Juntas por ensamble con soldadura doble o con medios que permiten obtener la misma calidad de metal soldadura ambos lados de la junta.	1	0,85	0,7
• Juntas por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo en su lugar.	0,9	0,8	0,65
• Juntas por ensamble de soldadura simple, sin banda de respaldo. Sólo se permite para algunas juntas perimetrales.			0,6

Tabla 3.9 Eficiencia máxima permisible para juntas soldadas.

Se usa por ambos lados la soldadura para garantizar que el material quede mejor adherido.

Como se muestra en la *tabla 3.9* el valor de eficiencia que se debe utilizar es 0,85.

En la *tabla 3.10* se muestra el esfuerzo máximo permisible del acero inoxidable AISI 304.

Propiedades mecánicas						
Resistencia Mecánica		Punto de fluencia			Pruebas de Dureza (Máx.)	
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi	Elongación % (Min.)	Rockwell	Vickers

Tabla 3.10 Propiedades mecánicas del acero AISI 304

Para continuar con los cálculos se debe transformar el valor del esfuerzo permisible de 49Kg/mm² a N/m² de la siguiente forma:

$$S = 480.525.850 \frac{N}{m^2}$$

Se calcula con la Ec. (11), y se despeja el espesor mínimo:

$$E_{cil} = \frac{\rho_{interna} \cdot r_{cil}}{S \cdot E_{sol} - 0.6 \cdot \rho_{interna}}$$

$$E_{cil} = 9,71 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

El espesor que se obtiene es de 0,000 971 mm para que soporte la presión como un recipiente que contiene la semilla de tagua.

Se procede a calcular nuevamente el espesor, pero esta vez tomando al cilindro como un tubo y se hace el análisis de las cargas como si fuera una viga perfectamente empotrada con la carga total de las semillas de tagua distribuida sobre la viga, de forma que el espesor con el que se construya el cilindro sea el suficiente tomando el caso más crítico para el diseño.

Se calcula la aceleración angular con la que gira el cilindro, para luego hallar la fuerza total que la tagua ejerce sobre esta viga.

$$S = \frac{\omega - \omega_0}{t} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

ω	Velocidad Angular
$\omega_0 := 0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$	Velocidad Angular inicial
α	Aceleración Angular
$t := 60 \text{ s}$	Tiempo
$revo := 300$	RPM

En primer lugar, se calcula la velocidad angular con la siguiente ecuación.

$$fr = \frac{revo}{60 \text{ s}} \quad \text{Ec. (13)}$$

$$fr = 5 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot fr \quad \text{Ec. (14)}$$

Se resuelve la Ec. (14), y se tiene:

$$\omega = 31,416 \frac{rad}{s}$$

Se resuelve la Ec. (12), y se tiene:

$$\alpha = 0,52 \frac{rad}{s^2}$$

Con el resultado de la aceleración angular se encuentra la aceleración tangencial con la siguiente ecuación:

$$a_t = \alpha \cdot r_{cil} \quad \text{Ec. (15)}$$

Se reemplaza valores y se calcula la Ec. (15), y se tiene:

$$a_t = 0,12 \frac{m}{s^2}$$

Se calcula la fuerza dinámica del cilindro de la siguiente manera.

$$F_{din} = M_{tagua} \cdot a_t \quad \text{Ec. (16)}$$

Si se conoce que el cilindro trabaja con el 25% de carga, la carga máxima que el operador puede introducir es de 40% debido a las dimensiones de la tolva. Las cuales se tomará estos valores para el caso crítico.

Con estos datos, resuelto la Ec. (16) tenemos:

$$F_{din} = 6,2 N$$

$$M_{cri} = \frac{40\% \cdot M_{tagua}}{25\%}$$

$$M_{cri} = 82,36 \text{ kg}$$

Si se conoce y se toma en cuenta el peso de la tagua y la aceleración de la gravedad, se procede a encontrar la fuerza estática ejercida.

$$F_{est} = M_{cri} \cdot g \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2} \quad \text{Gravedad}$$

Se reemplaza valores y se resuelve la Ec. (17) para obtener:

$$F_{est} = 807,754 \text{ N}$$

La fuerza total es:

$$Q = F_{din} + F_{est} \quad \text{Ec. (18)}$$

Se reemplaza valores y se tiene:

$$Q = 813,954 \text{ N}$$

Para encontrar el momento flector máximo, se toma al cilindro como una viga perfectamente empotrada de una longitud de 1 metro; con una carga distribuida del total de la fuerza, como se muestra a continuación.

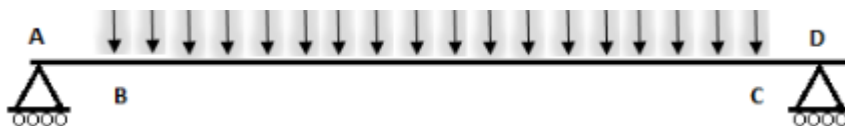


Fig. 3.18 Diagrama del cuerpo libre de la viga uniformemente distribuida.

Para calcular, obtenemos la fórmula de la siguiente (Fig. 3.19) [25].


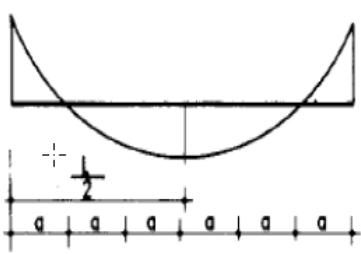
SOLICITACION	MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO	REACCIONES EN LOS APOYOS	DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES
 <p>nº de fuerzas = n-1</p>	$M_A = \frac{ql^2}{12}$ $M_B = -\frac{ql^2}{12}$	$R_A = \frac{ql}{2}$ $R_B = \frac{ql}{2}$	

Fig. 3.19 Vigas perfectamente empotradas.

$$M_{flector} = \frac{q \cdot L^2}{12} \quad \text{Ec. (19)}$$

Donde:

$L := 1 \text{ m}$ Longitud de la viga perfectamente empotrada

q Carga por unidad de longitud

Para encontrar (q) se usa la siguiente ecuación:

$$q = \frac{Q}{L} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$q = 813,95 \text{ N/m}$$

Se reemplaza y se resuelve la Ec. (19)

$$M_{flector} = 67,829 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Para calcular el espesor necesario se emplea la siguiente ecuación.

$$Z = \frac{M_{flector}}{R} \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde:

Z Módulo de la sección

$R = S$ Resistencia a la tracción del material AISI 304

Reemplazando los valores y resolviendo la Ec. (21) se tiene:

$$Z = 1,412 \cdot 10^{-7} m^3$$

Debido a que el cilindro tiene varias perforaciones, como: entrada de la tolva, salida de tagua, malla perforada para salida de cáscara y la compuerta de limpieza y verificación; estas reducen la resistencia en la sección del material en un 40%, por lo que se debe compensar esta reducción sumándole la misma cantidad.

$$Z = (1,412 \cdot 10^{-7}) \cdot 2 = 2,82 \cdot 10^{-7} m^3$$

De la (Fig. 3.20), se extrae la fórmula para calcular el módulo de sección.

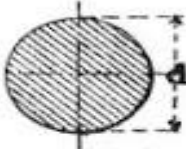
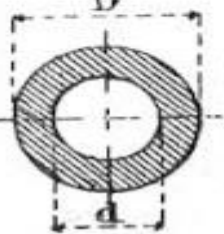
CROQUIS de la sección	MÓDULO Z de la sección	ÁREA A de la sección
	$\frac{\pi}{32} d^3 = 0,0982 d^3$	$\frac{\pi}{4} d^2 = 0,785 d^2$
	$\frac{\pi}{32} \times \frac{D^3 - d^3}{D}$	$\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$

Fig. 3.20 Secciones circulares huecas

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D} \quad \text{Ec. (22)}$$

Se despeja (d), y se resuelve la siguiente ecuación se reemplaza valores con D=0.46m, y se tiene:

$$d = \sqrt[4]{D^4 - \frac{Z \cdot \pi \cdot D}{32}}$$

$$d = 0,4599 \text{ m}$$

A fin de encontrar el espesor se resta el diámetro exterior menos el diámetro interior encontrado.

Espesor

$$D-d = 0,46\text{m} - 0,459 \text{ m} = 0,001\text{m}$$

Finalmente se encuentra dos espesores, la primera tomando el cilindro como una viga perfectamente empotrada 0,001 m - 1 mm; mientras que en el análisis del cilindro como un recipiente que contiene la tagua se obtuvo un espesor de 0,00097 mm.

Por lo cual, se toma el valor mayor de los espesores, también teniendo en cuenta que para dar forma de un cilindro a la plancha de acero inoxidable es necesario un espesor mayor al de un 1mm por la deformación que se puede producir; por tal razón se usara para el cilindro una plancha de acero inoxidable AISI 304 de 2.5 mm de espesor.

3.5.4. Selección del motor

Para seleccionar el motor eléctrico para proporcionar energía mecánica a la máquina se realizó tomando en cuenta dos especificaciones:

- la velocidad de rotación del eje
- la potencia requerida para dicho proceso.

La organización de pequeñas industrias de tagua sugiere velocidades para procesos abrasivos de pelado de tagua entre 200 a 300 rpm según las dimensiones de la semilla.

Conociendo que para fracturar la cascara de la tagua la potencia requerida es de 0,18 [HP], en este caso se analiza y se calcula la inercia en cada parte del sistema motriz. La inercia que se calcule será el momento que el motor debe generar para romper con todas las cascara de la tagua ubicada en el cilindro.

Para calcular el momento del cilindro se usa la siguiente ecuación

$$\sum M = \sum I \cdot \alpha \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

M	Momento [N·m]
I	Inercia en todas las masas
α	Aceleración Angular

Con la siguiente ecuación se determina la inercia (I) de todas las masas.

$$\sum I = I_{eje} + I_{tagua} \quad \text{Ec. (24)}$$

3.5.4.1. Inercia del eje motriz

Para calcular la inercia del eje motriz se asume un diámetro 0,0254 m de acero AISI. Y se calcula con la siguiente ecuación.

$$I_{eje} = \frac{\pi \cdot d_{eje}^4 \cdot \rho_{acero} \cdot L_{eje}}{32} \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde:

d_{eje}	Diámetro asumido para el eje, 0,0254 m
L_{eje}	Longitud del eje
ρ	Densidad del acero inoxidable, 7900[Kg/m ³]

Se reemplaza y se calcula la Ec. (29) y se tiene:

$$I_{eje} = 3,616 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

3.5.4.2. Inercia de la tagua

Se necesita más potencia del motor al momento del arranque, debido a que el cilindro lleva el 25% de su capacidad con semilla de tagua, por ende, las cadenas deben romper esa barrera para producir el movimiento de las semillas. Este es el momento de mayor inercia a vencer.

Se procede a calcular el perímetro del cilindro, el ángulo β , el momento polar de inercia; para luego calcular su inercia, con la siguiente ecuación.

$$I_{eje} = D_{int} \cdot 0.25 \cdot \pi = 0,361 \text{ m} \quad \text{Ec. (26)}$$

Angulo Beta

$$\beta_1 = \frac{P_{cil} \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot D_{cil}}$$

$$\beta = \beta_1 \cdot \frac{\pi}{180} = 0,785 \text{ rad}$$

El momento polar se calcula con la inercia total de la masa de la tagua.

$$I_x = \frac{r_{cil}^4}{4} (\beta - \sin(\beta) \cdot \cos(\beta) + \sin(\beta)^3 \cdot \cos(\beta)) \quad \text{Ec. (27)}$$

$$I_y = \frac{r_{cil}^4}{12} (3 \cdot \beta - 3 \sin(\beta) \cdot \cos(\beta) - 2 \sin(\beta)^3 \cdot \cos(\beta)) \quad \text{Ec. (28)}$$

$$I_x = 3,746 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$I_y = 8,306 \cdot 10^{-5} m^4$$

$$I_p = I_x + I_y = 4,576 \cdot 10^{-4} m^4 \quad \text{Ec. (29)}$$

Se necesita calcular la densidad de la tagua para encontrar el momento polar de inercia. Y se usa la siguiente ecuación.

$$\rho_{tagua} = \frac{M_{tagua}}{V_{utagua}} = 1,3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Ec. (30)}$$

Con todos los resultados encontrados, se calcula la inercia total de la masa de la tagua con la siguiente ecuación.

$$I_{tagua} = \rho_{tagua} \cdot L_{cil} \cdot I_p \quad \text{Ec. (31)}$$

Reemplazando los valores y calculando se obtiene:

$$I_{tagua} = 0,567 \text{ Kg} \cdot m^2 \quad \text{Ec. (32)}$$

Finalmente se usa la Ec. (28), se tiene el siguiente resultado.

$$\sum I = I_{eje} + I_{tagua}$$

$$\sum I = 0,567 \text{ kg m}^2$$

Al momento de que la máquina esté funcionando, existen momentos de torsión que provocan que la masa de la tagua regrese al eje de transmisión por la misma gravedad. El momento torsor de ese instante se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$M_o = M_{tagua} \cdot g \cdot r_{eje} \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde

g Gravedad

Se reemplaza los valores y se obtiene el siguiente resultado.

$$M_o = 6,407 [N \cdot m]$$

Para encontrar el momento torsor del eje se usa la siguiente ecuación.

$$M_T = \sum I \cdot \alpha + M_o \quad \text{Ec. (34)}$$

Para resolver esta ecuación se necesita los siguientes datos:

$$R_{eje} = 300 [rpm]$$

$$\alpha = R_{eje} \cdot \frac{\pi \text{ rad}}{30 \text{ s}}$$

$$\alpha = 3,29 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Con esos valores, se reemplaza en la Ec. (38) y se obtiene el siguiente resultado.

$$M_T = 8,274 [N \cdot m]$$

Para hallar la potencia del motor necesaria para la máquina se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_{motor} = M_T \cdot \eta_2 \quad \text{Ec. (35)}$$

Para poder reemplazar todos los valores se tiene los siguientes datos, n_2 - velocidad angular para 300 RPM:

$$\eta_2 = 31,45 \frac{rad}{s}$$

Se reemplaza los valores en la Ec. (39), y se tiene el siguiente resultado.

$$P_{mot} = 260,254 \text{ Watts}$$

$$P_{mot} = 0,348 \text{ HP}$$

Potencia Nominal: 0,348 [HP].

Velocidad de rotación nominal: 1.740 [RPM]

Eficiencia: 61 [%] (al 75% de la velocidad nominal).

Factor de Potencia: 0.86 (al 75% de la velocidad nominal).

En la siguiente (Fig. 3.21) se muestran todas las especificaciones.

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado Iv/in	Par con rotor trabado Tv/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)												
KW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V											
												50	75	100	50	75	100													
11 polos																														
0,12	0,16	63	0,034	5,9	2,0	2,9	0,0002	6	10,0	50	3490	35,8	44,4	49,9	0,52	0,60	0,68	1,61	0,804											
0,18	0,25	63	0,050	6,1	2,2	2,8	0,0003	6	10,7	50	3490	42,3	50,8	55,8	0,51	0,61	0,69	2,12	1,06											
0,25	0,33	63	0,070	5,5	2,9	3,2	0,0002	6	10,7	50	3490	42,5	51,6	57,2	0,44	0,54	0,62	3,20	1,60											
0,37	0,5	71	0,102	7,2	2	3,1	0,0005	7	13,0	60	3520	51,7	59,9	64,2	0,53	0,64	0,72	3,64	1,82											
0,55	0,75	80	0,152	7,7	2,1	3	0,0008	10	16,5	65	3525	58,8	67,9	72,8	0,77	0,85	0,91	3,78	1,89											
0,75	1	80	0,208	7,0	2,3	2,7	0,0009	9	17,5	65	3520	58,0	66,0	71,0	0,75	0,83	0,88	5,46	2,73											
1,1	1,5	90S	0,303	9,1	2,1	2,9	0,0020	9	24,0	69	3535	70,8	77,2	79,8	0,79	0,87	0,91	6,88	3,44											
1,5	2	90L	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,83	0,89	0,92	9,54	4,77											
2,2	3	100L	0,608	8,7	2,3	3	0,0064	9	37,0	72	3525	72,7	79,2	81,8	0,97	0,98	0,98	12,5	6,24											
3	4	112M	0,830	8,0	2,6	2,5	0,0081	6	45,0	72	3520	77,4	81,6	82,1	0,96	0,97	0,98	16,9	8,47											

Fig. 3.21 Características del motor

Fuente: [26]

3.5.4.3. Factor de Servicio

El factor de servicio adecuado para corregir la potencia de diseño de un sistema se determina en función de la frecuencia de las cargas pico, el tiempo diario de operación y la categoría de servicio de la máquina (MARTIN, 2015).

La industria de frutos secos en el país funciona de forma temporal en función de los periodos de cosecha. Por lo general, opera en jornadas diarias de ocho horas de manera continua por un periodo de cinco días laborables a la semana durante la etapa de producción [5].

El factor de servicio no debe ser confundido con la capacidad de sobrecarga momentánea, durante algunos minutos. El factor de servicio $FS = 1,0$ significa que el motor no fue proyectado para funcionar continuamente por encima de su potencia nominal [26].

FACTORES DE SERVICIO				
TIPO DE MOTOR QUE ACCIONA EL REDUCTOR	HORAS / DIA	TIPO DE CARGA		
		UNIFORME	MEDIA	CON CHOQUES
MOTOR ELECTRICO ENTRADA CONSTANTE	2	0.9	1.1	1.5
	10	1.0	1.25	2.75
	24	1.25	1.50	2.00

Fig. 3.22 Factor de Seguridad

Fuente: [26]

El factor de servicio permite realizar una corrección en la potencia del sistema, de tal forma que para el diseño se utiliza lo siguiente:

$$P_{diseño} = P_{motor} \cdot F_s \quad \text{Ec. (36)}$$

Donde:

$P_{diseño}$	potencia real del motor
P_{motor}	Potencia ideal del motor; 0,348 [HP]
F_s	Factor de servicio; 2,75

Se reemplaza los valores conocidos en la Ec. (36):

$$P_{real} = 0,957 \text{ HP}$$

3.5.5. Selección de transmisión

Para seleccionar el sistema de transmisión se debe conocer las características principales mecánicas del sistema, las que se muestran en la siguiente *tabla 3.11*.

Características	
Potencia del motor	1[HP]
Velocidad de rotación del motor	1.740 [RPM]
Velocidad de rotación del eje	300 [RPM]

Tabla 3.11 Características mecánicas del sistema

Conociendo las características principales del sistema se analiza el uso de las bandas, cadenas y engranes como método de transmisión motriz.

3.5.5.1. Criterios de evaluación

- Costo
- Disponibilidad en el mercado
- Mantenimiento.

A continuación, se realiza una *tabla 3.12* con las características comparativas entre bandas, cadenas y engranes.

Características - Transmisión	Bandas	Engranes	Cadenas
Precio	Económicas	Alto precio	Precio medio
Disponibilidad	Más fáciles de encontrar que las cadenas y los engranes.	Se deben mandar a fabricar. Disponibilidad mayor al de los engranes.	
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • No necesita lubricación • Mayor resistencia al polvo e impurezas. • Necesita menor mantenimiento que los engranajes y cadenas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No necesita lubricación • Mayor resistencia al polvo e impurezas. • Necesita menor mantenimiento que los engranajes y cadenas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita lubricación.
Perdidas en transmisión	Alta	Baja	Media

Tabla 3.12 características comparativas

Matriz de decisión

Se evalúa cada criterio del 1 al 5 siendo el número 5 el más alto según el análisis de las características de la tabla anterior (tabla), y siendo 1 el más bajo.

Características - Transmisión	Bandas	Engranés	Cadenas
Precio	5	1	3
Disponibilidad	5	1	3
Mantenimiento	5	1	3
Perdidas en transmisión	3	5	3
TOTAL	<u>18</u>	8	12

Tabla 3.13 Matriz de decisión

3.5.5.2. Sección transversal para ranuras

Para la selección de la sección transversal de las ranuras de las poleas se utiliza un gráfico distribuido por regiones para diferentes tipos de bandas (sea sin dientes, ejemplo: A; o con dientes para mejor agarre, ejemplo: AX), en función de la potencia de diseño y la velocidad del eje más rápido del sistema de transmisión, ya sea para ranuras convencionales o para las de alta capacidad, tal y como se muestra en la (Fig. 3.23).

Se ingresa a la gráfica mediante el valor de la potencia de diseño previamente determinada y la velocidad de rotación del eje más rápido del sistema de transmisión, es decir, el eje motriz (determinada para las velocidades de un motor nominal).

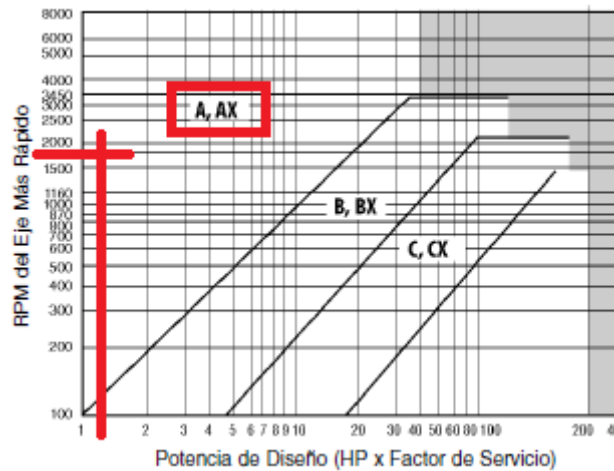


Fig. 3.23 Selección de banda en función de la potencia de diseño y la velocidad

Fuente: [27]

La región en donde se ubique el punto de intersección de ambos valores indica el tipo de banda que se recomienda utilizar para dichas condiciones de funcionamiento.

Para una potencia de diseño de 1 [HP] a una velocidad de rotación de 1.740 [RPM] el tipo de banda más adecuado es el A o AX (bandas dentadas). Se escoge la **banda A convencional** debido a que la dentada es para transmisiones de grandes potencias, cosa que no es necesaria en este diseño.

3.5.5.3. Selección de la polea motriz

Las restricciones en el diámetro de la polea motriz de un sistema se definen en función de la potencia y velocidad de rotación del eje de dicha polea. Para un motor que genere una potencia de 1 [HP] a 1.740 [RPM] o menor, el diámetro mínimo de la polea motriz es de 2.25".

Siguiendo estas recomendaciones del catálogo se evita que la polea falle por picos de esfuerzos.

POTENCIA DEL MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	3.00	3.00	3.00	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50★
★30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

Tabla 3.14 Diámetro de polea mínimo

Fuente: [27]

3.5.5.4. Análisis cinemático del sistema de transmisión de potencia.

El factor de reducción del sistema de transmisión de potencia está dado por la velocidad de rotación del motor y la velocidad requerida en los rodillos abrasivos, de la siguiente manera:

Polea de reducción

Ya que se necesita reducir de 1.740 rpm a 300 rpm. El juego se realiza con una reducción.

$$i_1 = \frac{W_{motor}}{W_{eje}} \quad \text{Ec. (37)}$$

Donde:

W_{motor} Velocidad de rotación del motor; 1750 [RPM]

$W_{rodillos}$ Velocidad de rotación del eje; 300 [RPM]

i_1 Factor de reducción de velocidad

Se reemplaza los valores conocidos en la ecuación Ec. (37):

$$i_1 = \frac{W_{motor}}{W_{eje}}$$

$$i_1 = 5,833$$

3.5.5.5. Selección de la polea conducida.

Una vez determinado la potencia de diseño corregida a partir de un factor de servicio, el tipo de banda (con base en su sección transversal) y la relación de reducción de velocidad es posible determinar los diámetros de las poleas motriz y conducida.


A Selección de Transmisión en Existencia																			
Relación de Velocidad	Combinación de Poleas		Velocidades Impulsadas y HP por Banda									Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco							
	Motriz D.P.	Impuls. D.P.	3000 RPM Motriz			1750 RPM Motriz			1100 RPM Motriz			Designación de Largo de Banda A/AX							
			Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	Impuls. RPM	HP por Banda A	HP por Banda AX	28	31	35	38	42	46	51	
4.48	6.6	29.6	790	11.91	13.58	390	8.24	8.73	259	6.00	6.28	—	—	—	—	—	—	—	—
4.50	4.0	18.0	779	6.18	7.14	389	3.96	4.36	258	2.89	3.14	—	—	—	—	—	—	—	—
4.56	5.4	24.6	768	9.67	10.98	384	6.34	6.78	255	4.59	4.86	—	—	—	—	—	—	—	—
4.59	3.4	15.6	763	4.44	5.32	381	2.89	3.28	253	2.13	2.38	—	—	—	—	—	—	—	—
4.62	6.4	29.6	757	11.59	13.18	378	7.93	8.42	251	5.77	6.05	—	—	—	—	—	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5.48	5.4	29.6	639	9.67	10.98	319	6.34	6.78	212	4.59	4.86	—	—	—	—	—	—	—	—
5.59	4.4	24.6	626	7.26	8.30	313	4.66	5.07	207	3.38	3.64	—	—	—	—	—	—	—	—
5.63	3.2	18.0	622	3.83	4.69	311	2.52	2.91	206	1.87	2.12	—	—	—	—	—	—	—	—
5.69	5.2	29.6	615	9.22	10.43	307	6.01	6.44	204	4.36	4.62	—	—	—	—	—	—	—	—
5.70	6.6	37.6	614	11.91	13.59	207	8.24	8.73	204	6.00	6.28	—	—	—	—	—	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5.76	3.4	19.6	607	4.44	5.32	304	2.89	3.28	201	2.13	2.38	—	—	—	—	—	—	—	—
5.86	4.2	24.6	598	6.73	7.73	299	4.31	4.72	198	3.14	3.39	—	—	—	—	—	—	—	—
5.87	6.4	37.6	596	11.59	13.18	298	7.93	8.42	197	5.77	6.05	—	—	—	—	—	—	—	—
5.92	5.0	29.6	591	8.76	9.92	296	5.68	6.10	196	4.12	4.38	—	—	—	—	—	—	—	—
6.00	3.0	18.0	583	3.20	4.04	292	2.15	2.54	193	1.61	1.86	—	—	—	—	—	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabla 3.15 Selección de poleas conducidas

Fuente: [27]

En la tabla 3.15 se sugiere un diámetro de polea motriz 4,2” y un diámetro de polea conducida de 24,6” para el factor de reducción de velocidad calculado. Al ver la diferencia entre la polea mínima de 2,25 a 4,2, se escoge la de 2,25 por su tamaño.

- Diámetro de Polea Motriz: 2,25” – 57 mm
- Diámetro de Polea Conducida: 13,125”- 333mm.

3.5.6. Diseño del eje estático

Para el diseño del eje estático, se necesita detallar los siguientes parámetros.

- Horas de uso: 8 horas diarias
- Temperatura de trabajo: 18°C – 22°C
- Tiene la función de soportar el torque que transmite la polea en el cilindro
- Mover el eje con cadenas con la ayuda de las poleas

3.5.6.1. Cálculos para el dimensionamiento del eje de la máquina

El eje está sometido a flexión y torsión. Para realizar el diseño estático del eje se necesita realizar los diagramas de fuerza cortante y momento torsor para poder calcular la resistencia de cada sección del eje.

Por esta razón, inicialmente se realiza un análisis estático del eje considerando un factor de seguridad elevado. Los resultados obtenidos de este análisis se comprobarán posteriormente con el respectivo proceso considerando el fenómeno de fatiga.

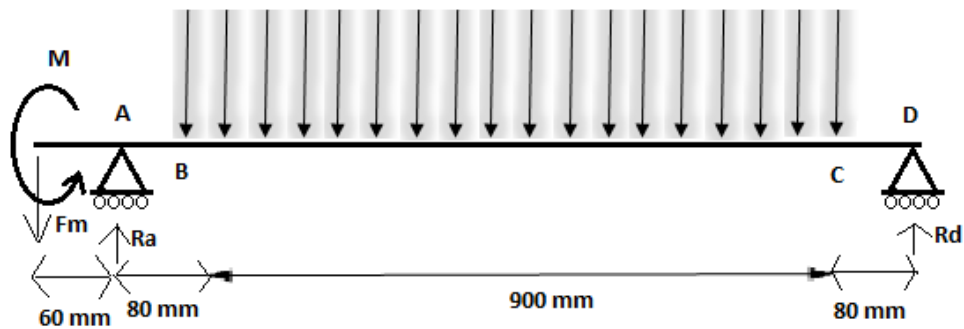


Fig. 3.24 Diagrama de cuerpo libre del eje

Donde

W	Momento
F_m	Tensión transmitida por banda
R_a	Reacción en el punto A
F_b	Fuerza que ejerce la tagua
P	Carga distribuida por el eje
F_c	Fuerza que ejerce la tagua
R_d	Reacción en el punto D
$F_m D$	Distancia entre polea conducida y rodamiento 0,06 m
DC	Distancia entre rodamiento y cadena 0,08 m
BC	Distancia entre cadenas 0,05 m
AB	Distancia entre cadena y rodamiento 0,08 m

Dado los siguientes datos, se procede a encontrar el momento torsor ($W = M_{torsor}$) que produce el motor, para lo cual se usa la siguiente ecuación.

$$M_{torsor} = \frac{P_{motor}}{\eta_2} \quad \text{Ec. (38)}$$

Para resolver la siguiente ecuación, es necesario anotar los siguientes datos:

$$P_{motor} = 1 \text{ HP}$$

$$\eta_2 = 31,45 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Se reemplaza los datos en la Ec. (38) se tiene el siguiente resultado.

$$M_{torsor} = 23,707 \text{ [Nm]}$$

Se procede a calcular el valor de la fuerza motriz usando el valor obtenido de (W), con la siguiente ecuación.

$$F_m = \frac{M_{torsor}}{\frac{D_{p2}}{2}} \quad \text{Ec. (39)}$$

Reemplazamos los valores en la ecuación y obtenemos el resultado.

$$F_m = 142,22 \text{ [N]}$$

Debido a que el cilindro esta empotrada e inmovilizada en la estructura, solamente se puede determinar F_c y F_d con la fuerza que ejerce la tagua en el eje, ambas fuerzas serán iguales y se usa la siguiente ecuación para su cálculo.

$$F_b = \frac{M_{tagua} \cdot g}{2}$$

Se reemplaza los valores y se tiene el siguiente resultado.

$$F_b = F_c = 252,25 [N]$$

Con estos valores determinados, se puede realizar la sumatoria de fuerzas y momentos en todo el eje, la cual permite determinar las reacciones en los puntos de apoyo R_a y R_d . Las cuales son las siguientes.

$$R_a = 306,11 [N]$$

$$R_d = 63,07 [N]$$

Con los valores de las fuerzas y reacciones encontradas, se realiza un diagrama de fuerza cortante, momento flector y momento torsor en el eje, con el fin de hallar los puntos críticos como se observa en la siguiente figura:

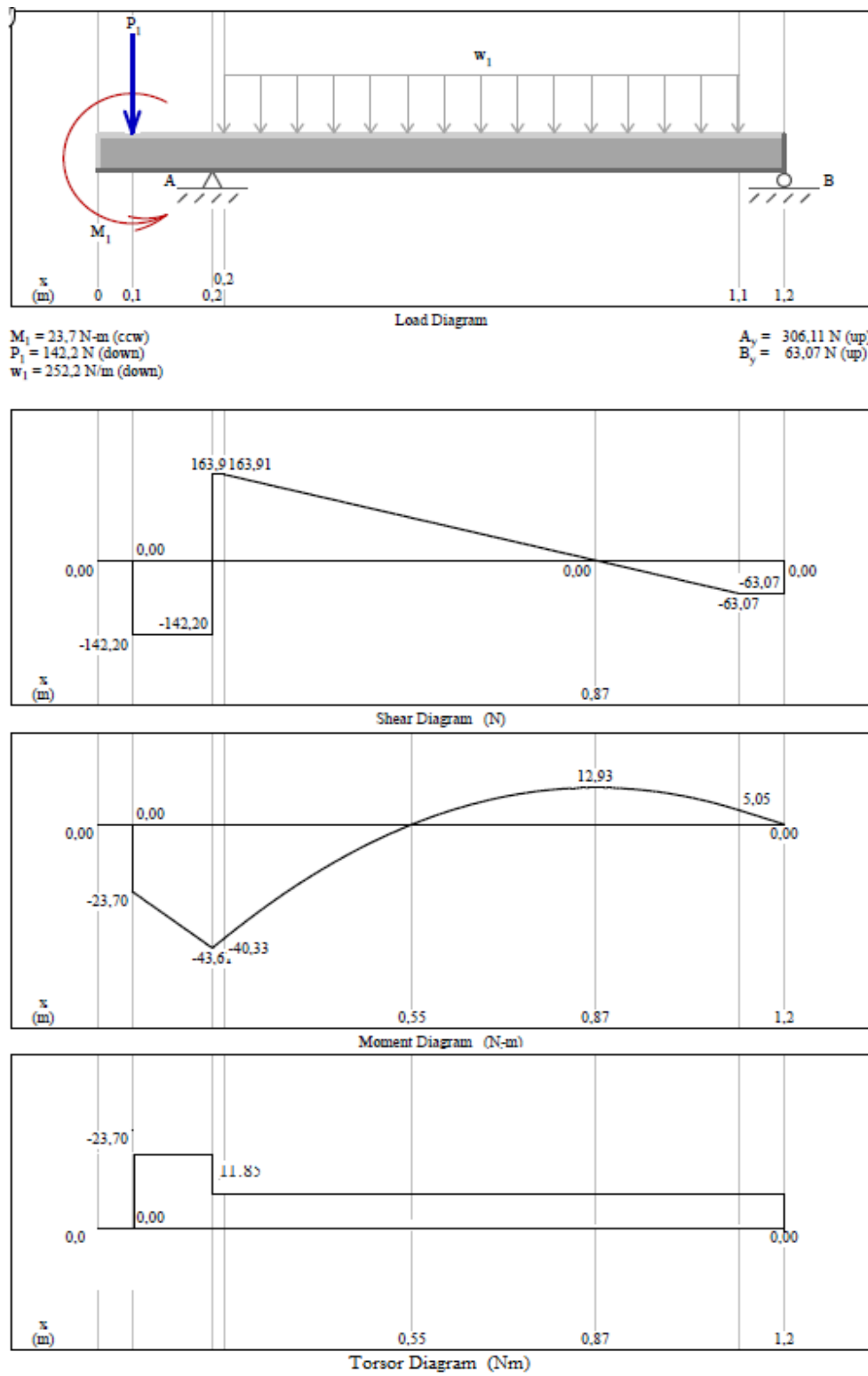


Fig. 3.25 Diagramas de: Cuerpo Libre, Fuerza Cortante, Momento Flector y Momento Torsor

De acuerdo con la (Fig.3.25) se puede notar que la mayor fuerza cortante está sometida en el punto A-B, por lo que esta zona será la parte más crítica del eje, por lo tanto, el diseño del eje será centrado con las especificaciones para este punto.

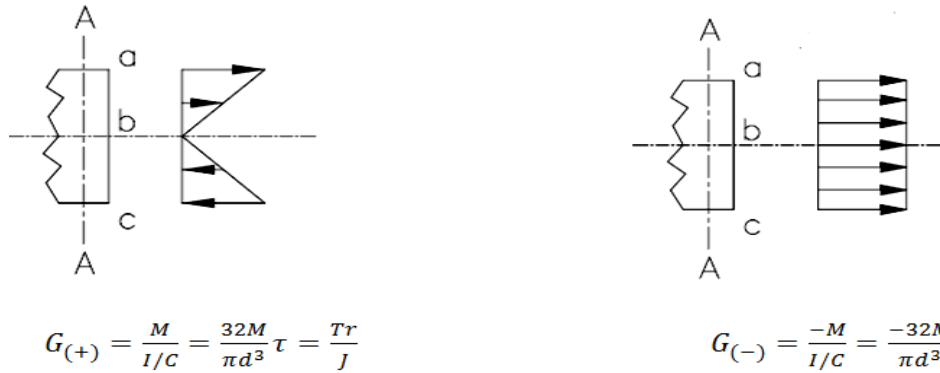


Fig. 3.26 Esfuerzos en las secciones críticas del eje

Para encontrar los esfuerzos de compresión, tensión y corte; se utilizan las siguientes ecuaciones y datos.

Datos:

$$M_{flector} = 43,6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{torsor} = 23,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ecuaciones:

$$\sigma_{pos} = \frac{M_{flector}}{\frac{I}{c}} \quad \text{Ec. (40)}$$

$$\sigma_{neg} = \frac{M_{flector}}{\frac{I}{c}} \quad \text{Ec. (41)}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad \text{Ec. (42)}$$

$$C = \frac{d}{2} \quad \text{Ec. (43)}$$

Donde

σ_{pos}	Esfuerzo de tensión debido a la flexión
σ_{neg}	Esfuerzo de compresión debido a la flexión
I	Inercia con respecto al eje horizontal de la sección crítica
C	Distancia del eje neutro a la fibra externa del material
d	Diámetro del eje

Se reemplaza los valores de las Ec. (42 y 43) en las Ec. (40 y 41), y se tiene.

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot M_{flector}}{\pi \cdot d^3} \quad \text{Ec. (44)}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 \cdot M_{torsor}}{\pi \cdot d^3} \quad \text{Ec. (45)}$$

Con la siguiente ecuación se determina los esfuerzos principales.

$$\sigma_{AB} = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\tau_{xy}^2 + \frac{\sigma_x^2}{4}} \quad \text{Ec. (46)}$$

$$\sigma_{AB} = \frac{\sigma_x}{2} - \sqrt{\tau_{xy}^2 + \frac{\sigma_x^2}{4}} \quad \text{Ec. (47)}$$

Se reemplaza las Ec. (48 y 49) en las Ec. (50 y 51), para luego calcular las ecuaciones con los datos mencionados al inicio y se tiene la siguiente respuesta.

$$dato1 = \frac{32 \cdot M_{flector}}{\pi \cdot 2}$$

$$dato1 = 222,053 J$$

$$dato2 = \sqrt{\frac{32 \cdot M_{flector}^2}{\pi \cdot 2} + \frac{16 \cdot M_{torsor}^2}{\pi}}$$

$$dato2 = 252,739 J$$

Finalmente

$$\sigma_{AB} = \frac{dato1}{d^3} + \frac{dato2}{d^3}$$

$$\sigma_{AB} = \frac{dato1}{d^3} - \frac{dato2}{d^3}$$

$$\sigma_{AB} = \frac{474,792}{d^3}$$

$$\sigma_{AB} = \frac{30,68}{d^3}$$

La siguiente ecuación se emplea para realizar el análisis de la energía de distorsión debido a que se emplea materiales dúctiles [28].

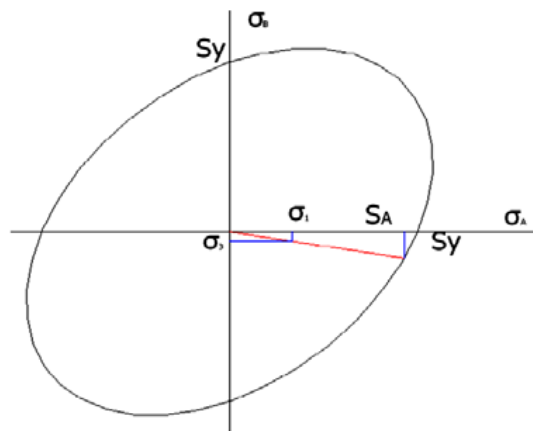


Fig. 3.27 Elipse de la teoría de la energía de distorsión

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_A \cdot \sigma_B + \sigma_B^2} \quad \text{Ec. (48)}$$

$$\sigma_t = \frac{490,854}{d^3}$$

Para hallar el diámetro se usa el resultado del esfuerzo de Von Mises y el dato de la resistencia de fluencia del acero inoxidable AISI 304 junto a un factor de seguridad de 2.

Datos:

$$\sigma_t = \frac{490,854}{d^3}$$

$$S_y = 256 \text{ MPa}$$

$$n = 2$$

$$\sigma_t = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (49)}$$

$$d = 0,015\text{m} = 15,26\text{mm}$$

3.5.6.1. Análisis de la fatiga del eje

En la Fig. (3.28) se muestra las variaciones que sufren las cargas, por ende, se realiza el diseño del eje de manera dinámica para analizar dichas variaciones.

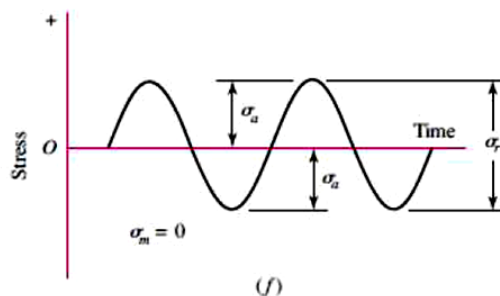


Fig. 3.28 Variación de esfuerzos en el tiempo

En el análisis del eje estático se calculó un diámetro de 15 mm, sin embargo, para el análisis dinámico se escoge un diámetro mayor debido a que se someterá a soldadura de cadenas, para lo cual escogemos un diámetro de 50 mm.

Con las Ec. (44 y 45) se calcula los esfuerzos.

$$\sigma_{xa} = \frac{32 \cdot M_{flector}}{\pi \cdot d^3} \quad \sigma_{xm} = 0$$

$$\tau_{xy} = 0 \quad \tau_{xym} = \frac{16 \cdot M_{torsor}}{\pi \cdot d^3}$$

Debido a que existen varios esfuerzos, determinamos en esfuerzo equivalente, medio y alternante; con las siguientes ecuaciones [25].

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (50)}$$

$$\sigma_a = \sigma_{xa} \quad \text{Ec. (51)}$$

$$\sigma_m = \sqrt{3 \cdot \tau_{xym}^2} \quad \text{Ec. (52)}$$

Se reemplaza los datos en las ecuaciones y se tiene:

$$\sigma_{xa} = 124,857 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{xym} = 33,935 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 124,857 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 58,777 \text{ MPa}$$

Se necesita la siguiente igualdad para diseñar el eje por el método de resistencia a la fatiga [25].

$$s_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_{eprima} \quad \text{Ec. (53)}$$

También se necesita los siguientes datos del material de acero inoxidable AISI 304 [29].

Datos:

$$S_y = 276 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ut} = 568 \text{ [MPa]}$$

Factor de superficie

$$k_a = 4,51 \cdot s_e^{-0,265}$$

$$k_a = 1,009$$

Factor de tamaño

$$d_{asig} = 0,050$$

$$k_b = 0,879 \cdot d_{asig}^{-0,107}$$

$$k_b = 1,211$$

Factor de confiabilidad y factor de temperatura

$$k_c = 0,814$$

$$k_d = 1$$

Factor de modificación por concentraciones diversos y factor de efectos diversos

$$k_f = 2 \quad k_e = \frac{1}{k_f} \quad k_e = 0,5$$

Reemplazando todos los valores en la Ec. (57), tenemos:

$$s_e = 282,611 \text{ MPa}$$

Finalmente, con los datos calculados se procede a encontrar el factor de seguridad, para lo cual se usará la teoría de falla por fatiga de Goodman y su respectiva ecuación [30].

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{S_e}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a}{\sigma_m}} \quad \text{Ec. (54)}$$

Remplazando los valores, y se tiene:

$$s_m = 107,792 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_m}{\sigma_m}$$

$$n = 1,834$$

El factor de seguridad que se calculó nos muestra que el diámetro de 50 mm es ideal para mitigar el esfuerzo estático, y las fatigas producida por el proceso de pelado [31].

3.5.6.2. Prisioneros de sujeción

Debido a que el movimiento del eje se transmite al tubo de 50 mm, se necesita de tornillos prisioneros para sujetar fijamente la transmisión del movimiento.

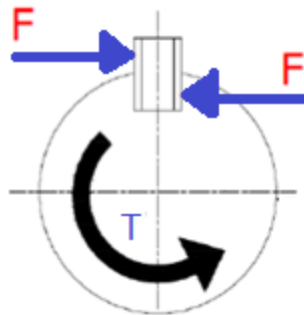


Fig. 3.29 Prisioneros de sujeción

Con la siguiente ecuación se calcula la fuerza de corte que se ejerce sobre el prisionero.

$$F_c = \frac{M_{torsor}}{r_{eje}} \quad \text{Ec. (55)}$$

Se reemplaza los valores y se tiene:

$$F_c = 1,86 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Para determinar la resistencia al esfuerzo cortante, se emplea la teoría de la energía de la distorsión [29].

$$\tau_c = \frac{S_{sy}}{n_c}$$

Datos:

$$S_y = 392,73 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 0,57 \cdot S_y$$

$$n_c := 2$$

Remplazando valores tenemos

$$\tau_c = 113,303 \text{ MPa}$$

Finalmente

$$d_1 = \sqrt{\frac{F_c}{\frac{\pi}{2} \cdot \tau_c}}$$

$$d_1 = 3,238 \text{ mm}$$

3.5.7. Selección de chumacera

Para poder seleccionar la chumacera se toma en cuenta los siguientes parámetros.

- Accesibilidad en el mercado
- El diámetro del eje: 1 in
- Sujeción de pared o de piso.

Por las características mencionadas, se elige una chumacera de piso UCPX 05 UCPX 05-16 que se muestra en la siguiente (Fig. 3.30)



Fig. 3.30 Chumacera de piso

Características generales.

Bearing Unit / Soporte	Shaft / Eje Dia.		h	a	l	b	s	s	
	d inch	d mm							
UCPX 05 UCPX 05-16	1"	25	44.4	159	119	51	25	17	
	g	w	Bi	n	Bolt Size / Tamaño del tornillo		Insert / Inserción	Housing / Cubierta	Weight / Peso
	18	85	38.1	15.9	inch	mm	No.	No.	kg
					1/2"	M14	UCX 05 UCX 05-16	PX 05	1.50

Shaft Dia. / Eje dia.		Dimensions/ Dimensiones								Basic Load Ratings/ Capacidad de carga kN		Factor	
mm	inch	D		B		C		r (min.)		Cr	C0r	f 0	
d		mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch				
25	15/16	52	2.047	27	1.063	15	0.591	1	0.039	14.0	7.85	13.9	
		52	2.047	34.1	1.343	17	0.669	1	0.039	14.0	7.85	13.9	
		52	2.047	27	1.063	15	0.591	1	0.039	14.0	7.85	13.9	
	-	-	52	2.047	34.1	1.343	17	0.669	1	0.039	14.0	7.85	13.9
			62	2.441	38	1.496	22	0.866	1.1	0.043	21.2	10.9	12.6
			62	2.441	38.1	1.500	19	0.748	1	0.039	19.5	11.3	13.9
-	1	52	2.047	27	1.063	15	0.591	1	0.039	14.0	7.85	13.9	
		52	2.047	34.1	1.343	17	0.669	1	0.039	14.0	7.85	13.9	
		62	2.441	38	1.496	22	0.866	1.1	0.043	21.2	10.9	12.6	
	-	1.18	62	2.441	30	1.181	16	0.630	1	0.039	19.5	11.3	13.9
			62	2.441	38.1	1.500	19	0.748	1	0.039	19.5	11.3	13.9
			62	2.441	30	1.181	16	0.630	1	0.039	19.5	11.3	13.9
30	-	62	2.441	38.1	1.500	19	0.748	1	0.039	19.5	11.3	13.9	
		62	2.441	30	1.181	16	0.630	1	0.039	19.5	11.3	13.9	
		72	2.835	43	1.693	24	0.945	1.1	0.043	26.7	15.0	13.3	

Fig. 3.31 Características de la chumacera

De la (Fig. 3.31) se puede adquirir la capacidad de carga que es de 7,85 kN en el menor de los casos; por tal motivo es suficiente para la carga calculada anteriormente. Por lo cual la chumacera analizada es adecuada para la construcción de la máquina.

3.5.8. Análisis Estructural

El análisis estructural se realizó en la plataforma de simulación de SolidWorks®. El elemento analizado es la mesa de soporte. La carga estática de prueba es el sumatorio de los pesos de todos los elementos que soportara la estructura, con un total de 780 a 800 N. Que se distribuirá en los 4 tubos cuadrados de la parte superior de la mesa, como se muestra en la Fig. (3.32)

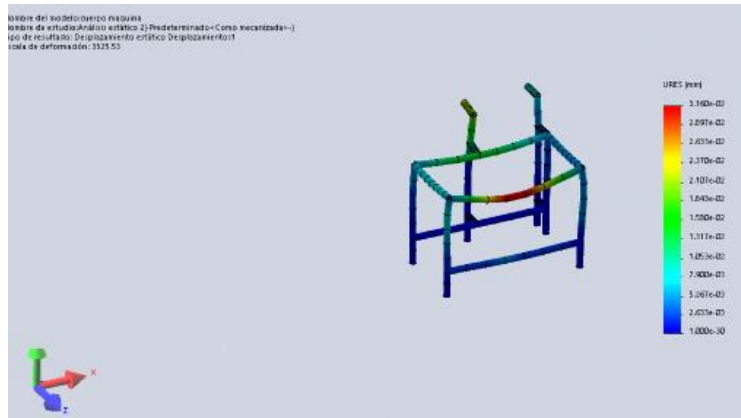


Fig. 3.32 Resultado de la deformación en carga estática

Produciendo una deformación máxima de 0,0316 mm, que se encuentra dentro del rango aceptable.

3.5.9. Sistema de encendido.

La máquina peladora de tagua cuenta con un sistema ON/OFF. Al presionar el pulsador normalmente abierto la máquina activa el contactor permitiendo el flujo de la corriente para que el sistema motriz comience a girar. Sin embargo, para realizar las conexiones respectivas de debe tener en cuenta las características del motor.

3.5.9.1. Circuito de fuerza

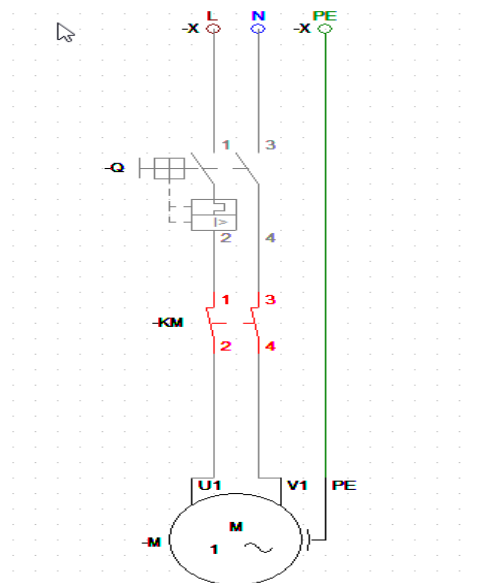


Fig. 3.33 Circuito de fuerza

3.5.9.2. Circuito de control

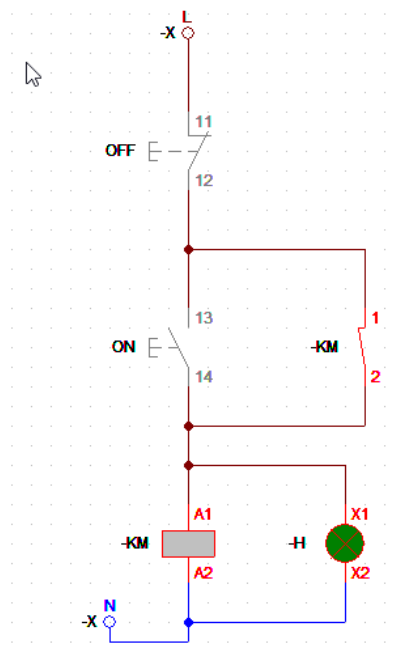


Fig. 3.34 Circuito de control

El circuito de fuerza está constituido por un disyuntor térmico y un contactor. El circuito está protegido para cualquier anomalía o falla que se pueda producir. Con los siguientes cálculos se respalda los valores que se eligieron tanto para el disyuntor térmico y el contactor.

Datos:

$$P_{motor} = 1HP$$

$$I = \frac{P_{motor} \cdot 746}{1.732 \cdot V_L \cdot N \cdot fp} \quad \text{Ec. (56)}$$

$$V_L = 1110$$

$$N = 0,80$$

$$fp = 0,80HP$$

$$I = 6.11 \text{ Amp}$$

Se elige los valores de un inmediato superior con un disyuntor térmico de 10 Amperios.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se realiza el análisis de los resultados, junto a ello el análisis del diseño final, análisis de costos y factibilidad del proyecto. En este capítulo se analiza las limitaciones del diseño obtenido de la metodología, en el análisis de costo se estima el retorno de la inversión y se analizan los índices de rentabilidad.

4.1. Montaje físico de la máquina

Los resultados obtenidos luego del diseño de todos los sistemas en el capítulo 3, se detallan a continuación.

- Construcción de la tolva de entrada
- Construcción de la estructura de la máquina
- Construcción del cilindro y las tapas
- Construcción de la malla electrosoldada de salida de cascara
- Construcción de la salida de semilla de tagua
- Construcción de la tolva de salida de la cascara
- Construcción del eje con soldadura de cadena

4.1.1. Tolva de Entrada

La tolva está formada por una lámina de Acero inoxidable AISI 304 de 2.5 mm de espesor.

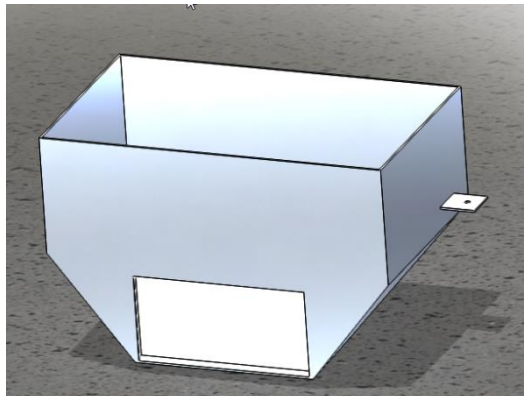


Fig. 4.1 Tolva diseñada en SolidWorks

La lámina fue dimensionada en la plancha y cortada con plasma, con las dimensiones expuestas en el plano de la tolva. Adicionalmente las partes fueron unidas y soldadas con electrodo AISI 308, misma que permite un compacto mejor entre las piezas. Finalmente se pulen para su estado final.



Fig. 4.2 Tolva construida

4.1.2. Estructura de la máquina

La estructura fue construida de tubo estructural de acero galvanizado cuadrado, debido al soporte y la duración que se pretende tener con la máquina. El tubo fue soldado con electrodo 6011 de punto para formar la estructura. En la (Fig. 4.3) se observa los cortes y la unión con suelda.



Fig. 4.3 Suelda de la estructura de la máquina.

Luego de unir completamente todas las piezas, se procede a pulir y pintar, en la (Fig. 4.4); se aprecia el esqueleto de la máquina finalizado.



Fig. 4.4 Estructura de la máquina terminada.

4.1.3. Cilindro y tapas

El cilindro de la máquina tiene dos tapas laterales, y están construidas de acero inoxidable AISI 304. El cilindro fue trazado según las dimensiones del plano para luego poder dar forma del cilindro mediante una máquina de rodillos (Fig. 4.5).



Fig. 4.5 Construcción del cilindro.

Las dos tapas fueron soldadas con electrodos AISI 308. Una vez dada la forma de un cilindro se procedió a realizar 4 perforaciones rectangulares:

- Perforación para tolva de ingreso
- Perforación para tolva de salida
- Perforación para malla electrosoldada
- Perforación para tapa de revisión.



Fig. 4.6 Cilindro con perforaciones.

4.1.4. Malla electrosoldada

La malla fue construida con varillas de acero inoxidable AISI 304 de 4 mm de diámetro, y soldada con electrodos AISI 308.



Fig. 4.7 Construcción de la malla.

4.1.5. Salida de semilla de tagua

La compuerta de salida de tagua está construida de acero inoxidable AISI 304. Y fue soldada al corte del cilindro y a la estructura para su correcta fijación.



Fig. 4.8 Construcción de la salida de semilla de tagua

4.1.6. Tolva de salida de la cáscara de tagua

La construcción de la tolva de salida se construyó con acero ASTM A-36 de 2 mm de espesor, debido a que solo debe recibir y portar la cascara pelada.



Fig. 4.9 Construcción de la tolva de salida

4.1.7. Eje de la maquina

Con el objetivo de que el eje este protegido de la soldadura se cubrió con un tubo de acero inoxidable AISI 304 de 50 mm



Fig. 4.10 Eje con soldadura de cadenas

Para la sujeción del tubo de acero inoxidable y el eje se construyó los prisioneros ya diseñado y calculado con sus dimensiones.



Fig. 4.11 Prisioneros para sujeción.

4.2. Análisis de resultados en el diseño final

Los resultados obtenidos luego del ensamblaje de la máquina, garantiza un trabajo seguro y eficiente. Sin riesgos de tener lesiones por el proceso de pelado por la estructura bien compacta y segura.



Fig. 4.12 Máquina peladora de tagua

Debido al estado de emergencia por el COVID-19 no se obtuvo una gran cantidad de semillas de tagua para realizar varios procesos. Sin embargo, en los 3 procesos de pelado se observó lo siguiente:

- El desplazamiento de la semilla de tagua por la tolva de entrada se produce de una forma unánime y lenta, permitiendo que el 96% de las semillas tengan el resultado del pelado, en los primeros dos minutos de funcionamiento.
- Las cascaras de la tagua se hacen trisas por lo que su salida por la malla electrosoldada hace que su diseño sea factible y no se acumule basura dentro del cilindro, permitiendo que las taguas por pelar restantes tengan un pelado más eficiente.
- La vibración que se produce por las cadenas giratorias que chocan con las taguas, permite que tanto las semillas de tagua ingresen de manera constante y también la cascara de tagua, se desplace por la tolva de salida hacia el basurero para que ambas partes sean clasificadas.
- Por último, las taguas, luego de que se abre la compuerta de salida, caen hacia un recipiente que almacena las semillas de taguas peladas, sin embargo, hay un 4% de cascara trizada que sale con la semilla por esta compuerta. Y se comprende que en 3 minutos de funcionamiento la eficiencia es del 96% de pelado con 15 kg.

4.3. Análisis de costos del proyecto.

Cuando se va a implementar un sistema automatizado, es de vital importancia realizar un análisis de los costos que intervienen en la ejecución de este, hay que tomar en cuenta los costos de un sistema de pelado manual y de un sistema de pelado automático y sus beneficios a futuro.

4.3.1. Costos directos

Son los que intervienen directamente en los costos de fabricación.

Nombre	Material	Valor U. (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Estructura (Tubo Cuadrado)	Acero galvanizado	39,5	3	118,5
Plancha de acero inoxidable	AISI 304	255	1	255
Plancha Acero	ASTM A-36	55	1	55
Eje de 1 pulgada	AISI 704	44	1	44
Tubo 2 pulgadas AISI 304	AISI 304	30	1	30
Chumaceras	Acero	8,5	2	17
Polea 13 in	Aluminio	26	1	26
Polea 2.25 in	Aluminio	7	1	7
Motor	WEG	156	1	156
Cadenas	Acero	3	5	15
Caja de control	Aluminio	40	1	40
Varilla AISI 304 1/4	AISI 304	12	4	48
Tuercas y pernos	Acero	5	1	5
TOTAL				816,5

Tabla 4.1 Costos directos

4.3.2. Costos indirectos.

Son aquellos que no pueden identificarse con la producción, pero constituyen un costo aplicable a la producción en general.

Nombre	Valor U. (USD)	Cantidad	Costo Total
Internet	0,5	200	100
Material de oficina	20	1	20
Impresiones	0,15	500	75
Transporte	0,55	40	22
Gastos varios	100	1	100
TOTAL			317

Tabla 4.2 Costos indirectos

4.3.3. Costo Total

Es la suma de los costos directos e indirectos.

Costos	Valor U. (USD)
Directos	816,5
Indirectos	317
TOTAL	1133,5

Tabla 4.3 Costo Total

4.4. Análisis del Costo-Beneficio

Este análisis nos permite determinar el grado de utilidad del proyecto, mediante una valoración monetaria.

4.4.1. Análisis del sistema de pelado manual.

Dentro de este sistema, se realiza el pelado diariamente, con una duración de 8 horas en el pelado de 2 qq de semilla de tagua, entre dos personas.

Costo (en 6 meses)			
Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Materia Prima directa (Taguas - qq)	360	15	5400
Trabajadores	2	300	3600
Transporte	4	150	600
		TOTAL	9600
Beneficio (en 6 meses)			
Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Semilla de tagua pelada	360	30	10800
		Beneficio Total	1200
		Beneficio Mensual	200

Tabla 4.4 Tabla Costo-Beneficio en pelado manual

4.4.2. Análisis del sistema de pelado automático.

Con el sistema de pelado automático se pretende terminar 800 – 1.000 kg de tagua, en una jornada de 8 horas.

Costo (en 6 meses)			
Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Materia Prima directa (Taguas - qq)	1200	15	18000
Trabajadores	1	300	1800
Servicio eléctrico	6	10	60
Transporte	15	150	2250
TOTAL			22110
Beneficio (en 6 meses)			
Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Semilla de tagua pelada	1200	30	36000
Beneficio Total			13890
Beneficio Mensual			2315

Tabla 4.5 Tabla de Costo-Beneficio de un pelado automático.

Mediante el análisis de costo beneficio, queda demostrado que la construcción de la máquina peladora de tagua es factible y beneficiara en gran magnitud económicamente a las familias de producción artesanal con 2.115 dólares americanos más, frente a los 200 dólares americanos que están generando con el pelado manual en el tiempo de 1 mes de trabajo, y al mismo tiempo la inversión brindada para la construcción se recuperara en un periodo de 3 meses. Debido a que la ganancia mensual estimada es 2.000 dólares americanos al mes.

CAPÍTULO 5

5. Conclusiones y Recomendaciones del Proyecto

5.1. Conclusiones

Para el presente trabajo de titulación se propuso como objetivo principal construir un “PROTOTIPO DE MÁQUINA PELADORA DE SEMILLA DE TAGUA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL”, con la finalidad de abastecer los pedidos requeridos y reducir el riesgo laboral. Para cumplir con los propósitos de forma exitosa se determinó 4 objetivos específicos, a los cuales se liga las siguientes conclusiones.

- Al utilizar diferentes muestras de semillas de tagua, se conoce que no se necesita gran fuerza de compresión para la ruptura de la cáscara *tabla 3.5*, esto facilita a que se aumente las circunstancias de producción, lo cual se muestra en la *tabla 3.3* de este trabajo. El sistema de admisión calculado de acuerdo con la circunstancia de producción tiene una capacidad máxima de 51,8 Kg, con estos datos se concluye que debido a sus características sufren daños con el impacto de cadenas y al mismo tiempo el pelado que se realizaba en 4 horas se reduce a 30 min.
- Mediante el uso de la herramienta de simulación de SolidWorks ® se concluye que la estructura construida con tubo estructural cuadrado de 50·2 mm de espesor está diseñada para soportar el peso de todos los elementos, las semillas de tagua y las vibraciones procedentes de la máquina; las pruebas estáticas y dinámicas se realizaron obteniendo una deformación máxima de 0.0316 mm, la cual no genera ningún efecto negativo en el funcionamiento de la máquina.

- Basado en el planteamiento teórico *tabla 3.11 y 3.12* y las pruebas prácticas que se realizó; se concluye que el sistema de bandas y poleas es más que suficiente para tener una buena transmisión de fuerza, la misma que fractura la cáscara y realiza el pelado, también se concluye que no implica complicaciones en su implementación.
- Se concluye que el material del cilindro AISI 304 y su espesor 2.5 mm están muy bien seleccionados, debido a que las semillas son impactadas por las cadenas giratorias y son impulsadas a las paredes del cilindro con gran velocidad produciendo choques constantes. Para llegar a esta conclusión se tomó en cuenta los cálculos que se muestran en la sección 3.5 de este trabajo.

Al obtener un resultado de un factor seguridad igual a 1,83, en los cálculos realizados en el diseño del eje sección 3.5.6, nos ayuda a concluir que el material escogido AISI 304 y el tubo del mismo material con 50 mm de diámetro están en capacidad de soportar esfuerzos mecánicos a los que son sometidos.

- La chumacera para cada apoyo del eje se seleccionó en base al diámetro del eje y su capacidad de carga tanto estática y dinámica transmitida desde el eje hasta los apoyos datos que se pueden encontrar en la sección 3.5.7 de este trabajo, con estos valores se concluye que la chumacera trabaja de una manera adecuada por un largo periodo sin brindar complicaciones en su funcionamiento.

- Al observar que un 99.5% de las semillas peladas no salen por la malla electrosoldada, concluimos que fue acertado las pruebas de dimensionamiento y toma de características de la tagua. La malla electro soldada es de material acero inoxidable AISI 304, también soporta los impactos que se producen por los choques de las cadenas y las taguas. La cáscara cae una tolva de salida, que aprovecha la vibración de la máquina y su ángulo de inclinación determinada y la sección 3.5.2.1; para ser acumulado en un recipiente externo.
- Para la construcción de la máquina se concluye que tener todas las herramientas y especialmente las medidas de cada pieza o elemento (planos), ayudan a que la construcción se realice en menor tiempo y de la mejor manera. También se concluye que el uso de cada equipo de protección te puede salvar de quemaduras y de accidentes laborales. En el capítulo 4 se incluyen imágenes y detalles específicos, sus partes y un análisis de la máquina completa y el uso de equipos de protección.
- Finalmente concluimos que los resultados del proyecto fueron satisfactorios, el eje con cadenas giratorias brindo el resultado esperado con un 98% de fractura y un 96% del desprendimiento de la cascara de la semilla, dichos porcentajes están dentro del resultado positivo y previsto en este trabajo, y presenta un incremento de 800 kg en su jornada diaria. Igualmente, el tiempo de pelado de 100 kg se redujo de 4 horas a 1 hora, lo que se traduce en beneficios para la industria artesanal.

- El cuarto objetivo específico fue realizar pruebas de funcionamiento, en la que se concluyó que entre menor semillas de tagua se ingrese menor porcentaje de efectividad y mas daños a la semilla. Estas pruebas también ayudaron, para que se realice una correcta calibración del temple de la correa y el posicionamiento lineal de las poleas (eje y motor). En la *tabla 5.1* se muestra las pruebas de funcionamiento y su resultado.

Pruebas de funcionamiento				
N°	Peso (Kg)	Tiempo (s)	Resultado (%)	Daños (%)
1	10	120	97	1
2	14	180	96	0.5
3	20	240	96	0.4

Tabla 5.1 Pruebas de funcionamiento

- Concluimos que en su funcionamiento la maquina brinda un 98% de seguridad al trabajador, debido a que las compuertas no cuentan con una protección en los cortes realizados, sin embargo, el estar en un lugar adecuado disminuye al 99.9% el riesgo laboral.

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda que el operador, antes de poner en marcha la máquina. Lea el manual del usuario para conocer los requerimientos de la maquina como: la cantidad de semillas de tagua que se debe ingresar a la tova, el tiempo de pelado, entre otros. Debido a que si el pelado se realiza durante un tiempo excesivo no solo extraerá la piel de la semilla, sino que también se corre el riesgo de dañar las semillas.
- Siempre que se diseña una máquina se utiliza componentes seleccionados de acuerdo con los requerimientos y los cálculos obtenidos. Por lo que se recomienda únicamente usar la máquina para el pelado de la semilla de tagua. Y no ingresar dentro del cilindro materiales mas duros ya que esto puede generar daños en la cadena y el eje.
- Al momento de realizar el diseño en cualquier software CAD-CAM es importante analizar el material con la cual se va a trabajar y el proceso que se le va a brindar a la misma, debido a que con cada proceso físico que se le da al material tiende a sufrir un alargamiento, trayendo consigo inconvenientes si la máquina se diseñó con una medida justa en el software.
- Realizar buenos análisis, de las partes más críticas de cada parte de la peladora, permite evitar gastos extras que son perjudiciales tanto en tiempo y dinero. Esto también permite evitar accidentes por falla del material garantizando un óptimo funcionamiento.

- Es importante conocer los materiales con los cuales están trabajando debido que, para unir cualquier parte con otro, se necesita usar electrodos para soldadura que sean del mismo tipo del material con el cual se está trabajando, esto permite que la unión sea más eficiente y segura.
- Se recomienda realizar una revisión de la máquina y leer el manual de usuario antes de poner en funcionamiento la máquina, esto evitara posibles accidentes por un mal manejo de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, México, 2011.
- [2] F. M. O. CAIZA, «ESTUDIO DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PARTÍCULAS PROVENIENTES DE LOS RESIDUOS DE TAGUA (*Phytelephas aequatorialis macrocarpa*) A UNA MATRIZ DE POLIESTIRENO.,» p. pág. 25, 2017.
- [3] C. E. C. CHUBA, «ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS DE TAGUA EN LA CIUDAD GUAYAQUIL,» p. 45, 2015.
- [4] S. d. S. L. y. M. A. MCA-UGT., «Ergonomía y Pimes,» *Especial referencia al sector de talleres de reparación de automoviles*, p. 11, 2017.
- [5] P. Sánchez, Interviewee, *Produccion y demanda de la semilla de tagua.* [Entrevista]. 24 Noviembre 2018.
- [6] R. S. Sánchez, «Todo comercio exterior,» [En línea]. Available: <http://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/la-tagua-un-material-atractivo-para-el-mundo>. [Último acceso: 11 27 2018].
- [7] L. República, «Ecuador promociona en China la tagua, el “marfil vegetal”,» 11 10 2016. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.ec/blog/vida-estilo/2016/10/12/ecuador-promociona-en-china-la-tagua-el-marfil-vegetal/>. [Último acceso: 30 11 2018].

- [8] R. Montufar, «La Tagua: de la gloria al olvido,» p. pag. 5, 2017.
- [9] C. d. I. Ibarra, 2018. [En línea]. Available: <http://cee.org.ec/Gremios/camara-de-comercio-y-produccion-de-ibarra/>.
- [10] M. J. Pintado Abad, «"Diseño y Modelado de una Máquina Peladora de Almendras",» 2017.
- [11] R. G. Hardware, «(Agosto de 2015). Design and Analysis of Almond De-husking and De-shelling Machine. International Journal of Engineering and Techniques, 1(4), 77-79. Recuperado el Octubre de 2016».
- [12] N. ISO, «Qué es ISO?,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.certificadoiso9001.com/que-es-iso/>.
- [13] M. N. J. J. Vélez1, LA ASOCIATIVIDAD PARA EL FORTALECIMIENTO DE LOS ARTESANOS PRODUCTORES DE LA SEMILLA DE LA TAGUA EN LA COMUNIDAD DE SOSOTE, MANABÍ, ECUADOR, Manabí, 2018.
- [14] A. G. C. BERMÚDEZ, DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE FRUTO DE TAGUA PARA AGILIZAR LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LA COMUNA DOS MANGAS DE LA PARROQUIA MANGLARALTO CANTÓN SANTA ELENA., La libertad-Ecuador, 2015.
- [15] M. N. B. Valencia, p. pag. 187, 2013.
- [16] M. Cruz y G. Orellana, «SlideShare,» 15 Julio 2010. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/leoballadares7/la-tagua>.
- [17] EcuadorianHands, 2014. [En línea]. Available: https://www.ecuatorianhands.com/es/blog/2_abalorios-de-tagua-origenes-y-proceso-desde-sus-inicios-en-el-bosque-tropical.html.
- [18] Maquinas-Herramientas, «OLX,» 29 5 2019. [En línea]. Available: <https://bogotacity.olx.com.co/venpermuta-peladora-de-papas-iid-1048028195>.
- [19] United States Patente nº 328032, «patentes.com,» 1885. [En línea].
- [20] E. V&M, «Mecalux,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.logismarket.com.mx/vm/peladora-fregadora-lavadora/1237469737-3356761568-p.html>.
- [21] L. Muñoz Jashimoto, y E. de la Vega Bustillos, «FUERZA MÁXIMA DE AGARRE CON

- MANO DOMINANTE,» p. 8, 2009.
- [22] C. LedBetter, «Shell Cracking strenght,» p. 6, 2008.
- [23] R. SIUCE BONIFACIO, «Slideshare,» 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/RamiroSIUCEBONIFACIO1/diseo-de-tolvas-63586969>.
- [24] E. Lara Salazar, «Pernos,» de *Diseño sismoresistente de conexiones emperradas de acero*, Quito, 2014, p. 27.
- [25] J. Shigley, «Ejes.,» de *Diseño en Ingeniería Mecánica*, 2008.
- [26] WEG, 2019. [En línea]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h35/h2b/WEG-w22-motor-electrico-monofasico-50070884-brochure-spanish-web.pdf>.
- [27] Martin, «Transmisiones por bandas,» pp. 102, 149, 2019.
- [28] C. A. DE CASTRO P, «Teorias de fallas bajo cargas estaticas,» [En línea]. Available: <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf>.
- [29] j. Shigley, «Diseño en ingeniería mecánica,» de *capítulo 8*, 2008.
- [30] A. PEREZ, «Mecapedia,» 2006. [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/criterio_de_Goodman.htm.
- [31] G. JIMENEZ, «Fatiga de los metales,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos88/fatiga-metales-generalidades/fatiga-metales-generalidades.shtml>.
- [32] S/N. [En línea]. Available: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/file.php/23/Optativa_-_Archivos_de_Clases/8-CLASE_DE_ALMENDRO_Modo_de_compatibilidad_.pdf.
- [33] M. L. SUTER, G. W. SCHRADER y THOMAS, DONALD C., «Patentados • com,» 15 4 2019. [En línea]. Available: <https://patentados.com/cip-2015/pelado-patatas-manzanas-hortalizas-frutas/>.
- [34] R. J. Pineda De la Torre, «Prototipo de máquina peladora de tagua,» Otavalo, 2019.

ANEXOS

MANUAL DE USUARIO

Leer las siguientes instrucciones, recomendaciones y precauciones antes de usar la máquina peladora de tagua:

- ✓ Ubicar la máquina en una superficie plana.
- ✓ Tener a la mano protección auditiva
- ✓ Conectar la máquina a una toma de 110v.
- ✓ Verificar que todas las compuertas del cilindro estén cerradas.
- ✓ Introducir de 45 kg a 50 kg de tagua en la tolva de entrada.
- ✓ Encender la máquina con el botón ON/OFF
- ✓ Abrir la compuerta de la tolva de entrada y esperar a que toda la semilla ingrese al cilindro y cerrar la compuerta
- ✓ Esperar un tiempo entre 4 a 6 min.
- ✓ Abrir la compuerta de salida y esperar alrededor de 4 minutos mientras la tagua pelada cae por la compuerta de salida.
- ✓ Apagar la máquina con el botón ON/OFF
- ✓ Una vez apagada la máquina, verificar que todas las semillas hayan salido por la compuerta frontal del cilindro.
- ✓ Si escucha algún ruido en especial puede interrumpir el proceso de pelado mediante los botones ON/OFF
- ✓ Repita la secuencia.

140

Recomendaciones y precauciones

- ✓ Estar atentos a que ningún objeto solido este mezclado con las semillas de la tagua.
- ✓ No tocar ni introducir objetos en lo que se refiere el sistema de transmisión motor, poleas y banda.
- ✓ No abrir la compuerta frontal del cilindro mientras la maquina esta encendida. Ni meter la mano en ninguna de sus compuertas.
- ✓ Si el cilindro comienza a producir ruidos diferentes a los habituales o comienza a generar vibración inusual apague la máquina inmediatamente y verifique su estado.

PLAN DE MANTENIMIENTO

Es necesario que se realice las siguientes acciones periódicas para que la máquina trabaje en sus óptimas condiciones.

Plan de mantenimiento

Acciones para realizar	Diario	Semanal	Mensual	Anual
Limpieza interna del cilindro	x			
Eje con cadena		x		
Polea con banda		x		
Motor			x	
Reajuste de tornillos			x	
Chumacera				x
Limpieza tolva de salida	x			

Plan de lubricación

Elementos	Anual	Lubricante
Compuertas	x	Grasa LGHP 2
Eje y chumacera	x	Grasa LGHP 2

