

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESPULPADORA DE FRUTA

**COMPONENTE B: EJE CONDUcido, TRANSPORTADOR
HELICOIDAL, SOPORTE DEL AGITADOR, PALAS, AGITADOR.
PAREDES DE LA CÁMARA DE DESPULPADO Y TAMIZ.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

ANDRÉS DIONICIO GUEVARA URQUIZO

andres.guevara01@epn.edu.ec

DIRECTOR: MARIO ALBERTO CESEN ARTEAGA

mario.cesen@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, ANDRÉS DIONICIO GUEVARA URQUIZO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



ANDRÉS DIONICIO GUEVARA URQUIZO

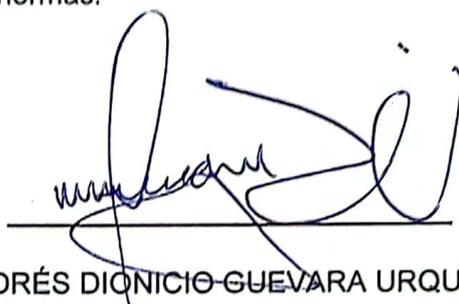
Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ANDRÉS DIONICIO GUEVARA URQUIZO, bajo mi supervisión.



MARIO ALBERTO CESEN ARTEAGA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



Handwritten signature of Andrés Dionicio Guevara Urquiza, written in blue ink over a horizontal line.

ANDRÉS DIONICIO GUEVARA URQUIZO



Handwritten signature of Mario Alberto Cesen Arteaga, written in blue ink over a horizontal line.

MARIO ALBERTO CESEN ARTEAGA

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres, Francisco Guevara y Pepita Urquiza, por siempre brindarme su amor incondicional, por ser mi apoyo en momentos de debilidad y tristeza, por compartir mis alegrías y mis triunfos, por ser mi guía en momentos de duda y por ser mi luz cuando el camino se tornaba oscuro. Los amo mucho.

A mis hermanos Marcos y Sofia, por ser parte de mi vida y estar siempre prestos ayudarme en cada instante.

A mi amada esposa Carolina Baquero, por jamás soltar mi mano y compartir esta hermosa experiencia que fue mi vida universitaria, todos mis logros se los dedico a usted, por ser ese motor que me impulsa a seguir adelante y mejorar cada día, le amo mucho.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por regalarme la vida y darme la oportunidad de culminar mis estudios en tan prestigiosa institución, reconozco que nada soy sin sus bendiciones diarias.

A mi esposa, Carolina Baquero gracias por todo el apoyo que me brinda en cada día de mi vida, gracias por la paciencia, el amor, las palabras de aliento, por siempre creer en mí y darme fuerzas para seguir cuando creía que no podía más.

A mi familia por todo el sacrificio que hicieron para verme triunfar, gracias, papá, mamá y hermanos por acompañarme en mis alegrías y mis llantos, mi infinito agradecimiento hacia ustedes.

A mis profesores, por el esfuerzo diario que hacen para compartir sus conocimientos y formar profesionales de excelencia.

Tabla de contenido

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Producción de frutas en el Ecuador	3
1.4.2 Pulpa de fruta.	4
1.4.3 Diámetro de las pepas de varias frutas.....	4
1.4.4 La Guanábana como fruta de estudio	5
1.4.5 Acero inoxidable AISI 304.....	10
1.4.6 Benchmarking.....	10
1.4.7 La máquina despulpadora de frutas.....	10
1.4.8 Tipos de despulpadoras en el mercado.	10
2 METODOLOGÍA.....	16
2.1 La casa de la calidad	17
2.1.1 Voz del usuario.....	17
2.1.2 Voz del ingeniero.....	17
2.1.3 Análisis de la competencia.	18
2.1.4 Conclusiones de la casa de la calidad	20
2.2 Especificaciones técnicas.....	20
2.3 Análisis funcional.....	21
2.3.1 Modularidad.....	23
2.4 Evaluación y selección de alternativas.....	23
2.4.1 Módulo 1. Alimentación.	24
2.4.2 Evaluación del módulo 1.....	25
2.4.3 Modulo 2. Despulpado.....	27
2.4.4 Tamiz	27
2.4.5 Evaluación de las alternativas del tamiz	28
2.4.6 Palas	29

2.4.7	Evaluación de las alternativas de las palas.....	29
2.4.8	Agitador	31
2.4.9	Evaluación de las alternativas para los agitadores.....	32
2.5	Matriz morfológica	33
2.6	Diseño conceptual de la máquina despulpadora.....	34
2.7	Cálculo y selección de componentes.....	34
2.7.1	Dimensionamiento del transportador helicoidal.....	34
2.7.2	Capacidad del transportador.....	35
2.7.3	Dimensionamiento del tamiz.....	36
2.7.4	Dimensionamiento de las palas.....	39
2.7.5	Dimensionamiento del soporte del agitador.....	43
2.7.6	Dimensionamiento del agitador.....	46
2.7.7	Diseño del eje conducido.....	48
2.7.8	Dimensionamiento de las paredes de la cámara de despulpado	52
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
3.1	Resultados	62
3.1.1	Construcción.....	63
3.1.2	Protocolo de pruebas.....	68
3.2	Conclusiones.....	74
3.3	Recomendaciones.....	75
3.4	Referencias	76
4	ANEXOS.....	78

RESUMEN

El presente trabajo muestra el componente B del diseño y construcción de una máquina despulpadora de fruta, los componentes son: Eje conducido, palas, transportador helicoidal, soporte del agitador, agitador, tamiz y paredes de la cámara de despulpado.

Se realizó una breve revisión bibliográfica y un estudio del mercado para conocer características técnicas de las máquinas existentes, tras la elaboración de la casa de la calidad y obtener las especificaciones técnicas de la máquina, se procede a construir la matriz morfológica realizando comparaciones directas entre las posibles soluciones a las piezas del componente B. Se desarrolla el proceso de diseño para los diferentes elementos de máquina utilizando métodos analíticos y en otros casos métodos numéricos debido a la complejidad de las geometrías. Finalmente pasamos a la etapa de construcción, donde en varios casos se realizaron consideraciones de rediseño debido a los procesos de fabricación de varios elementos. Se ensambló la máquina despulpadora junto a las piezas desarrolladas en los componentes A y C que les corresponden al Sr. Stalyn Romero y Alejandro Chávez respectivamente.

Se realizó un protocolo de pruebas para la máquina donde los resultados fueron favorables, se logró cumplir los objetivos y alcances planteados así también se cumplieron las especificaciones técnicas propuestas.

PALABRAS CLAVE: Despulpado, máquina, fruta, diseño, fabricación.

ABSTRACT

The present work shows component B of the design and construction of a fruit pulping machine, the components are: Driven shaft, blades, helical conveyor, agitator support, agitator, sieve and walls of the pulping chamber.

A brief bibliographical review and a market study were carried out to know the technical characteristics of the existing machines, after the elaboration of the quality house and obtaining the technical specifications of the machine, we proceed to build the morphological matrix making direct comparisons between the possible solutions to the parts of component B. The design process for the different machine elements is developed using analytical methods and in other cases numerical methods due to the complexity of the geometries and lack of information to know the behavior of several elements under different conditions. loads. We finally move on to the construction stage, where in several cases redesign considerations were made due to the manufacturing processes of various elements. The pulping machine was assembled with the parts developed in components A and C that correspond to Mr. Stalyn Romero and Alejandro Chávez, respectively.

A test protocol was carried out for the machine where the results were favorable, it was possible to meet the objectives and scope proposed, as well as the proposed technical specifications.

KEYWORDS: Pulping, machine, fruit, design, manufacture.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La máquina despulpadora de frutas ha sido desarrollada en conjunto con 2 compañeros más, por lo tanto, se ha dividido su diseño y construcción en componentes A, B y C. El presente documento desarrolla el componente “B” el cual está compuesto por los siguientes elementos de máquina:

- B1 Eje conducido.
- B2 Transportador helicoidal.
- B3 Soporte del Agitador.
- B4 Palas.
- B5 Agitador.
- B6 Pared izquierda de la cámara de despulpado.
- B7 Pared derecha de la cámara de despulpado.
- B8 Tamiz.

Los elementos listados anteriormente pasarán por las distintas etapas de diseño, se ha tomado en cuenta máquinas similares encontradas en el mercado nacional e internacional para asegurar su correcto funcionamiento. El documento empieza con un marco teórico sencillo pero concreto que ayudará a entender al lector las bases, fundamentos y justificación de la realización del proyecto de la máquina despulpadora de frutas, posteriormente se encuentra un estudio de mercado que denominaremos como “benchmarking” el cual nos dará un mejor panorama sobre la existencia de este tipo de máquinas en el mercado considerando así: cargas, potencias, geometrías y funcionamiento de estas. Para la determinación de las especificaciones técnicas se elaboró la casa de la calidad, la cual reúne características que salen de la voz de usuario y son traducidas en factores técnicos por la voz del ingeniero, llegando así a las especificaciones técnicas que debe cumplir la máquina despulpadora de frutas, a continuación se realizó el análisis funcional de la máquina para así llegar a un diseño conceptual el cual cumple con las especificaciones técnicas que se obtuvieron previamente y también reúne las mejores alternativas para cada elemento del componente B obtenidas del análisis funcional. Posteriormente se realizó los cálculos, simulaciones, experimentación y pruebas pertinentes para los elementos que lo requerían, esto desembocó en tener medidas, potencias requeridas y geometrías finales que serán utilizadas en los planos de taller y planos conjuntos para poder realizar la construcción de los elementos. Finalmente se encuentra evidencias de las pruebas realizadas a la máquina construida con anexos fotográficos y detalles de la construcción de los elementos del componente B. También se

adjuntará información relevante para complementar la construcción de la maquina despulpadora, como por ejemplo catálogos de elementos normalizados o fichas técnicas del material que se ocupará que en su mayoría serán acero inoxidable, acero dulce y polímeros como el duralón.

1.1 Objetivo general

Diseñar y construir los elementos de la máquina despulpadora de frutas que correspondan al componente B

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una breve revisión bibliográfica.
2. Analizar alternativas de diseño para los elementos que así lo requieran.
3. Elegir las mejores alternativas de diseño mediante criterios ponderados.
4. Diseñar los elementos del componente B y seleccionar elementos normalizados.
5. Realizar el modelado CAD de los elementos de máquina, así como planos de taller y planos conjuntos.
6. Construir los elementos del componente B.
7. Realizar el montaje y pruebas.

1.3 Alcance

El proyecto de integración curricular “Diseño y construcción de una máquina despulpadora de fruta” empieza por realizar un levantamiento bibliográfico de máquinas similares existentes en el mercado nacional e internacional, posteriormente se emplea la casa de calidad para obtener especificaciones técnicas de la máquina. Después se emplea herramientas de modelado y diseño computacional para obtener un diseño conceptual de todos los elementos correspondientes al componente B y así poder presentar varias soluciones para los componentes que así lo requieran, a continuación, se seleccionará las mejores alternativas para los módulos con la metodología de criterios ponderados. Finalmente se diseña cada componente y se realiza la selección de los elementos normalizados, así se presentará planos de ensamblaje, sub-ensamblaje y de taller del componente B.

Para la fabricación se empleará los planos obtenidos en el diseño, el proceso de fabricación de los elementos del componente B se realizará en máquinas CNC y máquinas de operación convencional, posteriormente se ensamblarán los componentes para realizar pruebas y verificar el correcto funcionamiento de la máquina despulpadora.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Producción de frutas en el Ecuador

El Ecuador es un país reconocido por tener una flora abundante y diversa, gracias a que nuestro país posee cuatro regiones diferentes; costa, sierra, oriente e insular podemos encontrar una gran diversidad de frutas. A continuación, se presenta una clasificación de frutas tomando la cuenta la región donde crecen. [1]

Tabla 1. Frutas del Ecuador según su región.
Fuente: Propia.

Frutas del Ecuador		
Costa	Sierra	Oriente
<ul style="list-style-type: none">• Naranja• Piña• Banano• Mandarina• Papaya• Sandía	<ul style="list-style-type: none">• Claudia• Mora• Kiwi• Manzana• Frutilla• Tomate de árbol	<ul style="list-style-type: none">• Borojón• Pitahaya• Arazá• Guayaba fresa• Bacaba• Cocona

<ul style="list-style-type: none"> • Toronja • Coco • Maracuyá • Granadilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Guanábana • Durazno • Babaco 	
---	--	--

1.4.2 Pulpa de fruta.

La pulpa de la fruta se obtiene de la separación manual o industrial de la cáscara y pepas de la fruta, a la pulpa también se le conoce como la “carne de la fruta” debido a que aquí se encuentra concentrada la mayoría de fibra, vitaminas y nutrientes. La pulpa se obtiene a partir de frutas maduras y frescas, así se garantiza la calidad en la pulpa. [2]

A continuación, se presenta algunos de los beneficios de la obtención y el consumo de la pulpa.

- a) No se desperdicia la fruta debido a que se separa las semillas de la cáscara por lo tanto todo el alimento se aprovecha.
- b) Se puede mantener la pulpa de la fruta congelada hasta por un año manteniendo casi intacta su carga de vitaminas.
- c) Una vez sea congelada la pulpa se puede tener la disponibilidad durante todo el año, así no importa si es temporada o no de ciertas frutas.
- d) Las pulpas de frutas brindan una diversidad de presentaciones posibles como: batidos, jugos, mermeladas, postres, cocteles, etc.
- e) La pulpa se puede conservar durante mucho más tiempo en comparación de una fruta fresca.

1.4.3 Diámetro de las pepas de varias frutas.

Debido a que la máquina despulpadora es universal, debe ser capaz de despulpar una gran cantidad de frutas del mercado, por lo tanto, es importante conocer los diferentes diámetros de pepas.

En la tabla 1 se muestran resultados empíricos de diferentes diámetros de pepas.

Tabla 2 Diámetros para pepas de distintas frutas.
Fuente: [3]

FRUTAS	$\phi 1$	$\phi 2$	$\phi 3$	$\phi 4$	$\phi 5$	Diámetro promedio [mm]
Durazno	16.27	16.05	15.99	16.12	15.95	16.07
Pera	1.1	1	1.1	1	1.2	1.08
Naranjilla	1	1.1	1	1.3	1	1.08
Manzana	2.69	2.86	2.99	2.55	2.38	2.69
Tomate de árbol	1.5	1.21	1.38	1.25	1.10	1.28
Naranja	5.1	5.1	5.39	4.33	4.89	4.85
Maracuyá	2.37	2.34	2.39	2.4	2.36	2.37
Limón pequeño	4.47	4.48	4.49	4.42	4.25	4.42
Guanábana	13.5	11	10	8	6	9.7

1.4.4 La Guanábana como fruta de estudio

Como se revisó, el Ecuador tiene varias frutas de las cuales se puede extraer y aprovechar su pulpa, sin embargo, se considera importante centrar la atención en una fruta para realizar el desarrollo del presente trabajo, por este motivo se tomará como referencia a la guanábana ya que es una fruta con pepas duras con diámetros relativamente más grandes que las demás frutas.

Se adquirió 2 guanábanas con un tamaño promedio como se muestra en la figura 1 para realizar pruebas experimentales, en primer lugar, se pesó cada una para tener el peso neto de las frutas como se puede ver en la figura 2. Después se retiró la cascara para de igual manera pesarla como se muestra en la figura 3, una vez pelada la fruta se despulpó (separar la pulpa de las pepas) para tomar el peso de la pulpa de la fruta y el peso de las

pepas como se muestra en la figura 4 y 5 respectivamente. Estos pasos se siguieron también para el segundo espécimen.



Figura 1. Guanábanas antes del pesaje. Fuente: Propia



Figura 2. Especimen 1 siendo pesado. Fuente: Propia



Figura 3. Cáscara del espécimen 1 siendo pesada. Fuente: Propia



Figura 4. Pepas del espécimen 1 siendo pesadas. Fuente: Propia



Figura 5. Pulpa del espécimen 1 siendo pesada. Fuente: Propia

A continuación, en la tabla 3, 4 y 5 se mostrará varios datos experimentales sobre la guanábana como peso y medidas de las pepas. Es necesario mencionar que, para la toma de medidas de las pepas, se escogieron 20 muestras aleatoriamente de los 2 especímenes estudiados, en la figura 6 se puede observar un ejemplo de la medición las cuales fueron hechas con un calibrador vernier.



Figura 6. Medición del ancho y largo de una pepa de guanábana. Fuente: Propia.

Tabla 3. Caracterización de las pepas de guanábana. Fuente: Propia

Dimensiones de las pepas de guanábana		
Muestra	Largo [mm]	Ancho [mm]
1	15,50	9,80
2	16,00	10,00
3	17,70	9,10
4	15,60	10,10
5	15,00	9,20
6	15,60	9,43
7	16,00	9,35
8	16,40	9,45
9	10,30	8,40
10	15,00	9,60
11	15,65	9,00
12	14,75	9,20
13	16,90	9,10
14	14,70	9,85
15	16,00	8,90
16	15,30	10,00
17	16,30	9,70
18	16,00	8,90
19	10,75	7,30
20	16,00	9,50

Tabla 4. Análisis de datos de la tabla 3 correspondiente a las medias de las pepas de guanábana. Fuente: Propia

Análisis de datos	
Largo máximo	17,70 [mm]
Largo mínimo	10,30 [mm]
Ancho máximo	10,10 [mm]
Ancho mínimo	7,30 [mm]
Promedio largo	15,27 [mm]
Promedio ancho	9,29 [mm]

Tabla 5 Caracterización de la guanábana. Fuente: Propia

Caracterización de la guanábana			
	Espécimen 1	Espécimen 2	Unidades
Peso neto	2474	2394	[gr]
Peso de la cáscara	254	233	[gr]
Peso de las pepas	214	166	[gr]
Peso de la pulpa	1910	1887	[gr]
Rendimiento	77,20	78,82	%

1.4.5 Acero inoxidable AISI 304.

El acero inoxidable es un tipo de acero aleado con cromo y níquel en porcentajes que van desde los 18%, 8% hasta los 20%, 10.5% respectivamente. Este material tiene una gran resistencia a la corrosión por lo que es ampliamente usado en la industria de equipos para el sector alimenticio [4], por esta razón el acero inoxidable AISI 304 será el material escogido para la elaboración de la mayoría de los elementos que comprenden el componente B. En el Anexo 1 se muestra la ficha técnica del Acero inoxidable AISI 304.

1.4.6 Benchmarking

El benchmarking tiene como objetivo tomar un punto de referencia para el diseño de la máquina despulpadora partiendo de la búsqueda y comparación de máquinas similares existentes en el mercado nacional o internacional, de esta forma se aprende de la experiencia de los demás para innovar y mejorar el diseño de la máquina.

1.4.7 La máquina despulpadora de frutas.

La máquina despulpadora nos permite aprovechar la pulpa de fruta mediante el proceso de separación entre la cáscara, las pepas y la pulpa de esta. El principio de funcionamiento de ésta máquina es tener un rotor dentro de su carcasa el cual gira a ciertas RPM y produce una aceleración centrífuga de la fruta, esta a su vez impacta con un tamiz con perforaciones específicas para cada fruta con la finalidad de dejar pasar los jugos y la pulpa mientras que las pepas se quedan dentro de la cámara de despulpado para posteriormente ser evacuadas por un ducto. [5]

1.4.8 Tipos de despulpadoras en el mercado.

En el Ecuador la empresa Easy Empack ubicada en Guayaquil, ofrece dos tipos de máquinas despulpadoras horizontales las cuales se pueden encontrar en su sitio web. Ofrecen una capacidad de despulpar una amplia gama de frutos como: Mora, naranjilla, taxo, fresa, frutilla, guayaba, tomate de árbol, piña troceada, maracuyá (sin cáscara), mango, tamarindo, etc...

A continuación, se presentará los modelos con sus respectivas fichas técnicas.

- Ficha técnica del modelo J200:
 - Voltaje: 220v/60hz.
 - Fuerza del motor: 2HP.

- Dimensiones: 800mm largo, 400mm ancho, 1150mm alto.
- Dimensión de tamiz: diámetro 160mm, alto 245mm.
- Perforación de tamiz: 1mm.
- Material: acero inoxidable
- Recomendable para despulpar: maracuyá, granadilla. naranjilla, mora.
- Sistema abatible en acero inoxidable de fácil limpieza.



Figura 7. Maquina despulpadora modelo J200. Fuente: [6]

- Ficha técnica del modelo A 150:
 - Voltaje: 220v/60hz.
 - Fuerza del motor: 1.5HP.
 - Dimensiones: 800mm largo, 400mm ancho, 1150mm alto.
 - Dimensión de tamiz: diámetro 160mm, alto 245mm.
 - Perforación de tamiz: 1mm.
 - Material: acero inoxidable
 - Recomendable para despulpar: maracuyá, granadilla. naranjilla, mora.

- Sistema abatible en acero inoxidable de fácil limpieza.



Figura 8. Maquina despulpadora modelo A 150. Fuente: [6]

En el ámbito internacional se puede mencionar a Talleres Prados ubicado en Sevilla-España, esta empresa se dedica al diseño y construcción de máquinas despulpadoras de fruta con alta eficiencia lo que desemboca en una alta tasa de aprovechamiento de la fruta con un mínimo de desperdicios, ofrecen varios modelos que van desde el uso profesional con producciones que van desde los 2000kg/h hasta máquinas más pequeñas con una producción de 50kg/h [7], esta última es de especial interés para el desarrollo de nuestro trabajo debido a que el enfoque de diseño es de una máquina pequeña, esto se estudiará más a detalle adelante. A continuación, se mostrará imágenes referenciales de las despulpadoras elaboradas por talleres prado junto con sus especificaciones técnicas.

- Ficha técnica del modelo SPH 7.0
 - Producción 2000 KG/Hora
 - Tamaño fruta a procesar: 168 mm
 - Potencia 7.5 CV
 - Motor Trifásico
 - Rotor de 6 palas intercambiables
 - Criba de 300x500 mm de fácil extracción y limpieza y perforación a elegir.
 - Bandeja alimentación desmontable.

- Material: Acero Inoxidable AISI 304L
- Ruedas para desplazamiento.
- Silemblok para nivelación antivibración.
- Cuadro maniobra con variador velocidad
- Peso 220 kg



Figura 9. Maquina despulpadora modelo SPH 7.0. Fuente: [7]

- Ficha técnica del modelo SPH 3.0
 - Producción 500 KG/Hora
 - Tamaño fruta a procesar: 129 mm
 - Potencia 3 CV
 - Motor Trifásico
 - Rotor de 4 palas intercambiables
 - Criba de 168 mm de fácil extracción y limpieza y perforación a elegir.
 - Bandeja alimentación desmontable.

- Material: Acero Inoxidable AISI 304L
- Ruedas para desplazamiento.
- Silemblok para nivelación antivibración.
- Cuadro maniobra con variador velocidad
- Peso 150 kg



Figura 10. Maquina despulpadora modelo SPH 3.0. Fuente: [7]

- Ficha técnica del modelo SPH 1
 - Motor 1CV Trifásico.
 - Producción: 50 Kg/Hora.
 - Tamaño fruta a procesar: 90 mm
 - Rotor de 4 palas intercambiables.
 - Criba de 168 mm de fácil extracción y limpieza y perforación a elegir.
 - Material: Acero Inoxidable AISI 304L
 - Ruedas para desplazamiento.

- Silemblok para nivelación antivibración.
- Cuadro de maniobra.
- Peso 70 kg
- Largo 1000 mm, ancho 500mm y alto 1000mm

Funcionamiento de la SPH 1

- a. La fruta se introduce a través de la tolva de carga después de ser limpiada.
- b. Posteriormente el producto en una segunda etapa pasa por unas paletas ajustadas al tamiz, que se encargan de filtrar la pulpa.
- c. La pepas, cáscaras y vástagos son expulsadas por la parte delantera de la despulpadora.
- d. La pulpa después de ser filtrada por el tamiz se descarga por la tolva central.
- e. Fácil instalación y limpieza, con mínimo mantenimiento.



Figura 11. Maquina despulpadora modelo SPH 1. Fuente: [7]

2 METODOLOGÍA

La palabra método proviene del término en latín métodos, y este a su vez nace de las palabras griegas meta (μετα) que significa más allá y hodos (ὁδός) que significa vía, por lo cual, podemos concluir que el significado de método es el camino que se debe seguir para llegar a un fin. [8]

El presente trabajo se fundamenta en una investigación científica, este tipo de investigación tiene como objetivo aprobar una hipótesis previamente establecida mediante experimentación matemática y como su palabra lo dice también se aplica experimentación, ya sea con modelos físicos o a su vez, como veremos más adelante, ocupando herramientas de simulación computacional.

Para tener una metodología clara, este trabajo seguirá la línea del diseño concurrente propuesta por Carles Riba el cual menciona en su libro “Diseño Concurrente”, esto tiene que ver con la nueva perspectiva que el ingeniero debe tener en cuenta en el momento que decida elaborar una máquina, todo esto se apoya en nuevas herramientas basadas en las tecnologías como CAD, CAM, CAE, etc. Para tener más claro este proceso en la figura 12 se muestra un diagrama de flujo con los pasos a seguir para llegar a materializar la máquina despulpadora de frutas.

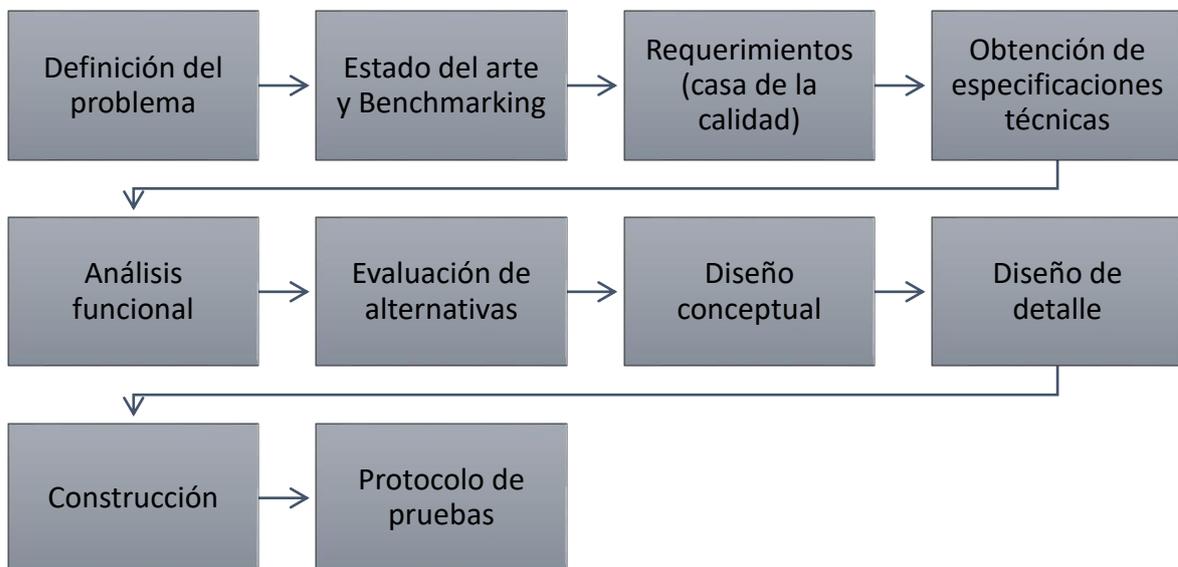


Figura 12. Metodología a seguir para la construcción de la máquina despulpadora de frutas. Fuente: Propia

2.1 La casa de la calidad

Según Carles Riba en su libro Diseño Concurrente, “la matriz casa de la calidad traduce las demandas de los usuarios (voz del cliente) en requerimientos técnicos del producto (voz del ingeniero). [9]

2.1.1 Voz del usuario.

La voz del usuario recoge todas las necesidades y requerimientos que la máquina despulpadora de fruta debe cumplir para que tenga un funcionamiento satisfactorio para el usuario, conocida esta premisa, todos los datos que se enlistarán a continuación se obtuvieron mediante una conversación directa con el Ing. Marco Carrión quien es el principal financista y propietario final de la máquina.

- Una máquina que se pueda limpiar fácilmente.
- Que el precio final de la máquina no sea tan elevado (presupuesto de aprox \$2000).
- Que la producción de pulpa se ajuste a la capacidad de un motor de 1 HP.
- Que los elementos de la máquina sujetos a desgaste por el uso sean reemplazables fácilmente.
- Posibilidad de usar la máquina para distintas frutas.
- Una máquina silenciosa.
- De fácil accionamiento.
- Alto rendimiento para separar la pulpa de la pepa.
- Que tenga la capacidad de ser modular

2.1.2 Voz del ingeniero.

Una vez se conoce todas las necesidades y requerimientos del usuario es labor del ingeniero transformar todo en requerimientos técnicos con la capacidad de ser medibles, es así como se llega a las siguientes características técnicas:

- Modularidad.
- Peso.

- Optimización en la capacidad de despulpado.
- Mantenimiento.
- Practicidad.
- Volumen.
- Costo.

2.1.3 Análisis de la competencia.

Es importante considerar la oferta que se encuentra en el mercado, los principales fabricantes de máquinas desulpadoras se encuentran en el mercado internacional, esto brinda una ventaja para el diseño y construcción nacional de la máquina, sin embargo, debemos considerar uno o varios fabricantes que tengan un producto con similares características a lo que estamos buscando diseñar, es así como se eligió a los siguientes fabricantes:

- Talleres Prado con su modelo SPH 1 y 2 (motores de 1 Hp como vimos en la figura 11)
- Brown internacional Companys.
- JBT Corporation.
- Vulcano TEC.
- Machines HG.

Una vez tenemos definido toda la información con respecto a la voz del usuario, voz del ingeniero y el análisis de la competencia, se procede armar la matriz casa de la calidad donde se realiza una comparación y ponderación a cada una de las consideraciones echas para el desarrollo de la máquina desulpadora. En la figura 13 podemos observar la matriz casa de la calidad.

Compromisos técnicos	
Muy positivo	●
Positivo	○
Negativo	◆
Muy negativo	⊗
Correlaciones	
Fuerte	●
Mediana	○
Baja	▽
Tipo de demanda	
Básico	B
Unidimensional	O
Estimulante	E

CASA DE LA CALIDAD "DESPULPadora"

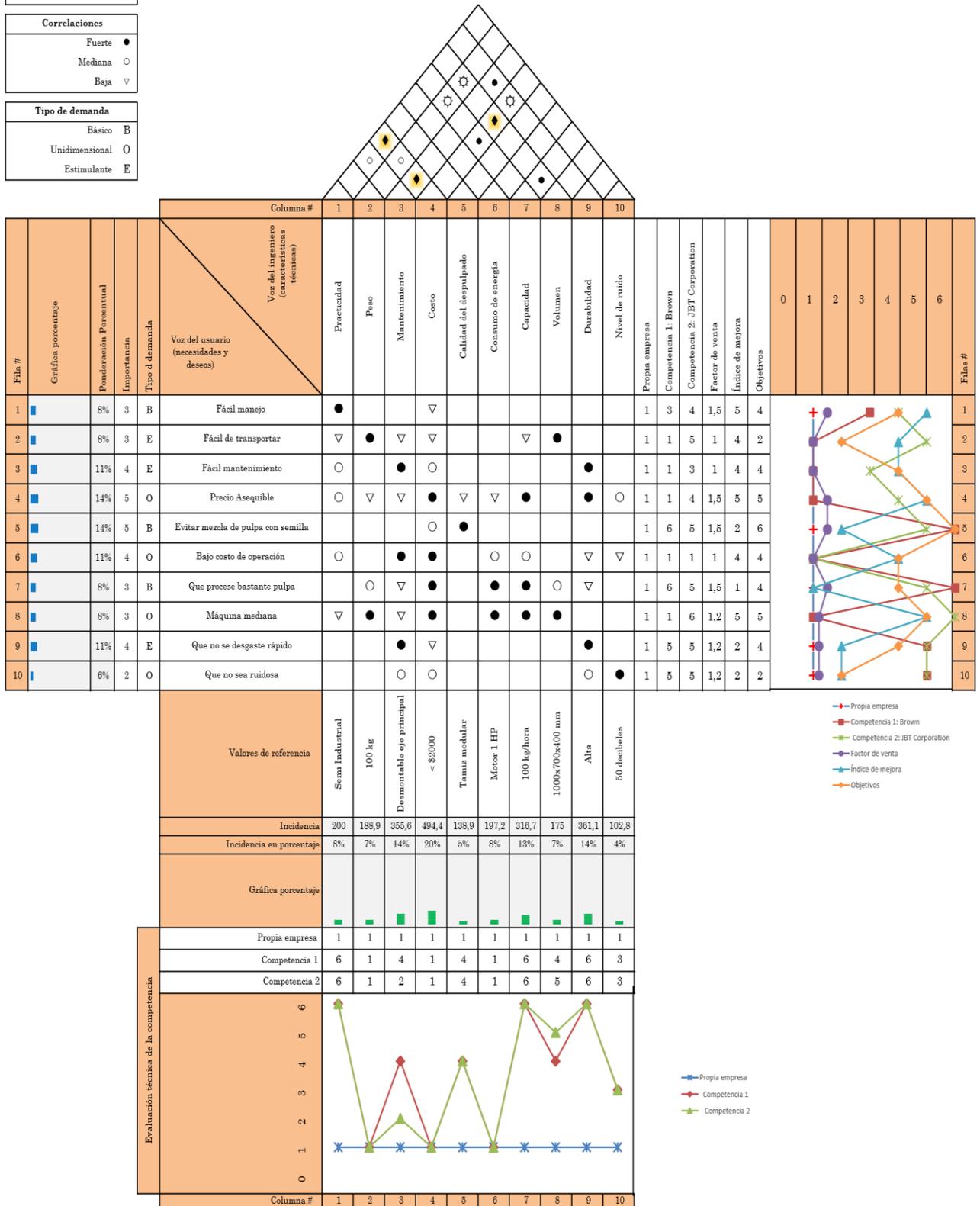


Figura 13. Casa de la calidad para la máquina despulpadora de fruta

2.1.4 Conclusiones de la casa de la calidad

Una vez se estudió la casa de la calidad se puede llegar a las siguientes conclusiones.

- La máquina se adaptará y diseñará a la potencia del motor de 1 Hp, en base al estudio realizado previamente de las máquinas despulpadoras en el mercado que cuentan con un motor de potencia similar y que tienen una capacidad de despulpado en rango de los 25 hasta los 50 kg/h.
- La máquina debe tener un diseño modular que nos permite desmontar la mayoría de sus piezas para facilitar la limpieza y también ajustar la máquina a las características de las diferentes frutas como tamaño de las pepas, jugosidad, calidad de pulpa, etc.
- El material que se debe usar en la fabricación de la máquina despulpadora será acero inoxidable AISI 304 en todas las piezas que tengan contacto directo con el alimento, mientras que otras partes como la bancada se utilizará acero A-36 para economizar y apegarnos al presupuesto otorgado.
- La máquina debe tener las protecciones necesarias para que el operador tenga el mínimo riesgo de accidentes al momento de utilizarla.

2.2 Especificaciones técnicas.

La casa de la calidad arroja conclusiones técnicas acerca de los requerimientos y deseos iniciales por parte del cliente, estas conclusiones se ordenan a continuación en la tabla 6 de una forma sencilla de tal forma que se muestre una meta clara a la cual llegar para empezar a construir el camino mediante el análisis de diferentes soluciones de diseño para satisfacer las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la máquina despulpadora. Fuente: Propia

Empresa: EPN-FIM	Producto: Máquina despulpadora de frutas	Fecha inicio:	20/4/2022
Diseñadores: Andrés Guevara / Stalyn Romero / Alejandro Chávez		Última revisión:	9/2/2023
Página 1			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Concepto	Propone	R/D	Descripción

Función	C	R	Separar la pulpa y las pepas de las frutas
Fabricación	C+I	D	Modularidad en sus piezas
Energía	C	R	Motor eléctrico de 1 HP trifásico
Materiales	C+I	R/D	Acero inoxidable AISI 304, acero A-36
Capacidad	I	D	Se estima despulpar una cantidad de 50 kg/h
Dimensiones	I	D	1,5 [m] de largo x 1 [m] de alto x 60 [cm] de ancho
Movimientos	I	D	Movimiento giratorio inducido por poleas
Mantenimiento	C+I	R	Desmontable las piezas motrices
Costes y plazo	C+I	D	\$2000 de presupuesto, construida en 1 año
Seguridad y ergonomía	C+I	R	Protecciones para piezas móviles y zona eléctrica
Propone: I=Ingeniero, C=Cliente			
R/D: R=Requerimiento, D=Deseo,			

2.3 Análisis funcional.

El camino al diseño empieza por poner en claro cuál es el principio de funcionamiento de la máquina despulpadora de frutas, para esto es necesario analizar los factores que influyen en cada etapa del proceso de despulpado. De una forma sencilla podemos decir que la máquina cuenta con cuatro procesos importantes en su funcionamiento:

1. Admisión y dosificación de la fruta.
2. Proceso de ablandamiento entre la pulpa y las pepas.
3. Tamizado de la pulpa y separación de las pepas.
4. Expulsión de las pepas y almacenamiento de la pulpa.

A continuación, se desarrollará los diagramas funcionales empezando por el nivel cero que muestra el funcionamiento global de la máquina despulpadora.



Figura 14. Nivel funcional 0 de la máquina despulpadora de fruta. Fuente: Propia

El diagrama funcional que se muestra en la figura 15 corresponde al nivel dos de la máquina despulpadora, aquí se desglosa las funciones principales de la máquina despulpadora como se revisó anteriormente.

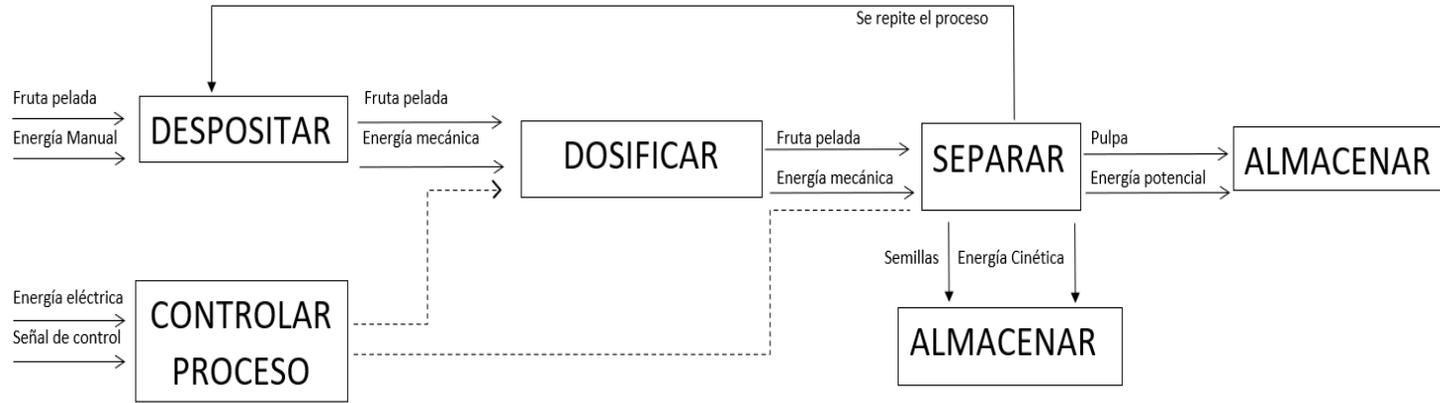


Figura 15. Nivel funcional 1 de la máquina despulpadora de fruta. Fuente: Propia

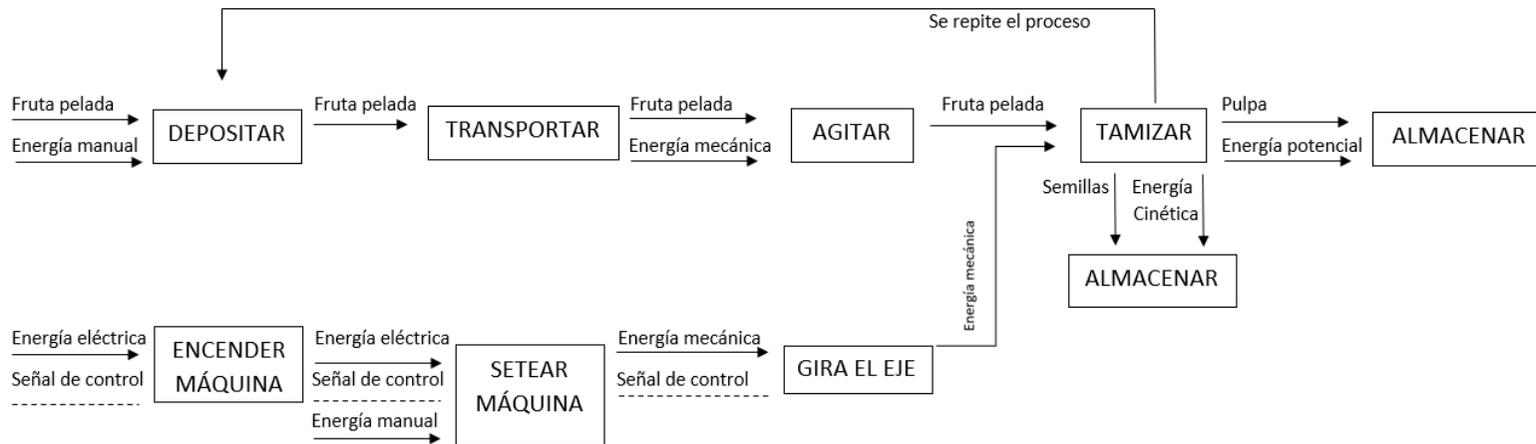


Figura 16. Nivel funcional 2 de la máquina despulpadora de fruta. Fuente: Propia

Dado a que el funcionamiento de la máquina tiene un principio sencillo solo se alcanza hasta el nivel 2 en los diagramas funcionales tal como se puede ver en la figura 16.

2.3.1 Modularidad

El presente documento pretende enfatizar en el diseño y construcción de los componentes que corresponden al componente B, dicho esto, es necesario indicar el módulo en el que nos centraremos para el estudio. El componente B se encargará de diseño y construcción del sistema de dosificación de la pulpa, el ablandamiento de la pulpa, el tamizaje de la pulpa y la separación de las pepas. En la figura 17 se muestra más a detalle el módulo a estudiar en función de las piezas del componente B.

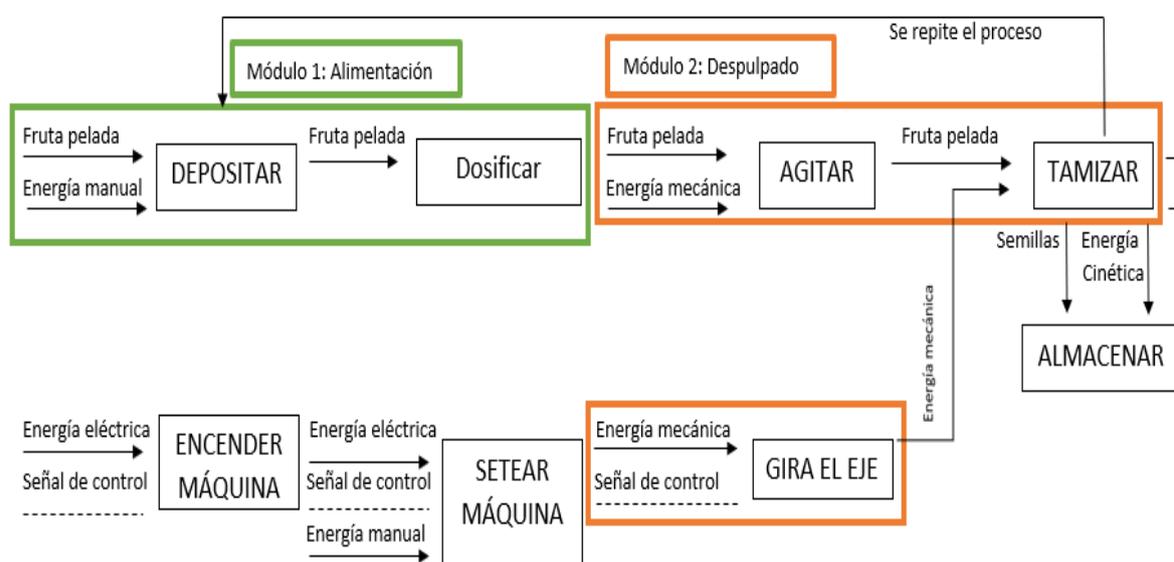


Figura 17. Módulos por estudiar en función del componente B de la máquina despulpadora de frutas. Fuente: Propia.

2.4 Evaluación y selección de alternativas

Para el módulo 1 y 2 mostrados en la figura 17 se presentarán varias alternativas de solución para cumplir la funcionalidad de una manera eficiente y optimizada, las alternativas serán evaluadas por medio de un sistema de criterios ponderados y finalmente elegir la mejor alternativa en cada caso. El componente B, el cual se está desarrollando en el presente documento, adopta el diseño y fabricación de varios componentes del módulo 1 y 2, a continuación, se presenta la tabla 7 donde se muestra el detalle de los módulos y componentes a desarrollar.

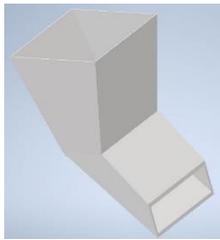
Tabla 7. Módulos para desarrollar en función del componente B. Fuente: Propia

Modularidad	Detalle del módulo	Piezas por módulo
1. Alimentación	Este módulo desarrolla el sistema de alimentación de pulpa a la máquina y también la dosificación de esta hacia la cámara de despulpado	<ul style="list-style-type: none"> Eje conducido
2. Despulpado	Este módulo desarrolla el sistema de despulpado de la fruta, aquí se produce la separación de la pulpa y de la pepa	<ul style="list-style-type: none"> Pared izquierda y derecha de la cámara de despulpado. Tamiz Palas Agitador Eje conducido Soporte del agitador.

2.4.1 Módulo 1. Alimentación.

La alimentación de fruta a la máquina es de los primeros procesos que se debe seguir para empezar con el proceso de despulpado, esta acción de colocar la fruta en la máquina puede darse de varias formas, todas las alternativas tomadas en cuenta para cumplir el objetivo de alimentar a la máquina de fruta se detallan a continuación en la tabla 8.

Tabla 8. Alternativas para módulo 1 correspondiente a la alimentación de fruta. Fuente: Propia

Soluciones	Ventajas	Desventajas	Ilustración referencial
Transportador helicoidal	<ul style="list-style-type: none"> Dosificación controlada de la fruta Fácil limpieza Menor peso 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de potencia Riesgo de atrapamiento Desgaste a lo largo del tiempo 	
Alimentación por gravedad	<ul style="list-style-type: none"> Fácil fabricación Fácil limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> No requiere consumo de potencia Dosificación no homogénea Salpicaduras Puede trabar la máquina 	

2.4.2 Evaluación del módulo 1.

Una vez realizado el despliegue de alternativas es necesario realizar una evaluación de estas para una posterior toma de decisiones. Antes de hacer la evaluación debe estar presente los criterios en los que basaremos la comparación entre las distintas alternativas.

Los criterios en los que nos basaremos para realizar la evaluación serán:

- Precio: La construcción y materiales deben ser optimizados de tal manera que el precio final de la pieza no sea elevado.
- Mantenimiento: Las piezas o sistemas deben ser fácilmente reemplazados en caso de que haya desgaste y también debe ser de fácil limpieza.
- Funcionalidad: La pieza debe cumplir el objetivo para cual fue diseñada de una manera eficaz y eficiente.

En el presente documento utilizaremos el método ordinal corregido por criterios ponderados propuesto en el libro de diseño concurrente de Carles Riba, este método se basa en la elaboración de una tabla donde cada criterio se confronta con los restantes y se asignan los siguientes valores [9]:

- 1: si el criterio de la fila es superior que el de las columnas.
- 0,5: si el criterio de la fila es igual al de las columnas.
- 0: si el criterio de la fila es inferior al de las columnas.

Tabla 9. Evaluación por criterios ponderados. Fuente: Propia.

Precio > Mantenimiento = Funcionalidad					
Criterio	Precio	Mantenimiento	Funcionalidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Precio		1	1	3	0,50
Mantenimiento	0		0,5	1,5	0,25
Funcionalidad	0	0,5		1,5	0,25
			suma	6	1,00

Empezaremos por evaluar el criterio "precio" como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Evaluación respecto al precio. Fuente: Propia.

Transportador helicoidal > Alimentación por gravedad				
Precio	Transportador Helicoidal	Alimentación por gravedad	$\Sigma+1$	Ponderación
Transportador helicoidal		1	2	0,67
Alimentación por gravedad	0		1	0,33
		suma	3	1

Evaluación del criterio “mantenimiento” como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Evaluación respecto al mantenimiento. Fuente: Propia.

Transportador helicoidal > Alimentación por gravedad				
Mantenimiento	Transportador Helicoidal	Alimentación por gravedad	$\Sigma+1$	Ponderación
Transportador helicoidal		0,5	1,5	0,50
Alimentación por gravedad	0,5		1,5	0,50
		suma	3	1

Evaluación del criterio “funcionalidad” como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Evaluación respecto a la funcionalidad. Fuente: Propia.

Transportador helicoidal > Alimentación por gravedad				
Funcionalidad	Transportador Helicoidal	Alimentación por gravedad	$\Sigma+1$	Ponderación
Transportador helicoidal		1	2	0,67
Alimentación por gravedad	0		1	0,33
		suma	3	1

Tabla de conclusiones:

Tabla 13. Conclusiones del módulo 1. Fuente: Propia.

Conclusiones	Precio	Mantenimiento	Funcionalidad	Σ	Prioridad
Transportador helicoidal	0,33	0,13	0,17	0,63	1
Alimentación por gravedad	0,17	0,13	0,08	0,38	2

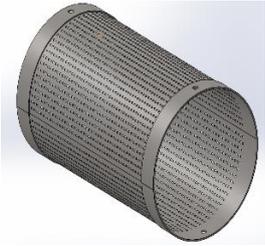
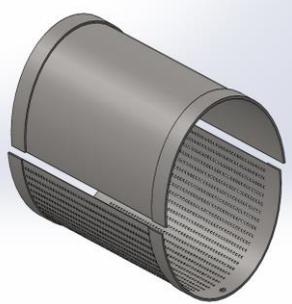
En la tabla 13 podemos ver como la mejor alternativa para el módulo 1 es el transportador helicoidal.

2.4.3 Modulo 2. Despulpado.

Para el módulo 2 denominado despulpado, se tomará en cuenta varias piezas importantes para analizar sus posibles soluciones, por lo tanto, se creará tablas comparativas para las piezas: Tamiz, palas y agitador.

2.4.4 Tamiz

Tabla 14. Alternativas para el tamiz correspondiente al módulo del despulpado. Fuente: Propia

Soluciones	Ventajas	Desventajas	Ilustración referencial
Tamiz rígido tipo tambor	<ul style="list-style-type: none"> • Mejores tolerancias • Fácil fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil extracción • Para un solo tipo de fruta • Difícil limpieza 	
Tamiz modular tipo tambor	<ul style="list-style-type: none"> • Modularidad para usar con distintas frutas • Fácil limpieza • Fácil extracción 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor dificultad para la fabricación • Posibles fugas de producto • Salpicaduras 	

2.4.5 Evaluación de las alternativas del tamiz

Los criterios para la evaluación se mantendrán en precio, mantenimiento y funcionalidad, y también los coeficientes utilizados anteriormente para elaborar la tabla de comparación como se evidenció en la tabla 9.

Por lo tanto, iniciaremos con la evaluación del criterio “precio” como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Evaluación de las alternativas del tamiz respecto al precio. Fuente: Propia.

Tamiz rígido = Tamiz modular				
Precio	Tamiz rígido	Tamiz modular	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamiz rígido		0,5	1,5	0,50
Tamiz modular	0,5		1,5	0,50
		suma	3	1

Evaluación del criterio “mantenimiento” para el tamiz como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Evaluación de las alternativas del tamiz respecto al mantenimiento. Fuente: Propia.

Tamiz rígido = Tamiz modular				
Mantenimiento	Tamiz rígido	Tamiz modular	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamiz rígido		0,5	1,5	0,50
Tamiz modular	0,5		1,5	0,50
		suma	3	1

Evaluación del criterio “funcionalidad” para el tamiz como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Evaluación de las alternativas del tamiz respecto a la funcionalidad. Fuente: Propia.

Tamiz modular > Tamiz rígido				
Funcionalidad	Tamiz rígido	Tamiz modular	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamiz rígido		0	1	0,33
Tamiz modular	1		2	0,67
		suma	3	1

Tabla de conclusiones del tamiz:

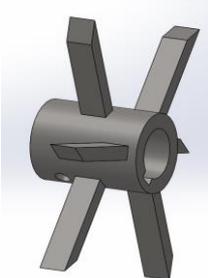
Tabla 18. Conclusiones para el tamiz. Fuente: Propia.

Conclusiones	Precio	Mantenimiento	Funcionalidad	Σ	Prioridad
Tamiz rígido	0,25	0,13	0,08	0,46	2
Tamiz modular	0,25	0,13	0,17	0,54	1

En la tabla 18 podemos ver como la mejor alternativa es el tamiz modular.

2.4.6 Palas

Tabla 19. Alternativas para las palas correspondiente al módulo del despulpado. Fuente: Propia

Soluciones	Ventajas	Desventajas	Ilustración referencial
Palas Rectangulares	<ul style="list-style-type: none"> Fácil fabricación Fácil limpieza Fácil mantenimiento en caso de ruptura Bajo precio de fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de potencia 	
Palas tipo aleta	<ul style="list-style-type: none"> Menor potencia requerida Mejor estética 	<ul style="list-style-type: none"> Posible trituración de la pepa Difícil de maquinar Mayor precio de fabricación 	

2.4.7 Evaluación de las alternativas de las palas.

Los criterios para la evaluación se mantendrán en precio, mantenimiento y funcionalidad, y también los coeficientes utilizados anteriormente para elaborar la tabla de comparación como se evidenció en la tabla 9.

Evaluación del criterio “precio” para las palas como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Evaluación de las alternativas de las palas respecto al precio. Fuente: Propia.

Palas rectangulares > Palas tipo aleta				
Precio	Palas rectangulares	Palas tipo aleta	$\Sigma+1$	Ponderación
Palas rectangulares		1	2	0,67
Palas tipo aleta	0		1	0,33
		suma	3	1

Evaluación del criterio “mantenimiento” para las palas como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Evaluación de las alternativas de las palas respecto al mantenimiento. Fuente: Propia.

Palas rectangulares > Palas tipo aleta				
Mantenimiento	Palas rectangulares	Palas tipo aleta	$\Sigma+1$	Ponderación
Palas rectangulares		1	2	0,67
Palas tipo aleta	0		1	0,33
		suma	3	1

Evaluación del criterio “funcionalidad” para las palas como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Evaluación de las alternativas de las palas respecto a la funcionalidad. Fuente: Propia.

Palas rectangulares = Palas tipo aleta				
Funcionalidad	Palas rectangulares	Palas tipo aleta	$\Sigma+1$	Ponderación
Palas rectangulares		0,5	1,5	0,50
Palas tipo aleta	0,5		1,5	0,50
		suma	3	1

Tabla de conclusiones de las palas:

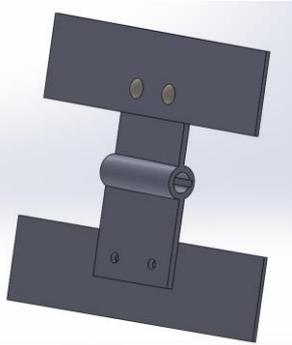
Tabla 23. Conclusiones para las palas. Fuente: Propia

Conclusiones	Precio	Mantenimiento	Funcionalidad	Σ	Prioridad
Palas rectangulares	0,33	0,17	0,13	0,63	1
Palas tipo aleta	0,17	0,08	0,13	0,38	2

En la tabla 23 podemos ver como la mejor alternativa es el tamiz modular.

2.4.8 Agitador

Tabla 24. Alternativas para los agitadores correspondiente al módulo del despulpado. Fuente: Propia

Soluciones	Ventajas	Desventajas	Ilustración referencial
Agitador parcial con 2 apoyos	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor estabilidad con altas RPM • Fácil fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor peso • Mayor requerimiento de potencia • Poco eficiente • Mayor precio de fabricación • No se puede regular 	
Agitador completo con apoyo simple	<ul style="list-style-type: none"> • Menor peso • Menor potencia requerida • Optimización de trabajo • Mayor área • Posibilidad de regulación • Fácil fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible desbalanceo a altas RPM • difícil de maquinar • Mayor precio de fabricación 	

2.4.9 Evaluación de las alternativas para los agitadores.

Los criterios para la evaluación se mantendrán en precio, mantenimiento y funcionalidad, y también los coeficientes utilizados anteriormente para elaborar la tabla de comparación como se evidenció en la tabla 9.

Evaluación del criterio “precio” para los agitadores como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Evaluación de las alternativas de los agitadores respecto al precio. Fuente: Propia.

Agitador completo > Agitador parcial				
Precio	Agitador completo	Agitador parcial	$\Sigma+1$	Ponderación
Agitador completo		1	2	0,67
Agitador parcial	0		1	0,33
		suma	3	1

Evaluación del criterio “mantenimiento” para los agitadores como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Evaluación de las alternativas de los agitadores respecto al mantenimiento. Fuente: Propia

Agitador completo > Agitador parcial				
Mantenimiento	Agitador completo	Agitador parcial	$\Sigma+1$	Ponderación
Agitador completo		1	2	0,67
Agitador parcial	0		1	0,33
		Suma	3	1

Evaluación del criterio “funcionalidad” para los agitadores como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Evaluación de las alternativas de los agitadores respecto a la funcionalidad. Fuente: Propia

Agitador parcial = Agitador completo				
Funcionalidad	Agitador completo	Agitador parcial	$\Sigma+1$	Ponderación
Agitador completo		0,5	1,5	0,50
Agitador parcial	0,5		1,5	0,50
		suma	3	1

Tabla de conclusiones para los agitadores.

Tabla 28. Conclusiones para los agitadores. Fuente: Propia

Conclusiones	Precio	Mantenimiento	Funcionalidad	Σ	Prioridad
Agitador parcial	0,33	0,17	0,13	0,63	1
Agitador completo	0,17	0,08	0,13	0,38	2

En la tabla 28 se muestra que la mejor opción es los agitadores completos.

2.5 Matriz morfológica

En la tabla 29 se muestra la ruta de diseño trazada mediante los resultados de las alternativas a los diferentes módulos correspondientes al componente B.

Tabla 29. Matriz morfológica para los elementos del componente B. Fuente: Propia

Módulo	Alternativas de diseño	
1. Alimentación	Transportador helicoidal	Alimentación por gravedad
2. Despulpado	Tamiz rígido	Tamiz modular
	Palas rectangulares	Palas tipo aleta
	Agitador parcial	Agitador completo

Capacidad del transportador.

El volumen de transporte que nos brinda el transportador helicoidal se puede ver en la figura tomada del catálogo de Martín, como se observa, tenemos una capacidad de transporte de 114 pies cúbicos por hora con un 45 % de capacidad en la tolva de arrastre y a máximas RPM.

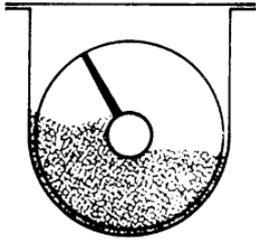
Carga de Artesa	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM	
		A 1 RPM	A Máx. RPM		
45%		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
		30	323.00	29070	90
		36	553.20	4142	75

Figura 19. Volumen de transporte de pulpa. Fuente: [10]

Para obtener el peso de despulpado por hora basta multiplicar el volumen de transporte por la densidad de nuestra fruta de estudio que es la guanábana, así:

$$114 \left[\frac{ft^3}{h} \right] = 3.22 \left[\frac{m^3}{h} \right]; \text{ conversión de unidades.}$$

$$\text{Capacidad de despulpado} = 3.22 \left[\frac{m^3}{h} \right] * 1070 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\text{Capacidad de despulpado} = 3445.4 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Como podemos ver la alimentación de fruta que logrará el transportador es superior a lo esperado, sin embargo, es necesario aclarar que se tomó en consideración el caso extremo donde la tolva está a un 45% de su capacidad y las RPM máximas, en el catálogo se muestran tablas adicionales para el uso más moderado del transportador helicoidal y realizando el cálculo mostrado con anterioridad tenemos un valor mínimo de capacidad de despulpado que ronda los 400 kg/h. lo cual sigue siendo satisfactorio para cumplir con el objetivo planteado inicialmente.

2.7.2 Dimensionamiento del tamiz.

Como vimos en la tabla 18, el tamiz será modular por lo tanto se separará en 2 partes iguales, a continuación, se presentará el cálculo para la parte perforada del tamiz ya que es la parte más sensible que deformarse cuando se apliquen las cargas. El tamiz estará compuesto por 2 partes, por un lado, tenemos una plancha rolada y perforada con orificios que garanticen que exista una separación entre las pepas y la pulpa y por otro lado contará con platinas soldadas en los extremos con la finalidad de darle rigidez a la pieza.

Consideraciones iniciales:

- Espesor de la plancha perforada será de 1 [mm].
- El espesor de las platinas será de 3 [mm].
- Diámetro de tamiz: 345 [mm]
- Diámetro de los agujeros: 5 [mm]
- Longitud de tamiz: 578 [mm].

Para tener una idea de la fuerza que se aplicará en el tamiz se considera que estará con un 50% lleno de pulpa de guanábana. Por lo tanto, necesitamos calcular el volumen así:

$$Volumen = \frac{\frac{\pi * d^2}{4} * h}{2};$$

Ecuación 1. Volumen de la mitad de un cilindro.

$$Volumen = \frac{\frac{\pi * 0,345^2}{4} * 578}{2} = 0,027m^3$$

Ahora que tenemos el volumen disponible necesitamos el peso específico de las frutas a despulpar, como ejemplo de cálculo y tomando una fruta referencial consideraremos a la guanábana como fruta idónea. En la figura 19 se muestra las propiedades de varias frutas, como veremos, la figura considera 2 tipos de densidades, nosotros tomaremos la más alta con la finalidad de ser más conservativos en los cálculos.

PESO ESPECIFICO Y POROSIDAD DE ALGUNAS FRUTAS TROPICALES (PARTE COMESTIBLE)

Nº	Nombre de la fruta	Peso específico en frutas al natural	Porosidad en frutas al natural	Peso específico en frutas precocidas	Porosidad en frutas precocidas	Reducción de la porosidad después de la precocción %
		gr./cc.	%	gr./cc.	%	
1	Plátano maduro	1,042	15,6	1,109	7,3	53,2
2	Plátano verde	1,014	15,9	1,077	7,8	51,0
3	Cambur manzano maduro	1,014	15,7	1,060	6,7	57,3
4	Cambur pineo maduro	0,994	14,5	1,083	7,8	46,2
5	Mango hilacha maduro	1,043	13,2	1,052*	10,2*	22,8
6	Mango La India	1,045	5,2	—	—	—
7	Piña madura	1,012	13,3	1,037	7,5	43,6
8	Piña Los Andes	0,974	10,5	—	—	—
9	Lechosa madura	0,987	12,0	1,018	2,6	78,3
10	Lechosa verde	0,964	10,6	1,025	2,8	73,6
11	Aguacate	0,959	5,4	1,003	3,2	40,7
12	Guayaba	1,051	17,0	1,067	7,3	57,0
13	Parchita madura marchita (fruta entera)	0,637	40,9	—	—	—
14	Parchita verdosa (fruta entera)	0,771	20,8	—	—	—
15	Guanábana	1,038	19,8	1,070	11,6	41,4
16	Sapote	1,083	14,4	1,085	6,9	52,1
17	Chirimoya (**)	1,037	21,2	1,050	9,5	55,2
18	Pomagás (*) (**)	0,943	24,9	1,018	12,0	51,8

(*) Sólo se hicieron dos determinaciones.

(**) Chirimoya: Nombre científico: *Annona reticulata*, L. - Nombre en inglés: Bulbock's heart.
Pomagás: Nombre científico: *Eugenia malaccensis*, L. - Nombre en inglés: Pomerac.

Figura 20. Propiedades de algunas frutas tropicales. Fuente: [11]

Ahora calcularemos el peso de la fruta que se aplicará en el tamiz.

$$W_{\text{guanábana}} = \gamma_{\text{guanábana}} * \text{Volumen} * \text{gravedad}$$

Ecuación 2. Peso de la guanábana.

$$W_{\text{guanábana}} = 1070 * 0,037 * 9,81 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \text{m}^3 * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$W_{\text{guanábana}} = 283.41 \text{ [N]}$$

El peso obtenido se distribuye uniformemente en todo el tamiz.

Debido a la falta de información sobre cálculos y consideraciones para resolver el diseño del tamiz de una forma analítica, se opta por ocupar métodos numéricos, más específicamente una simulación en el programa de SolidWorks, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Primero se cargó todas las consideraciones en el programa, los extremos del tamiz se asentarán en la base de las paredes de la máquina, y se deslizará por unas guías que impedirán su rotación, por lo tanto, se considera que en los extremos existirá un empotramiento y el peso de la guanábana está distribuido en toda la tolva, en la figura 20 podemos ver los resultados del factor de seguridad simulado.

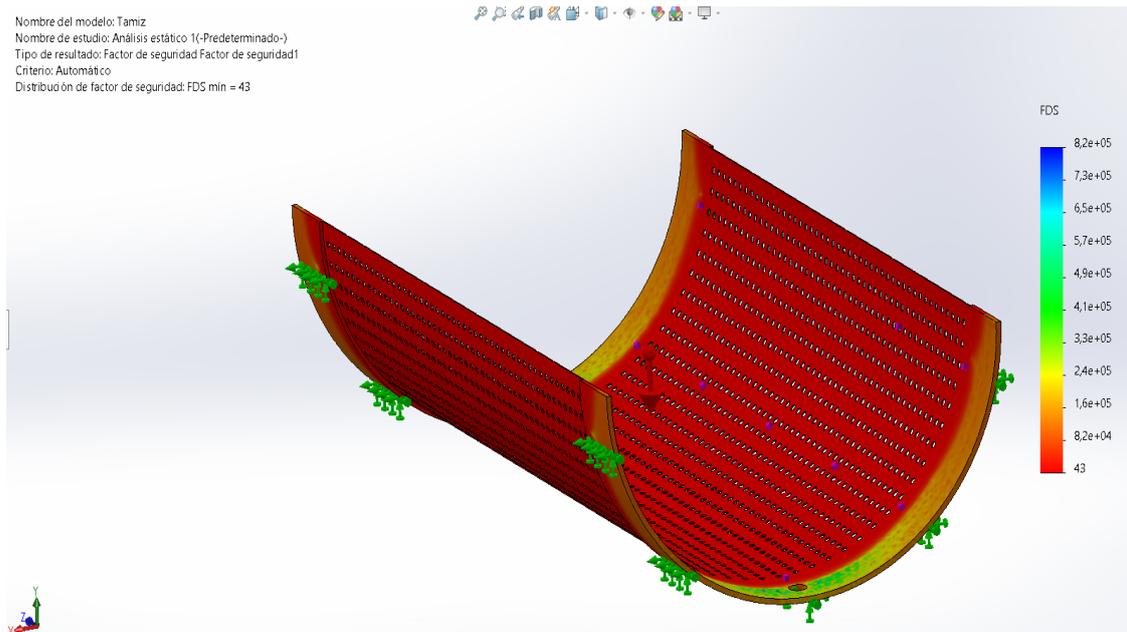


Figura 21. Simulación del factor de seguridad para el tamiz. Fuente: Propia.

Como se aprecia en la figura 20, tenemos un factor de seguridad mínimo de 42, lo cual representa un sobre dimensionamiento en la pieza, sin embargo, por temas de fabricación y soldadura se adoptarán las medidas iniciales tanto para la lámina rolada como para las platinas en los extremos.

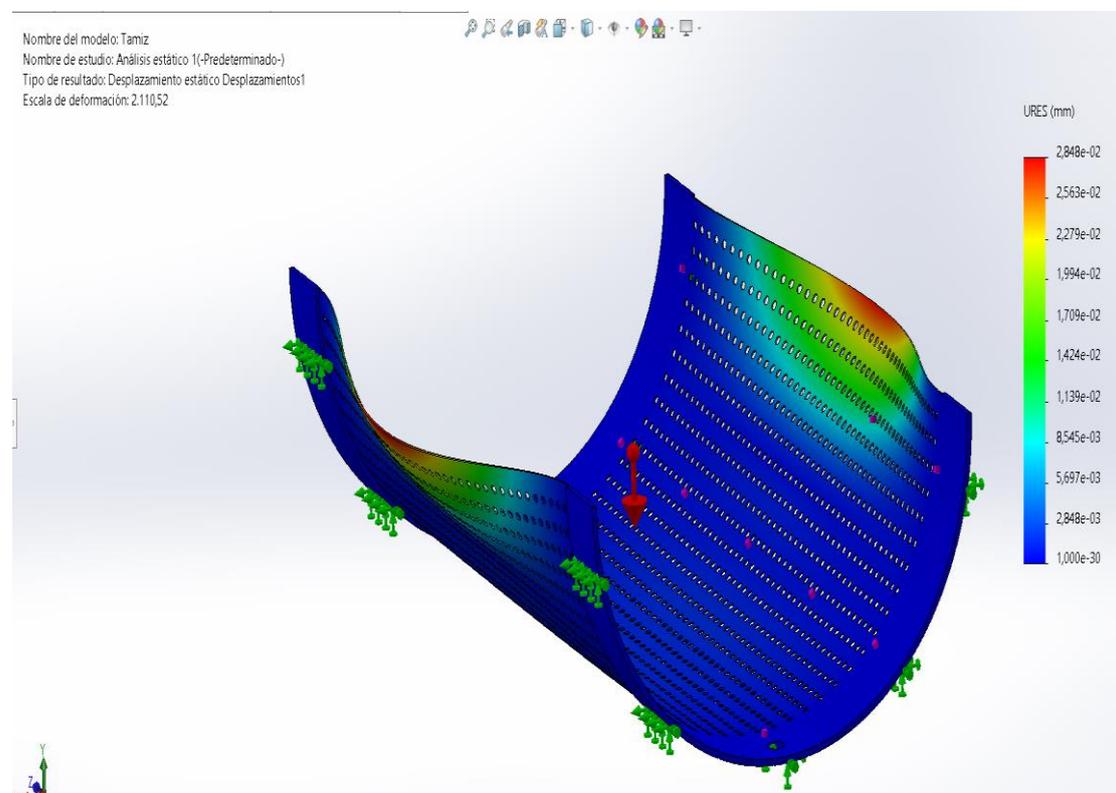


Figura 22. Simulación de deformaciones para el tamiz. Fuente: Propia.

En la figura 21 se muestra las posibles deformaciones que sufrirá el tamiz, sin embargo, son tan pequeñas que prácticamente son depreciables e imperceptibles a la vista. Una vez analizado la parte de abajo del tamiz (la más crítica) se concluye que podemos utilizar los mismos materiales para la parte de arriba todo esto para tener un ensamble correcto y simetría en la máquina.

2.7.3 Dimensionamiento de las palas.

Empezaremos el diseño de las palas tomando como consideración principal que la pala se comportará como una viga en voladizo con una carga que actúa en su extremo, ejerciendo de esta manera un momento flector. La carga que se aplicará en la punta de una pala nace de torque que nos proporciona el motor (anexo IV).

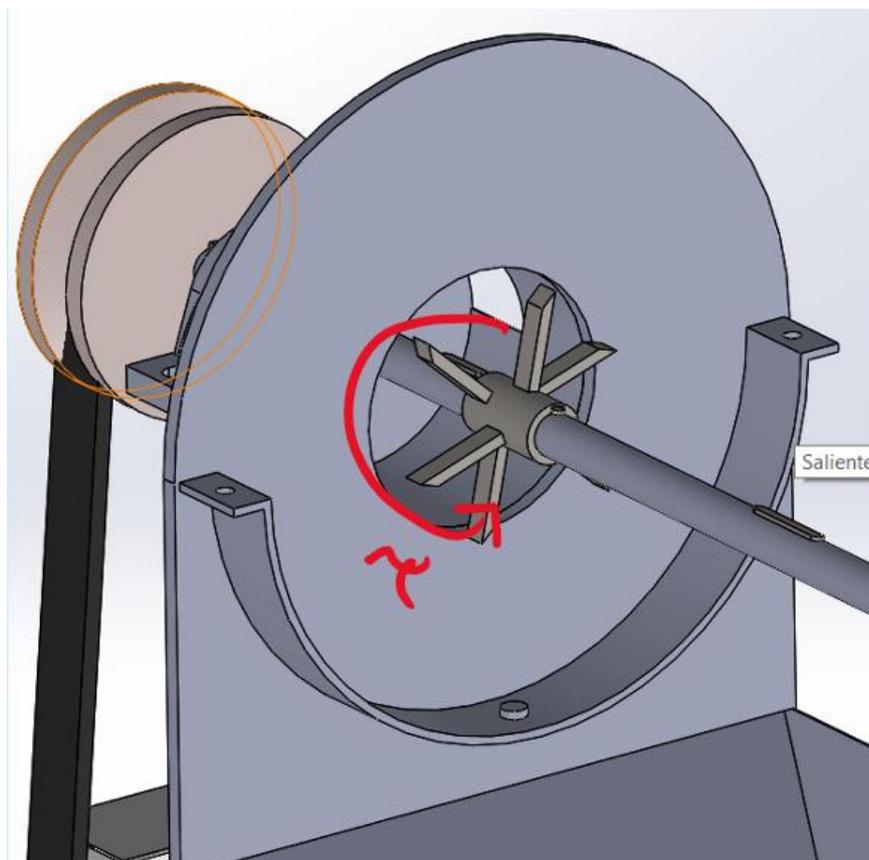


Figura 23. Torque aplicado al eje conducido mediante el motor. Fuente: Propia.

$$\tau = 4,2 \text{ Nm torque nominal del motor (anexo II)}$$

El torque nominal del motor aumenta al pasar del eje del motor al eje conducido por medio de poleas y una banda que las conecta, la relación de transmisión es de 2 a 1 por lo tanto el torque aumentará en 2 veces el nominal así:

$$\tau_c = \tau * 2$$

Donde: τ_c = torque al eje conducido

$$\tau_c = 4.2 * 2 = 8,4 [Nm]$$

Sabemos que el torque es igual a la fuerza por distancia, así encontramos la fuerza tangencial que se aplicará a las palas.

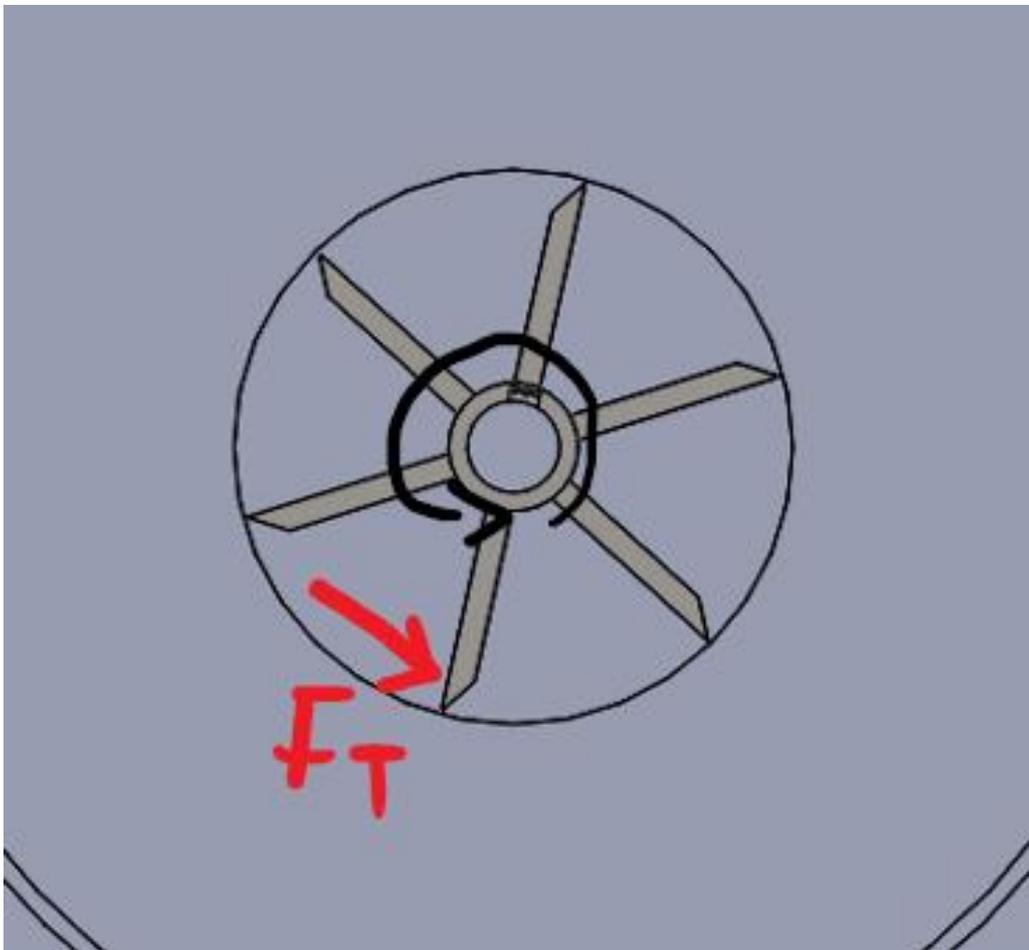


Figura 24. Fuerza tangencial que se aplicará en la punta de la pala.

$$F_t = \frac{\tau}{d}; \text{ donde } d \text{ es la longitud de las palas}$$

Ecuación 3. Ecuación del torque. [12]

$$F_t = \frac{8,4[Nm]}{0,075[m]}$$

$$F_t = 112 [N]$$

Esta fuerza F_t es la fuerza completa proporcionada por el motor, sin embargo, se repartirá homogéneamente sobre las 6 palas que conformaran la pieza. Por lo tanto, es necesario dividir esta fuerza para cada una de las 6 palas así:

$$F_{tu} = \frac{112}{6} = 18,66 [N]; \text{ Donde: } F_{tu} \text{ es la fuerza unitaria}$$

Una vez obtenida la F_{tu} realizamos un diagrama de cuerpo libre de la cuchilla considerando que en un extremo estará empotrada, esto debido a que irá soldada a un bocín que irá montando en el eje conducido, al otro extremo de la pala se ubicará puntualmente la F_{tu} .

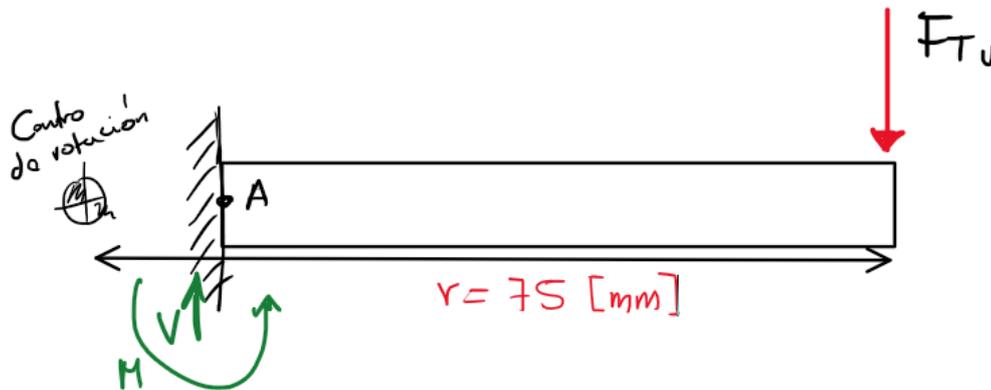


Figura 25. DCL de la pala. Fuente: Propia.

Se procede a realizar la sumatoria de fuerzas y cálculo de reacciones.

$$\Sigma F_x = 0; \text{ Sumatoria de fuerzas en el eje } x$$

$$\Sigma F_y = 0; \text{ Sumatoria de fuerzas en el eje } y$$

$$F_{Tu} = V$$

$$V = 18,66 [N]$$

$$\Sigma M_A = 0; \text{ Sumatoria de momentos en } A$$

$$M = F_{Tu} * r$$

$$M = 18,66 * 0,075$$

$$M = 1,4 [Nm]$$

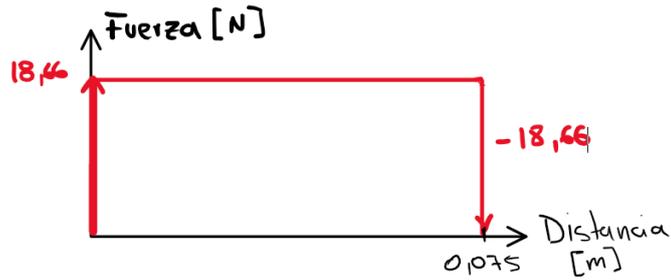


Figura 26. Diagrama de cortante para la pala. Fuente: Propia.

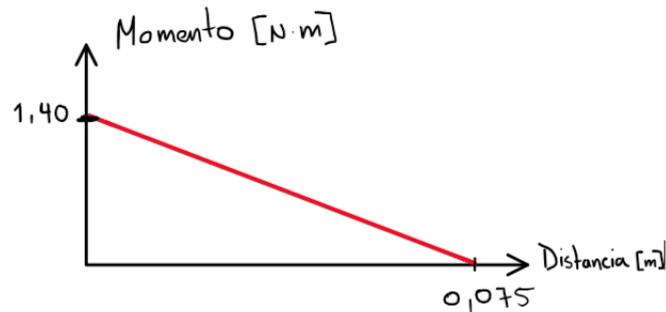


Figura 27. Diagrama de momento para la pala. Fuente: Propia.

$$S = \frac{M * c}{I};$$

Ecuación 4. Esfuerzo normal causado por el momento de flexión. [12]

Donde: M = momento flector; c = distancia al eje neutro; I = inercia de la pala

$$S = \frac{1,4 * 0,0035}{\frac{0,014 * 0,007^3}{12}}$$

$$S = 12244897,96 [Pa] \approx 12,24 [MPa]$$

Ahora que tenemos el esfuerzo máximo que se presenta en la pala, haremos una comparación con el esfuerzo máximo de fluencia para el acero inoxidable como se muestra en el anexo 1.

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{S_{ys}}{S}$$

Ecuación 5. Factor de seguridad. [12]

$$FS = \frac{0,577 * 210}{12,24} = 9,89$$

Para corroborar los datos se realizó una simulación en el programa SolidWorks, arrojando así los siguientes resultados.

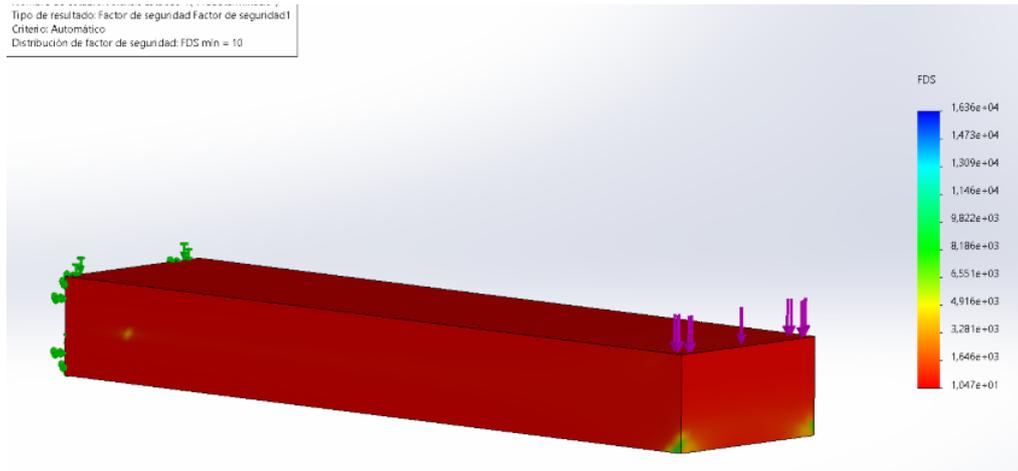


Figura 28. Simulación del factor de seguridad para las palas. Fuente: Propia.

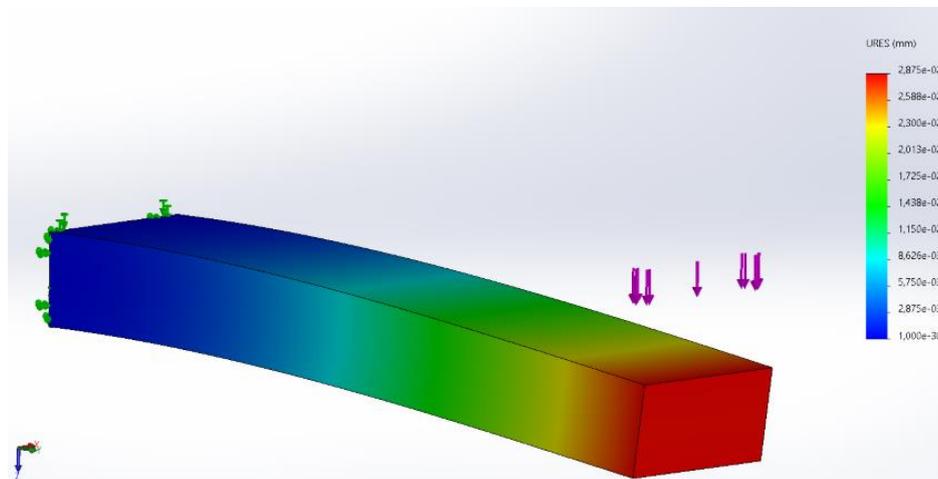


Figura 29. Simulación de deformaciones para las palas. Fuente: Propia.

Como podemos ver el factor de seguridad para las palas será de 9,89 con las geometrías probadas, se podría considerar que el diseño está sobre dimensionado, sin embargo, por motivos de soldadura y construcción se adoptará las medidas estudiadas.

Medidas finales de las palas:

- Largo: 75 [mm]
- Ancho: 7 [mm]
- Alto: 14 [mm]

2.7.4 Dimensionamiento del soporte del agitador.

La idea fundamental de como trabajarán los soportes del agitador es como una viga empotrada en un extremo y dispuesta en voladizo, bastante semejante a lo que visto anteriormente en el diseño de las palas

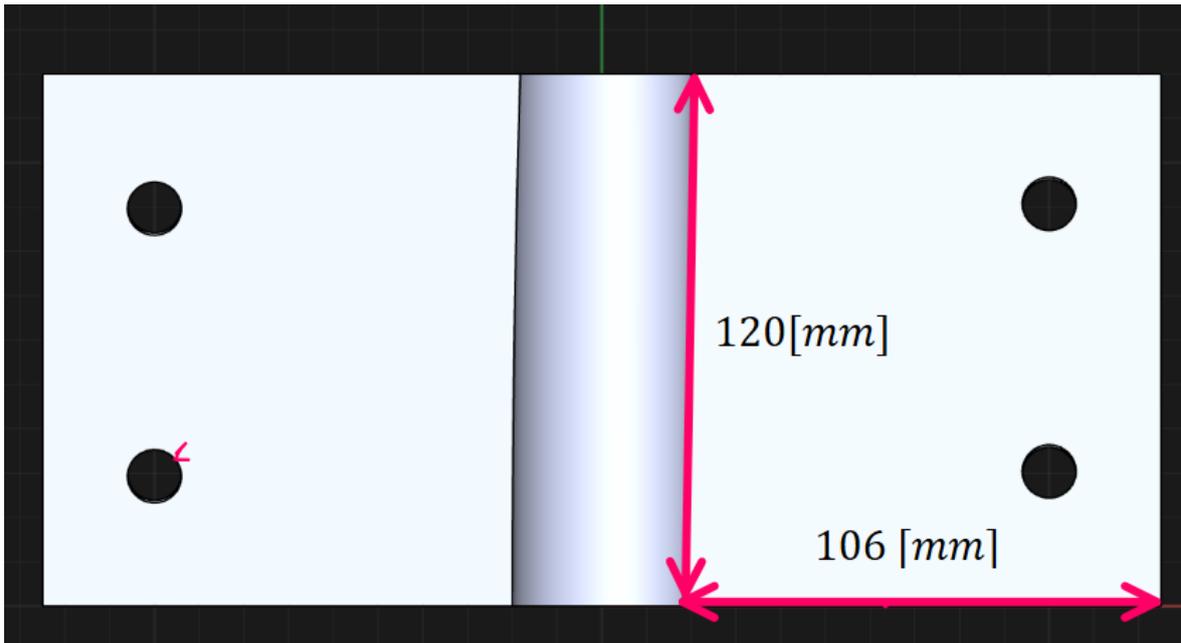


Figura 30. Dimensiones iniciales del soporte del agitador. Fuente: Propia.

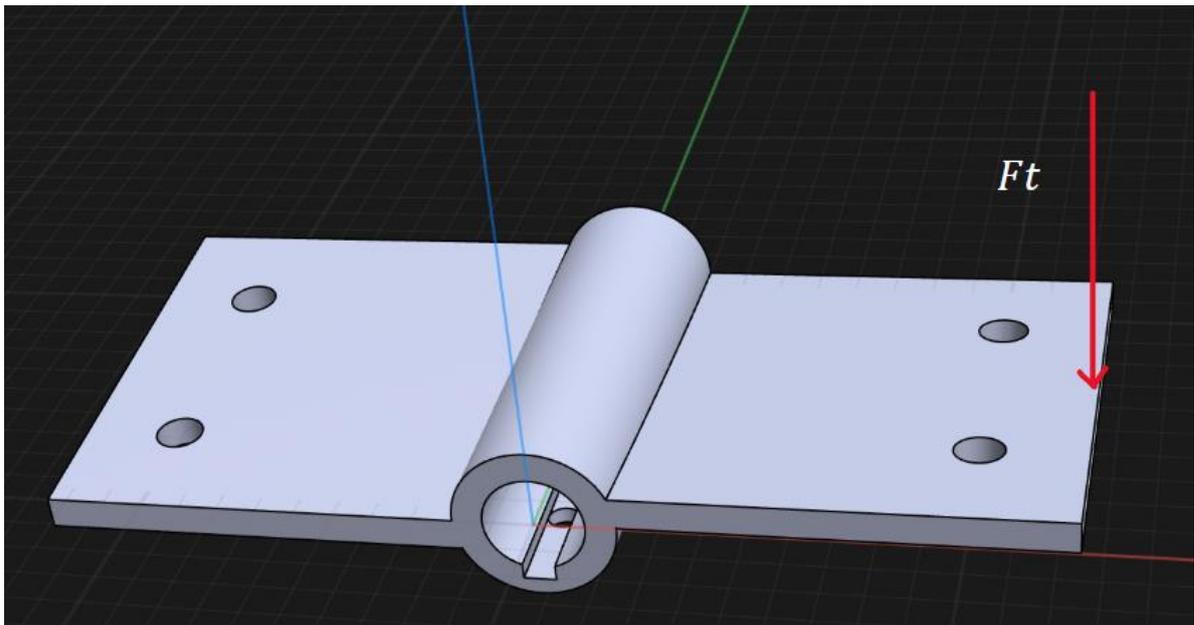


Figura 31. Fuerza aplicada al extremo de los soportes. Fuente: Propia.

Como se revisó en la sección 2.7.3 correspondiente al diseño de las palas, el torque del motor es el responsable de la fuerza F_t por el principio de acción reacción, así tenemos:

$$F_t = \frac{\tau}{d}; \text{ donde } d \text{ es la longitud de la platina.}$$

Ecuación 3. Definición de torque. [12]

$$F_t = \frac{8,4 \text{ [Nm]}}{0,106 \text{ [m]}}$$

$$F_t = 79,24 \text{ [N]}$$

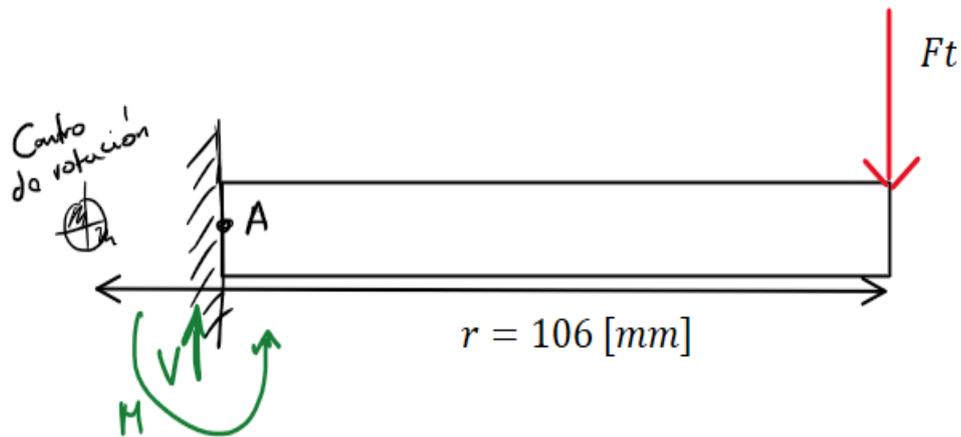


Figura 32. Diagrama de cuerpo libre para los soportes del agitador. Fuente: Propia.
Se procede a realizar la sumatoria de fuerzas y cálculo de reacciones.

$$\Sigma F_x = 0; \text{ Sumatoria de fuerzas en el eje } x$$

$$\Sigma F_y = 0; \text{ Sumatoria de fuerzas en el eje } y$$

$$F_t = V$$

$$V = 79,24 \text{ [N]}$$

$$\Sigma M_A = 0; \text{ Sumatoria de momentos en } A$$

$$M = F_t * r$$

$$M = 79,24 * 0.106$$

$$M = 8,4 \text{ [Nm]}$$

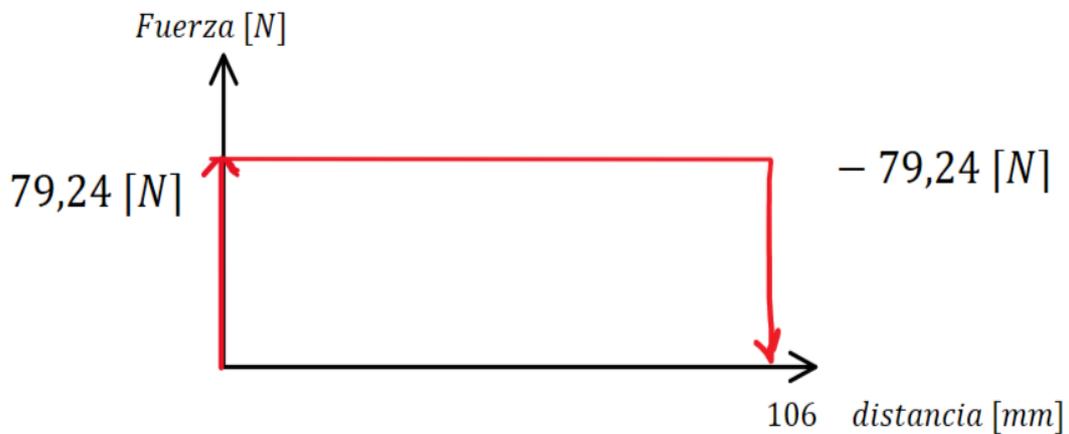


Figura 33. Diagrama de fuerza cortante. Fuente: Propia.

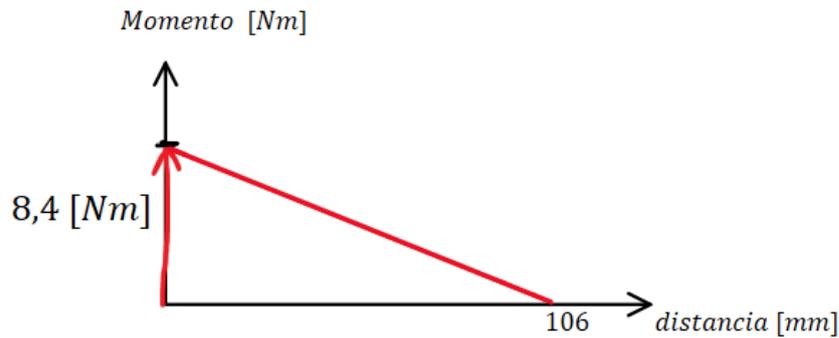


Figura 34. Diagrama momento flector. Fuente: Propia.

$$S = \frac{M * c}{I};$$

Ecuación 4. Esfuerzo normal causado por el momento de flexión. [12]

Donde: M = momento flector; c = distancia al eje neutro; I = inercia de la platina

$$S = \frac{8,4 * 0,004}{\frac{0,106 * 0,008^3}{12}}$$

$$S = 7429245,28 [Pa] \approx 7,42 [MPa]$$

Ahora que tenemos el esfuerzo máximo que se presenta en la platina, haremos una comparación con el esfuerzo máximo de fluencia para el acero inoxidable como se muestra en el anexo 1.

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{S_{ys}}{S}$$

$$FS = \frac{0,577 * 210}{7,42} = 16,33.$$

Como vemos el factor de seguridad es bastante alto, tomaremos las dimensiones iniciales como aceptadas para la construcción con un espesor de platina de 8 [mm], esto porque se considera para el cálculo un solo tipo de fruta como lo es la guanábana, sin embargo, pueden existir diferentes frutas con densidades mayores.

2.7.5 Dimensionamiento del agitador.

En el diseño del agitador se tomará en cuenta otro tipo de material que asegure su funcionamiento, pero nos permita abaratar costos de fabricación, en el mercado existen varios tipos de polímeros con altas propiedades mecánicas y que también tienen la ventaja de tener un grado alimenticio, tal es el caso del grilon, duralón, nylon, etc. Nos ayudaremos

de la herramienta para simulación de cargas que posee SolidWorks para obtener un resultado de deformaciones y un factor de seguridad.

Como se evidencio previamente con el diseño de las palas y el soporte del agitador, el diseño de los agitadores tendrá base en el torque que nos entrega el motor, este crea fuerzas perpendiculares a la superficie del agitador cuando golpea la fruta y la raspa contra el tamiz. A continuación, se presentarán los datos de las simulaciones y también una tabla con los parámetros ingresados para la simulación.

Tabla 31. Consideraciones para la simulación de los agitadores. Fuente: Propia.

Consideraciones	Detalles
Dimensiones	400[mm] de ancho, 100 [mm] de alto y 5 [mm] de espesor.
Material	Nylon 6/10 con una resistencia a la tracción de 142 [MPa]
Anclaje	Existe una fijación en la zona donde se emperna con el soporte
Fuerza aplicada	80 [N] distribuida en toda superficie de la pieza.

El nylon es un material muy resistente con una excelente propiedad elástica, por lo tanto, se esperaría que las deformaciones sean perceptibles a la vista sin poner en riesgo la vida útil de la pieza.

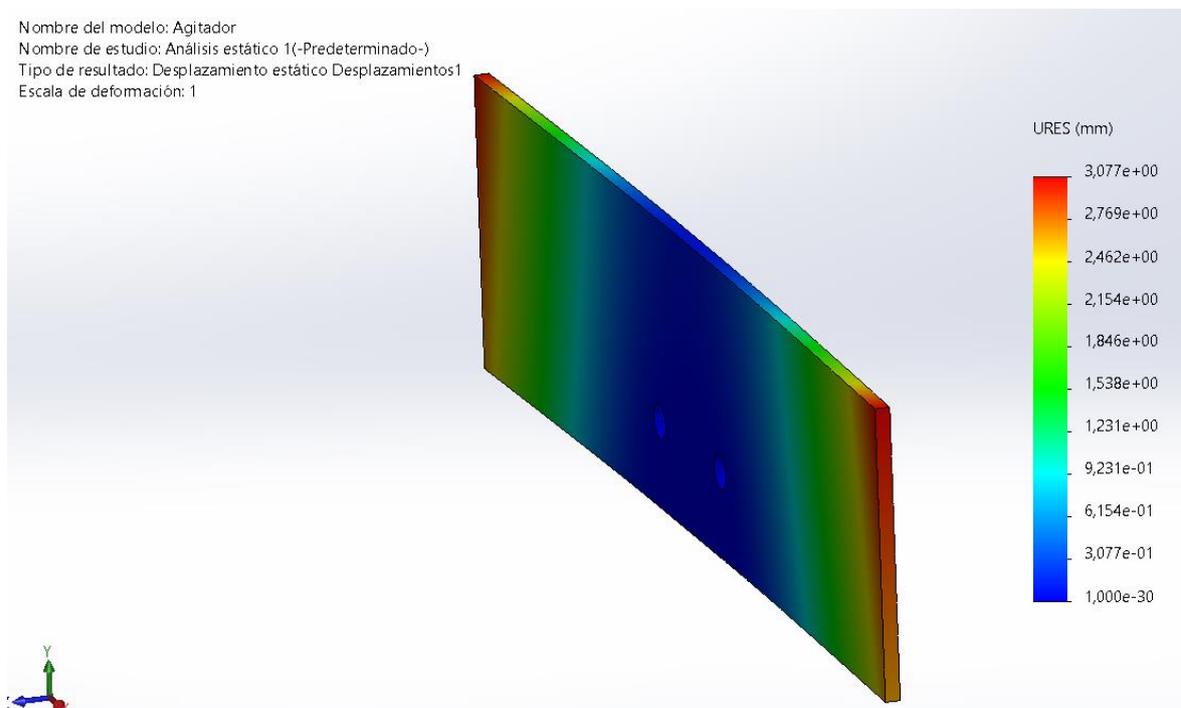


Figura 35. Simulación de deformaciones para el agitador.

En la figura 35 podemos ver que la máquina deformación ocurre en los extremos del agitador llegando a una deformación de 3mm como máximo.

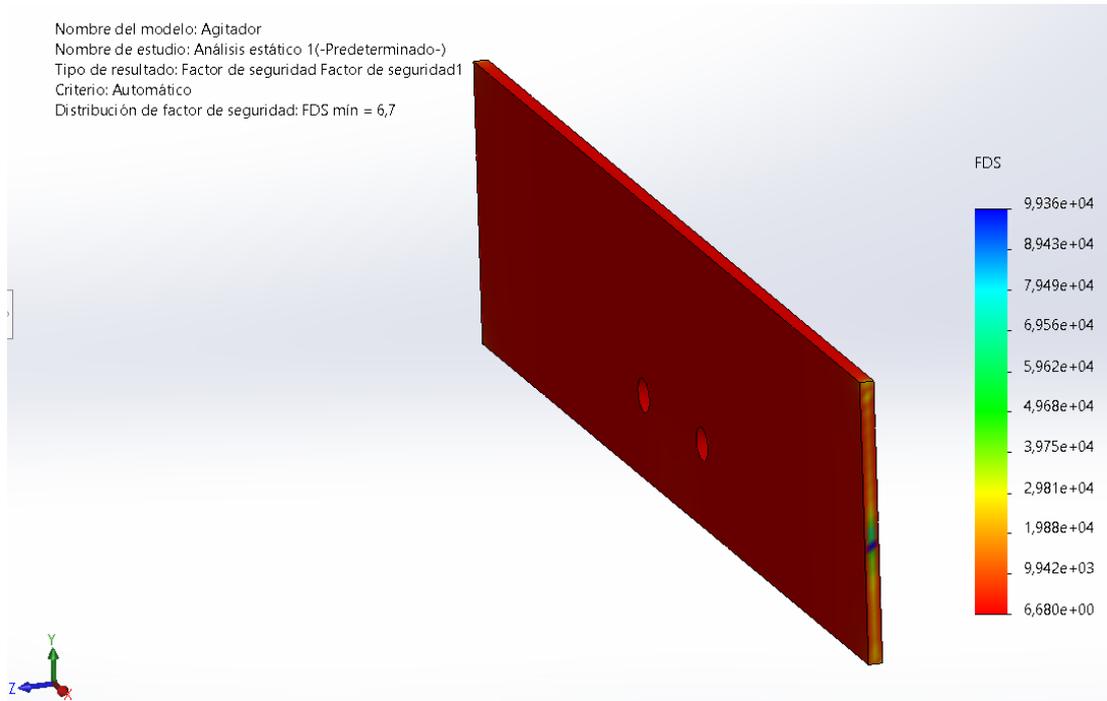


Figura 36. Simulación del factor de seguridad para los agitadores. Fuente: Propia.

En la figura 36 podemos ver que el factor de seguridad mínimo es de 6, por lo tanto, se concluye que el material puede soportar las cargas de la máquina. Se toman las dimensiones iniciales para seguir con posterior construcción.

2.7.6 Diseño del eje conducido.

Para empezar con el diseño del eje conducido es necesario entender la disposición de los elementos montados sobre el mismo, en la figura se muestra un diagrama referencial.

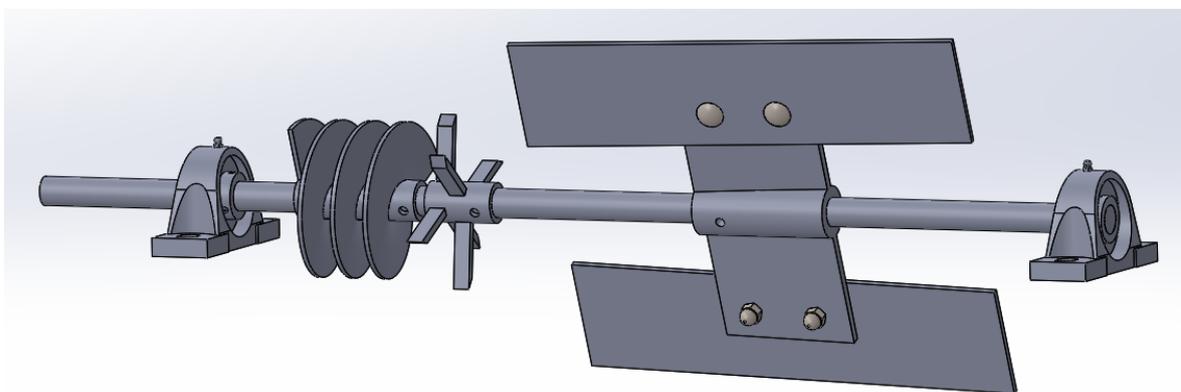


Figura 37. Disposición de los elementos sobre el eje. Fuente. Propia.

Se presenta una estimación de las fuerzas que ejercen los diferentes elementos sobre el eje y las distancias donde se ubican.

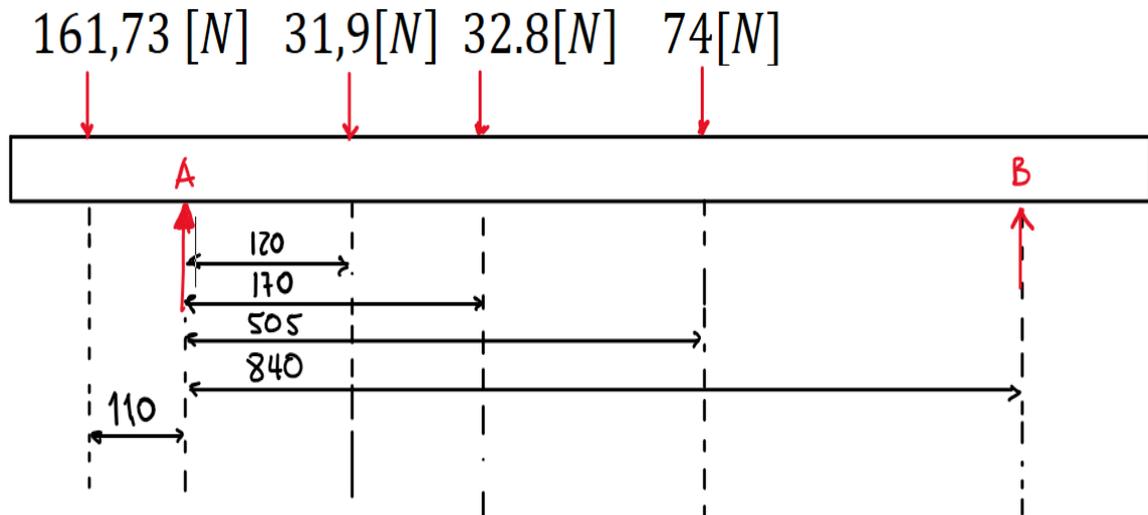


Figura 38. Fuerzas estimadas sobre el eje. Fuente: Propia

$$\Sigma M_A = 0; \text{ Sumatoria de momentos en A}$$

$$(161,73 * 110) + (R_B * 840) = (31,89 * 120) + (32,8 * 170) + (74 * 505)$$

Despejando R_B tenemos:

$$R_B = 34,5 [N]$$

$$\Sigma F_y = 0; \text{ Sumatoria de fuerzas en el eje y}$$

$$R_A + R_B = 74 + 32,8 + 31,89 + 161,73$$

$$R_A = 265,92 [N]$$

Con las reacciones podemos realizar el diagrama de cortante y momento flector.

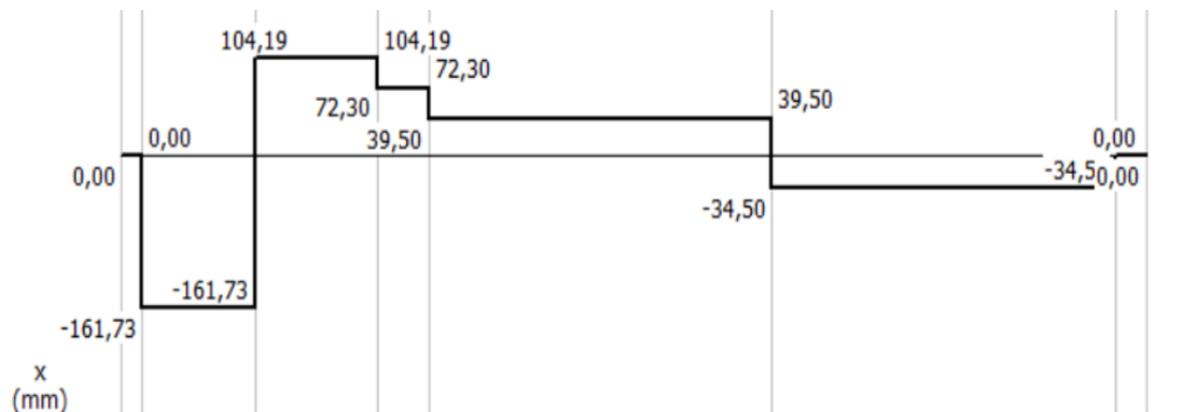


Figura 39. Diagrama de fuerza cortante para el eje. Fuente: Propia.

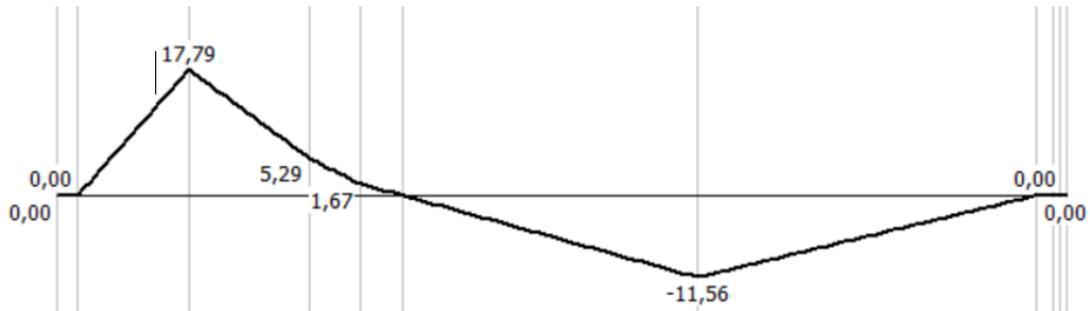


Figura 40. Diagrama de momento flector para el eje: Fuente: Propia.

Se realiza un estudio de falla por fatiga para el eje, tomando como consideración el criterio de Goodman el cual propone la siguiente expresión para el diámetro del eje.

$$d = \left(\left(\frac{16n}{\pi} \right) \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{1}{S_{ut}} \right) \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 5. Criterio de falla por fatiga de Goodman. [12]

En el caso de un eje giratorio con flexión y torsión constantes, el esfuerzo flexionante es completamente reversible y la torsión es constante. La Ecuación 1 puede simplificarse ya que M_m y T_a se igualan a 0, lo cual elimina algunos términos [12].

Para hallar el límite de resistencia a la fatiga necesitamos desarrollar una serie de factores que modifican la resistencia.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_e'$$

Ecuación 6. Ecuación de Marín para límite de resistencia a la fatiga. [12]

Donde:

- Factor de superficie K_a

En el anexo 3 se encuentra la tabla con los coeficientes utilizados para hallar el factor de superficie.

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

$$K_a = 4.51 * 520^{-0,265}$$

$$K_a = 0,86$$

- Factor de tamaño K_b

En el anexo 3 se encuentra la tabla con los coeficientes utilizados para hallar el factor de tamaño.

$$K_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107}$$

consideraremos un eje de una pulgada por lo tanto tenemos:

$$K_b = 0,87$$

- Factor de temperatura Kc

El libro de diseño en ingeniería mecánica de Shigley nos muestra varios valores del factor Kc dependiendo las cargas que actúan.

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

Figura 41. Factores Kc. [12]

Para lo cual tomaremos el valor de 0,59 ya que en el eje se generan fuerzas de torsión

- Factor de temperatura Kd.

En el anexo 3 se encuentra la tabla con los coeficientes utilizados para hallar el factor de temperatura.

$$K_d = \frac{ST}{SRT}$$

Para este caso consideramos que el eje podría alcanzar los 50 grados centígrados cuando se encuentre trabajando así obtenemos:

$$K_d = 1,01$$

- Factor de confiabilidad Ke.

En el anexo 3 se encuentra la tabla con los coeficientes utilizados para hallar el factor de confiabilidad, en nuestro caso elegimos una confiabilidad del 99% por lo cual.

$$K_e = 0,814$$

- Factor de efectos varios Kf.

No se considera efectos adicionales, por lo tanto:

$$K_f = 1$$

Una vez completado todos los factores, podemos utilizar la ecuación 6.

$$Se = 0,86 * 0,87 * 0,59 * 1,01 * 0,814 * 1 * (0,5 * 520)[MPa]$$
$$Se = 95 [MPa]$$

Ahora podemos utilizar la ecuación 5 para hallar el diámetro requerido para el eje, se considera un factor de seguridad igual a 2.

$$d = \left(\left(\frac{16 * 2}{\pi} \right) \left\{ \frac{1}{95 * 10^6} [4(17,79)^2]^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{1}{520 * 10^6} \right) [3(23,18)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$d = 0,01449 [m] = 14,5 [mm]$$

El diámetro requerido para el eje es de 14,5 [mm], sin embargo, por la facilidad de encontrar elementos normalizados en el mercado se optará por trabajar con un diámetro de 1 pulgada, lo que a su vez reducirá la deflexión del eje.

2.7.7 Dimensionamiento de las paredes de la cámara de despulpado

Para entender las fuerzas que están actuando en las paredes de la cámara de despulpado es necesario analizar el modelo conceptual de la máquina, a la pared izquierda se encuentra soldado las tolvas de alimentación de la pulpa y también se encuentra asentado el tamiz como veremos en la figura.

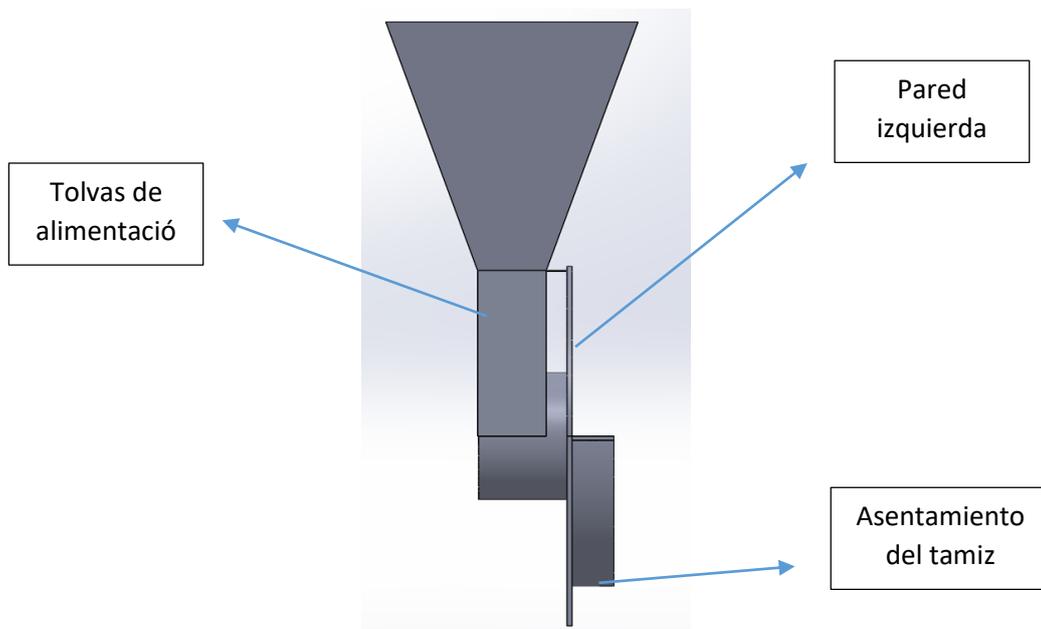


Figura 42. Ensamblaje de la pared izquierda de la cámara de despulpado. Fuente: Propia.

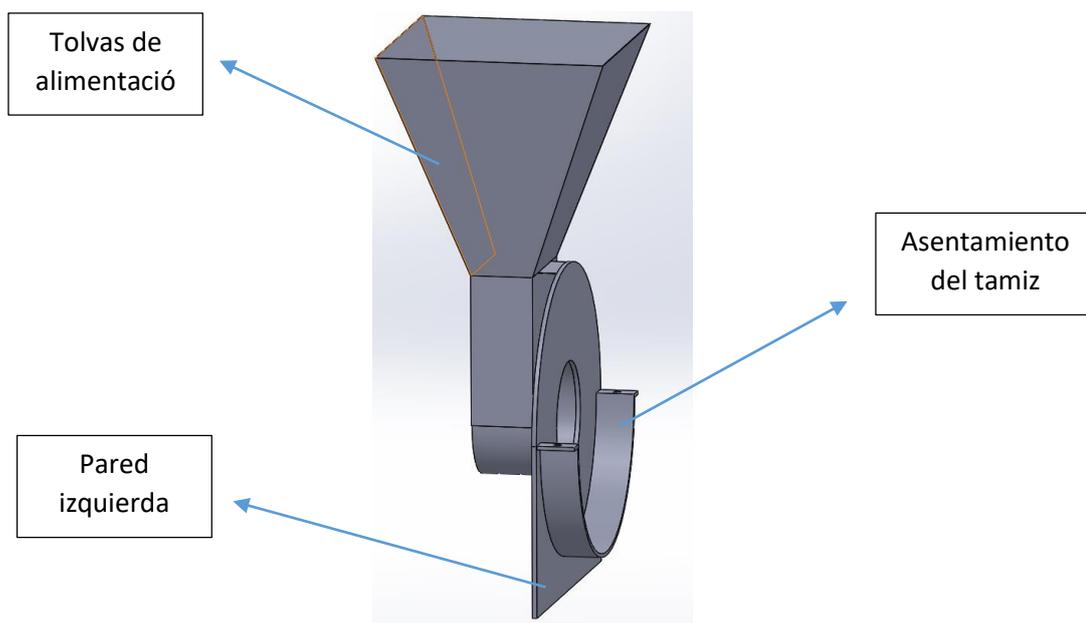


Figura 43. Vista en perspectiva del ensamblaje de la pared izquierda de la cámara de despulpa. Fuente: Propia.

Como revisamos en la sección 2.7.3 en el diseño del tamiz la fuerza que actuaba sobre este era el correspondiente al peso de la guanábana, en esta sección tomaremos la misma consideración, el peso de las tolvas de alimentación más el peso de la guanábana harán que la placa que actúa como pared tienda a pandearse. Por lo tanto, es conveniente hallar el volumen disponible en las tolvas de alimentación y también conocer el peso de estas.

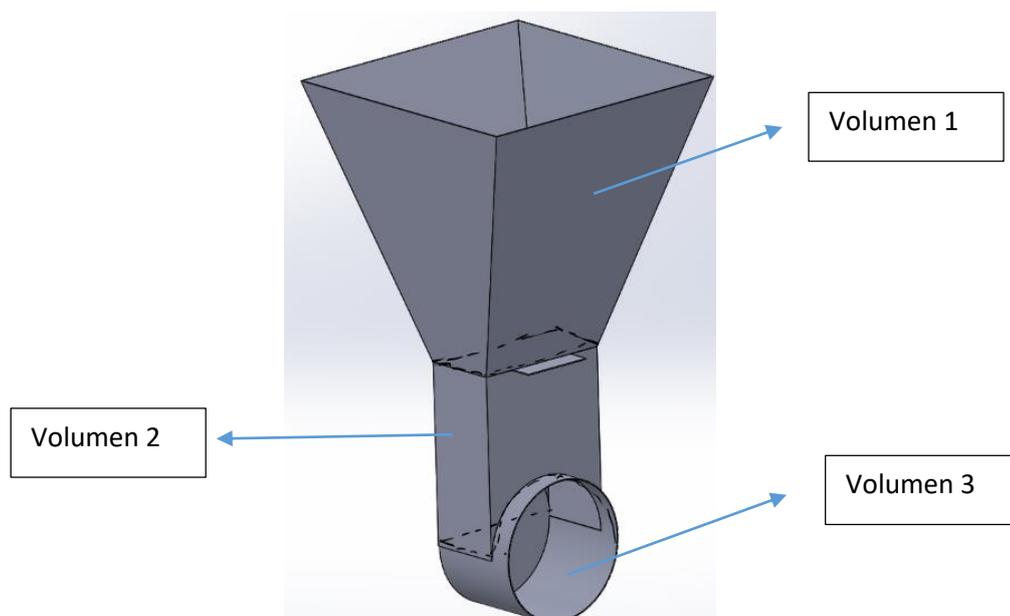


Figura 44. Separación de volúmenes para las tolvas de alimentación. Fuente: Propia

Gracias al programa de diseño CAD utilizado es factible obtener los volúmenes internos de las tolvas de alimentación.

$$V1 = 0,009 [m^3]$$

$$V2 = 0,0023 [m^3]$$

$$V3 = 0,00095 [m^3]$$

$$VT = V1 + V2 + V3$$

$$VT = 0,013 [m^3]$$

En la figura 19 tenemos el peso específico de la guanábana que es la fruta que tomamos como caso de estudio, por lo tanto, podemos obtener el peso total de la guanábana sobre la pared en una condición de carga completa.

$$F1 = \gamma_{guanabana} * VT * gravedad$$

$$F1 = 1070 * 0,013 * 9,81 \left[\frac{kg}{m^3} * m^3 * \frac{m}{s^2} \right]$$

$$F1 = 128,58 [N]$$

De igual manera el programa nos brinda información de los pesos de las tolvas, así podemos obtener la fuerza que nos produce las tolvas de alimentación.

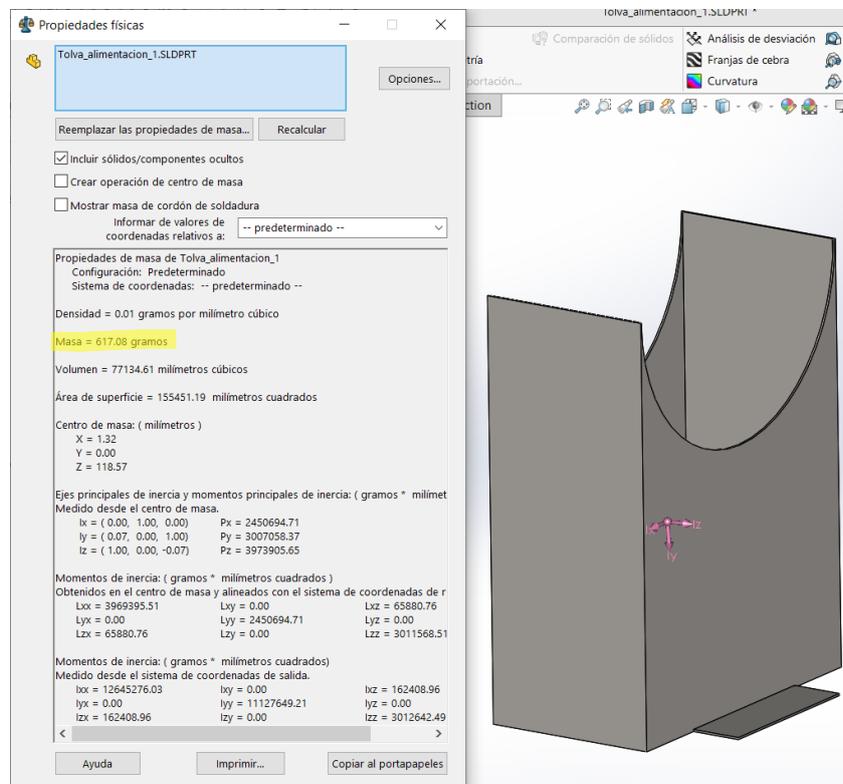


Figura 45. masa de la tolva 2. Fuente: propia.

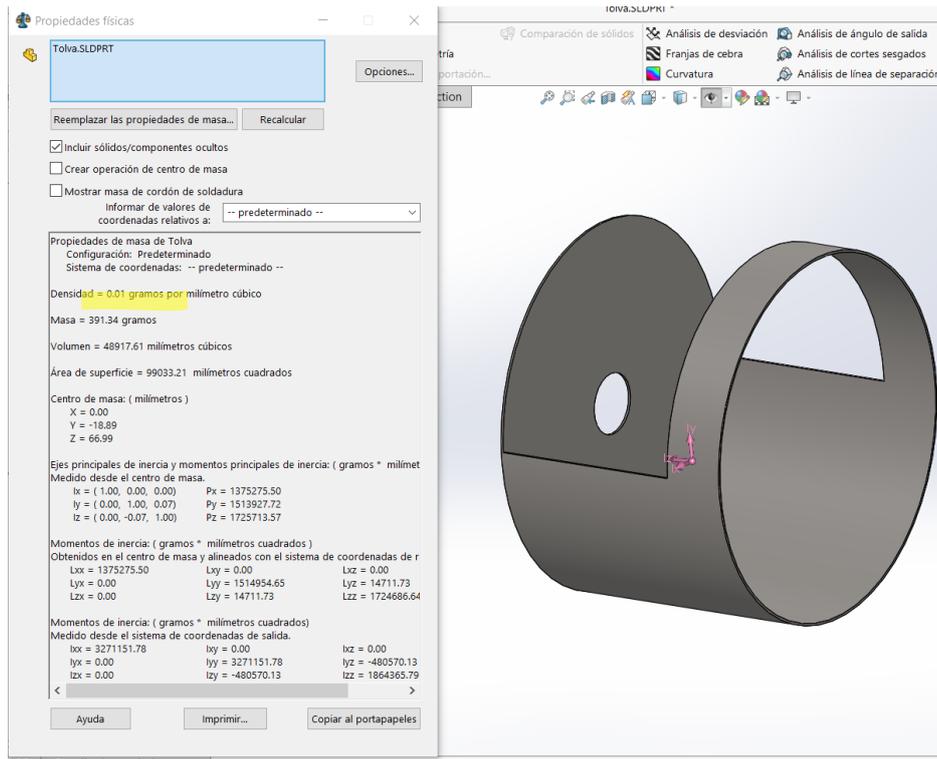


Figura 46. Masa de la tolva 3. Fuente: Propia.

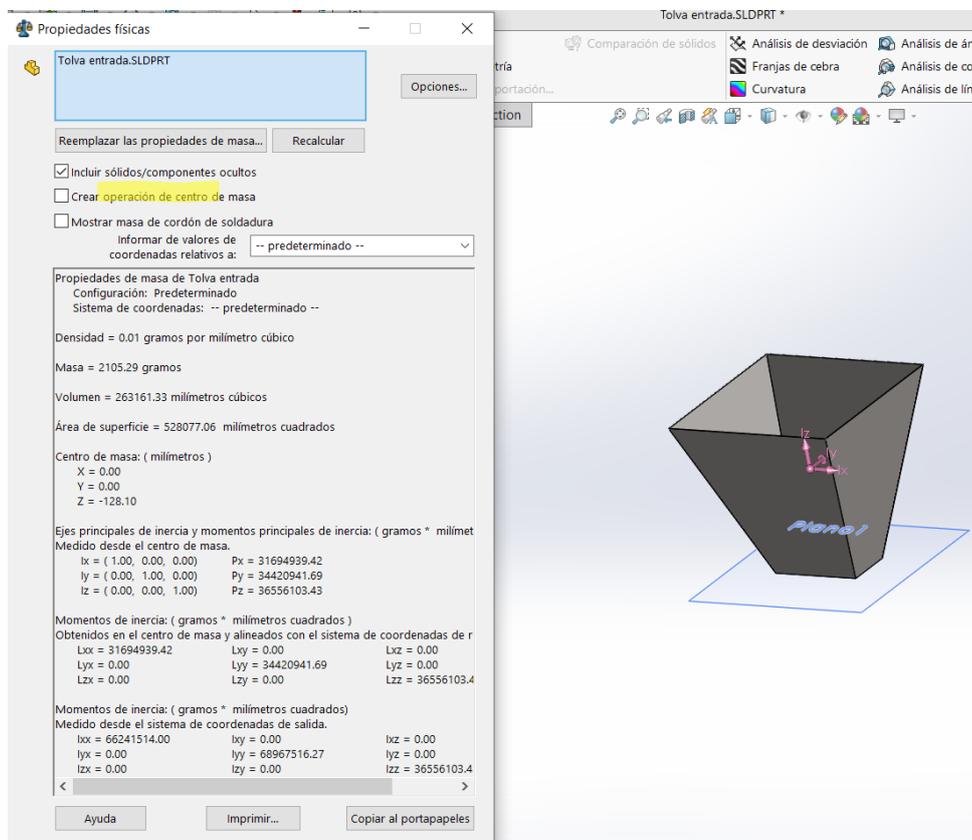


Figura 47. Masa de la tolva 1. Fuente: Propia.

Con la información tomada de las figuras ... podemos encontrar el peso.

$$F2 = \text{Masa total de las tolvas} * \text{gravedad}$$

$$F2 = 3.2 \text{ [kg]} * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F2 = 31,4 \text{ [N]}$$

La fuerza total aplicada a un lado de la pared de despulpado será:

$$FT = F1 + F2$$

$$FT = 128,58 + 31,4$$

$$FT = 160 \text{ [N]}$$

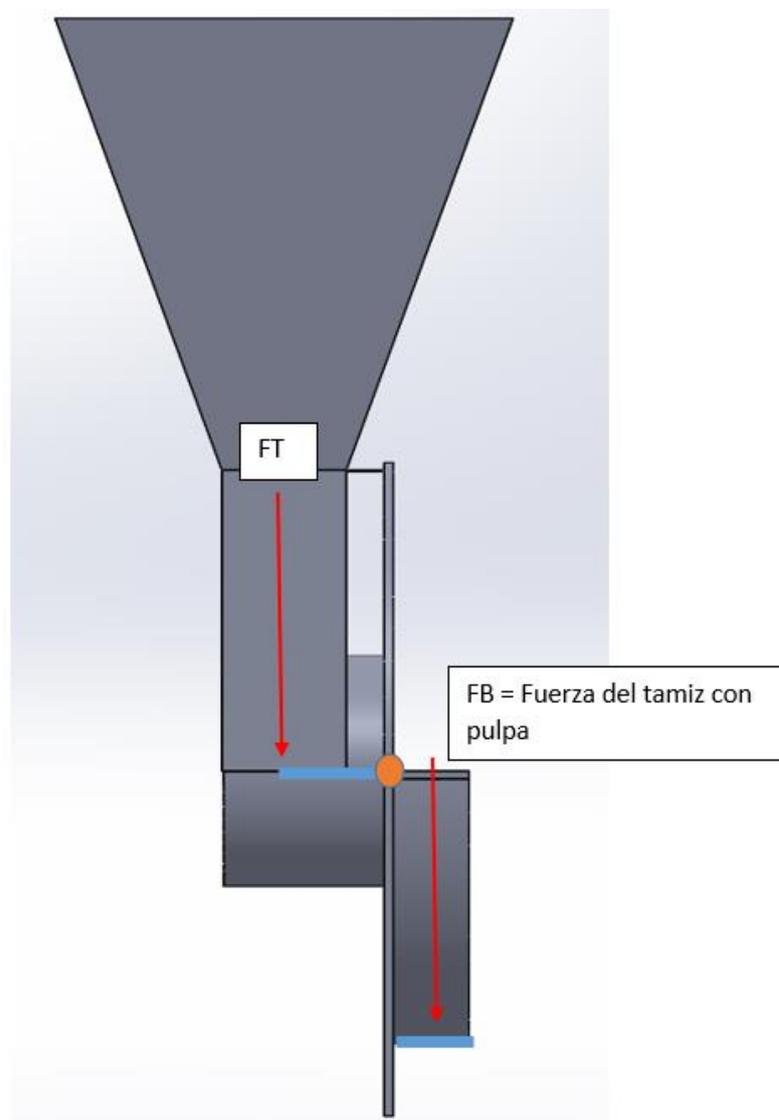


Figura 48. Fuerzas que actúan sobre la pared. Fuente: Propia.

Una vez más tenemos todos los datos necesarios para realizar el cálculo, sin embargo, debido a la falta de información y la complejidad de nuestro caso de estudio, se dificulta realizar un cálculo analítico, por lo tanto, nos apoyaremos en herramientas de simulación, en la figura 49 se muestra las cargas consideradas para la simulación.

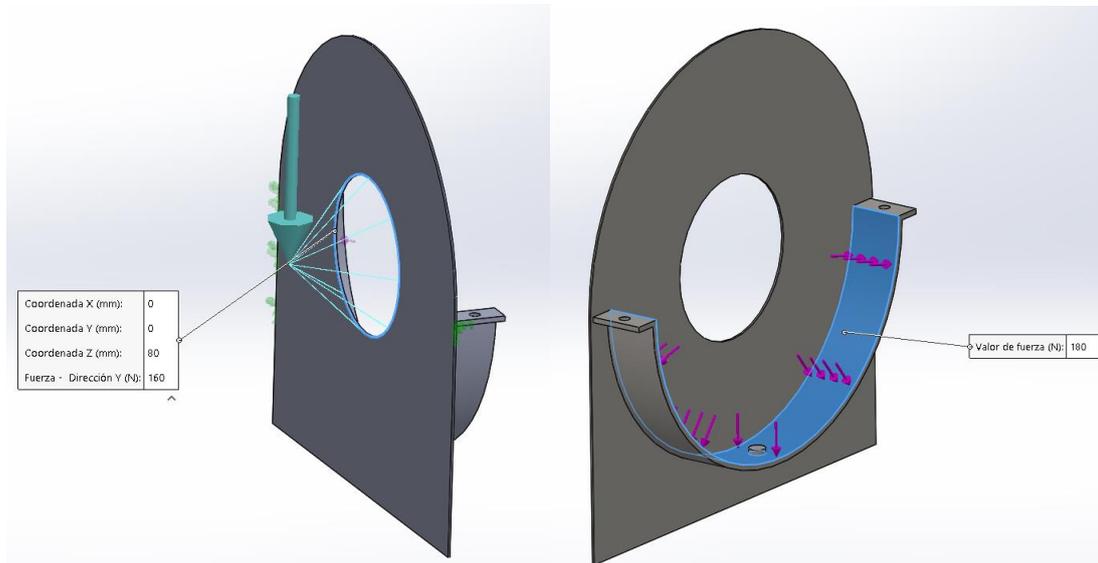


Figura 49. Parámetros de simulación ingresados para la pared de despulpado. Fuente: Propia.

En la figura 50 se muestra la simulación de deformaciones en la pared izquierda de la cámara de despulpado

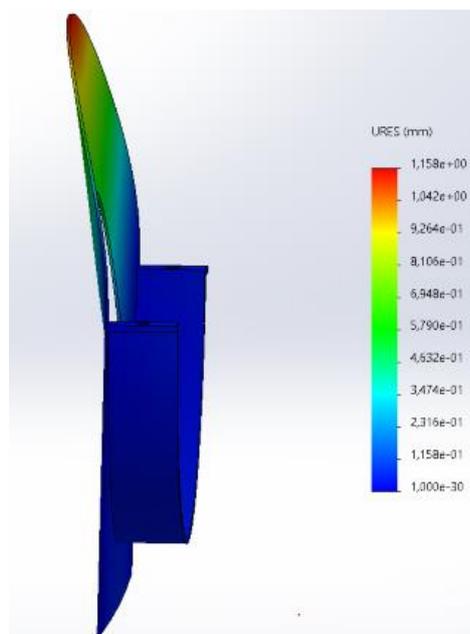


Figura 50. Deformaciones en de la pared de la cámara de despulpado. Fuente: Propia.

En la figura 51 se muestra la simulación del factor de seguridad en la pared izquierda de la cámara de despulpado.

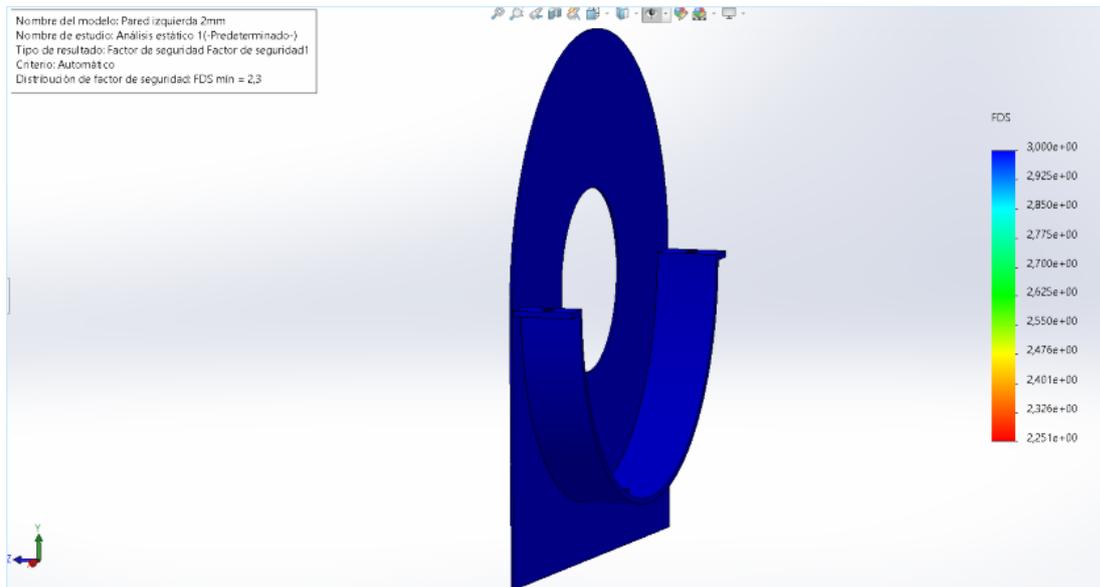


Figura 51. Factor de seguridad de la pared de la cámara de despulpado. Fuente: Propia.

Como podemos ver en la figura 52 y 53 Las deformaciones ya son considerables y perceptibles, el factor de seguridad también cumple con un margen pequeño, por lo tanto, se recurre a un parámetro de diseño para ayudar a dar rigidez a la placa, se trata de dar un pequeño dobléz a la lámina en todo su perímetro, así ayudamos a que la lámina no pandee, una vez se realizó este cambio se volvió a correr la simulación obteniendo los siguientes resultados:

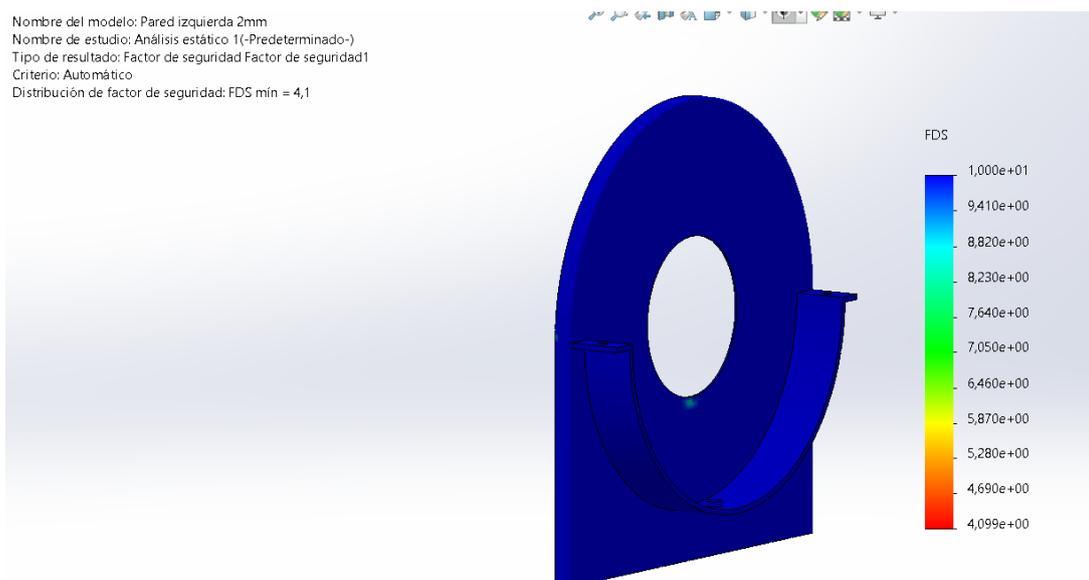


Figura 52. Factor de seguridad de la pared de la cámara de despulpado con dobléz en la lámina. Fuente: Propia

Nombre del modelo: Pared izquierda 2mm
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 161,935

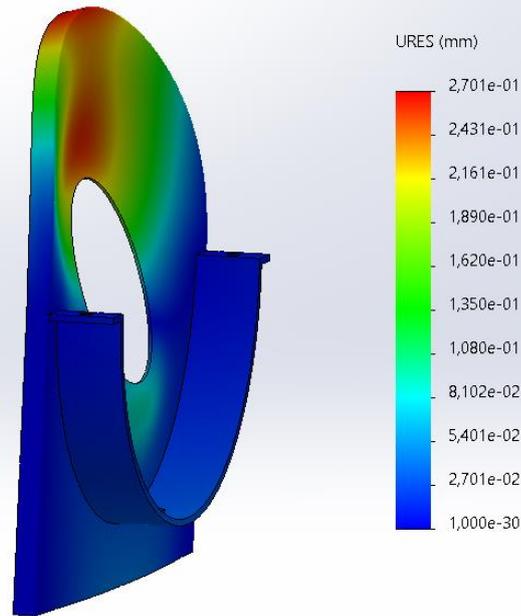


Figura 53. Deformaciones en de la pared de la cámara de despulpado con doblez en la lámina. Fuente: Propia.

Con el doblez que se le dio a la lámina en los extremos logramos duplicar el factor de seguridad y las deformaciones pasan a ser imperceptibles. Por lo tanto, se concluye en ocupar una lámina de 2 mm de espesor con dobleces en su perímetro para ganar rigidez.

2.8 Costos de fabricación

A continuación, se muestra un resumen de los costos de cada elemento de máquina considerando la materia prima, uso de máquina herramienta (procesos de fabricación) y la mano de obra.

En la tabla 32 se muestran los gastos ejecutados para el transportador helicoidal.

Tabla 32. Costos para el transportador helicoidal,

Costos del transportador helicoidal		
	Detalles	Costos
Materia prima	Plancha y eje de acero inoxidable	\$ 25,00
Procesos de fabricación	Corte laser, torno, limadora, solda TIG	\$ 35,00
Mano de obra	Técnico	\$ 20,00
	Total	\$ 80,00

En la tabla 33 se muestran los gastos ejecutados para el eje conducido.

Tabla 33. Costos para el eje conducido.

Costos del eje conducido		
	Detalles	Costos
Materia prima	Eje de acero inoxidable calibrado de 1 [in]	\$ 50,00
Procesos de fabricación	Torneado y fresado de chaveteros.	\$ 30,00
Mano de obra	técnico	\$ 20,00
	Total	\$ 100,00

En la tabla 34 se muestran los gastos ejecutados para el soporte del agitador.

Tabla 34. Costos para el soporte del agitador.

Costos del soporte del agitador		
	Detalles	Costos
Materia prima	Platina y eje de acero inoxidable	\$ 30,00
Procesos de fabricación	Torneado, Limado, suelda TIG y taladrado	\$ 30,00
Mano de obra	técnico	\$ 20,00
	Total	\$ 80,00

En la tabla 35 se muestran los gastos ejecutados para las palas.

Tabla 35. Costos para las palas.

Costos de las palas		
	Detalles	Costos
Materia prima	Platina y eje de acero inoxidable	\$ 25,00
Procesos de fabricación	Corte, torno, limadora, suelda TIG	\$ 40,00
Mano de obra	técnico	\$ 20,00
	Total	\$ 85,00

En la tabla 36 se muestran los gastos ejecutados para el agitador.

Tabla 36. Costos para el agitador.

Costos del agitador		
	Detalles	Costos
Materia prima	Nylon	\$ 10,00
Procesos de fabricación	Fresado y taladrado	\$ 15,00
Mano de obra	Propia	\$ -
	Total	\$ 25,00

En la tabla 37 se muestran los gastos ejecutados para las paredes de la cámara de despulpado.

Tabla 37. Costos de las paredes de la cámara de despulpado.

Costos de las paredes de la cámara de despulpado		
	Detalles	Costos
Materia prima	Plancha y platinas de acero inoxidable	\$ 40,00
Procesos de fabricación	Corte laser, doblado, rolado, suelda TIG	\$ 80,00
Mano de obra	técnico	\$ 20,00
	Total	\$ 140,00

En la tabla 38 se muestran los gastos ejecutados para el transportador helicoidal.

Tabla 38. Costos del Tamiz

Costos del tamiz		
	Detalles	Costos
Materia prima	Plancha y platinas de acero inoxidable	\$ 50,00
Procesos de fabricación	Corte laser, rolado y suelda TIG	\$ 50,00
Mano de obra	técnico	\$ 20,00
	Total	\$ 120,00

Ahora que tenemos los costos por elementos, se consolida una tabla con los gastos totales para fabricar todas las piezas correspondientes al componente B, Es necesario mencionar que algunos de los materiales se consiguieron de retazos de planchas, platinas o ejes, sin embargo se considero dentro de los precios.

Tabla 39. Costo total para los elementos del componente B de la máquina despulpadora

Consolidación de costos	
Costo de los elementos de máquina	\$630,00
Gastos adicionales (10% del total)	\$63,00
Costos de pernos, chavetas, tuercas, prisioneros, insumos, etc.	\$50,00
Costo Total del componente B	\$743,00

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Discusión de algunos resultados de diseño, simulaciones y fabricación.

En la etapa de diseño se concluyó adoptar geometrías y dimensiones estudiadas o calculadas, sin embargo, en la etapa de construcción muchas veces suceden cambios eventuales, ya sea por facilidad de fabricación, dimensiones disponibles en el mercado, consideraciones de ensamblaje, etc. Es por estos motivos que tenemos varias observaciones que se detallan a continuación.

1. En el caso del eje conducido, los cálculos nos recomiendan un eje de 14,5 mm, sin embargo se decidió usar un eje calibrado de una pulgada, así garantizamos que el eje cumpla su función disminuyendo la deflexión y también garantizamos que cumpla a pesar de tener el mecanizado de chaveteros.
2. El eje no posee hombros o cambios de diámetro, todas las piezas fueron diseñadas considerando que estarán montadas sobre bocines con chaveteros y prisioneros para prevenir el desplazamiento axial.
3. Para el tamiz se averiguó varios precios de la plancha perforada con el diámetro que requeríamos, sin embargo, cuando se realizó los cortes laser de la plancha también se utilizó esta tecnología para cortar los orificios del tamiz, dejando un acabado sin rebabas y con bastante precisión.

4. Los agitadores se fabricaron en una placa de nylon de 1 cm de espesor, por el área de esta pieza se decidió dejarla con esta medida y no maquirarla.
5. Para las paredes de despulpado se realizó el dobléz en todo el perímetro de la pieza como se mencionó en el diseño, debido al dobléz las dimensiones no quedaron exactamente a las.
6. Para el caso del transportador helicoidal se le dio un paso de 6 cm, por lo tanto tiene solamente 2 espiras, todo esto debido a la corta longitud de la pieza, sin embargo cuando se realizó las pruebas de despulpado se presenció que trabaja bien, no existe acumulamientos y tampoco se traba la fruta.

3.1.2 Construcción.

Parte de los resultados obtenidos una vez terminada la etapa del diseño de los elementos es la construcción de estos, a continuación, se muestran varias figuras de las piezas obtenidas, junto con una breve explicación del proceso constructivo.

Tamiz

Para el tamiz se utilizó corte laser con CO₂, este proceso nos permitió obtener las piezas con dimensiones exactas, ya que la máquina posee una gran precisión de corte, tal es el caso que las perforaciones del tamiz también fueron realizadas con este método. Posteriormente se realizó un proceso de barolado para dejar el tamiz con una geometría de semi circunferencia. Una vez se llegó a la geometría deseada se procedió a barolar las platinas que fueron soldadas posteriormente al tamiz con suelda TIG.

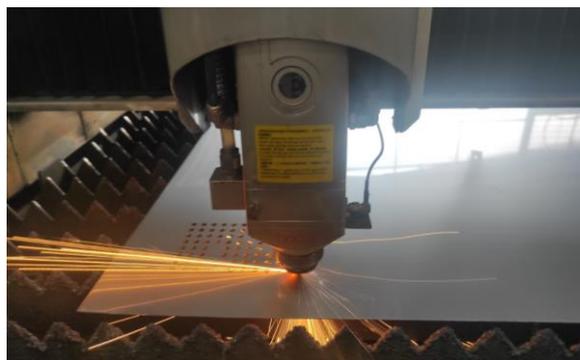


Figura 54. Corte laser de las perforaciones del tamiz. Fuente: Propia

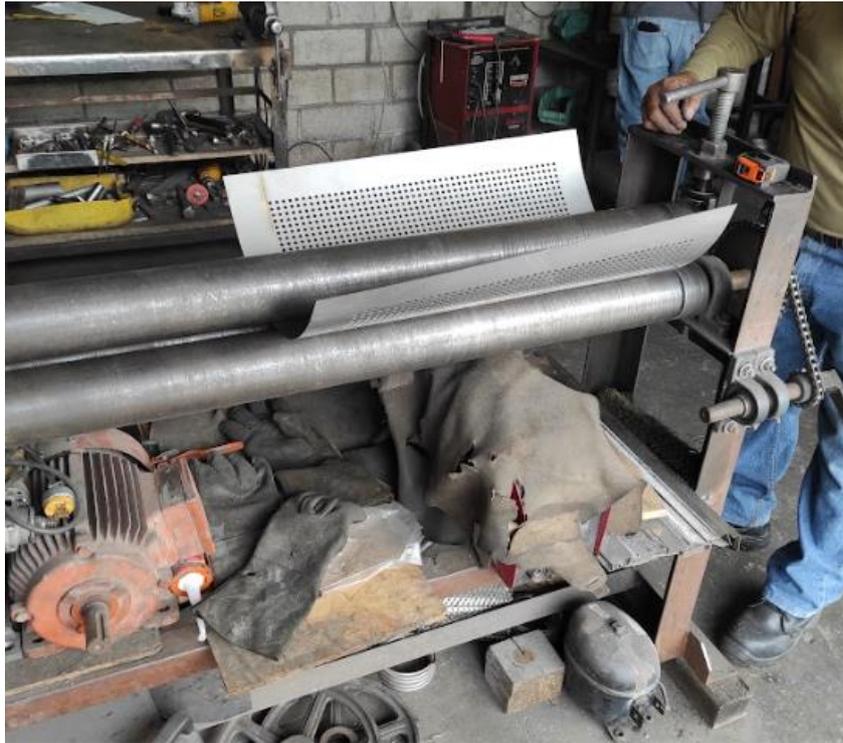


Figura 55. Proceso de barolado del tamiz. Fuente: Propia.



Figura 56. Suelda TIG para el tamiz. Fuente: Propia



Figura 57. Tamiz completamente construido. Fuente: Propia.

Paredes de despulpado.

Para las paredes también se utilizó corte laser, se utilizó paredes de 2 mm de espesor con doblez en su perímetro para ganar rigidez.



Figura 58. Corte laser de las paredes de la despulpadora y los helicoides para el transportador. Fuente: Propia.



Figura 59. Ensamblaje de las paredes de despulpado y el tamiz.

Transportador helicoidal.

Para el transportador helicoidal se cortó con láser una plancha de 2mm de espesor con las dimensiones diseñadas, se cortaron 2 discos ranurados como se puede ver en la figura 58 con la finalidad de darle un cierto ángulo y crear la hélice que posteriormente fue soldada en un bocín.



Figura 60. Transportador helicoidal. Fuente: Propia.

Palas.

En la construcción de las palas se ocupó una platina, se cortó a las longitudes diseñadas y se les rectificó con un proceso de desbaste en la fresa, posteriormente fueron soldadas en un bocín.



Figura 61. Palas. Fuente: Propia.

Agitador y su soporte.

Para el soporte del agitador se ocupó una placa con las dimensiones diseñadas, fueron perforadas para que se pueda sujetar a los agitadores, después se soldó a un bocín con un ángulo para que logre hacer que la pulpa roce con el tamiz y avance al mismo tiempo. En el caso del agitador fue construido de una plancha de nylon, posteriormente fue rectificó en la fresadora y perforado.

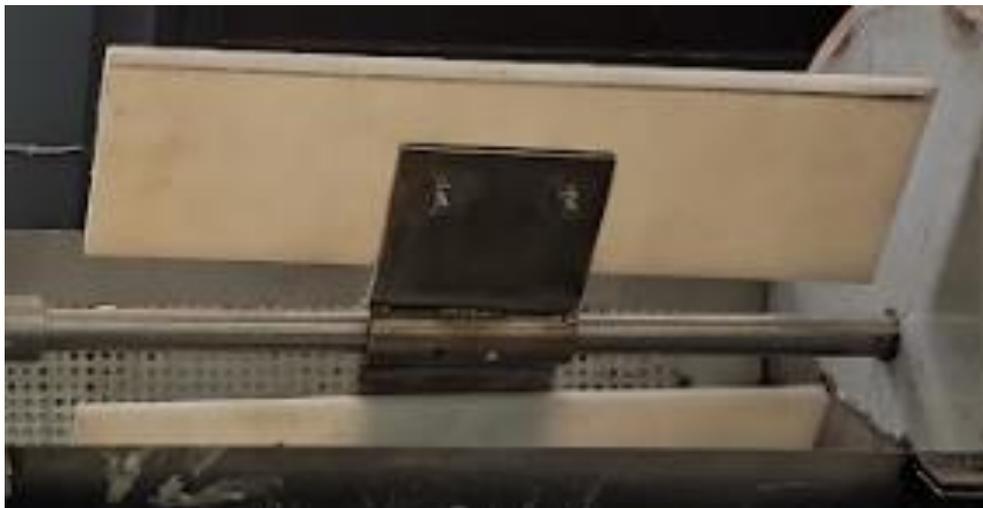


Figura 62. Agitador y su soporte ensamblado sobre el eje. Fuente: Propia.

Maquina despulpadora completa.



Figura 63. Máquina despulpadora ensamblada completamente. Fuente: Propia.

3.1.3 Protocolo de pruebas.

El protocolo de pruebas consiste en una serie de pasos ordenados que permiten verificar que las especificaciones técnicas se cumplan de la mejor manera posible. Estos protocolos han sido desarrollados por los diseñadores de tal forma que se garantice el cumplimiento de los objetivos y la verificación del alcance.

Prueba 1

Nombre del proceso: Verificación de la máquina apagada.

Objetivo: Verificar el ensamblaje general de la máquina, que todo este correctamente ajustado y las conexiones eléctricas protegidas y verificadas.

Responsable del proceso: Estudiantes titulares del proyecto.

Conjunto de actividades

1. Verificación de una fuente de energía eléctrica 220V con un multímetro.
2. Verificar que las conexiones eléctricas estén ajustadas correctamente al motor y variador de frecuencia.

3. Verificar que todos los pernos que conforman el ensamblaje este apretados y posean arandelas de presión y pernos de seguridad.
4. Verificar que el eje se encuentre ajustado en las chumaceras y estas estén correctamente lubricadas.
5. Verificar que las poleas del motor y eje conducido se encuentren alineadas.
6. Verificar la tensión de la banda, se recomienda que tenga un juego libre de alrededor de 1 cm.
7. Girar el eje a mano antes de conectar la máquina para verificar que no exista rozamientos de ningún tipo.

Notas

Una vez se realice la verificación de los 7 puntos, el operador puede conectar la máquina a la fuente de electricidad

Entradas.

1. Herramientas como multímetros, torquímetros, llaves, etc.
2. Elementos de máquina montados sobre la estructura

Salidas

1. Máquina inspeccionada y lista para funcionar.

Prueba 2

Nombre del proceso: Verificación de la máquina encendida en vacío.

Objetivo: Verificar que la máquina funcione libremente sin carga, evidenciar presencia de vibraciones, rozamientos, sonidos, etc.

Responsable del proceso: Estudiantes titulares del proyecto.

Conjunto de actividades

1. Verificar que nada se encuentre estorbando a los elementos que empezarán a girar.
2. Energizar la máquina
3. Girar la perilla del sentido de giro de la máquina y hacerla girar primero a pocas RPM para verificar que gira libremente.
4. Ir aumentando las RPM gradualmente y observar el comportamiento de la máquina.

5. Verificar la corriente de consumo de la máquina en el arranque y también del funcionamiento en vacío.
6. Apagar la máquina y verificar si todos los elementos siguen fijos en sus posiciones y que nada se haya aflojado.

Notas

1. Si se puede evidenciar un sonido de rozamiento, golpeteos, vibraciones excesivas, etc. Apague la máquina y revise si los elementos están bien anclados y ajustados.
2. Si los resultados son satisfactorios se procede a la prueba 3 que consiste en hacer funcionar la máquina al 50% de su capacidad y posteriormente al 100%

Entradas:

1. Energía eléctrica

Salidas:

1. Funcionamiento de la máquina en vacío
2. Máquina inspeccionada y lista para funcionar.

Prueba 3

Nombre del proceso: Verificación de la máquina funcionando al 50% y 100% de capacidad.

Objetivo: Verificar que la máquina cumpla los objetivos planteados de una manera satisfactoria.

Responsable del proceso: Estudiantes titulares del proyecto.

Conjunto de actividades.

1. Pesar 12,5 kg de guanábana pelada
2. Encender la máquina y ubicar la velocidad alrededor de 600 RPM al eje conducido.
3. Colocar recipientes en las salidas de la pulpa y de las pepas.
4. Alimentar a la máquina de fruta de una manera homogénea y suave.
5. Medir los tiempos de despulpado, corrientes de trabajo y verificar que todos los elementos estén en su lugar.
6. Una vez la máquina haya terminado de despulpar sacar los pesos de la pulpa y de las pepas.

7. Apagar la máquina y verificar que todo siga en su sitio y nada se haya aflojado.
8. Repetir el ensayo a máxima capacidad.

Notas.

1. Si durante el proceso de despulpado la máquina se traba, encender la marcha atrás para liberar el eje, después vuelva a programar el giro.
2. Si durante el ensayo se observa golpeteos, sonidos raros o rozamientos, apague la máquina y verifique los elementos.

Una vez que la máquina despulpadora de frutas haya cumplido satisfactoriamente las 3 pruebas, se puede usar normalmente, tomando siempre en cuenta que para cada fruta las RPM varían y es responsabilidad del operador realizar distintas pruebas, a continuación, se tabulan los resultados obtenidos.

Tabla 40. Resultados obtenidos en el protocolo de pruebas. Fuente: Propia.

Consideraciones	Resultados
Corriente de arranque	2,6 [A]
Corriente en vacío	2,6 [A]
Corriente a plena carga	3,61 [A]
Tiempos de despulpado al 50% y 100% de capacidad respectivamente	2:39 [min] / 4:18 [min]
Velocidad al eje	643 [RPM]
Velocidad óptima experimental	350 [RPM]
Masa de Guanábana para el 50% de carga	4,17 [kg]
Masa de Guanábana para el 100% de carga	8,33 [kg]
Masa de pepa y pulpa obtenida respectivamente al 50% de capacidad	698,6 [gr] / 3057,39 [gr]
Masa de pepa y pulpa obtenida respectivamente al 100% de capacidad	1352,56 [gr] / 5894,54 [gr]

En el anexo V se adjuntan los resultados de las 3 pruebas del protocolo.

A continuación, se adjuntan fotografías de las pruebas realizadas a la máquina en las instalaciones de la EPN.



Figura 64. Estudiantes responsables del proyecto realizando la puesta a punto de la máquina despulpadora. Fuente: Propia.



Figura 65. Proceso de despulpado, pulpa saliendo por la tolva y almacenándose en un recipiente. Fuente: Propia.



Figura 66. Pulpa obtenida después de las pruebas. Fuente: Propia.



Figura 67. Muestra tomada de la tolva de salida de pepas. Fuente: Propia.

3.2 Conclusiones

- En el periodo de pruebas se calibró la máquina para que gire a unas 600 RPM aproximadamente, esto debido a la información recolectada en el estado del arte y tomando en referencia datos técnicos de máquinas en el mercado, sin embargo, en el caso de nuestra máquina se halló que el mejor rango de trabajo fue entre las 300 y 400 RPM, es en esta velocidad donde la máquina separó de mejor manera la pulpa de las pepas.
- En la mayoría de las máquinas despulpadoras se encontró que los agitadores tienen una forma cónica, en este proyecto se trató de innovar dándole al agitador un solo soporte centra con un ángulo de 5 grados, esto permitió que la pulpa avance a lo largo del tamiz y no haya acumulaciones, sin afectar el rendimiento del despulpado.
- El motor tiene un rango de corriente de trabajo que va desde los 3 a 4 [A], esto permite que el motor no sea forzado y por lo tanto no exista recalentamientos en las bobinas, es así que no se requiere de un dispositivo externo que refrigere el motor.
- El transportador helicoidal no presenta problemas cuando la máquina es sobre cargada de fruta en su tolva de alimentación, en las pruebas se verificó que no existe acumulación y tampoco existe atascamiento. Por lo tanto, cumple su función de alimentar de una manera homogénea a la cámara de despulpado.
- Las pepas que salen de la máquina no presentan fracturas, por lo tanto, las palas cumplen con su función de ablandar el alimento previo a ser despulpado y todo esto sin romper ni triturar las pepas.
- La máquina no presenta vibraciones considerables en bajas RPM (200-400), sin embargo, a medida que se aumentan las revoluciones, existe la presencia de vibraciones, esto puede deberse a desbalanceo en los elementos que están montados en el eje.
- La máquina cumple con la función de modularidad, la mayoría de sus elementos son desmontables, esto ayuda al momento de realizar una limpieza o mantenimiento de la misma.
- El tamiz modular se comporta bien en funcionamiento de la máquina, no existe fugas por la costura donde se unen y la parte perforada se encuentra bien

dimensionada ya que en el periodo de pruebas la pulpa no presento ni una sola pepa.

- El variador de frecuencia que se adicionó posteriormente al diseño fue de gran ayuda para el óptimo funcionamiento de la máquina, ya que debido a la capacidad de controlar las RPM se pudo hallar el punto donde la máquina trabajo de la mejor manera.
- El nylon utilizado en los agitadores ayudó a que la máquina redujera su peso y debido a su baja densidad se logró reducir la potencia requerida para moverlos, también ayudó a reducir los costos, ya que en comparación con el acero inoxidable es mucho más barato.
- El porcentaje de residuos de pulpa que salen por la tolva de pepas está en un 10% un porcentaje bajo con relación a la cantidad de pulpa obtenida en el proceso, sin embargo, esto puede solucionarse fácilmente al volver alimentar la máquina con este material y realizar un segundo despulpado.
- La máquina fue diseñada y construida en un lapso de 6 meses ocupando un presupuesto de alrededor de los \$1800 incluidos gastos imprevistos.

3.3 Recomendaciones

- En el Periodo de pruebas se evidencio que existe un poco de acumulación de fruta sin despulpar que se queda estática debido a que el alcance de las palas no llega a ese rincón, se recomienda realizar una extensión de las palas para que cubra todo el largo del tamiz.
- En la construcción se utilizó una reducción de poleas con razón 2 a 1, esto permite que, a máximas revoluciones del motor, el eje conducido llegue a 650 RPM aproximadamente, sin embargo, como se evidencio en las pruebas, 300 RPM son suficientes para el despulpado así que se podría aumentar más la relación de las poleas.
- Para un trabajo suave por parte de la máquina se recomienda que el operador alimente la tolva de ingreso de la fruta de una manera suave.
- Las RPM de despulpado no son las mismas para todas las frutas, por lo tanto, se recomienda experimentar con varias frutas y a distintas RPM para crear una tabla de trabajo para la máquina.

- Si bien el motor no está trabajando de una manera forzada, se recomienda que por cada hora de uso de la máquina, se descanse 20 min para aumentar la vida útil del motor,
- Antes de realizar limpieza o mantenimiento a la máquina se debe desconectar la misma de la corriente eléctrica.
- Se puede fabricar varios tamices más con diámetros de agujeros distintos para poder intercambiarlos dependiendo la fruta a despulpar.
- Nunca ingresar la mano por el ducto de alimentación de la máquina, puede existir riesgo de atrapamiento.

3.4 Referencias

- [1] Elyex, «Frutas del Ecuador,» 04 03 2022. [En línea]. Available: <https://elyex.com/frutas-ecuatorianas-costa-sierra-y-oriente/>. [Último acceso: 20 06 2022].
- [2] Proveedores, «Grandes ventajas que ofrece la pulpa de fruta,» 31 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.proveedores.com/articulos/grandes-ventajas-que-ofrece-la-pulpa-de-frutas>. [Último acceso: 28 Junio 28].
- [3] E. Defaz Pallasco y F. Tuza Cuzco, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESPULPADORA DE FRUTAS HORIZONTAL CON UNA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE 250 Kg/h, Quito: UPS, 2011.
- [4] Carbone, «Ficha Técnica del Acero Inoxidable,» Carbone Stainless Steel , [En línea]. Available: <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>. [Último acceso: 03 01 2023].
- [5] Citalsa, «¿QUÉ ES UNA DESPULPADORA Y QUÉ PROVECHO PODEMOS SACARLE?,» Citalsa, equipos y servicios de calidad, [En línea]. Available: <https://www.citalsa.com/blogs/noticias/que-es-una-despulpadora-y-que-provecho-podemos-sacarle>. [Último acceso: 2023 01 04].

- [6] Easy Empack, «Despulpadora de frutas,» [En línea]. Available: <https://www.easyempack.com/despulpadora-de-frutas-en-guayaquil-2/>. [Último acceso: 04 01 2023].
- [7] Talleres Prados, «Despulpadoras de frutas y verduras,» Maquinaria agroalimentaria y oleícola , [En línea]. Available: <https://despulpadoradefrutas.com/despulpadoras/#1569243859376-b12c426e-1540>. [Último acceso: 04 01 2023].
- [8] J. P. Vozmediano, «Etimologías Filosóficas,» 24 09 2013. [En línea]. Available: <http://etimologiaspalomar.blogspot.com/2013/09/metodo.html>. [Último acceso: 07 01 2023].
- [9] C. R. Romeva, Diseño Concurrente, Balcelona: Centre de Publicacions del Campus Nord, 2002.
- [10] Martin, «Transportadores Helicoidales,» [En línea]. Available: https://es.martinsprocket.com/docs//catalogs/material%20handling/2_transportadores%20helicoidales/seccion_h_helicoidales.pdf. [Último acceso: 13 01 2023].
- [11] M. d. M. y N. Czyhrinciw, «Principales propiedades físicas de algunas frutas tropicales,» de *Principales propiedades físicas de algunas frutas tropicales*, Venezuela , Depto. de Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias, U. C. V., p. 12.
- [12] R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shygly, Mexico: Mc. Graw Hill, 2011.

4 ANEXOS

ANEXO I



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		304	316	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm ³)	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm ²)	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 ⁶ C ⁻¹)	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	13981454	13711398	
	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm ²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm ²)	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A ₅) MIN	(%)	≥ 45		
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm ²)	160 / 180	160 / 180	
	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm ²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm ²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ _{1/10⁵/t} (N/mm ²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5		
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

* Son aceptables tolerancias de un 1%

Figura 68. Ficha técnica del acero inoxidable AISI 304

ANEXO III

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 69. Tablas de diseño a fatiga del eje. Fuente: [12]

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

Figura 70. Tablas de diseño a fatiga del eje. Fuente: [12]

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_σ	Factor de confiabilidad 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 71. Tablas de diseño a fatiga del eje. Fuente: [12]

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_σ	Factor de confiabilidad 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 72. Tablas de diseño a fatiga del eje. Fuente: [12]

ANEXO IV

SIEMENS

Datasheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors

Hoja de datos de motores de jaula de ardilla trifásicos

Ordering data: 1LE0141-0DB36-4AA4-Z D80+

Datos de pedido:



Electrical Data / Datos Eléctricos

Rated motor voltage	220 V	380 V	440 V
Tensión nominal	DD	YY	D
Frequency	60Hz		
Frecuencia	60Hz		
Rated power	1 HP		
Potencia Nominal	1 HP		
Rated motor speed	1705 rpm		
Velocidad Nominal	1705 rpm		
Rated motor torque	4.2 Nm		
Torque Nominal	4.2 Nm		
Nominal current	3.2 A	1.86 A	1.61 A
Corriente Nominal	3.2 A	1.86 A	1.61 A
Starting / rated motor current (Ia/In)	6		
Corriente de arranque	6		
Starting / rated motor torque (Ta/Tn)	2		
Torque de arranque	2		
Efficiency class	IE2		
Efficiency:	4/4 78		
Eficiencia	4/4 78		
Power factor	0.78		
Factor de potencia	0.78		
Service factor	1.15		
Factor de servicio	1.15		
Motor protection :	IE2		
Protección del motor	IE2		

General data / Datos generales

Frame size	80M
Tamaño constructivo	80M
Type of construction	IM B3
Tipo de construcción	IM B3
Weight in kg, without optional accessories,	15.5 Kg
Peso motor, sin opciones	15.5 Kg
Frame material	Hierro / Cast Iron
Material carcasa	Hierro / Cast Iron
Degree of protection	IP 55
Grado de protección	IP 55
Method of cooling, TEFC	IC 411
Método de refrigeración	IC 411
Insulation	Clase F (155°C)
Aislamiento	Clase F (155°C)
Duty type	S1
Tipo de servicio	S1
Direction of rotation	Bidireccional
Sentido de giro	Bidireccional
Terminal box position :	
Posición caja de bornes	

Mechanical Data / Datos mecánicos

Type of bearing	Bolas	
Tipo de rodamientos	Bolas	
Bearing DE NDE	6204 2RZ C3	6204 2RZ C3
Rodamiento AS/BS	6204 2RZ C3	6204 2RZ C3
Lubricants		
Lubricante		

Environmental conditions / Condiciones ambientales

Ambient temperature	-20.0 °C - +40 °C
Temperatura ambiente	-20.0 °C - +40 °C
Altitude above sea level	1000 m
Altitud sobre el nivel del mar	1000 m
Standards and specifications	IEC 60034
Normas internacionales	IEC 60034

Explosion protection / Protección contra explosión

Type of protection	Without (Standard)
Modo de protección Ex	Without (Standard)
Hotline Técnica Línea Gratuita Nacional: 01 8000 518 884 Opción 1 En Bogotá: 571.294 2323 Opción 1 support.aan.automation@siemens.com www.siemens.com/aan/hotlinetecnica	

Special design / Versiones especiales

--

Figura 73. Ficha técnica del motor utilizado.

ANEXO V

Tabla 41. Resultado del protocolo de pruebas. Fuente: Propia.

MAQUINA:	DESPULPADORA DE FRUTA	FECHA:	18 de febrero del 2023
ESTUDIANTES:	Romero Stalyn	PROFESOR:	Ing. Mario Cesén, MSc.
	Guevara Andrés	HORA INICIAL	8:00 a. m.
	Chávez Alejandro	HORA FINAL	17:30 AM

LISTA DE VERIFICACIÓN DE ESTADO DE LA MÁQUINA ANTES DEL INICIO DE PRUEBAS (MÁQUINA DESCONECTADA)		
ASPECTO DE INSPECCIÓN	CHEQUEO	OBSERVACIÓN
Verificación de alineación de eje	X	Eje ajustado y alineado
Verificación de alineación de poleas	X	Poleas alineadas
Verificación de torque de apriete de poleas	X	SPA 1610 20Nm y 2012 31Nm
Verificación de tensión de banda	X	sigma=6.88mm; K=6 N
Verificación de movimiento manual para escuchar si existe rozamiento entre elementos móviles	X	No existe rozamiento
Verificación de sujeción de tuerca de plato rotativo móvil	X	Tuerca ajustada
Verificación de ajuste de pernos de ensamblaje de componentes	X	Pernos y tuercas ajustados
Verificación que no existan cables eléctricos no aislados	X	Cable eléctrico en buen estado
Verificación de las características eléctricas de la toma eléctrica	X	Toma eléctrica en buen estado
Verificar elementos ajenos al desarrollo de la trayectoria de operación	X	Libre movimiento de los elementos
TOMA DE DATOS (MÁQUINA CONECTADA Y ENCENDIDA)		
ASPECTO DE INSPECCIÓN	PARÁMETRO	OBSERVACIÓN
Verificación de sentido de giro del eje conducido	X	Sentido horario
Intensidad de corriente eléctrica del motor en arranque	X	$P = (3^{0.5}) * V * I * \cos\phi$; $\cos\phi = 0.78$
Intensidad de corriente eléctrica del motor en vacío (sin producto)	X	2,6 [A]
Verificar del movimiento de las partes de la máquina previa a la carga	X	Sin novedad
Verificación del número de rpm de la polea del motor	X	1200 RPM
Verificar el número de rpm de la polea conducida	X	600 RPM
FUNCIONAMIENTO (MÁQUINA EN OPERACIÓN) PARA OBTENER PULPA DE GUANÁBANA		
ASPECTO DE INSPECCIÓN	PARÁMETRO	OBSERVACIÓN
Medir 8,33kg de Guanábana sin cáscara a despulpar correspondientes a una carga	X	
Ubicar recipientes de obtención de pulpa y pepas	X	
Operación de despulpado con carga al 50% hasta que salgan todas las pepas	X	
Intensidad de corriente eléctrica del motor en operación al 100%	X	Entre 3 y 4 [A] en funcionamiento
Medición del tiempo de despulpado con carga al 50% hasta que salgan todas las pepas	X	2:39 min
Medición del tiempo de despulpado con carga al 100% hasta que salgan todas las pepas	X	4:18 min
Fotografías de resultado del despulpado	X	