

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESPULPADORA
DE FRUTA**

**COMPONENTE C: SISTEMA DE POTENCIA Y SISTEMA DE
ALIMENTACIÓN Y SALIDA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
INGENIERÍA MECÁNICA**

STALYN RUBÉN ROMERO CARRILLO

stalyn.romero@epn.edu.ec

DIRECTOR: MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA

mario.cesen@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2023

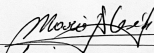
CERTIFICACIONES

Yo, STALYN RUBÉN ROMERO CARRILLO 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.



STALYN RUBÉN ROMERO CARRILLO

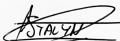
Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por STALYN RUBÉN ROMERO CARRILLO, bajo mi supervisión.



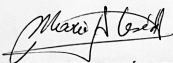
MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes 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.



STALYN RUBÉN ROMERO CARRILLO



MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN-DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO..	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco Teórico	2
2. METODOLOGÍA	31
2.1 Selección del motor.....	31
2.2 Selección del sistema de poleas	36
2.3 Diseño de las tolvas	43
2.4 Análisis de Costos.....	49
3. PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....	52
3.1 Pruebas.....	52
3.2 Resultados	56
3.3 Conclusiones.....	60
3.4 Recomendaciones.....	61
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
5. ANEXOS.....	66

RESUMEN

El proyecto del diseño y construcción de una despulpadora de fruta, específicamente del desarrollo del componente C que corresponde al sistema de potencia, alimentación y salida comprende varias fases.

Primeramente, se establece el estado del arte con el fin de recopilar la información necesaria, realizar un marco teórico y un análisis Benchmarking. A continuación, se obtienen los requerimientos y especificaciones técnicas a partir del análisis de la matriz de calidad QFD. Luego, con el análisis funcional y la selección de alternativas se obtienen soluciones de todo el componente C manteniendo clara la interacción y soluciones con el resto de los componentes, llegando a una solución de la máquina completa.

En el siguiente capítulo que es Metodología, se ejecuta todo el desarrollo del diseño y sus justificaciones. Para el componente C, se establecen algoritmos paramétricos bajo sustento analítico para la selección correcta de los sistemas de poleas y motor, siendo este último validado con la medición real de potencias en campo. Además, con modelos de simulación se acompañan los cálculos para el dimensionamiento de las tolvas del sistema de alimentación y salida. También, se registran los valores reales de los costos del componente, que provienen de un análisis previo.

Finalmente, en el último capítulo se registran los resultados del ensamble logrado como componente y en general de la máquina construida. Siendo estos, las dimensiones reales obtenidas, pruebas de funcionamiento, conclusiones generales, recomendaciones del estudio y de operación de la despulpadora; así como también mejoras de optimización del proyecto.

PALABRAS CLAVE: potencia, tolva, benchmarking, QFD, analítico, simulación.

ABSTRACT

The project for the design and construction of a fruit pulper, specifically the development of component C that corresponds to the power, feeding and output system has several phases.

Firstly, a state of the art is established in order to collect the necessary information, carry out a theoretical framework and a Benchmarking analysis. Next, the requirements and technical specifications are obtained from the analysis of the QFD quality matrix. Then, with the functional analysis and the selection of alternatives, solutions of the entire component C are obtained, keeping the interaction and solutions with the rest of the components clear, reaching a solution of the complete machine.

In the next chapter, which is Methodology, all the development of the design and its justifications are executed. For component C, parametric algorithms are established under analytical support for the correct selection of the pulley and motor systems, the latter being validated with the real measurement of powers in the field. In addition, with simulation models the calculations for the dimensioning of the hoppers of the feeding and exit system are accompanied. Also, the real values of the component costs are recorded, which come from a previous analysis.

Finally, in the last chapter the results of the assembly achieved as a component and in general of the full machine. Being these, the real dimensions obtained, performance tests, general conclusions, recommendations of the study and operation of the machine, as well as project optimization improvements.

KEYWORDS: power, hopper, benchmarking, QFD, analytical, simulation

1. INTRODUCCIÓN -

DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Los sistemas del componente c corresponden a un tercio del ensamble total de la máquina despulpadora de fruta. En el presente análisis, se desarrollará el diseño, selección y construcción de los siguientes elementos de máquina:

C1 Tolva de alimentación: elemento que permite ingresar y transportar la fruta pelada hacia los ductos de alimentación.

C2 Tolva de salida de pulpa: elemento que permite evacuar de la máquina la pulpa y jugo procesado de la fruta posterior a la cámara de despulpado.

C3 Tolva de salida de pepas: elemento que permite evacuar de la máquina las pepas de la fruta posterior a la cámara de despulpado.

C4 Ducto de alimentación cuadrado: ducto cuadrado que conecta la tolva de alimentación con el tornillo sin fin y el ducto de alimentación redondo.

C5 Ducto de alimentación redondo: ducto redondo que conecta el ducto de alimentación cuadrado con la cámara de despulpado, en su interior el avance se genera gracias al tornillo helicoidal y el proceso de predespulpado por medio de las paletas ensambladas en el eje conducido.

C6 Polea conducida: componente del sistema de potencia con diámetro mayor al de la polea del motor para reducir la velocidad y aumentar el torque en el eje conducido; por tanto, en la cámara de despulpado ambas poleas se conectan por la banda de transmisión.

C7 Polea del motor: componente del sistema de potencia con diámetro menor al de la polea conducida ensamblado en el eje del motor y conectado con la otra polea por medio de la banda de transmisión.

C8 Motor: componente normalizado del sistema de potencia que genera el giro a altas revoluciones y bajo torque transmitido directamente a la polea del motor para a su vez transmitir potencia a la polea conducida.

C9 Banda de transmisión: elemento que conecta y transmite potencia y velocidad entre las poleas.

C10 Tablero de control: conexiones eléctricas para el arranque, parada e inversión de giro del motor.

Cabe recalcar que el diseño se adapta a requerimientos del cliente que requiere pruebas experimentales con la fruta Guanábana.

1.1 Objetivo general

Diseñar, seleccionar y construir los elementos de máquina del sistema de potencia, sistema de alimentación y salida de una máquina despulpadora de fruta.

1.2 Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica
- Establecer las necesidades y especificaciones
- Analizar alternativas de solución y seleccionar la más conveniente
- Diseñar y seleccionar elementos del componente C
- Elaborar modelos 3D, su ensamble, sus planos de conjunto y taller del componente C
- Construir y ensamblar los elementos del componente C

1.3 Alcance

El trabajo de integración curricular consta de múltiples etapas para su consolidación. Inicia con la “Introducción” donde se establece la definición de los objetivos, alcance del proyecto, marco teórico, compuesto del levantamiento de información y análisis benchmarking, conformación de la matriz de calidad QFD para la obtención de las especificaciones técnicas, análisis funcional y selección de las alternativas de solución.

A continuación, se desarrolla la “Metodología” en donde se sustenta el diseño conceptual mediante cálculos, simulaciones y selección de sistemas normalizados enfocado en el diseño de detalle para implementación en la construcción; donde, sus salidas son los planos de construcción. En la fabricación, se usan tecnologías de manufactura como lo es el mecanizado, conformado mecánico y soldadura; posteriormente, se ensamblan los sistemas y se realizan las respectivas pruebas de la máquina en general. Finalmente, se presentan los resultados, conclusiones y recomendaciones.

1.4 Marco Teórico

Generalidades

En los sembríos ecuatorianos, existe una alta demanda de compra de frutas tropicales tales como la sandía, papaya, naranja, guanábana, etc. Dentro del sector, existen muchas empresas que se enfocan en el cultivo y cosecha, como también de productos derivados de esta fruta. La pulpa de fruta es la materia prima base para muchos derivados como jugos, cremas, helados, esencias, entre otros. Por lo tanto, las empresas deben

incrementar su oferta de la pulpa de fruta, de la cual se aumentará su producción y disminuirá gastos en personal.

La pulpa de fruta consiste en la carne de esta sin pepas y cáscara, el proceso de despulpado se realiza de manera manual y con tiempos elevados, por ejemplo, en promedio se obtiene una producción de 6kg/h por cada empleado en muchas de estas empresas [1], de tal forma que para aumentar la producción es necesario incrementar los gastos en la mano de obra, obteniendo un margen de ganancias mínimo.

Es de importancia conocer las RPM para despulpar las distintas frutas, además de los diámetros de los agujeros para generar su tamizado. De esta manera, según estudios de tesis se tiene que “Se determina una velocidad de 763 rpm cuando se despulpa maracuyá, 750 rpm para la frutilla, 725 rpm para el tomate de árbol y 873 rpm para la mora” [2]. Además, para la guanábana trabajan en un rango de 500 a 650 [rpm], como lo manifiesta Tirira [3] en validación experimental. Ahora en cuanto a los diámetros de los agujeros del tamiz, Saquinga [1] establece 3 grupos en base al espesor promedio de la pepa de cada fruta; de esta manera, para pepas pequeñas llamado el agujero es de 0.5mm, para pepas medianas 1.25mm y 3 mm para pepas grandes generándose 3 tamices versátiles. Complementa este punto la marca Zumex [4], que establece 4 juegos de tamices en su despulpadora: “2 mm (pulpa), 3 mm (cerezas), 5 mm (ciruelas), 8 mm (albaricoques)”.

Tabla 1.1. Espesor de fruta [1]

Fruta	Espesor Promedio
Naranja	0,47
Fresa	0,50
Mora	0,63
Tomate	1,43
Taxo	1,80
Maracuyá	1,97
Guayaba	2,57
Guanábana	3,83
Papaya	3,93
Tamarindo	4,17

Por otro lado, conocer el rendimiento promedio de despulpado sirve para saber el aprovechamiento en cada fruta.

Tabla 1.2. Rendimiento promedio de despulpado [5]

Fruta	Zumo	Pulpa	Aprovechamiento	Kg/h
Piña		x	55%	66
Acerola	X		70%	84
Plátano		X	80%	96
Zanahoria		X	80%	96
Guayaba		X	80%	96
Kiwi		X	75%	90
Naranja	X		60%	72
Manzana		X	60%	72
Papaya		X	70%	84
Mango		X	50%	60
Fruta de la pasión	X		55%	66
Fresas	X		92%	110
Pera		X	60%	72
Melocotón		X	60%	72
Mandarina	X		63%	76
Tomate		X	80%	96
Uva	X		70%	84

Ahora bien, enfocándose en la fruta de pruebas escogida, la cual es Guanábana, esta es una fruta tropical proveniente de las regiones con climas secos-semihúmedos con temperaturas entre 25°C y 29°C. La altitud adecuada para las plantaciones no debe exceder los 700 msnm, además en la región costeña del Ecuador, las principales regiones de cultivo se dan en las provincias de Santa Elena, Esmeraldas y Guayas con 180 hectáreas [6]. La guanábana tiene una masa promedio de 2.8 Kg, de los cuales 75.8% (2.12 Kg) corresponde a la pulpa, 12.7% (0.355 Kg) corresponde a la cáscara, 4.7% (0.13 Kg) son semillas, y 6.9% (0.193 Kg) al raquis de la fruta. Además, posee 171 semillas por fruto aproximadamente, considerando así que una guanábana promedio posee 2.3 Kg de pulpa para procesar. [7]

Por otra parte, [8] establece que 1 litro de pulpa de Guanábana de la región tropical del Ecuador pesa 2.080 lb, es decir, 0.9454 kg, otra información técnica a continuación:



Figura 1.1.Partes de la guanábana. [7]

Tabla 1.3. Especificaciones de peso y dimensiones. [8]

Peso y dimensiones promedio		
Peso (Kg)	Diámetro mayor (mm)	Longitud (mm)
3.987	181.45	273.4

Tabla 1.4. Especificaciones de peso y dimensiones. [8]

Volumen y peso de pulpa		
Volumen (L)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/L)
4	3.9454	0.9863

Tabla 1.5. Tamaño medio de pepas. [8]

Dimensiones de pepas		
Ancho (mm)	Longitud (mm)	Espesor (mm)
5.545	8.945	3.33

Tipos de maquina despulpadora

Despulpadora manual

Es una máquina manual la cual transmite la tracción desde la manivela hasta un tornillo sin fin, facilitando a que la fruta se fricione y se exprima por los agujeros que conforma el tamiz. La pulpa se obtiene mediante los agujeros y serán depositados a un recipiente, mientras las pepas y exceso de pulpa se obtiene al final del tamiz y del tornillo sin fin, por medio de la boquilla de salida.

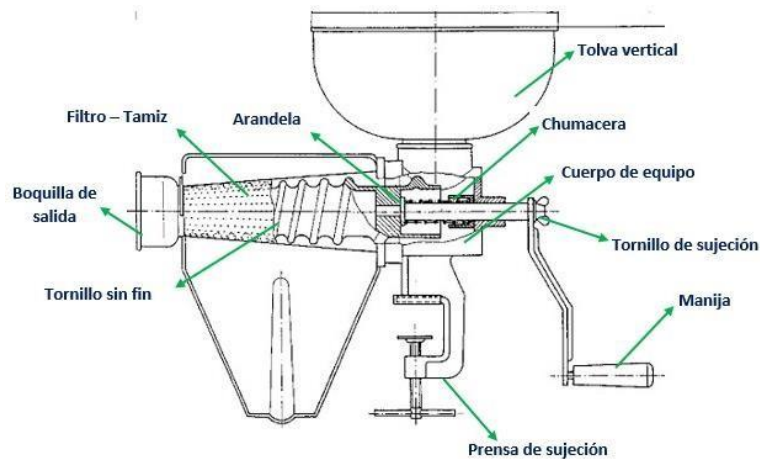


Figura 1.2. Partes de despulpadora manual. [9]

La pulpa con pepas cae desde la tolva vertical hasta el eje horizontal, este empuja la carne de la fruta al tornillo sin fin. Todos los elementos están sujetos al cuerpo de equipo por un tornillo de sujeción y a la prensa de la base.

Despulpadora Semi-industrial

Es una máquina despulpadora, genera tracción al tornillo sin fin por medio de un motor eléctrico de baja potencia, alrededor de 0.50Kw. El motor eléctrico puede estar dispuesto de manera concéntrica al eje y tornillo sin fin, unido por chavetas y chumaceras. Además, por otro lado, la manija es remplazada por una polea y se encuentra unida a una correa hacia el motor, en este caso el motor es aislado de la estructura para un mejor mantenimiento [10].

La capacidad de estas máquinas oscila entre 30 a 100 kg de pulpa por hora, destinada para chicos y medianos consumidores, aprovechando entre el 50 y 80% de la pulpa de fruta. Las piezas y principio de funcionamiento son igual a la despulpadora manual. [10]



Figura 1.3. Despulpadora semi-industrial de tornillo sin fin. [14]

Despulpadora industrial

Son máquinas eléctricas, aportan una capacidad de producción mayor de 150 Kg de fruta por hora. Su diseño es más complejo, se debe a la selección de las piezas y su

funcionalidad, de tal forma que, permite obtener la mayor cantidad de pulpa a mayores velocidades. Así mismo, a causa de sus grandes velocidades angulares se reemplaza el tornillo sin fin por aspas alrededor del eje de tracción. Según su finalidad, se divide en despulpadora vertical, horizontal e inclinada. [10]

Despulpadora industrial horizontal

La tracción generada por el motor comunica al eje donde se ubican las aspas, esta velocidad angular generan una fuerza centrífuga a la carne de la fruta contra el tamiz permitiendo que el fluido de fruta atraviese al mismo por sus orificios, así quedando solamente las semillas del fruto, dando como resultado pulpa y semillas por separado. Tanto la polea, eje de paletas, matiz y otros elementos, están dispuestos de manera uniaxial en un eje horizontal común.

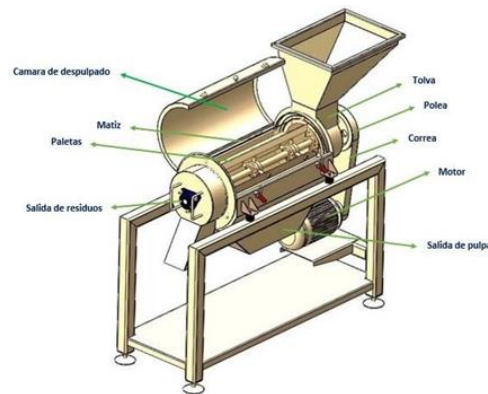


Figura 1.4. Despulpadora Horizontal. [10]

Despulpadora Industrial Horizontal inclinada

Su principio de funcionamiento es análogo al de la despulpadora horizontal, difiriendo en el soporte que posee un ángulo de caída, esta inclinación permite que las semillas que se quedan dentro del tambor del matiz se deslicen por la superficie a causa del peso. El ángulo del eje uniaxial que une a los elementos depende de las dimensiones de la máquina.



Figura 1.5. Despulpadora Inclinada [10]

Despulpadora industrial vertical

Su principio de funcionamiento y disposición de elementos mecánicos son iguales de una despulpadora horizontal. Un eje vertical esta adherido al motor eléctrico que genera una fuerza centrífuga y la pulpa se filtra por los agujeros del tamiz. Tanto la tolva, eje de paletas, tamiz y otros elementos, están dispuestos de manera uniaxial en un eje vertical común. [1]

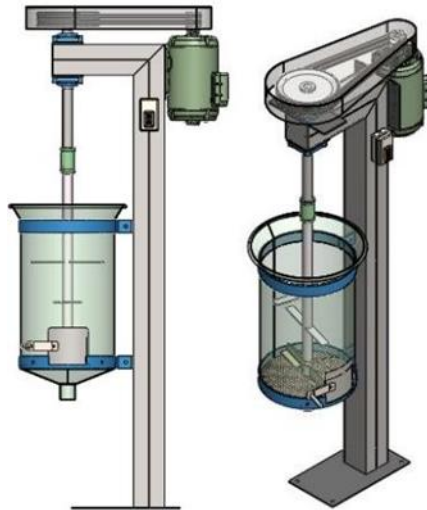


Figura 1.6. Despulpadora vertical. [1]

Partes principales de la maquina despulpadora:

Considerando que, los modelos de despulpadora vertical, horizontal e inclinada poseen los mismos elementos, se clasifica en elementos exteriores e interiores como se muestra a continuación:

Elementos exteriores

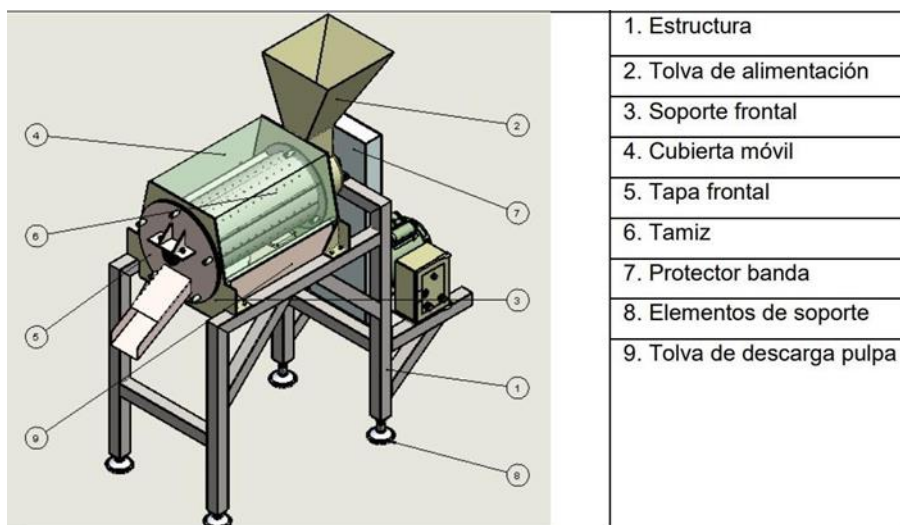


Figura 1.7. Elementos exteriores. [10]

Elementos interiores

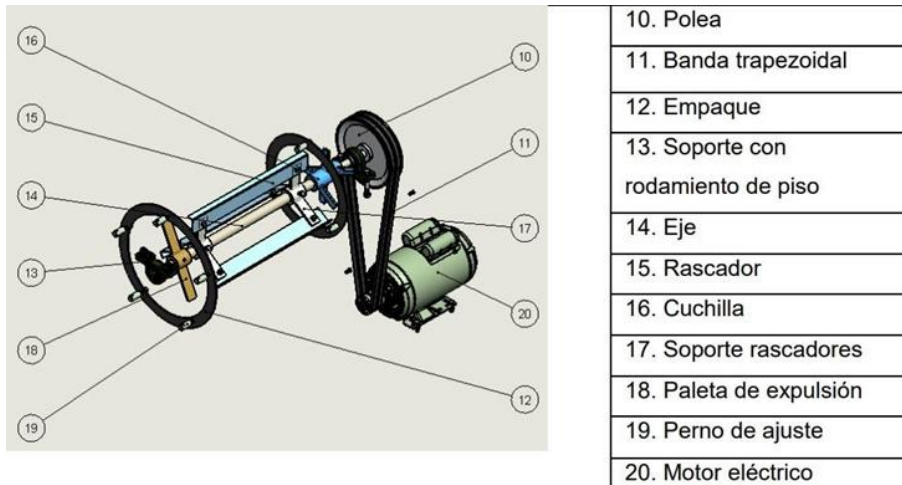
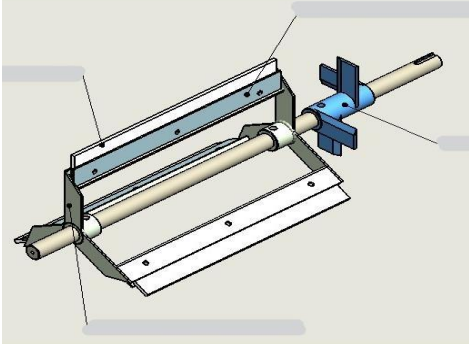



Figura 1.8. Elementos interiores. [10]

Análisis de la competencia Benchmarking

Competencia 1: despulpadora horizontal h1

Tabla 1.6. Despulpadora horizontal h1 [11]

Fabricante	Brown International Corporation
Modelo	202 Pulper
Potencia	10HP – 1200 RPM
Capacidad	300-3000 kg/h
Motor	230/460V
Peso – Aletas	13lb
Dimensiones - Aletas	4ft x 1 in. Radio: 1ft x 2 aletas
Dimensiones	6ft x 3ft x 4ft
País	USA
Precio – Sin impuestos de envío	12000 USD
Tipo de funcionamiento	Paletas
	

El principio de funcionamiento es el mismo en todos los modelos Brown paddle pulper finisher, solamente variando la potencia del motor y el radio de la paleta, se podrá tener más capacidad de despulpado. La Brown paddle modelo 202, dispone de tamices con agujeros de 1.8mm a 5.3mm. Su principio de funcionamiento es ideal para generar mayor producción de fruta despulpada, las paletas que tienen 2 pies de diámetro generan la fricción suficiente para que la fruta se despulpe en el tamiz.

Competencia 2: despulpadora vertical v1.

Tabla 1.7. Despulpadora vertical v1 [12]

Fabricante	Impulsora Bazar Gastronómico
Modelo	Tomatina DG 10/20
Potencia	1/2HP
Capacidad	10L en cilindro
Motor	110/220 1/3CV
Peso – Aletas	50Kg
Dimensiones - Aletas	1cm x 42 cm. Radio: 7cm x 3 aletas
Dimensiones	0.86m x 1.1m x 0.86m
País	USA
Precio – Sin impuestos de envío	1200 USD
Tipo de funcionamiento	Paletas
	

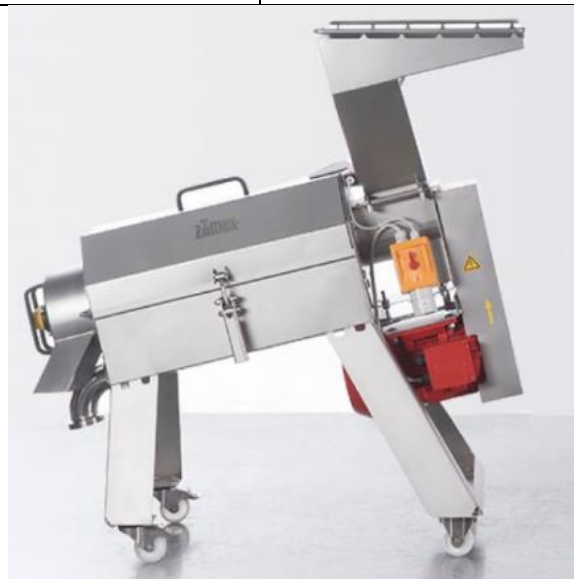
El principio de funcionamiento es por aletas, muy similar a las mencionadas anteriormente y a diferencia de la H1 y H2, esta máquina no permite generar grandes cantidades de producción, siendo la principal limitante. Muy ideal para procesos artesanos menores a

50kg por hora de pulpa. Sus elementos son más accesibles y brinda ser más económico y con menos costo de mantenimiento. Sus dimensiones son limitadas generando inconvenientes cuando se desea aumentar la velocidad de despulpado, ocasionando vibraciones inestables.

Competencia 3: Despulpadora semi – industrial zpd500

Tabla 1.8. Despulpadora semi – industrial zpd500 [4]

Fabricante	Zumex FOOD Engineering
Modelo	ZPD500
Potencia	10 HP
Capacidad	500 kg/h
Motor	400V
Dimensiones	1158 x 610 x 1247 mm
País	USA & Canada
Tipo de funcionamiento	Paletas
Tamaños para frutas	2 mm (pulpa), 3 mm (cerezas), 5 mm (ciruelas), 8 mm (albaricoques).



El principio de funcionamiento es, las frutas entran en un cilindro perforado con una inclinación ajustable, alimentado por un transporte de tornillo, con tres paletas presionando la fruta sobre las perforaciones del cilindro. El jugo y la pulpa se recogen en la parte externa del cilindro filtrante quedando las pepas en el interior para ser expulsados por una salida independiente.

Competencia 4: Despulpadora semi – industrial tomasi

Tabla 1.9. Despulpadora semi – industrial Tomasi [13]

Fabricante	TOMASI
Modelo	DPT – 50
Potencia	0.5 HP
Capacidad	50 – 110 kg/h
Motor	110 V / 60 Hz
Peso Total	22 kg
Dimensiones	850 x 230 x 470 mm
País	Brasil
Tipo de funcionamiento	Paletas
	

Su principio de funcionamiento se basa en un tornillo sin fin y sus aletas las cuales golpean la fruta para que posteriormente la pulpa salga por el tamiz, este posee dos salidas: la salida de jugo y la salida de la pulpa.

Competencia 5: Despulpadora horizontal Prado SPH 1-2

Tabla 1.10. Despulpadora horizontal Prado SPH 1-2 [14]

Fabricante	Prado
Modelo	SPH 1-2
Potencia	1HP
Capacidad	50 kg/h
Peso Total	-
Dimensiones	1000x500x1000
País	España
Tipo de funcionamiento	Paletas



Matriz de la Calidad QFD

Voz del usuario

El usuario denominado como el individuo que manejará la despulpadora. Para el diseño de dicha máquina es importante adquirir información acerca de las necesidades y requerimientos, provenientes del cliente Marco Carrión quien requiere de la máquina despulpadora de guanábana. Dichas necesidades del usuario se enlistan a continuación:

- Se debe usar varios elementos de máquina comprados previamente como es motor eléctrico de 1HP con su variador de frecuencia.
- Debe procesar bastante pulpa.
- Operación sencilla.
- Eludir combinación de pepa con pulpa.
- Precio accesible.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil de transportar.
- Bajo costo de operación.
- Desgaste lento.
- Máquina mediana.
- No sea ruidosa.

Voz del ingeniero

Una vez establecidos los requerimientos del cliente, el ingeniero da paso a convertirlos en parámetros técnicos enfocados a satisfacer las necesidades del usuario.

A continuación, se listan las especificaciones técnicas definidas por el ingeniero:

- Capacidad.
- Practicidad.
- Calidad de la pulpa.

- Costo.
- Mantenimiento.
- Peso.
- Energía.
- Durabilidad.
- Volumen.
- Nivel de ruido.

Con lo obtenido de la voz del usuario y la voz del ingeniero se da paso a efectuar la casa de la calidad.

Conclusiones de la casa de la calidad

A continuación, en el anexo 1 se indica la Casa de la calidad desarrollada en base a la información recopilada y generada.

Anexo 1. Casa de la calidad. Fuente: Propia Ver Anexo 1

Los resultados del análisis realizado mediante ponderaciones indican que los aspectos más importantes para tener en consideración y de mayor prioridad para el diseño son:

- Cumplir su función: Despulpas la guanábana.
- Produzca continuamente: trabajo continuo.
- Gran capacidad de carga de la guanábana pelada.

Especificaciones técnicas

Tabla 1.11. Especificaciones técnicas de la máquina a diseñar.

Empresa:		Producto: Diseño de una máquina despulpadora de fruta	Fecha inicial: 01/12/2022	
Escuela Politécnica Nacional			Última revisión: 01/01/2021	
Diseñadores:				
Chávez Alejandro Guevara Andrés Romero Stalyn				
Especificaciones				
Concepto	Propone	R/D	Descripción	
Función	C	D	Separar semillas de la pulpa a una tasa de 100 [kg/h] (Producción de 25 guanábanas aproximadamente por hora).	

Energía	C+I	D	Alimentar la máquina con corriente alterna de 220 V.
Tiempo de servicio	C	R	8 horas de trabajo diarias ininterrumpidas.
Señales y control	C+I	D	Regular velocidades y encender el equipo.
Porcentaje de pulpa en la semilla	C	D	Aceptar un máximo de 5[%] [3]
Porcentaje de rotura en la semilla	C+I	D	Aceptar un máximo de 5[%] [3]

Nota: Propone: C: Cliente; I: Ingeniería. R/D: R: Requerimiento; D: Deseo

Análisis Funcional

El análisis funcional es una herramienta, donde su objetivo es separar la acción que se efectúa del componente o mecanismo, de tal forma buscar nuevas soluciones a un mismo problema. El análisis funcional logra obtener mejores productos a un menor costo.

Para utilizar esta técnica, es importante obtener las funciones primarias y secundarias diferenciadas. Las primarias corresponden a lo que el cliente requiere, en el presente proyecto es la de obtener la pulpa de la guanábana. Las secundarias por otro lado, son aquellas que sustentan y asisten a las primeras para su desarrollo satisfactorio. Por tanto, establecidas las secundarias, se procede a agrupar funciones secundarias similares en un solo módulo para cubrir con los requerimientos de los conjuntos de funciones ayudando a la reducción de tiempo de producción, optimización de recursos, entre otros.

Desarrollo de los diagramas funcionales



Figura 1.9. Nivel 0.

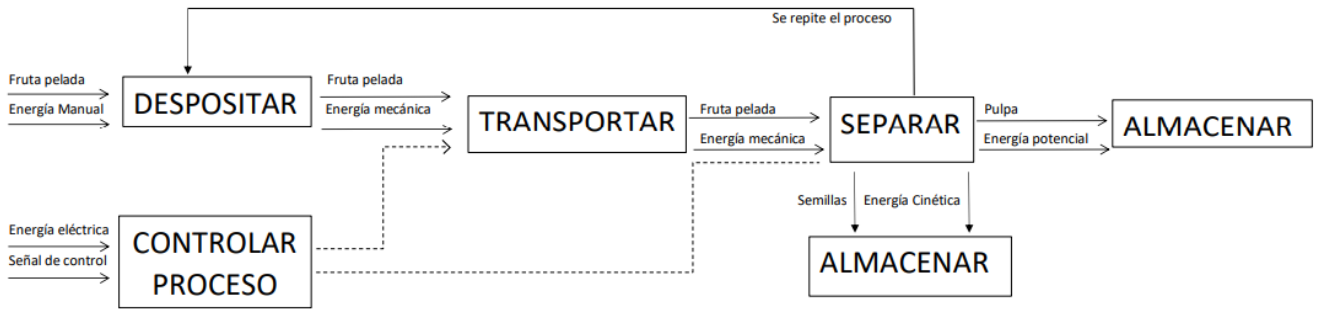


Figura 1.10. Nivel 1.

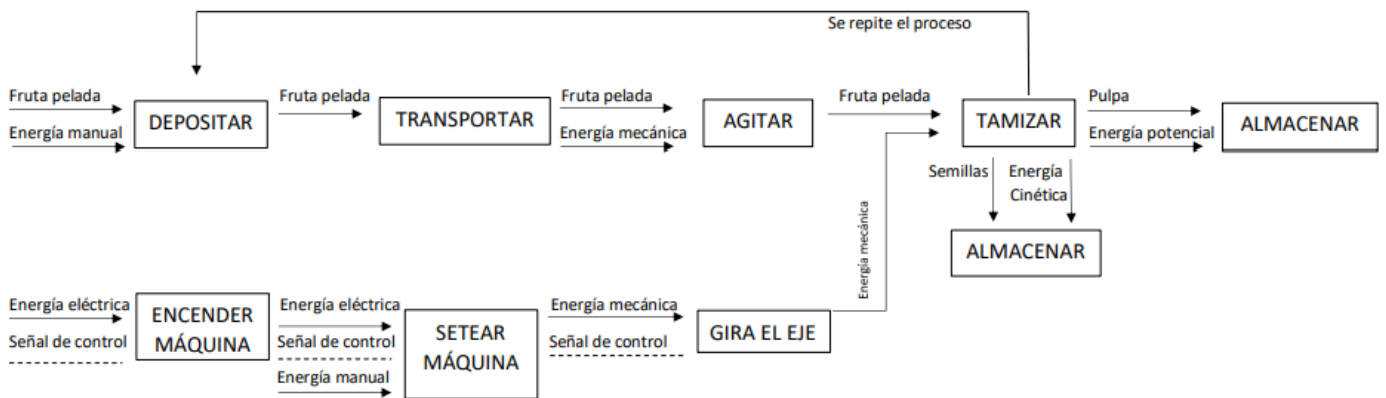


Figura 1.11. Nivel 2.

Análisis de los diagramas funcionales

Se describe cuáles son las funciones de la despulpadora desde un nivel de inicio hasta completarlas, con el objetivo de entender el funcionamiento general de cada etapa de la máquina para obtener la pulpa de guanábana. Para el nivel 0 se define la función general de la máquina, a continuación, se enlista las entradas y salidas del proceso.

Entradas:

- Fruta
- Energía
- Señal de inicio Proceso:
- Separar la pulpa de la semilla Salidas

Salidas

- Pulpa
- Semilla

Para el nivel 1 se especifican las principales funciones que ejecuta la despulpadora como es presente en la Figura 1.10.

Definición de módulos

En base al nivel 2 mostrado en la Figura 1.11, se llega a la conclusión que los módulos existentes son los siguientes:

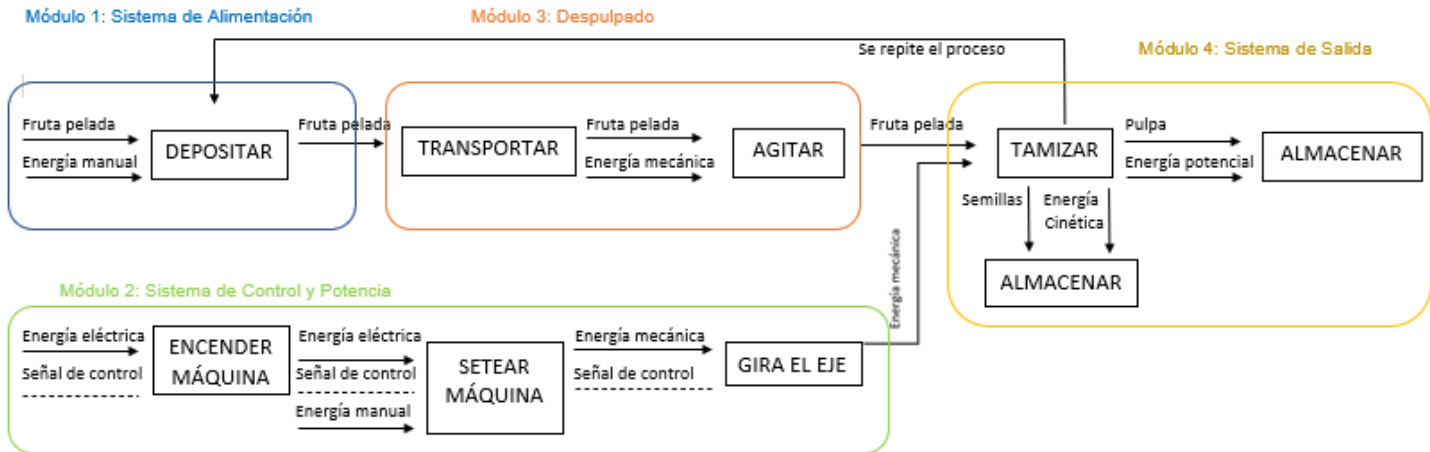


Figura 1.12. Módulos de la despulpadora.

A partir de la información de la Figura 1.12, son evidentes los 4 módulos que comprende la máquina. Además, se explica que el sistema eléctrico se incluye en el giro del eje, es decir se combinan los temas mecánicos y eléctricos debido el sistema eléctrico contiene pocos elementos y está fuera del alcance del presente proyecto así como también mantiene estrecha relación con el giro.

Selección de Alternativas

En esta sección se va a analizar los 3 módulos seleccionados a partir del nivel 2 de la máquina despulpadora de frutas, para lo cual se consideró los siguientes criterios de evaluación, en base a lo manifestado en [15]:

- **Función:** Se busca que la máquina obtenga el producto final tal como se mencionó en los precedentes, es decir el producto final que sea pulpa y pepas separadas con la menor cantidad posible de pulpa desperdiciada.
- **Dimensión:** Se busca que el diseño de la máquina sea tal que sus dimensiones abastezcan las necesidades funcionales y operativas que se han planteado; tales como capacidad de producción (en este caso 100 kg/h).
- **Fabricación y Montaje:** Se busca sencillez en la elaboración y el montaje de los elementos que conforman la máquina con el fin de garantizar una buena funcionalidad.
- **Precio:** Se busca que la máquina garantice una buena funcionalidad sin que esto exceda en los costos de producción y de diseño.

- **Mantenimiento y Limpieza:** La limpieza y el mantenimiento deben ser prácticos, manteniendo sencillez en el desmonte principal para llegar a todas las piezas.

En esta sección se plantea soluciones para cada módulo planteado en el nivel 2 del análisis modular para la máquina despulpadora de fruta; además, se obtiene una solución final general para crear una primera solución.

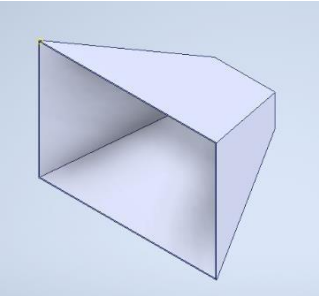
Módulo 1: Sistema de alimentación.

Este módulo comprende las siguientes funciones:

- Alimentar la máquina
- Almacenar la fruta pelada

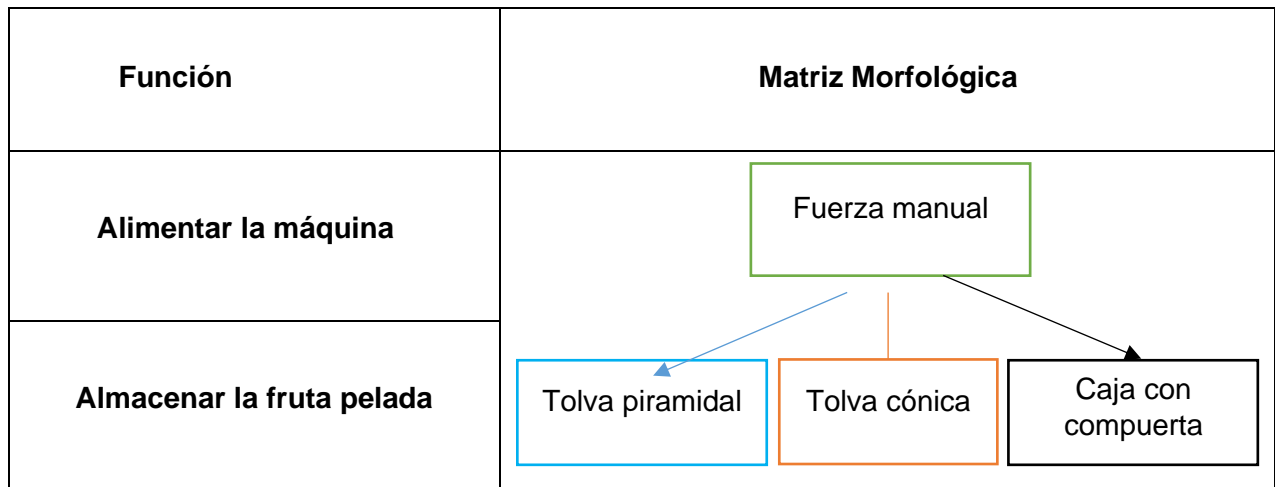
Alimentar la máquina: Este procedimiento requiere totalmente la intervención del componente humano. No es necesario adaptar una máquina complementaria para esta función.

Tabla 1.12. Solución módulo 1 “Almacenar fruta”

Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Alternativa de solución 1: Tolva piramidal</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Diseño simple. -Abarca poco material para su construcción. -Fácil deslizamiento de la fruta pelada. -Capacidad amplia y controlada de almacenamiento y alimentación de la fruta pelada. 	<ul style="list-style-type: none"> -La fruta pelada se acumula en las esquinas. -Difícil acoplamiento con el ducto de alimentación.

<p>Alternativa de solución 2:</p>  <p>Tolva cónica</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Diseño simple. -Abarca poco material para su construcción. -Capacidad amplia y controlada de almacenamiento y alimentación de la fruta pelada. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor número de procesos de manufactura para su construcción. -Difícil acoplamiento con el ducto de alimentación.
<p>Alternativa de solución 3:</p> <p>Caja con compuerta</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Diseño simple. -Fácil deslizamiento de la fruta pelada. -Capacidad amplia de almacenamiento de la fruta pelada. -Compuerta para evitar ingreso de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> -La fruta pelada se acumula en las esquinas. -Mayor número de piezas. -Mayor número de procesos de manufactura. -Difícil acoplamiento con el ducto de alimentación. -Requiere de un operario para alimentar de fruta a la cámara de despulpado.

Tabla 1.13. Matriz morfológica, módulo 1



Evaluación y selección de los módulos

Matriz de funcionalidad general

Tabla 1.14. Ponderación de los criterios de evaluación

Criterio de evaluación	Función	Fabricación y montaje	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación
Función		1	1	3	0.5
Fabricación y montaje	0		0	1	0.17
Precio	0	1		2	0.33
				Total	6
					1

Matriz de residuos ponderados para Función

Tabla 1.15. Ponderación del módulo 2, Funcionalidad.

Funcionalidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0.36
Solución 2	0.5		1	2.5	0.45
Solución 3	0	0		1	0.18
				Total	5.5
					1

Matriz de residuos ponderados para Fabricación y montaje

Tabla 1.16. Ponderación del módulo 2, Fabricación y montaje

Fabricación y montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.55
Solución 2	0		0.5	1.5	0.27
Solución 3	0	0		1	0.18
			Total	5.5	1

Matriz de residuos ponderados para Precio

Tabla 1.17. Ponderación del módulo 2, Precio.

Precio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.55
Solución 2	0		0.5	1.5	0.27
Solución 3	0	0		1	0.18
			Total	5.5	1

Conclusiones

Tabla 1.18. Conclusiones modulo 2.

Conclusiones	Función	Fabricación y montaje	Precio	Σ	Prioridad
Solución 1	0.18	0.09	0.18	0.45	1
Solución 2	0.23	0.05	0.09	0.36	2
Solución 3	0.09	0.03	0.06	0.18	3
			Total	1	

Como se puede observar en la Tabla 1.18, según el análisis por criterios ponderados realizado se determina que la alternativa 1 es la mejor, debido a que cumple con los criterios de evaluación.

Solución módulo 1:

En base a la matriz de residuos ponderados, se puede observar que la mejor alternativa es la solución 1. La cual está compuesta por:

- Fuerza Manual
- Tolva piramidal

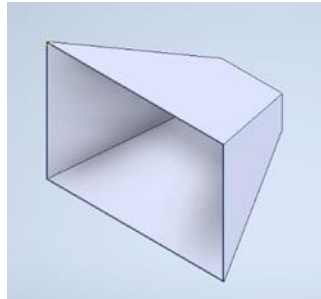


Figura 1.13. Tobera piramidal.

Módulo 2: Sistema de control y potencia

Las funciones de este módulo son:

- Encender la máquina
- Transformar energía eléctrica a mecánica
- Girar el eje
- Monitorear el sistema

Encender la máquina: Este procedimiento requiere de un operador capacitado que accione el tablero las funciones de encendido y sentido de giro.

Tabla 1.19. Función 2 “Transformar energía eléctrica a mecánica” y solución, módulo 2.


Descripción	Ventajas	Desventajas
<p style="text-align: center;">Motor Eléctrico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Buena eficiencia. -Fácil acceso. -Fácil montaje. -Apertura a grado alimenticio por ser limpio y resistente a la corrosión. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mantenimiento con personal capacitado.

Tabla 1.20. Función 3 “Girar el eje” y soluciones, módulo 2.

Descripción	Ventajas	Desventajas
<p style="text-align: center;">Bandas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Fácil adquisición en el mercado. -Relación de transmisión de hasta 3. -Fácil de instalar. -Asequible. -Posibilidad de construir las poleas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Desgaste rápido. -Constante mantenimiento. -Mayor tiempo de ensamble y construcción. -Única velocidad. -Requiere de un sistema de arranque del motor eléctrico.
<p style="text-align: center;">Cadena y Piñones</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Adquisición con normalizados. -Económico. -Diseño simple. -Fácilmente desacoplables y acoplables. -Relaciones de transmisión sobre el 3. 	<ul style="list-style-type: none"> -Desgaste rápido. -Constante mantenimiento. -Única velocidad. -Requiere de un sistema de arranque del motor eléctrico. -Construcción complicada.

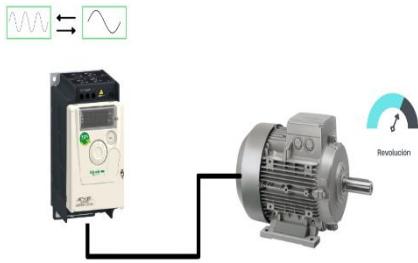
<p>Variador de frecuencia y transmisión directa</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Ofrece un rango del 50% de disminución de velocidad sin perder torque. -Arranque y apagado suave del motor incluido. -Control del sentido de giro incluido. -Apertura a energía monofásica. -Tiempo de vida útil larga. -Bajo ruido. -Bajo mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Costoso. -Requiere motores de bajos rpm y alta potencia para mantener el torque nominal apto para la aplicación.
---	--	--

Tabla 1.21. Función 4 “Controlar el sistema” y solución, modulo 2.

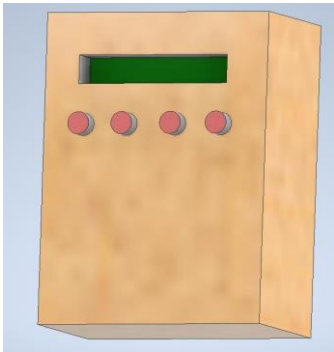
Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Control electrónico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Alta fiabilidad. -Bajo mantenimiento. -Control de encendido, apagado, sentido de giro, velocidad. -Visualización de variables como voltaje, corriente, rpm, torque con sensores. 	<ul style="list-style-type: none"> -Contrato de diseñador y tablerista. -Precio elevado.

Tabla 1.22. Matriz morfológica, modulo 2.

Función	Matriz Morfológica
Encendido y sentido de giro	<pre> graph TD CE1[Control electrónico] --> ME[Motor eléctrico] ME --> B[Bandas] ME --> CP[Cadena y Piñones] ME --> VFT[Var. de frecuencia y Transmisión directa] B --> CE2[Control electrónico] CP --> CE2 VFT --> CE2 </pre>
Transformar energía eléctrica a mecánica	
Girar el eje	
Monitorear el sistema	

Alternativa de Solución 1:

- Tablero de control de encendido y sentido de giro.
- Motor eléctrico.
- Cadena y piñones.



Figura 1.14. Motor eléctrico con bandas.

Alternativa de Solución 2:

- Motor eléctrico.
- Transmisión directa.

- Control electrónico por variador de frecuencia y su tablero.

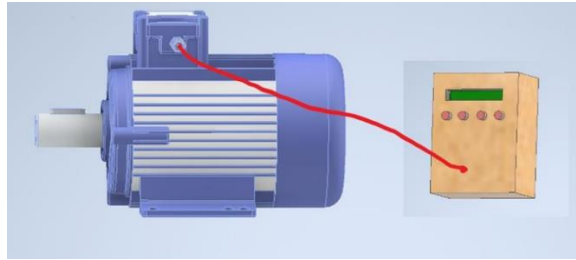


Figura 1.15. Motor eléctrico con transmisión directa.

Alternativa de Solución 3:

- Tablero de control de encendido y sentido de giro.
- Motor eléctrico.
- Bandas y poleas.



Figura 1.16. Motor eléctrico con correas.

Evaluación y selección de los módulos

Matriz de funcionalidad general

Tabla 1.23. Ponderación de los criterios de evaluación.

Criterio de evaluación	Función	Fabricación y montaje	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación.
Función		1	1	3	0.50
Fabricación y montaje	0		0	1	0.17
Precio	0	1		2	0.42
			Total	6	1

Matriz de residuos ponderados para Función

Tabla 1.24. Ponderación del módulo 2, Funcionalidad.

Funcionalidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0.5	2.5	0.42
Solución 2	0		0	1	0.17
Solución 3	0.5	1		2.5	0.42
Total				6	1

Matriz de residuos ponderados para Fabricación y montaje

Tabla 1.25. Ponderación del módulo 2, Fabricación y montaje.

Fabricación y montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0.5	1.5	0.25
Solución 2	1		0	2	0.33
Solución 3	0.5	1		2.5	0.42
Total				6	1

Matriz de residuos ponderados para Precio

Tabla 1.26. Ponderación del módulo 2, Precio.

Precio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución1		0	0.5	1.5	0.25
Solución2	1		1	3	0.50
Solución3	0.5	0		1.5	0.25
Total				6	1

Conclusiones

Tabla 1.27. Conclusiones modulo 2.

Conclusiones	Función	Fabricación y montaje	Precio	Σ	Prioridad
Solución 1	0.21	0.04	0.08	0.33	2
Solución 2	0.08	0.06	0.17	0.31	3
Solución 3	0.21	0.07	0.08	0.4	1
Total				1	

Como se puede observar en la Tabla 1.27, según el análisis por criterios ponderados realizado, se determina que la alternativa 3 es la mejor, cumple con los criterios de evaluación.

Solución del módulo 2

De acuerdo con la evaluación obtenida gracias al método de residuos ponderados de las distintas alternativas de solución para cada módulo planteado, seguido de una revisión y discusión por parte de los diseñadores, se decidió establecer la solución presente en la Figura 1.17 como la más adecuada para el Módulo 2.

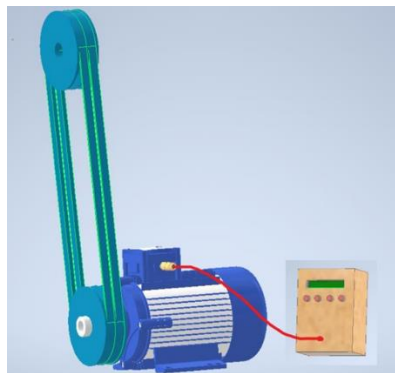


Figura 1.17. Solución módulo 2.

1.4.9 Soluciones virtuales

Primera solución

De acuerdo con las conclusiones obtenidas para cada módulo, se puede obtener una primera solución virtual la cual está dada por el siguiente ensamble de la Figura 1.18 y Figura 1.19.

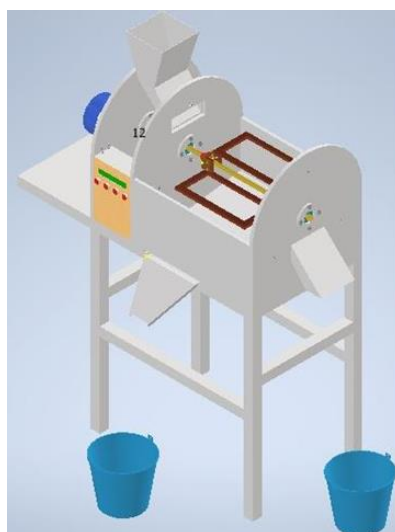


Figura 1.18. Segunda Solución virtual.

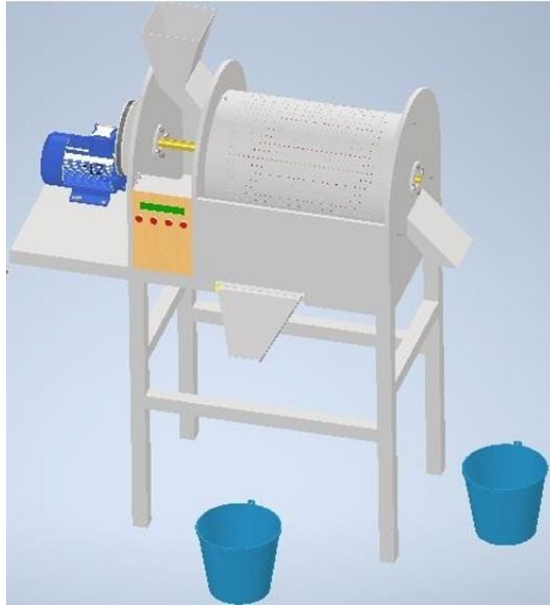


Figura 1.19. Segunda Solución virtual.

Segunda solución: solución final

Para este caso se optó por optimizar elementos como rodamientos, tapas y paredes. Para esto se eliminó una de las tres paredes, y así se obtuvo solamente dos rodamientos, dos paredes y se optimizó el espacio invertido. Por otra parte, solamente se realizó orificios en el tamiz en la parte inferior, debido a que de esta manera se desperdiciará menos cantidad de fruta que se queda atrapada entre los orificios del tamiz. A continuación, se muestran las vistas de la solución final de la máquina despulpadora de fruta.

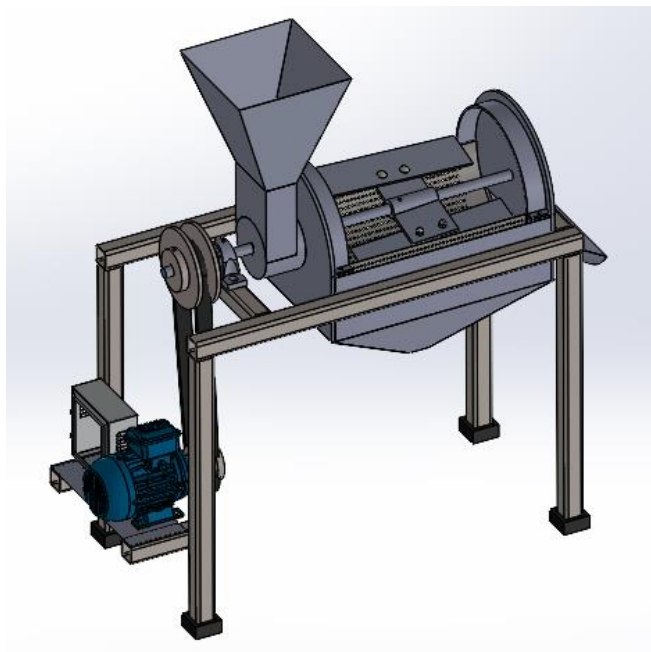


Figura 1.20. Solución final sin tamiz superior

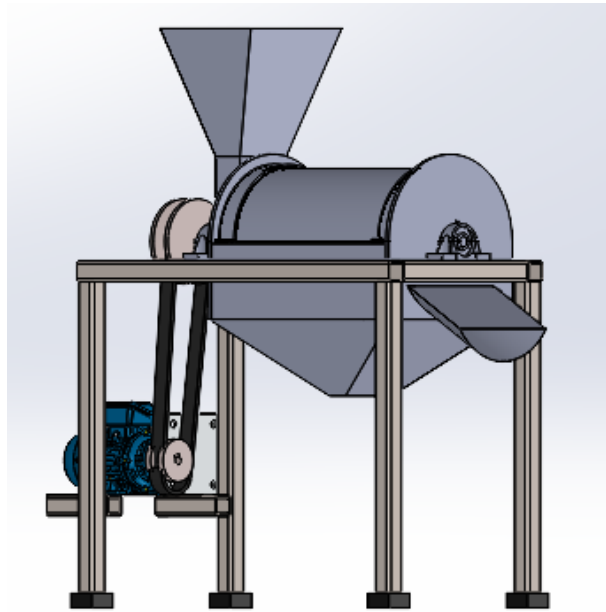


Figura 1.21. Solución final

2. METODOLOGÍA

2.1 Selección del motor

Como se mostrará en la siguiente sección a esta, se tiene un sistema motriz reductor banda- polea que permite reducir la velocidad que entrega el motor, transmitiéndola hacia el eje principal mediante el sistema banda polea. En determinar la potencia necesaria para accionar la máquina están inmersos varios aspectos como lo es el arranque del motor, contrarrestar la inercia y posteriormente todas las fuerzas de fricción, fuerzas de los rascadores entre pulpa y tamiz para así poder conseguir el principio de despulpado que consiste en el movimiento de la materia prima alrededor de un eje donde su separación de pepa-pulpa se logra al rasarla contra las paredes del tamiz. Sin embargo, para este principio, no existen métodos analíticos para la obtención de cargas y los métodos aproximados probados tales como tomar los elementos del eje conducido como alimentadores helicoidales según el catálogo de Martin “Procedimiento de diseño para transportadores helicoidales”, aproximar a cuchillas de sistemas como licuadoras o analizar como desplazamiento de masas no han dado resultados coherentes.

De esta manera, una de las formas de solución y la óptima es plantear un método experimental para conseguir los resultados. Pero, debido a que el tiempo de elaboración del trabajo de integración es menor al de un semestre, 4 meses, por lo que no existe el tiempo necesario para esta fase experimental. Por otro lado el auspiciante del proyecto requiere que el equipo trabaje con un motor de 1 Hp, por lo que se plantea como hipótesis que este motor es de suficiente capacidad para el funcionamiento. Dicha hipótesis se debe validar al efectuar las pruebas de funcionamiento.

Cabe recalcar que, para la potencia en vacío se realiza la validación por método analítico y experimental.

Potencia para contrarrestar la inercia

Para calcular la potencia P se conoce que:

$$P = T \times \omega$$

Ecuación 2.1. Potencia en vacío de la máquina

Donde,

T = Torque del sistema motriz, en $[Nm]$.

ω = Velocidad angular de trabajo, en $\left[\frac{rad}{s}\right]$.

Obtención del Momento de Inercia del eje

Para obtener el momento de inercia total con respecto al centro del eje principal, se mide del CAD teniendo en cuenta todo el material en AISI 304:

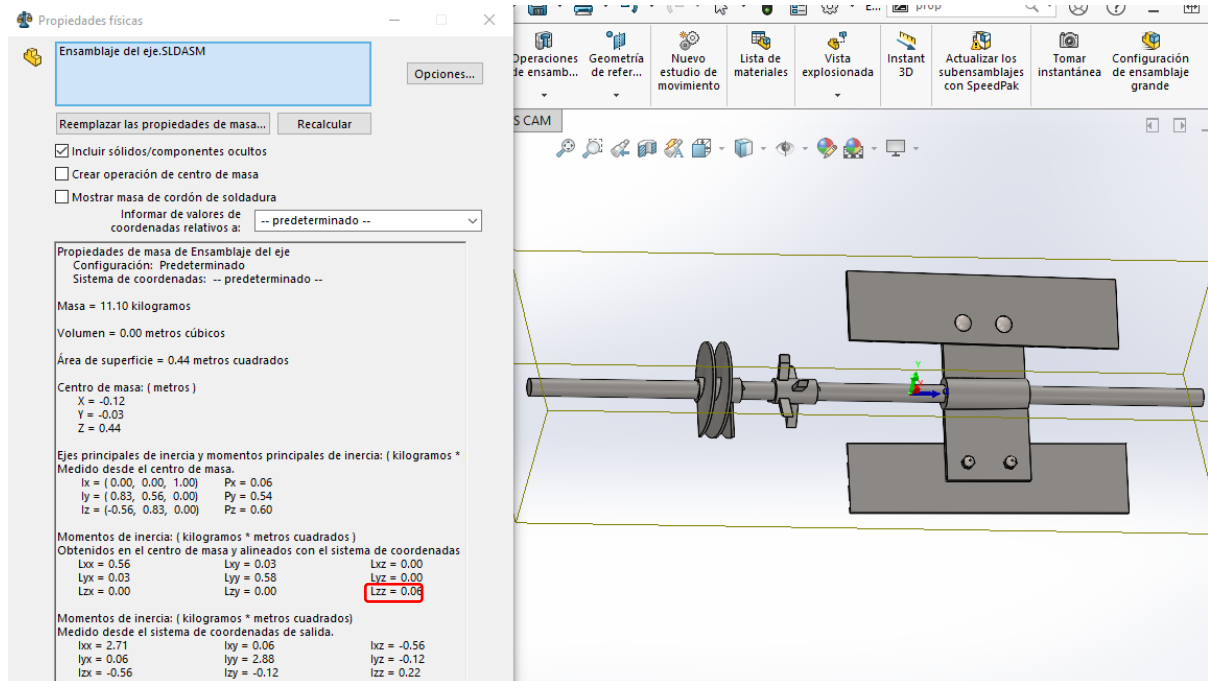


Figura 2.1. Captura de la medida del momento de inercia de masa en SolidWorks 2021 del eje conducido y sus componentes

$$\therefore I_{total} = 0.06[kg \cdot m^2]$$

Aceleración angular de trabajo

Ahora, se obtiene la aceleración angular requerida para mover el eje con todos sus elementos, para ello se toma una velocidad angular de trabajo de 650[rpm] como se indicó en el marco teórico [3]. Además, se toma un tiempo de $t = 7.5[s]$ correspondiente a arranque directo [16], debido a que corresponde al tiempo de arranque promedio que un motor eléctrico necesita. Por lo tanto, se tiene:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{t}$$

Ecuación 2.2. Aceleración angular de trabajo

Donde

α = Aceleración angular, en $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$.

$\Delta\omega$ = Variación de la velocidad angular, $\left[\frac{rad}{s}\right]$.

t = El tiempo de arranque del motor, [s]

Primero, el valor de la velocidad angular en [rpm] se transforma a $\left[\frac{rad}{s}\right]$

$$650 \left[\frac{rev}{min}\right] \times \frac{2\pi[rad]}{1 [rev]} \times \frac{1[min]}{60[s]}$$
$$\therefore \Delta\omega = 68.1 \left[\frac{rad}{s}\right].$$

Ahora, reemplazando este valor en la ecuación previa, entonces

$$\alpha = \frac{68.1 \left[\frac{rad}{s}\right]}{7.5[s]}$$
$$\therefore \alpha = 9.08 \left[\frac{rad}{s^2}\right].$$

Torque mecánico

En esta sección se va a obtener dos torques que son necesarios para el diseño de la máquina despulpadora. Primero, el torque requerido, el cual está dado por la siguiente ecuación:

$$T_{req} = I_{total} \times \alpha$$

Ecuación 2.3. Torque mecánico

Donde,

T_{req} =Torque requerido, en [Nm]

I_{total} = Inercia total del sistema motriz, en [kgf. m²]

α = Aceleración angular, en $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$

Reemplazando los valores obtenidos para cada variable se obtiene:

$$T_{req} = 0.06 [kg. m^2] \times 9.08 \left[\frac{rad}{s^2}\right]$$
$$\therefore T_{req} = 0.545[Nm]$$

Ahora, el otro torque necesario es el de diseño, para el cual se requiere un factor de servicio, el cual corresponde a los aspectos externos que afectan al rendimiento del motor

tales como sobrecalentamiento y rozamiento de piezas con un valor de 1.15 proveído por el fabricante [17]. Este torque se calcula con la ecuación

$$T_{dis} = T_{req} \times f_s$$

Ecuación 2.4. Torque de diseño

Donde

T_{dis} =Torque de diseño, en [Nm]

T_{res} = Torque requerido, en [kgf. m²]

f_s = factor de servicio

Por lo tanto, reemplazando se tiene que:

$$T_{dis} = 0.545[Nm] \times 1.15$$

$$\therefore T_{dis} = 0.701 [Nm].$$

Finalmente, reemplazando $T_{dis} = T$ se tiene que la Potencia para romper la inercia P_i :

$$P_i = 0.701 [N.m] \times 68.1 \left[\frac{rad}{s} \right].$$

$$\therefore P_i = 47.722[W].$$

El cual al transformar a [Hp] se tiene

$$\therefore P_i = 0.064[HP]$$

Ahora a partir de este punto, se valida experimentalmente la Potencia para romper la inercia P_i con P_{ie} con la medición de corriente y voltaje para llegar a la potencia consumida bajo condiciones de trabajo del 76.5% de velocidad del sistema que equivale a 650RPM en el eje conducido. Para ello, hay que restar la potencia al girar sin poleas:

$$P_{ie} = \frac{2}{\sqrt{3}} V_l I_l \cos\phi - \frac{2}{\sqrt{3}} V_l I_{ls} \cos\phi = \frac{2}{\sqrt{3}} V_l \cos\phi (I_l - I_{ls})$$

Ecuación 2.5. Potencia para romper la inercia experimental **[18]**

Donde,

$V_l = 217.81 [V]$ Voltaje de Línea medido con multímetro Fluke de alta precisión, en vacío que se mantiene constante en arranque y en operación

$I_l = 2.6 [A]$ Corriente de Línea en vacío con valores de baja precisión a partir de los circuitos del tablero de control

$I_{ls} = 2.3 [A]$ Corriente de Línea del motor sin poleas

$\cos\phi = 0.78$ Factor de potencia, propiedad del motor [17]

Así,

$$P_{ie} = \frac{2}{\sqrt{3}} * 217.81 * 0.78 * (2.6 - 2.3) = 58.85 W = 0.0789 HP$$

De esta manera, el error porcentual del analítico respecto al experimental es:

$$error\% = \left| \frac{0.064 - 0.0789}{0.0789} \right| 100\% = 18.88\%$$

Ecuación 2.6. Error porcentual

Se observa que el valor de la potencia requerida para vencer la inercia es bastante baja..

Potencia de arranque

Uno de los momentos críticos y de mayor consumo es en el arranque. Pero, en el presente caso debido a que se dispone de un variador de frecuencia bifásico, se ha seteado un arranque suave de 5 segundos hasta llegar a las 1300RPM en el motor (velocidad que por relación de transmisión será 650RPM en el eje conducido) que desprecia el aumento de corriente en esta etapa respecto a la de vacío. Por tanto, la potencia de arranque: $I_a = I_l = 2.6 [A]$

$$P_a = \frac{2}{\sqrt{3}} V_l I_l \cos\phi = \frac{2}{\sqrt{3}} * 217.81 * 0.78 * 2.6 = 510.52 W = 0.684 HP$$

Ecuación 2.7. Potencia eléctrica para un sistema bifásico [18]

Finalmente, la potencia de operación P_o se compone de la potencia para contrarrestar la inercia P_i y la potencia de despulpado P_d :

$$P_o = P_i + P_d$$

Ecuación 2.8. Potencia total

Que a su vez es:

$$P_o = \frac{2}{\sqrt{3}} V_l I_{lo} \cos\phi$$

Donde,

$I_{lo} = 3.61$ [A] Corriente de Línea en operación medido con valores de baja precisión a partir de los circuitos del tablero de control

$\cos\phi = 0.78$ Factor de potencia, propiedad del motor

Así,

$$P_o = \frac{2}{\sqrt{3}} * 217.8 * 3.61 * 0.78 = 708.16 \text{ W} = 0.95 \text{ HP}$$

Una vez calculadas las potencias consumidas se concluye que la hipótesis planteada es satisfactoria para el funcionamiento de la máquina debido a que 1HP es suficiente para lograr la carga de trabajo objetivo.

2.2 Selección del sistema de poleas

Para la transmisión del movimiento necesario para despulpar, el cual viene dado por el movimiento del eje, se ha utilizado el sistema de transmisión banda polea. El motivo de haber elegido este sistema es porque presenta menor costo y mayor facilidad en el montaje que otros tipos de sistemas como lo son por engranajes o por catalina-cadena [19]. Además, debido a la dificultad en encontrar un motor que proporcione velocidades tal cual como se requieren, es necesario que el sistema de transmisión sea reductor.

Selección de la Banda

Dado que se va a efectuar funciones de despulpado y las velocidades con las que se trabaja son moderadas, entonces conviene utilizar correas o banda tipo V. [20] Además, la selección de la banda se debe considerar, en base a lo calculado y determinado anteriormente, que se quiere reducir la velocidad de 1705 RPM, que el motor entrega, a 650 RPM. Con la característica de que el cliente y auspiciante del proyecto pone a disposición previamente un motor eléctrico Siemens de 1HP 1705 RPM 4.2 Nm y un variador de frecuencia, se trabaja al 76.25% (1300 RPM) de la velocidad nominal en la que se mantiene el torque para reducir la relación de transmisión de poleas. Así,

$$R = \frac{D}{d} = \frac{N}{n} = \frac{1300}{650} = 2$$

Ecuación 2.9. Relación de transmisión

Donde

R =Relación de transmisión

D =Diámetro de la polea conducida]

d = Diámetro de la polea motriz

N = Velocidad de la polea conducida

n = Velocidad de la polea motriz

con lo que se asegura que el torque nominal que se alcanzará es de 8.4 Nm. Además, con la potencia del motor de 0.746 [kW], la cual es aproximadamente 1 [HP], se selecciona una banda en base al catálogo de Optibelt [21]. De acuerdo con la siguiente figura se puede elegir cualquier tipo, por disponibilidad en el mercado se toma el tipo SPA.

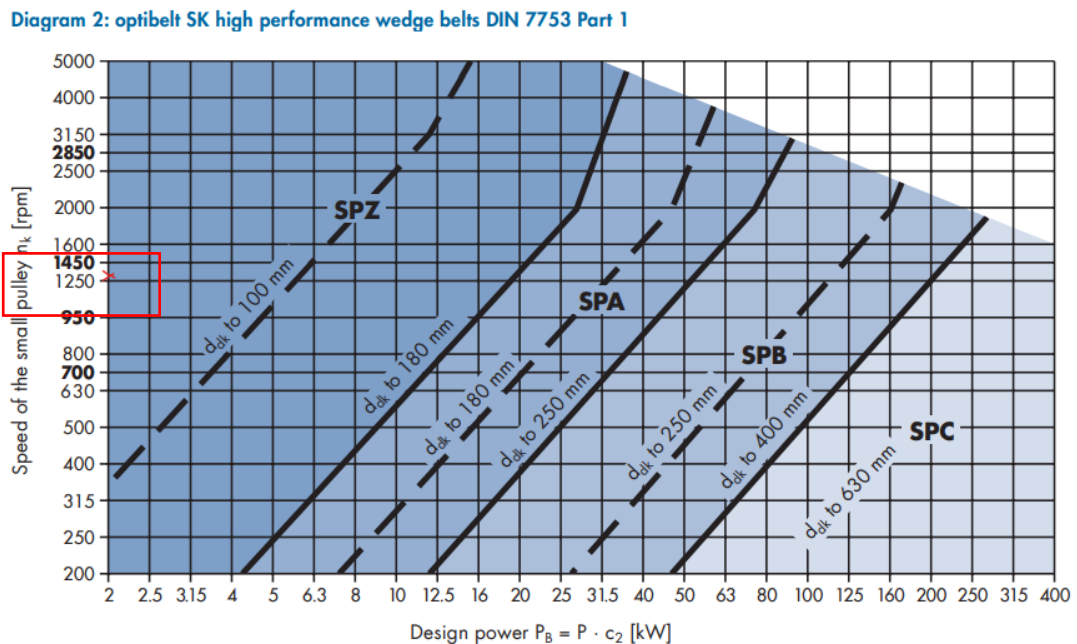


Figura 2.2. Velocidad más rápida del eje vs potencia de diseño para selección de tipo de banda. [21]

Selección de los diámetros de poleas

Diámetro de la polea motriz d

Se tiene a disposición varios tamaños de los cuales se toma de 100[mm].

Diámetro de la polea conducida D

Para obtener el radio de la polea conducida o polea mayor, se aplica la relación de transmisión para sistemas banda polea dada por la anterior Ecuación 2.1:

Reemplazando datos se tiene

$$D = d \frac{N}{n} = 100 \times \frac{1300}{650}$$

$$\therefore D = 200[\text{mm}]$$

Número de bandas

El número de bandas está dado por la ecuación:

$$z = \frac{P c_2}{P_N c_1 c_3}$$

Ecuación 2.10. Número de bandas

Donde,

z : Número de bandas

P : Potencia de diseño o del motor

P_N : Potencia para un ángulo de 180°

$c_2 = 1.3$ Factor de servicio

$c_1 = 0.99$ Factor de corrección del ángulo de contacto

$$\text{Con } \frac{D-d}{C} = \frac{200-100}{473.55} = 0.211$$

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta \approx$	c_1
0	180°	1.00
0.05	177°	1.00
0.10	174°	1.00
0.15	171°	1.00
0.20	168°	0.99
0.25	165°	0.99
0.30	162°	0.99
0.35	160°	0.99
0.40	156°	0.99
0.45	153°	0.98

Figura 2.3: Factor C1 [21]

Interpolando $\beta = 167.34^\circ$

$c_3 = 0.9$ Factor de longitud

Profile SPA, XPA	
Datum length [mm]	ϵ_3
800	0.81
850	0.82
900	0.83
950	0.84
1000	0.85
1060	0.86
1120	0.86
1180	0.87
1250	0.88
1320	0.89
1400	0.90
1500	0.91

Figura 2.4. Factor de longitud [21]

Interpolando de la tabla 33 del manual [21]:

$$P_N = 3.46 + 0.49 = 3.95 [kW]$$

Reemplazando datos se tiene

$$z = \frac{0.7457 [kW] * 1.3}{3.95 [kW] * 0.98 * 1}$$

$$\therefore z = 0.25 \approx 1$$

Esto quiere decir que necesitamos 1 banda y poleas de un canal.

2.2.4 Distancia entre centros

La distancia entre centros es un parámetro físico establecido de $C = 473.55 [mm]$.

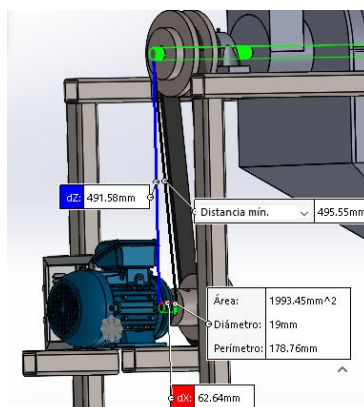


Figura 2.5. Captura de la medida en el CAD de la distancia entre ejes que restando radios queda de 473.55 [mm]

Longitud de la banda

Para obtener la longitud de la banda se aplica la siguiente ecuación [21]:

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C},$$

Ecuación 2.11. Longitud de la banda

Donde

L : Longitud de la banda

C : Distancia entre centros

$$L = 2(473.55[mm]) + 1.57(200[mm] + 100[mm]) + \frac{(200[mm] - 100[mm])^2}{4(473.55[mm])}$$

$$\therefore L = 1423.4[mm]$$

Por lo tanto, en base al catálogo, se selecciona una correa tipo V red power 3 de sección SPA, de $L = 1400[mm]$ que a su vez actualiza la distancia entre centros a $C = 462[mm]$ como se muestra en la siguiente figura

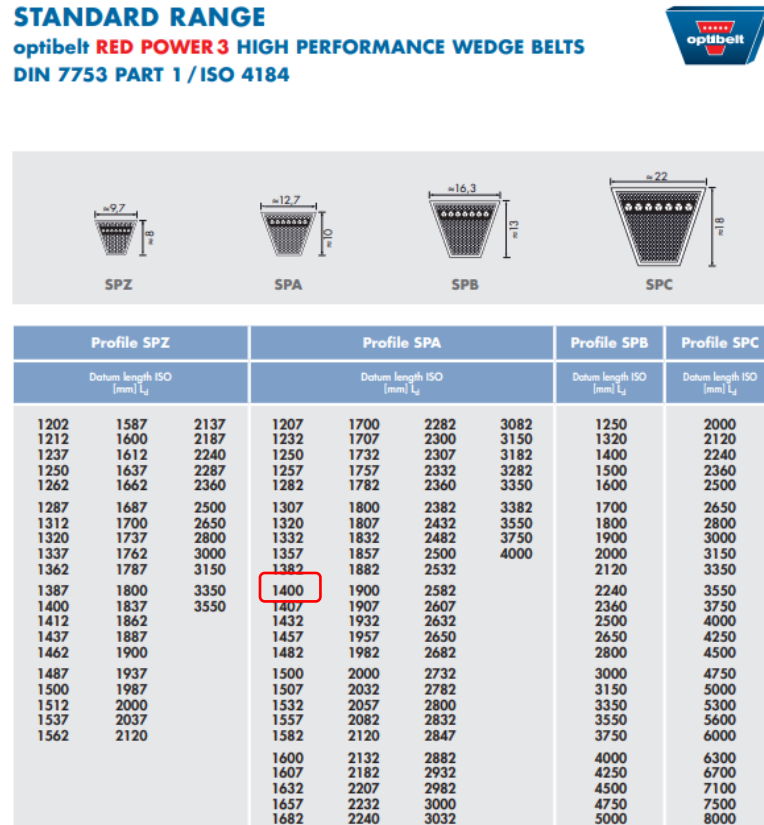


Figura 2.6: Longitudes disponibles en bandas spa [21]

Fuerza de montaje

Para conocer si la banda está lista para trabajar se debe medir la deflexión ϑ al aplicar una fuerza K como se muestra en el siguiente método del manual de “Roulound” [20] en la siguiente figura:

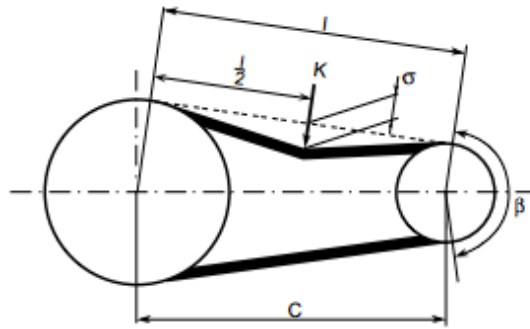


Figura 2.7: Esquema de medición de fuerza de montaje [20]

La misma tiene la ecuación:

$$\vartheta = \frac{15 l}{1000} [mm]$$

Ecuación 2.12. Deflexión de montaje

$$\text{Con } l = C \sin \frac{\beta}{2}$$

Ecuación 2.13. Longitud l de la Figura 2.7

Donde, el ángulo de contacto previamente calculado es $\beta = 167.34^\circ$

Así,

$$l = 458.98 [mm]$$

$$\vartheta = 6.88 [mm]$$

Finalmente, la fuerza de deflexión K se calcula a partir de la tensión estática T_{stat} [N/banda]:

$$T_{stat} = 500 k_1 \frac{P_M}{zv} + k_2 v^2$$

Ecuación 2.14. Tensión estática

Con:

Factor de Tensión $k_1 = 1.745$ proveniente de la interpolación de la tabla “Tension Factor k_1 ” de Rolound [20] escogiendo β y mean load.

Factor de fuerza centrífuga $k_2 = 0.115 \left[\frac{kg}{m} \right]$ escogiendo la banda SPA

Velocidad lineal de la banda $v = \omega \frac{d}{2} \left[\frac{m}{s} \right] = 1300 \frac{2\pi \cdot 0.100}{60 \cdot 2} = 6.81 \left[\frac{m}{s} \right]$

Finalmente,

$$T_{stat} = 100.9 [N]$$

$$K = 0.06 T_{stat} = 6.005 [N]$$

Ecuación 2.15. Fuerza de deflexión de montaje

Validación con Software CAP6.0

Todo este proceso está validado con el software propio de Optibelt denominado CAP6.0 [22] donde los resultados se muestran a continuación:

La transmisión se debe equipar con

1 x Correa trapezoidal estrecha Optibelt-SK SPA 1400 Ld S=C plus		
Polea acanalada para casquillo cónico TB SPA 100-1		
Casquillo cónico Optibelt TB 1610 (Diámetro de perforación 19 mm)		
Polea acanalada para casquillo cónico TB SPA 200-1		
Casquillo cónico Optibelt TB 2012 (Diámetro de perforación 25 mm)		
Precio total:		

Potencia / Par de giro: 1 hp

Máquina de transmisión

Máquina motriz: Motor eléctrico 60 Hz

Velocidad de giro n1: 1300 1/min

Máquina de trabajo

Máquina accionada: Agitadores para líquidos

Velocidad de giro n2: 650 1/min

Otros datos de transmisión

Relación de transmisión: 2

Distancia entre centros: * 462 mm

Factor de carga: transmisión con cargas me

Recomendaciones de pretensado

	Primer montaje		Tensión de servicio	
OPTIKRIK 0 - Fuerza estática en el ramal por correa:	103	N	79	N
Medición de la flecha de pretensado. Fuerza de ensayo - medición de carga:	---	N	---	N
Profundidad de presión:	---	mm	---	mm
Adición de desarrollo por cada 1000mm de longitud de correa:	---	mm	---	mm
optibelt TT - medición de frecuencia (1 Hz - 600 Hz):	31,53	1/s	27,65	1/s

Rendimiento de la máquina de tr	P:	0,75	kW	Factor de longitud	c3:	0,90	
desarrollo de referencia	Ld:	1.400	mm	Arco de contacto en la polea peque	β:	167,57	°
Distancia entre centros	a:	462	mm	Desarrollo del ramal	i:	458,96	mm
Traducción	i:	2		Cantidad calculada de correas	zth:	0,36	
Método de cambio para superpr	y:	20	mm	Peso		0,17	kg
Método de cambio para tensar	x:	25	mm	Fuerza estática sobre el eje, primer	Sast:	205	N
Factor de carga real	c2:	3,64		Fuerza estática sobre eje, correas	Sast:	158	N
Velocidad de correas	v:	6,81	m/s	Fuerza dinámica sobre eje	Sadyn:	150	N
Cambio de flexibilidad	fB:	9,72	1/s	Tensión de la correa en el ramal	S1:	146	N
Rendimiento nominativo por cor	PN:	3,02	kW	Fuerza tangencial disponible	Sn:	142	N
Datos de poleas:							
Polea 1 (fuerza motriz)				Polea 2 (accionada)			
Máquina de transmisión	Motor eléctrico 60 Hz			Máquina de trabajo	Agitadores para líquidos		
Momento de giro	M1:	5	Nm	Momento de giro	M2:	11	Nm
Nº de giros	n1:	1.300	1/min	Nº de giros	n2:	650	1/min
Diámetro	dd 1:	100	mm	Diámetro	dd 2:	200	mm
Ancho de la polea	b:	20	mm	Ancho de la polea	b:	20	mm

Figura 2.8: Resultados CAP 6.0 [22]

2.3 Diseño de las tolvas

Debido a que la despulpadora de fruta es un proyecto destinado a la aplicabilidad alimenticia, es obligatorio el uso de acero inoxidable AISI 304 como el material principal y contacto directo con la comida, por sus propiedades de resistencia a la oxidación o corrosión. De entre los requisitos del cliente y las recomendaciones de la voz del ingeniero, es imprescindible un diseño que toma en cuenta la funcionalidad correcta, mantenimiento y limpieza sencillo, esto radica en las tolvas y su composición. Por ello, se da paso a obtener las dimensiones adecuadas.

Diseño de la tolva de alimentación

Volumen de la tolva de alimentación

La tolva según el análisis funcional es rectangular y debe ser mayor al volumen de una carga para cumplir los 100kg por hora como se analizó en el apartado de potencia; por tanto, a partir del análisis previo del:

$$V_{carga} = 8.333 e - 3 m^3 = 8.33e6 mm^3$$

Se toma el volumen de la tolva como:

$$V_{tolva\ alimentacion} = 9 e - 3 m^3 = 9e6 mm^3$$

Y se propone la geometría de:

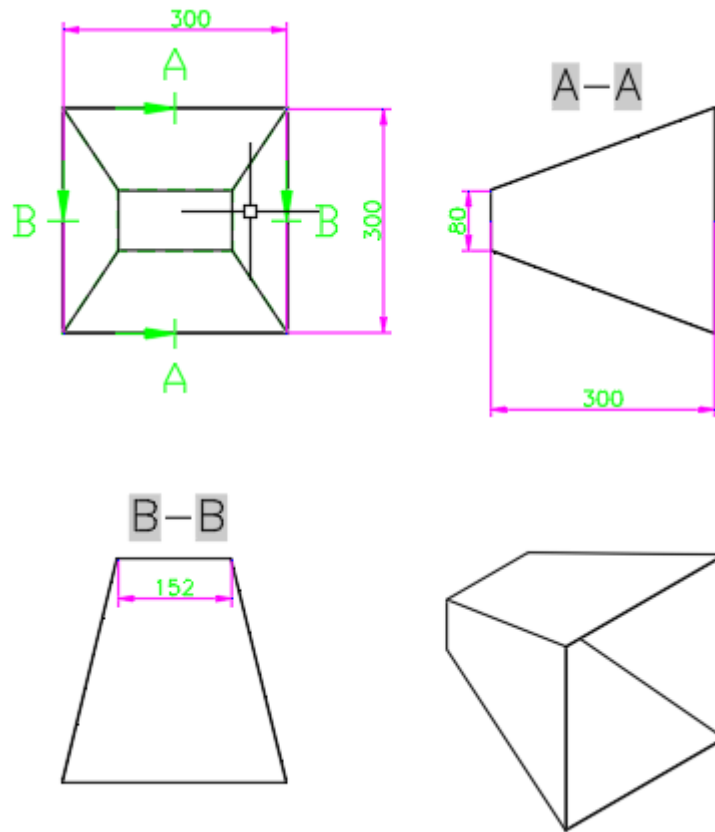


Figura 2.9. Dimensiones de la tolva de alimentación.

Corresponde a una geometría de tronco de pirámide, donde su fórmula de volumen es:

$$V_{tolva\ alimentación} = \frac{h}{3} (A + B + \sqrt{A * B})$$

Ecuación 2.16. Volumen de tronco de pirámide

$$V_{tolva\ alimentación} = \frac{200}{3} \left((300 * 300) + (152 * 80) + \sqrt{300^2(152 * 80)} \right)$$

$$V = 0.009 [m^3]$$

El espesor escogido es de 1 mm.

Fuerza sobre las paredes inclinadas.

Se obtiene de la siguiente manera.

$$F = m * g$$

Ecuación 2.17. Peso

$$F = \left(1070 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 0.009 [m^3] \right) * 9.81 \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$F = 94.47 [N]$$

Donde, la pared de menor área lleva el 22.58% del peso (21.33 N) y la de mayor área el 27.42% (25.90 N).

Simulación estructural de la tolva de alimentación.

Las fuerzas previas de 21.33 N y 25.90 N se distribuyen en las distintas áreas de las paredes inclinadas y las condiciones de frontera son restricciones en la base inferior en empotramiento, obteniéndose los pequeños desplazamientos siguientes:

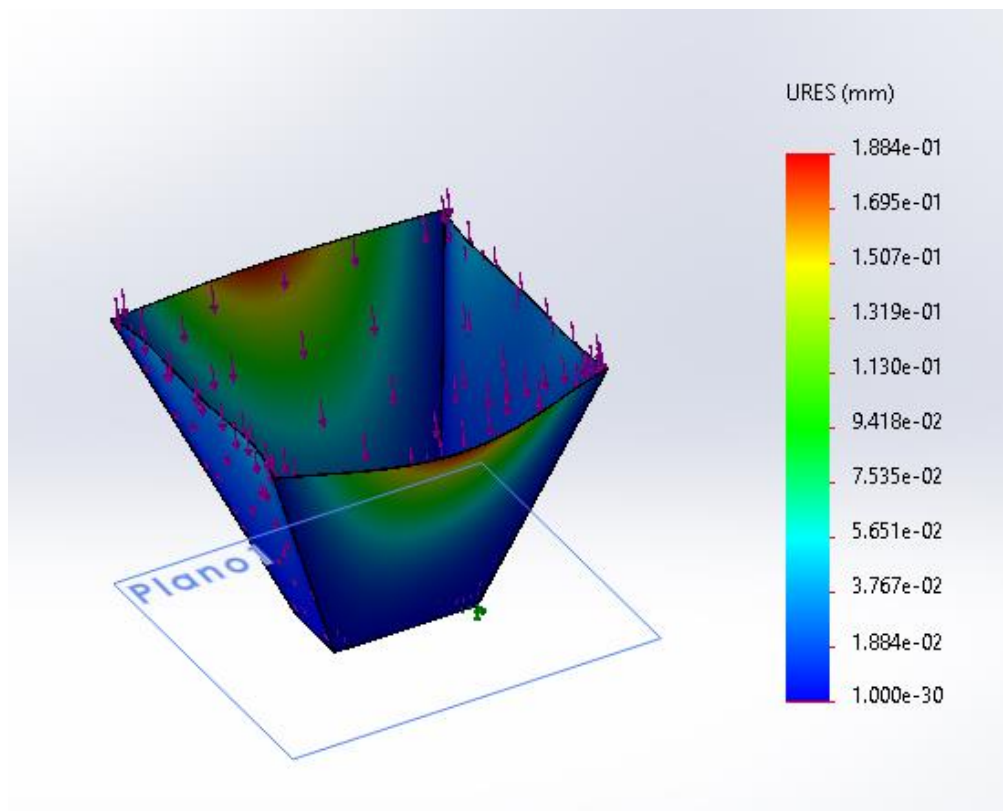


Figura 2.10. Resultados de la simulación de los desplazamientos para la tolva de alimentación

Finalmente, se obtiene un factor de seguridad mínimo de 82 lo cual es adecuado para no disminuir más el espesor de la lámina entonces se mantiene el diseño por funcionalidad y constructibilidad.

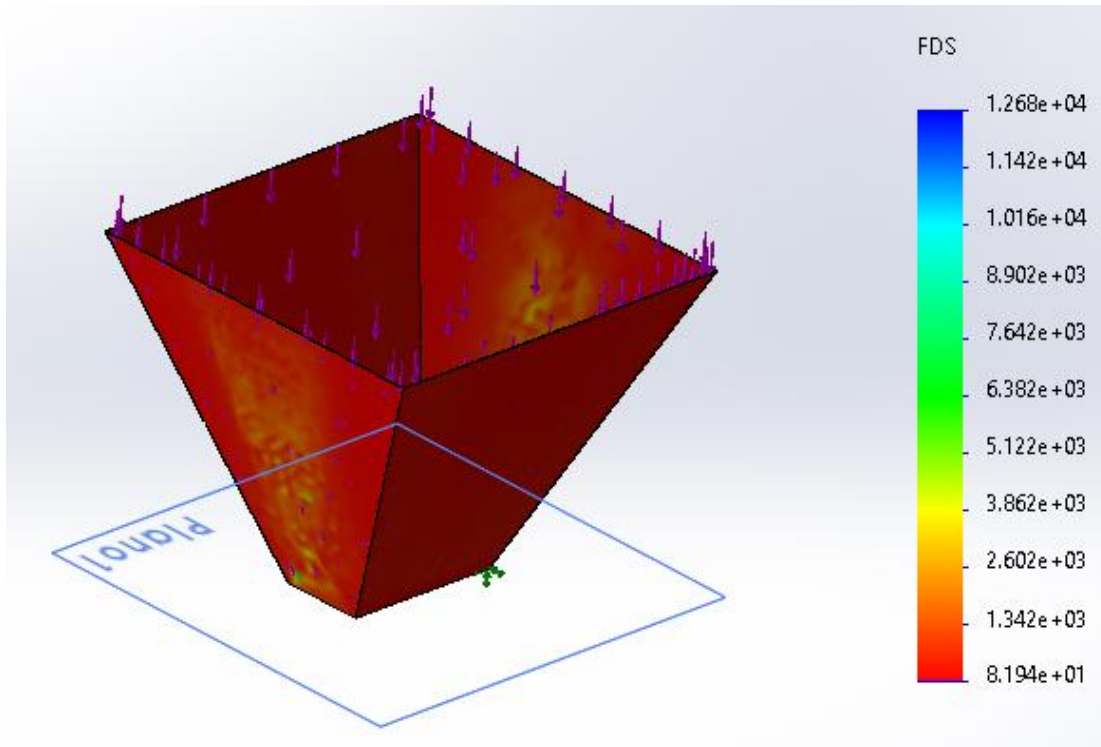


Figura 2.11. Resultados del factor de seguridad con criterio de Von Mises para la tolva de alimentación

Diseño de las juntas soldadas

Se utilizará el método LRFD (Load Resistance Factor Design) para resolver el análisis estructural. Para ello, el cordón crítico del sistema es el mostrado a continuación:

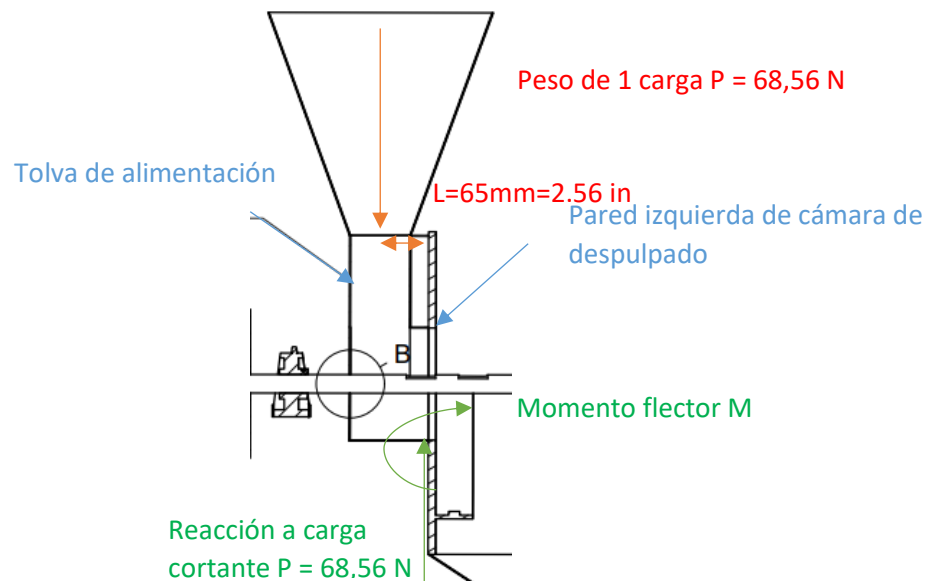


Figura 2.14. Diagrama de cargas para el diseño de junta soldada entre ducto redondo a la pared izquierda

Entonces, se debe hacer dos subanálisis el diseño del cordón en los esfuerzos cortantes primarios y en los esfuerzos a flexión ubicados entre la tolva de alimentación y la pared izquierda de cámara de despulpado.

a) Diseño para esfuerzos cortantes

La ecuación que permite determinar el área efectiva de soldadura es [23]:

$$\phi R_{nw} = 0.75(t_e)(0.6F_{EXX})$$

Ecuación 2.18. Resistencia a cortante de junta soldada por LRFD

Donde:

ϕR_{nw} : Resistencia a cortante en [Kips]

t_e : longitud efectiva del cordón de soldadura que al ser filete tiene el valor de $0.707a$ [in] con a como el ancho del cordón

F_{EXX} : Resistencia del electrodo de acero inoxidable con valor de 80 [ksi] [24]

La resistencia es igual al cortante primario, por tanto:

$$\phi R_{nw} = \frac{P}{A}$$

Ecuación 2.19. Resistencia a cortante primario

Cabe recalcar que para este método se usa el concepto de espesor unitario que permite al área A' ser adimensional y la misma corresponde al perímetro del círculo del ducto redondo que tiene soldadura de filete con la pared izquierda de la cámara de despulpado [23].

$$\frac{P}{A'} = \frac{68.56 N}{2\pi(150 mm/2)} = \frac{0.015 kip}{2\pi(5.91 in/2)} = 8.08e - 4 kip$$

Por tanto,

$$8.08e - 4 kip = 0.75(0.707a)(0.6 \times 80 ksi)$$

$$a = 3.17e - 5 in$$

El ancho del cordón es pequeño como se esperaba, de esta manera se elige por constructibilidad un ancho de $a = \frac{1}{8} in$

b) Diseño para esfuerzos normales a flexión

La ecuación que permite determinar el área efectiva de soldadura es:

$$\phi R_{nw} = 0.8(0.707a)(0.6F_{EXX}) = 27.15 a$$

Ecuación 2.20. Resistencia a flexión de junta soldada por LRFD

La resistencia es igual a la fuerza del peso $P = 0.015kip$ que entra a la tolva, por tanto:

$$a = \frac{0.015 \text{ kip}}{27.15 \text{ kip/in}} = 5.53e - 4 \text{ in}$$

El ancho del cordón es pequeño como se esperaba, de esta manera se elige por constructibilidad y por validación de ambos esfuerzos cortantes y normales un ancho de

$$a = \frac{1}{8} \text{ in}$$

Diseño Tolva de Salida de pulpa

En cuanto a la tolva de salida de pulpa se procede de igual manera que con la tolva de alimentación. Obteniéndose los siguientes resultados de simulación:

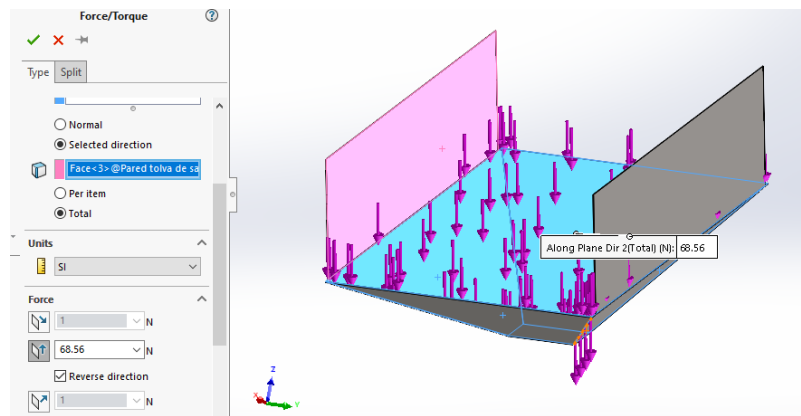


Figura 2.12. Peso de una carga como condición de frontera

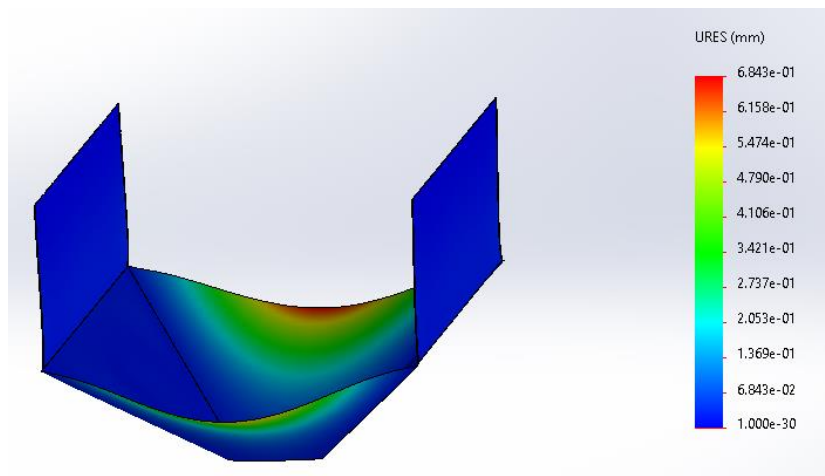


Figura 2.13. Resultados de la simulación de los desplazamientos para la tolva de salida de pulpa

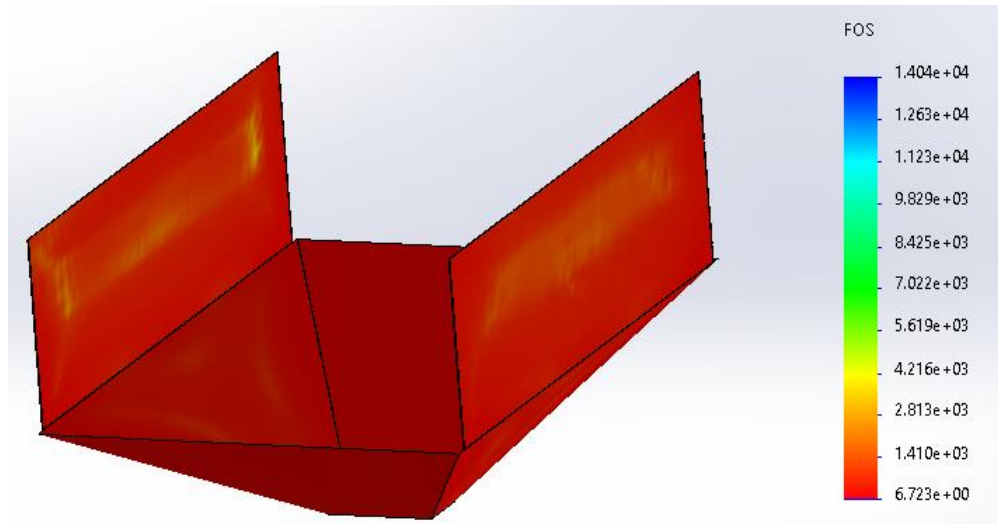


Figura 2.14. Resultados del factor de seguridad con criterio de Von Mises para la tolva de salida de pulpa

2.4 Análisis de Costos

Se presenta el estudio de los costos que conlleva la materialización de los componentes realizados. Para los fines de este proyecto, el análisis del presupuesto será presentado por módulo, mismos que se subdividen en:

- Costos de elementos normalizados
- Costos de Materiales
- Costos de Mano de obra

Tabla 2.1. Costos de los elementos Normalizados del Sistema de Potencia

Elemento	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL [€]
Motor Siemens TRIFASICO 1HP 1800RPM	1	\$ 300.00	\$ 300.00
Variador 1 HP Siemens Sinamics V20	1	\$ 173.00	\$ 173.00
Banda A55 DAYCO	1	\$ 11.20	\$ 11.20
Polea 100mm SPA Optibelt	1	\$ 33.60	\$ 33.60
Polea 200mm SPA Optibelt	1	\$ 56.00	\$ 56.00
			\$ 573.80

Tabla 2.2. Costos del material del Sistema de Alimentación y Salida

MATERIAL	Plancha AISI 304	
PRECIO UNITARIO	120 [\$/1200x2440x1mm]	
PIEZA	Cant. [mm ²]	Cant. [u]
<i>Tolva de alimentación</i>	255640	1
<i>Ducto cuadrado</i>	93036	1
<i>Ducto redondo</i>	98906	1
<i>Tolva de salida de pulpa</i>	599366	1
<i>Tolva de salida de pepas</i>	86510	1
Cantidad Total	1133458	-
Precio Total	\$ 46.45	
	TOTAL	\$ 46.45

Tabla 2.3. Costos de la mano de obra del Sistema de Alimentación y Salida

Maquinaria	CANT.	Corte Láser		Dobladora		Soldadura TIG		TOTAL
COSTO HHM		\$48.00		\$10.00		\$15.00		
PIEZA		Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
<i>Tolva de alimentación</i>	1	0.1	\$ 4.80	1	\$ 10.00	1	\$ 15.00	\$ 29.80
<i>Ducto cuadrado</i>	1	0.033	\$ 1.60	0.5	\$ 5.00	1	\$ 15.00	\$ 21.60
<i>Ducto redondo</i>	1	0.033	\$ 1.60	0.5	\$ 5.00	1	\$ 15.00	\$ 21.60
<i>Tolva de salida de pulpa</i>	1	0.083	\$ 4.00	0.5	\$ 5.00	1	\$ 15.00	\$ 24.00
<i>Tolva de salida de pepas</i>	1	0.083	\$ 4.00	0.5	\$ 5.00	0	\$ -	\$ 9.00
								\$ 106.00

Tabla 2.4. Costos de los servicios del Sistema de Potencia

Maquinaria	CANT.	Programación		Materiales		TOTAL
COSTO HHM		\$50.00		\$150.00		
PIEZA		Cant.	USD	Cant.	USD	USD
<i>Tablero de control de velocidad, inversión, arranque y apagado</i>	1	1	\$50.00	1	\$150.00	\$ 200.00
						\$ 200.00

Tabla 2.5. Costos totales del Componente C

Rubro	Valor S. Alimentación y Salida	Valor S. Potencia
Material	\$ 46.45	-
Servicios	\$ 106.00	\$ 200.00
Normalizados	-	\$ 573.80
Subtotal	\$ 152.45	\$ 773.80
TOTAL	\$ 926.25	

3. PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Pruebas

Verificación de dimensionamiento

En el componente C existen piezas de fabricación que tuvieron en su mayoría una pequeña variación, dentro de las tolerancias y debidas a los procesos propios al llevarse del plano a la realidad, no es el caso de los sistemas normalizados que mantuvieron sus características.

Tabla 3.1. Dimensiones Reales vs. Modeladas del componente C

Elemento	Parte	Dim. Real [mm]	Dim. Modelada [mm]	Resta [mm]
Tolva de salida de pepas	Ancho de la pieza	286.50	286.44	0.06
	Largo de la pieza	150	149.66	0.34
	Ángulo de las alas	90°	45°	45°
Tolva de salida de pulpa	Largo de la tolva	578	586	8
	Ancho del agujero menor	53.5	52	1.5
Tolva de alimentación	Alto de la tolva	299.4	300	0.6
	Lado del agujero mayor	301.3	300	1.3
	Lado mayor del agujero menor	152.9	152	0.9
	Lado menor del agujero menor	80.8	80	0.8
Ducto de alimentación cuadrada	Diámetro interno del agujero interno	26	25.4	0.6
	Diámetro externo del agujero mayor	154.7	153	1.7
	Ancho del agujero cuadrado	80.2	80	0.2
Ducto de alimentación redonda	Diámetro del corte circular	152.9	152	0.9
	Ancho de la plaquita estabilizadora	0	24	24

Referente a la esta tabla, se han ignorado valores que no representan cambios mayores, pero se han dejado ejemplos en la tabla como el ancho de la Tolva de salida de pepas o el ancho del agujero cuadrado del Ducto de alimentación cuadrado que son valores

pequeños, esto se debe a la alta precisión del corte láser. Ahora, para aquellas dimensiones que incrementaron se debe al cordón de soldadura y/o fallas del operador, pero se aceptan porque no afectan a la función de la pieza y está dentro de los parámetros de tolerancias. Finalmente para los cambios muy altos en los valores, estos son evidentes en casos específicos donde se han modificado por funcionalidad; citando el caso de la Tolla de salida de pepas donde se elige 90° para que las pepas no salgan fuera del recipiente o el caso del ancho de la plaquita estabilizadora del Ducto de alimentación redonda que se eliminó del ensamble porque era innecesaria.

Protocolo de pruebas

Una vez construida la máquina despulpadora de fruta, se pone a prueba el sistema en base a las especificaciones técnicas planteadas. De esta manera, se asegura el correcto funcionamiento del proyecto. Los ensayos han sido divididos en tres etapas que son máquina apagada, máquina encendida y máquina en operación. Y los registros se adjuntan en anexos.

ENSAYO 1

Nombre del proceso: Verificación de Máquina en estado apagado

Objetivo: Verificar los diversos elementos de máquina y su montaje.

Responsable del proceso: Inspector de ensayo

Conjunto de actividades: Para realizar el ensayo 1 se procede a seguir las siguientes actividades en orden:

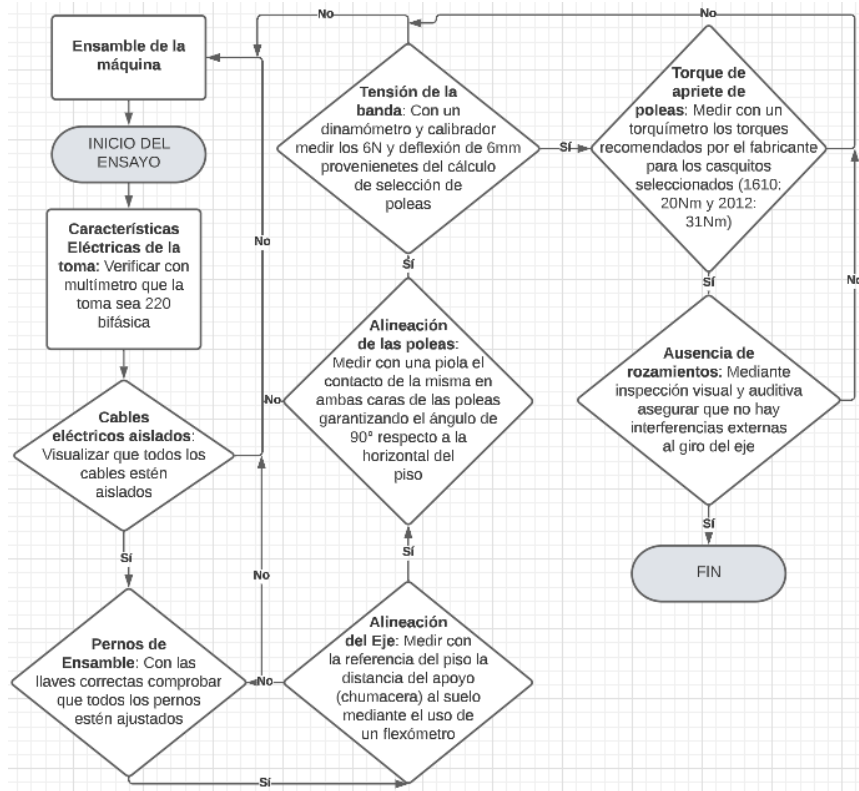


Figura 3.1. Esquema de actividades del Ensayo 1

Notas: Si los chequeos son satisfactorios, se asegura que el sistema puede ser energizado.

Entradas

- Máquina completa ensamblada

Salidas

- Máquina apta para el ensayo 2

ENSAYO 2

Nombre del proceso: Validación de datos de la Máquina Encendida

Objetivo: Verificar el movimiento de los diversos elementos de máquina y validar valores de velocidad angular, intensidad de corriente y voltaje.

Responsable del proceso: Inspector de ensayo

Conjunto de actividades: Para realizar el ensayo 2 se procede a seguir las siguientes actividades en orden:

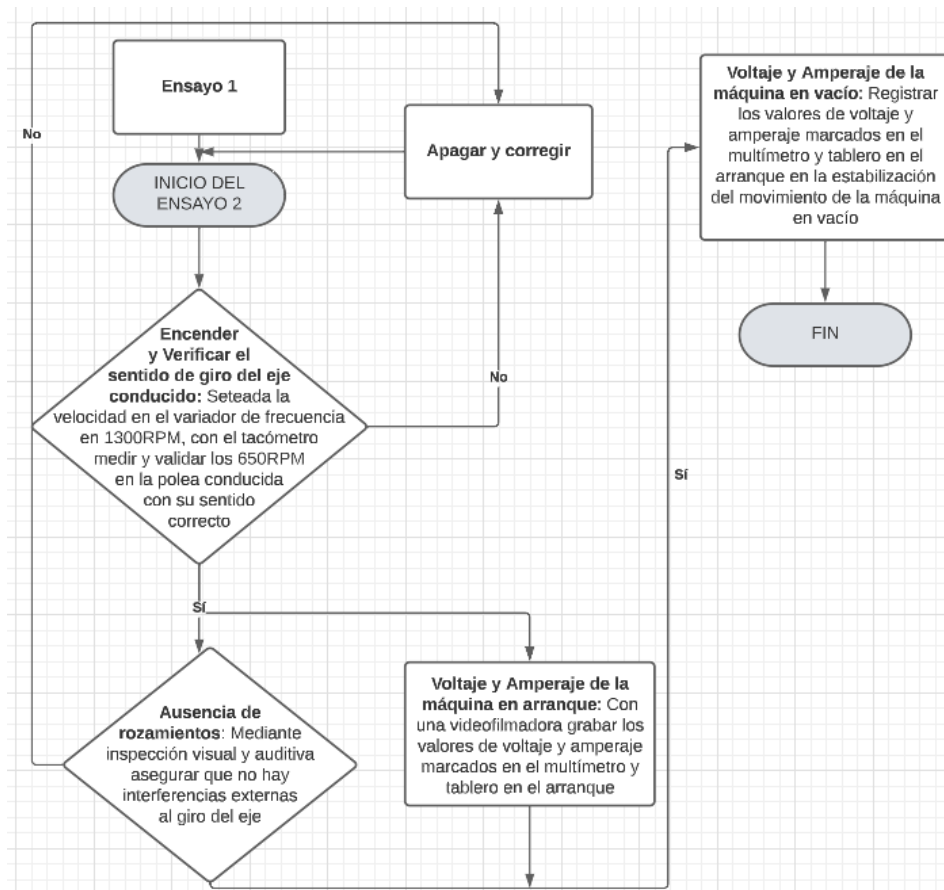


Figura 3.2. Esquema de actividades del Ensayo 2

Notas: Si los chequeos son satisfactorios, se asegura que el sistema puede ser probado con la carga al 50% y posteriormente al 100%.

Entradas

- Máquina con resultados satisfactorios del ensayo 1

Salidas

- Máquina apta para el ensayo 3

ENSAYO 3

Nombre del proceso: Validación de datos de la Máquina en Operación

Objetivo: Comprobar los valores de velocidad angular, masa, tiempo, voltaje e intensidad de corriente para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina.

Responsable del proceso: Inspector de ensayo

Conjunto de actividades: Para realizar el ensayo 3 se procede a seguir las siguientes actividades en orden:

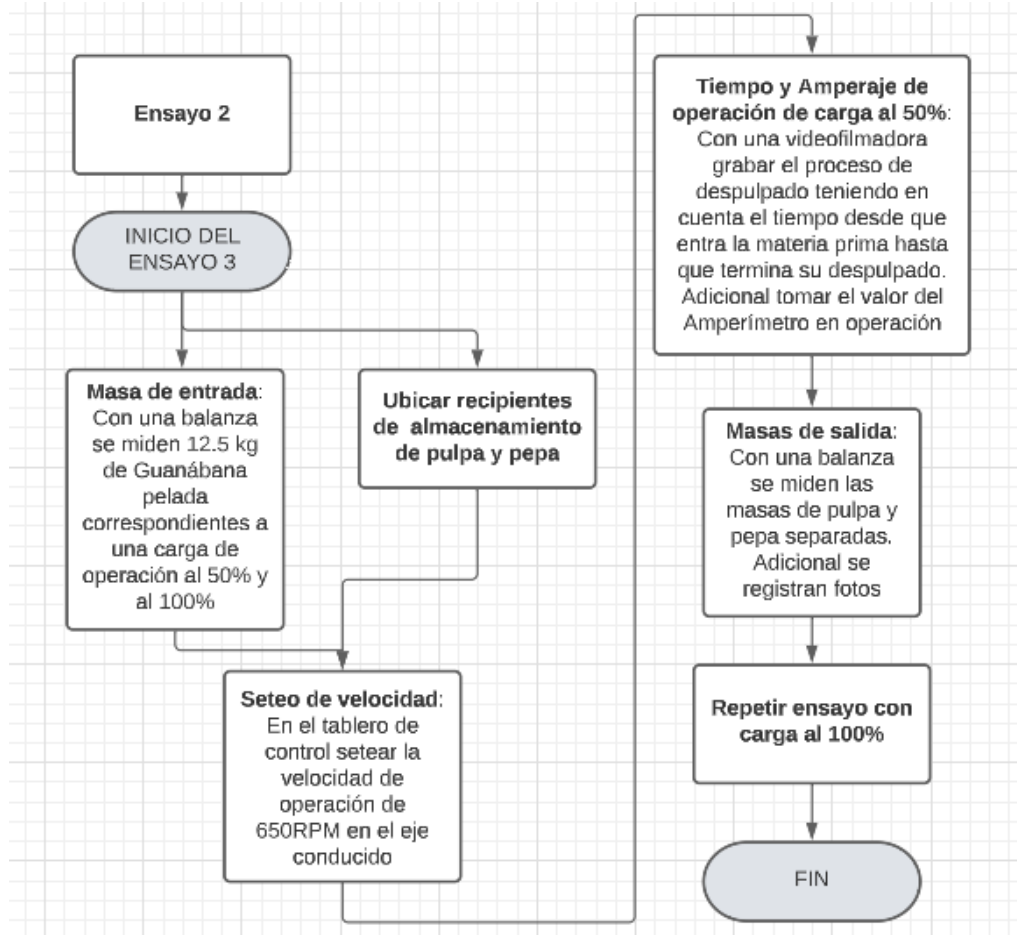


Figura 3.3. Esquema de actividades del Ensayo 3

Notas: Si los chequeos son satisfactorios, se asegura que el sistema puede ser puesto a trabajar con normalidad

Entradas

- Máquina con resultados satisfactorios del ensayo 2

Salidas

- Máquina apta para la aplicación requerida

3.2 Resultados

De esta manera, posterior a la realización de los ensayos y resultados satisfactorios se registraron los siguientes valores con 3 repeticiones tomadas:

Tabla 3.2. Resultados del protocolo de pruebas

Magnitudes	Valores promedio
------------	------------------

Voltaje e Intensidad de corriente consumidos en arranque	217.81 [V]	2.6 [A]
Voltaje e Intensidad de corriente consumidos en vacío	217.82 [V]	2.6 [A]
Voltaje e Intensidad de corriente consumidos en operación	217.80 [V]	3.61 [A]
Velocidad angular en eje conducido	643 [RPM]	
Masa de Guanábana pelada de ingreso	4.17[kg] correspondiente al 50% de carga	8.33[kg] correspondiente al 100% de carga
Tiempo de despulpado al 50% de carga	2:39[min]	
Tiempo de despulpado al 100% de carga	4:18[min]	
Masa de salida de pepa y pulpa correspondiente al 50%	698.61[g] de pepa	3057.39[g] de pulpa
Masa de salida de pepa y pulpa correspondiente al 100% de carga	1352.56[g] de pepa	5894.54[g] de pulpa

Además, se acompaña el análisis con las imágenes de los resultados:



Figura 3.4. Desarrolladores del presente trabajo de integración ensamblando la última pieza de la máquina. De izquierda a derecha Alejandro Chávez, Stalyn Romero y Andrés Guevara



Figura 3.5. Pulpa totalmente sin pepa de una carga al 100% de operación



Figura 3.6. Recipiente de Pepas de una carga al 100% de operación



Figura 3.7. Puñado de pepas tomado del recipiente de pepas



Figura 3.8 Máquina en operación

Con ello, posterior al procesamiento de los valores se puede responder a las especificaciones técnicas planteadas. Primeramente, la máquina se diseñó con alimentación 220V bifásica con variador de frecuencia el cual permite el cambio de velocidades sin pérdida de torque. También, la máquina tiene la flexibilidad de permitir el cambio del tamaño del tamiz, lo que permite emplear en el despulpado de otro tipo de fruta. Adicionalmente debido al seteo de velocidad, el motor trabaja en su 76.25% lo cual no representa sobrecalentamiento de este por lo que todos los componentes aseguran el trabajo de 8 horas continuas.

Por otro lado, el flujo de operación con carga al 100% se calcula al dividir masa resultante sobre tiempo, siendo el resultado 28.09 [g/s] o 101.13 [kg/h] tomando en cuenta a la masa de pepa y despreciando la masa de pulpa atrapada. Además, se conoce que existe el desaprovechamiento de pulpa del 9% y 13.1% correspondientes a la carga de operación del 50% y 100% respectivamente de donde, se puede recuperar al desprender manualmente la pulpa atrapada en la máquina y disminuyendo la alimentación en la tolva

de entrada o reduciendo moderadamente la velocidad angular para evitar salpicaduras que representan pérdidas. Por otro lado, a partir de la Figura 3.7 se puede evidenciar que no existe rotura de pepa, únicamente raspones. Y de la Figura 3.6 se evidencia que existe combinación de pulpa y pepas en ciertas zonas del envase de pepas, esto se debe a que esta pulpa es más dura y seca la cual se adhiere con mayor fuerza, el problema se resuelve al volver a despulpar. Este reproceso, es típico y normal en todos los equipos de pulpa consultados.

3.3 Conclusiones

Como fase final del proyecto se establecen las conclusiones obtenidas:

- Se ha recopilado toda la información bibliográfica necesaria, se ubica en el capítulo 1 en la sección 1.4 marco teórico.
- Se han establecido las necesidades y especificaciones del presente proyecto mediante el análisis de la matriz de calidad QFD y sus resultados, ubicado en la sección 1.4 marco teórico.
- Se seleccionó de entre varias alternativas, las soluciones más convenientes para cada sistema de la máquina. El estudio se ubica en la sección 1.4 marco teórico.
- Se diseñó o seleccionó los elementos de la solución del componente C. Además, se elaboró modelos 3D, su ensamble, planos de conjunto y taller, todo esto se ubica en el capítulo 2.
- Se construyó y ensambló todos los elementos del componente C dentro del tiempo establecido con la finalidad de satisfacer los requerimientos del proyecto.
- En cuanto al modelo teórico, la potencia para contrarrestar la inercia tiene el valor de 0.064[HP]. Respecto a la real medida se tiene un error porcentual del 18.88%. Por otro lado, la potencia de arranque real en vacío y potencia de operación con la carga de trabajo objetivo de 8.33[kg] de materia prima de Guanábana es de 0.684 [HP] y 0.95 [HP] respectivamente. Por tanto, el motor asignado cumple con los requisitos planteados.
- Para la selección del sistema de poleas, la relación de transmisión es de 2, diámetro de la conducida de 200[mm], banda SPA de un canal de 55[in] con una distancia entre centros de 473.55[mm], la fuerza de montaje de 6.005[N], deflexión de montaje de 6.88[mm].

- Para las tolvas se usa el modelo de solución analítico y de simulación. De esta manera, se obtiene el volumen de la tolva de alimentación de 0.009[m³] y resultados del cálculo de la soldadura por método LRFD de 1/8[in] que se generaliza al resto de soldaduras.
- El costo total del componente C se diversifica en costos del material, servicios y sistemas o elementos normalizados. Obteniéndose los valores de 46.45, 306 y 573,8 [USD] respectivamente. Como total de 926,25[USD], donde en la realidad existieron valores de imprevistos extra del 65[USD] que corresponde al 6.8%.
- El presente diseño responde correctamente a las especificaciones. La máquina es abastecida por alimentación 220V bifásica, tiene variador de frecuencia apto al cambio de velocidades sin pérdida de torque que junto con la opción disponible del cambio de tamiz (a tamiz con agujeros de acuerdo al tamaño de pepa) permite el despulpado de variedad de fruta. A partir de este punto se toma en cuenta los requerimientos de la Guanábana, es así que el motor trabaja al 76.25% de velocidad lo que admite el trabajo de 8 horas continuas. Por otro lado, el flujo de operación corresponde a 101.13 [kg/h] con desaprovechamiento de pulpa del 13.1%. Finalmente, no existe rotura de pepa sino sólo raspones y en cuanto a la cantidad de pulpa en la pepa también se considera nula porque se soluciona al volver a despulpar.
- Al haber terminado todos los componentes junto con los componentes A y B correspondientes a Andrés Guevara y Alejandro Chávez, se pudo diseñar y construir una máquina de despulpado con resultados satisfactorios y esperados.

3.4. Recomendaciones

Como análisis final, se presentan recomendaciones para un excelente desempeño de la máquina y mejoras para la optimización del proyecto:

- Utilizar equipos EPP de acuerdo con el ambiente de trabajo en todo momento de la construcción, ensamble e inspección de la despulpadora.
- En el proceso de diseño tomar en cuenta con prioridad el criterio de los soldadores con experiencia para garantizar el rango de deformación permisible para la conformación de todos los elementos y su interacción en el ensamble.

- Desarrollar programas paramétricos cuando se actualicen los elementos del paso teórico al real para obtener su cálculo de forma rápida y práctica. Además de validar su funcionalidad.
- Para optimizar el desempeño de la máquina se recomiendan alargar los rascadores de nylon para abarcar una zona que tiene atrapamiento de la comida, esto evita mover manualmente esta materia prima en la última despulpada del día de trabajo.
- Soldar tuercas en los agujeros de conexión entre tamices para un desmontaje mucho más rápido a la hora de limpieza y mantenimiento.
- Según pruebas experimentales y observaciones, alimentar la máquina a un flujo aproximado de 200 g por segundo para evitar sobrecorrientes y salpicaduras de pulpa fuera de la máquina.
- En caso de que el operador setee parámetros fuera de los establecidos, despulpar por segunda ocasión las pepas con comida.
- No superar las 8 horas diarias de uso y ubicar en un lugar ventilado para no sobre exigir al motor y tener una vida larga del sistema, según el fabricante.
- El parámetro de mayor importancia encontrado experimentalmente es el de la velocidad del eje conducido que debe estar en un rango de 300-400RPM. Por tanto, se recomienda usar una relación de 3:1 en las poleas para mayor aprovechamiento del motor.
- La limpieza toma 30 min por lo que es recomendable sólo realizarla al final del día.
- Realizar mantenimientos cada 3 meses verificando ajuste de todos los pernos de la máquina, alineación de la banda, templado de la banda, torque de los casquitos de las poleas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

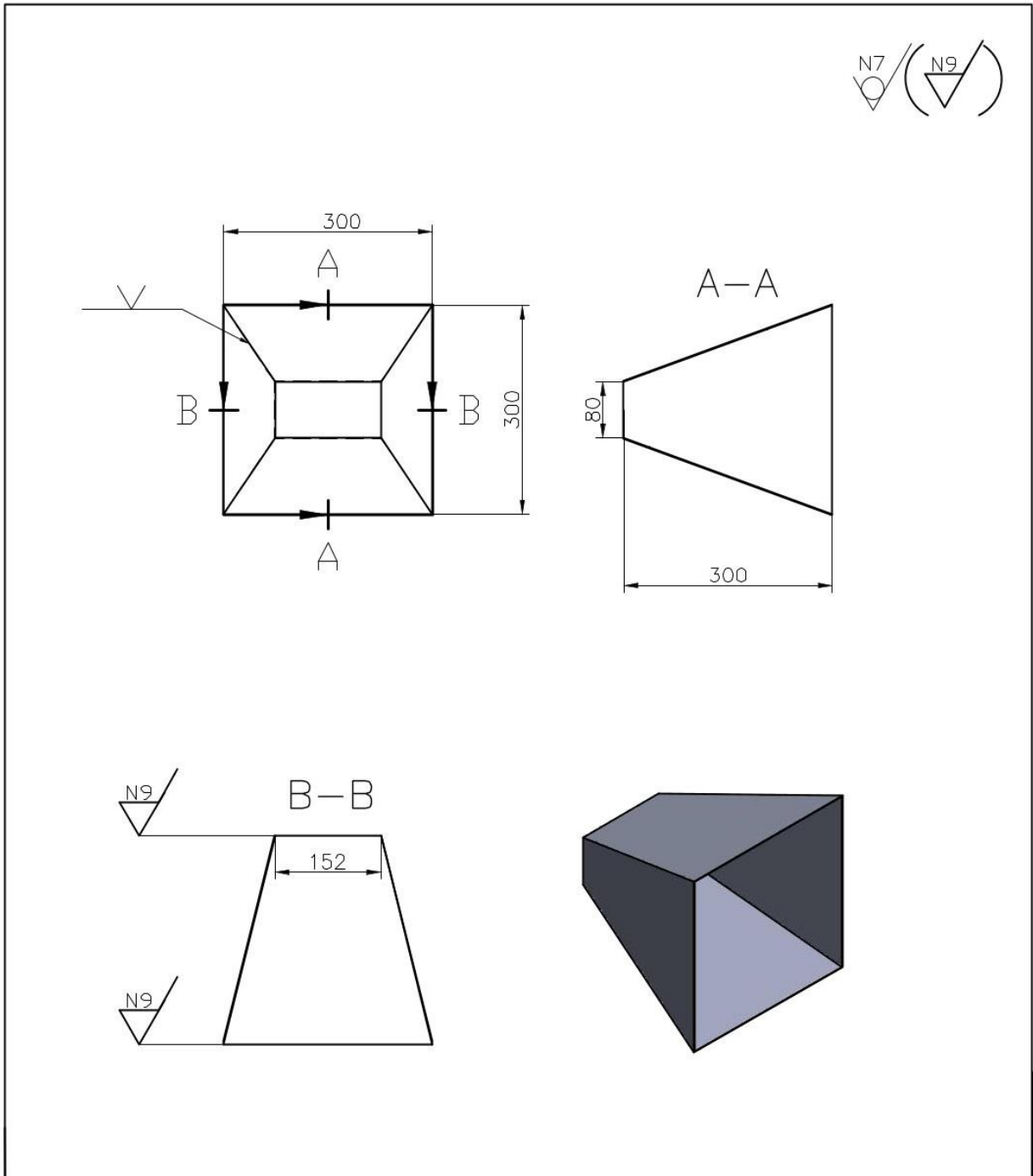
Todas las referencias utilizadas son:

- [1] A. Saquina, Diseño y construcción de una máquina despulpadora de frutas con una capacidad de 500 kg/h para la empresa productos suiza dajed cia. de ambato, Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2019.
- [2] Á. Ivette, Diseño y construcción de una máquina semiautomática para el despulpado de frutas, Quito: Universidad internacional del Ecuador, 2017.
- [3] M. Tirira, «Diseño y construcción de una maquina despulpadora de frutas,» Escuela Politecnica Superior de Chimborazo, Riobamba, 2014.

- [4] Zumex, «Despulpadora ZPD500,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.zumexfoodengineering.com/es/producto/despulpadora>.
- [5] A. Pinzón, J. Cerón, N. Suarez y J. Molina, «Despulpado,» Bogotá, SENA, 2015, pp. 8-9.
- [6] M. Bonilla, «El productor de guanábana busca mercados en el país,» Líderes, 2016, pp. 13-15.
- [7] Exotics, «Retrieved from Guanábana,» 2018. [En línea]. Available: <https://caribbeanexotics.com.co/productos/guanabana/>.
- [8] J. Cuenca, «Diseño de una despulpadora de Guanabana de 400Kg/h de capacidad,» Escuela Politécnica Nacional, Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [9] G. Paltrinieli y F. Figuerola, «Manual para el curso sobre procesamiento de frutas y hortalizas a pequeña escala en Perú,» Lima, 2013.
- [10] R. Sampedro y T. Viteri, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESPULPADORA DE GUANÁBANA DE CAPACIDAD 50 kg/h, Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2019.
- [11] Brown International, «bidspotter,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.bidspotter.com/en-us/auction-catalogues/bscba/catalogue-id-bscba10072/lot-5a577adf-1ffd-4370-b0af-a4f701072ec8#lotDetails>.
- [12] Impulsora Bazar Gastronómico, «Impulsora,» 2020. [En línea]. Available: http://impulsoraweb.com.ar/suspended.page/1_mb/.
- [13] IMARCA, «Despulpadora Semi Industrial Ref. 10050,» 2021. [En línea]. Available: <http://imarca.com.ve/Despulpadoras-de-frutas.php>.
- [14] Talleres Prado, «DESPULPADORAS DE FRUTA Y VERDURA,» 2021. [En línea]. Available: <https://despulpadoradefrutas.com/despulpadoras/>.
- [15] C. Riba, Diseño concurrente, ETSEIB - UPC, 2002.
- [16] Ecured, «Arranque de motores eléctricos,» 2020. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Arranque_de_motores_el%C3%A9ctricos#Arranque_directo_a_l.C3.ADnea.

- [17] SIEMENS, Datasheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors, Bogotá: Siemens, 2021.
- [18] S. Chapman, Máquinas Eléctricas (Spanish Edition), Monterrey, México: McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2012.
- [19] R. Budynas y K. Nisbeth, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", Ciudad de México: MC Graw Hill, 2012.
- [20] Rolound, Rolound Design Manual, Copenhague: Rolound, 2016.
- [21] Optibelt, Optibelt Technical Manual V-belt Drives, Berlin: Optibelt, 2022.
- [22] Optibelt, «CAP 6.0,» 2022.
- [23] C. Salmon, J. Johnson y F. Malhas, Steel Structures Design and Behavior, New Jersey: Pearson, 2009.
- [24] AISC, ANSI/AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings, Illinois: American Institute of steel construction, 2016.
- [25] E. Amaguaña y I. Casco, «Diseño de un Molino de Pines,» *Escuela Politécnica Nacional*, Febrero 2022.
- [26] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.
- [27] C. Martinez, ESTUDIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS EN EL PLÁTANO BURRO, Universidad Central de Las Villas, 2020.

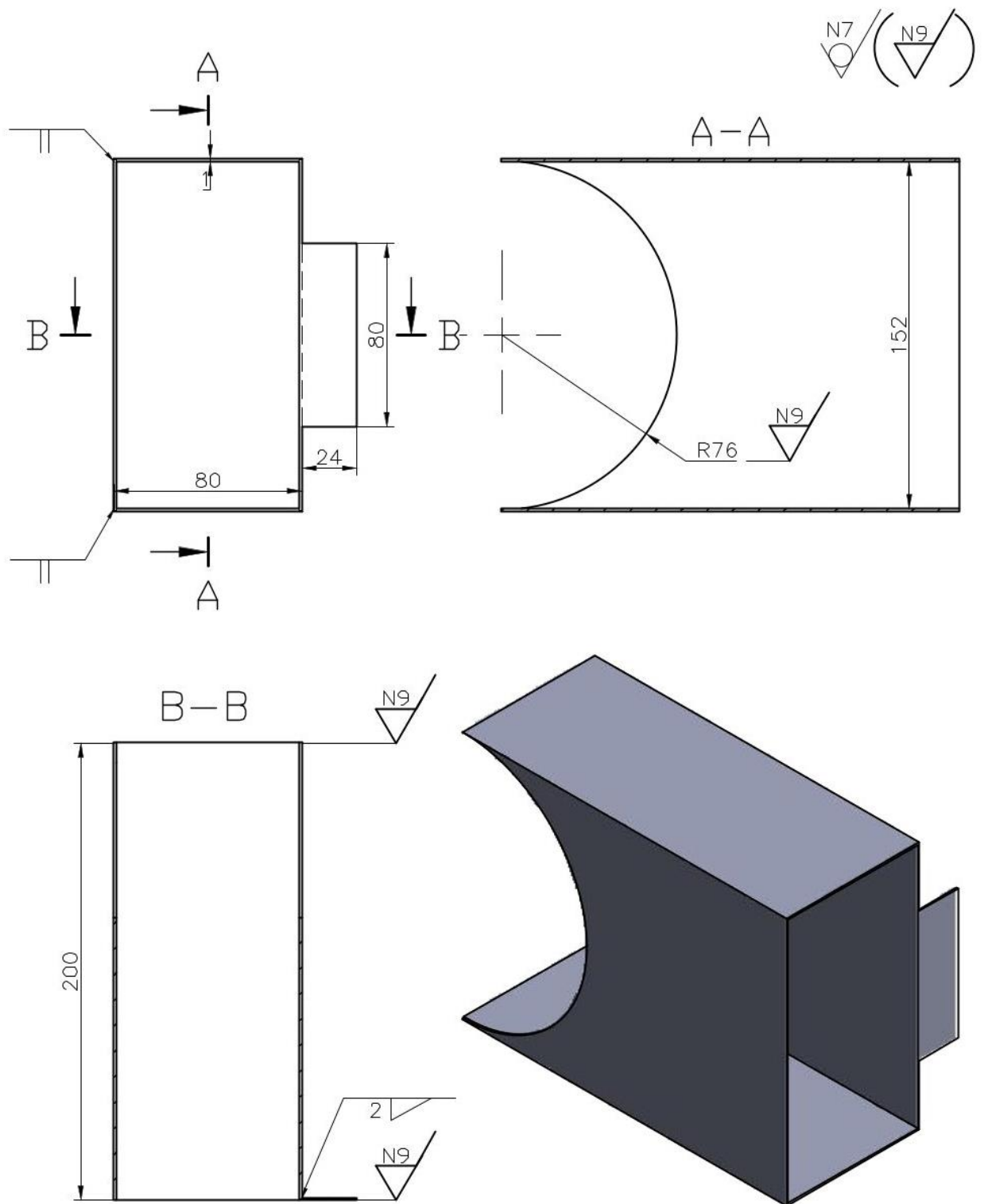
ANEXO II. PLANOS



NOTA:

–El acabado superficial principal proviene del Laminado y para los bordes del Corte Láser

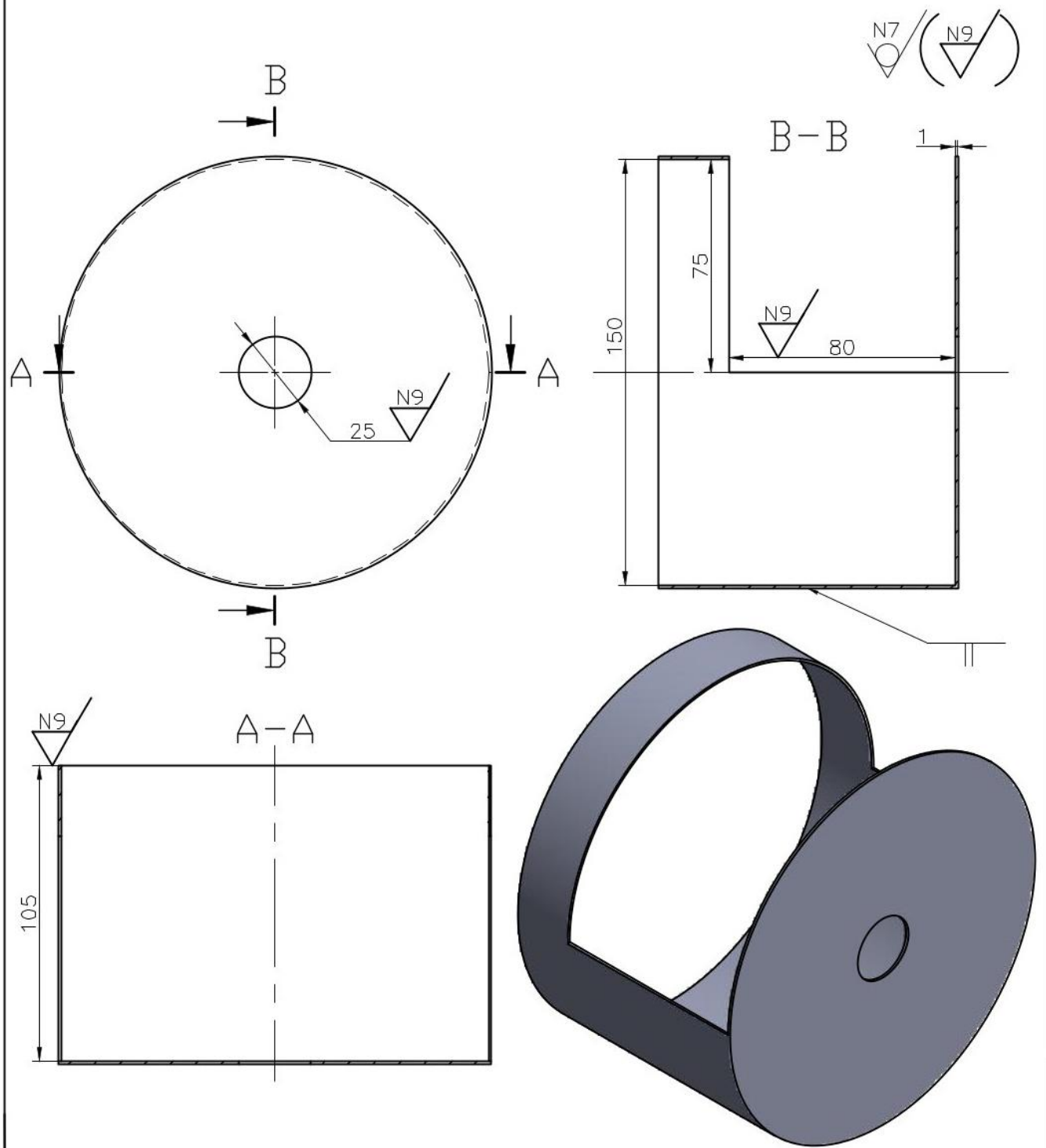
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Romero Stalyn	
MATERIAL:	AISI 304	TOL. GRAL.: ± 0.1	ESCALA: 1:8	DIS.: Romero Stalyn
				REV.: Ing. Cesén Mario
TOLVA DE ALIMENTACION		DF-FIM.201		FECHA: 02-10-22



NOTA:

–El acabado superficial principal proviene del Laminado y para los bordes del Corte Láser

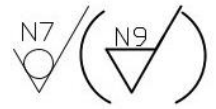
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Romero Stalyn
MATERIAL: AISI 304	TOL. GRAL.: ± 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIS.:	Romero Stalyn
			REV.:	Ing. Cesén Mario
DUCTO ALIM. CUADRADO		DF-FIM.202		FECHA: 17-10-22



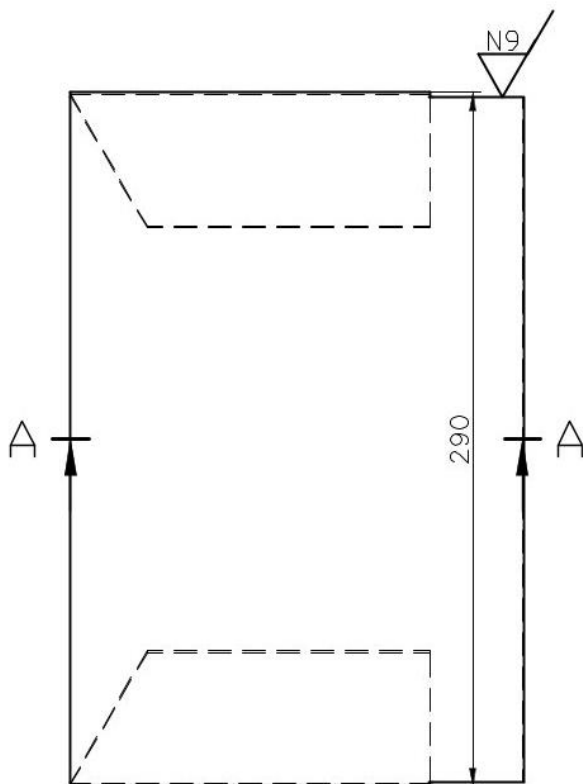
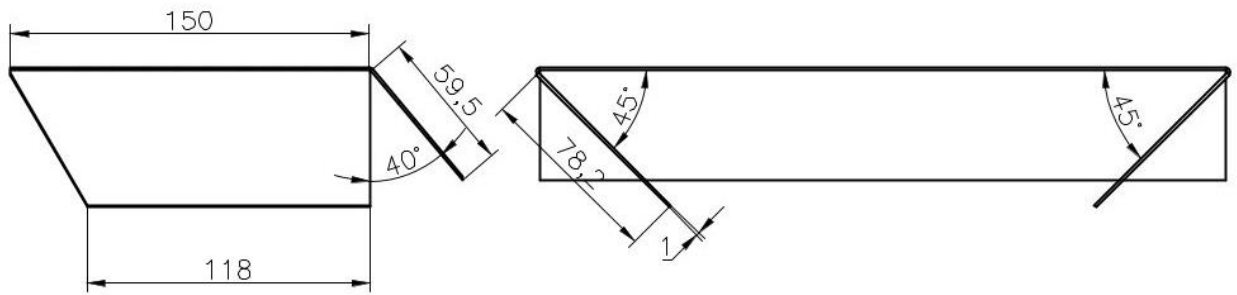
NOTA:

–El acabado superficial principal proviene del Laminado y para los bordes del Corte Láser

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Romero Stalyn
MATERIAL: AISI 304	TOL. GRAL.: ± 0.1	ESCALA: 1:2	DIS.:	Romero Stalyn
			REV.:	Ing. Cesén Mario
DUCTO ALIM. REDONDO		DF–FIM.203		FECHA: 17–10–22



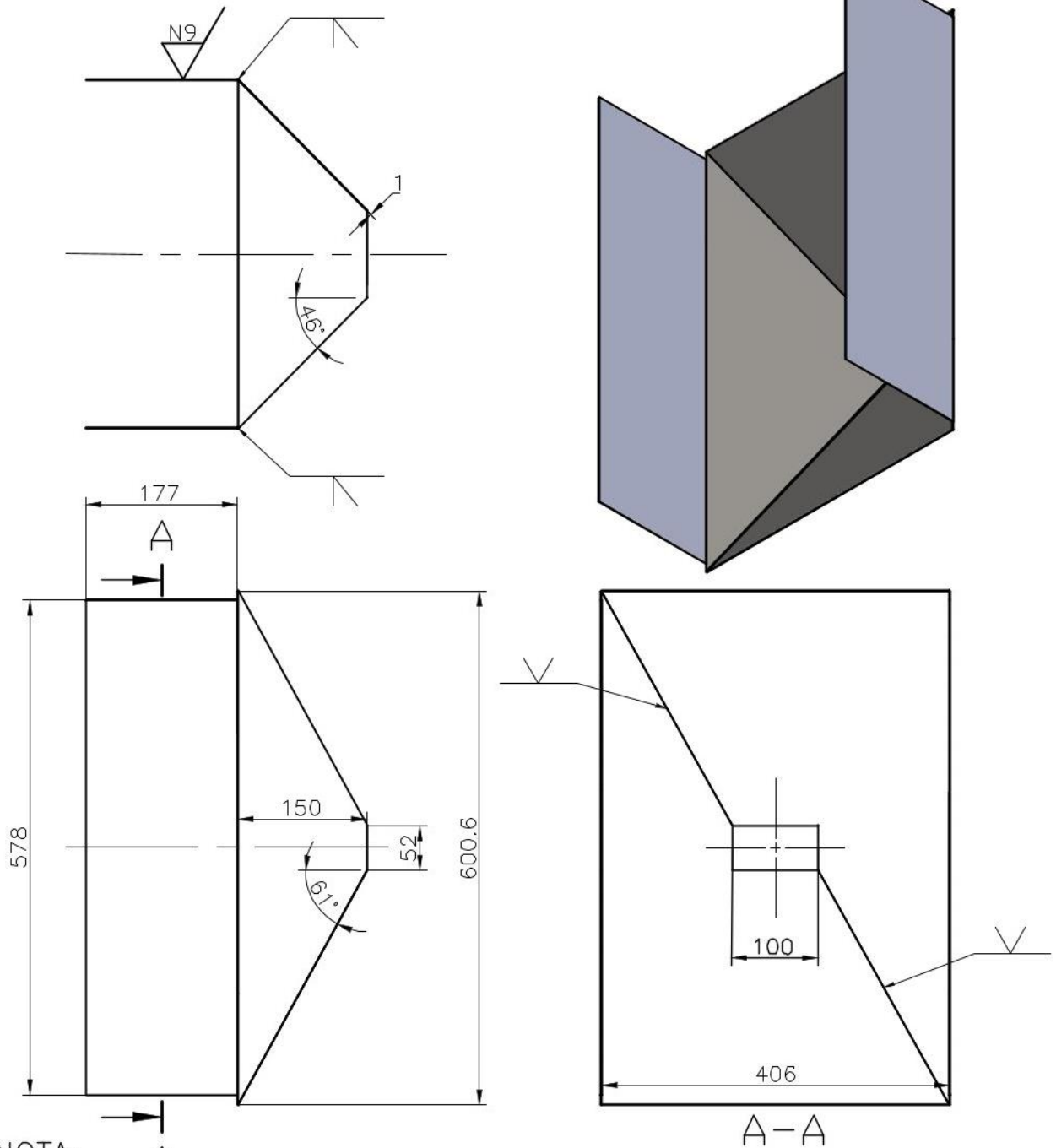
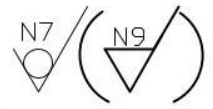
A-A



NOTA:

–El acabado superficial principal proviene del Laminado y para los bordes del Corte Láser

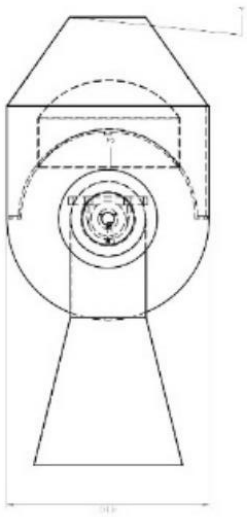
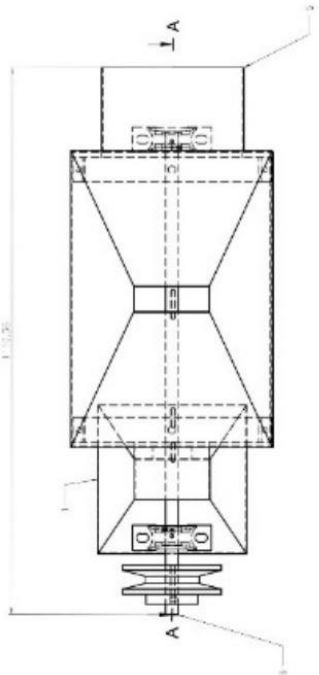
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Romero Stalyn	DIS.: Romero Stalyn
MATERIAL:	AISI 304	TOL. GRAL.: ± 0.1	ESCALA: 1:3	REV.: Ing. Cesén Mario
TOLVA SALIDA PEPAS		DF-FIM.204		FECHA: 11-11-22



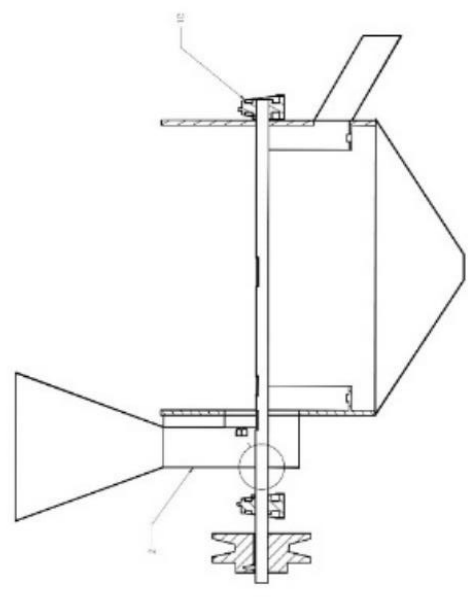
NOTA:

-El acabado superficial principal proviene del Laminado y para los bordes del Corte Láser

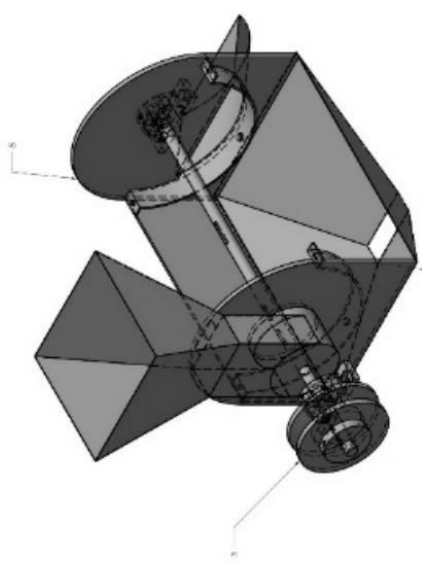
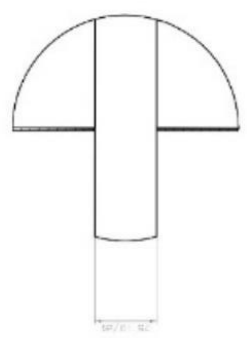
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Romero Stalyn	
MATERIAL:	AISI 304	TOL. GRAL.: ± 0.1	ESCALA: 1:7	DIS.: Romero Stalyn
				REV.: Ing. Cesén Mario
TOLVA SALIDA PULPA		DF-FIM.205		FECHA: 11-11-22



CORTE A-A (1:5)



B (1:1)



NOTA:
-Las piezas en contacto de los tocos y pernos están
rodadas con pulido debido a su espesor de 1mm.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	OTROS	OTROS	OTROS
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

EPN
INGENIERIA MECÁNICA
ENSAMBLE_COMP.C
DF-FIM.002

ANEXO III. REGISTRO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS

PROTOCOLO DE PRUEBAS			
MAQUINA:	DESPULPadora DE FRUTA		FECHA: 19 de 123
ESTUDIANTES:	Romero Stalyn		PROFESOR: Ing. Mario Casén, M.Sc.
	Guevara Andrés		HORA INICIAL: 8:00
	Chávez Alejandro		HORA FINAL: 17:30
LISTA DE VERIFICACIÓN DE ESTADO DE LA MÁQUINA ANTES DEL INICIO DE PRUEBAS (MÁQUINA DESCONECTADA)			
ASPECTO DE INSPECCIÓN	CHEQUEO	OBSERVACIÓN	
Verificación de las características eléctricas de la toma eléctrica	✓		
Verificación que no existan cables eléctricos no aislados	✓		
Verificación de ajuste de pernos de ensamblaje de componentes	✓		
Verificación de alineación de eje	✓		
Verificación de alineación de poleas	✓		
Verificación de torque de apriete de poleas	✓	SPA 1610 20Nm y 2012 31Nm	
Verificación de tensión de banda	✓	deflexión=6.88mm; fuerza=6 N	
Verificación de ausencia de rozamientos y elementos ajenos a la trayectoria entre	✓		
TOMA DE DATOS (MÁQUINA CONECTADA Y ENCENDIDA)			
ASPECTO DE INSPECCIÓN	PARÁMETRO	OBSERVACIÓN	
Encender máquina	✓		
Verificación de sentido de giro del eje conducido	✓		
Verificación del número de rpm de la polea del motor	✓	Seteo en 1300 RPM	
Verificar el número de rpm de la polea conducida	643 RPM	650 RPM	
Verificar del movimiento de las partes de la máquina	✓		
Voltaje e Intensidad de corriente eléctrica del motor en arranque	217,81 V 2,6 A	$P=(2/3^{0.5}) \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi$; $\cos\phi=0.78$	
Voltaje e Intensidad de corriente eléctrica del motor en vacío (sin producto)	217,82 V 2,6 A		
FUNCIONAMIENTO (MÁQUINA EN OPERACIÓN) PARA OBTENER PULPA DE GUANÁBANA			
ASPECTO DE INSPECCIÓN	PARÁMETRO	OBSERVACIÓN	
Medir 4,17kg de Guanábana sin cáscara a despulpar correspondientes a media carga	✓		
Medir 8,33kg de Guanábana sin cáscara a despulpar correspondientes a una carga	✓		
Ubicar recipientes de obtención de pulpa y pepas	✓		
Verificación del número de rpm de la polea del motor	✓		
Medición del tiempo de despulpado con carga al 50% hasta que salgan todas las pepas	2:39 min		
Intensidad de corriente eléctrica del motor en operación al 100%	3,61 A		
Medición del tiempo de despulpado con carga al 90% hasta que salgan todas las pepas	4:18 min		
Intensidad de corriente eléctrica del motor en operación al 100%	3,81 A		
Medir masas de salida con carga al 50%	698,61 5057,39	pepa y pulpa respectivamente.	
Medir masas de salida con carga al 100%	1352,56 5894,54	" "	
Fotografías de resultado del despulpado	✓	Para verificación del 5% de rotura en la pepa y el 5% de pulpa en la pepa	