



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
UPIIZ

Trabajo escrito para opción de titulación:
Curricular

**“Diseño y construcción de máquina
semiautomática para la obtención de pulpa a
partir de papel usado”**

Que para obtener el Título de:
“Ingeniero en Mecatrónica”

Presentan:

Freddy Alexyz Segovia Báez

Jesús Joshua Herrera Pérez

Luis Ignacio Arellano Sandoval

Revisores:

M. en C. Carlos Daniel Rico Mandujano

M. en C. Miguel Mauricio Aguilera Flores

M. en I. Umanuel Azazael Hernández González

Zacatecas, Zac., septiembre de 2019





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE
INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
UPIIZ

Trabajo escrito correspondiente a la opción de titulación:
Curricular

**“Diseño y construcción de máquina semiautomática
para la obtención de pulpa a partir de papel usado”**

Que para obtener el Título de:
“Ingeniero Mecatrónico”

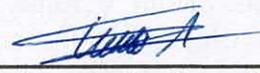
Presentan:



Freddy Alexyz Segovia Báez



Jesús Joshua Herrera Pérez

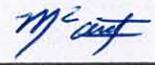


Luis Ignacio Arellano Sandoval

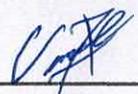
Revisores:



M. en C. Carlos Daniel Rico Mandujano



M. en C. Miguel Mauricio Aguilera Flores



M. en I. Umanel Azazael Hernández González



M. en I. Carlos Cuevas Cortés



M. en I.E. Adan Orenday Delgado



Zacatecas, Zac., septiembre de 2019

Autorización de uso de obra

**Instituto Politécnico Nacional
P r e s e n t e**

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Freddy Alexyz Segovia Báez, Jesús Joshua Herrera Pérez, Luis Ignacio Arellano Sandoval**, estudiantes del programa académico de **Ingeniería Mecatrónica** con numero de boleta **2013670049, 2013670125, 2014670114**, adscritos a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Zacatecas; manifiesto ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“Diseño y construcción de máquina semiautomática para la obtención de pulpa a partir de papel usado”**, en adelante “El Trabajo de Titulación” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales y escritos “El Trabajo de Titulación” por un periodo de tiempo indefinido contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “El IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “El Trabajo de Titulación”.

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “El Trabajo de Titulación”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “El Trabajo de Titulación”, por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “El Trabajo de Titulación” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Zacatecas, Zac., a 27 de septiembre del 2019.

Atentamente



Freddy Alexyz Segovia Báez



Jesús Joshua Herrera Pérez



Luis Ignacio Arellano Sandoval

Agradecimientos

Jesús Joshua Herrera Pérez

A mi madre por su apoyo incondicional, estar siempre para mí a pesar de los malos momentos, por enseñarme a nunca rendirme y enfrentar todo lo que se interponga en mi camino.

A mi padre por enseñarme el aprecio al trabajo y el conocimiento.

A mi novia y mis hermanas por brindarme su apoyo durante todo el camino hasta llegar aquí.

Sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constante, sólo deseo que comprendan que el logro mío es suyo también, que mi esfuerzo es inspirado a ustedes y que son mi único ideal.

Luis Ignacio Arellano Sandoval

A cada segundo que me han dedicado de una forma u otra a lo largo de la vida, mis padres, hermanas, maestros y amigos. Con especial cariño a mis abuelitos, mamá Lupe y papá Ignacio. Gracias.

Freddy Alexyz Segovia Báez

A mis padres Ma. Guadalupe Báez Martínez y Marco Antonio Segovia que me apoyaron en cada momento y me han enseñado lo importante que es luchar por conseguir tus metas sin importar los obstáculos que se tengan enfrente.

A mis hermanos Reyna y Javier que siempre creyeron en mí y jamás me dejaron darme por vencido.

A mi novia Karen Fabiola Pérez de la Cruz que me apoyo durante la mayor parte de mis estudios universitarios.

A mis amigos Pedro García, José Montoya, Irving Guerrero, Joshua Herrera, Geovanni Huerta, Oscar Sánchez, Alejandro Varela, Erick Acevedo, Israel Valdez, Carlos Balderas, Sebastián Alvarado, Alberto del Rio, Alejandro Romo que me apoyaron en el transcurso de mis estudios universitarios además de convertirse en una parte importante de mi vida.

Índice

Resumen.....	i
Palabras Clave.....	i
Abstract.....	ii
Keywords.....	ii
Introducción.....	iii
Objetivo General	iv
I. Antecedentes.....	1
II. Planteamiento del Problema.....	12
Capítulo 1. Especificaciones de diseño	13
1.1 Pruebas experimentales.....	13
1.1.1 Selección de pulpa	13
1.2 Selección de componentes químicos.....	14
1.2.1 Relación agua y blanqueador.....	15
1.3 Cálculos estructurales.....	16
1.3.1 Densidad	16
1.3.2 Volumen	17
1.3.3 Dimensiones.....	17
1.3.4 Presión	18
Capítulo 2. Diseño Conceptual.....	20
2.1 Contenedor.....	22
2.1.1 Estructura base	22
2.1.2 Mecanismo de inserción de papel.....	23
2.1.3 Soporte del motor y eje.	24
2.2 Integración de elementos.....	26
2.2.1 Diagrama general de funcionamiento.....	27
Capítulo 3. Diseño detallado.....	29
3.1 Estructura.....	29
3.1.1 Simulación de esfuerzos sobre estructura	29
3.2 Mecanismo de pesado y triturado de papel.....	30
3.2.1 Placa de aluminio	30
3.2.2 Tornillo sin fin	31
3.2.3 Motor a pasos.....	32
3.2.4 Trituradora.....	34

3.2.5	Rodillos de goma.....	35
3.3	Cálculos y diseño hidráulico.....	36
3.3.1	Selección de las bombas	36
3.3.2	Selección de válvula.....	39
3.4	Selección del motor principal.....	39
3.4.1	Estimación de la potencia necesaria del motor	40
3.5	Contenedor.....	41
3.5.1	Simulación de esfuerzos en el contenedor.....	42
3.6	Aspas	43
3.6.1	Simulación de torsión sobre el eje de las aspas.....	44
3.6.2	Simulación del momento en las aspas	44
3.7	Tolva de filtrado.....	45
3.8	Selección de componentes electrónicos	46
3.8.1	Selección de controlador electrónico.....	48
3.8.2	Driver A4988	49
3.8.3	Circuitos eléctricos	50
3.9	Integración de diseño	52
3.10	Costo de material	54
3.10.1	Comparación precio estimado – precio cotizado.....	55
III.	Análisis y Validación de Resultados	56
Capítulo 4.	Adquisición de los elementos de la máquina.....	56
4.1	Adquisición	56
4.1.1	Materiales para manufactura.....	56
4.1.2	Elementos de fabricación externa	57
4.1.3	Elementos prefabricados.....	57
Capítulo 5.	Construcción de estructuras metálicas.....	59
5.1	Construcción de la estructura base	59
5.2	Construcción del arco sujetador del motor	61
Capítulo 6.	Implementación de Interfaz	67
6.1	Descripción general.....	67
6.1.1	Controladores electrónicos.....	67
6.1.2	Configuración	68
6.1.3	Software	72
Capítulo 7.	Validación de resultados	75
7.1	Pruebas previas a integración de elementos.....	75

7.1.1	Motor a carga máxima.....	75
7.1.2	Electroválvula.....	76
7.1.3	Caja dispensadora	76
7.1.4	Bombas de agua e hipoclorito	77
7.1.5	Software	77
7.1.6	Instalación eléctrica.....	78
7.2	Resultados	79
IV.	Conclusiones y Recomendaciones	81
8.1	Conclusiones.....	81
8.2	Recomendaciones.....	82
V.	Cronograma de actividades para Trabajo Terminal II	86
VI.	Anexos.....	87
	Anexo 1 Cronograma de Actividades Trabajo Terminal I.	87
	Anexo 2 Tabla de calibres de lámina.....	88
	Anexo 3 Hojas de datos y características.....	89
	Anexo 4 Planos de manufactura.....	98

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Datos recolectados.....	14
Tabla 1.2 Mediciones de mezclas con hipoclorito de sodio.....	16
Tabla 1.3 Especificaciones del diseño	19
Tabla 2.1. Elementos mecanismo inserción de papel.	24
Tabla 2.2 Elementos soporte del motor.....	25
Tabla 2.3 Elementos diseño conceptual.....	27
Tabla 3.1 Resultado simulación análisis estático de estructura base.....	30
Tabla 3.2 Resultado simulación análisis estático del elevador de hojas.	33
Tabla 3.3 Resultado simulación análisis de pandeo de los tornillos.....	34
Tabla 3.4 Tabla de características de motor	41
Tabla 3.5 Factor de seguridad de contenedor.....	42
Tabla 3.6 Resultado del análisis de factor de seguridad del eje.....	44
Tabla 3.7 Resultados del factor de seguridad de las aspas.	44
Tabla 3.8 Elementos de mecanismo.	52
Tabla 3.9 Cotización de precios.	54
Tabla 4.1 Elementos adquiridos prefabricados.	58
Tabla 6.1 Asignación de pines	71

Índice de Figuras

Figura 1.1 Diagrama eléctrico de un motor de fase partida	6
Figura 1.2 Relación par nominal - velocidad durante el arranque	8
Figura 2.1 Contenedor.	22
Figura 2.2 Base estructural.	23
Figura 2.3 Mecanismo elevador.	24
Figura 2.4 Soporte del motor. (Arco)	25
Figura 2.5 Diseño conceptual.....	26
Figura 3.1 Vigas seleccionadas con carga distribuida.....	29
Figura 3.2 Resultado análisis estático de estructura base.	30
Figura 3.3 Placa de aluminio	31
Figura 3.4 Tornillo sinfín 8mm de diámetro y corona	31
Figura 3.5 Motor a pasos modelo Nema 17	32
Figura 3.6 Análisis estático del elevador	33
Figura 3.7 Análisis de pandeo de los tornillos	34
Figura 3.8 Trituradora de papel para oficina	35
Figura 3.9 Motorreductor 1:120.	35
Figura 3.10 Eje con rodillos de goma de impresora.	36
Figura 3.11 Bomba de agua	38
Figura 3.12 Válvula 200-PGA	39
Figura 3.13 Motor modelo XTD-180	41
Figura 3.14 Contenedor	42
Figura 3.15 Factor de seguridad del contenedor.....	43
Figura 3.16 Eje principal.....	43
Figura 3.17. Factor de seguridad del eje.....	44
Figura 3.18 Análisis del factor de seguridad de las aspas.	45

Figura 3.19 Tolva de filtrado.....	46
Figura 3.20 Base para tolva.	46
Figura 3.21 Relevador de 4 canales opto acoplados	48
Figura 3.22 Raspberry pi	49
Figura 3.23 Driver A4988	49
Figura 3.24 Circuito control de bomba y electroválvula.....	50
Figura 3.25 Circuito de control motores a pasos.	51
Figura 3.26 Mecanismo de pesado y triturado (elevador).	52
Figura 3.27 Integración de elementos (Sin tubería).	53
Figura 5.1 Base principal con contenedor	59
Figura 5.2 Llave de extracción de pulpa.....	60
Figura 5.3 Arco principal	61
Figura 5.4 Estructura del despachador de hojas.....	61
Figura 5.5 Cople rotor eje principal	62
Figura 5.6 Sujeción de lámina a armazón	63
Figura 5.7 Caja despachadora de hojas.....	64
Figura 5.8 Caja despachadora de hojas.....	64
Figura 5.9 sujeciones para trituradora.....	64
Figura 5.10 Trituradora de papel	65
Figura 5.11 Recorte en tapa.....	66
Figura 5.12 Tapas de goma	66
Figura 6.1 Referencia de numeración de pines	70
Figura 6.2 Software de pruebas (Ventana 1)	72
Figura 6.3 Software de pruebas (Ventana 2)	72
Figura 6.4 Selección de proceso	73
Figura 6.5 Resumen de datos recolectados y calculados	74

Figura 6.6 Tiempo restante del proceso.....	74
Figura 7.1 Máquina ensamblada.....	79
Figura 7.2 Pulpa obtenida luego de una prueba.....	80

Índice de Diagramas

Diagrama 2.1 A-0 Máquina semiautomática para hacer pulpa.....	20
Diagrama 2.2 A0 Máquina semiautomática para hacer pulpa.....	21
Diagrama 2.3 Diagrama de flujo de funcionamiento general.....	28

Resumen

En el presente trabajo se describe el proceso de diseño y construcción de una máquina para obtener pulpa de papel, a partir de hojas de papel desechado. Con esto se pretende contribuir al reciclaje de papel en el estado de Zacatecas y abrir un área de oportunidad para posteriores proyectos en el área de la mecatrónica. Tomando en cuenta los datos experimentales obtenidos, las observaciones empíricas y la experiencia, se discutieron los atributos técnicos a considerar para la selección de componentes (materiales, agentes químicos, actuadores, etc.), así mismo se realizaron consideraciones para dimensionar el tamaño de contenedores y otros aspectos estructurales. Se presenta el diseño detallado de los elementos a construir, se seleccionaron los componentes electrónicos que cumplen con los requerimientos propuestos y que ayudan a regular el comportamiento de los motores y válvulas. De igual manera se realizó una evaluación de diferentes plataformas programables, microcontroladores, con el fin de efectuar el control de los componentes eléctricos y electrónicos. Finalmente se describe el proceso de implementación del prototipo, las pruebas de funcionamiento y las modificaciones realizadas durante la construcción.

Palabras Clave

Automatización, Blanqueamiento, Control, Papel usado, Pulpa, Reciclaje.

Abstract

The study below describes the design process and development of a machine capable of process office garbage paper and transform it in paper pulp. The project pretends to raise awareness about paper recycling in Zacatecas and bring a new way of opportunity for future works in mechatronics, specifically into recycling area. Considering the experimental data obtained and experience, it will be discussed the technical issues to attend for critical component selection (materials, motors, chemical agents, etc.). Guesses will be made about the size of containers and other structural components. In addition, this document contains the design of the elements to be built, and the selection of the electronic components that meet the proposed requirements and help to adjust motor behavior. The current project also implicates the control of electrical components, for that propose, different programable suits must be reviewed, both microcontrollers and computers.

Keywords

Automation, Control, Garbage paper, Recycling, Pulp, Whitening

Introducción

Según datos de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y Papel, cada tonelada de papel hecho con materias primas recicladas puede evitar el corte del equivalente de 17 a 19 árboles aptos, el uso de energía equivalente a 2000 litros de petróleo crudo y se libran 2.3 m^3 de espacio en los escasos tiraderos de residuos sólidos existentes en el país [1].

La producción de papel reciclado tiene menor impacto medioambiental global que la producción de papel usando nuevas materias primas, cuando se tiene en cuenta todo el proceso productivo [2].

El presente reporte describe el proceso de diseño y construcción de una máquina semiautomática para la obtención de pulpa a partir de papel de oficina usado, basado en el proceso artesanal de reciclaje de papel. La máquina se construyó considerando los elementos necesarios para producir la pulpa, es decir la cantidad de agua necesaria, el tiempo de triturado y el tiempo necesario para hacer una mezcla uniforme. Con base en estos elementos se seleccionó el tipo de bombas, motores, sensores, válvulas y materiales en general para su construcción. El proyecto involucra controlar los componentes electrónicos, para ello se optó por utilizar un ordenador de placa reducida

Objetivo General

Diseñar y construir una máquina semiautomática para obtener una pulpa de papel de oficina usado a fin de que se utilice como materia prima para la fabricación de papel reciclado.

Objetivos particulares:

- Diseñar una máquina que considere los elementos necesarios para la producción de la pulpa.
- Seleccionar los elementos necesarios para la máquina de obtención de pulpa con base en el análisis y criterios de viabilidad.
- Elegir la tecnología de control necesario para el funcionamiento de la máquina de manera semiautomatizada.
- Realizar una interfaz intuitiva para el usuario.

I. Antecedentes

Existen en la actualidad variedad de máquinas para trabajar con productos de la pulpa de papel, algunas de las cuales se mencionan a continuación, en cuyos conceptos y principios básicos se basa y se justifica el diseño del presente proyecto. Cabe destacar que el proceso de obtención de la pulpa de este proyecto se basa en proceso manual (artesanal) en el cuál primero el papel es triturado a mano y luego licuado para separar sus fibras.

Estado del arte

En el caso del papel existen procesos manuales que generan secciones de papel de diversos tamaños, desde una hoja tamaño carta, hasta secciones de decenas de centímetros de longitud. Este proceso es artesanal y se realiza en pocos talleres, en su mayor parte esta práctica se realiza sólo con fines demostrativos y académicos más que como una actividad de comercialización. Una de las razones es que el grosor del papel generado no es estándar y tampoco suele ser constante de un pliego a otro.

También existen procesos semi-industriales con máquinas a las cuales se les surten cantidades de papel a granel y como producto final tienen una tira de papel constante que es cortado o enrollado para su comercialización, una característica importante de estas máquinas es que generan grosores estándar en el papel. Existen, además, máquinas de tecnología reciente, como la máquina para reciclar papel de Epson, que requiere de cantidades mínimas de agua para realizar la completa operación del reciclaje del papel y que puede instalarse en empresas para realizar el reciclaje en el mismo lugar, sin embargo, su gran desventaja es que tiene un precio elevado [3].

A continuación, se describen trabajos relacionados con el procesamiento del papel como los son las trituradoras de material vegetal.

- **Prototipo de una Máquina Recicladora de Papel**

En este trabajo se observó el procedimiento utilizado para el triturado del papel, los tiempos necesarios para el remojo y la molienda del papel, destacando que estos parámetros fueron obtenidos de pruebas empíricas realizadas previamente al diseño y la construcción [4].

- **Máquina para combinación de pliegos de papel y cartón**

Esta disertación discute la fabricación de una máquina para combinar pliegos de papel, en el desarrollo se contempla el diseño de una transmisión basada en engranajes, bandas y poleas. Además, en su estado del arte contempla una definición formal de la pulpa de papel y de su obtención a partir de fibras vegetales [5].

- **Trituradora de materia vegetal**

Se aborda una descripción detallada del proceso de construcción de una trituradora de materia vegetal con la finalidad de elaborar composta. La parte destacable de este trabajo es la metodología que se utilizó para establecer las metas de ingeniería, es decir, traducir los requerimientos cualitativos en parámetros de diseño [6].

Marco Teórico

Tomando en cuenta el proceso artesanal para el reciclaje del papel se han identificado los pasos a tomarse en cuenta, ya que son relevantes para el diseño y en los que hay que enfocarse para obtener la pulpa de papel [7].

- a) Pesar el papel
- b) Pre-triturar las hojas de papel
- c) Licuar
- d) Etapa de blanqueamiento
- e) Drenado (vaciado)

Dado que se trabajará con un fluido es necesario conocer las ecuaciones y otras relaciones que rigen el comportamiento de los líquidos, así como las consideraciones de potencia en los elementos que interactúan de forma activa como bombas y válvulas hidráulicas. Resulta relevante conocer también el funcionamiento teórico de motores monofásicos y entre otras cosas los puntos importantes del diseño estructural como lo es el factor de seguridad.

- **La relación masa, densidad, presión**

En física y química, la densidad (símbolo ρ) es una magnitud vectorial referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. La densidad está dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Dónde:

$$\rho = \text{Densidad} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$m = \text{Masa} (Kg)$$

$$V = \text{Volumen} (m^3)$$

- **Presión hidrostática**

Se conoce como presión hidrostática a la parte de dicha presión en la que el peso de un fluido que se encuentra en reposo. Cabe destacar que en un fluido que se encuentra en este estado la única presión que se encuentra es la que ya nombramos [8].

La presión hidrostática está dada por:

$$P = \rho gh \quad (2)$$

Dónde

$$P = \text{presión hidroestática} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad del fluido} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$g = \text{gravedad} \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right)$$

$$h = \text{altura del fluido (m)}$$

- **Volumen**

El volumen de un cilindro está dado por:

$$V = \pi r^2 h \quad (3)$$

Dónde:

$$V = \text{Volumen}$$

$$r = \text{radio}$$

$$h = \text{altura}$$

- **Ecuación de Bernoulli y la ecuación de gasto**

La ecuación de Bernoulli relaciona los cambios de presión con los cambios en la velocidad y la altura a lo largo de una línea de corriente.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L + h_A = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (4)$$

Dónde

$$p_1 = \text{Es la presión en un punto 1 del fluido (Kpa)}$$

$$z_1 = \text{Es la posición del punto 1 (m)}$$

$$v_1 = \text{Es la velocidad del fluido en el punto 1 (m/s)}$$

$$p_2 = \text{Es la presión en un punto 2 del fluido (Kpa)}$$

$z_2 =$ Es la posición del punto 2 (m)

$v_2 =$ Es la velocidad del fluido en el punto 2 (m/s)

$\gamma =$ Es el peso específico del fluido (KN/m^3)

$h_a =$ Es la energía agregada al fluido por la bomba (Watt)

$h_L =$ Son las pérdidas debidas a la fricción de la tubería con el fluido.

Las perdidas debidas a la fricción para un flujo laminar están dadas por:

$$h_L = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2} \quad (5)$$

Dónde

$\mu =$ Es la viscosidad dinámica del fluido.

$L =$ Es la longitud de la tubería utilizada para llevar fluido.

$v =$ Es la velocidad promedio en la tubería (se puede considerar igual a v_2)

$\gamma =$ peso específico del fluido

$D =$ Es el diámetro de la tubería.

Para calcular la potencia de la bomba se tiene:

$$P_A = h_A \gamma Q \quad (6)$$

Para encontrar la potencia eléctrica de la bomba se calcula mediante

$$P_e = \frac{P_A}{e_m} \quad (7)$$

Dónde:

$P_e =$ potencia eléctrica necesaria

$e_m =$ eficiencia mecánica

La ecuación de gasto involucra al caudal y el área de sección transversal de la tubería. El caudal se define como un flujo másico o volumétrico, en el primer caso es la cantidad de masa por unidad de tiempo y en el segundo caso el volumen por unidad de tiempo que fluyen en una corriente por unidad de área [9].

$$Q = Av_2 \quad (8)$$

Dónde

$Q =$ es el caudal deseado

$A =$ es el área de la tubería

- **El motor de fase partida y arranque por condensador**

Este motor cuenta con dos bobinas: una principal también denominada de trabajo y una auxiliar. En el aparato (Figura 1.1) pueden apreciarse tres terminales eléctricas, dos corresponden a las bobinas principal y secundaria a los que se conecta la fase, el tercer cable corresponde al común. En este punto es importante recalcar que los motores monofásicos de inducción, como el de este caso, no tienen par de arranque intrínseco, para lo cual se añade un capacitor en serie con el devanado auxiliar como técnica de arranque, dicho capacitor debe desconectarse cuando el motor ya ha arrancado, el diagrama eléctrico se muestra a continuación [10].

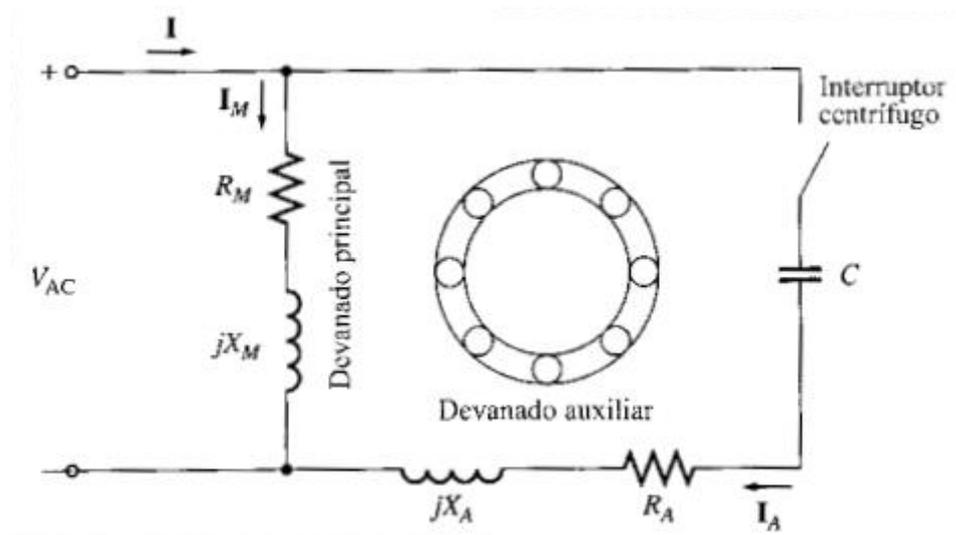


Figura 1.1 Diagrama eléctrico de un motor de fase partida [10].

En el diagrama de la Figura 1.1 también se muestran las resistencias asociadas a las bobinas. Como se mencionó, el capacitor debe desconectarse una vez que el motor ha arrancado para lo cual existe el interruptor centrífugo que interrumpe la corriente tanto al capacitor como a la bobina secundaria, si no se cuenta con un interruptor la corriente debe cortarse externamente mediante algún otro dispositivo.

El torque de arranque de este motor es proporcional al producto de las corrientes en las bobinas (I_M, I_A) y a el ángulo en grados eléctricos que forman entre ellas (ϕ).

$$\tau = I_M * I_A * \sin \phi \quad (9)$$

Dónde:

$\tau = \text{Torque}$

$I_M = \text{Corriente en la bobina principal}$

$I_A = \text{Corriente en la bobina secundaria}$

$\phi = \text{Ángulo eléctrico entre las corrientes}$

Se debe apreciar que debido a la presencia del capacitor el ángulo de desfase entre las corrientes será de 90° eléctricos, lo que maximiza el torque inicial. Este hecho es importante porque para conocer el par de arranque del motor basta con conocer el valor de sus componentes (bobinas, resistencias, capacitor y voltaje de alimentación).

En la Figura 1.2 se muestra el comportamiento del arranque del motor dónde se aprecia que el efecto combinado de las bobinas principal y auxiliar puede elevar el par de arranque hasta un 400% con respecto al par nominal con respecto a la velocidad del motor.

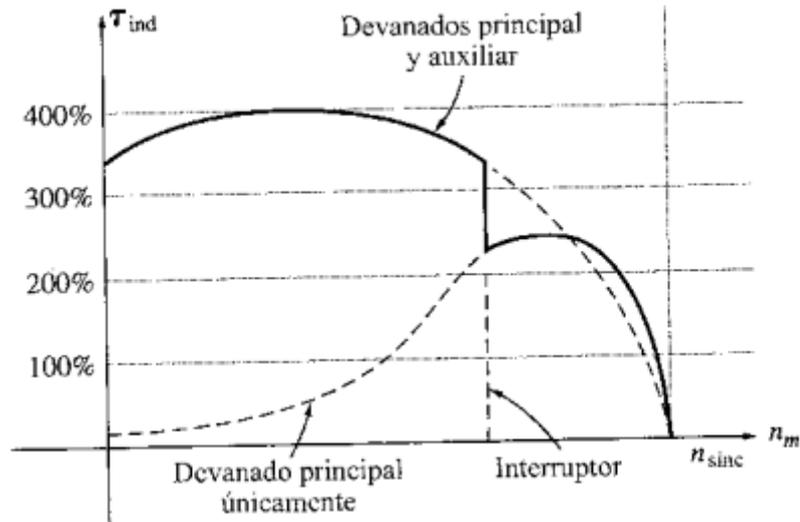


Figura 1.2 Relación par nominal - velocidad durante el arranque [10]

- **El torque en un tornillo sinfín**

El torque necesario, a aplicar por el motor a pasos, para desplazar una carga en dirección axial en un tornillo sinfín viene dada por el peso w que se pretende desplazar, el ángulo α que es el ángulo de elevación de los hilos del tronillo y por último por el coeficiente de fricción μ del material. El torque será la característica que definirá la selección del motor [11].

Primero se calcula la fuerza necesaria para hacer girar el tornillo y elevar la carga.

$$F = \frac{w * (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \quad (10)$$

Luego, el torque necesario se calcula con el radio r interior del tornillo.

$$\tau = F * r \quad (11)$$

- **El factor de seguridad**

Después de terminar el diseño, el factor de diseño real puede cambiar como resultado de cambios como el redondeo a un tamaño estándar de una sección transversal o el uso de componentes recién lanzados con clasificaciones más altas en lugar de emplear lo que se había calculado usando el factor de diseño. En este caso, el factor se conoce como factor de seguridad [12].

- **Masa de un disco sólido y su momento de inercia**

La relación del momento de inercia teniendo como parámetros la masa y el radio de un disco sólido viene dada por las dos ecuaciones siguientes:

$$m = \rho * V = \rho * \pi * r^2 * h \quad (12)$$

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2 \quad (13)$$

Dónde:

$M = masa$

$\rho = densidad$

$V = volumen$

$r = radio\ del\ contenedor$

$h = altura\ del\ disco$

$I = momento\ de\ inercia$

De la misma forma, la potencia necesaria para llevar el mismo disco sólido desde el reposo a cierto número de revoluciones en un tiempo t viene dada por:

$$P = \frac{I * \omega^2}{t} \quad (14)$$

- **Criterio de selección de válvulas**

Para la elección de la válvula se tomarán en cuenta los criterios de selección de Grupo GEMÜ:

1. Requisitos de procedimiento y proceso

Categoría 1: Determinar los parámetros de proceso

- Temperatura de trabajo y ambiente
- Presión de trabajo y etapas de presión
- Flujo volumétrico (valor Kv) y velocidad de flujo
- Otros requisitos de funcionamiento, por ejemplo, aplicaciones de mezcla, distribución, conducción y regulación.

Cuando se determinan estos parámetros es importante que se tengan en cuenta todas las condiciones de trabajo. Con frecuencia, solo se presta atención al proceso propiamente dicho y, a menudo, se pasan por alto situaciones de trabajo como la limpieza y/o la esterilización de una planta. Sin embargo, pueden entrar en juego condiciones de trabajo completamente diferentes que ejercen un estrés mucho mayor en los componentes de las tuberías que el proceso de la planta propiamente dicho y que puede que tengan un impacto negativo sobre el funcionamiento o la vida útil.

2. Influencias de los medios

Categoría 2: Determinar los parámetros de los medios

- Propiedades químicas (inerte, corrosivo, explosivo)
- Propiedades mecánicas (contaminantes, partículas, formación de burbujas, abrasión, viscosidad)
- Propiedades eléctricas (conductividad, carga estática)
- Estado de agregación

Las propiedades específicas de los medios de trabajo (fluidos) deben examinarse obligatoriamente en cuanto a todas sus propiedades físicas y químicas relevantes. Asimismo, de ninguna forma deberían dejarse de lado las interacciones potenciales, por ejemplo, entre la temperatura, la presión o la agresividad que depende de la concentración. Igualmente, la velocidad de flujo tiene un efecto directo sobre la abrasión (así como el contenido de partículas) del medio y/o la formación de cavitación. Siempre es importante aclarar la siguiente pregunta: ¿Hay solo un medio de trabajo o el equipo se utilizará para mezclas, compuestos, agentes de limpieza, medios de esterilización u otros aditivos? Incluso la mínima adición de otra sustancia puede tener un efecto drástico en la vida útil de los materiales y las juntas.

3. Requisitos técnicos de la planta

Categoría 3: Determinar el diseño de la planta existente y/o requerido

- Función de control necesario (manual, neumático/hidráulico, por motor eléctrico, magnético)
- Requisitos de seguridad (protección frente a explosión, sustancias volátiles peligrosas, función de emergencia)
- Condiciones ambientales (sala blanca, frío/calor, polvoriento, vibración, productos químicos, humedad, exterior, vapores salinos y corrosivos=> condiciones ambientales corrosivas)
- Diseño de la planta existente (PLC, bus de campo/interfaces de comunicación, medio de control)
- Cumplimiento de normas y reglamentos

Con una planta ya existente o en instalaciones ya establecidas, deben tenerse en cuenta muchos factores. Sin embargo, también en un nuevo edificio hay varios parámetros que ya existen. Son ejemplos típicos la tecnología de regulación de los actuadores de componentes instalados (hay conexiones para aire comprimido o no) o el nivel de automatización de la planta (indicación/control mediante PLC necesario o no). También las soluciones móviles, sobre todo en el tratamiento de agua, determinan varios parámetros, por ejemplo, en este caso normalmente solo pueden utilizarse actuadores manuales o con motor eléctrico [13].

II. Planteamiento del Problema

Los procesos de reciclaje tradicionales ofrecen un bajo rendimiento en cuanto al volumen de pulpa obtenido luego de procesar el papel, es por esto por lo que resulta necesario diseñar una máquina capaz de procesar mayores volúmenes de papel en un menor tiempo y con menos esfuerzo.

Dado que en el estado de Zacatecas no se cuentan propiamente con procesadoras de los productos de la celulosa y el papel, siendo que sólo existen centros de acopio y compactación de papel, se encuentra la necesidad de construir una máquina que sea capaz de procesar papel de oficina y producir pulpa lista para ser convertida en nuevos pliegos de papel y cartoncillo.

Con esta máquina se pretende ofrecer una herramienta que demuestre que la industria del reciclaje de papel es un área de oportunidades que se puede explotar en el estado de Zacatecas. Pretendiendo extender en la sociedad una cultura del reciclaje, así como nuevas formas de aplicar otras ciencias en la ingeniería.

Capítulo 1. Especificaciones de diseño

Como primer punto importante en la investigación para cumplir estos objetivos, se encontró el averiguar los elementos necesarios para la producción de la pulpa considerando la carga objetivo de 3 Kg a 8 Kg por ciclo de trabajo y realizar la selección de los elementos con base en las propiedades encontradas y la disponibilidad en el mercado.

Para comenzar el diseño se partió en base al cronograma de trabajo de trabajo terminal I (*Anexo 1*), el cual inicia con los cálculos estructurales de la máquina por construir, paralelamente el cronograma hace referencia a las pruebas experimentales de fabricación de pulpa de papel para proceder a un diseño estructural.

1.1 Pruebas experimentales

En las pruebas experimentales se tomó en cuenta el proceso artesanal de reciclaje de papel. Este proceso artesanal es básicamente el triturado del papel a reciclar, en algunos casos el blanqueado, el vaciado en molde y el secado de la mezcla.

El proceso de trituración consiste en poner el papel (a reciclar), en un contenedor con agua, por lo general dos partes de agua y una de papel. Después de que el papel esté lo suficientemente húmedo se mezcla o tritura, para obtener una mezcla homogénea llamada pulpa. El contenedor debe ser lo suficientemente grande para agregar agua. Basándose en esto y tomando en cuenta que la máquina debe procesar de 5 a 8 kg de papel por proceso los experimentos deben de arrojar un peso total del producto, el cual la estructura de la máquina debe poder soportar.

1.1.1 Selección de pulpa

Procediendo con los experimentos se hicieron varias pruebas en las que varió el contenido de agua para hacer la pulpa y cada muestra se hizo con aproximadamente 50 gr de papel y un tiempo de licuado de 1 minuto. 50 gr de papel son aproximadamente 10 hojas de papel tamaño carta.

La información registrada se aprecia en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Datos recolectados.

Muestra	Peso de papel	Litros de agua	Peso con agua	Volumen de la mezcla	Observaciones
1	50 gr	300 ml	347 gr	325 ml	La mezcla era bastante espesa y muy poco manejable.
2	50 gr	400 ml	445 gr	420 ml	
3	50 gr	500 ml	548 gr	530 ml	La mezcla se volvió un poco más manejable pero aún no se encuentra lo deseado.
4	50 gr	600 ml	647 gr	627 ml	
5	50 gr	700 ml	746 gr	730 ml	
6	50 gr	800 ml	840 gr	828 ml	La mezcla se volvió más líquida de lo que se deseaba.
7	50 gr	900 ml	945 gr	925 ml	
8	50 gr	750 ml	785 gr	780 ml	Se aceptó la muestra ya que tiene la manejabilidad que se buscó para nuestros propósitos.

Se evaluó su homogeneidad de forma empírica según su textura al tacto para determinar con cuál muestra proseguir con los cálculos.

Para determinar el nivel de hipoclorito de sodio de igual forma se realizaron varios experimentos, utilizando la cantidad de agua que se eligió, con el fin de analizar el nivel de blancura de la pulpa.

1.2 Selección de componentes químicos

Para obtener fibras con altos grados de blancura, se requiere continuar el proceso de deslignificación iniciado en el pulpado, mediante etapas sucesivas de blanqueo con productos químicos tales como: Cloro, Dióxido de Cloro, Oxígeno etcétera [15].

En el primer experimento se probó blanquear la pulpa con agua oxigenada conocida por su capacidad de blanqueamiento, sin embargo, visualmente no se notó ningún cambio significativo en el color de la pulpa en comparación a una pulpa sin este tipo de blanqueador. Por lo tanto, se descartó este químico como blanqueador.

Otro químico que podría utilizarse por ser un solvente es la acetona, en general es utilizada para tratamiento de algunos plásticos y como removedor de pintura basada en aceites. El problema con este químico solvente es el costo, en estado puro llega a costar al menudeo en más de doscientos pesos mexicanos por litro, y considerando la cantidad de pulpa que se pretende realizar por proceso, el posible uso de acetona representa una desventaja; por lo tanto, no se considera hacer experimentos con este tipo de blanqueador.

El siguiente químico es hipoclorito de sodio (NaClO) definido por la Asociación Americana de Endodoncia como un líquido claro, pálido, verde-amarillento, extremadamente alcalino y con fuerte olor a cloro, que presenta una acción disolvente sobre el tejido necrótico y restos orgánicos, además de ser un potente agente antimicrobiano [16].

En una prueba simple utilizando un hisopo empapado en hipoclorito de sodio se humedeció una hoja impresa con un método de inyección de tinta y otra impresa con un método laser, se observó que efectivamente se daba un proceso de oxidación de la tinta blanqueando la superficie de ambas. Por lo que en primeras instancias sería el método de blanqueamiento utilizado.

1.2.1 Relación agua y blanqueador

Los datos recabados para determinar la cantidad de hipoclorito de sodio fueron los registrados en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Mediciones de mezclas con hipoclorito de sodio.

Muestra	Papel	Agua	NaClO	Observaciones
1	50gr	690ml	60ml	La muestra no se aprecia blanca a simple vista
2	50gr	665ml	85ml	Se aprecia levemente la oxidación en la mezcla
3	50gr	650ml	100ml	La blancura se da rápidamente y se aprecia a simple vista
4	50gr	550ml	200ml	El nivel de blancura es alto

Durante el experimento se había seleccionado la mezcla número 4 por el nivel alto de blancura, despreciando otras posibles variables, pero se optó por la mezcla número 3, tras hacer un vertido de las pulpas en un bastidor dónde posteriormente se secaron las fibras (proceso pulpa-papel artesanal) se encontró que la estructura física del “papel reciclado” de la mezcla número 4 era rígida y se despedazó fácilmente, se hizo polvo al tacto, estas características no se encuentran en ningún tipo de papel, entonces no era posible utilizarla, no era funcional, al contrario de la mezcla número 3 que a simple vista se apreciaba el blanqueamiento y contaba con la flexibilidad de un papel tipo cartoncillo.

1.3 Cálculos estructurales

1.3.1 Densidad

Tomando en cuenta los valores experimentales y utilizando la segunda muestra como referencia se llevaron a cabo los cálculos para obtener la densidad de la pulpa (ρ_p).

Usando la ecuación (1)

$$\rho_p = \frac{0.785 \text{ Kg}}{7.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$\rho_p = 1006.41 \frac{Kg}{m^3}$$

Tomando en cuenta la muestra seleccionada, se obtiene una relación en la cual se observa que por cada 50 gr de papel son necesarios 750ml de agua, entonces para 10 kg de papel se puede utilizar la siguiente relación regla de proporcionalidad.

$$\begin{array}{l} 50 \text{ gr} \quad 750 \text{ ml} \\ 10000 \text{ gr} \quad ml_t \end{array}$$

$$ml_t = \frac{(10000)(750)}{50}$$

$$ml_t = 150000 \text{ ml}$$

Dónde

$ml_t =$ *mililitros de agua totales para los 10kg de papel.*

Se observó que se necesitan 150 litros de agua, que a temperatura ambiente (4° C) equivalen a 150 Kg sumando los 10kg de papel obtenemos 160kg de pulpa aproximadamente, en los objetivos se consideran máximo 8 kg sin embargo se harán los cálculos basados en 10 kg para poder tener un factor de seguridad mayor.

1.3.2 Volumen

Se calculó el volumen total de la mezcla utilizando la densidad y la masa que ya se conocen. Usando la ecuación (3) tenemos que:

$$V_t = \frac{160 \text{ Kg}}{1019.3 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V_t = 0.156 \text{ m}^3$$

1.3.3 Dimensiones

Tomando como referencia el radio de un bidón de combustible (0.24m) se realizaron los cálculos para aproximar la altura necesaria para contener de forma correcta al fluido utilizando el volumen total de dicha mezcla.

Utilizando la ecuación (3) y despejando la altura se obtiene.

$$h = \frac{V_t}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{0.156}{\pi(0.24)^2}$$

$$h = 0.86 \text{ m}$$

1.3.4 Presión

Al tener en cuenta la densidad del fluido y la altura de la mezcla se analizó la presión en el fondo del contenedor debido a que es el lugar en el que tendrá mayor presión. Al utilizar la ecuación (2):

$$P_p = \left(1006.41 \frac{Kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (0.86m)$$

$$P_p = 8490.67 \frac{N}{m^2}$$

Dónde:

$P_p =$ presión de la pulpa al fondo del contenedor.

Hasta este punto se determinaron los parámetros relevantes que permitieron conocer las dimensiones de la máquina procesadora y su impacto en la estimación de los posibles datos como; tipo, forma y tamaño de navajas; cantidad y potencia de bombas para elevar los líquidos; potencia de los motores y tipo de transmisión. Todos los parámetros anteriores dependen principalmente de la densidad de la mezcla final, para lo cual se realizaron pruebas con distintas proporciones de papel/agua.

Una vez encontrado el dato de la densidad de la mezcla final y otras consideraciones necesarias para el diseño, se procederá a hacer una recopilación de las variables y requisitos específicos para el diseño de la máquina. Dichas variables deberán describir las dimensiones de los componentes y características que deberán tener los materiales para soportar la carga de trabajo.

A continuación, en la Tabla 1.3 se pueden observar los requisitos específicos para el diseño de la máquina.

Tabla 1.3 Especificaciones del diseño

Métrica	Valor
Diámetro del contenedor	0.24m
Altura del contenedor	0.86m
Presión máxima sobre el contenedor	8490 N/m^2
Agua por cada 50g de papel	650ml
NACIO por cada 50g de papel	100ml

Capítulo 2. Diseño Conceptual

Obedeciendo a los parámetros encontrados en las especificaciones de diseño se procedió a generar diversos diseños conceptuales que también cumplieran con las características de operación establecidas. Dichos diseños se orientaron considerando principalmente la dificultad de implementación y la estimación en el costo de fabricación.

Para llegar al producto final es necesario saber con precisión el ciclo de procesos con los que trabajará la máquina. Se pretende que cada proceso podrá ser repetido según lo requiera el usuario. A continuación, a través de los diagramas “*IDEF-0*” 1 y 2, se describe este ciclo y sus principales procesos, los cuales están contemplados para el diseño final.

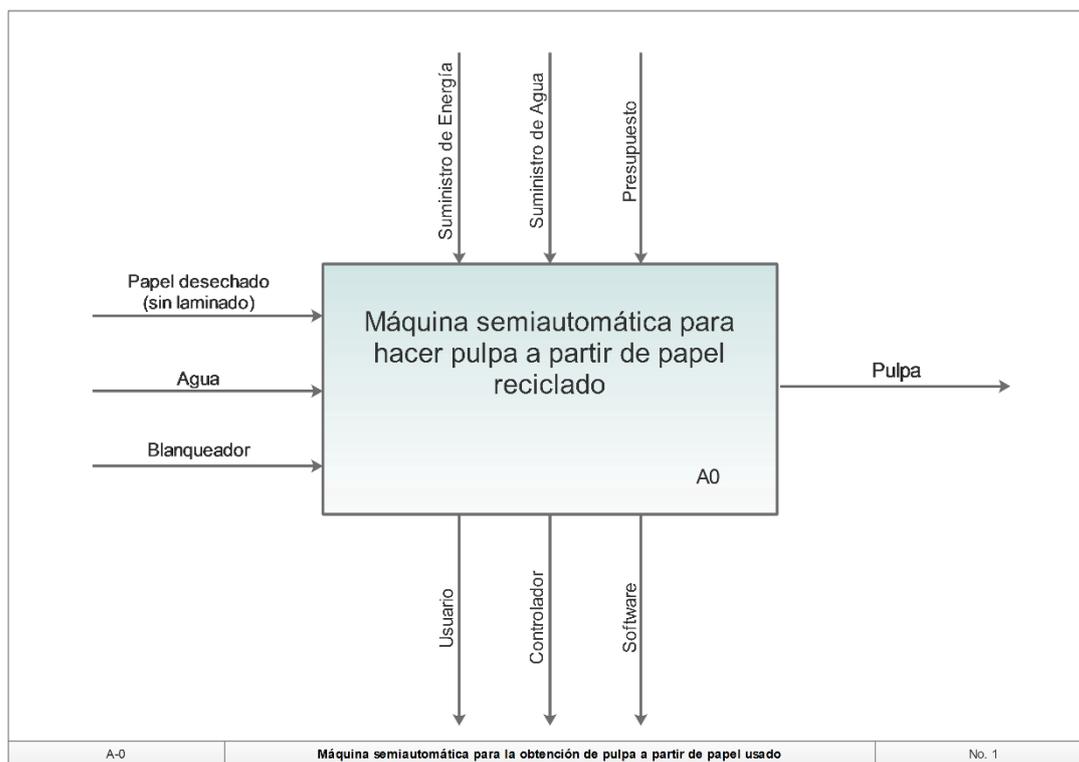


Diagrama 2.1 A-0 Máquina semiautomática para hacer pulpa.

Este tipo de diagramas es utilizado en la metodología de diseño mecatrónico para identificar los procesos de un producto antes de la etapa de diseño. En la parte superior de cada bloque se indican los limitantes de funcionamiento, en la parte izquierda las materias primas, en la parte inferior van las herramientas principales para el funcionamiento del producto, y a la derecha se muestran los

productos de salida. Los procesos se van ordenando por pasos, la salida del anterior es la entrada del siguiente hasta llegar a la salida final, y conforme se alcanza un grado mayor de especificación se puede ampliar más esta red de procesos como se aprecia en el diagrama 2.2 (A0).

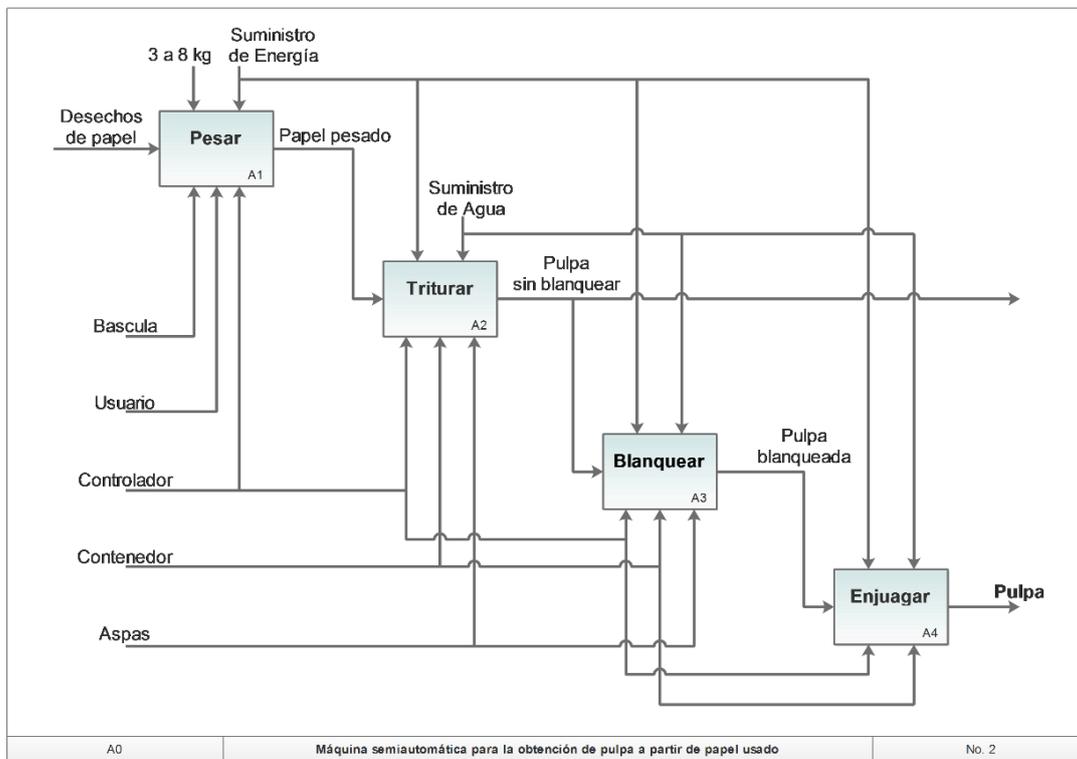


Diagrama 2.2 A0 Máquina semiautomática para hacer pulpa.

En el diagrama 2.2 (A0) se muestran distintos procesos los cuales la máquina realizará para obtener la pulpa de papel, sin embargo, si el usuario lo desea podrá realizar uno de los siguientes procesos por separado:

- 1.- Pesado (A1).
- 2.- Triturado (A2).
- 3.- Pesado y triturado sin blanqueamiento (A1 y A2).
- 4.- Pesado, triturado, blanqueamiento y enjuague (A1, A2, A3 y A4).

Después de conocer los procesos del funcionamiento de la máquina se proponen diseños conceptuales los cuales principalmente variaron en la implementación del mecanismo de inserción de papel y la posición del motor con el eje, se consideró el añadir el motor unido al eje por la parte inferior del contenedor pero

esto tenían una dificultad para hacer un ensamble hermético y era muy complicado evitar que se saliera el agua del contenedor por la ranura dónde se conecta el eje al motor, por lo que se tomó la decisión de situar el motor por la parte superior lo que nos dio partida a diseñar el contenedor.

2.1 Contenedor

Tomando en cuenta los cálculos realizados se propone un contenedor cilíndrico el cual cumple solamente con las medidas necesarias para llevar a cabo el proceso de la pulpa, en la Figura 2.1, se muestran las medidas propuestas de dicho contenedor.

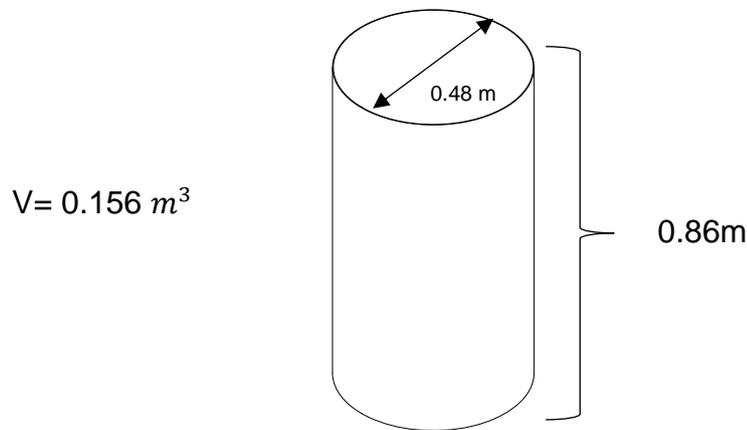


Figura 2.1 Contenedor.

2.1.1 Estructura base

Se requiere extraer la pulpa haciendo uso solo de gravedad, por lo que el contenedor de la mezcladora deberá situarse sobre una estructura para mantenerlo elevado. Esta estructura se diseñó de forma que soporte los más de 160 kg que podría pesar a máxima capacidad el contenedor apreciable en la Figura 2.2 el material de esta base será acero AISI 1020.

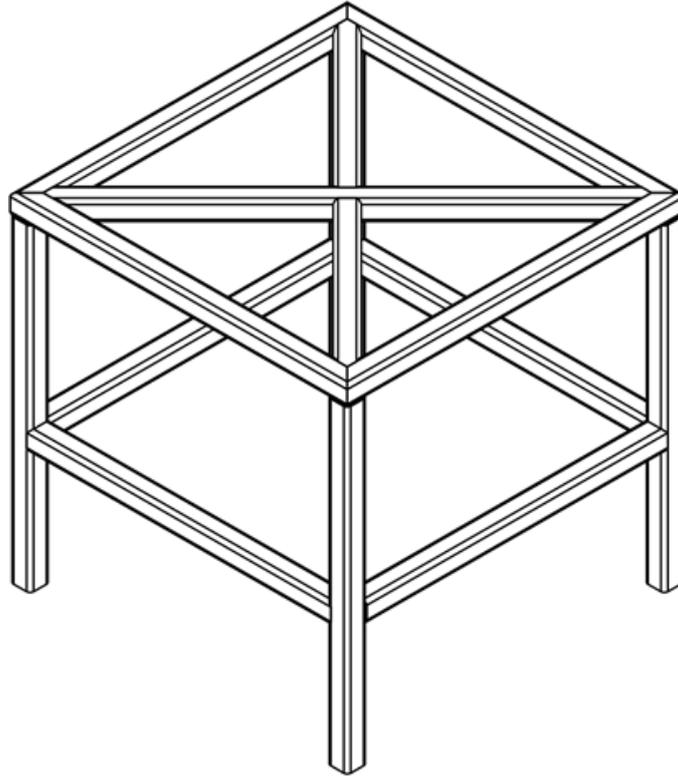


Figura 2.2 Base estructural.

2.1.2 Mecanismo de inserción de papel

Se requiere un mecanismo que de forma automática inserte el papel para ser triturado antes de ser licuado, para solucionar esto se propuso un mecanismo que funcione de forma similar a una impresora, en el que con un rodillo de goma se arrastran las hojas una por una y pasan al área de impresión. En el caso del mecanismo pasara directamente a la trituradora.

Al hacerlo de esta forma se debe considerar que una impresora fue diseñada para que el rodillo baje a la altura de las hojas para que la hoja suba a la parte de impresión y por lo general el área de almacenaje es para pocas hojas, en este caso se tiene que cumplir la especificación de 8 Kg de papel por lo que requiere un espacio de almacenaje mayor, y para evitar hacer más alta la máquina se podría utilizar una plancha que suba el papel hacia los rodillos por medio de una plancha y un tornillo sin fin, dentro de una celda posicionada a un costado del contenedor.

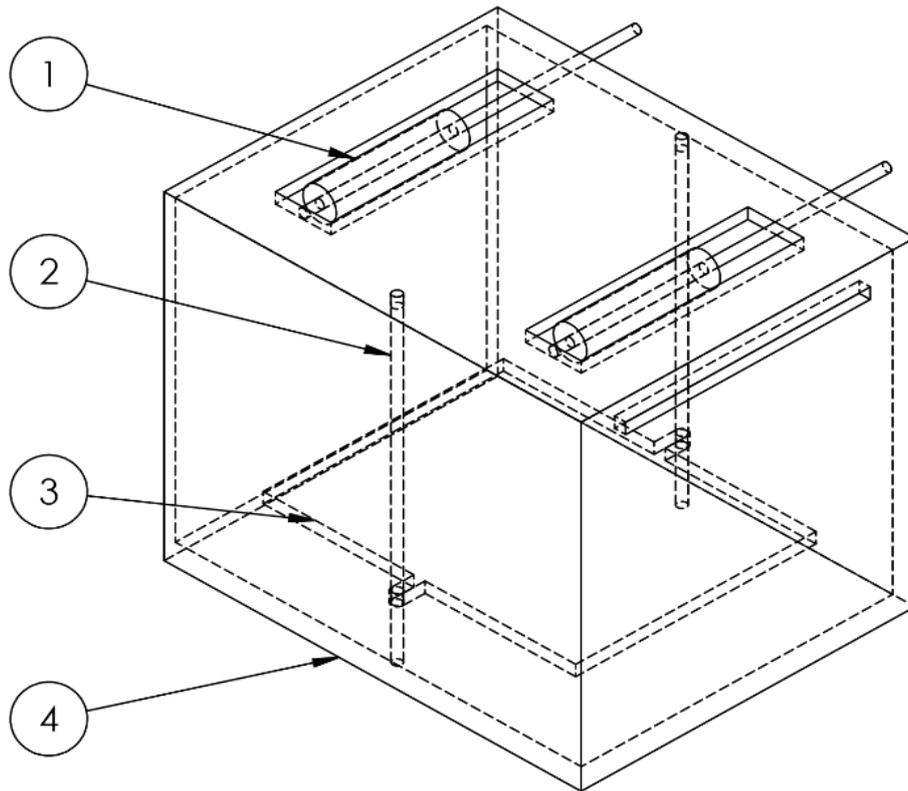


Figura 2.3 Mecanismo elevador.

Tabla 2.1. Elementos mecanismo inserción de papel.

#	Elemento
1	Rodillo
2	Tornillo
3	Plancha
4	Celda

2.1.3 Soporte del motor y eje.

Ya que el motor se posicionará en la parte superior se requiere diseñar un soporte que lo mantenga de forma segura en su posición para un funcionamiento eficiente y por seguridad. Además, debe ser fácil su ensamblaje y desensamble para un posible mantenimiento o alguna otra situación que se puede presentar.

Se propuso un tipo de arco cuadrado que se atornille por los lados a la base estructural, sujetando el motor en la parte del centro posiblemente a través de una placa y tornillos, cumpliendo el criterio de ensamble modular.

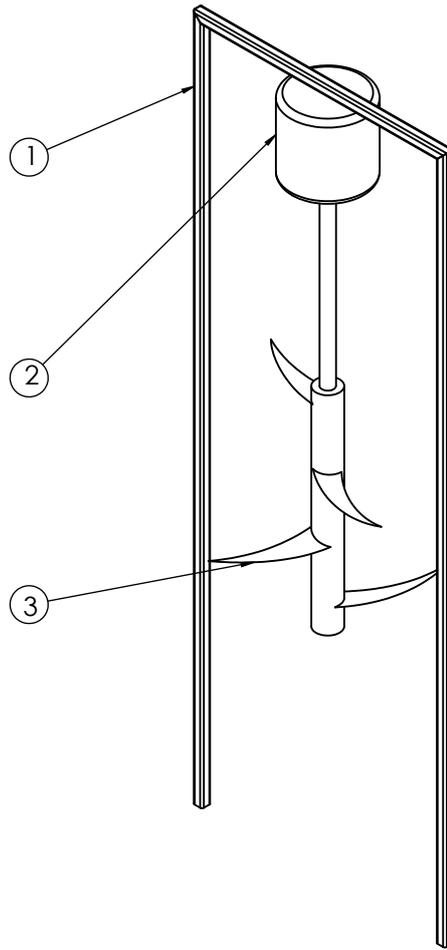


Figura 2.4 Soporte del motor. (Arco)

Tabla 2.2 Elementos soporte del motor.

#	Elemento
1	Arco
2	Motor
3	Aspas

2.2 Integración de elementos

Para terminar el diseño conceptual de la máquina integramos los elementos mencionados anteriormente.

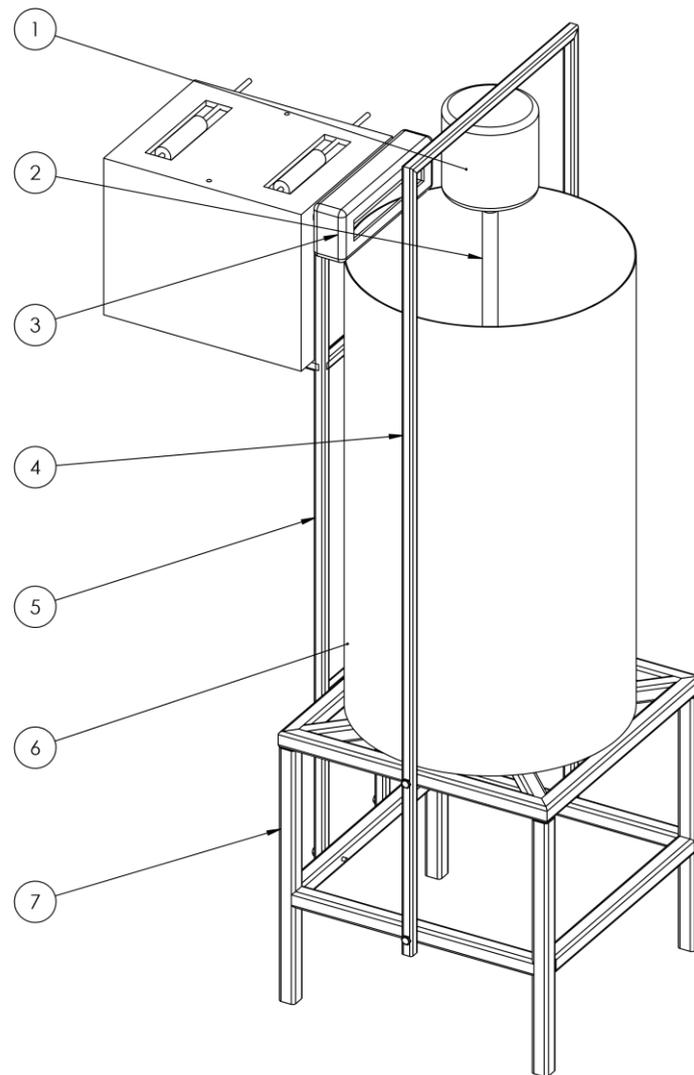


Figura 2.5 Diseño conceptual.

Tabla 2.3 Elementos diseño conceptual.

#	Elemento
1	Motor
2	Eje con aspas
3	Trituradora
4	Arco
5	Montura de mecanismo de papel
6	Contenedor
7	Estructura base

2.2.1 Diagrama general de funcionamiento

Se presenta a continuación un diagrama que resume a grandes rasgos la forma de operación de la máquina, hay que considerar que se trata de un modelo ideal, dónde aún no se ha considerado cómo manejar las posibles fallas del sistema (cortes a la energía, fallo del controlador, se accione el paro de emergencia, etc.)

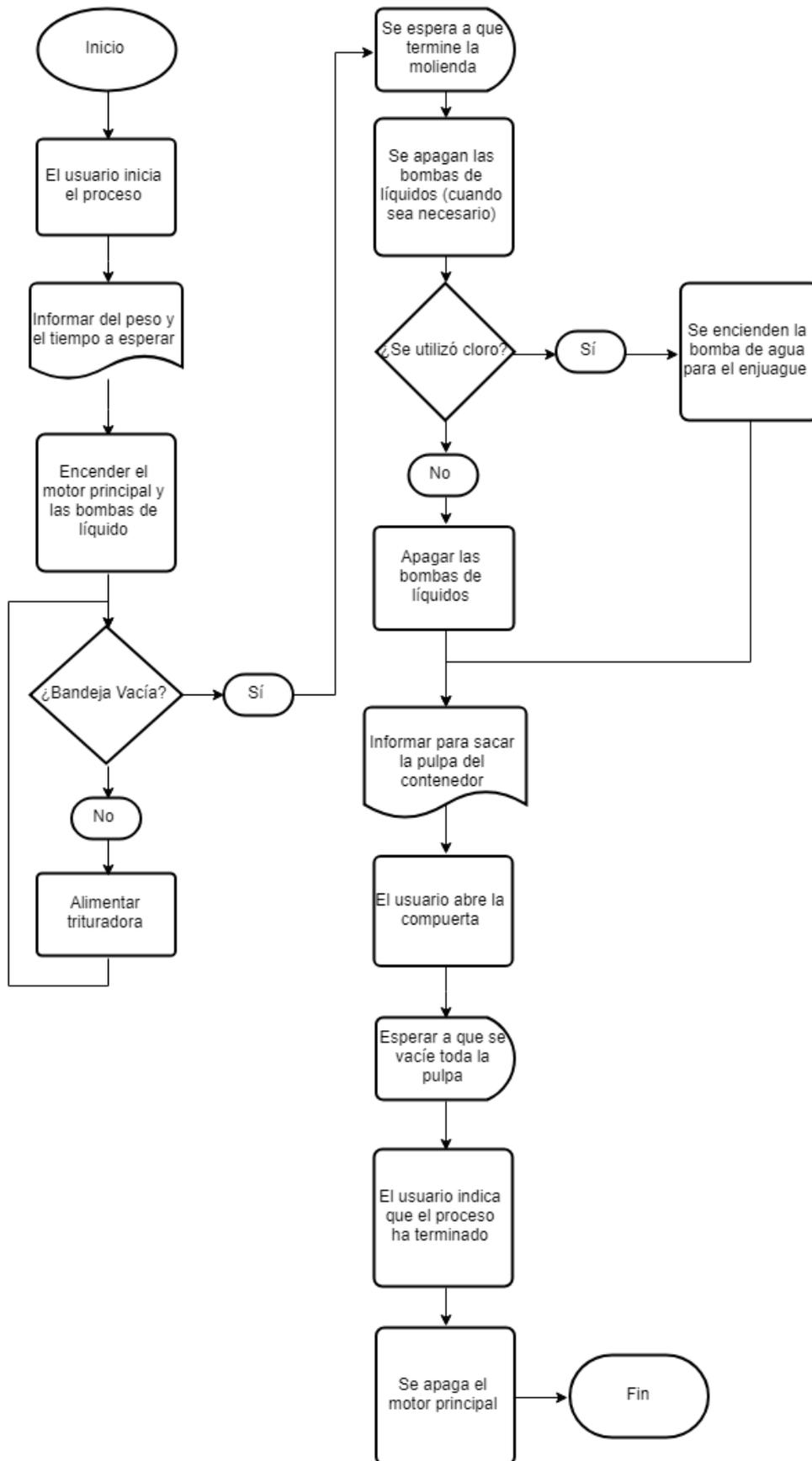


Diagrama 2.3 Diagrama de flujo de funcionamiento general.

Capítulo 3. Diseño detallado

3.1 Estructura

3.1.1 Simulación de esfuerzos sobre estructura

Para corroborar que la estructura soportará el contenedor se corrió un análisis estático, en el software Solidworks®, añadiendo una carga de 150 Kg de peso en el punto más frágil, que es el centro de la equis en la parte superior de la estructura como se muestra en color azul en la Figura 3.1, la gravedad se indica con la flecha roja, los puntos de unión de la estructura se indican de color purpura, y los puntos fijos se indican de color verde.

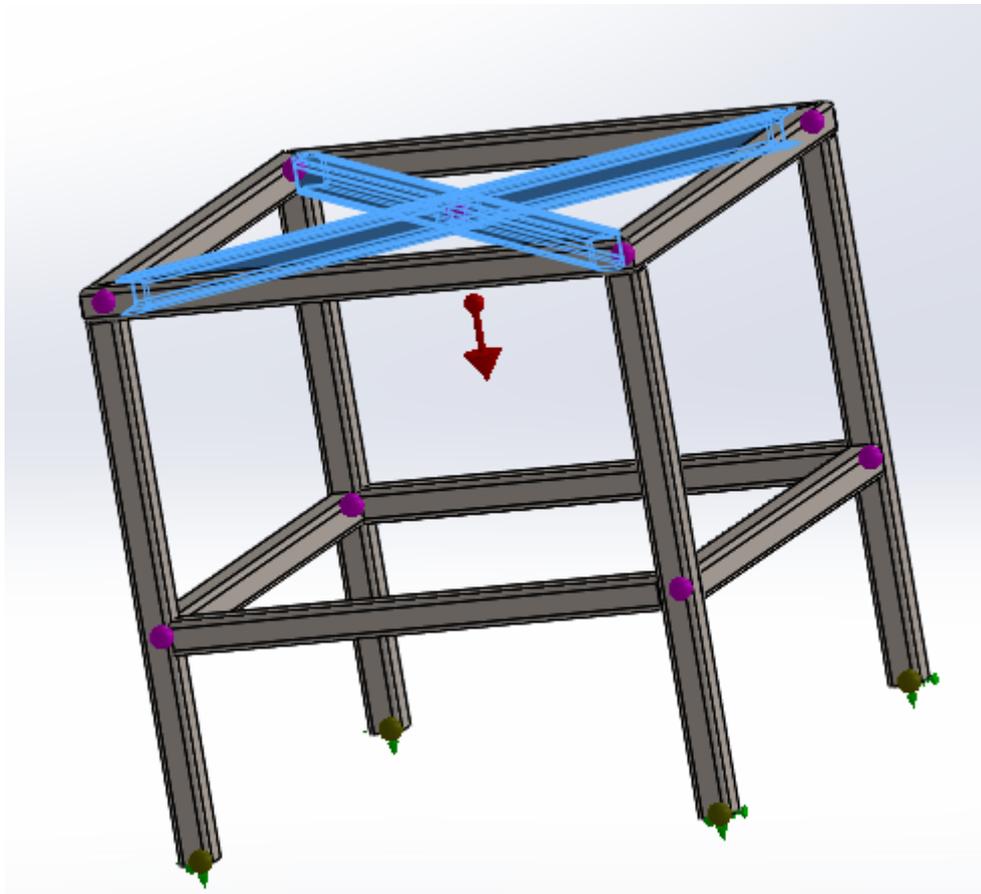


Figura 3.1 Vigas seleccionadas con carga distribuida.

El factor de seguridad indica numéricamente cuantas veces soporta el material el esfuerzo máximo antes de sufrir alguna deformación elástica o plástica. Si el factor de seguridad de un producto es 1, significa que su deformación se da justo con la fuerza estimada, si es mayor significa que se necesitan da incrementando n veces la fuerza calculada.

El resultado fue una simulación con éxito debido a que arrojó un factor de seguridad mínimo de 33.

Tabla 3.1 Resultado simulación análisis estático de estructura base.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	3.308e+001	7.233e+002
		Nodo: 1	Nodo: 219

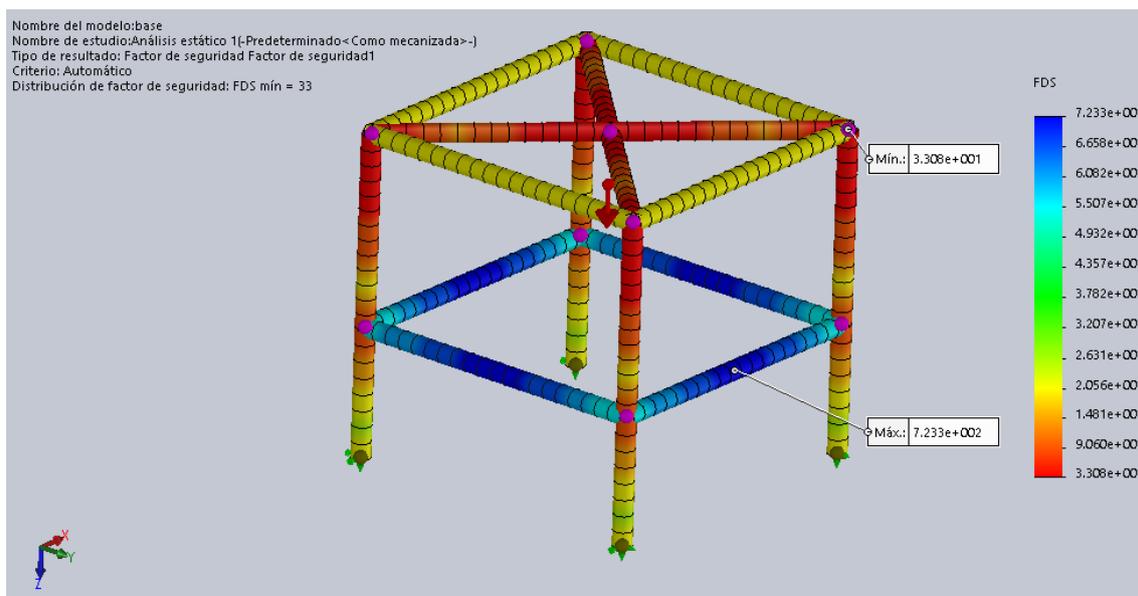


Figura 3.2 Resultado análisis estático de estructura base.

3.2 Mecanismo de pesado y triturado de papel

3.2.1 Placa de aluminio

El papel se colocará sobre una placa dónde estará ubicado el sensor de peso, el límite de papel para el usuario será de 8 kg que es la carga que debe soportar esta placa. Se maquinará de aluminio 1050 en el laboratorio de pesados de la unidad.

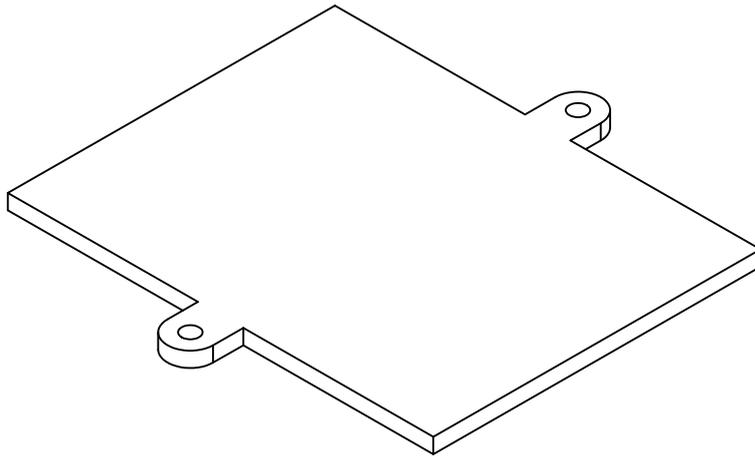


Figura 3.3 Placa de aluminio

3.2.2 Tornillo sin fin

El mecanismo de pesado y triturado consistirá en un elevador el cual estará compuesto de una charola dónde se incluirá el sensor de peso, para elevar esta charola se utilizarán dos motores a pasos, cada motor tendrá un tornillo sin fin acoplado de 30 cm de largo, 8mm de diámetro y un paso de 4 hilos por pulgada, esto con el fin de elevar de forma rápida y precisa la charola que contendrá el papel de oficina.



Figura 3.4 Tornillo sin fin 8mm de diámetro y corona

3.2.3 Motor a pasos

Con los datos del tornillo seleccionado y realizando las operaciones para el diseño actual se tiene:

$$w = 78.48 \text{ N}$$

$$\alpha = 17.65^\circ$$

$$\mu = 0.35 \text{ (Acero no lubricado)}$$

$$r = 4 \text{ mm (0.004 m)}$$

$$F = \frac{78.48 \text{ N} * (\sin 17.65 + 0.35 \cos 17.65)}{\cos 17.65 - 0.35 \sin 17.65} = 59 \text{ N}$$

$$\tau = 59 \text{ N} * 0.004 \text{ m} = 0.236 \text{ N/m}$$

Una vez obtenido este dato se propone utilizar el motor a pasos modelo “Nema 17” que proporciona un torque nominal de 0.48 N/m [17].



Figura 3.5 Motor a pasos modelo Nema 17 [17]

Para corroborar que el tornillo sin fin seria lo suficientemente resistente para poder cargar el peso del papel, se realizó un análisis estático, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 3.2 Resultado simulación análisis estático del elevador de hojas.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	10.7531	1e+016
		Nodo: 41217	Nodo: 70672

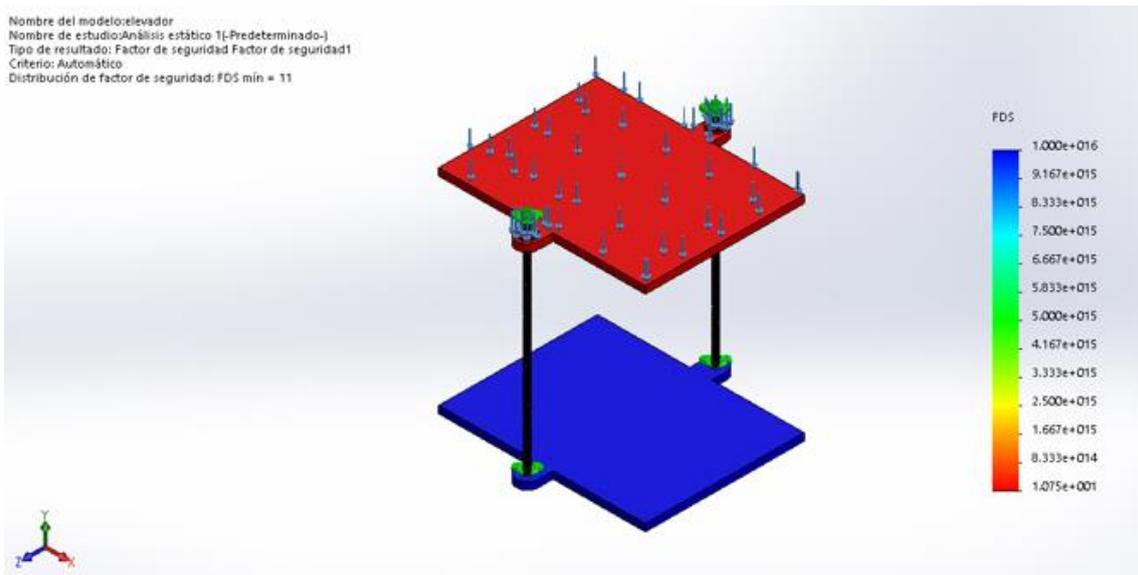


Figura 3.6 Análisis estático del elevador

Como se observa en la simulación, la selección de los tornillos es satisfactoria ya que se cumple con un factor de seguridad mayor a 1.

De igual forma se realizó un análisis de pandeo para los tornillos aplicándoles una fuerza de 98.1 N ya que todos los análisis se realizaron con un peso de 10kg.

Tabla 3.3 Resultado simulación análisis de pandeo de los tornillos.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud1	AMPRES: Amplitud resultante	0.000e+00	4.978e-02
	Plot para forma modal: 1(Factor de carga = 4.97893)	Nodo: 1	Nodo: 7911

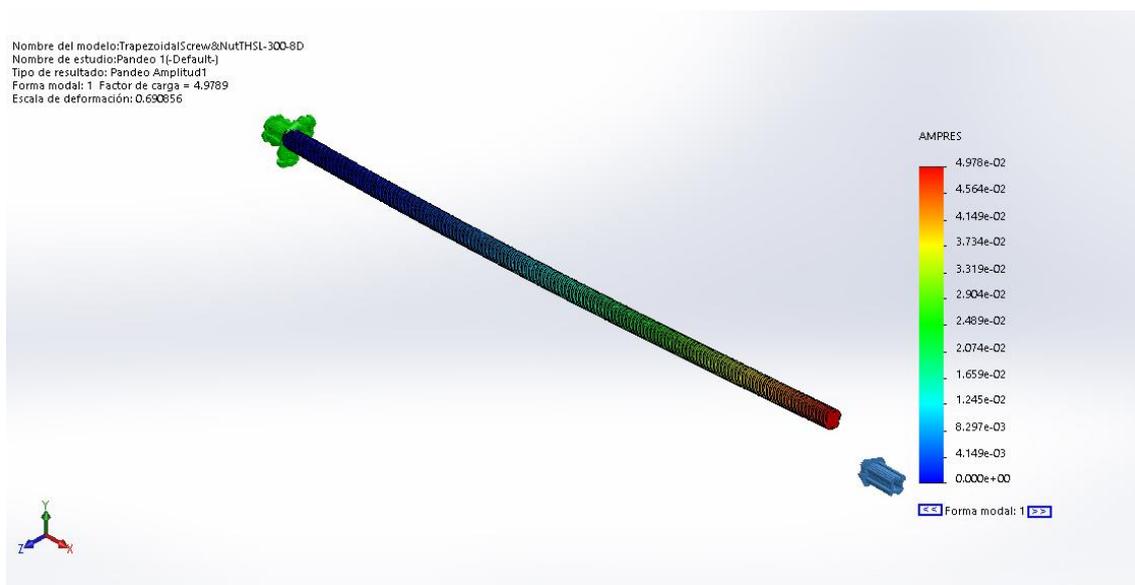


Figura 3.7 Análisis de pandeo de los tornillos

Se observa que el factor de carga es de 4.97 ya que este factor es mayor a 1 podemos concluir que el elemento no fallara a pandeo, cabe recalcar que el factor de carga es un factor de seguridad para pandeo.

3.2.4 Trituradora

El proceso de triturado será realizado por una trituradora de papel de oficina, la cual será modificada para que al triturar el papel este caiga dentro del contenedor. Se usará solo la parte superior de dicha trituradora, la cual será colocada en la salida de la caja que expide las hojas para triturarlas y posteriormente entren al contenedor.



Figura 3.8 Trituradora de papel para oficina [18]

3.2.5 Rodillos de goma

Para poder introducir el papel en la trituradora, se utilizarán un par de rodillos impulsados por motorreductores (Figura 3.9), los cuales cuentan con un torque de 4.5 Kgf*cm y funcionan a 12 v en corriente directa y alcanzan una velocidad de hasta 100 RPM regulable a través de una modulación de ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés) [19].



Figura 3.9 Motorreductor 1:120.

Los rodillos de goma se obtienen de impresoras que han dejado de funcionar y/o son obsoletas, estos rodillos constan de un eje rectificado recubiertos parcial o totalmente de almohadillas de goma, la ventaja es que son fácil de obtener, son de materiales resistentes, y las gomas son de alta fricción y facilita la separación de las hojas de papel, una a una.



Figura 3.10 Eje con rodillos de goma de impresora.

3.3 Cálculos y diseño hidráulico

3.3.1 Selección de las bombas

Para la selección de la bomba será necesario estimar la potencia requerida para poder elevar el agua del contenedor del almacenaje a la mezcladora.

La tubería que se propone para el suministro de agua es de PVC, el diámetro utilizado será de $\frac{3}{4}$ " , sin embargo, para los cálculos se toma en cuenta el diámetro interior de la tubería. Tomando en cuenta que tanto el contenedor como la mezcladora estarán sometidos a la atmósfera, entonces las presiones son cero de igual forma la velocidad inicial sería cero. Por lo que usando la ecuación (4) se obtiene:

$$z - \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2} + h_A = z_2 + \frac{v^2}{2g}$$

Como lo que importa es la potencia de la bomba se despeja (h_A).

$$h_A = z_2 - z_1 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{32\mu Lv_2}{\gamma D^2}$$

Dónde

$z_2 - z_1$ Se refiere a la distancia que hay entre el tanque y la mezcladora. El valor de esta diferencia será de 1.8 m.

$$L = 1.8 \text{ m}$$

$$\mu = 1 \times 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\gamma = 9.79 \text{ KN}/\text{m}^3$$

Para calcular v_2 se utilizará la ecuación de gasto, ya que la tubería es de forma cilíndrica se calcula el área como se muestra a continuación.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0.01755\text{m})^2}{4}$$

$$A = 2.419 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

Datos experimentales demuestran que para una altura de 1.8 m el caudal aproximado es [20].

$$Q = 3 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 3 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Por lo tanto, despejando la velocidad de la Ecuación (8), se obtiene que:

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{3 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2.419 \times 10^{-4} \text{m}^2}$$

$$v_2 = 12.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Finalmente se calculan las pérdidas en la bomba.

$$h_A = 1.8 + \frac{32(1 \times 10^{-3})(1.8)(12.4)}{9790(0.01755)^2} + \frac{(12.4)^2}{2(9.81)}$$

$$h_A = 8.26 \text{ m}$$

Para calcular la potencia de la bomba se tiene:

$$P_A = (8.26)(9790)(3 \times 10^{-3})$$

$$P_A = 242.6 \text{ W}$$

P_A es la potencia hidráulica añadida al fluido.

Para la potencia eléctrica de la bomba con una eficiencia mecánica $e_m = 0.70$ tenemos:

$$P_e = \frac{242.6}{0.7} = 346.57 \text{ W}$$

Tomando en cuenta estos resultados, y de la misma forma las bombas comerciales se eligió la bomba con las siguientes especificaciones.



Figura 3.11 Bomba de agua

Bomba de agua marca Múnich modelo Ba1208

Potencia: $\frac{1}{2}$ HP 373 W.

Voltaje: 127 V - 60 Hz.

R.P.M.: 3460

Diámetro de salida: 25,4 mm (1" NPT).

La elección se hizo basada en las bombas comerciales ya que no existen bombas de tan baja potencia de igual forma se tomó en cuenta el precio de dichas bombas ya que las bombas de $\frac{1}{4}$ hp son más caras que de $\frac{1}{2}$ por lo que se seleccionó la de $\frac{1}{2}$ tomando en cuenta mayor potencia a menor precio.

3.3.2 Selección de válvula

Tomando en cuenta los criterios de selección de válvulas de Grupo Gemü [13], se seleccionó una válvula marca Rain Bird modelo 200-PGA 2" con las siguientes especificaciones:

- Presión: 1,04 a 10,4 bar
- Caudal: 0,45 a 34,05 $\frac{m^3}{h}$
- Caudal con PRS-Dial: 1,14 a 34,05 $\frac{m^3}{h}$
- Temperatura: hasta 43° C
- Solenoide: 24VAC 50/60Hz (ciclos/seg)
- Corriente de arranque: 0,41A (9,9VA) at 60Hz
- Corriente de régimen: 0,14A (3,43VA) at 60Hz



Figura 3.12 Válvula 200-PGA [21]

3.4 Selección del motor principal

Conforme a las observaciones hechas en las pruebas experimentales se estableció que el motor debe tener un par elevado durante el arranque y una velocidad de trabajo nominal también elevada de entre 800 y 1000 rpm. Estos requerimientos son así ya que se considera que el motor debe ser capaz de arrancar con carga (la pulpa de papel en el contenedor), pero a su vez debe inducir velocidad suficiente en las aspas para que desintegren las fibras del papel. Debido a que es difícil dimensionar el torque necesario que debiera tener el motor (sólo se realiza una estimación), se optó por adquirir un motor de

corriente alterna de algún otro aparato, en este caso el de una lavadora, caracterizarlo y por último validar su funcionamiento mediante el uso de simulaciones.

3.4.1 Estimación de la potencia necesaria del motor

Para llevar a cabo este cálculo se retoman las dimensiones del contenedor, la densidad de la pulpa, así como la velocidad de trabajo nominal. Con el fin de facilitar el análisis se propone idealizar las aspas como cuatro palas planas de altura pequeña $h = 0.005m$, radio $r = 0.127m$, correspondiente a las aspas, dichas palas al realizar un movimiento circular forman cilindros de la misma altura y radio (h, r) que para este estudio se suponen sólidos y de una densidad ρ correspondiente a la de la pulpa de papel. Se propone así mismo que el trabajo que tendrán que realizar dichas palas bajo este esquema será el de “empujar” dichos discos para hacerlos girar.

Una vez establecidas todas estas condiciones ideales y tomando en cuenta una velocidad nominal de 1000 rpm y un tiempo de 1 segundo (propuesto en base a observaciones) para alcanzarla, ahora se tienen todos los parámetros necesarios para el cálculo de la potencia.

Primero se obtiene la masa de un disco sólido utilizando la densidad, según la ecuación (12):

$$m = 1006.41 \text{ Kg/m}^3 * \pi * (0.127m)^2 * 0.005m = 0.255 \text{ Kg}$$

Con este dato se calcula el momento de inercia que para un cilindro sólido está dado por:

$$I = 1/2 * 0.255 \text{ Kg} * (0.127m)^2 = 2.05 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$

Y la potencia está dada por la siguiente relación que utiliza el momento de inercia, la velocidad angular y el tiempo para alcanzar la velocidad nominal, obsérvese que entre más pequeño sea el tiempo en el que se desea alcanzar la velocidad nominal mayor será la potencia requerida. El resultado obtenido es finalmente multiplicado por 4, el número de aspas.

$$P = \frac{2.05 \times 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 * (104.79 \text{ rad/s})^2}{1 \text{ s}} = 22.58 \text{ Watts}$$

$$P_{Total} = 90.32 \text{ Watts}$$

El motor seleccionado "XTD-180" tiene una potencia de 180 W y una velocidad según la tabla de características del producto [22].



Figura 3.13 Motor modelo XTD-180

Tabla 3.4 Tabla de características de motor

Modelo	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Velocidad (RPM)	Potencia de salida (W)	Corriente (A)	Capacitancia $\mu\text{f}/450\text{V}$
XTD-180	220/110	50/60	1350/1600	180	1.6/3.2	12/48

3.5 Contenedor

El contenedor será cilíndrico hecho de acero inoxidable calibre 14, con el fin de facilitar el manejo del fluido en su interior, contará con dos entradas, una para el suministro de agua y otra para el suministro de hipoclorito de sodio, dichas entradas tendrán forma cilíndrica con un diámetro de 1 in y de largo $\frac{1}{2}$ in, de igual forma se incluirá un desagüe para expulsar el fluido del contenedor, tomando en cuenta que el fluido es una pulpa pastosa, éste tendrá una medida de 4 in para facilitar la salida de dicho fluido.

Para la integración de las aspas, se le agregará al contenedor un pequeño buje de $\frac{1}{2}$ in, con la finalidad de dar sujeción al eje principal.



Figura 3.14 Contenedor

3.5.1 Simulación de esfuerzos en el contenedor

Simulando los esfuerzos del contenedor con la presión máxima (8490.67 N/m^2) se obtuvo una respuesta satisfactoria para nuestras necesidades.

Tabla 3.5 Factor de seguridad de contenedor.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	6.770e+01	1.019e+07
		Nodo: 82632	Nodo: 10220

Nombre del modelo: contenedor
Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 88

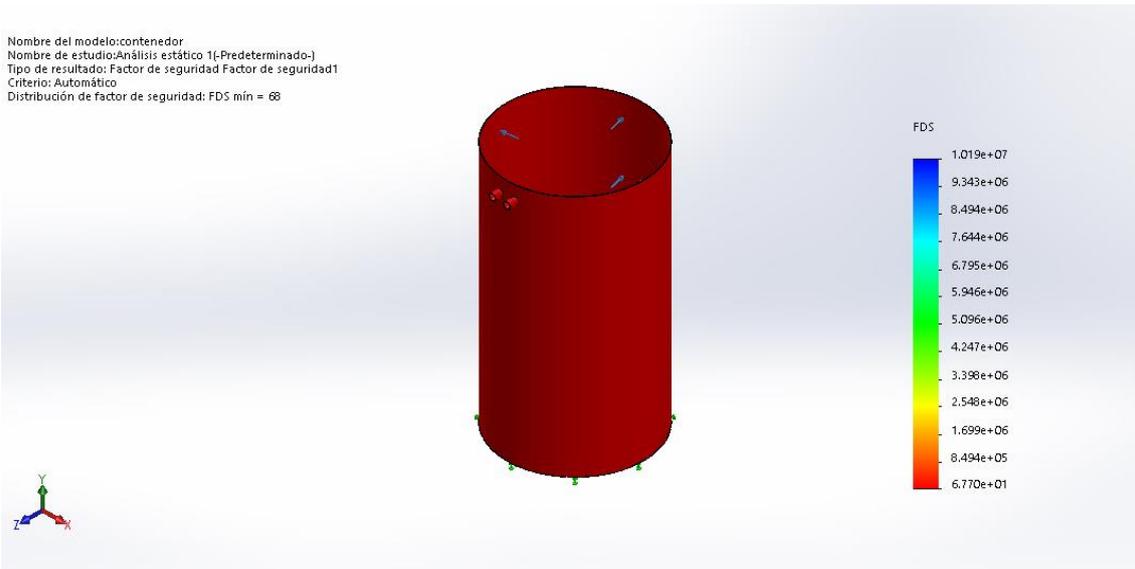


Figura 3.15 Factor de seguridad del contenedor

3.6 Aspas

Las aspas para poder realizar la mezcla estarán hechas de acero inoxidable con un largo de 209.69 mm con una curvatura de 45° y un espesor de 1 mm, el eje que contendrá dichas aspas tendrá un diámetro de 1 in y una altura de 930 mm, en dicho eje se agregará un orificio en la parte inferior para realizar una sujeción con el buje contenedor, de igual forma en la parte superior se agregará un orificio más para realizar una sujeción con tornillo al eje del motor principal.

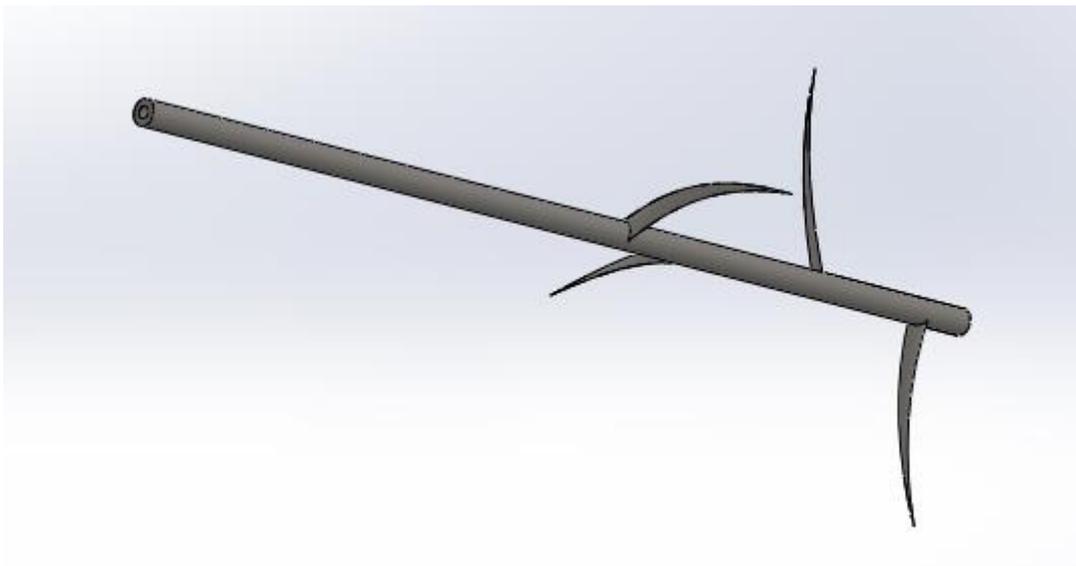


Figura 3.16 Eje principal

3.6.1 Simulación de torsión sobre el eje de las aspas

Para asegurar el funcionamiento correcto del eje se realizaron pruebas a torsión con el valor de torque del motor ($100 N * m$), dicha simulación arroja valores satisfactorios.

Tabla 3.6 Resultado del análisis de factor de seguridad del eje.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2.692e+00	2.897e+07
		Nodo: 1054	Nodo: 10523

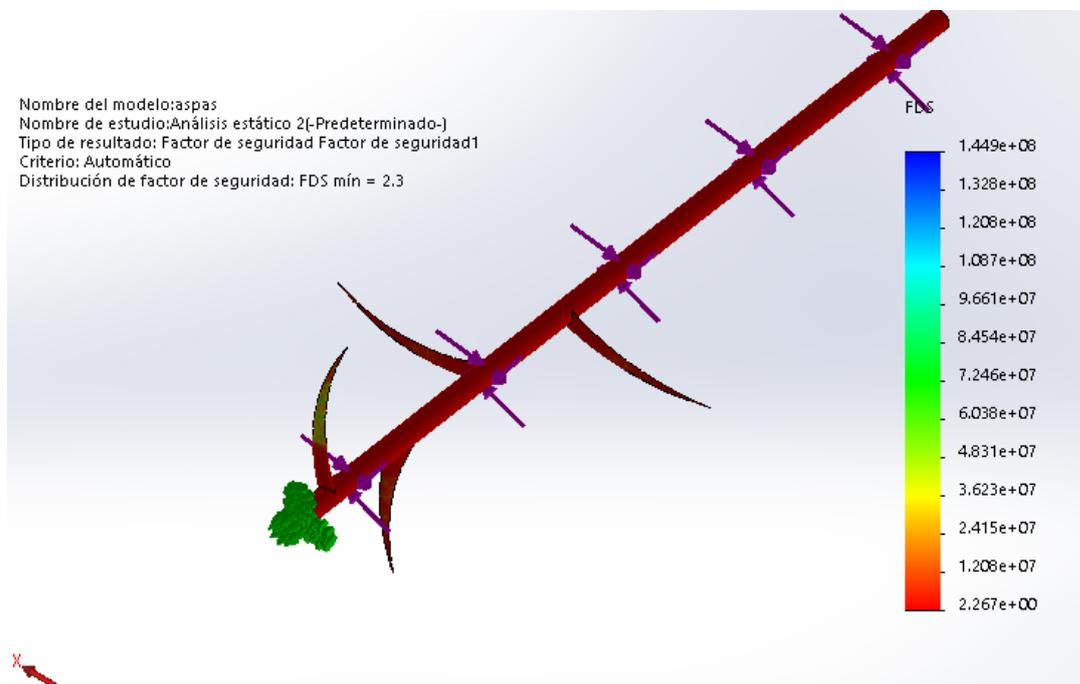


Figura 3.17. Factor de seguridad del eje.

3.6.2 Simulación del momento en las aspas

Para evitar un posible fallo en las aspas se generó una simulación de torsión en la cual se tomó en cuenta el momento producido por el fluido a una velocidad de 1000 Rpm ($0.052 Nm$).

Tabla 3.7 Resultados del factor de seguridad de las aspas.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	8.460e+02	1.000e+16
		Nodo: 87902	Nodo: 1

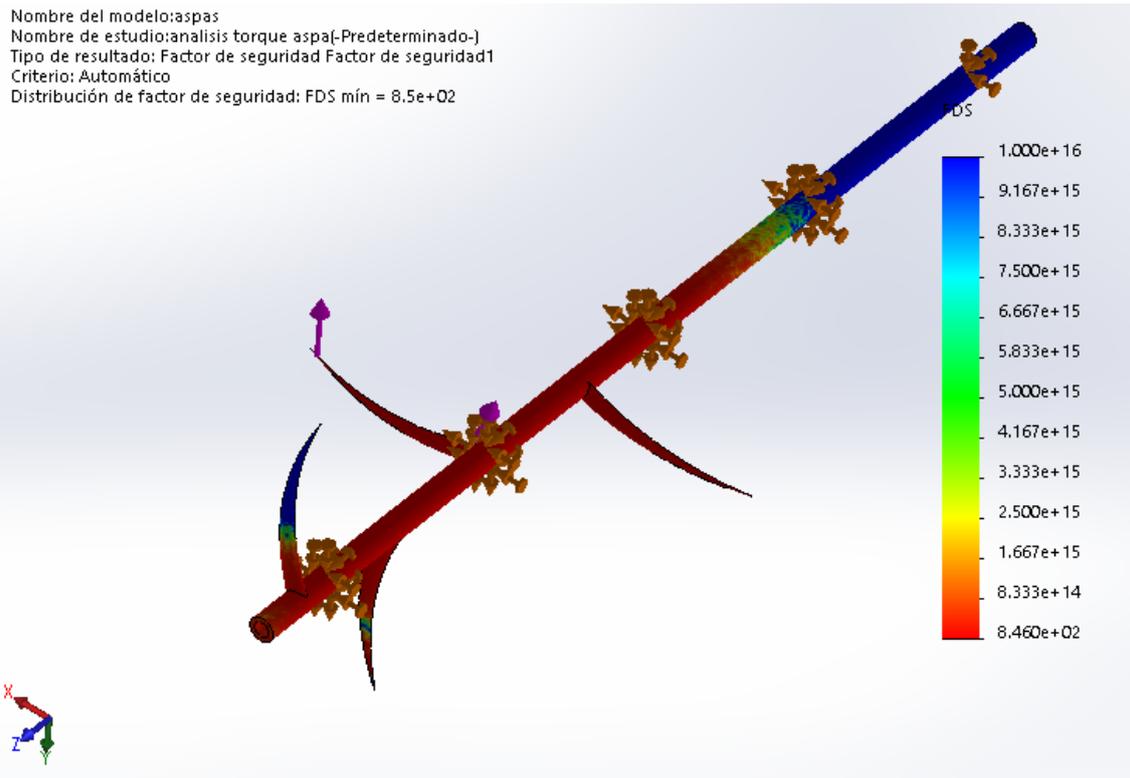


Figura 3.18 Análisis del factor de seguridad de las aspas.

Se observa que el factor de seguridad es muy elevado, esto se debe a que el torque generado por el fluido es muy poco. El resultado es satisfactorio y esto se concluye en un buen funcionamiento de las aspas.

3.7 Tolva de filtrado

La tolva de filtrado tendrá como finalidad recuperar el exceso de agua para ser reutilizada. Estará compuesta por una tela fina la cual mantendrá la pulpa y filtrará el agua y un contenedor con forma de tolva invertida como se muestra en la Figura 3.19. En el fondo contará con orificio el cual tendrá tubería que regresará el agua sobrante al contenedor de agua principal, con el fin de aprovecharla al máximo.

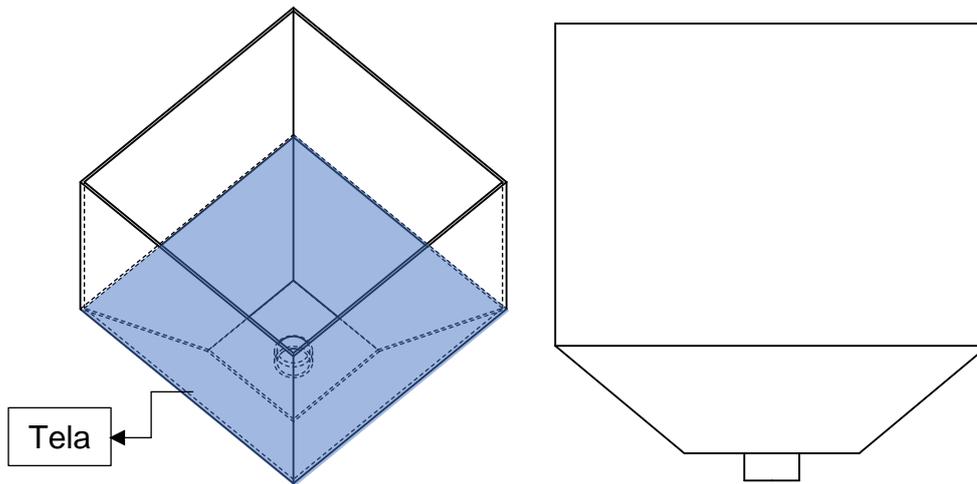


Figura 3.19 Tolva de filtrado.

Para mantener la tolva vertical se construirá una base con el mismo material que la estructura principal.

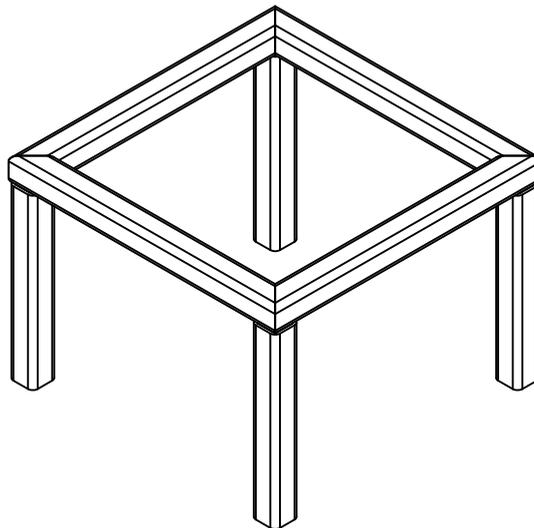


Figura 3.20 Base para tolva.

3.8 Selección de componentes electrónicos

Como se describe en los apartados anteriores se requiere un motor de alterna monofásico para mover las aspas que reducirán el papel, además de bombas para mover líquidos al contenedor. Como se pretende controlar el comportamiento de estos componentes desde un controlador (ordenador y/o microcontrolador) se requiere de una etapa de potencia que regule la alimentación de motores y bombas. También se requiere que exista algún esquema de protección (interfaz) ante alguna falla eléctrica en el lado del motor

de forma de que no se dañe el controlador o, dicho de otra forma, que desacople eléctricamente hablando al controlador que opera en corriente directa, de los motores u otros componentes que trabajan con corriente alterna.

En el Diagrama 3.1 se encuentra descrito de manera general el comportamiento y la relación que guardan los componentes electrónicos seleccionados.

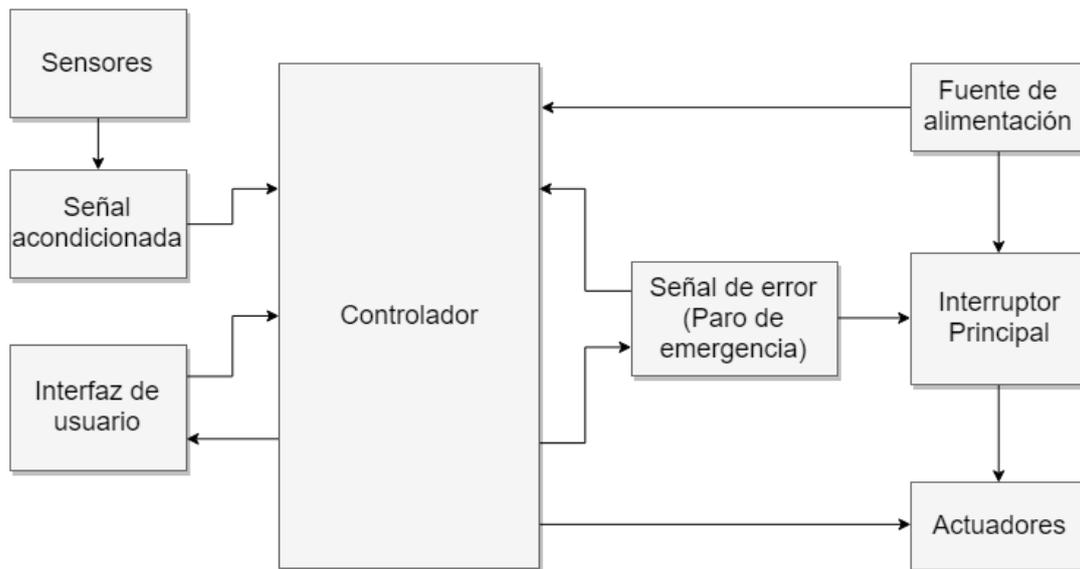


Diagrama 3.1 Diagrama de funcionamiento.

Para cumplir con estos propósitos se plantea utilizar una placa eléctrica que integra relevadores mecánicos para controlar la alimentación de corriente alterna y optoacopladores para proteger el lado del controlador ante una posible descarga proveniente del lado de motores y bombas. La referencia (o “tierra”) utilizada por el controlador queda aislada del resto de las referencias, lo que lo protege en caso de falla, siendo la matriz de relevadores la que en todo caso resultaría dañada, lo cual es un asunto conveniente por el hecho de que es más barata y fácil de remplazar.



Figura 3.21 Relevador de 4 canales opto acoplados [23]

3.8.1 Selección de controlador electrónico

El controlador es la parte que actúa como la interfaz humano-máquina, se encarga de procesar la información de entrada recibida por los sensores y las directivas del usuario para la activación de motores y bombas, así mismo, informa del estado del proceso.

Debido que se quiere desarrollar una interfaz de usuario intuitiva en primera instancia se pensó en utilizar una computadora de escritorio, pero sus principales desventajas son que ocupa demasiado espacio y requiere de algún hardware adicional para hacer de interfaz entre la computadora y los demás componentes electrónicos, lo que a lo sumo aumenta la complejidad en los esquemas de conexiones. Por lo que al final se optó por utilizar una Raspberry Pi como controlador.

Las principales ventaja que ofrece una Raspberry Pi es que cuenta con puertos de entrada y salida de propósito general (GPIO por sus siglas en inglés) con los que se puede interactuar mediante señales eléctricas con el resto de los dispositivos; otro rasgo que la hace conveniente a este proyecto es que también cuenta con características de un ordenador convencional, por lo que se le puede

conectar un monitor o inclusive una pantalla táctil de tipo resistiva y desarrollar la interfaz en cualquier lenguaje orientado a objetos compatible con sistemas operativos basados en Linux.



Figura 3.22 Raspberry pi [24]

3.8.2 Driver A4988

El A4988 es un controlador (driver) que simplifica el manejo de motores paso a paso desde un autómata o procesador. Se destaca que las dimensiones de este componente son pequeñas (2cm x 1.5cm).

Estos controladores nos permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren los motores a pasos, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada [25].

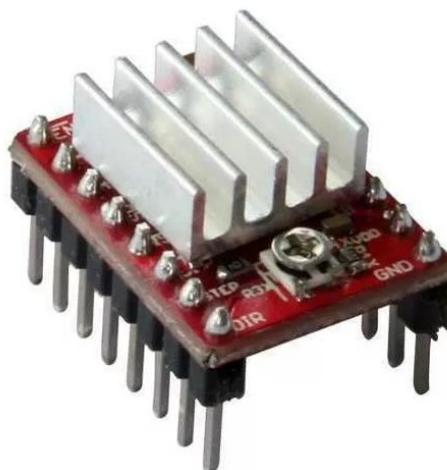


Figura 3.23 Driver A4988 [25]

El dispositivo cuenta con dos entradas de alimentación, una para el voltaje lógico (entre 3.3 y 5 volts) y otra para el suministro de energía de los motores (entre 8 y 35 volts). La salida de corriente al motor es de máximo 2 amperios.

3.8.3 Circuitos eléctricos

Para el control de las bombas se implementará un módulo relé el cual se activará con una señal de salida del controlador.

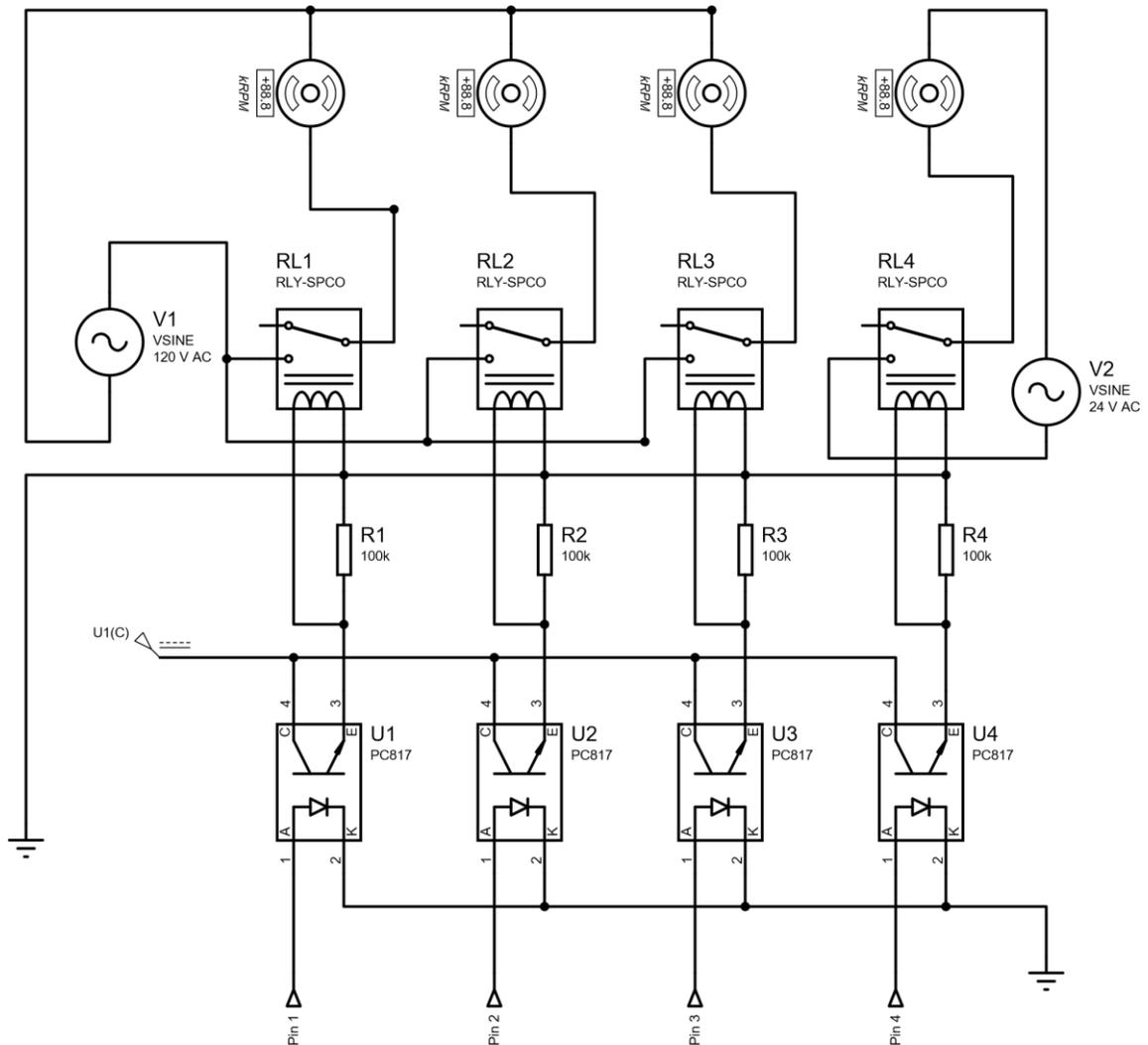


Figura 3.24 Circuito control de bomba y electroválvula.

Este circuito tiene como finalidad ser utilizado como un control de tipo on/off el cual activará y desactivará tanto las bombas de agua como la electroválvula y el motor de las aspas (motor principal).

Para el control de los motores a pasos se utilizará un modulo A4988 el cual es un controlador especial para motores a pasos, ya que permite enviar las señales necesarias para su funcionamiento y a su vez funciona como etapa de potencia para proteger el controlador a utilizar, se seleccionó este tipo de controlador ya que es más sencillo su manejo y programación.

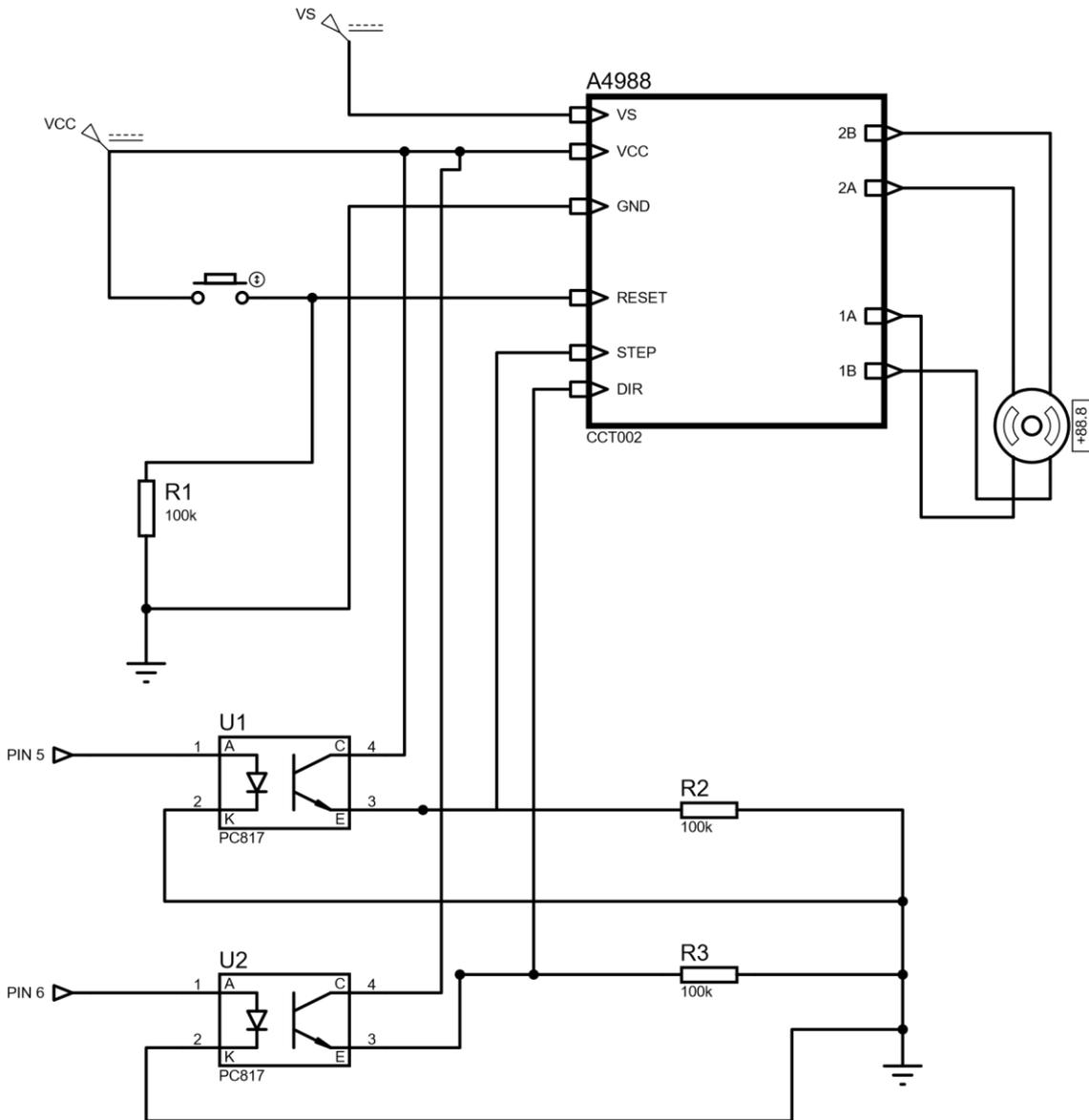


Figura 3.25 Circuito de control motores a pasos.

3.9 Integración de diseño

El mecanismo de pesado, en dónde se colocarán las hojas de papel se conforma de ocho elementos indicados en la Figura 3.26 y la Tabla 3.8

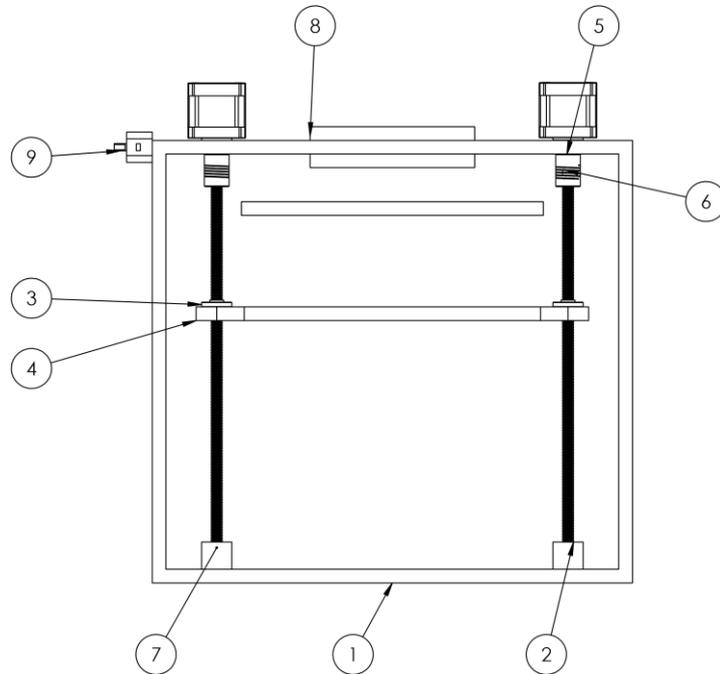


Figura 3.26 Mecanismo de pesado y triturado (elevador).

Tabla 3.8 Elementos de mecanismo.

#	Elemento
1	Caja de lámina
2	Varilla roscada
3	Rosca con perforaciones
4	Placa de aluminio
5	Motor a pasos
6	Cople flexible
7	Rodamiento
8	Rodillo de goma
9	Motorreductor

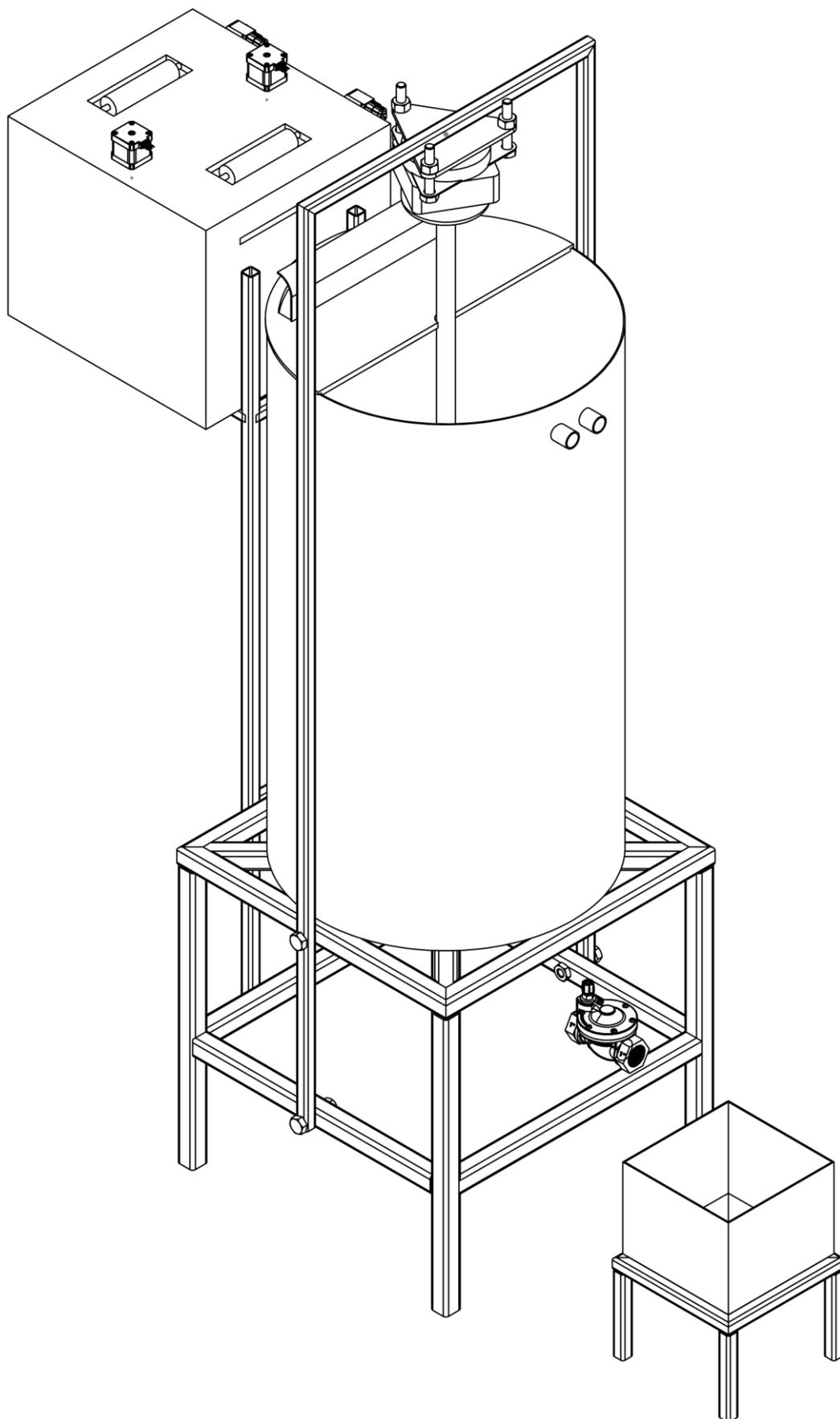


Figura 3.27 Integración de elementos (Sin tubería).

3.10 Costo de material

En la Tabla 3.9 se muestra un listado de los precios y materiales que se adquirieron en base al diseño detallado para la construcción de la máquina. Estos precios no estiman algunos procesos de manufactura.

Tabla 3.9 Cotización de precios.

Cant.	Pieza/material	P. unitario	Precio total
2	Motor a pasos Nema 17	\$ 118.00	\$ 236.00
2	Varilla roscada 8 x 300 [mm]	\$ 220.00	\$ 440.00
3	Driver A4988	\$ 32.00	\$ 96.00
1	Paquete Raspberry Pi	\$ 1,590.00	\$ 1,590.00
2	Cople Flexible 5 x 8 [mm]	\$ 42.00	\$ 84.00
1	Tramo tubo cuadrado 3/4 x 3/4 [in]	\$ 100.00	\$ 100.00
1	Tramo tubo cuadrado 1 1/4 x 1 1/4 [in]	\$ 120.00	\$ 120.00
2	Adaptador macho 2" PVC	\$ 14.00	\$ 28.00
1	Codo 2" PVC	\$ 24.00	\$ 24.00
6	Adaptador macho 1" PVC	\$ 7.00	\$ 42.00
10	Codo 1" 45° PVC	\$ 7.35	\$ 73.50
1	Tramo Tubo 1" PVC	\$ 57.00	\$ 57.00
2	Bomba hidráulica 1/2 [HP]	\$ 500.00	\$ 1,000.00
1	Módulo de 8 Relevadores	\$ 232.00	\$ 232.00
1	Eje con aspas	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
1	Tramo lámina calibre 14	\$ 4,000.00	\$ 4,000.00
1	Electroválvula 2" 200-PGA	\$ 1,690.00	\$ 1,690.00
1	Transformador	\$ 200.00	\$ 200.00
1	Rollo de cable calibre 12	\$ 500.00	\$ 500.00
1	Memoria Micro SD 16Gb	\$ 149.00	\$ 149.00
1	Trituradora de papel para oficina	\$ 600.00	\$ 600.00
1	Fuente computadora	\$ 200.00	\$ 200.00
1	Motor AC	\$ 800.00	\$ 800.00
2	Motorreductor 1:120	\$ 70.00	\$ 140.00
1	Resistencia Sensible a la Fuerza	\$ 300.00	\$ 300.00
	Subtotal		\$ 14,201.50
	10% Imprevistos		\$ 1,420.15
	Total		\$ 15,621.65

3.10.1 Comparación precio estimado – precio cotizado

En comparación al valor estimado registrado en el protocolo de registro del proyecto de \$25,500.00, hay un margen de aproximadamente \$10,000.00 a favor, considerando los cálculos se seleccionaron elementos con mejor precisión y en su mayoría contaban con precio menor al estimado en el protocolo.

III. Análisis y Validación de Resultados

Capítulo 4. Adquisición de los elementos de la máquina

4.1 Adquisición

Para comenzar la construcción y armado de la máquina, se priorizó adquirir los elementos y materiales que se someterían a diferentes procesos de manufactura, en segundo orden aquellos que se mandarían construir de manera externa y en tercera instancia los componentes que no requieren ningún tipo de modificación para utilizarse, como electrónicos y piezas prefabricadas.

4.1.1 Materiales para manufactura

Como se indicó en la sección 2.1.1 se necesitó empezar a construir por la base principal de la máquina, y se utilizaron 2 tramos de tubo cuadrado de 1 ¼ in calibre 14. Como se unió por soldadura con un proceso tipo SMAW se adquirió de 1 Kg de electrodos revestidos 6011.

Para el arco o soporte del motor se utilizó ½ tramo de tubo cuadrado de ¾ in calibre 18, posteriormente se requirió añadir ¾ de tramo del mismo tubo y se utilizó el mismo proceso de soldadura tipo SMAW, pero se adquirió ½ kg de electrodos 6013 calibre $\frac{3}{32}$, debido al espesor de los tubos.

El material requerido para el soporte del mecanismo que ingresará el papel fue de la misma medida que el arco, se utilizó ½ tramo de tubo cuadrado de ¾ in calibre 18, tal como se diseñó. Se unió por soldadura con un proceso tipo SMAW con electrodos revestidos 6013.

Para el armazón del mecanismo que ingresará el papel se adquirieron 2/3 de tramo de tubo cuadrado de ½ in calibre 18. De igual forma se utilizaron electrodos revestidos 6013. Y se hizo un forro a partir de lámina galvanizada.

Se adquirió una barra de aluminio de 1 ½ in con una longitud de 5 in para previamente maquinar en el torno un buje que se sitúa en el fondo del contenedor, una unión entre las aspas y el motor y otra unión entre el motorreductor y el rodillo para empujar el papel.

Para la tapa del contenedor se adquirió lámina, solera y varilla de acero, así como un rodamiento para situar el eje en el centro. De igual manera se unieron con un proceso de soldadura tipo SMAW con electrodos 6011.

Para los procesos de manufactura de tipo estético se utilizaron discos de corte de 14 in, de 4 ½ in, disco de pulir de 4 ½ in, así como lija de grano 800 y 200.

4.1.2 Elementos de fabricación externa

Se ordenó un contenedor y las aspas de acero inoxidable con las medidas indicadas en el plano que puede consultarse en el anexo 4, sin embargo, se optó por recomendación del fabricante cambiar a un acero inoxidable menos costoso y un calibre más delgado. Las aspas también se fabricaron de una varilla más delgada. Los planos actualizados se encuentran en anexos para su consulta.

Se eliminó la tolva de salida debido al poco espacio para su posicionamiento.

4.1.3 Elementos prefabricados

Vía internet y en tiendas locales se compraron los elementos prefabricados restantes listados en la Tabla 4.1. Algunos elementos previamente seleccionados cambiaron o se eliminaron debido a la construcción o por la facilidad de adquisición (existencia o costo).

Tabla 4.1 Elementos adquiridos prefabricados.

#	Material	Cantidad
1	Electroválvula	1
2	Cabezal de trituradora de papel de oficina	1
3	Motor AC	1
4	Raspberry Pi 3 modelo B	1
5	Bomba AC	2
6	Motor a pasos NEMA 17	2
7	Motorreductor 1:100	1
8	Set de varilla roscada de 8mm	2
9	Manguera de $\frac{3}{4}$ de pulgada [m]	5
10	Conexión de manguera a bomba 1 pulgada	4
11	Sensor ultrasónico	1
12	Botón paro de emergencia	1

Capítulo 5. Construcción de estructuras metálicas

5.1 Construcción de la estructura base

Para iniciar el proceso de construcción de la estructura se realizaron 4 cortes de 500 mm, 4 cortes de 480 mm a 90°, 4 cortes de 455 mm a 45° y 2 cortes de 651 mm a 60°, utilizando la tronzadora para generar los cortes y tener una mayor exactitud en los ángulos. Teniendo los cortes necesarios se utilizó un proceso de soldadura generando un aproximado de 42 costuras de soldadura para la fabricación de la estructura.

Finalizado el ensamblaje se realizaron 12 perforaciones con una medida de $\frac{1}{4}$ in en la estructura. Se perforó utilizando un taladro manual poco a poco hasta llegar a la medida indicada, estos barrenos tendrían como función sujetar por medio de tornillería los componentes de la máquina en cuestión.

Para sujetar el contenedor se agregaron al diseño original dos aletas en la parte inferior para poder perforar y atornillar a la base principal, estas aletas fueron perforadas a una medida de $\frac{3}{16}$ in, de igual forma se realizaron perforaciones en la base principal. Así el contenedor se atornillo a la estructura para evitar movimientos no deseados.



Figura 5.1 Base principal con contenedor

A la salida inferior del contenedor principal se le agregó un codo de PVC a 45° adherida con cemento de uso especial para este material y para controlar el flujo de salida del contenedor se agregó una llave de compuerta de 2 in, con el fin de que el usuario pueda recuperar de forma sencilla el producto final (pulpa de papel) como se muestra en la figura.



Figura 5.2 Llave de extracción de pulpa

Cabe mencionar que el diseño original contenía una electroválvula rainbird, sin embargo, debido a la baja presión que la pulpa generaba no fue posible el accionamiento de la compuerta.

El arco que sujetaría el motor principal se analizó nuevamente y se concluyó que debido a las vibraciones generadas por el motor el diseño inicial presentaba fallas, por lo que se revisó el problema y se buscó una posible solución modificando la estructura del arco, la cual fue agregar tubo cuadrado como soporte con un ángulo de 15 grados. Estas modificaciones se muestran en la Figura 5.3 y los planos para su construcción en el anexo 4, teniendo el arco armado se ensambló el motor de forma como se muestra en dichos planos.



Figura 5.3 Arco principal

Se utilizó tubo cuadrado como separadores entre el motor y la placa esto con el fin de que la placa que sostiene el arco no se doblara con la presión de los tornillos, así mismo se insertaron gomas en los tornillos para tratar de disminuir la vibración generada por el motor.

5.2 Construcción del arco sujetador del motor

Para la fabricación de la estructura para sostener el despachador utilizó tubo cuadrado generando 2 cortes de 1200 mm, 2 cortes de 200 mm y 2 cortes de 300 mm, todos estos cortes se realizaron a 90°. A continuación, se realizó el proceso de soldadura para generar la estructura como se muestra en los planos anexados utilizando un aproximado de 12 costuras de soldadura.

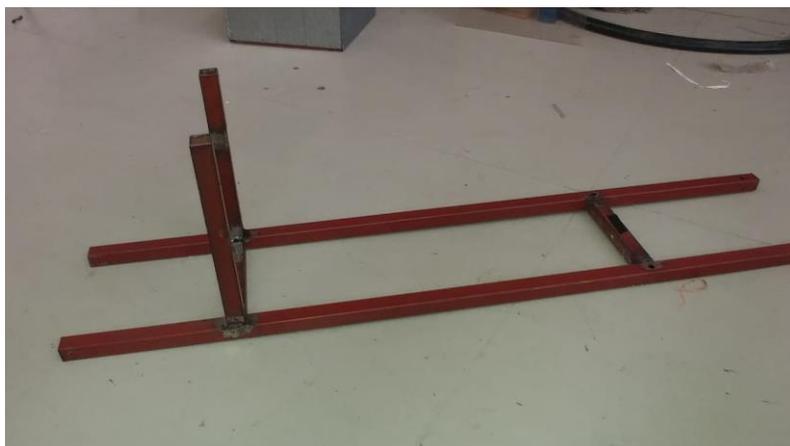


Figura 5.4 Estructura del despachador de hojas

Teniendo las partes principales de la estructura fabricadas, se maquinó un cople utilizando el torno, este cople tendría como finalidad unir el rotor de nuestro motor con el eje de las aspas, utilizando la barra de aluminio mencionada con anterioridad. Esta barra se torneo hasta llegar a una medida de 1 in de diámetro, para introducir el eje principal, se realizó un taladrado de $\frac{1}{2}$ in y para el rotor un taladrado de $\frac{3}{8}$ in. Para poder insertar opresores y evitar que el cople resbale se le realizo un roscado interior manual de $\frac{1}{4}$ in.

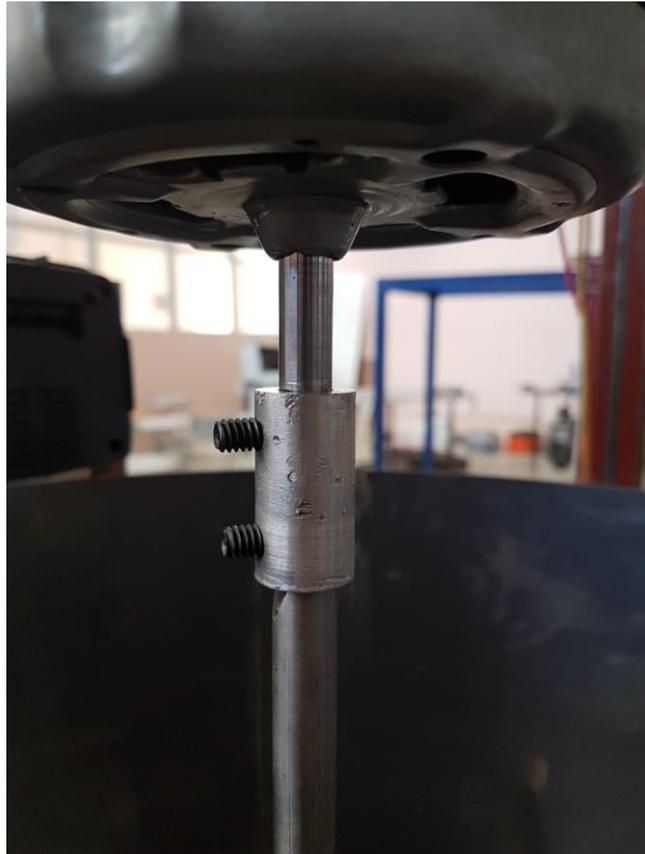


Figura 5.5 Cople rotor eje principal

Para el fondo del contenedor se empleó el mismo material del cople y realizó un buje el cual ayudaría a que dicho eje girara de forma correcta sin tener desfasamiento del centro, esto con la finalidad de tener un buen funcionamiento de las aspas y que el eje principal no fallara por fatiga.

Avanzando con los planos se construyó la caja dispensadora, el armazón de esta se realizó con el mismo material que el arco, se realizaron 4 cortes de 325 mm y 4 cortes de 375 mm, para la manufactura de este elemento se implementó el proceso de soldadura mencionado. Para el contorno de la caja se utilizó lámina

de acero galvanizado reutilizada, esta lamina fue doblada y remachada a el armazón.



Figura 5.6 Sujeción de lámina a armazón

Para el giro de los tornillos se imprimieron en PLA dos bujes, los cuales se observan en los anexos, estos tendrían como función mantener de forma recta los tornillos que elevarían el ascensor, el PLA es un polímero termoplástico biodegradable utilizado en las impresoras de formas 3D. Así mismo, tal como se muestra en los planos, se incorporaron los motores NEMA en la parte superior de la caja.

Para empujar las hojas a la etapa de pre-trituración se contempló usar dos pares de rodillos con un motorreductor cada uno, sin embargo, al hacer pruebas reales se obtuvo como resultado usar solo uno, que sería el más cercano a la entrada de la etapa de pre-trituración. El rodillo se unió a los motorreductores con un cople maquinado en aluminio, con un diámetro interior de 0.21 in, dónde se sujeta el eje del motorreductor y 0.31 in, dónde se sujeta el eje del rodillo, y un diámetro exterior de $\frac{1}{2}$ in, los planos se encuentran en el anexo 4.

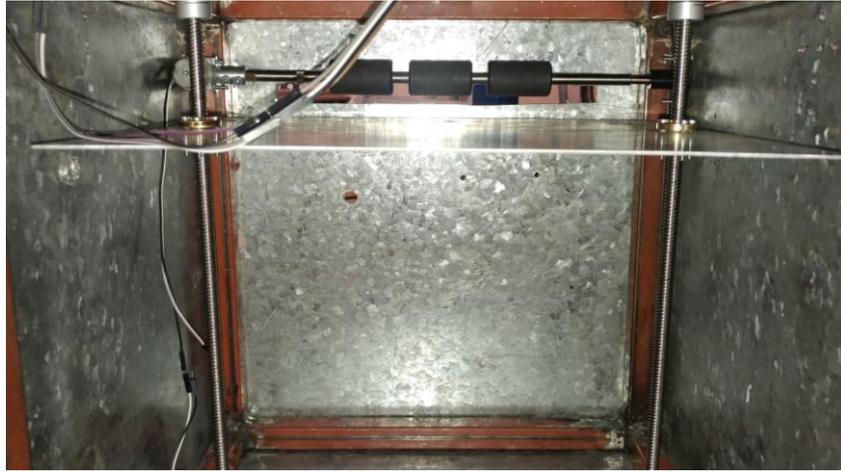


Figura 5.7 Caja despachadora de hojas

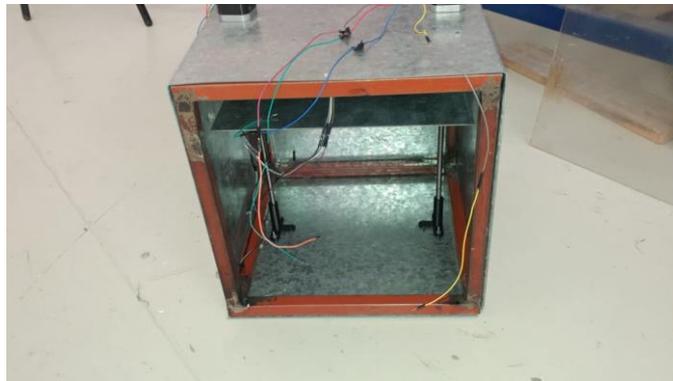


Figura 5.8 Caja despachadora de hojas

A la salida de esta caja se implementó el cabezal para triturar papel de oficina, por lo que se le incorporaron sujeciones en la parte trasera de la caja para tener un agarre correcto del cabezal, como se aprecia en la Figura 5.9.



Figura 5.9 sujeciones para trituradora

De igual forma para ayudar al posicionamiento correcto de la máquina trituradora, fue sujeta a la estructura del soporte del despachador, utilizando escuadras con una longitud de 2 in.



Figura 5.10 Trituradora de papel

Para finalizar con la manufactura de la máquina se realizó la tapa la cual se fabricó en primera instancia como se mostraba en los planos, sin embargo debido al mal funcionamiento del diseño se optó por el cambio del mismo, se utilizó solera de $\frac{3}{4}$ in y una placa de acero, se roló la solera de tal forma que este rolado coincidiera con el perímetro del contenedor principal, se unió la solera con la placa utilizando un proceso de soldadura, así mismo se realizó un orificio en el centro para insertar un rodamiento de bolas el cual tendría como principal funcionamiento disminuir el riesgo de que el eje fallara a fatiga.

Se realizó un corte rectangular en la tapa para insertar las hojas pre-trituradas (Figura 5.11), a este corte se le agregó una guarda para evitar el salpique de agua, de igual forma se le agregaron 2 sujetadores para facilitar el desensamble de la máquina para su mantenimiento.



Figura 5.11 Recorte en tapa.

Para terminar con la manufactura de la máquina se ensambló todo utilizando tornillería, sin embargo, al ensamblar y hacer pruebas preliminares se observó que la máquina aún tenía vibración, para solucionar esto se implementaron tapones de goma en la parte inferior de la estructura.



Figura 5.12 Tapas de goma

Capítulo 6. Implementación de Interfaz

6.1 Descripción general

Para regular el comportamiento de los elementos electrónicos se eligió un ordenador de placa reducida o SBC (Single Board Computer), por sus siglas en inglés, particularmente la “Raspberry Pi 3 modelo B” como controlador principal de las señales de entrada y salida. Se prefirió este tipo de controlador sobre otras opciones porque tiene la flexibilidad para desarrollar una aplicación de escritorio en varios lenguajes de programación y con tecnologías diversas (C++, Python, JAVA, etc.) tal como se hace en un ordenador de escritorio; otra ventaja significativa es la posibilidad de interactuar con el sistema mediante periféricos comunes de computadora como lo son un monitor, teclado y/o ratón.

En la capa de software se optó por desarrollar una secuencia de ventanas en el lenguaje de programación JAVA, apoyados en el patrón de arquitectura “Modelo Vista Controlador” [27]. El ambiente de desarrollo que se eligió fue “NetBeans IDE 8.2”

6.1.1 Controladores electrónicos

Para tener el mando de los elementos que operan con corriente alterna a una fase se utiliza un arreglo de relevadores configurados para estar normalmente abiertos, el controlador principal envía las señales que cierran los contactos mecánicos habilitando o deshabilitando elementos de la máquina (motores y bombas). Por otra parte para los elementos electromecánicos que operan en corriente directa, es este caso los motores a pasos se utiliza un driver A4988 (ver anexo 3) alimentado por una fuente que proporciona 12 Volts, en este caso el controlador envía dos señales digitales ON/OFF a este driver: La primera, “dir”, indica la dirección de giro y la segunda, “step”, tiene la forma de un tren de pulsos que regula la cantidad de giro así como su velocidad.

Se realizó modificación con respecto al diseño original al añadir un final de carrera al esquema de sensores, este tiene el propósito de evitar que la bandeja que eleva el papel trate de subir más allá del límite mecánico permitido, además es un indicador confiable que proporciona una señal cuando todas las hojas ya han sido procesadas.

Otra modificación fue la de sustituir el sensor de fuerza de tipo resistivo por un método de medición indirecta, utilizando un sensor de distancia de tipo ultrasónico se estima la cantidad de papel en la bandeja de entrada. El funcionamiento se basa en la emisión de una onda de sonido la cual “rebota” contra un objeto, y es detectada nuevamente en el punto de emisión; la distancia se calcula en base al tiempo que tarda la señal en hacer el recorrido de ida y vuelta (se considera dos veces la distancia al objeto de interés) y la constante de la velocidad del sonido al nivel del mar, se pasan las unidades de velocidad a $mm/\mu s$ debido a que la medición del tiempo se hace precisamente en micro segundos.

$$V = 340 \text{ m/s} = 0.034 \text{ mm}/\mu s$$

$$V = \frac{2d}{t}$$

$$d = \frac{V}{2} * t$$

$$d = 0.017 * t$$

6.1.2 Configuración

Debido a que mediante el lenguaje JAVA no se puede acceder directamente a los pines de entrada y salida de la Raspberry se requiere de una librería que actúe como mediador entre el software y los periféricos. Se seleccionó la librería PI4J de un proyecto de código abierto que lleva el mismo nombre. La instalación requiere abrir una terminal de comandos en la cual se debe ingresar la siguiente instrucción de instalación proporcionada por los desarrolladores de ese proyecto:

```
curl -s get.pi4j.com | sudo bash
```

Con el objetivo de que el desarrollo y pruebas de software fueran realizables de manera más práctica se optó por escribir y compilar el código en una PC externa misma que genera el archivo ejecutable de extensión .jar y lo envía a una carpeta en la Raspberry mediante un protocolo de red denominado SFTP; una vez ahí, el archivo puede ser ejecutado mediante una terminal de comandos o arrancado automáticamente al iniciar el sistema. Para lograr trabajar de la manera descrita el ambiente de desarrollo debe ser configurado para compilar de manera remota y habilitar la librería PI4J [28].

También hay que tomar en cuenta que debido a modificaciones propias de las versiones del sistema operativo que proporciona el fabricante pueden existir problemas de compatibilidad que impiden el correcto funcionamiento de la librería PI4J. Puntualmente en el desarrollo de este proyecto se presentó un error de esta clase: La librería está hecha para trabajar con la versión de hardware con el número de serie BCM2708, pero desde el año 2017 el fabricante de Raspberry cambió a BCM2835 [29].

A continuación, se muestra la Figura 6.1 y la tabla 6.1 que sirven como referencia para la numeración de los pines y se enlistan las señales de entrada y salida; hay que poner atención en que la numeración física de los pines no coincide con la numeración que utiliza la librería, así por ejemplo el pin 4 que es uno de propósito general corresponde al pin físico número 16.

Raspberry Pi 3 Model B (J8 Header)					
GPIO#	NAME			NAME	GPIO#
	3.3 VDC Power	1		2	5.0 VDC Power
8	GPIO 8 SDA1 (I2C)	3		4	5.0 VDC Power
9	GPIO 9 SCL1 (I2C)	5		6	Ground
7	GPIO 7 GPCLK0	7		8	GPIO 15 TxD (UART) 15
	Ground	9		10	GPIO 16 RxD (UART) 16
0	GPIO 0	11		12	GPIO 1 PCM_CLK/PWM0 1
2	GPIO 2	13		14	Ground
3	GPIO 3	15		16	GPIO 4 4
	3.3 VDC Power	17		18	GPIO 5 5
12	GPIO 12 MOSI (SPI)	19		20	Ground
13	GPIO 13 MISO (SPI)	21		22	GPIO 6 6
14	GPIO 14 SCLK (SPI)	23		24	GPIO 10 CE0 (SPI) 10
	Ground	25		26	GPIO 11 CE1 (SPI) 11
30	SDA0 (I2C ID EEPROM)	27		28	SCL0 (I2C ID EEPROM) 31
21	GPIO 21 GPCLK1	29		30	Ground
22	GPIO 22 GPCLK2	31		32	GPIO 26 PWM0 26
23	GPIO 23 PWM1	33		34	Ground
24	GPIO 24 PCM_FS/PWM1	35		36	GPIO 27 27
25	GPIO 25	37		38	GPIO 28 PCM_DIN 28
	Ground	39		40	GPIO 29 PCM_DOUT 29

Attention! The GPIO pin numbering used in this diagram is intended for use with WiringPi / Pi4J. This pin numbering is not the raw Broadcom GPIO pin numbers.

<http://www.pi4j.com>

Figura 6.1 Referencia de numeración de pines [30]

Tabla 6.1 Asignación de pines

PIN	Pin Físico	Descripción	Propósito
7	7	GPIO 7	Señal de final de carrera
15	8	GPIO 15 TxD (UART)	Comunicación serial.
16	10	GPIO 15 TxD (UART)	Comunicación serial.
28	38	GPIO 28 PCM_DIN	Dirección de giro motores a pasos.
29	40	GPIO 29 PCM	Tren de pulsos que controla la velocidad de los motores a pasos.
22	31	GPIO 22 GPCLK2	Relevador 1 (Motor)
23	33	GPIO 23 PWM1	Relevador 2 (Trituradora)
24	35	GPIO 24 PCM_FS/PWM1	Relevador 3 (Bomba de Agua)
25	37	GPIO 25	Relevador 4 (Bomba de cloro)
26	32	GPIO 26 PWM0	Motorreductor

6.1.3 Software

Se desarrollaron paralelamente dos interfaces de usuario:

- **Software de pruebas:** Dedicado a la calibración y verificación del correcto funcionamiento de los componentes. Está dirigido al usuario administrador o la persona encargada del mantenimiento de la máquina recicladora, cuenta con dos ventanas dónde las señales de salida son controladas manualmente. En el transcurso del proyecto se utilizó como herramienta para la detección de fallos en la lógica de programación.



Figura 6.2 Software de pruebas (Ventana 1)

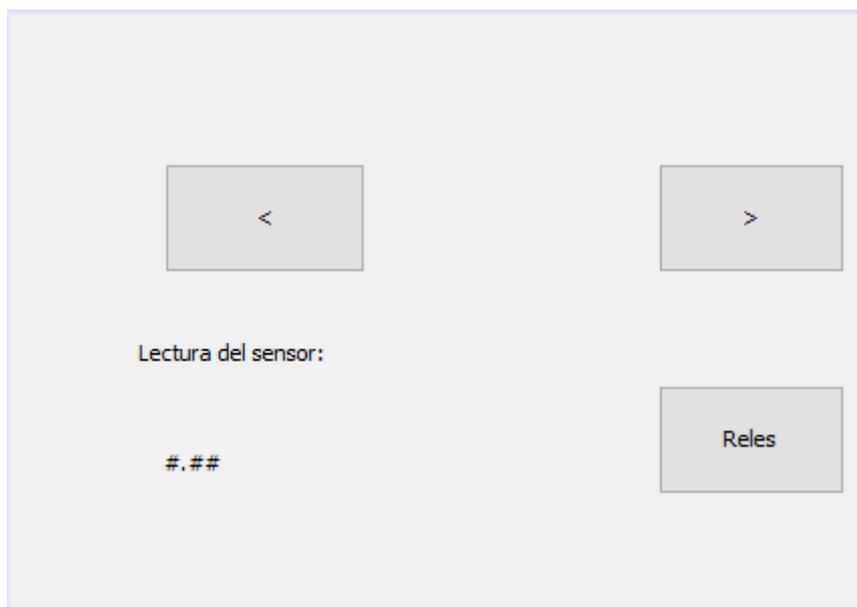


Figura 6.3 Software de pruebas (Ventana 2)

- **Interfaz final:** Son la serie de ventanas con las que interactúa el usuario final u operador de la máquina recicladora, en ellas se configuran parámetros y se inicia el proceso de obtención de la pulpa, a lo largo de seis ventanas (a continuación, sólo se enlistan las 3 más relevantes). Además, se despliegan mensajes tales como el tiempo restante del proceso, las cantidades de agua y cloro que se van a utilizar. Este software dispara las secuencias de arranque de los elementos de corriente alterna, mientras paralelamente regula la cantidad de papel que entra a la trituradora y por lo tanto al contenedor.



Figura 6.4 Selección de proceso

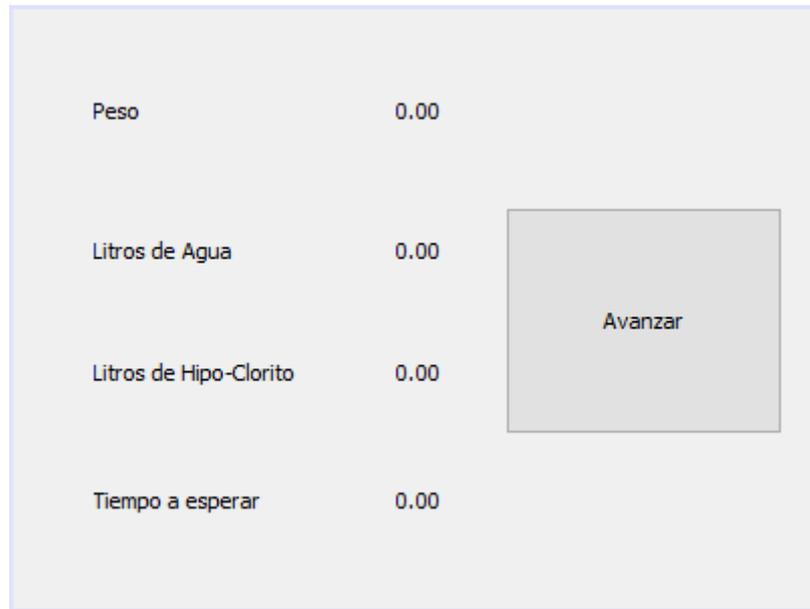


Figura 6.5 Resumen de datos recolectados y calculados

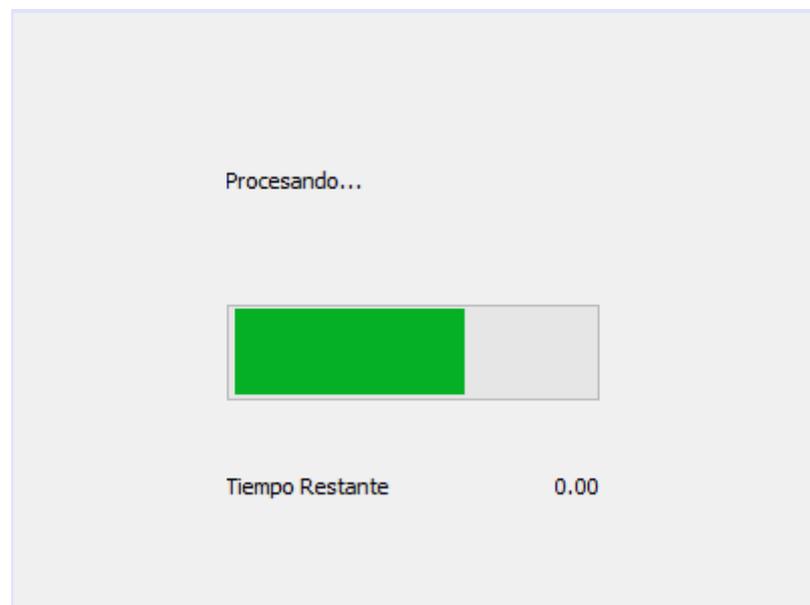


Figura 6.6 Tiempo restante del proceso

Capítulo 7. Validación de resultados

7.1 Pruebas previas a integración de elementos

En este apartado se describen las pruebas realizadas en la fase de implementación del prototipo y que se refieren a la validación del funcionamiento de manera separada, de los componentes que llevan a cabo las distintas etapas del proceso. Así mismo se documentan observaciones que derivaron en modificaciones relevantes.

7.1.1 Motor a carga máxima

Como era necesario verificar que el motor principal hiciera girar las aspas de manera efectiva con carga, se procedió a triturar manualmente 8Kg de papel en tiras que se vaciaron al contenedor con la cantidad aproximada de agua correspondiente, luego se arrancó el motor principal, el cual arrancó, pero de manera muy lenta y no imprimía en las aspas fuerza suficiente para triturar las tiras de papel que se fueron enredando en el aspa de la parte baja. Con la prueba anterior se llegó a algunas conclusiones relevantes:

- El motor debería estar arrancado antes de vaciar el papel y agua en el contenedor para evitar el sobre esfuerzo en el arranque.
- Las aspas debían reducir su longitud para evitar que las tiras de papel se enredaran sobre ellas.
- El aspa de la parte baja tenía que ser la más corta y además tener cierto ángulo con respecto a la horizontal, de forma que al girar “levantara” el papel que llegaba al fondo del contenedor.

Una vez realizadas las modificaciones pertinentes se realizó una nueva prueba, se arrancó el motor acoplado a las aspas, pero sin ninguna carga en el contenedor, acto seguido se fueron vertiendo tiras de papel y agua hasta llegar a la proporción adecuada. En este caso las aspas alcanzaron suficiente velocidad para triturar el papel y convertirlo en pulpa. Se hizo la observación de que al verter demasiado rápido las tiras de papel se perdía velocidad de rotación durante un breve periodo de tiempo, por lo que había que poner atención en la frecuencia con la que la etapa de pre-trituración vertía hojas al contenedor.

7.1.2 Electroválvula

Para comprobar el funcionamiento correcto de la electroválvula se generaron varias pruebas con diferentes cantidades de agua, tomando en cuenta la cantidad en relación al papel, sin embargo debido a la baja presión del fluido, la electroválvula no fue capaz de accionarse, ya que según las especificaciones de esta se necesitaría una presión de 15 a 150 psi y la máxima presión generada por el fluido fue de aproximadamente 3 psi, es por eso que se decidió remover el uso de una electroválvula y en su lugar usar una llave de compuerta de 2 in, esta llave de compuerta será accionada manualmente por el operador para la extracción final del producto.

7.1.3 Caja dispensadora

Inicialmente para comprobar el funcionamiento de la caja dispensadora se procedió con el manejo de los motores a pasos, comprobando el funcionamiento correcto de los drivers para controlarlos, al obtener una respuesta satisfactoria con el control de los motores, se montaron las varillas roscadas junto con la plataforma a elevar y se hicieron girar al mismo sentido y la misma velocidad, lo cual nos dio como resultado el descenso y la elevación de la plataforma, sin embargo este solo sería el funcionamiento en vacío de dicho elevador, para finalizar con las pruebas de este elevador se le aplicaron distintas cantidades de papel hasta llegar al máximo de 8 Kg de hojas, las cuales debería elevar y descender. El elevador funcionó en todas las pruebas, pero es de notar que al aumentar el peso la velocidad bajó considerablemente.

Así mismo se realizaron pruebas con el rodillo superior, encargado de empujar las hojas hacia la etapa de pre-trituración, al realizar esta prueba se notó que la velocidad del motorreductor que gira el rodillo era mucho mayor a la necesaria para empujar una cantidad de hojas prudente y no atascar la trituradora, por esa razón se optó por bajar la velocidad de dicho rodillo utilizando un controlador Modelo L298n y analizando varias velocidades se seleccionó la que se adecuara a las necesidades de la máquina. El control de la velocidad del motorreductor se llevó acabo variando el ancho de pulso de la señal (PWM).

Para la etapa de pre-trituración se conectó la trituradora de oficina a el módulo relé y se activó al para que los rodillos para observar el funcionamiento. Sin

embargo, esto generaba interferencias en la señal de los motores a pasos lo que provoca que no funcionen de forma correcta, por lo que se decidió aislar por completo la trituradora de oficina activándola de forma manual con un interruptor, avisando al usuario de la activación de esta por medio de la interfaz.

7.1.4 Bombas de agua e hipoclorito

Para observar el funcionamiento de las bombas se abastecieron de agua, después fueron colocadas las terminales eléctricas en el módulo relés y mediante señales dadas por el controlador se activaron y desactivaron dichos relés, con esta prueba fue suficiente para observar el accionamiento.

7.1.5 Software

Como se ha mencionado en el capítulo 6, se optó por el lenguaje de programación JAVA para desarrollar el software con ayuda de la librería “PI4J” y sus componentes. Para comprobar el correcto funcionamiento se fueron realizando pruebas por cada componente nuevo que se añadía.

- Después de configurar el ambiente de desarrollo, la primera tarea fue realizar un programa de consola sencillo para verificar que se podían controlar todos y cada uno de los pines GPIO de la Raspberry.
- Se probaron algunas funcionalidades integradas en la librería tales como una herramienta para controlar motores a pasos; después de algunas pruebas se optó por codificar desde cero, ya que los componentes integrados resultaban inestables.
- Con una interfaz gráfica de prueba se verificó el correcto funcionamiento de componentes básicos tales como botones y etiquetas. Como única observación se notó que la apariencia de las ventanas cambiaba del diseño original.

- Como parte crítica del desarrollo se probó el comportamiento del programa al ejecutar tareas de manera paralela y temporizada. Se llegó a la conclusión de que al aumentar el número de tareas se reducía de manera considerable la precisión de los temporizadores; como consecuencia inmediata se optó por hacer las lecturas del sensor ultrasónico con un dispositivo externo, ya que al hacerlas directamente con la Raspberry resultaban imprecisas al ejecutarse en paralelo con otras tareas.

7.1.6 Instalación eléctrica

La instalación eléctrica se probó por medio de dos interruptores, el primero tiene como finalidad energizar la máquina y el segundo fue usado como botón de paro de emergencia, el cual al presionar cortaría la corriente a las partes más propensas a fallas (motor principal, elevador, bombas) esto sin interferir con la corriente del controlador y el monitor de control.

7.2 Resultados



Figura 7.1 Máquina ensamblada

Como etapa final se integraron todos los componentes individuales y se ejecutaron tres pruebas completas, es decir, se ejecutó de inicio a fin el proceso de obtención de la pulpa, con ciertas condiciones que se describen a continuación:

- La primera consistió en hacer una ejecución sin activar ningún actuador para verificar que el software controlara de forma correcta las salidas y activara en tiempo los relevadores. El único elemento activo en esta prueba fue el final de carrera, que se activó manualmente para simular que ya se había procesado todo el papel en la trituradora. Esta prueba se repitió de manera iterativa mientras se corregían algunos errores en la lógica de programación que podían conducir a comportamientos no deseados.

- La segunda prueba se realizó en seco, es decir, se habilitaron todos los actuadores excepto las bombas que proveen el agua y el hipoclorito; se proveyó la bandeja de entrada con una porción pequeña de hojas de papel (con un peso aproximado de 20 gramos). Una vez realizadas las configuraciones en la interfaz de usuario se echó a andar el proceso. Durante esta ejecución se observó que el papel fuera elevado por la bandeja y procesado por la trituradora a pesar de la vibración generada por el motor principal.
- En la prueba final de funcionamiento se habilitaron también las bombas que proveen de agua y cloro el contenedor, aunque esta última se alimentó también con agua con la finalidad de no desperdiciar hipoclorito. Se alimentó la bandeja de entrada con aproximadamente 500 gramos de hojas de papel para luego configurar el proceso en la interfaz y echar a andar la máquina. Al finalizar y abrir la válvula para vaciar el contenido de salida se obtuvo pulpa de papel con un ligero excedente de agua, a pesar de ello la consistencia fue parecida a la de la pulpa obtenida en las primeras pruebas experimentales.



Figura 7.2 Pulpa obtenida luego de una prueba

IV. Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

Se logró diseñar una máquina semiautomática para obtener una pulpa de papel de oficina usado a fin de que se utilice como materia prima para la fabricación de papel reciclado, teniendo como resultado los elementos que integran la máquina, las partes eléctricas, y los procesos de manufactura contemplados para su fabricación.

Se realizó el diseño de una máquina considerando los elementos necesarios para la producción de la pulpa, como la etapa de pesado, la etapa de pre-triturado, el proceso de pulpado y la extracción de la pulpa, en base al diseño conceptual.

Se seleccionaron los elementos necesarios para la máquina de obtención de pulpa con base en el análisis y criterios de viabilidad, esto hace referencia a la selección de bombas, motores, aspas, componentes eléctricos, etc., y los elementos que podrían ser reutilizados, como es el caso de los motores, y ciertos componentes eléctricos. Concluimos con el proceso de selección de elementos eléctricos al elegir la tecnología de control necesario para el funcionamiento de la máquina de manera semi-automatizada. En este caso el uso de una Raspberry Pi 3 modelo B.

Se completó el proceso de construcción para posteriormente realizar las pruebas pertinentes de funcionamiento con todos los elementos integrados. A pesar de que el diseño conceptual indicaba una utilizar una electroválvula para la extracción del producto y controlar la pre-trituración de forma automática, se llegó a una solución; reemplazar la electroválvula por una llave de compuerta.

Se adaptó una interfaz gráfica para que el usuario final entienda, conozca y sepa como operar la máquina. La cual indica a detalle el tiempo, los procesos actuales, los siguientes pasos y lo que es necesario que el usuario haga para terminar apropiadamente el ciclo.

8.2 Recomendaciones

- La llave de salida del contenedor puede automatizarse utilizando otro modelo de electroválvula o implementando un motor el cual realice la función de abrir y cerrar la compuerta de salida.
- Para poder controlar el comportamiento de la trituradora con el módulo de relevadores sin que esto genere ruido en otros componentes es necesario agregar un filtro de señal a la entrada.
- El cableado se puede organizar y etiquetar agrupándolo según la tarea que realizan, por ejemplo, juntar en una misma canaleta todos los cables de elementos de corriente alterna, en otro grupo los que sirven como alimentación de directa y en otro las señales lógicas.

Fuentes de Consulta

- [1] C. N. d. I. I. d. I. C. y. e. Papel, «Cámara del Papel,» 19 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://camaradelpapel.mx/>.
- [2] M. Misman, «State of the art for paper recycling,» de *International Conference on Science and Technology*, Pulau Pinang, Malaysia, 2008.
- [3] EPSON, «EPSON newsroom,» 1 diciembre 2015. [En línea]. Available: https://global.epson.com/newsroom/2015/news_20151201.html. [Último acceso: 30 mayo 2018].
- [4] F. R. Camacho Martínez, O. K. Martínez Muñoz y E. D. Ramírez Salgado, Prototipo de una Máquina Recicladora de Papel, CDMX, 2018.
- [5] H. I. M. Cortés, Diseño para la manufactura de máquina para combinación de pliegos de papel y cartón en las artes gráficas., Mexico D. F., 2011.
- [6] I. P. M. V. Hugo, Diseño y construcción de una trituradora de materia vegetal, CDMX, 2011.
- [7] J. A. Alvarado Palacios, J. R. Montiel Saldaña y I. A. Téllez Negrete, Prototipo máquina recicladora de papel para la elaboración de folders tamaño carta, CDMX, 2010.
- [8] Quimica explicada, «Quimica explicada,» [En línea]. Available: <http://quimicaorganicaexplicada.com/presion-hidrostatica-que-es/>.
- [9] «Real Academia de Ingeniería,» [En línea]. Available: <http://diccionario.raing.es/es/lema/caudal-0>. [Último acceso: 23 mayo 2018].
- [10] S. J. Chapman, Máquinas Eléctricas, MCGRAW HILL HIGHER EDUCATION, 2012.

- [11] H. R. Galbarro, «ingemecánica,» [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2018].
- [12] G. R. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va ed., Mexico: McGraw Hill, 2008.
- [13] «GEMÜ Group,» GEMUE Gebr. Mueller Apparatebau GmbH & Co. KG, [En línea]. Available: https://www.gemu-group.com/es_ES/para-saber-mas/seleccionar-la-valvula/. [Último acceso: 28 mayo 2018].
- [14] J. Fuentes López y G. H. Uribe Restrepo, Aplicación de blanqueo TCF en mezclas de fibras químicas y mecánicas recicladas: Alternativa para la industria papelera, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [15] T. M. Piskin B., Stability of various sodium hypochlorite solutions, J Endodon, 1995.
- [16] PBC Linear, «Stepper Motor NEMA 17,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.pbcllinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Document.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2018].
- [17] uline. [En línea]. Available: https://es.uline.mx/BL_3256/Paper-Shredders.
- [18] Geekbot Electronics, «Geekbot Electronics,» [En línea]. Available: <http://www.geekbotelectronics.com/producto/motorreductor-plastico-1120/>. [Último acceso: 30 mayo 2018].
- [19] M. M. O. K. R. S. E. D. Camacho Martínez Francisco Rubén, «Prototipo de una máquina recicladora de papel,» México,D.F, 2008.
- [20] Rain Bird Corporation, «El riego automático de espacios verdes.,» España, 2018.

- [21] Shaoxing Kaima Electrical Appliances Co., «Kunli Electrical,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.kaima-dq.com/en/cpshow.asp?id=332>. [Último acceso: 9 06 2018].
- [22] LionChip, «LionChip México,» [En línea]. Available: <https://www.lionchipmexico.com/product-page/controlador-relay-4-canales-5-volts-120-220-vac>. [Último acceso: 13 Mayo 2018].
- [23] raspberrypi, [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/>.
- [24] luisllamas. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>.
- [25] agelectronica. [En línea]. Available: <http://www.agspecinfo.com/pdfs/S/SEN09376.PDF>.
- [26] EcuRed, «EcuRed:Enciclopedia cubana,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Patrones_de_dise%C3%B1o_y_arquitectura#Patr.C3.B3n_de_arquitectura_MVC. [Último acceso: 8 Diciembre 2018].
- [27] NetBeans, «NetBeans IDE,» [En línea]. Available: <https://netbeans.org/kb/docs/java/javase-embedded.html#use>. [Último acceso: 8 12 2018].
- [28] G. Henderson, «Gordons Projects,» [En línea]. Available: <https://projects.drogon.net/>. [Último acceso: 15 Octubre 2018].
- [29] PI4J Project, «The PI4J Project,» [En línea]. Available: <http://pi4j.com/pins/model-3b-plus-rev1.html>. [Último acceso: 8 12 2018].
- [30] «Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel,» [En línea]. Available: camaradelpapel.mx. [Último acceso: 19 agosto 2017].
- [31] «Hoja de Seguridad XXII Hipoclorito de Sodio,» Unam, México.

V. Cronograma de actividades para Trabajo Terminal II

	Año: 2018	julio		Agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre	
	Actividad	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
14	Adquisición del material	■	■	■																	
15	Construcción de contenedor		■	■	■	■															
16	Programación de la interfaz				■	■	■														
17	Construcción de la estructura				■	■	■	■													
18	Montaje del sistema electrónico							■	■	■											
19	Ensamble del sistema hidráulico								■	■	■										
20	Ensamble de sensores									■	■	■									
21	Ensamble de actuadores mecánicos										■	■	■								
22	Manufactura de piezas adicionales										■	■	■	■							
23	Pruebas de funcionamiento											■	■	■	■						
24	Análisis de resultados													■	■	■	■				
25	Ajustes y solución de errores														■	■	■	■	■		
26	Preparación de la presentación final																		■	■	
27	Presentación Final																				■
28	Documentación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

VI. Anexos

Anexo 1 Cronograma de Actividades Trabajo Terminal I.

Año: 2018		Febrero				marzo				Abril				mayo				junio					
Actividad		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	Cálculos estructurales	■	■	■																			
2	Pruebas experimentales (Fabricación de pulpa)		■	■																			
3	Selección de componentes químicos		■	■	■																		
4	Diseño de contenedor		■	■	■	■																	
5	Diseño de estructura				■	■	■	■															
6	Cálculos y diseño hidráulico					■	■	■	■														
7	Diseño de etapa de sensado						■	■	■	■													
8	Selección de materiales								■	■	■												
9	Selección de actuadores									■	■	■	■										
10	Selección de componentes electrónicos										■	■	■	■									
11	Creación de planos de manufactura													■	■	■	■						
12	Revisión del diseño completo														■	■	■	■					
13	Documentación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	



MEGA MEX

Tel: 281-548-1544 • www.megamex.com

Tabla de Calibres para Lámina

Calibre	Pulgadas	Milímetros	Libras por Pie Cuadrado
7	.187	4.7	7.871
8	.165	4.2	6.93
10	.135	3.4	5.670
11	.120	3.0	5.040
12	.105	2.7	4.427
13	.090	2.3	3.780
14	.075	1.9	3.154
16	.060	1.5	2.520
18	.048	1.2	2.016
20	.036	0.9	1.512
22	.030	0.8	1.260
24	.024	0.6	1.008
26	.020	0.5	0.756
28	.015	0.4	0.634

Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

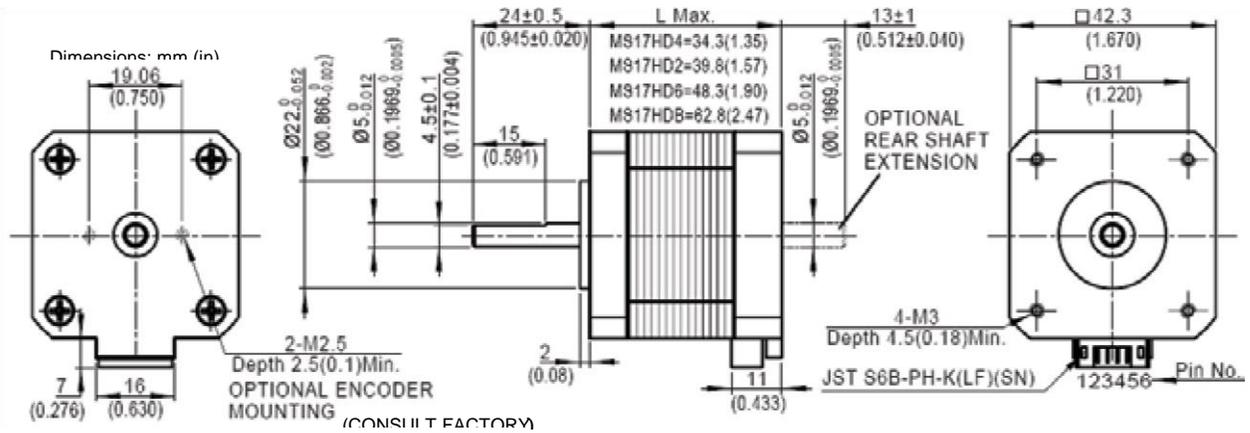


Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push 65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

Standard shaft motor shown.

Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque	Winding		Detent		Rotor		Motor	
				Ohms mH	@ 20°C Typ.	Torque	Torque	Inertia	Weight		
(Stack)	"L" Max	Amps	Nm oz- in Typ.	±10% Typ.	@ 20°C Typ.	mNm oz- in	oz- in	g cm2 oz- in2	kg	lbs	
Single	39.8 mm (1.57 in)	2	0.48 68	1.04	2.2	15 2.1		57 0.31	0.28		0.62
Double	48.3 mm (1.90 in)	2	0.63 89	1.3	2.9	25 3.5		82 0.45	0.36		0.79
Triple	62.8 mm (2.47 in)	2	0.83 120	1.49	3.8	30 4.2		123 0.67	0.6		1.3

*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.

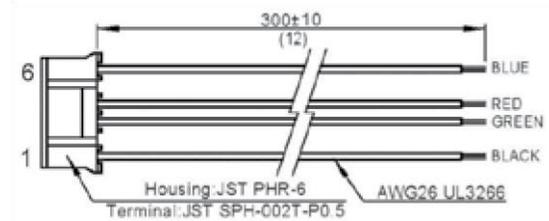


Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)

4 Lead Connector, PBC Part#6200490

(Consult factory for optional motor connectors)

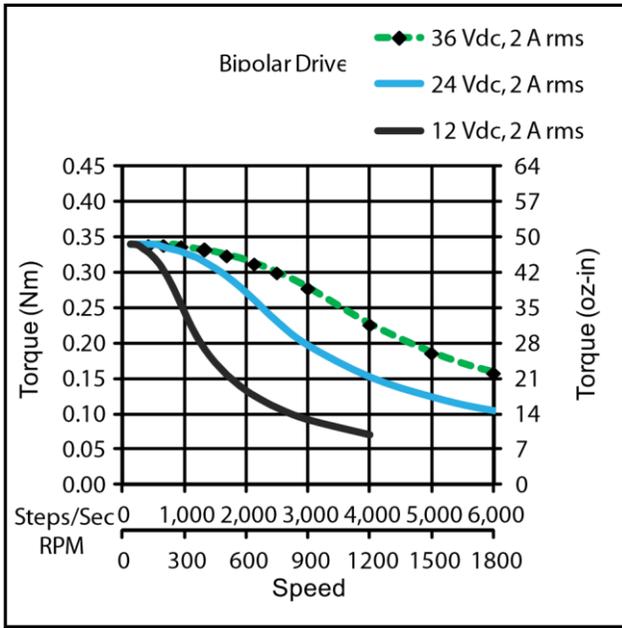


LINEAR MOTION SOLUTIONS www.pbclinear.com

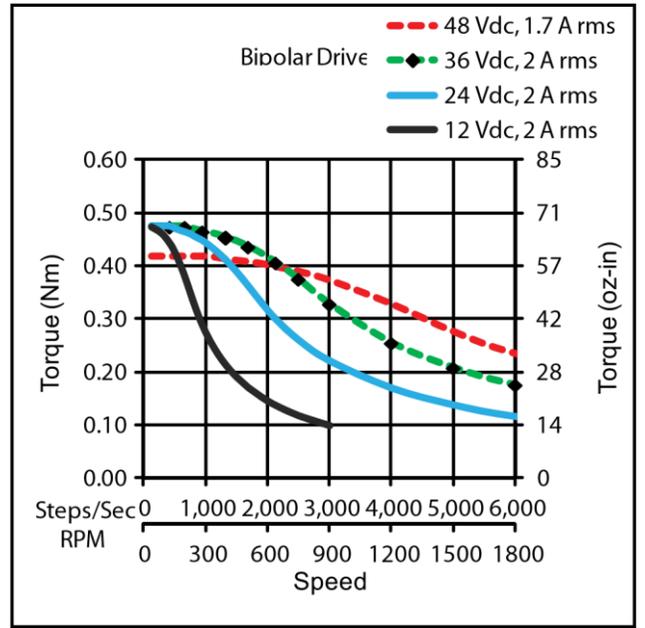
NEMA 17 Stepper Motor

*Performance curves apply to continuous duty cycles.

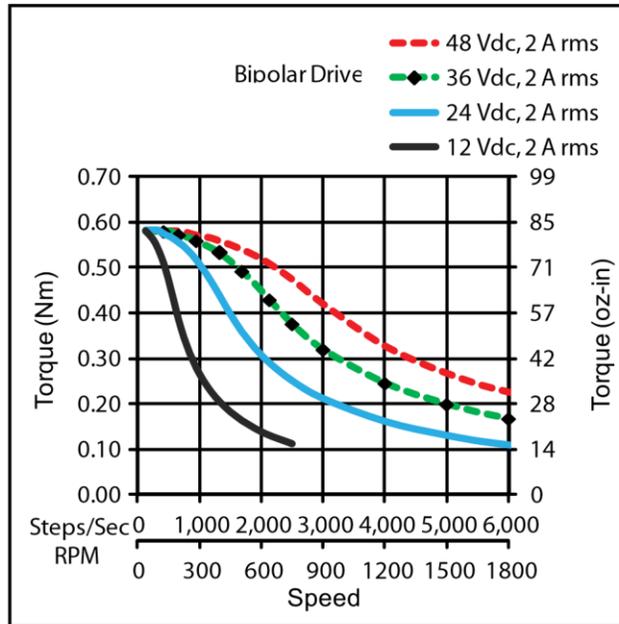
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



Single Stack



Double Stack



Triple Stack



Raspberry Pi



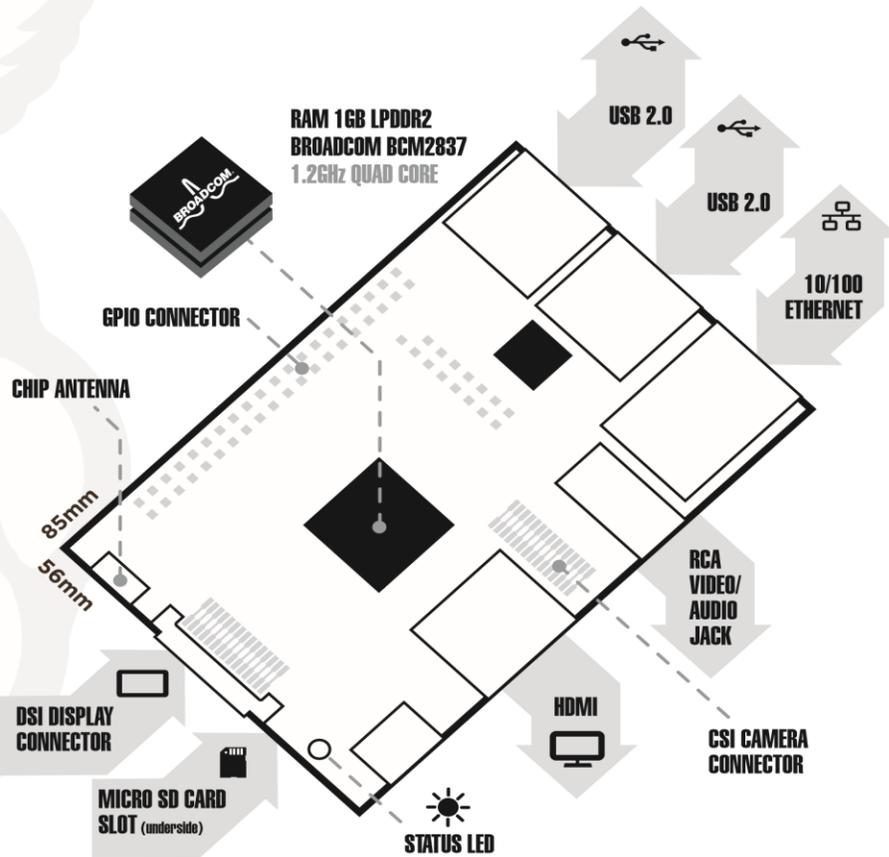
Raspberry Pi 3 Model B

Product Name Raspberry Pi 3

Product Description

The Raspberry Pi 3 Model B is the third generation Raspberry Pi. This powerful credit-card B brings you a more powerful processor, 10x faster than the first-generation Raspberry Pi. Additionally, it adds wireless LAN & Bluetooth connectivity making it the ideal solution for powerful connected designs. Raspberry Pi Model B+ and Raspberry Pi 2 Model B. Whilst maintaining the popular board format the Raspberry Pi 3 Model sized single board computer can be used for many applications and supersedes the original

RS Part Number 896-8660





Raspberry Pi

Raspberry Pi 3 Model B

Specifications

Processor *Broadcom BCM2387 chipset.*

1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53

802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)

GPU *Dual Core Video Core IV® Multimedia Co-Processor. Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode.*

Memory	Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Operating System	1GB LPDDR2
Dimensions	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT
Power	85 x 56 x 17mm
	Micro USB socket 5V1, 2.5A

Connectors:

Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	Audio Output 3.5mm jack, HDMI USB 4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI2)
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	Push/pull Micro SDIO

Key Benefits

- Low cost
- 10x faster processing
- Consistent board format
- Added connectivity

Key Applications

- Low cost PC/tablet/laptop
- Media centre
- Industrial/Home automation
- Print server
- Web camera
- Wireless access point
- Environmental sensing/monitoring (e.g. weather station)
- IoT applications
- Robotics
- Server/cloud server
- Security monitoring
- Gaming



DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection

Features and Benefits

- Low $R_{DS(ON)}$ outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full, $1/2$, $1/4$, $1/8$, and $1/16$

Package:

28-contact QFN
with exposed thermal pad
5 mm × 5 mm × 0.90 mm
(ET package)



Approximate size

Description

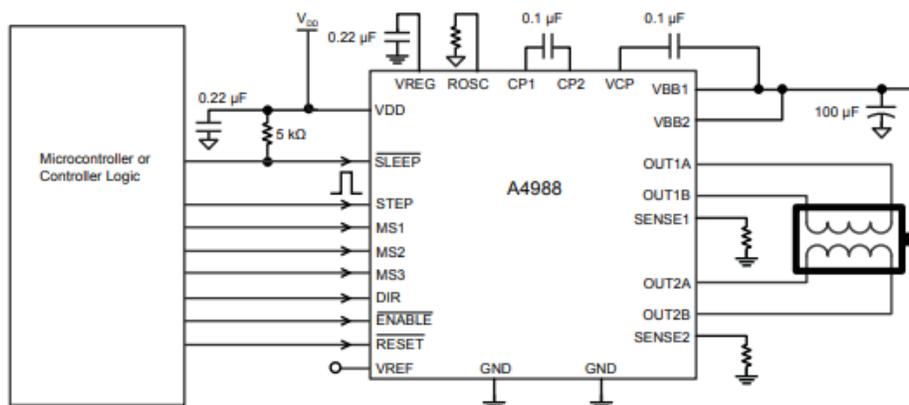
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and ± 2 A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

Continued on the next page...

Typical Application Diagram



Description (continued)

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix -T), with 100% matte tin plated leadframes.

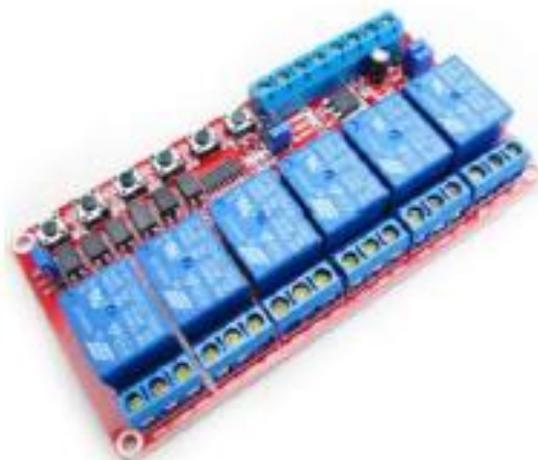
Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{BB}		35	V
Output Current	I_{OUT}		±2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		-0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		-0.3 to 5.5	V
VBBx to OUTx			35	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_{J(max)}$		150	°C
Storage Temperature	T_{slg}		-55 to 150	°C

OKY3037: Módulo De Relé De 6 Canales



Descripción: Módulo de relé de 6 canales, puede ser controlado directamente por una amplia gama de microcontroladores como Arduino, PIC, AVR, ARM, DSP, etc. El auto bloqueo consiste en hacer clic, el relé y luego hacer clic en el relé apagado. 6 vías de auto bloqueo independientes entre sí, también puede agregar el interruptor de gatillo (bloques de terminales CH), con disparador alto o bajo (opcional), puede controlar simultáneamente 6 vías, como control de iluminación, etc.

Especificaciones:

- Voltaje de funcionamiento: 5V /12V
- Corriente: 5mA
- Carga: 250V 10A (CA) o 30V 10A (CC)
- Controlador: AVR, Pic, DSP, ARM
- Tiene el indicador de encendido (LED verde) y seis de conmutación indicador (LED rojo)
- Dimensiones: 110mm x 57mm x 18mm

AG Electrónica S.A. de C.V.
República del Salvador N° 20
Segundo Piso
Teléfono: 5130 - 7210

<http://www.agelectronica.com/AG/>

Rev 1. IAJA

Fecha: 09/01/2018

Rev 2. BAF

Motor reductor de DC (6V)

Número de parte: RB-04M022



Introducción

Motor reductor con gran sensibilidad y compatibilidad con microcontroladores (Arduino), puede emplearse PWM (control de velocidad), además de ser efectivos cuando se busca alta velocidad de respuesta en pequeñas aplicaciones.

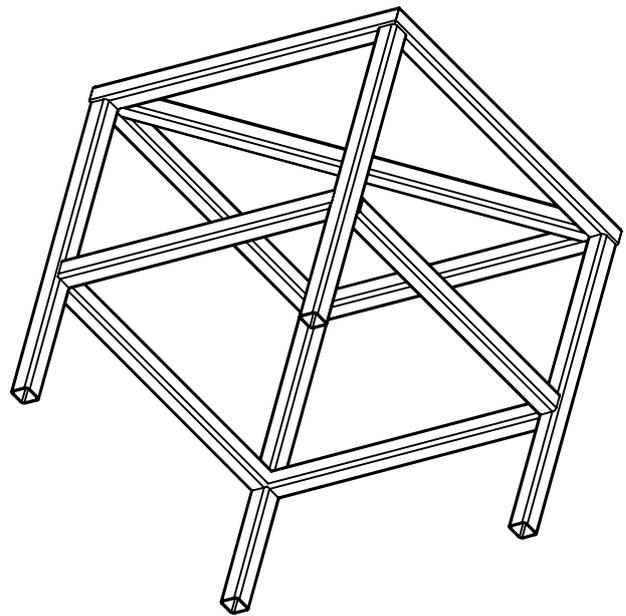
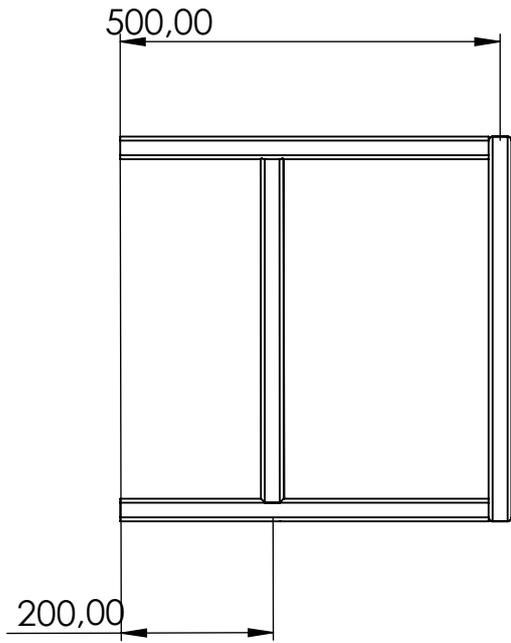
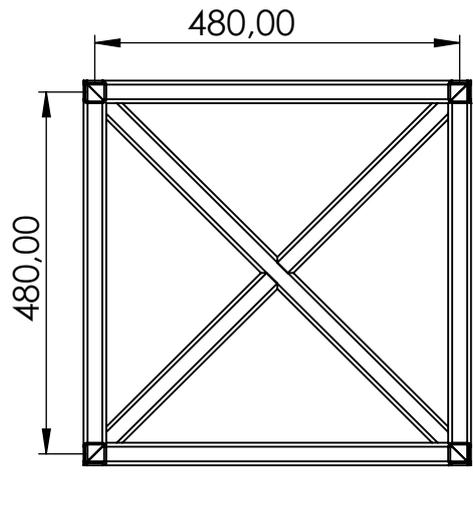
Especificaciones:

- Engranajes internos: 48:1
- Velocidad sin carga (3V): 120 rpm
- Velocidad sin carga (6V): 240 rpm
- Corriente sin carga (3V): 40mA
- Corriente sin carga (6V): 70mA
- Fuerza de torque (3V): 3200mg*cm
- Fuerza de torque (6V): 5500mg*cm
- Dimensiones: 70.50mm x 27mm x23mm
- Peso: 40g

Nota: Compatible con microcontroladores Arduino. Visite

http://www.agelectronica.com/Virtual_Shop/index.asp?busca=DEV-11114.

Anexo 4 Planos de manufactura



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Base de contenedor

MATERIAL: ACERO AISI 1020

N.º DE DIBUJO

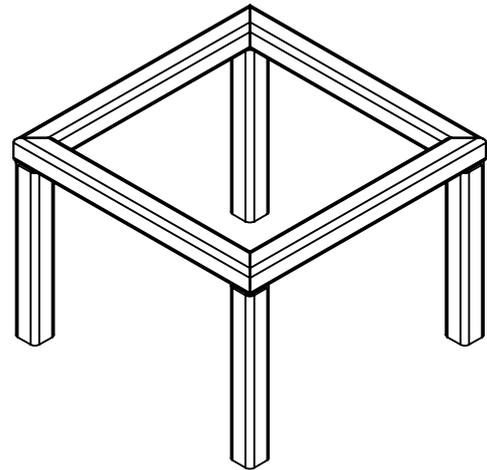
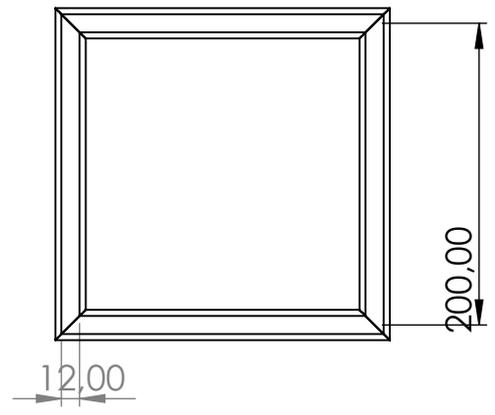
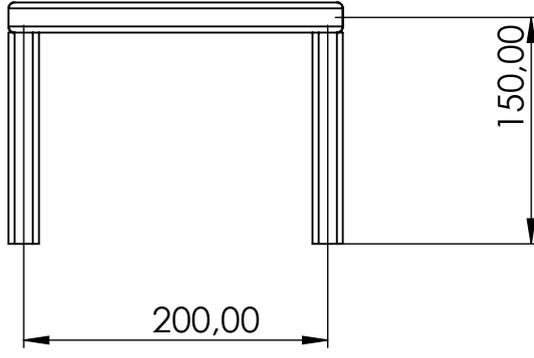
Base

A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Base Tolva

MATERIAL: ACERO AISI 1020

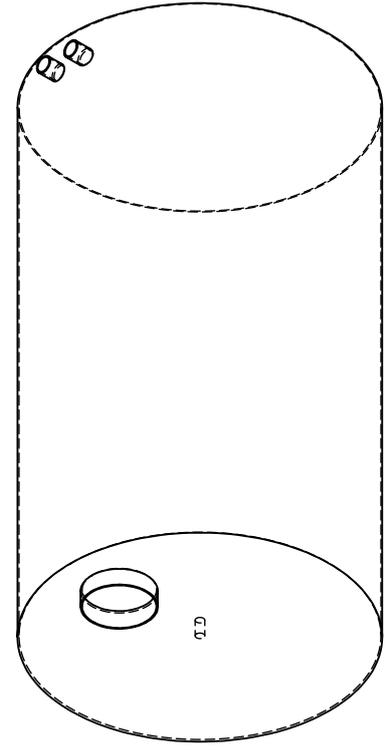
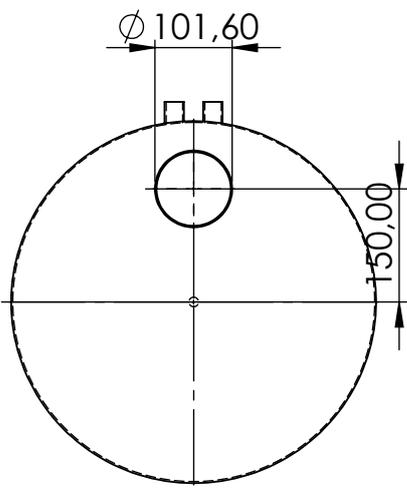
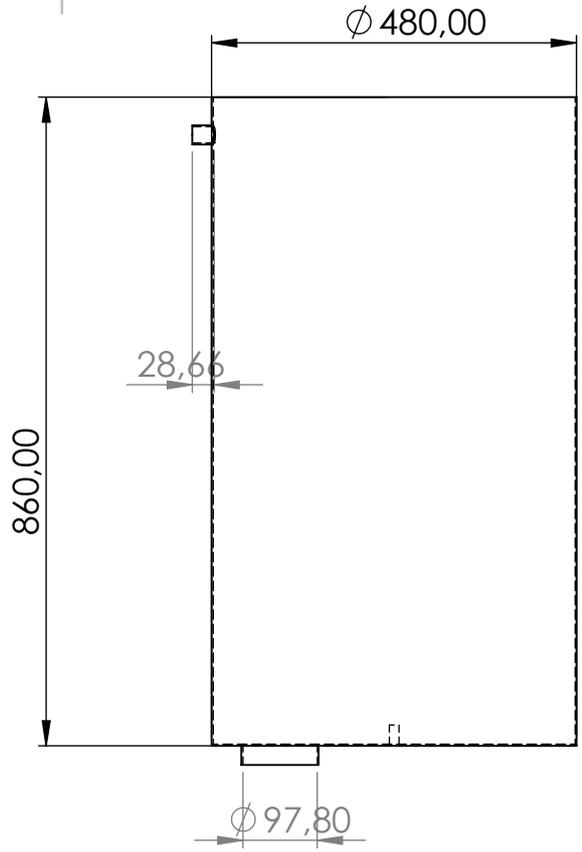
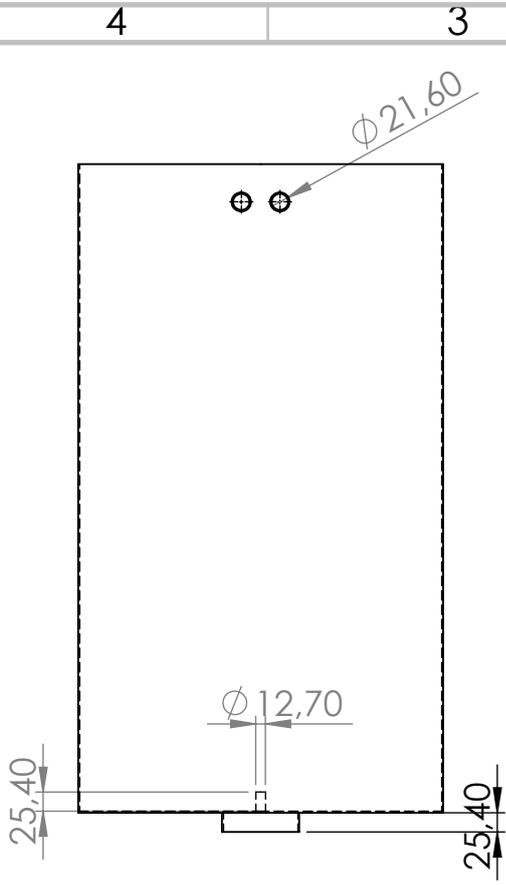
N.º DE DIBUJO Base tolva

A4

PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Contenedor

MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 430

N.º DE DIBUJO:

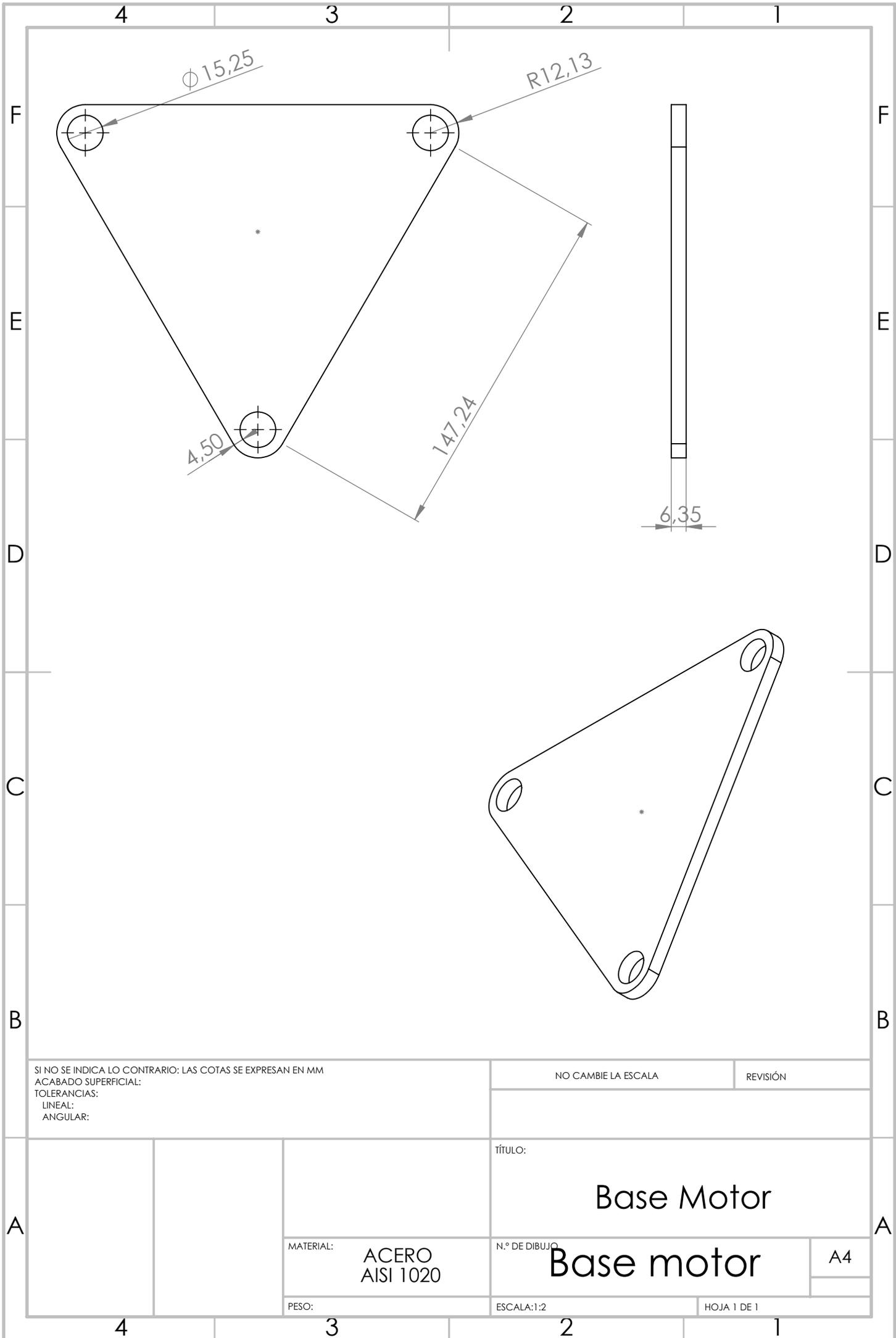
Contenedor

A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Base Motor

MATERIAL: ACERO AISI 1020

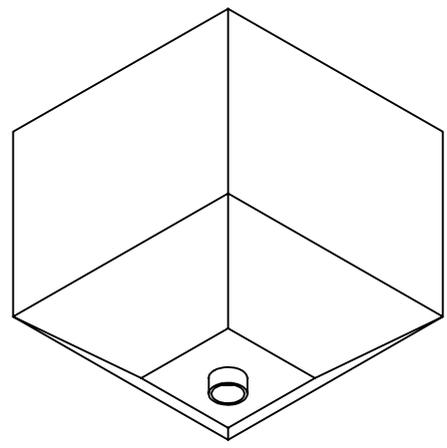
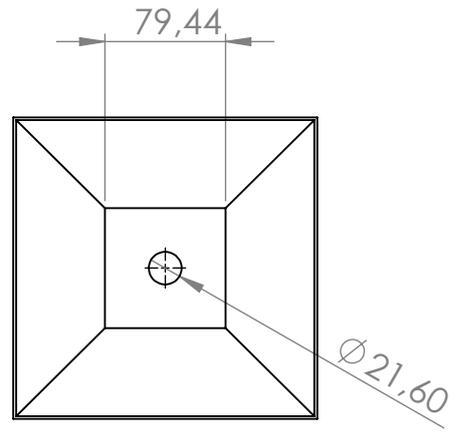
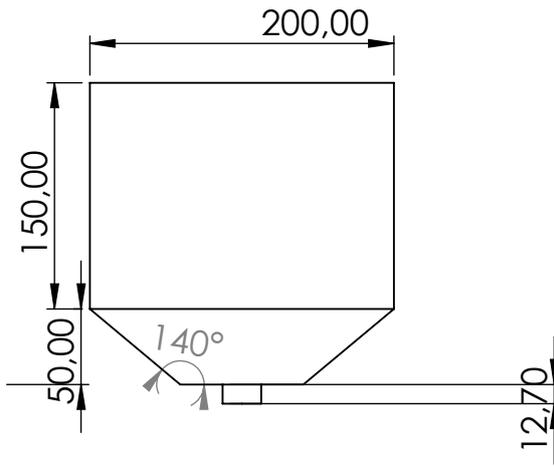
N.º DE DIBUJO: Base motor

A4

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Tolva

MATERIAL: ACERO inoxidable 304

N.º DE DIBUJO

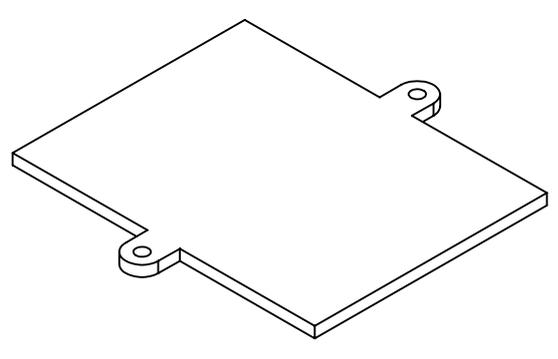
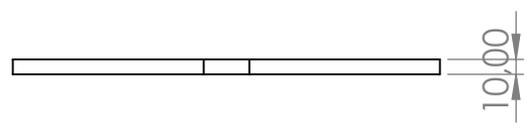
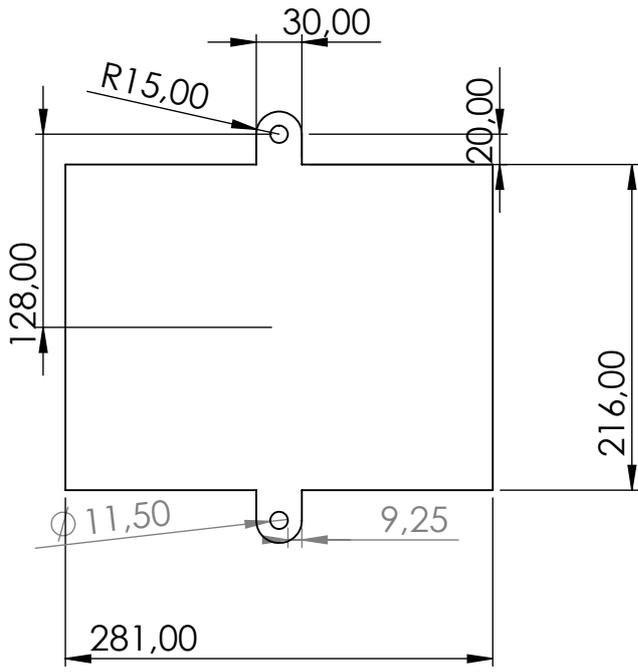
Tolva

A4

PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:
Placa

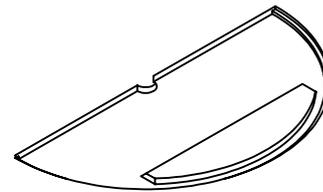
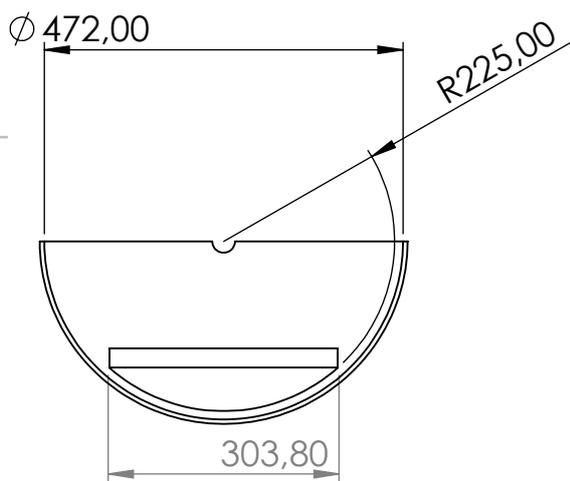
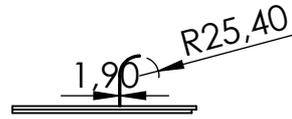
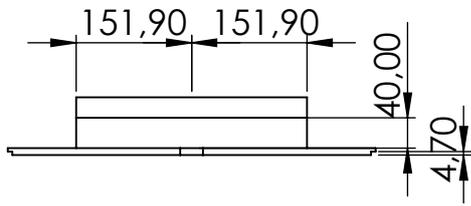
N.º DE DIBUJO
Placa

A4

PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Tapa

MATERIAL: ACERO inoxidable 304

N.º DE DIBUJO

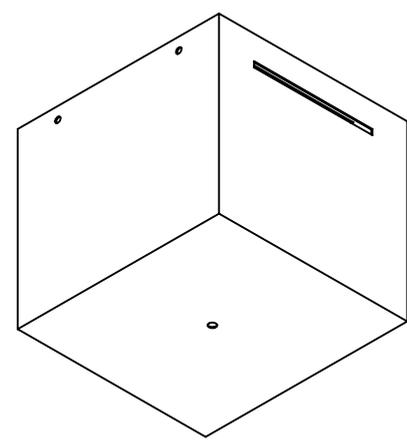
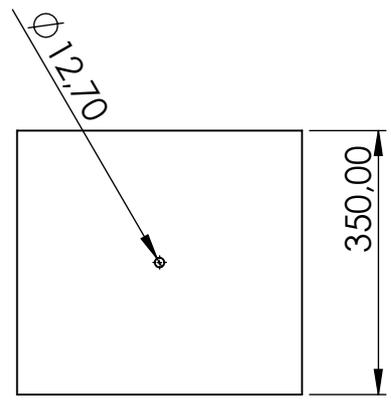
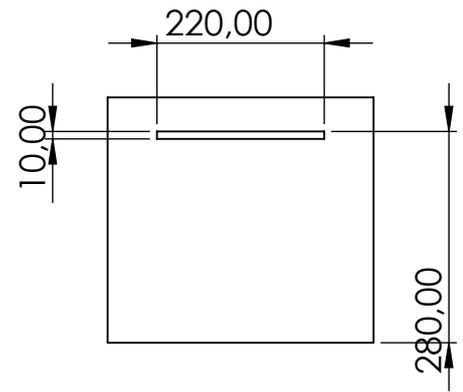
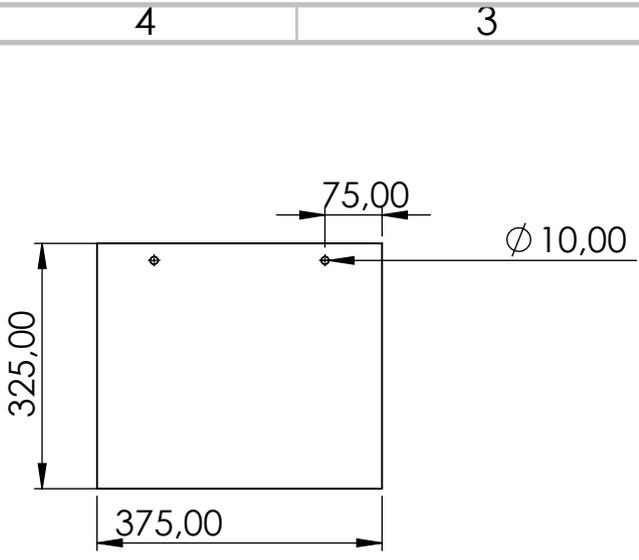
Tapa

A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:
Caja

MATERIAL:
**ACERO
 AISI 1020**

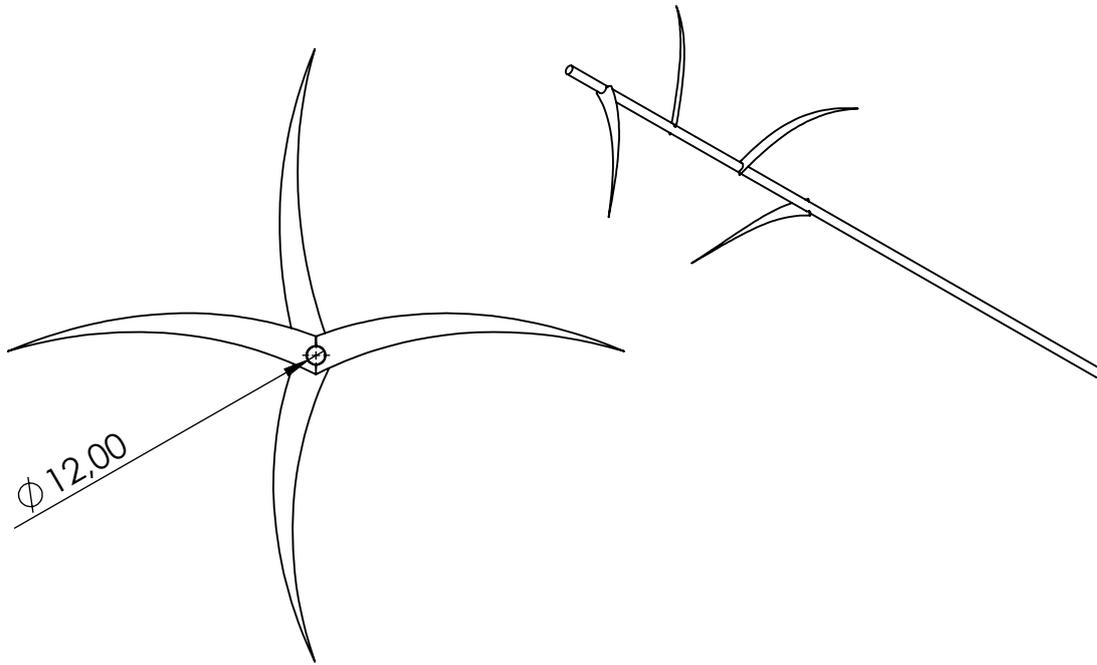
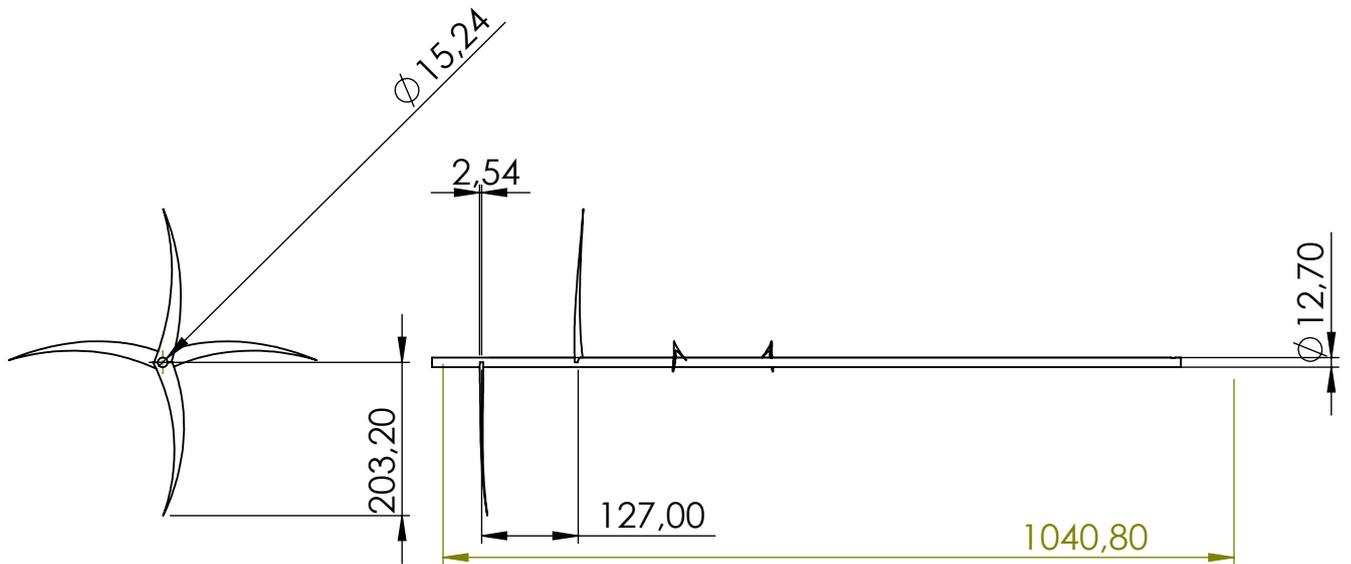
N.º DE DIBUJO
Caja

A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Aspas

MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 430

N.º DE DIBUJO

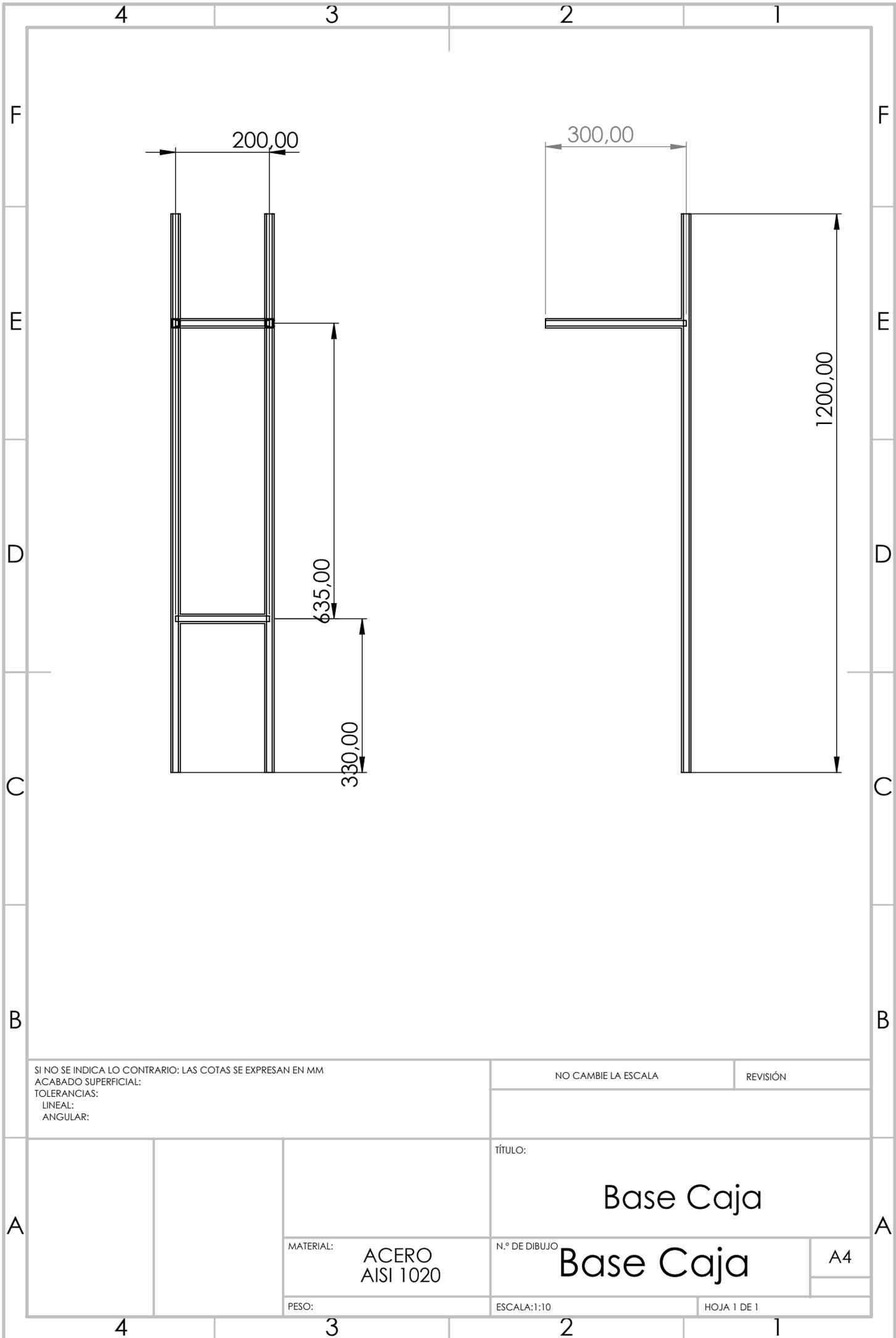
Aspas

A4

PESO:

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Base Caja

MATERIAL: ACERO AISI 1020

N.º DE DIBUJO

Base Caja

A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

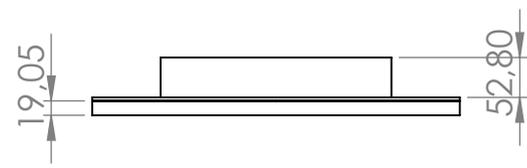
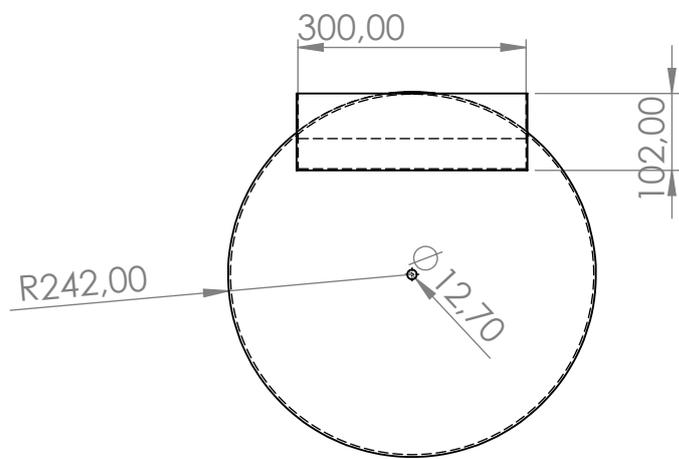
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

A

A

TÍTULO:
Tapa de contenedor

MATERIAL:
**ACERO
 AISI 1020**

N.º DE DIBUJO
Tapa

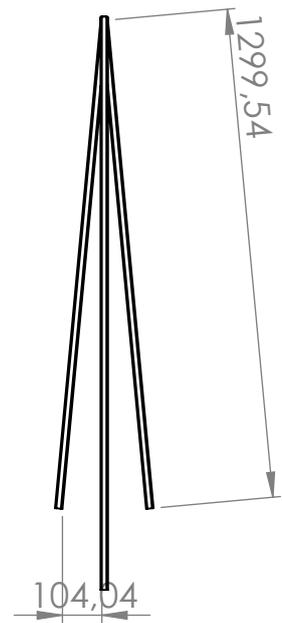
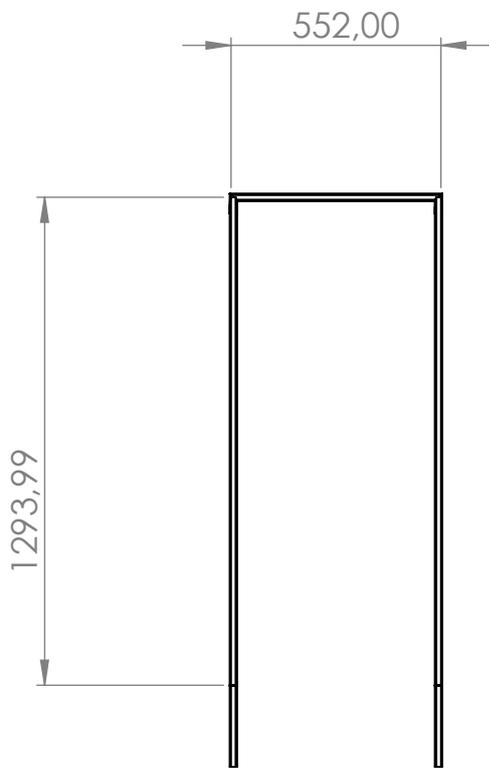
A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Arco principal

MATERIAL: ACERO AISI 1020

N.º DE DIBUJO

Arco

A4

PESO:

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

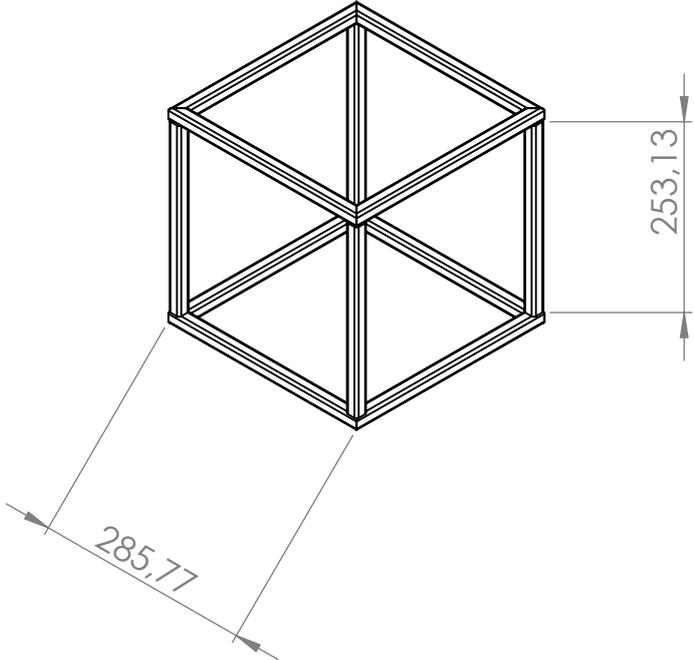
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

A

A

TÍTULO:
Estructura caja

MATERIAL:
**ACERO
 AISI 1020**

N.º DE DIBUJO
Estructura c.

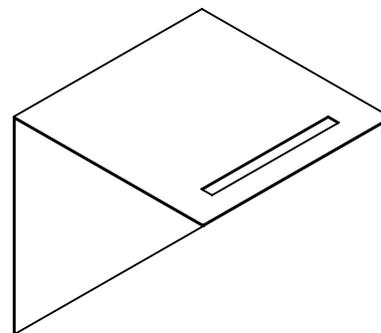
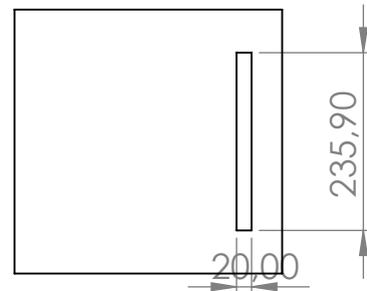
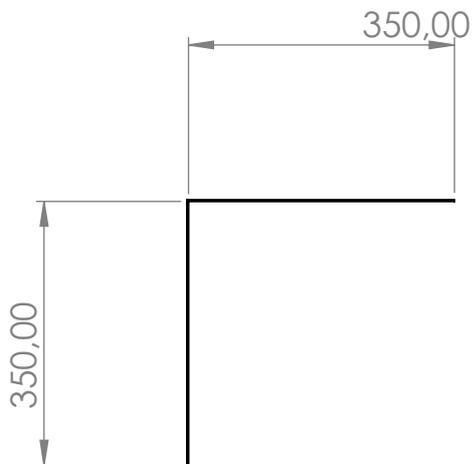
A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Contorno caja 1

MATERIAL: ACERO AISI 1020

N.º DE DIBUJO

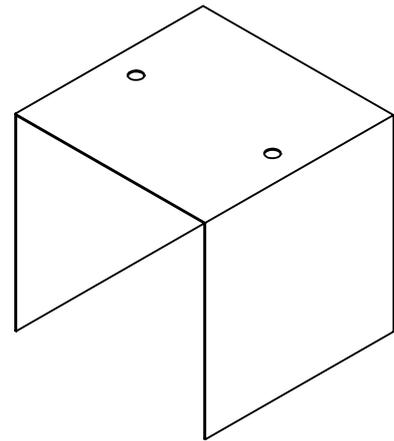
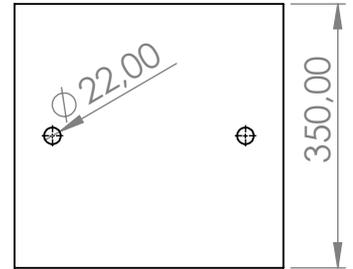
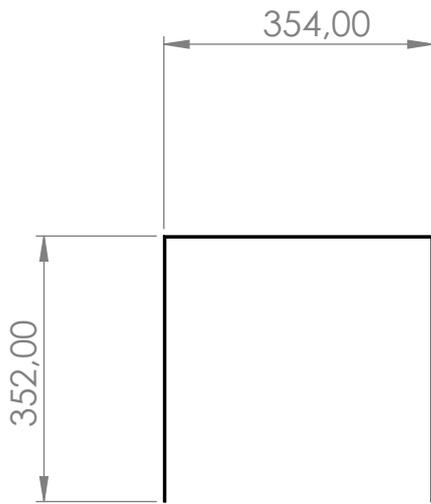
Caja parte 1

A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Contorno caja C2

MATERIAL: ACERO AISI 1020

N.º DE DIBUJO

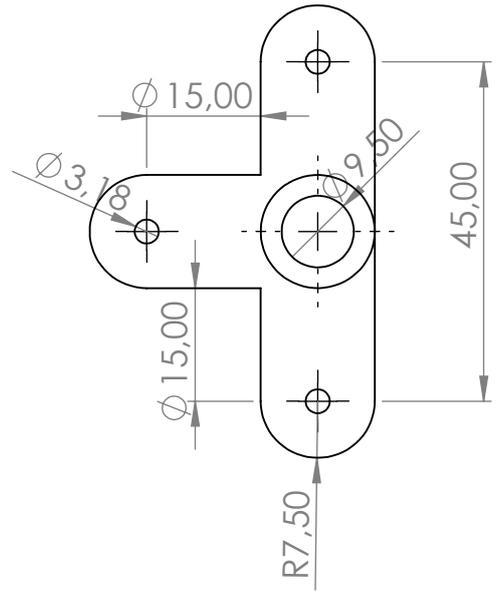
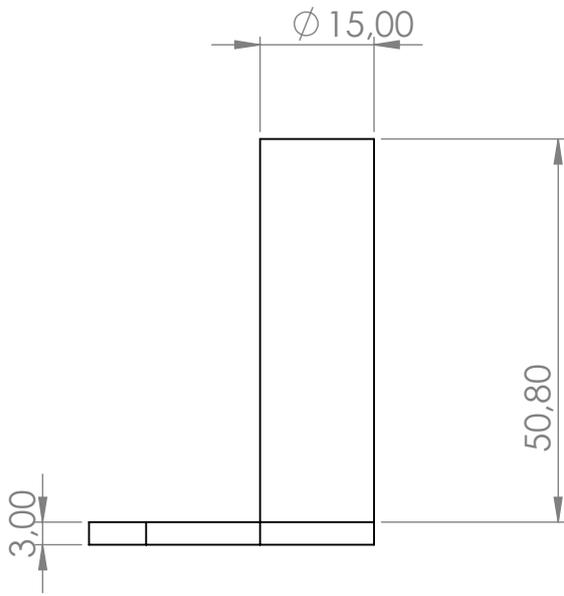
Caja parte 2

A4

PESO:

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Buje Tornillo

MATERIAL: PLA

N.º DE DIBUJO

Buje 1

A4

PESO:

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

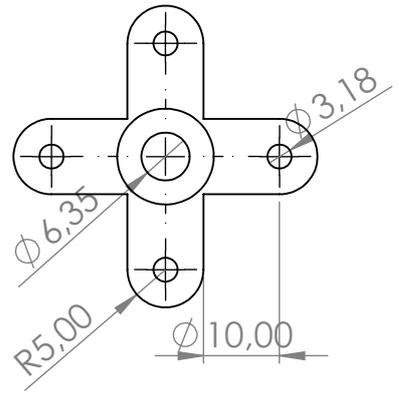
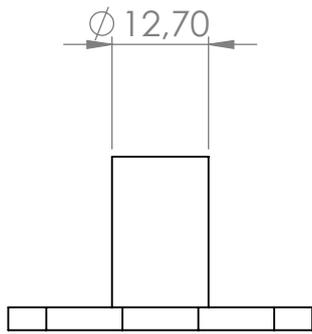
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Buje Rodillo

MATERIAL: PLA

N.º DE DIBUJO

Buje 2

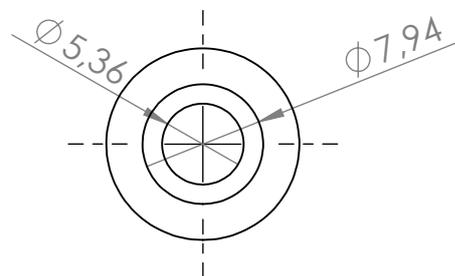
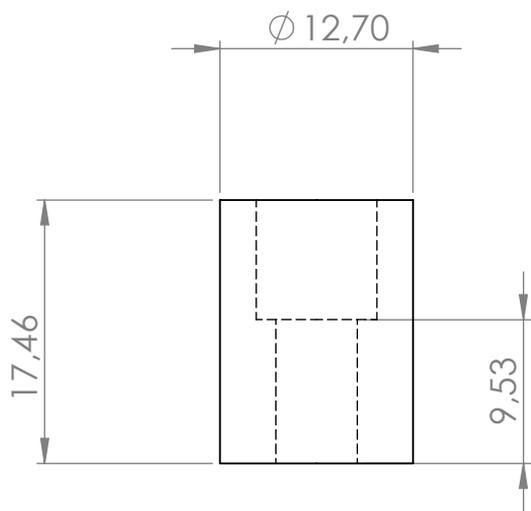
A4

PESO:

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

TÍTULO:

Cople Rodillo

MATERIAL: Aluminio 1050

N.º DE DIBUJO: Cople rodillo

A4

PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1