

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Diseño de una Piladora móvil artesanal de 150 kg/h para la comunidad de Paipayales”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Jashmar William Garaycoa Albuja

Edgar Adrián Cárdenas Siguencia

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis familiares quienes fueron un pilar fundamental durante mis estudios, sobre todo a mis abuelitos, a mi hermana y a mi mama quien me brindaron apoyo incondicional en todo momento.

Edgar Cardenas

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi familia por el apoyo incondicional en todas las actividades que he realizado, a cada compañero y/o amigo que aportaron de una u otra manera, y a mi mama quien fue la persona que me brindo su apoyo integro en toda mi vida académica.

Edgar Cardenas

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; y nosotros Edgar Adrián Cárdenas Sigüencia y Jashmar William Garaycoa Albuja damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Jashmar William
Garaycoa Albuja



Edgar Adrián
Cárdenas Sigüencia

EVALUADORES

PhD. Emérita Delgado

PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Ernesto Martínez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El arroz es un producto alimenticio de gran demanda el cual requiere de un proceso de producción riguroso para tener la calidad idónea que exigen los estándares del mercado, la comunidad de Paipayales compuesta por 25 familias agricultoras de arroz carecen de un proceso completo en su producción debido a la inadecuada transferencia de tecnológicos a esta comunidad. El descascarado del arroz es uno de los procesos que requiere de una piladora para ser eficiente, las piladoras industriales no son capaces de satisfacer esta necesidad debido a que requieren de una cantidad mínima de producto para que su uso sea económicamente viable. Debido a esto el objetivo de este proyecto es diseñar una piladora de arroz que satisfaga los requerimientos en el proceso de producción de la comunidad de Paipayales. Se seleccionó un modelo de piladora más idóneo para los requerimientos de los pobladores de la comunidad, el equipo se adaptó sus dimensiones y materiales utilizando conocimientos de diseño mecánico y estructural, el equipo diseñado consta principalmente de una tolva, eje transportador, tamiz, motor y la estructura. Se estimó el costo del equipo diseñado, y se desarrolló una serie de recomendaciones para la puesta en marcha y mantenimiento. Se elaboró planos constructivos, el costo que se estimó de los materiales, componentes seleccionados y mano de obra fue considerablemente mayor al de las piladoras que se encuentran en el mercado, sin embargo, con el aumento de ingresos el equipo se pagaría solo después del primer semestre en uso.

Palabras Clave: Piladora, Arroz, Proceso, Costo, Diseño.

ABSTRACT

Rice is a highly demanded food product which requires a rigorous production process to have the ideal quality required by market standards. The Paipayales community, made up of 25 rice farming families, lacks a complete process in its production due to the inadequate transfer of technology to this community. Rice hulling is one of the processes that requires a hulling machine to be efficient, industrial hulling machines are not capable of satisfying this need because they require a minimum amount of product for their use to be economically viable. Due to this, the objective of this project is to design a rice milling machine that meets the requirements in the production process of the Paipayales community. A more suitable model of the rice hulling machine was selected for the requirements of the inhabitants of the community, the equipment was adapted to its dimensions and materials using knowledge of mechanical and structural design, the designed equipment consists mainly of a hopper, conveyor shaft, sieve, engine, and structure. The cost of the designed equipment was estimated, and a series of recommendations for start-up and maintenance were developed. Construction plans were drawn up, the estimated cost of the materials, selected components and labor was considerably higher than that of the rice hulling machines found on the market, however, with the increase in income the equipment would be paid for only after of the first semester in use.

Keywords: *Rice Huller, Rice, Process, Cost, Design.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación del problema.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Proceso de Pilado del arroz.....	2
1.4.2 Flujograma del pilado del arroz.....	4
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología.....	10
2.1 Proceso de diseño.....	10
2.2 Diseño conceptual.....	12
2.3 Requerimientos de diseño.....	12
2.4 Parámetros de diseño.....	13
2.5 Alternativas de diseño.....	14
2.6 Matriz de selección.....	14

2.7	Diseño de forma	14
2.8	Diseño mecánico del equipo	16
2.8.1	Diseño del árbol	16
2.8.2	Diseño de la estructura del equipo.....	21
2.8.3	Selección de componentes del equipo	21
2.9	Simulación y validación del diseño	25
CAPÍTULO 3.....		28
3.	Resultados y análisis	28
3.1	Resultados teóricos	28
3.2	Planos de construcción	29
3.3	Análisis de costos.....	31
CAPÍTULO 4.....		38
4.	Conclusiones y recomendaciones	38
4.1	Conclusiones.....	38
4.2	Recomendaciones.....	39
4.2.1	Construcción.....	39
4.2.2	Procesos de pilado	39

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
CDTS	Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
CIAT	Constitución Interamericana del Atún
IRRI	International Rice Research Institute
INIAP	Instituto de Investigación Agropecuaria

SIMBOLOGÍA

rpm	Revoluciones por minuto
kg	Kilogramo
m	Metro
mm	Milímetro
kg/h	Kilogramos por hora
MPa	Mega Pascales
N	Newton
kN	Kilo Newtons
HP	Horse Power

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Flujograma del proceso del pilado de arroz.....	6
Figura 1.2 Piladora de fricción por eje-tamiz	7
Figura 1.3 Piladora de fricción por doble eje	8
Figura 2.1 Flujograma del proceso de diseño.....	11
Figura 2.2 Diseño inicial de eje para el descascarado del grano de arroz	15
Figura 2.3 Diseño inicial de forma del equipo.....	15
Figura 2.4 Diagrama de cuerpo libre del eje.....	20
Figura 2.5 Chumacera seleccionada P2B108-SRB-CRE	22
Figura 2.6 Tolva disponible.....	24
Figura 2.7 Tolva adaptada a la capacidad requerida.....	24
Figura 2.8 Tamiz seleccionado.....	25
Figura 2.9 Eje-tambor con carga simulada.....	26
Figura 2.10 Zona crítica que presentó bajos esfuerzos.....	26
Figura 2.11 Estructura que soporta la carga de la piladora con sobrecarga	27
Figura 2.12 Piladora simulada para validación.....	27
Figura 3.1 Listado de piezas.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Variedades de arroz en base al Programa de Arroz del INIAP.....	4
Tabla 2.1 Ponderación de los criterios de selección.....	13
Tabla 2.2 Alternativas de diseño	14
Tabla 2.3 Selección de la alternativa de solución.....	14
Tabla 2.4 Variables involucradas en el diseño del eje.....	20
Tabla 2.5 Cargas consideradas para el diseño de la mesa de la piladora	21
Tabla 3.1 Especificaciones de diseño de la piladora	28
Tabla 3.2 Costo de materiales Directos.....	31
Tabla 3.3 Costo de materiales indirectos	31
Tabla 3.4 Costo de construcción de la piladora de arroz.....	32
Tabla 3.5 Depreciación de la piladora	32
Tabla 3.6 Comparación de costo de la piladora	32
Tabla 3.7 Comparación de costo de productos de arroz	33
Tabla 3.8 Comparación de ingresos y egresos generales.....	34
Tabla 3.9 Soluciones a problemas comunes	34

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador el arroz es el alimento más consumido debido a su gran contenido calórico y proteínico, esto le da al arroz una gran importancia en el país y su producción es una fuente de empleo para miles de agricultores dedicados al cultivo y cosecha.

1.1 Descripción del problema

El proceso de pilado o trillado en la producción del arroz es esencial y para ello las compañías arroceras emplean piladoras industriales para poder satisfacer la demanda del producto, por lo tanto, la inadecuada transferencia de tecnológicos no permite el desarrollo socio económico productivo de la comunidad de Paipayales del cantón Santa Lucía, esto ha afectado a pequeñas comunidades de agricultores en Paipayales que no pueden producir la cantidad suficiente para cumplir con los requerimientos mínimos de las piladoras industriales con una rentabilidad aceptable, lo que los ha llevado a prescindir del uso de piladoras dejando su producción de arroz en un proceso incompleto e ineficiente. Por esto surge la necesidad del diseño de una piladora para una producción menor que funcione a partir de energía eléctrica, económica, con dimensiones que permita el transporte hacia otros lugares, siendo de fácil construcción y operación, ajustándose así a las necesidades de esta comunidad.

1.2 Justificación del problema

El grupo de agricultores en la comunidad de Paipayales está conformado por 25 familias que residen en esta locación, siendo estas familias las que carecen del equipo, para esto se ha considerado la cantidad de producción y la frecuencia de cosecha de estos pobladores, se conoce que la cosecha la realizan cada 4 meses con una frecuencia de 2 veces al año, además la cantidad de producción del arroz es de aproximadamente 30 sacas por hectárea. En vista que no poseen una piladora, surge la necesidad de alquilar una, para poder completar el proceso, sin embargo, la capacidad de las piladoras industriales son por encima de los 270

quintales/h, siendo esta cantidad muy superior a la producida por los pobladores de esta comunidad y acceder a este servicio representa un costo elevado en relación con la producción y venta de la producción del arroz con cascara, por lo que no resulta rentable acceder a este servicio. Por lo tanto, es necesario la implementación de una piladora con una capacidad que más se ajuste a la cantidad de producción, por ende, en este proyecto se busca satisfacer esta necesidad y se propone el diseño de una piladora de arroz con una capacidad de 150 kg/h.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una piladora de arroz con una capacidad de 150 kg/h aplicando conceptos de ingeniería estructural para el uso de la comunidad Paipayales con carencia de equipos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar diferentes tipos de piladoras que satisfagan los requerimientos establecidos para la selección de un modelo óptimo que permita el pilado de arroz para esta comunidad.
- Diseñar una piladora de arroz con una capacidad de 150 kg/h utilizando conceptos de diseño mecánico.
- Elaborar planos de construcción detallados del equipo que permita su construcción.
- Estimar el costo del equipo.
- Desarrollar recomendaciones de mantenimiento.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Proceso de Pilado del arroz

El arroz después de su cosecha debe almacenarse en silos hasta obtener las características necesarias (humedad, entre otras), siguiente a esto viene el proceso conocido como el pilado de arroz. El pilado de arroz es el proceso por el cual se remueve la cascara del producto y se lo clasifica

según su tamaño, después es empacado y comercializado. Como producto final se tiene el arroz blanco, también se obtiene subproductos el arrocillo, ñelen, polvillo. (Ramos León, 2018).

Para el pilado de arroz se emplean equipos que tienen como objetivo cumplir con cada paso que conforma el proceso, los cuales son: recepción del producto, descarga (Clasificación I), limpieza, secado, almacenamiento, descascarado, blanqueamiento, clasificación II, envasado, y almacenamiento (en bodega) (Muñoz Zulueta, 2019). Cabe destacar que todos estos equipos son empleados en industrias arroceras que son de grandes capacidades, sin embargo, para este estudio se considera solo el diseño de un piladora o trilladora con una capacidad de 150 kg/h que cumpla con la función del descascarado del grano. Se debe mencionar que un componente importante de la piladora es el tamiz, este componente permite la separación del grano del arroz y su cascara, las dimensiones de los agujeros del tamiz varían dependiendo del tamaño de arroz que se va a pilar y entre ellos, el tipo de arroz que se tiene son:

Tabla 1.1 Variedades de arroz en base al Programa de Arroz del INIAP (Váldez Rodríguez, 2015).

Características	INIAP-12	INIAP-14 Filipino	INIAP-15 Boliche	INIAP-16
Año de liberaciones	1994	1999	2006	2007
Origen	CIAT	IRRI	INIAP	INIAP
Rendimiento con riego(t/ha)	5 a 9	5.8 a 11	5.1 a 9.0	5.0 a 9.0
Rendimiento en seco (t/ha)	5 a 7	4.8 a 6	-	4.8 a 8.0
Ciclo vegetativo	95 - 108	113 - 117	117 - 1280	106 - 120
Altura de plantas	100 - 111	99 - 107	89 - 108	93 - 109
Longitud de grano	Extralargo	Largo	Extralargo	Extralargo
Índice de pilado	71	66	67	68
Desgrane	Intermedio	Intermedio	Intermedio	Intermedio
Latencia en semanas	4 - 5	4 - 6	4 - 6 0	4 - 8
Quemazón	Resistente	Moderadamente susceptible	Moderadamente susceptible	Tolerante
Manchado de grano	Moderadamente resistente	Moderadamente resistente	Tolerante	Tolerante
Hoja blanca	-	Moderadamente resistente	Moderadamente resistente	Tolerante
Pudrición de vaina	-	Moderadamente resistente	Moderadamente resistente	Moderadamente resistente

Fuente: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.

1.4.2 Flujograma del pilado del arroz

Recepción: inicialmente se almacena la cosecha en un lugar donde permita mantenerlo sin afectar sus propiedades ni pone en peligro la integridad del producto

Descarga (Clasificación I): después de la cosecha del arroz se prosigue a colocar en una tolva, se toma una muestra de arroz para determinar el nivel de humedad y este debe contener un rango de humedad entre los 25 - 30%.

Limpieza: este proceso se basa en la limpieza del grano de sus impurezas (palotes, pajas, ramificaciones, entre otras) con la ayuda de una zaranda o

cribas metálica confirmada por tres mallas, la primera malla tiene los orificios de mayor tamaño, y los dos restantes son menores.

Secado: el arroz es transportado por cangilones a través de un elevador que lo posiciona en el secador, el secador tiene un límite de capacidad y tiene una temperatura que permite la remoción de la humedad del arroz, cabe mencionar que el arroz debe lograr un nivel de humedad estándar, caso contrario es puesto nuevamente en el secador.

Almacenamiento: el arroz es almacenado en silos durante un determinado tiempo para que se enfríe y posteriormente por medio de los cangilones proceder con el pilado del arroz.

Descascarado: se realiza la remoción de la lenma, palea y glumas estériles que son partes de la cascara del arroz, por medio de la fricción(contacto) entre el arroz y los rodillos de hule. Cabe destacar que durante este paso el arroz y la cascara son separados por medio de las vibraciones que se generan durante el proceso.

Blanqueamiento o pulido: consiste en separar los tegumentos del arroz que todavía se encuentran luego de los procesos anteriores, dándole al arroz un aspecto más limpio y brillante.

Selección (Clasificación II): proceso que se basa en la clasificación de los granos quebrados, partículas finas como el arrocillo, y los granos completos que son comercializados.

Envasado: en este proceso el arroz es colocado en sacos con un determinado peso, listos para ser despachados a los clientes.

Almacenamiento: se coloca el producto final en bodega para finalmente ser despachado según la demanda del cliente (Najar A. & Merino Alvarez, 2007).

A continuación, se muestra el flujograma del proceso del pilado de arroz:

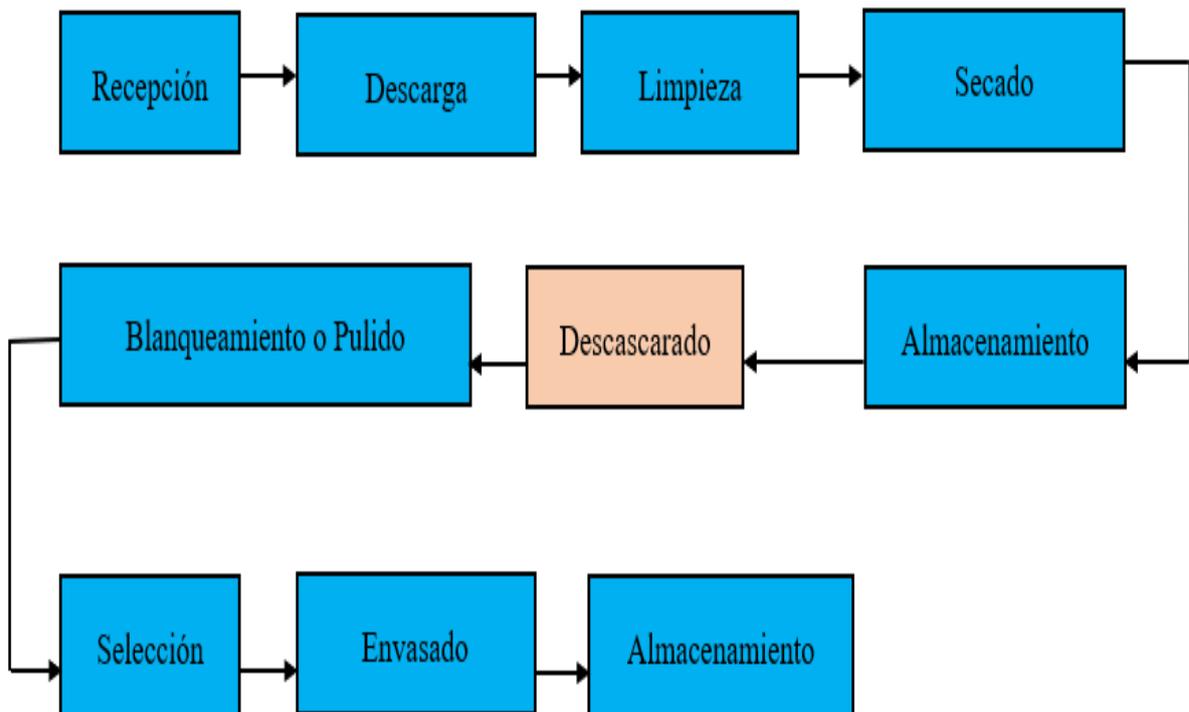


Figura 1.1 Flujograma del proceso del pilado de arroz (Santamaría Wilmer, 2020).

1.4.3 Métodos de pilado de arroz

El sector agrícola que están involucrados en la productividad y competitividad de la industria arrocera, al no tener acceso a maquinaria para procesar el arroz recurren al método tradicional de pilado utilizando un pilón de madera en el que se golpea en grano con un mazo para quitarle la cáscara, sin embargo, este proceso provoca un gran porcentaje de grano partido y maltratado. Como segundo método está el proceso con la maquina piladora la cual es diseñada para generar un porcentaje mínimo de grano maltratado o con cáscara cumpliendo con los requerimientos para

ser un proceso eficiente, debido a esto es el proceso que utilizan las grandes empresas arroceras (Tapie, 2016).

1.4.4 Piladora de arroz

Es un dispositivo electromecánico diseñado para separar la cáscara del grano de arroz. Este dispositivo es alimentado por un motor que al introducir el grano con cáscara lo lleva por un proceso de fricción, golpeteo y soplado realizado por el mecanismo que provoca la separación de la cáscara del grano de arroz.

1.4.5 Tipos de piladora de arroz

Existen dos tipos de piladoras conocidas en la industria, en la figura 1.2 se muestra la piladora de fricción por eje- tamiz y en la figura 1.3 se indica la piladora de fricción por doble eje.



Figura 1.2 Piladora de fricción por eje-tamiz (Campotencia, 2022).



Figura 1.3 Piladora de fricción por doble eje (Provamaq, 2020).

1.4.6 Componentes de una piladora de arroz

La máquina piladora de fricción por eje-tamiz consta de siete partes principales: la tolva que recibe el arroz con cáscara para que ingrese al proceso, la caja de descascarado donde por lo general se encuentra un eje rotatorio con el propósito de mover el arroz, el dispositivo de separación o tamiz que mediante la fricción separa la cáscara del grano, un ventilador que ayuda a separar la cáscara restante del grano, el motor que impulsa todo el sistema mecánico y por último la estructura que sostiene este sistema (Campotencia, 2022).

La máquina piladora de fricción por doble eje consta de partes similares a excepción que este no utiliza tamiz sino un eje adicional paralelo al otro eje. El arroz pasa por el espacio entre los ejes rotatorios donde se produce la fricción suficiente para la separación de la cáscara y el grano.

1.4.7 Normas Utilizadas

Para el diseño de la piladora las normas que serán consideradas se detallan a continuación:

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1515 "Granos y cereales. Cribas metálicas o zarandas y tamices. Tamaño nominal de la abertura" (INEN, 1986).

Norma Para el Arroz por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), CXS 198-1995. Enmendada en 2019 (OMS, 2019).

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1234 "Granos y cereales. Arroz Pilado. Requisitos" (INEN, 2014).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Proceso de diseño

En esta sección se describe la metodología que se empleó para el desarrollo del proceso de diseño de la piladora de arroz donde se identificó las necesidades del cliente para definir los objetivos planteados en el capítulo 1. Una vez definida la necesidad se realizó la investigación necesaria, cabe destacar que para el diseño del equipo se emplearon distintas herramientas de investigación, para la búsqueda de la alternativa que más se ajuste a los requerimientos y limitaciones que se tuvieron llegando a un diseño preliminar del equipo, nos basamos en equipos comerciales que ya existen en el mercado para la conceptualización del diseño hasta seleccionar la opción que mejor se ajuste a los requerimientos para ser evaluada y validada. A continuación, en la figura 2.1 se indica un flujograma con los pasos empleados para el diseño del equipo.

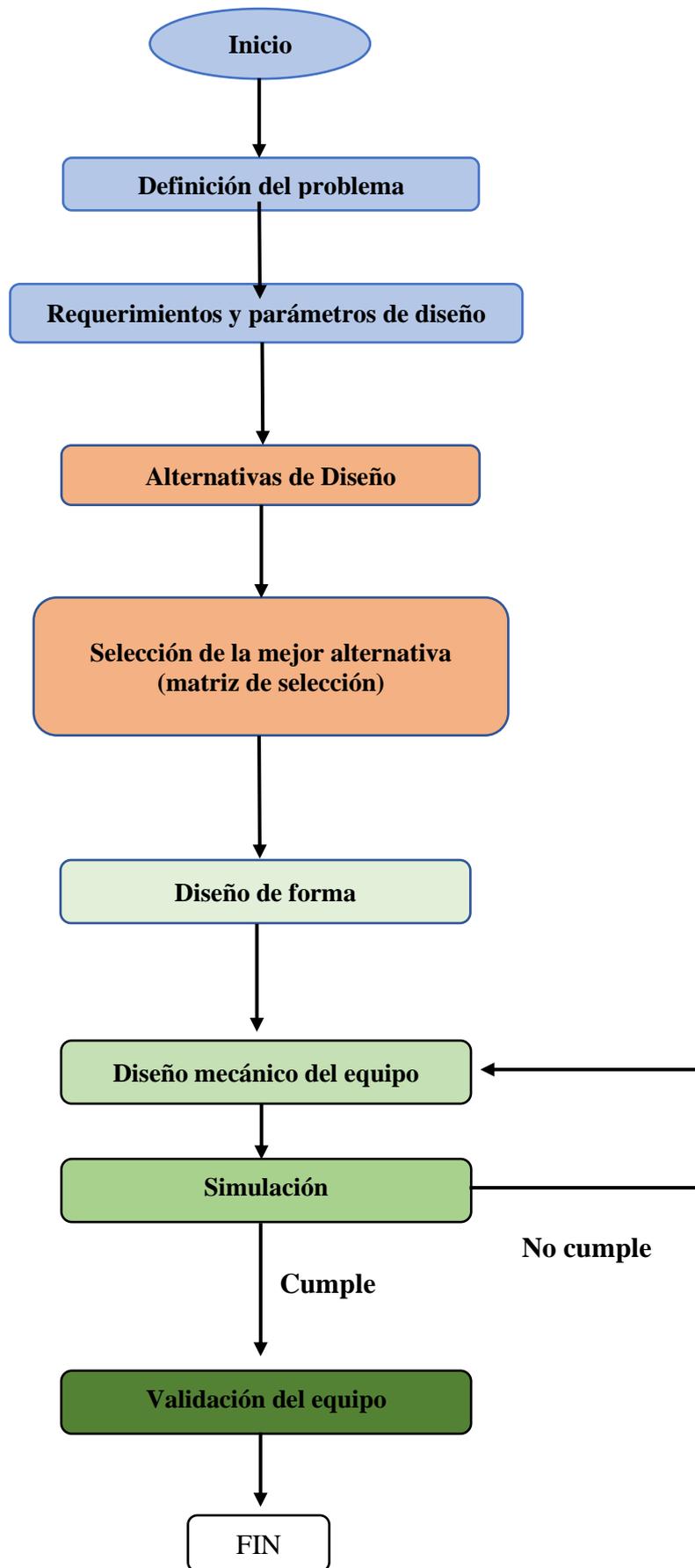


Figura 2.1 Flujograma del proceso de diseño (Elaboración propia).

2.2 Diseño conceptual

Para la conceptualización de la máquina piladora se realizó la respectiva investigación de diferentes tipos de piladoras de arroz para una correcta comprensión del funcionamiento de estas, de igual forma se investigó los parámetros y limitaciones en las que debe trabajar un equipo como este en función de la capacidad de arroz pilado necesario.

2.3 Requerimientos de diseño

En el capítulo 1 se mencionó que los agricultores de la comunidad de Santa Lucía no poseen el equipo para el pilado de arroz, este equipo es necesario para completar el proceso de la producción del producto, permitiéndole a los agricultores de estas comunidades obtener un mayor ingreso en la comercialización del producto. Los factores que se consideran para el diseño del equipo son:

- **Capacidad de procesamiento del producto:** el equipo debe tener una capacidad de 150 kg/h a la salida, ajustándose a la demanda de producción por parte de los agricultores de la comunidad de Paipayales.
- **Facilidad de construcción:** es indispensable que para la construcción del equipo se considere principalmente los materiales que se poseen en la CDTS-ESPOL, y la disponibilidad en la ciudad de Guayaquil.
- **Movilización:** el equipo debe poderse transportar hacia otras instalaciones, por lo que el dimensionamiento de la máquina se debe ajustar a las medidas de las partes posteriores de las camionetas.
- **Funcionamiento con electricidad:** dado que en el sector donde se va a emplear el equipo tienen disponibilidad de luz eléctrica, se debe emplear un motor electromecánico para su funcionamiento.
- **Operación:** para una mayor facilidad de operación es recomendable que para la operación del equipo sea simple e intuitivo.
- **Mantenimiento:** el equipo no debe tener mayor dificultad para su mantenimiento y limpieza.

- **Costo:** los materiales que se empleen deben ser económicos, además que parte de los materiales que se emplearan para la construcción serán los que hay en la ESPOL. Lo que disminuye el costo de fabricación.

Los parámetros para la matriz de decisión se eligieron en base a los requerimientos de cliente, donde se especifica la importancia de cada parámetro de 0 a 1, donde 0 es de poca importancia y 1 es de máxima importancia.

Tabla 2.1 Ponderación de los criterios de selección (Elaboración propia).

CRITERIOS	Construcción	Costo de Operación	Capacidad de Movilización	Costo de Mantenimiento	Costo del equipo
Construcción		0.5	0.25	0.75	1
Costo de Operación	0.5		0.25	0.75	0.75
Capacidad de Movilización	0.25	0.25		0.75	0.25
Costo de Mantenimiento	0.75	0.75	0.75		1
Costo del equipo	1	0.75	0.25	1	
Total	2.5	2.25	1.5	3.25	3
Ponderación	0.2	0.18	0.12	0.26	0.24

2.4 Parámetros de diseño

Los parámetros que se consideraron para el diseño del equipo se denotan, a continuación:

El equipo debe tener una capacidad de procesamiento de 150 kg/h del grano de arroz a la salida. Además, el porcentaje de pérdida del producto durante el proceso de pilado entre polvillo, ñelen y arrocillo debe ser de 5% aproximadamente. Otro parámetro que se debe considerar es el peso del equipo, ya que esto se alinea con la facilidad de movilización, que es uno de los requerimientos del cliente.

La parte central está el sistema de descascarado que trabaja con torques específicos para un correcto descascarado en función de la capacidad, estos parámetros son fundamentales para determinar los diámetros de esta parte del sistema. Esta parte se conecta con el sistema de impulso motor-variador que se encarga de la potencia de entrada, estas partes son seleccionadas en función del

torque necesario para el sistema de descascarado. Otro parámetro indispensable para el diseño es el material para utilizar tanto para el sistema de descascarado como para la estructura que sostiene el sistema completo.

2.5 Alternativas de diseño

A continuación, se indican las variables de las alternativas que se consideran como base para el diseño del equipo.

Tabla 2.2 Alternativas de diseño (Elaboración propia).

VARIABLES	A	B	C
Descascarado	Fricción eje-tamiz	Fricción eje-tamiz	Fricción doble eje
Tipo de motor	Combustible	Electromecánico	Electromecánico
Alimentación	Gasolina	Electricidad	Electricidad

2.6 Matriz de selección

El valor para la ponderación de los criterios será 5 considerado como alto, y 1 como bajo.

Tabla 2.3 Selección de la alternativa de solución (Elaboración propia).

Criterios	Ponderación	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
Capacidad	0.2	4	4	4
Costo de Operación	0.18	5	5	5
Capacidad de Movilización	0.12	3	5	3
Costo de Mantenimiento	0.26	5	5	3
Costo del equipo	0.24	3	4	3
TOTAL	1.00	4.08	4.56	3.56

2.7 Diseño de forma

A continuación, se muestra el diseño de forma de partida de la parte a diseñar del sistema mecánico.



Figura 2.2 Diseño inicial de eje para el descascarado del grano de arroz (Elaboración propia).

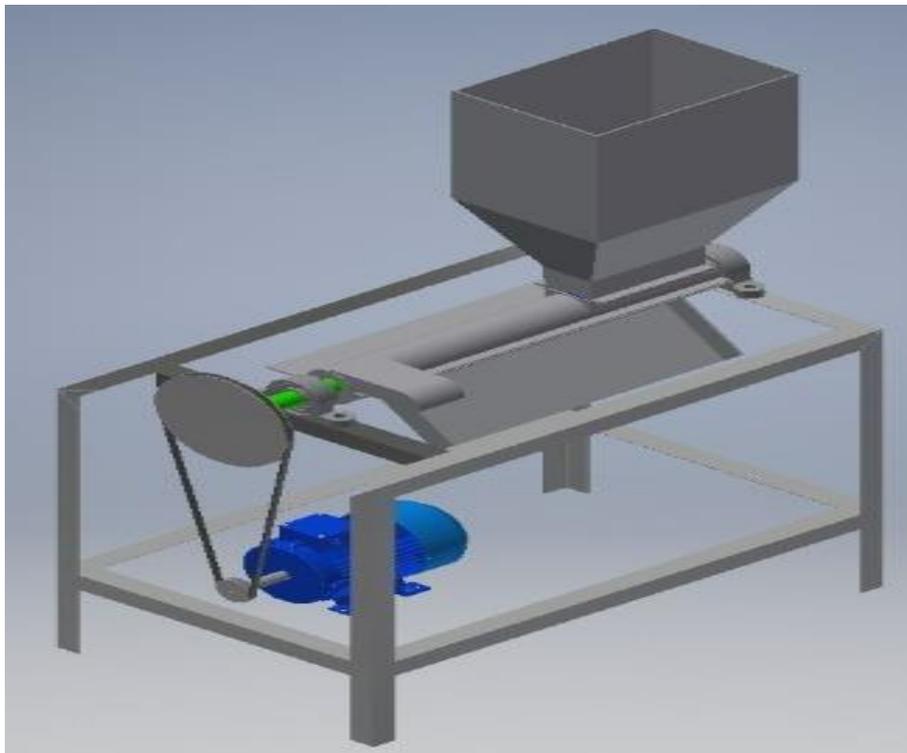


Figura 2.3 Diseño inicial de forma del equipo (Elaboración propia).

2.8 Diseño mecánico del equipo

2.8.1 Diseño del árbol

Para el diseño del árbol se lo dividió en dos partes, el eje y un tambor acoplado al eje con tapas soldadas que lo recubre con el fin de aumentar el área de recorrido del arroz para friccionarse con el tamiz, dicho tambor lleva un helicoides alrededor de la superficie exterior, siendo un total de 14 espiras con paso de 42mm que hará que el arroz avance de un extremo del tambor al otro.

Dimensiones del Tambor

Diámetro externo, 63,5mm o 2,5"

Diámetro interno, 57,15mm o 2,25"

Espesor de tapas, 5mm

Como datos iniciales se establecieron las longitudes de árbol y materiales asociados a los usualmente utilizados para piladoras de arroz. A partir de estos valores y ciertas propiedades conocidas se establecieron las fuerzas involucradas en el árbol.

Distancias en el eje

Distancia Conexión-Reacción 1, $A = 0,025$ m

Distancia Reacción 1-Peso del eje, $B = 0,375$ m

Distancia Peso del eje-Reacción 2, $C = 0,4$ m

Material

ASTM A36

Esfuerzo Último, 400 MPa

Esfuerzo Fluencia, 250 MPa

densidad, 7860 Kg/m³

A continuación se muestran las ecuaciones más relevantes utilizadas en el diseño de sistema de descascarado.

Cálculo de peso del eje

$$W'_{eje} = \rho * V * g \quad (2.1)$$

$$V \approx \frac{(d_{eje})^2 \pi}{4} * L \quad (2.2)$$

Donde:

ρ : Densidad del eje.

g : Constante de gravedad.

V : Volumen del eje.

d_{eje} : Diámetro del eje.

L : Longitud del eje.

$$W_{tambor} = \rho * V * g \quad (2.3)$$

$$V \approx \frac{(d_{ext,tambor} - d_{int,tambor})^2 \pi}{4} * L \quad (2.4)$$

W_{tambor} : Peso del tambor.

ρ : Densidad del tambor.

V : Volumen del tambor.

$d_{ext,tambor}$: Diámetro externo del tambor.

$d_{int,tambor}$: Diámetro interno del tambor.

L : Longitud del tambor.

$$W_{eje} = W'_{eje} + W_{tambor} \quad (2.5)$$

Reacciones de los rodamientos

Para el cálculo final de Fuerzas y momentos, únicamente se tomaron en cuenta las fuerzas más relevantes, es decir, se despreciaron las fuerzas muy pequeñas involucradas como la fuerza de entrada del arroz.

$$\sum M, R1 = 0 \quad (2.6)$$

$$R_2 = \frac{1}{(B + C)} [-W_{acople} * A + W_{eje} * (B + C)] \quad (2.7)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (2.8)$$

$$R_1 = W_{acople} + W_{eje} - R_2 \quad (2.9)$$

R_2 : Reacción 2.

R_2 : Reacción 2.

A : Distancia del acople al primer rodamiento.

B : Distancia del primer rodamiento al centro del eje.

C : Distancia del centro del eje al segundo rodamiento.

W_{acople} : Peso del acople al extremo del eje.

La ubicación de estas fuerzas se puede apreciar en la figura 2.4.

Expresiones para los momentos en los puntos analizados en el eje

$$M_{acople} \approx 0 \quad (2.10)$$

$$M_{R1} = -(W_{acople}) * A \quad (2.11)$$

$$M_{Weje} = [R_1 - (W_{acople})] * B + M_{R1} \quad (2.12)$$

$$M_{R2} \approx 0 \quad (2.13)$$

Torque por fricción del arroz en el tambor

De la ecuación (2.14) se obtiene la fuerza normal del arroz y el 45% de la superficie del tambor

$$N = (0,45 * V_{anillo}) * \rho_{arroz} * g \quad (2.14)$$

$$V_{anillo} = \frac{(d_{ext,tambor} - d_{tamiz})^2 \pi}{4} * L \quad (2.15)$$

$$F_{fricción} = N * \mu_s \quad (2.16)$$

$$T_{arroz} = F_{fricción} * \frac{d_{tambor}}{2} \quad (2.17)$$

$$T_o = T_{arroz} \quad (2.18)$$

V_{anillo} : Volumen del espacio entre el tambor y las paredes del sistema de descascarado.

d_{tamiz} : Diámetro del tamiz.

d_{tambor} : Diámetro del tambor.

N : Fuerza normal del arroz con respecto al tambor.

μ_s : Coeficiente de fricción del arroz con respecto a una superficie de acero.

T_{arroz} : Torque generado por el arroz.

T_o : Torque en el eje.

Esfuerzo de fatiga

$$S_e = 0,5 * K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad (2.19)$$

S_{ut} : Esfuerzo ultimo del material.

K_a : Factor de acabado del material.

K_b : Factor de carga.

K_c : Factor de tipo de carga.

K_d : Factor de temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de corrosión por frotamiento.

Factores de concentradores de esfuerzos para torsión y flexión

$$K_f = 1 + q_t(K_t - 1) \quad (2.20)$$

$$K_{fs} = 1 + q_{ts}(K_{ts} - 1) \quad (2.21)$$

K_{ts} : Factor de Torsión.

K_t : Factor de Flexión.

q_{ts} : Factor de Torsión.

q_t : Factor de Flexión.

Como ecuación principal para determinar los diámetros del eje se utilizó la ecuación 2.22.

$$d_1 = \left[\frac{32n}{\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{K_f * M_1}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{fs} * T_o}{S_y} \right)^2} \right] \right]^{1/3} \quad (2.22)$$

Donde,

M_1 : Momento en la sección analizada.

T_o : Torque en el eje.

S_e : Esfuerzo por fatiga.

S_y : Esfuerzo de fluencia.

n : Factor de seguridad.

Tabla 2.4 Variables involucradas en el diseño del eje (Elaboración propia).

Fuerza de entrada del arroz	0,64 N
Reacción en rodamiento 1	71,70 N
Reacción en rodamiento 2	63,14 N
Momento en la conexión con el motor	0 Nm
Momento en la parte central del eje	154,20 Nm
Momento en la reacción 1	18,00 Nm
Momento en la reacción 2	0 Nm
Torque ejercido por la fricción con el arroz	0,11 Nm
Diámetro mínimo en el centro del eje	37,57 mm
Diámetro mínimo en los rodamientos	19,88 mm
Diámetro mínimo en la sección de la conexión	15,67 mm

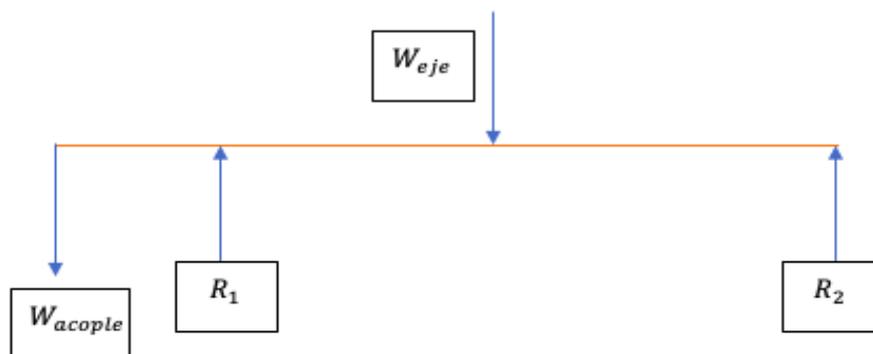


Figura 2.4 Diagrama de cuerpo libre del eje (Elaboración propia).

2.8.2 Diseño de la estructura del equipo

Tabla 2.5 Cargas consideradas para el diseño de la mesa de la piladora (Elaboración propia).

Carga	Valor
Peso del eje-tambor	123,07 N
Peso de las chumaceras-rodamientos	13,34 N
Peso de la camisa-rampas-tamiz	150 N
Peso de motor, pernos, soldaduras y demás elementos adicionales	350 N
Peso del arroz	344,3 N
Suma de las cargas sobre la estructura	930,71 N

Con el esfuerzo sobre un lado con sobrecarga $\sigma_{normal} = 118 MPa < \sigma_{admisible} = 250 MPa$, se comprobó que la mesa seleccionada soporta la carga y está diseñada con una altura para un saco de un quintal de arroz.

2.8.3 Selección de componentes del equipo

Sistema de impulso del equipo

Debido a que los motores de 1100 rpm se encontraron agotados en el país se utilizó un segundo motor seleccionado de 1 HP 1750 rpm acoplado a un variador de frecuencia para llegar a la velocidad de diseño cuyas especificaciones se encuentran en el anexo B.

Chumaceras y rodamientos

Las chumaceras con rodamiento de bolas se seleccionaron en función del diámetro que coincida con el diámetro para esta sección y utilizando materiales recomendados para trabajar con alimentos. Las especificaciones del modelo seleccionado se encuentran en el anexo B.



Figura 2.5 Chumacera seleccionada P2B108-SRB-CRE (SKF, 2021).

Tolva

Utilizando una tolva que se encontraba disponible como partida, se adaptó su capacidad para 8 ciclos de carga de arroz de aproximadamente 30 kg cada 8 minutos para cumplir con la capacidad requerida y no hacerla demasiado grande al punto de necesitar de una escalera para ingresar el arroz. El ángulo de caída de la tolva debe ser mayor a 22 grados para que empiece a caer el arroz sin problemas. Este ángulo mínimo se obtiene a partir de la ecuación 2.23, donde μ_s es el coeficiente de fricción del arroz con respecto a una superficie de acero.

$$\alpha = \text{Tan}^{-1}(\mu_s) \quad (2.23)$$

Para el cálculo de la capacidad de la tolva se utilizó la ecuación 2.24

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) + A_1 * H \quad (2.24)$$

Donde:

A_1 : Área mayor en la entrada de la tolva.

A_2 : Área menor en la salida de la tolva.

h : Altura de la entrada a la salida.

H : altura de la sección agregada de la tolva.

Con el volúmen total se obtiene la capacidad de la tolva a partir de la ecuación 2.25.

$$\text{Masa en la tolva} = V_{\text{Total}} * \rho_{\text{arroz}} \quad (2.25)$$



Figura 2.6 Tolva disponible (Elaboración propia).

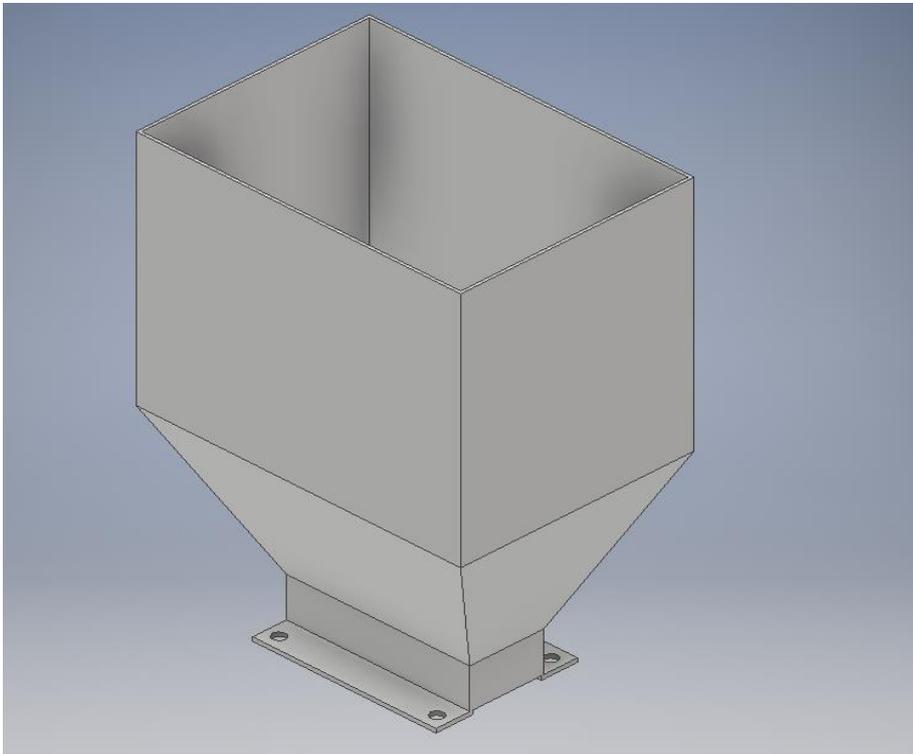


Figura 2.7 Tolva adaptada a la capacidad requerida (Elaboración propia).

Tamiz

El grosor del arroz es de 1,7mm a 2mm, entonces se selecciona una perforación con ancho menos as 1,7 pero lo suficientemente ancha para que pase la cáscara, Las dimensiones estándar a la venta en el mercado con de 1m x 2m. Se seleccionó acero inoxidable para el tamiz.

Perforaciones Alargadas

Perforación Standart: P= Perforación / C= Distancia entre centros

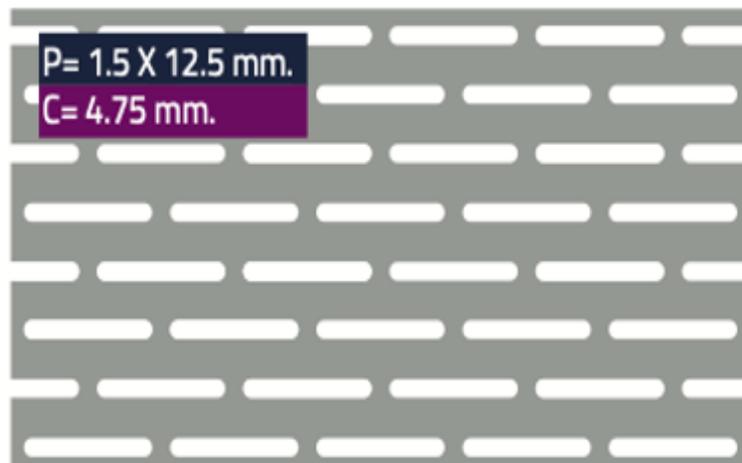


Figura 2.8 Tamiz seleccionado (Acerimallas, 2021).

2.9 Simulación y validación del diseño

Se simularon las cargas aplicadas tanto en el eje como en el tambor que lo cubre para validar los resultados obtenidos y comprobar que el diseño soporta los esfuerzos de flexión por las cargas y esfuerzos de torsión debido a la fricción con el arroz.

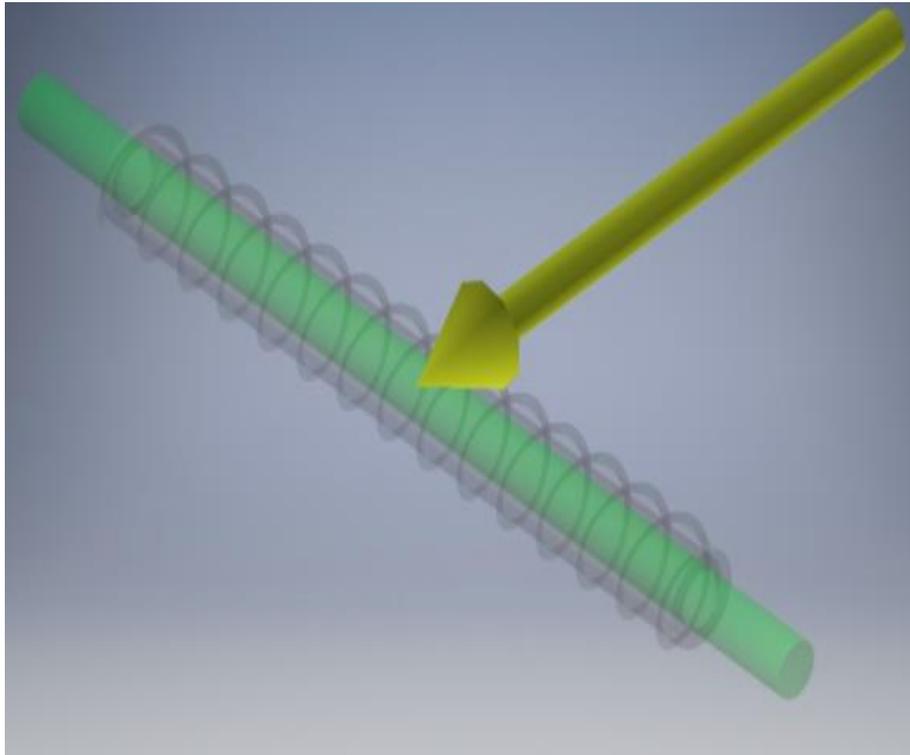


Figura 2.9 Eje-tambor con carga simulada (Elaboración propia).

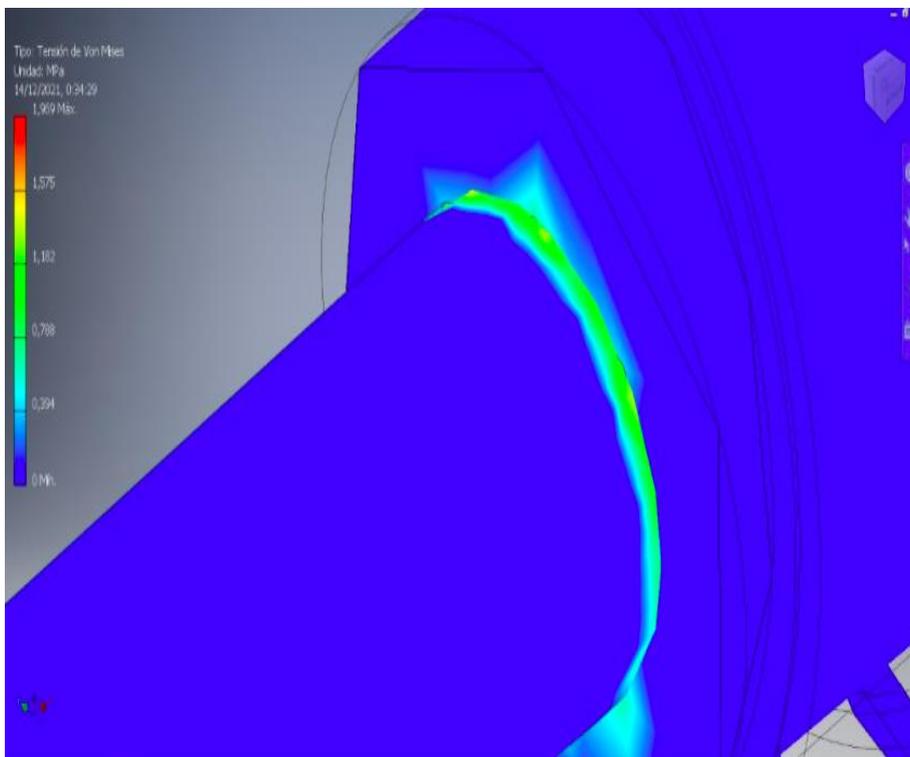


Figura 2.10 Zona crítica que presentó bajos esfuerzos (Elaboración propia).

Se analizó la mesa para sobrecarga considerando todos los pesos tanto de los componentes como del arroz con el fin de asegurar que sea segura y estable.

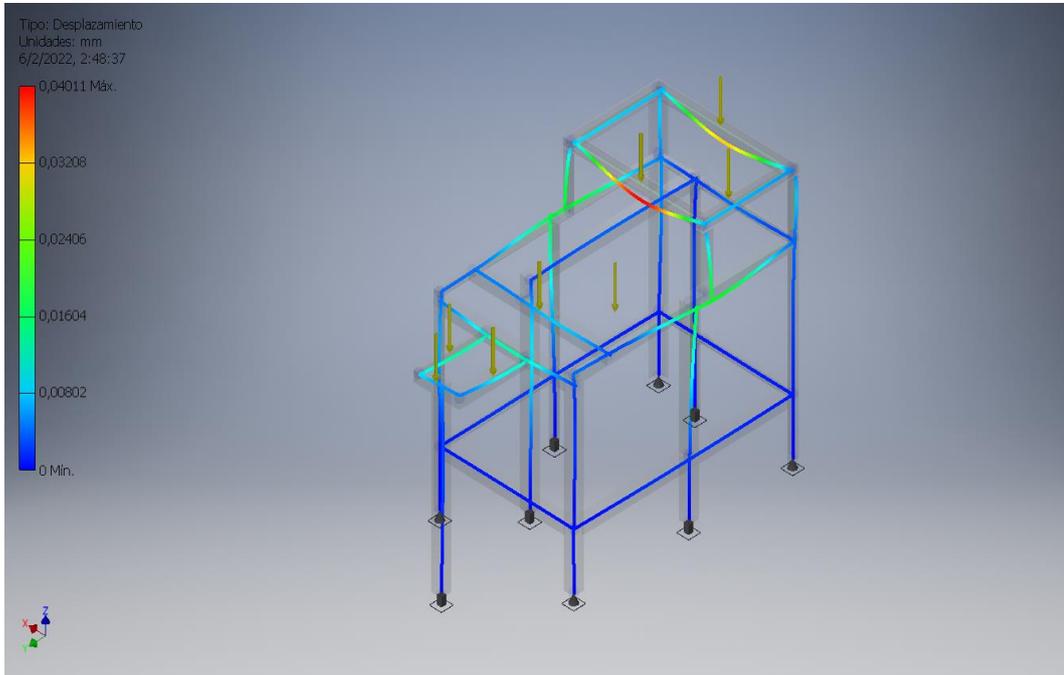


Figura 2.11 Estructura que soporta la carga de la piladora con sobrecarga (Elaboración propia).

Se simuló el equipo ya ensamblado comprobando que soporta los diferentes esfuerzos en cada parte diseñada.

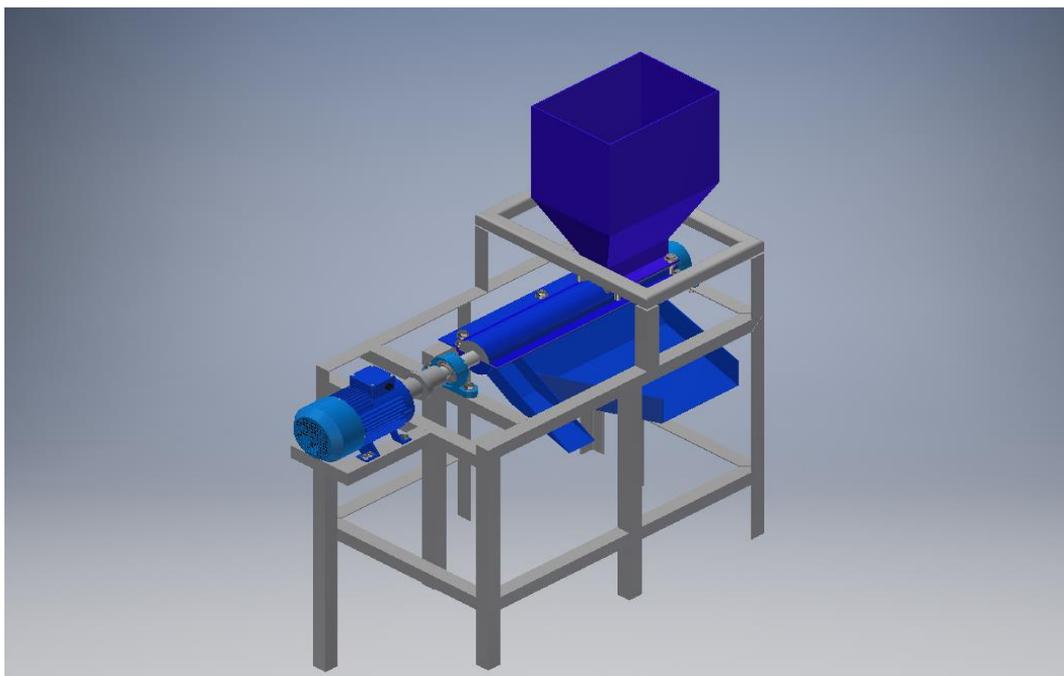


Figura 2.12 Piladora simulada para validación (Elaboración propia).

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados teóricos

El material utilizado para el diseño de la gran mayoría de los componentes fue el acero A36.

Tabla 3.1 Especificaciones de diseño de la piladora (Elaboración propia).

Especificación	Valor
Capacidad de la tolva	30 kg
Capacidad interna de la zona de descascarado	0,00107 m ³
Velocidad del eje	250 RPM
Velocidad máxima permisible del eje	45000 RPM
Velocidad en el motor	1750 RPM
Potencia del motor	1 HP
Dimensiones del equipo	1350x560x1200mm

La tolva se diseñó de manera que se pueda desmontar con el fin de permitir el acceso a la parte interna del sistema de descascarado para hacer cualquier ajuste que se necesite sin problemas. La tolva está diseñada con una capacidad de 7 ciclos de carga de 30 kg en intervalos de 8 minutos, para obtener 210 Kg/h que ingresan a la piladora. Una vez que el arroz es descascarado se obtiene aproximadamente 150 kg de arroz y la diferencia, es decir los 60 kg restantes, será la cascarilla removida.

El volumen de espacio en el sistema de descascarado se compone por dos secciones, en el 30% del espacio ocurre el descascarado al entrar en contacto con el tamiz en la parte inferior del sistema y el porcentaje restante es por el que recorre el arroz mientras avanza a la salida.

Las chumaceras fueron seleccionadas con materiales ideales para trabajar con alimentos fueron las P2BC35M-TPSS.

La mesa que soporta el equipo se compone la una sección en la que se apoya el sistema de descascarado y otra sección para apoyar la tolva con el fin de no

poner una carga tan grande sobre la cubierta del equipo. La mesa se diseñó con una altura para que el arroz caiga con facilidad sobre un saco de un quintal de 60cm de altura. Debido a la altura de la estructura junto con la tolva a normas de seguridad se debe utilizar un banco de al menos 300mm (UMA, 2022).

El soporte que sostiene al tamiz a una distancia de 6mm del tambor tiene la posibilidad de colocar anillos niveladores para acercar el tamiz al tambor en caso de ser necesario.

3.2 Planos de construcción

PILADORA ARTESANAL

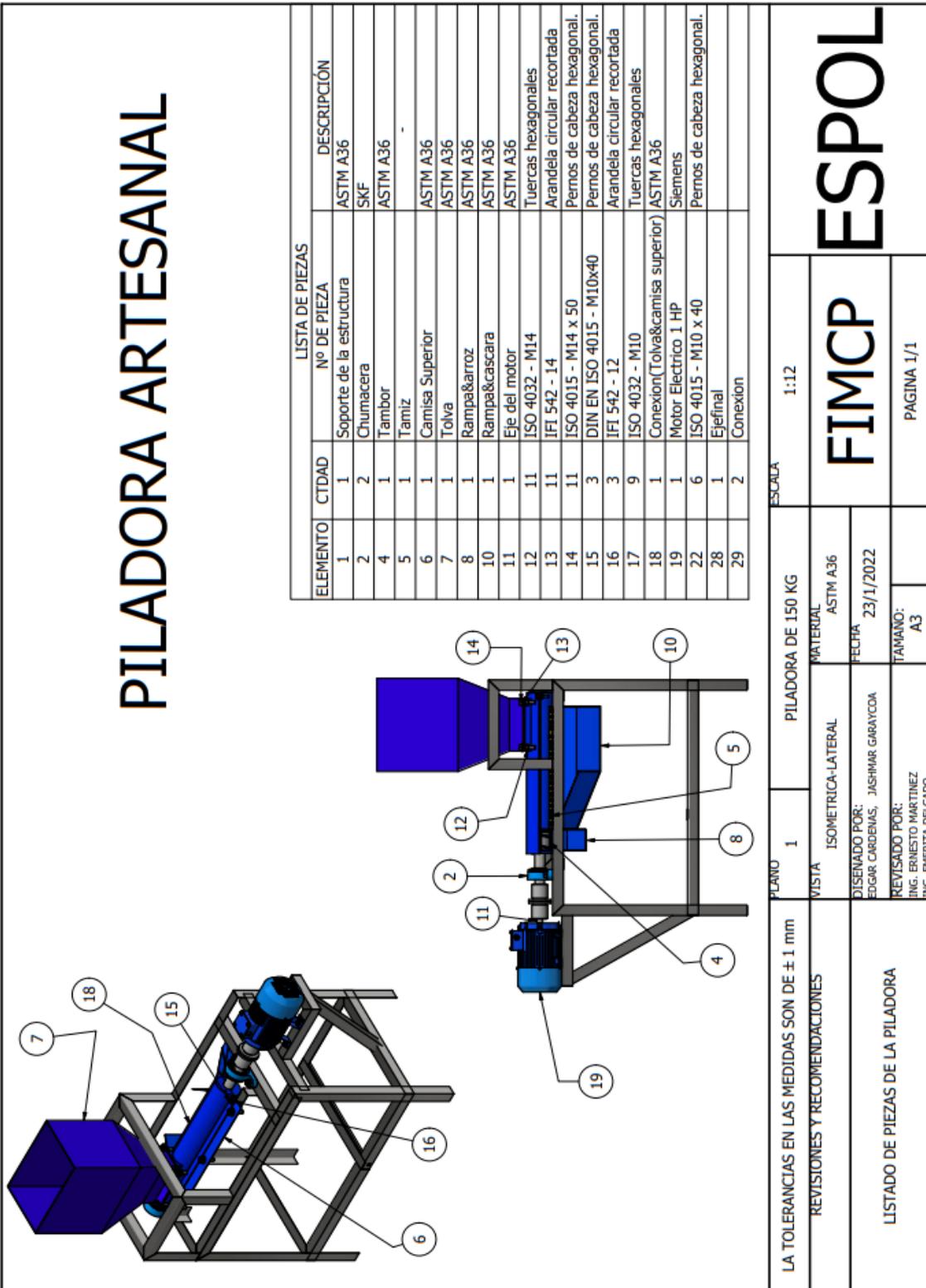


Figura 3.1 Listado de piezas (Elaboración propia).

3.3 Análisis de costos

Para llegar al objetivo de estimar el costo del equipo se realizaron los siguientes desgloses de materiales que se consideraron directamente para el diseño, materiales necesarios para la construcción que no se consideraron en el diseño y mano de obra involucrada en la misma.

Tabla 3.2 Costo de materiales Directos (Elaboración propia).

Descripción	Cantidad	Medida	Valor unitario	Valor Total
Medio eje de acero de transmisión SAE1018 1 ½" x 6m (descascarador)	1	m	\$34,80	\$34,80
Tamiz de acero inoxidable con perforaciones alargadas 1x2m (P1.5x12.5 C4.75)	1	u	\$20,38	\$20,38
Chumacera (P2BC35M-TPSS)	2	u	\$4,98	\$9,96
Planchas negras A36 laminadas al caliente de 3mm	1	u	\$108,67	\$108,67
Motor eléctrico trifásico weg1750 rpm (1 HP)	1	u	\$167	\$167
Variador de frecuencia 1 HP siemens	1	u	\$165	\$165
Acople de ejes	1	u	\$99	\$99
Ángulos de 1" x 1/8"	1	u	\$3,50	\$3,50
Varillas lisas de 1 ½" x 6m	1	u	\$5,29	\$5,29
Total				\$613,60

Tabla 3.3 Costo de materiales indirectos (Elaboración propia).

Descripción	Cantidad	Medida	Valor unitario	Valor Total
Soldadura 6013kg	2	kg	\$6,00	\$12,00
Soldadura 6011kg	2	kg	\$6,20	\$12,40
Soldadura 7018kg	1	kg	\$8,50	\$8,50
Masilla	1	kg	\$6,15	\$6,15
Electrodos de plasma	2	u	\$5,50	\$11,00
Pernos M14	1	lb	\$1,30	\$1,30
Pernos M10	1	lb	\$1,30	\$1,30
Pintura	1	Gl	\$15,30	\$15,30
Total				\$67,95

Para los costos de mano de obra en general se consideró el 50% de los gastos de materiales.

Tabla 3.4 Costo de construcción de la piladora de arroz (Elaboración propia).

Descripción	Valor Total
Costo de materiales Directos	\$613,60
Costo de materiales indirectos	\$67,95
Costo de materiales	\$681,55
Mano de obra (50%)	\$340,78
Total	\$1022,33

3.3.1 Depreciación

Se estima que al igual que otras piladoras del mercado este diseño se devaluará cada año un 10% debido a un sin número de factores para tener una idea del valor de salvamento que tendrá en 10 años.

Tabla 3.5 Depreciación de la piladora (Elaboración propia).

Descripción	Precio	Vida útil	Valor de depreciación
Máquina Piladora	\$1022,33	10	\$102,24
Año	Precio	Valor de depreciación	Valor de salvamento
Año 1	\$1.022,33	\$102,24	\$920,09
Año 2	\$920,09	\$102,24	\$817,85
Año 3	\$817,85	\$102,24	\$715,61
Año 4	\$715,61	\$102,24	\$613,37
Año 5	\$613,37	\$102,24	\$511,13
Año 6	\$511,13	\$102,24	\$408,89
Año 7	\$408,89	\$102,24	\$306,65
Año 8	\$306,65	\$102,24	\$204,41
Año 9	\$204,41	\$102,24	\$102,17
Año 10	\$102,17	\$102,24	-\$0,07

Tabla 3.6 Comparación de costo de la piladora (Elaboración propia).

Producto para venta	Cantidad	Capacidad (kg/hr)	Valor unitario para la venta
Costos de piladoras en el mercado	1	150	\$640

Costo de piladora diseñada	1	150	\$1022,33
Aumento del costo de la piladora diseñada			\$382,33
Aumento porcentual del costo de la piladora diseñada			59,7%

Como materiales de construcción de la piladora diseñada se hará uso de materiales reciclados para la elaboración de la parte estructural y para el resto de las partes seleccionadas se puede adaptar el diseño para poder utilizar las que se encuentren disponibles con el fin de reducir los costos.

3.3.2 Comparación de costos

El modo de obtención de ingresos de la comunidad de Paipayales sin una piladora es golpeando y aplastando el arroz para que se separe el arroz de la cáscara, con esta forma obtiene dos productos, arrocillo y cáscara de arroz. El arrocillo es para la venta y la cáscara es aprovechada para nutrir sus cultivos como abono.

Al utilizar la piladora diseñada se obtiene de igual manera dos productos, arroz y cáscara de arroz. El producto de venta es el arroz y la cáscara de arroz se sigue utilizando para nutrir los cultivos. Los precios de los productos a la venta se muestran en la tabla.

Tabla 3.7 Comparación de costo de productos de arroz (Elaboración propia).

Producto para venta	Cantidad	Medida	Valor unitario para la venta
Arrocillo	1	Quintal	\$15,00
Arroz con cáscara	1	Quintal	\$18,70
Arroz	1	Quintal	\$21,00
Ganancia por quintal al utilizar la piladora			De \$2,30 a \$6,00
Ganancia porcentual por quintal al utilizar la piladora			Del 11% al 40%

Con los valores de la tabla se consideró una producción semestral de 2250 quintales en dos ciclos de cosecha y una inversión de 1200 a 1300

dólares por cada 2 hectáreas de las 50 que se tiene en cuenta para el arroz se obtiene los ingresos anuales de la comunidad.

Tabla 3.8 Comparación de ingresos y egresos generales (Elaboración propia).

Ingreso anual sin piladora	De \$67500 a \$84150
Ingreso anual con piladora	\$94500
Egreso anual por producción	\$31250
Ingreso anual total sin piladora	De \$36250 a \$52900
Ingreso anual total con piladora	\$63250
Ganancia anual agregar una piladora al proceso de producción	De \$10350 a \$27000

3.3.3 Recomendaciones de ajustes y mantenimiento de la piladora

Tabla 3.9 Soluciones a problemas comunes (Elaboración propia).

Soluciones a problemas comunes	
Posibles causas	Solución
Demasiado arroz partido	
<ul style="list-style-type: none"> -Velocidad en el tambor demasiado alta. -La entrada de grano o la salida son demasiado estrechas. -La distancia entre el tamiz y el tambor es muy pequeña. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ajustar la velocidad del motor. -Corregir el espacio de entrada o salida de grano. -Ajustar la distancia entre el tamiz y el tambor.
El equipo no procesa grano	
<ul style="list-style-type: none"> -El eje o el tambor están rotos. -El tamiz está desgastado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cambiar el eje por uno nuevo. -Revertir el tamiz para utilizar el lado no desgastado o cambiar de tamiz.
Ruido o vibración inusual del equipo	

<ul style="list-style-type: none"> -Objetos extraños dentro del equipo como piedras o pequeñas piezas metálicas. -Eje roto. -Eje flojo en las chumaceras. -Pernos flojos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Desmontar la tolva y levantar la tapa para retirar cualquier elemento extraño. -Cambiar de eje. -Ajustar el eje. -Apretar las uniones empernadas que estén flojas.
Pilado insuficiente	
<ul style="list-style-type: none"> -Tamiz obstruido. -Demasiado flujo de grano a la entrada 	<ul style="list-style-type: none"> -Retirar y limpiar el tamiz. -Cerrar un poco el flujo de arroz con la compuerta de la tolva
No sale grano ni cáscara	
<ul style="list-style-type: none"> -El tambor gira en sentido opuesto a la dirección. -La entrada de arroz está obstruida. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cambiar el sentido de rotación en el motor. -Limpiar cualquier obstrucción en el paso de grano.

3.4 Análisis de Resultados

Al analizar la tolva diseñada de 30 kg de capacidad por ciclo de carga, se encuentra en una altura adecuada para el saco de arroz de un quintal para el que se diseñó, pero al no ser adecuada para la altura de una persona se necesita de un escalón de 300 mm de altura para un proceso de carga cómodo y seguro.

Con respecto al camino por el que pasa el arroz en el sistema de descascarado diseñado se buscó que a medida que avanza el arroz su distancia con el tamiz sea menor formando un tornillo cónico haciendo que no solo el descascarado se complete, sino que se genere un ligero pulido de los granos ya descascarados.

El sistema que da impulso al eje se diseñó con poleas y banda para un motor de 1100 rpm que posteriormente se cambió por una conexión directa del motor al eje con un motor de 1750 rpm y un variador de frecuencia para regular la

velocidad que entra, obteniendo las mismas condiciones para las que se diseñó el sistema de descascarado. Este cambio ocurrió debido a que no se encontraron motores de 1100 rpm disponibles en el mercado nacional.

Se dividió la sección de costos en tres partes, costos de materiales directos, costos de materiales indirectos y costos de mano de obra. Los materiales directos se componen de materiales que se consideraron directamente para el diseño y componentes que se seleccionaron. Para los materiales indirectos se consideraron las herramientas de un solo uso o de una sola vida con características específicas para la construcción del diseño. Los costos de mano de obra fueron estimados considerando el costo total de materiales directos e indirectos, a partir de este total se estableció que el 50% es igual al costo total estimado que involucra todo tipo de mano de obra.

El costo total que se estimó de la piladora diseñada es de aproximadamente 1000 dólares, este valor se comparó con el precio de modelos de piladoras de igual capacidad a la venta en el mercado nacional e internacional que en promedio se encuentran cerca de 650 dólares. A primera vista se notó que el proyecto no es viable, pero al considerar que se pueden reducir costos reutilizando materiales de equipos viejos que se encuentren disponibles, así como el costo de mano de obra, el costo del diseño bajaría hasta en un 50% del costo estimado inicialmente, es decir, un valor final aproximado de 500 dólares. El mayor costo del equipo se concentró en el motor, sin embargo, el potencial de un aumento en la capacidad de la piladora utilizando el mismo motor es viable debido a que se seleccionó un motor de mayor capacidad de la requerida en cuanto a velocidad y potencia. Esta selección sobredimensionada se realizó debido a que no se encontró un motor de 1100 rpm en el mercado nacional.

El factor de depreciación de las piladoras está establecido en 10% con este porcentaje se calculó cuanto valor pierde el equipo construido cada año durante 10 años una vez que se pone en uso, entonces, el valor de la piladora disminuye aproximadamente 100 dólares al año haciendo que en 5 años baje su valor a

la mitad y en 10 años se estima que tenga suficiente desgaste para quedar inservible.

Se calculó las ganancias en ventas del arroz con respecto al arrocillo debido a que este es el producto que obtienen actualmente mostrando un 40% de ganancia si se incluye en el proceso una piladora. Esto implica que de los 4500 quintales de arroz que producen anualmente entre todas las familias asociadas de Paipayales al que le corresponde un aumento de su ingreso neto mínimo de 10.000 dólares, se tomó en cuenta que cada familia posee 2 hectáreas para la producción de arroz, es decir, que con la piladora se espera un aumento en el ingreso anual de 400 dólares por cada 2 hectáreas donde se consideró únicamente el arroz descascarado.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se analizó dos diferentes diseños de piladoras capaces de satisfacer las necesidades establecidas, la piladora de eje tipo helicoidal y la piladora de doble eje, sin embargo, se seleccionó el modelo del eje helicoidal debido a que es un sistema menos robusto con menos piezas y menos partes móviles que el modelo de doble eje, lo que repercute en menores costos, menor complejidad de diseño y menos partes que considerar para mantenimiento.

Se diseñó una piladora con una capacidad de 150 kilogramos por hora que se ajusta a la producción de arroz para la comunidad de Paipayales, con el objetivo de satisfacer la necesidad de los habitantes, en cuanto a la carencia de máquinas industriales, beneficiándolos, ya que no tendrán que alquilar máquinas de pilado o emplear un pilado manual ineficiente, lo cual les evitara pérdidas monetarias considerables, debido a que la producción no alcanza las cantidades mínimas de las maquinas industriales y de esta manera sea rentable.

Se realizó el diseño del equipo de descascarado de arroz con la finalidad de aumentar la retribución económica que representa la producción de arroz para los habitantes que se dedican a esta actividad en la comunidad de Paipayales, debido a que el producto que ellos comercializan no es completo ni eficiente, dificultando las ventas a un precio adecuado.

Se estimó un costo de construcción del equipo de 1000 dólares con el que se aumentará las ganancias por la producción en un 40% y una vida útil de hasta 10 años, logrando pagar el valor de construcción del equipo durante el primer semestre de uso tomando en cuenta el solo las ganancias en general de la

comunidad, sin embargo, el costo del equipo diseñado es mucho mayor que el de una piladora de igual capacidad que se encuentra en el mercado nacional. Se elaboró planos detallados para la construcción de la piladora especificando la tolerancia de cada pieza, donde se obtuvo las dimensiones generales del equipo de 1300x560x1300mm.

Al tomar en cuenta las consideraciones de seguridad, es necesario un banco o escalón de 300 mm de altura debido a que la altura para cargar el arroz con cáscara en la tolva es considerable, además los ciclos de carga son de 30 kg cada 8 minutos para llegar obtener los 150 kg/h, este peso se encuentra cerca del límite de seguridad permitido. Adicional a esto se elaboró una serie de posibles problemas que pueden surgir al utilizar la piladora con sus respectivas posibles soluciones de ajuste y mantenimiento.

4.2 Recomendaciones

4.2.1 Construcción

Dado que la altura de la maquina puede representar un riesgo para los que la emplean, debido a que supera los 1,2 m de altura, se puede modificar la forma de la tolva, ya que esta fue alargada de forma recta, para ello se recomienda mantener la forma original de la tolva, la cual tiene una inclinación, de este modo se estará aumentando la capacidad de carga sin tener un riesgo de altura al momento de levantar las cargas de arroz para depositar sobre la tolva.

4.2.2 Procesos de pilado

En caso de que la maquina presenten ineficiencia en el pilado, donde la cantidad de arroz pilado no sea la esperada, se recomienda que la distancia entre el tamiz y el tambor de descascarado se disminuya en la sección de salida, esto le permitirá una mayor área de contacto y fricción,

permitiendo un aumento en el pilado de arroz, y consecuentemente la eficiencia de la maquina será mayor.

Dado que se empleará un variador de frecuencia en el equipo, se recomienda que los rpm programados para el eje de la máquina de pilado sean entre 220 y 270 rpm, ya que, si las velocidades de rotación son menores o superior, consecuentemente el pilado será ineficiente, teniendo como resultado gran cantidad de arroz con cascara, o granos de arroz quebrados.

Durante la carga del arroz en la tolva, se recomienda que la puerta que controla el flujo del arroz hacia el sistema de descascarado no se encuentre completamente abierta, ya que esto obstruirá el paso uniforme del arroz por el sistema de descascarado e impedirá que el arroz sea completamente pilado, pudiendo generar un estancamiento en la maquina y paro del proceso de pilado.

De ser necesario un aumento en la capacidad de pilado de la máquina, se debe realizar un rediseño de los piezas principales como lo son: tambor, camisa superior e inferior, así como el eje, por lo que estos representaría un aumento en el costo del equipo entre un 10% y 20%, por consiguiente se recomienda aprovechar los componentes del equipo actual como lo son el motor, variador de frecuencia, debido a que estos componentes son los más costosos en la lista de componentes de la máquina y sus parámetros de funcionamiento son considerables.

Para la producción completa del arroz, se necesita pulir el arroz, pero debido a la carencia de máquinas en la comunidad, no se puede completar este proceso, sin embargo, como sugerencia se puede hacer una doble pasada por la máquina, ajustando la holgura que existen entre el tambor y el tamiz, de esta forma se obtendrá que el arroz final sea pulido.

BIBLIOGRAFÍA

- Váldez Rodríguez, J. J. (2015). *Universidad Estatal Bolívar(UEB)*. Obtenido de Evaluación Morfo-Agronómica Y Productiva de Ocho Variedades De Arroz (Oriza Sativa L.) en el Recinto Los Cerritos, Cantón Urdaneta, Provincia Los Ríos: <http://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/1277>
- Najar A., C., & Merino Alvarez, J. (2007). *Universidad Nacional de SAN MARCOS*. doi: <https://doi.org/10.15381/idata.v10i1.6210>
- Santamaría Wilmer, J. L. (2020). *Repositorio Institucional-Universidad Tecnológica del Perú*. Obtenido de Diagnóstico del proceso de Pilado de arroz en la Súper Piladora Del Norte S.A.C.: /bitstream/handle/20.500.12867/3443/Wilmer%20Llontop_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramos León, M. E. (2018). *Propuesta de un plan de mejora en el proceso de pilado de arroz, utilizando las Herramientas de Lean Manufacturing, para incrementar la productividad del área de producción en la Molinera San Nicolás SRL*. Tesis de grado, Universidad SEÑOR DE SIPAN, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Lambayaque. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/5440>
- Muñoz Zulueta, J. J. (2019). *Propuesta de mejora del proceso de pilado de arroz de la empresa Molino Chiclayo SAC para incrementar su productividad*. Tesis de grado, UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO, FACULTAD DE INGENIERÍA, Chiclayo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2722>
- Provamaq. (2020). *Provamaq*. Obtenido de [Imagen]: Recuperado de https://provamaq.com.ec/?page_id=80
- Tapie, O. F. (2016). Máquina beneficiadora de arroz: Una alternativa rentable para la disminución de grano partido en el proceso de trilla. *Ingenieros mecánicos de la corporación autónoma de Nariño*.

Campotencia. (s.f.). *ToroTrac*. Obtenido de Recuperado de <https://www.toroTrac.com/product/OE-Piladora%20de%20Maiz-%20Piladora%20de%20Cafe%20-%20Piladora%20de%20Arroz>

INEN. (1986). Granos y cereales. Cibras metálicas o zarandas y tamices. Tamaño nominal de la abertura., (pág. 15).

INEN. (2014). Granos y cereales. Arroz pilado. Requisitos.

Acerimallas. (2021). *Catálogo de productos*. Obtenido de Acerimallas: <https://acerimallas.com.ec/pdf/Catalogo-Acerimallas.pdf>

SFK, C. (2021). *Soporte de pie con rodamiento*. Obtenido de SFK: <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-P2BC%2035M-TPSS>

Acerimallas. (2021). *Catálogo de productos*. Obtenido de Acerimallas: <https://acerimallas.com.ec/pdf/Catalogo-Acerimallas.pdf>

Ospina, M. J. (2001). *Característica físico mecánicas y análisis de calidad de grano (1st ed.)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9th ed.)*. Bogotá: McGraw Hill.

Weg, M. (30 de Enero de 2022). *Weg Motores*. Obtenido de Weg, Motores: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h35/h2b/WEG-w22-motor-electrico-monofasico-50070884-brochure-spanish-web.pdf>

Kewo, D. (30 de Febrero de 2022). *Kewo Drive*. Obtenido de Kewo Drive: <http://www.kewoDrive.com/about-usziye.html>

Orthman. (2004). *SCREW CONVEYOR CATALOG & ENGINEERING MANUAL*. Lexington: CEMA.

Campotencia. (30 de Enero de 2022). *Piladora multigrano para pequeño y mediano productor*. Obtenido de ToroTrac: Recuperado de <https://www.toroTrac.com/product/OE-Piladora%20de%20Maiz-%20Piladora%20de%20Cafe%20-%20Piladora%20de%20Arroz>

Campotencia. (30 de Enero de 2022). *ToroTrac*. Obtenido de Recuperado de <https://www.toroTrac.com/product/OE-Piladora%20de%20Maiz-%20Piladora%20de%20Cafe%20-%20Piladora%20de%20Arroz>

OMS. (2019). *FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Norma internacional de los alimentos:
https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B198-1995%252FCXS_198s.pdf

SKF, C. (2021). *SKF*. Obtenido de SKF:
https://www.skf.com/binaries/pub20/Images/0901d196806fd7be-SKF-Couplings---15822_2-EN_tcm_20-317965.pdf

APÉNDICE

APÉNDICE A

Diseño de la tolva

Para saber que ángulo mínimo debe tener la tolva para que el arroz con cáscara se deslice. Conociendo el coeficiente de fricción del arroz con cáscara con respecto a una superficie metálica $\mu_s = 0,4$ (Ospina, 2001). La fuerza de fricción F_r es igual a el coeficiente de fricción por la normal y esto se relaciona en la siguiente ecuación a partir de una sumatoria de fuerzas.

$$\begin{aligned}F_r &= \mu_s * N = Sen\alpha * W \\ \mu_s * (Cos\alpha * W) &= Sen\alpha * W \\ \mu_s * Cos\alpha &= Sen\alpha \\ \alpha &= Tan^{-1}(\mu_s) \\ \alpha &= Tan^{-1}(0,4) = 21,8^\circ\end{aligned}$$

Conociendo las dimensiones aproximadas de la estructura de soporte y el sistema de descascarado, no es conveniente una tolva demasiado alta, se seleccionó una tolva de referencia que se encontraba disponible y se aumentó sus dimensiones para la capacidad requerida que mientras tenga una inclinación mayor a los 21, 8°, podrá cumplir con su función.

Cálculo de la capacidad de la tolva

Área mayor en la entrada de la tolva, $A_1 = 0,0875 \text{ m}^2$

Área menor en la salida de la tolva, $A_2 = 0,0146 \text{ m}^2$

Altura de la entrada a la salida, $h = 0,2987 \text{ m}$

altura de la sección agregada de la tolva, $H = 0,2987 \text{ m}$

$$\begin{aligned}V &= \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) + A_1 * H \\ V &= 0,033 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Sumando el volumen de la tolva de referencia y la sección agregada se obtiene el volumen total

$$\text{Masa en la tolva} = V_{Total} * \rho_{arroz}$$

Masa en la tolva = 30 kg

Cálculo de fuerzas en el eje

Peso del eje

$$W'_{eje} = m * g = \rho * V * g$$

$$V \approx \frac{(d_{eje})^2 \pi}{4} * L$$

$$W_{tambor} = m * g = \rho * V * g$$

$$V \approx \frac{(d_{ext,tambor}^2 - d_{int,tambor}^2) \pi}{4} * L$$

$$W_{eje} = W_{eje}' + W_{tambor} = 123,07 N$$

Fuerza de entrada de arroz

Área de entrada de arroz = 75mmx19,5mm = 1462,5mm² = 0,00146 m²

Velocidad de entrada $V = \sqrt{2gh} = 0,99 \frac{m}{s}$

Caída del arroz desde la base de la tolva $h = 0,05m$

Tiempo de caída $t = \frac{h}{V} = 0,032 s$

Densidad de arroz $\rho \approx 900 kg/m^3$

$$m = A * V * t * \rho$$

$$m = A * h * \rho = 0,0657 kg$$

$$F_{arroz} = m * g$$

$$F_{arroz} = 0,0657 * 9,81 = 0,6445 N$$

Esta fuerza se consideró despreciable para el análisis.

Reacciones de los rodamientos

Para el cálculo final de Fuerzas y momentos, únicamente se tomaros en cuenta las fuerzas mas relevantes, es decir, se despreciaron las fuerzas muy pequeñas involucradas como la fuerza de entrada del arroz.

$$\sum M, R1 = 0$$

$$-W_{acople} * A + W_{eje} * (B + C) - R_2 * (B + C) = 0$$

$$R_2 = \frac{1}{(B + C)} [-W_{acople} * A + W_{eje} * (B + C)]$$

$$\sum F_y = 0$$

$$W_{acople} + W_{eje} - R_1 - R_2 = 0$$

$$R_1 = W_{acople} + W_{eje} - R_2$$

Momentos

$$M_{acople} = 0$$

$$M_{R1} = -(W_{P1}) * A$$

$$M_{Weje} = [R_1 - (W_{acople})] * B + M_{R1}$$

$$M_{R2} = 0$$

Torque por fricción del arroz en el tambor

$$N = (0,45 * V_{anillo}) * \rho_{arroz} * 9,81$$

$$V_{anillo} = \frac{(d_{ext,tambor}^2 - d_{tamiz}^2)\pi}{4} * L$$

$$F_{fricción} = N * 0,4 = 47,67$$

$$T_{\text{arroz}} = F_{\text{fricción}} * \frac{d_{\text{tambor}}}{2}$$

$$T_o = T_{\text{acople}} + T_{\text{arroz}} = 10,32 \text{ Nm}$$

Esfuerzo de fatiga

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} = 0.5 * 400 = 200 \text{ MPa}$$

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e = 166,19 \text{ MPa}$$

- $K_a = a * S_{ut}^b$

Table 6-2

Parameters for Marin Surface Modification Factor, Eq. (6-19)

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

Figura A.1 Factor de superficie.

$$K_a = 4.51 * 400^{-0.265} = 0.92$$

- K_b

Size Factor k_b

The size factor has been evaluated using 133 sets of data points.¹⁵ The results for bending and torsion may be expressed as

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ in} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

For axial loading there is no size effect, so

$$k_b = 1$$

Figura A.2 Factor de tamaño,

$$K_b = 1$$

- K_c

Loading Factor k_c

When fatigue tests are carried out with rotating bending, axial (push-pull), and torsional loading, the endurance limits differ with S_{ut} . This is discussed further in Sec. 6–17. Here, we will specify average values of the load factor as

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{bending} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsion}^{17} \end{cases}$$

Figura A.3 Factor de Carga.

$$K_c = 1$$

- K_d

Table 6–4

Effect of Operating Temperature on the Tensile Strength of Steel.* (S_T = tensile strength at operating temperature; S_{RT} = tensile strength at room temperature; $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$)

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

Figura A.4 Factor de Efecto temperatura.

Temperatura = 35 °C

$$K_d = 1.005$$

- K_e

Table 6–5

Reliability Factors k_e Corresponding to 8 Percent Standard Deviation of the Endurance Limit

Reliability, %	Transformation Variate z_σ	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura A.5 Factor de Fiabilidad.

$$K_e = 0.897 \text{ (reliability – 90\%)}$$

- K_f

Corrosion

$$K_f = 0.95$$

Factores de concentradores de esfuerzos

Factor de Torsión: $q_{ts} = 0,75$

Factor de Flexión: $q_t = 0,85$

Table 7-1

First Iteration Estimates for Stress-Concentration Factors K_t and K_{ts} .

Warning: These factors are only estimates for use when actual dimensions are not yet determined. Do *not* use these once actual dimensions are available.

	Bending	Torsional	Axial
Shoulder fillet—sharp ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Shoulder fillet—well rounded ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
End-mill keyseat ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Sled runner keyseat	1.7	—	—
Retaining ring groove	5.0	3.0	5.0

Figura A.6 Factor de concentración de esfuerzo.

$$K_f = 1 + q_t(K_t - 1) = 2,44 \quad ; q_t = 0,85 \quad ; K_t = 2,7$$

$$K_{fs} = 1 + q_{ts}(K_{ts} - 1) = 1,9 \quad ; q_{ts} = 0,75 \quad ; K_{ts} = 2,2$$

Diámetros en el eje

Utilizando la ecuación 2.1 se obtienen los diámetros del eje.

$$d_{central,eje} = \left[\frac{32n}{\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{K_f * M_{Weje}}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{fs} * T_o}{Sy} \right)^2} \right] \right]^{1/3}$$

$$d_{central,eje} = 37,76 \text{ mm}$$

$$d_{Rodamientos} = \left[\frac{32n}{\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{K_f * M_{R1}}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{fs} * T_o}{Sy} \right)^2} \right] \right]^{1/3}$$

$$d_{Rodamientos} = 19,17 \text{ mm}$$

$$d_{Acople} = \left[\frac{32n}{\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{K_f * M_{polea}}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{fs} * T_o}{Sy} \right)^2} \right] \right]^{1/3}$$

$$d_{Acople} = 13,40 \text{ mm}$$

Para este tipo de diseño el rango para el factor de seguridad recomendado es de entre 2 a 4. Se decidió tomar el factor de seguridad de $n=4$ debido a que se ajusta bien para las dimensiones establecidas del diseño.

Análisis de Esfuerzos

Esfuerzo máximo de Von Mises

$$\sigma'_a = \left[\left(\frac{32 * K_f * M_o}{\pi d_{eje}^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_a = 69,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \left[3 * \left(\frac{16 * K_{fs} * T_o}{\pi d_{eje}^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = 7,82 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{max} = \left[\left(\frac{32 * K_f * M_o}{\pi d_{eje}^3} \right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * K_{fs} * T_o}{\pi d_{eje}^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_{max} = 69,88 \text{ MPa}$$

Análisis estructural del soporte del equipo

Para el diseño de la mesa que sostendrá la piladora se consideraron las siguientes cargas:

Parámetros para los cálculos:

$$D_{eje} = 38.10 \text{ mm} = 0,0381 \text{ m}$$

$$\rho = 7870 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 0,8329 \text{ m}$$

Peso del eje

$$\begin{aligned} V &= AxL \\ &= \frac{\pi}{4} (0,0381)^2 x (0,8329) \\ &= 9,49x10^{-4} m^3 \\ m &= Vx\rho = 9,49x10^{-4} x 7870 \\ m &= 7,47 \text{ kg} \\ W &= 7,47x9,81 = 73,28 \text{ N} \end{aligned}$$

Peso del tambor

$$D_{tambor} = 0,073 \text{ m}$$

$$e = 0,00516 \text{ m}$$

$$L = 0,60 \text{ m}$$

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} V &= AxL \\ &= \frac{\pi}{4} [(0,073)^2 - (0,06784)^2] x (0,60) \\ &= 3,425x10^{-4} m^3 \\ m &= Vx\rho = 4,754x10^{-4} x 7850 \\ m &= 3,73 \text{ kg} \\ W &= 3,73x9,81 \\ W &= 36,59 \text{ N} \end{aligned}$$

Peso de la varilla

$$D = 87 \text{ mm}$$

$$Lado_{varilla} = 6,35 \text{ mm}$$

$$Paso_{varilla} = \frac{2}{3}D_{tambor} = 42,33 \text{ mm} \approx 42 \text{ mm}$$

$N = 14$ vueltas

$$\begin{aligned}L &= 2x\pi xD \\ &= \pi x \frac{73}{1000} \\ &= 0,229 \text{ m}\end{aligned}$$

$$L_{TOTAL} = 14x0,229 = 3,206 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}V &= AxL \\ &= (0,00635)^2 x (3,206) \\ &= 1,29x10^{-4} \text{ m}^3 \\ m &= Vx\rho = 1,29x10^{-4} x 7850 \\ m &= 1,01 \text{ kg} \\ W &= 1,01x9,81 \\ W &= 9,91 \text{ N}\end{aligned}$$

Peso de eje-tambor

$$W_{eje} = W'_{eje} + W_{tambor} + W_{varilla} = 119,78 \text{ N}$$

Peso de las chumaceras-rodamientos

$$M_{chumacera} = 3,15 \text{ kg}$$

$$W_{chumacera} = 3,15x9,81 = 30,90 \text{ N}$$

$$W_{chumacera1} + W_{chumacera2} = 61,8 \text{ N}$$

Peso de la camisa-rampas-tamiz

$$M_{camisa inferior} = 9 \text{ kg}$$

$$M_{camisa superior} = 4 \text{ kg}$$

$$M_{tamiz} = 2,25 \text{ kg}$$

$$W_{cubierta} = (8,5 + 3,30 + 2,25)x9,81 = 150 \text{ N}$$

Peso de Motor, pernos, soldaduras y demás elementos adicionales

$$M_{motor} = 24 \text{ kg}$$

$$M_{soldadura} = 4 \text{ kg}$$

$$M_{perno} = 1 \text{ kg}$$

$$W_{uniones} = 284,5 \text{ N}$$

Peso del arroz y tolva

$$M_{arroz} = 30 \text{ kg}$$

$$M_{tolva} = 5,1 \text{ kg}$$

$$W_{arroz-tolva} = (30 + 5,1) \times 9,81 = 344,3 \text{ N}$$

Suma de las cargas sobre la estructura

$$\begin{aligned} W_{total} &= W_{eje} + W_{chumaceras} + W_{cubierta} + W_{uniones} + W_{arroz-tolva} \\ &= 119,78 + 61,8 + 150 + 284,5 + 344,3 \end{aligned}$$

$$W_{total} = 960,40 \text{ N}$$

Análisis en partes críticas de la estructura

Análisis de la pieza 1 de la mesa (tubo cuadrado donde se coloca la tolva).

$$I = \frac{40^4}{12} - \frac{30^4}{12} = 145833,33 \text{ mm}^4$$

$$\bar{y} = 20 \text{ mm}$$

$$M = F * \frac{L}{2} = 450 * \frac{560}{2} = 126000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{flexión} = \frac{M * \bar{y}}{I}$$

$$\sigma_{flexión} = 17,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{admisible} = 400 \text{ MPa}$$

Deflexión del ángulo de la estructura

$$I = \frac{40^4}{12} - \frac{35^4}{12} = 88281,25 \text{ mm}^4 = 8,8281 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M = 225 * X - 450(X - 0,260)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = 225 * \frac{X^2}{2} - 450 \left(\frac{X^2}{2} - 0,260 * X \right) + C_1$$

$$EIy = 225 * \frac{X^3}{3} - 450 \left(\frac{X^3}{3} - 0,260 * \frac{X^2}{2} \right) + C_1 * X + C_2$$

$$y = \frac{1}{EI} * \left[225 * \frac{X^3}{3} - 450 \left(\frac{X^3}{3} - 0,260 * \frac{X^2}{2} \right) - 10,14 * X \right]$$

Deflexión para el ángulo que soporta la tolva

$$y = 0; x = 0,260 \text{ m}$$

$$y = \frac{1}{(200 * 10^6) * (8,8281 * 10^{-8})} * \left[225 * \frac{(0,260)^3}{3} - 450 \left(\frac{(0,260)^3}{3} - 0,260 * \frac{(0,260)^2}{2} \right) - 10,14 * 0,260 \right]$$

$$y \approx 0 \text{ m}$$

Análisis de la pieza 5 de la mesa

$$I = \frac{40^4}{12} - \frac{35^4}{12} = 88281,25 \text{ mm}^4$$

$$A = 40^2 - 35^2 = 375 \text{ mm}^2$$

$$Le = 0,5 * L = 0,5 * 684 = 342 \text{ mm}$$

$$\frac{Le}{r} = 22,29$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\sigma_{yp} = 250 \text{ MPa}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_{yp}}} = 3,974$$

$$\frac{Le}{r} > Cc$$

Esfuerzo normal máximo en Viga larga

$$\sigma_{Max,normal} = \frac{12 \pi^2 * E}{23 \left(\frac{Le}{r}\right)^2} = 2,073 \text{ MPa}$$
$$\sigma_{normal} = \frac{F}{A} = \frac{26,97}{375 * 10^{-6}} = 0,072 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{normal} = 0,072 \text{ MPa} < \sigma_{Max,normal} = 2,072 \text{ MPa}$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Budynas & Nisbett, 2012).

Cálculo de la velocidad de giro para el eje

Para determinar el número de espirales necesarias para el pilado se hizo un cálculo experimental el cual consistió en medir el tiempo que se necesitó para descascarar una cantidad de arroz, se registraron los siguientes datos:

Se necesita pilar 150 kg/h=2500 g/min

Se registró que se pudo descascarar 10 g en 1 minuto por lo que se asume que 10 g se pilan en cada revolución

$$N_{shaft} = \frac{2500 \frac{g}{min}}{10 \frac{g}{rev}} = 250 \text{ rpm}$$

Cálculo del número de espirales en el tambor para el pilado

$$D_{tambor} = 2,5 \text{ in} = 73 \text{ mm}$$

$N_{espirales}$ = cantidad de espirales

L_{tambor} = longitud del tambor=600 mm

$$Pitch = \frac{2}{3} * D_{tambor} = 42,3 \text{ mm}$$

Fuente: (Orthman, 2004)

$$N_{\text{espirales}} = \frac{600}{42,3} \approx 14$$

Cálculo de velocidad crítica del descascarado

Masa, $m = 8,97 \text{ kg}$

Inercia, $I = 0,557 \text{ m}^4$

Longitud, $l = 0,9 \text{ m}$

Módulo del material, $E = 2 * 10^{11} \text{ Pa}$

$$\omega_{\text{crit}} = \left(\frac{\pi}{l}\right) \sqrt{\frac{E * I}{m}} = 452680 \text{ rpm}$$

APÉNDICE B

Selección de componentes del sistema de impulso Motor-Variador de frecuencia

En base al torque producido por la fricción del arroz, se obtuvo la potencia requerida y se seleccionó un motor de 1 HP a 1750 RPM y el variador de frecuencia específico para 1 HP.

W22 Monofásico - Con condensador de arranque o arranque y permanente - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado Ii/In	Par con rotor trabado Tt/Tn	Par Máximo Tt/Tn	Momento de inercia J (kgm²)	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		
8 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	0,071	4,6	2,4	2,4	0,0002	6	10,7	50	3440	48,0	55,6	59,0	0,51	0,62	0,72	2,68	1,34
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	0,50	0,61	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	60,7	69,8	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	60,0	68,0	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	0,77	0,85	0,89	7,04	3,52
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	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	100L	0,608	8,7	2,3	3	0,0064	9	37,0	72	3525	72,7	79,2	81,8	0,82	0,95	0,98	12,5	6,25
3	4	112M	0,830	8,0	2,6	2,5	0,0081	6	45,0	72	3520	76,4	81,6	82,1	0,91	0,94	0,95	17,5	8,74
3,7	5	112M	1,02	8,0	2,6	2,5	0,0091	6	47,0	72	3525	80,0	82,3	83,4	0,91	0,96	0,97	20,8	10,4
5,5	7,5	132S	1,52	8,5	2,8	2,9	0,0234	5	69,0	72	3515	73,7	79,7	82,4	0,92	0,95	0,96	31,6	15,8
7,5	10	132M	2,07	8,0	2,2	3,1	0,0223	8	70,0	72	3525	79,9	82,4	83,9	0,83	0,90	0,94	43,2	21,6
9,2	12,5	132M	2,55	8,8	1,9	3	0,0285	7	79,0	72	3515	85,0	87,5	88,3	0,94	0,96	0,97	48,8	24,4
11	15	132M/L	3,04	8,5	2,2	3,5	0,0339	6	92,0	72	3530	83,7	87,2	88,5	0,89	0,94	0,95	59,4	29,7
Carcasas opcionales																			
1,5	2	90S	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	90L	0,612	7,5	2	2,1	0,0028	7	27,5	69	3500	72,0	77,0	78,5	0,94	0,95	0,96	13,3	6,63
IV Polos																			
0,12	0,16	63	0,068	5,0	2,3	2,0	0,0007	7	9,8	47	1730	32,5	40,0	44,2	0,50	0,58	0,66	1,87	0,935
0,18	0,25	71	0,101	5,0	2,8	2,1	0,0008	15	12,7	55	1730	49,6	55,2	60,4	0,43	0,51	0,61	2,22	1,11
0,25	0,33	71	0,141	5,0	2,6	2,2	0,0009	18	13,2	55	1725	45,1	51,0	56,2	0,46	0,53	0,64	3,16	1,58
0,37	0,5	80	0,207	6,8	2,1	2,5	0,0030	10	17,8	55	1740	51,7	61,0	66,1	0,76	0,83	0,88	2,89	1,45
0,55	0,75	80	0,308	5,8	2,1	2,2	0,0034	9	18,5	55	1740	54,0	63,5	68,0	0,71	0,81	0,87	4,23	2,12
0,75	1	90S	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,32	2,66
1,1	1,5	90L	0,607	9,5	2	2,3	0,0069	6	28,0	58	1765	61,0	69,5	74,0	0,88	0,93	0,95	7,12	3,56
1,5	2	100L	0,837	7,2	2,5	2,2	0,0093	10	37,0	58	1745	66,0	73,0	77,0	0,87	0,90	0,93	9,51	4,76
2,2	3	112M	1,23	7,7	2,9	2,7	0,0156	8	46,0	60	1745	65,0	74,0	77,0	0,79	0,87	0,90	14,4	7,22
3	4	112M	1,68	8,0	2,7	2,4	0,0184	6	49,0	60	1740	69,5	75,0	77,0	0,96	0,97	0,98	18,1	9,04
3,7	5	132S	2,06	7,3	3,4	2,5	0,0329	6	65,0	63	1750	71,0	77,9	80,5	0,84	0,91	0,93	22,5	11,3
5,5	7,5	132M	3,06	7,7	3,2	2,5	0,0457	6	80,0	63	1750	75,6	81,0	83,0	0,88	0,92	0,94	32,0	16,0
7,5	10	132M*	4,20	6,7	2,6	2,4	0,0486	6	82,0	63	1740	77,9	82,5	84,0	0,82	0,94	0,95	42,7	21,3
9,2	12,5	132M*	5,15	6,5	2,2	2,3	0,0543	6	88,0	63	1740	78,0	83,2	84,0	0,85	0,91	0,93	53,6	26,8
Carcasas opcionales																			
0,75	1	80	0,420	7,1	1,7	2,2	0,0030	6	18,0	55	1740	62,3	69,7	72,7	0,73	0,84	0,90	5,22	2,61
0,75	1	90L	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,33	2,67
1,5	2	90L	0,835	8,0	1,9	2	0,0066	6	28,0	58	1750	67,5	74,5	77,0	0,96	0,97	0,98	9,04	4,52
2,2	3	100L	1,22	6,8	2	2,5	0,0097	6	40,0	58	1750	70,0	75,0	76,0	0,61	0,70	0,77	17,1	8,55
3,7	5	112M	2,08	8,0	3,4	2,4	0,0183	6	51,0	60	1730	72,0	77,0	78,0	0,82	0,89	0,93	23,2	11,6
3,7	5	132S	2,06	7,3	3,4	2,5	0,0300	6	65,0	63	1750	71,0	77,9	80,5	0,87	0,92	0,94	22,2	11,1
VI Polos																			
0,75	1	90L	0,627	6,3	1,8	2,3	0,0066	13	27,0	58	1165	60,7	68,7	72,4	0,65	0,74	0,81	5,84	2,92
1,1	1,5	100L	0,912	7,0	2,1	2,7	0,0143	19	37,0	58	1175	62,5	70,5	74,5	0,56	0,66	0,73	9,20	4,60
1,5	2	112M	1,24	8,0	2,2	2,4	0,0220	15	50,0	60	1175	67,6	74,8	77,9	0,78	0,85	0,88	9,90	4,95
2,2	3	112M	1,85	6,1	1,9	1,8	0,0257	11	53,0	60	1160	71,3	76,5	77,3	0,74	0,83	0,87	14,9	7,43
3	4	132M	2,49	8,8	2,6	2,8	0,0738	7	72,0	63	1175	72,2	78,8	81,5	0,65	0,75	0,81	20,6	10,3
3,7	5	132M*	3,08	8,5	2,7	2,6	0,0836	9	78,0	63	1170	79,4	83,6	84,6	0,79	0,86	0,89	22,4	11,2

Nota:

(*) Motores con elevación de temperatura F (105K).

Figura B.1 Selección de catálogo del motor (Weg, 2022).

Tabla B.1 Descripción del variador de frecuencia (Kewo, 2022).

Modelo	Variador KEWO 1.0HP 0.75KW 230V 4A Entrada 1F
Certificación	9001-2008
Circuito principal	Entrada monofásica (R, T), salida trifásico (U, V, W)
Circuito controlador	5 entradas digitales, DI5, 1 entrada analógica
Entrada analógica	AI1 (0-10 V, 0-20 mA)
Salida analógica	AO (0-10 V, 0-20 mA)
Salidacolector abierto	DO
Salida de relé	A, TB, TC
Terminales Modbus	Rs485 integrados

Fuente: Kewo Motors, Kewo Drive.

Details



Couplings
Grid coupling, Horizontal split cover, Hub

PHE 1100TGHCOVER

Size	1100
Nominal torque (lbft)	4631.89
Nominal torque (Nm)	6280
Min. bore (mm)	41
Max speed (r/min)	2440
Min. bore (in)	1.61
Max. bore (mm)	107
Max. bore (in)	4.21
Weight (kg)	4.6
Weight (lbs)	10.14

Please note:
A complete grid coupling, horizontal split cover, consists of 2 hubs (either solid bore or bored-to-size), 1 cover and 1 grid.

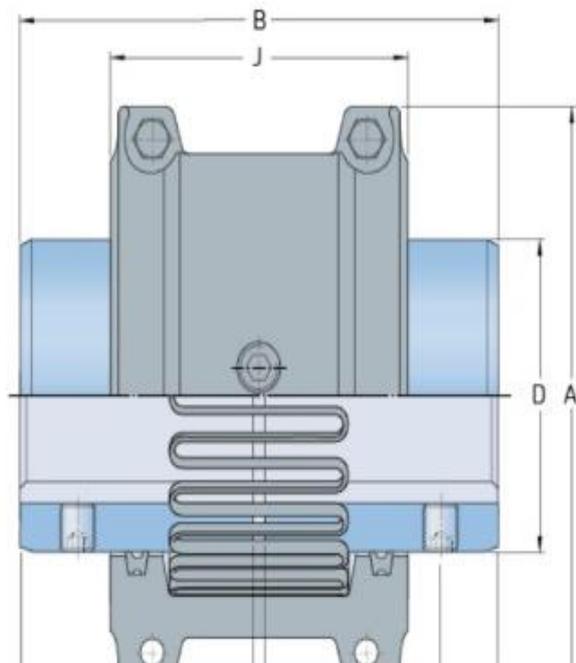
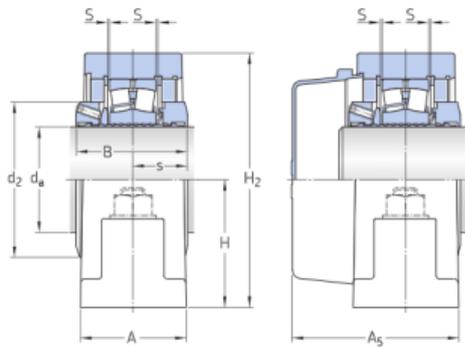


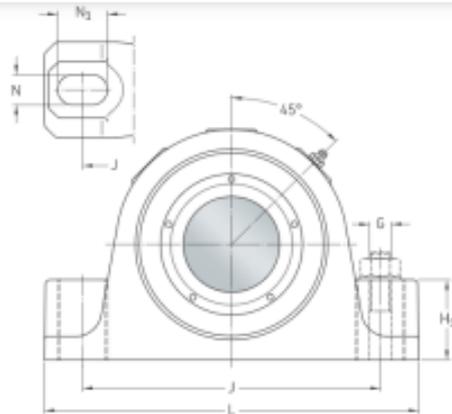
Figura B.2 Selección de catálogo del acople entre el eje del motor y el eje de la máquina (SKF, 2021).



DIMENSIONS

d_a	1.5 in	Shaft diameter
d_2	2.598 in	Collar outer diameter
A	2.125 in	Housing foot width
A_5	3.031 in	Width including end cover
B	2.547 in	Inner ring width
H	1.875 in	Height base to center
H_1	1.188 in	Housing foot height
H_2	3.938 in	Housing height
J	min.4.688 in	Distance between attachment bolts, max.
J	max.5.5 in	Distance between attachment bolts, min.
J	5.094 in	Distance of attachment bolts

Figura B.3 Especificaciones de chumacera seleccionada P2B108-SRB-CRE (SKF, 2021).



L	6.875 in	Housing length
N	0.625 in	Width foot slot width
N_1	1.031 in	Length of attachment bolt hole
s	1.281 in	Centre line unit to side face of inner ring
S	0.031 in	Centre line of "fixed" bearing

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	21 700 lbf
Basic static load rating	C_0	20 300 lbf
Fatigue load limit	P_u	2 200 lbf
Limiting speed		4 000 r/min
Limiting value	e	0.28
Axial load factor	Y_1	2.4
Axial load factor	Y_2	3.6
Axial load factor	Y_0	2.5
Bearing mean diameter	d_m	2.36 in
Axial holding force of the locking mechanism	P_a	3 350 lbf

SAFE LOADS

P_{90}	6 200 lbf	Safe load at 90°
P_{135}	3 200 lbf	Safe load at 135°
P_{180}	3 900 lbf	Safe load at 180°

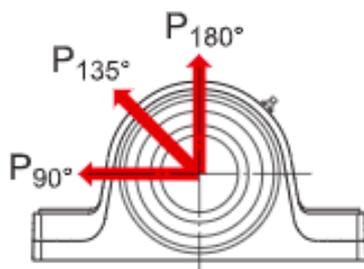
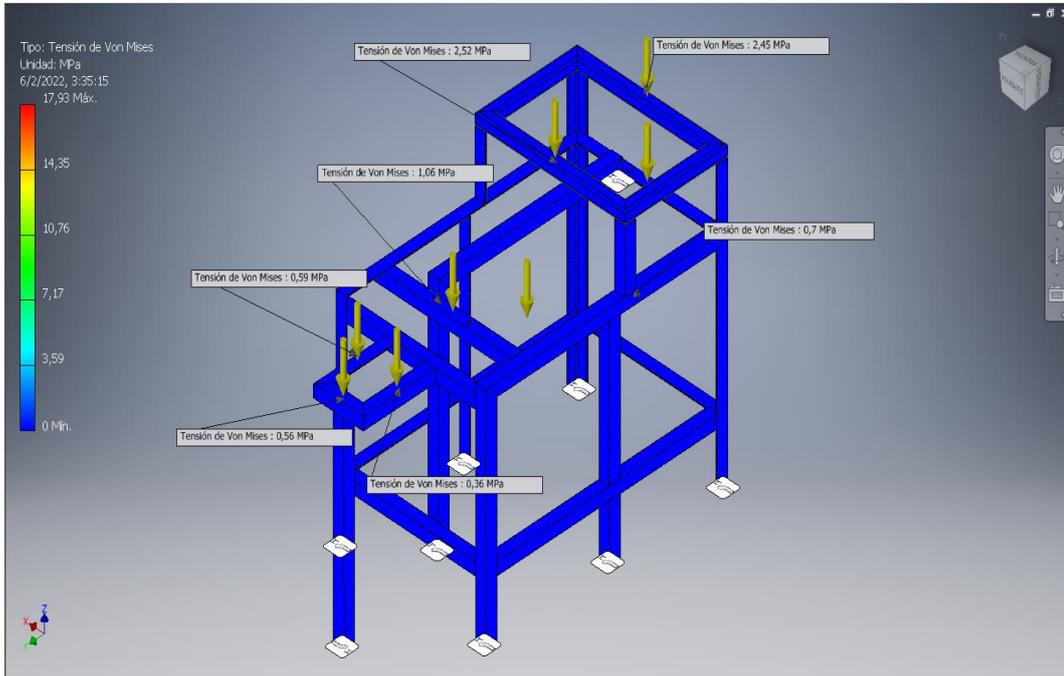
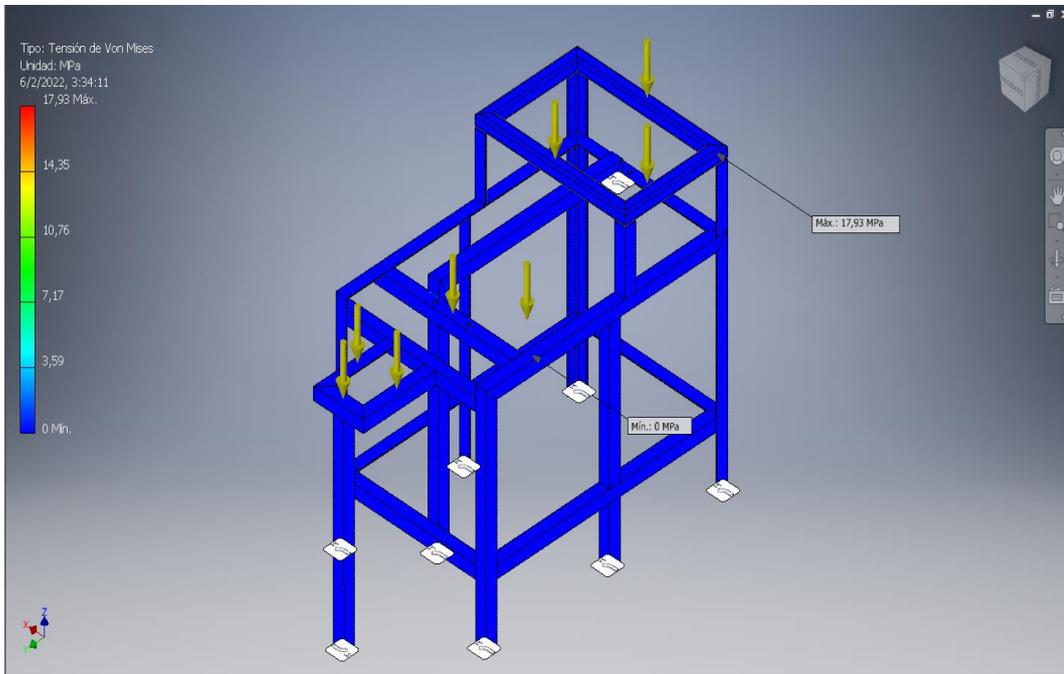


Figura B.4 Especificaciones de chumacera seleccionada P2B108-SRB-CRE (SKF, 2021).

APÉNDICE C



Esfuerzos de Von Mises de las partes críticas en la estructura de soporte.



Esfuerzos máximo y mínimo de Von Mises en la estructura de soporte.

