



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DESPULPadora DE
SEMILLAS DE MACAMBO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO**

HUGO VICENTE MENDOZA ORMAZA

DIRECTOR: ING. HIDALGO AGUILERA LUIS ARMANDO

Quito, abril 2021

© Universidad UTE. 2021

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO
PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721404695
APELLIDO Y NOMBRES:	Mendoza Ormaza Hugo Vicente
DIRECCIÓN:	San Isidro del Inca calle los Muelles
EMAIL:	hugohugo.159@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	023261913
TELÉFONO MOVIL:	0983904836

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Implementación de una máquina despulpadora de semillas de macambo
AUTOR O AUTORES:	Hugo Mendoza
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	06/04/2021
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. Luis Hidalgo
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> EGRADO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Mecatrónico
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>Este proyecto se lo realizó con la finalidad de mejorar la producción de Canopy bridge encargado del despulpamiento de semillas de macambo. Mediante sus asesores, investigaciones acerca del tema, y conocimiento sobre sus procesos internos se obtuvo las características principales del sistema semiautomático despulpador. Para realizar este proyecto se utilizó la metodología en v de sistemas mecatrónicos con los cuales se seleccionó los componentes mecánicos, electrónicos y la parte de software que fueron integrados y validados. El despulpamiento</p>

automático de la semilla de macambo es el requerimiento principal esto se logró por medio de dos cepillos rotatorios que tienden a desprender el mucilago de la semilla, estos cepillos son accionados por un motor que transmite el torque a un par de engranajes. Debido a que es un proyecto relacionado con la industria alimenticia la estructura se la realizó con acero inoxidable, el operador pudo controlar el sistema por medio de un gabinete metálico que cuenta con pulsadores y luces de aviso, el sistema de control contó con un sensor de distancia para detectar si las semillas fueron cargadas dentro de la tolva antes de iniciar el proceso de despulpamiento. En caso de que las semillas no fueran cargadas, el sistema de control no permitiría el accionamiento del motor. Una vez integrado todo el sistema este cumplió con el propósito de despulpar 10 Kg por hora de semillas de macambo, esto permitió un aumento en la producción de 1150 % debido a que en el proceso manual se obtenía 800 gramos/hora

PALABRAS CLAVES:

Fruta, control, Sharp, automatización.

ABSTRACT:

This project was carried out with the purpose of improving the production of the company "Canopy bridge" which is in charge of pulping macambo seeds. Therefore, the main characteristics of the semi-automatic pulping system were obtained through the company's advisers, research on the subject, and knowledge about its internal processes. In order to carry out this project, the mechatronic systems v-methodology was used, with which the

mechanical and electronic components and the software part that was integrated and validated were selected. The automatic pulping of macambo seed is the main requirement, this was achieved by means of two rotating brushes that tend to detach the mucilage from the seed, these brushes are activated by a motor that transmits the torque to a pair of gears. As the project is related to the food industry, the structure was made with stainless steel, the operator was able to control the system by means of a metal cabinet that has push buttons and warning lights, the system had a sensor to detect if the seeds were loaded before starting the pulping process. In case the seeds were not loaded, the control system would not allow the motor drive. Once the entire system was integrated, it achieved the purpose of pulping 10 kg per hour of macambo seeds, which allowed an increase in production of 1150% due to the fact that in the manual process 800 grams / hour were obtained.

KEYWORDS

Fruit, control, Sharp, automation.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

MENDOZA ORMAZA HUGO VICENTE

1721404695

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Mendoza Ormaza Hugo Vicente**, CI 1721404695 autor/a

del proyecto titulado: Implementación de una maquina despulpadora de semillas de macambo previo a la obtención del título de Ingeniero en mecatrónica en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 06 de abril de 2021



f: _____

MENDOZA ORMAZA HUGO VICENTE
1721404695

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Implementación de una máquina despulpadora de semillas de macambo**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero/a Mecatrónico** fue desarrollado por **Hugo Mendoza**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Armando', written over a horizontal line.

Hidalgo Aguilera Luis Armando

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.17077214

35

DECLARACIÓN

Yo **Mendoza Ormaza Hugo Vicente**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa vigente.



Mendoza Ormaza Hugo Vicente
C.I 1721404695

Quito, 01 de abril del 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Martha Stella Echavarría Uribe** con cedula de identidad N.-1714933726 en calidad de Gerente General de CANOPY BRIDGE autorizo a **Hugo Vicente Mendoza Ormaza**, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación "Implementación de una máquina despulpadora de semillas de macambo", basada en la información proporcionada por la compañía.



f. _____

Martha Stella Echavarría Uribe

C.I 1714933726

AGRADECIMIENTO

Al principio de esta carrera parecía algo asombroso crear robots y maquinaria nueva, pero no tenía idea del proceso largo y laborioso que esto conllevaba por eso agradezco a todas las personas que me apoyaron en este largo trayecto, en primer lugar a mis padres ya que gracias a ellos aprendí lo que es la persistencia y me hicieron terco respecto a mis sueños pero siempre teniendo los pies en la tierra , siempre me apoyaron a pesar de los tropiezos y supieron guiarme con sabias palabras y con gestos de amor.

Agradezco al ingeniero Hidalgo que gracias a su conocimiento y apoyo este trabajo pudo ser culminado, existen ingenieros que dan sus clases como un trabajo ordinario, pero aún recuerdo la primera materia que el me dio, se sentía las ganas de transmitir conocimiento y dar lo mejor de sí, por gente como él se puede decir que el mundo todavía tiene gente asombrosa y siempre tendrá mi respeto y mi gratitud.

Otra parte importante de este logro se lo debo a mi hermana y a mis mejores amigos, Harold, Jorge, Alvaro y Erika porque en los momentos de mayor estrés siempre podíamos conversar y olvidar todo por un momento para poder retomarlo con mayor fuerza.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA	7
2.1. NECESIDADES	7
2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	7
2.3. REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES.....	7
2.4. ELECCIÓN DE MODELO Y SOLUCIÓN	9
2.5. DISEÑO SISTEMA MECÁNICO	10
2.5.1. Estructura principal	10
2.5.2. Cepillos	11
2.5.3. Rodamientos	11
2.5.4. Engranés.....	11
2.6. DISEÑO SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO.....	11
2.6.1. Motor	11
2.6.2. Contactor	11
2.6.3. Luces industriales.....	12
2.6.4. Interruptores industriales.....	12
2.6.5. Sensores.....	12
2.7. DISEÑO SISTEMA DE CONTROL	12
2.7.1. Inicio de operación de despulpado.....	12
2.7.2. Control de motor.....	12
2.7.3. Interfaz con el operario.....	12
2.8. SIMULACIÓN DEL SISTEMA	13
2.9. PRUEBAS Y EXPERIMENTACIÓN	13
2.10. DISEÑO ESPECÍFICO SISTEMA MECÁNICO.....	14
2.10.1. Tolva.....	15
2.10.2. Cepillos	19
2.10.3. Rodamientos	25
2.10.4. Engranés.....	26
2.10.5. Estructura principal	27
2.10.6. Estructura receptora	28
2.10.7. Columnas.....	29
2.11. DISEÑO ESPECÍFICO SISTEMA ELÉCTRICO	35

2.11.1.	Planos de potencia.....	35
2.11.2.	Planos de circuito	37
2.11.3.	Cálculo de resistencias para transistores.....	39
2.11.4.	Motor	39
2.11.5.	Contactador	40
2.11.6.	Luces Industriales	40
2.11.7.	Pulsadores.....	40
2.11.8.	Sensores.....	41
2.11.9.	Fuente de poder	41
2.11.10.	Gabinete eléctrico	41
2.11.11.	Potencia del circuito eléctrico.....	43
2.11.12.	Selección de cables circuito de mando.....	44
2.11.13.	Selección de relé térmico.....	44
2.12.	DISEÑO DE SISTEMA DIGITAL Y HARDWARE	45
2.13.	DISEÑO ESPECÍFICO SISTEMA DE CONTROL	46
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
3.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA.....	48
3.2.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	49
3.2.1.	Costos de materiales	49
3.2.2.	Costo de utilización de equipos	50
3.2.3.	Costo de mano de obra.....	50
3.2.4.	Costo de transporte.....	50
3.2.5.	Costo total.....	50
3.2.6.	Costo de consumo eléctrico al mes.....	51
3.3.	PRUEBAS Y VERIFICACIÓN	51
3.3.1.	Pruebas realizadas	52
3.3.2.	Verificación del aumento de producción.....	55
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
	Conclusiones.....	57
	Recomendaciones.....	58
	Bibliografía.....	59
	ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Partes de despulpadora horizontal	5
Tabla2. Partes de sistema completo.....	15
Tabla 3. Fuerza de despulpamiento	19
Tabla 4. Características del motor	39
Tabla 5. Luces industriales	40
Tabla 6. Pulsadores.....	40
Tabla 7. Características fuente de poder	41
Tabla 8. Ubicación de componentes parte trasera	42
Tabla 9. Ubicación de componentes parte frontal	43
Tabla 10. Características de Arduino uno.....	45
Tabla 11. Pines utilizados.....	45
Tabla 12. Ficha técnica de la máquina	48
Tabla 13. Materiales de la máquina.....	49
Tabla 14. Costos requeridos.....	50
Tabla 15. Costo de mano de obra	50
Tabla 16. Costo de transporte	50
Tabla 17. Costo total.....	51
Tabla 18. Producción manual	55
Tabla 19. Proceso semiautomático	56
Tabla 20. Mejora en la producción	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Despulpadora horizontal	5
Figura 2. Metodología a utilizar	6
Figura 3. Diagrama de Requerimientos.....	8
Figura 4. Diagrama definición de bloques	8
Figura 5. Diagrama interno de bloques	9
Figura 6. Sistema completo vista explosionada	14
Figura 7. Sistema completo	14
Figura 8. Tolva	16
Figura 9. Análisis tolva	18
Figura 10. Fuerza resultante	21
Figura 11. Carga distribuida.....	21
Figura 12. Fuerza cortante en el eje	21
Figura 13. Momentos en el eje.....	22
Figura 14. Diámetros del eje	22
Figura 15. Análisis estático eje.....	25
Figura 16. Reacciones en rodamientos.....	26
Figura 17. Estructura principal	28
Figura 18. Base receptora.....	29
Figura 19. Conexiones en los extremos de la columna.....	30
Figura 20. Análisis de columna estructura principal	33
Figura 21. Análisis columna de tolva.....	34
Figura 22. Planos de potencia.....	35
Figura 23. Conexión del motor a sistema de mando.....	36
Figura 24. Conexión de pulsadores y sensor de distancia	37
Figura 25. Conexión de luces piloto	38
Figura 26. Contactor.....	40
Figura 27. Módulo sensor SHARP GP2Y0A21	41
Figura 28. Gabinete eléctrico	42
Figura 29. Ubicación de componentes parte trasera.....	42
Figura 30. Ubicación de componentes parte frontal.....	43
Figura 31. Diagrama de flujo control del sistema	46
Figura 32. Control del sistema	47
Figura 33. Prototipo físico	52
Figura 34. Mucilago retirado.....	52
Figura 35. Resultados ensayo 9.....	53

Figura 36. Daño en la semilla vs revoluciones	53
Figura 37. Daños presentados en la semilla	54
Figura 38. Resultado de maquina con cubierta y sin cubierta	54
Figura 39. Tiempo de despulpamiento	55
Figura 40. Resultados de despulpamiento	55

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Ubicación de componentes	61
Anexo 2. Ubicación de componentes en el eje	63
Anexo 3. Planos	64

RESUMEN

Este proyecto se lo realizó con la finalidad de mejorar la producción de Canopy bridge encargado del despulpamiento de semillas de macambo. Mediante sus asesores, investigaciones acerca del tema, y conocimiento sobre sus procesos internos se obtuvo las características principales del sistema semiautomático despulpador. Para realizar este proyecto se utilizó la metodología en v de sistemas mecatrónicos con los cuales se seleccionó los componentes mecánicos, electrónicos y la parte de software que fueron integrados y validados. El despulpamiento automático de la semilla de macambo es el requerimiento principal esto se logró por medio de dos cepillos rotatorios que tienden a desprender el mucilago de la semilla, estos cepillos son accionados por un motor que transmite el torque a un par de engranajes. Debido a que es un proyecto relacionado con la industria alimenticia la estructura se la realizó con acero inoxidable, el operador pudo controlar el sistema por medio de un gabinete metálico que cuenta con pulsadores y luces de aviso, el sistema de control contó con un sensor de distancia para detectar si las semillas fueron cargadas dentro de la tolva antes de iniciar el proceso de despulpamiento. En caso de que las semillas no fueran cargadas, el sistema de control no permitiría el accionamiento del motor. Una vez integrado todo el sistema este cumplió con el propósito de despulpar 10 Kg por hora de semillas de macambo, esto permitió un aumento en la producción de 1150 % debido a que en el proceso manual se obtenía 800 gramos/hora

Palabras clave: Fruta, control, Sharp, automatización.

ABSTRACT

This project was carried out with the purpose of improving the production of the company “Canopy bridge” which is in charge of pulping macambo seeds. Therefore, the main characteristics of the semi-automatic pulping system were obtained through the company’s advisers, research on the subject, and knowledge about its internal processes. In order to carry out this project, the mechatronic systems v-methodology was used, with which the mechanical and electronic components and the software part that was integrated and validated were selected. The automatic pulping of macambo seed is the main requirement, this was achieved by means of two rotating brushes that tend to detach the mucilage from the seed, these brushes are activated by a motor that transmits the torque to a pair of gears. As the project is related to the food industry, the structure was made with stainless steel, the operator was able to control the system by means of a metal cabinet that has push buttons and warning lights, the system had a sensor to detect if the seeds were loaded before starting the pulping process. In case the seeds were not loaded, the control system would not allow the motor drive. Once the entire system was integrated, it achieved the purpose of pulping 10 kg per hour of macambo seeds, which allowed an increase in production of 1150% due to the fact that in the manual process 800 grams / hour were obtained.

Keywords: Fruit, control, Sharp, automation.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad nuestro país cuenta con una gran variedad de productos agrícolas los cuales pueden ser procesados para obtener nuevas opciones de consumo, muchos de estos procesos son ineficientes y totalmente manuales, es ahí donde entra un ingeniero mecatrónico buscando la forma de automatizar dichos procesos por medio de habilidades y conocimientos sobre mecánica, electrónica, control y programación, combinando todo este conocimiento se puede mejorar la productividad y calidad de diferentes productos.

El macambo es un fruto de la misma familia del cacao. A diferencia de éste, es aún poco conocido, proviene de la provincia del Napo. La semilla sin el mucilago puede ser ingerida como snack este cuenta con propiedades nutricionales que lo hacen saludable ya que contiene 3 veces más proteína que la macadamia, 2 veces más fibra que la almendra y 1.3 veces más omega 9 que las nueces, además contiene theobromina, que al igual que el cacao, promueve la reducción de la presión arterial y el relajamiento muscular (Chiriboga,2005).

El macambo representa un gran potencial aun no descubierto con todas las propiedades que tiene a su favor solo es cuestión de tiempo para que el país comience a producirlo en grandes cantidades y sacar lo mejor de este producto, por el momento la mayor parte de consumo y sembríos son locales, entre sus principales formas de consumo están las brochetas asadas, se consume la pulpa fresca en jugos, y en postres se los presenta como mermeladas.

El proceso de despulpado consta de tres fases: primero, la recepción, selección, clasificación, lavado y desinfección de la fruta; segundo, pelado, cortado, extracción, molido, despulpado y refinado; por último, el pasteurizado, envasado y congelamiento de la conserva (López, 2009).

El objetivo general fue la implementación de una máquina desulpadora de semillas de macambo, este buscó cumplir con la forma de obtener la semilla del macambo sin el mucilago de manera semiautomática, de esta forma se obtuvo un proceso más eficiente y costes reducidos, esto debido a que el proceso para despulpar las semillas se lo hacía manualmente.

Este sistema fue dirigido hacia el proyecto Canopy Bridge especializándose en trabajar con las semillas y no con el mucilago, a diferencia de muchos frutos los cuales normalmente buscan extraer la pulpa, por esta razón los procesos actuales para la separación del mucilago y la semilla no se pudieron aplicar al macambo ya que estos tienden a dañar a la semilla logrando que pierda sus propiedades y nutrientes, este proyecto buscó exportar el producto y de esta forma beneficiar a las pequeñas agroindustrias.

El proceso por el cual se optó incluye 2 rodillos con cerdas plásticas, cada uno con su eje correspondiente accionados por un juego de engranes y un motor todo este sistema permitió retirar el mucilago sin la necesidad de afectar a la semilla del macambo de esta manera se cumple con los requerimientos funcionales del proyecto, luego que las semillas son separadas del mucilago estas son almacenadas en una bandeja de metal listas para pasar a otra etapa, además contó con un controlador para aplicar el torque necesario al motor de esta manera se evitó un consumo innecesario de corriente y posibles fallas tanto en el motor como en los engranes.

Los objetivos específicos se basaron en el diseño, validación e implementación del sistema los cuales son definidos a continuación.

El diseño mecánico fue centrado en las fuerzas que se aplican sobre la estructura dentro de esta incluyen reacciones, esfuerzos, aceleraciones, además una vez conocidos dichos datos se procedió al diseño de los elementos de la máquina los cuales en conjunto debieron cumplir con un factor de diseño para que no exista ningún percance con los usuarios.

El diseño eléctrico/electrónico se enfocó en la elección adecuada del motor y los componentes que le hagan funcionar, también fue necesario crear las conexiones adecuadas entre el motor, el controlador y la fuente de alimentación, además debió contar con todos los interruptores y luces de emergencia en caso de un mal uso del sistema.

El diseño de control se encargó de analizar la cantidad de semillas en la tolva y permitir el arranque del motor.

La finalidad de todo este proyecto fue implementar un sistema mecatrónico que permite mejorar el proceso de separación del mucilago y la semilla provenientes de la fruta del macambo, una vez hecha la integración y validación del sistema la eficiencia fue vista en el tiempo de separación y la cantidad de semillas procesadas buscando así una innovación tecnológica que permita el desarrollo del país y un mejor ingreso para las agroindustrias, además de generar nueva información sobre sistemas despulpadores.

En el mundo existen muchos tipos de sistemas despulpadores, estos se los clasifican en dos tipos, sistemas verticales y sistemas horizontales, los principales sistemas despulpadores son para cacao, café, mango y guanábana.

En el Ecuador los sistemas despulpadores son limitados y sus precios son muy elevados, entre los principales tenemos para el cacao, la naranjilla y el café, al despulpar el macambo se busca obtener la semilla intacta, por esta razón estos

sistemas despulpadores son obsoletos, el presente proyecto busca solucionar el despulpamiento de macambo implementando un nuevo sistema despulpador.

En la figura 1 se muestra un modelo de las primeras despulpadoras horizontales, en la tabla 1 se muestran las partes que la componen.

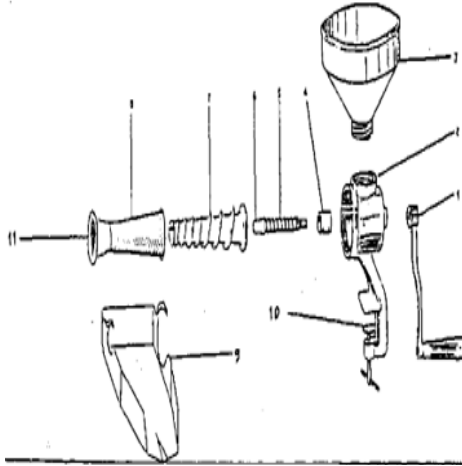


Figura 1. Despulpadora horizontal (Bautista,2019)

En la tabla 1 se muestra las partes de la despulpadora horizontal mostrada en la figura 1.

Tabla 1. Partes de despulpadora horizontal

1	Manija de rotación
2	Cuerpo del equipo
3	Tolva de alimentación
4	Arandela
5	Resorte
6	Perno
7	Rosca sin fin.
8	Filtro agujereado extractor de pulpa.
9	Deslizante de la pulpa extraída.
10	Prensa de seguro.
11	Boquilla de salida de los desechos

2. METODOLOGÍA

La metodología mecatrónica que se utilizó para cumplir con los requisitos, necesidades, restricciones, diseño tanto eléctrico, mecánico y la parte de control, la generación y simulación de sistemas fue la metodología en v de sistemas mecatrónicos la cual se muestra en el diagrama a continuación.

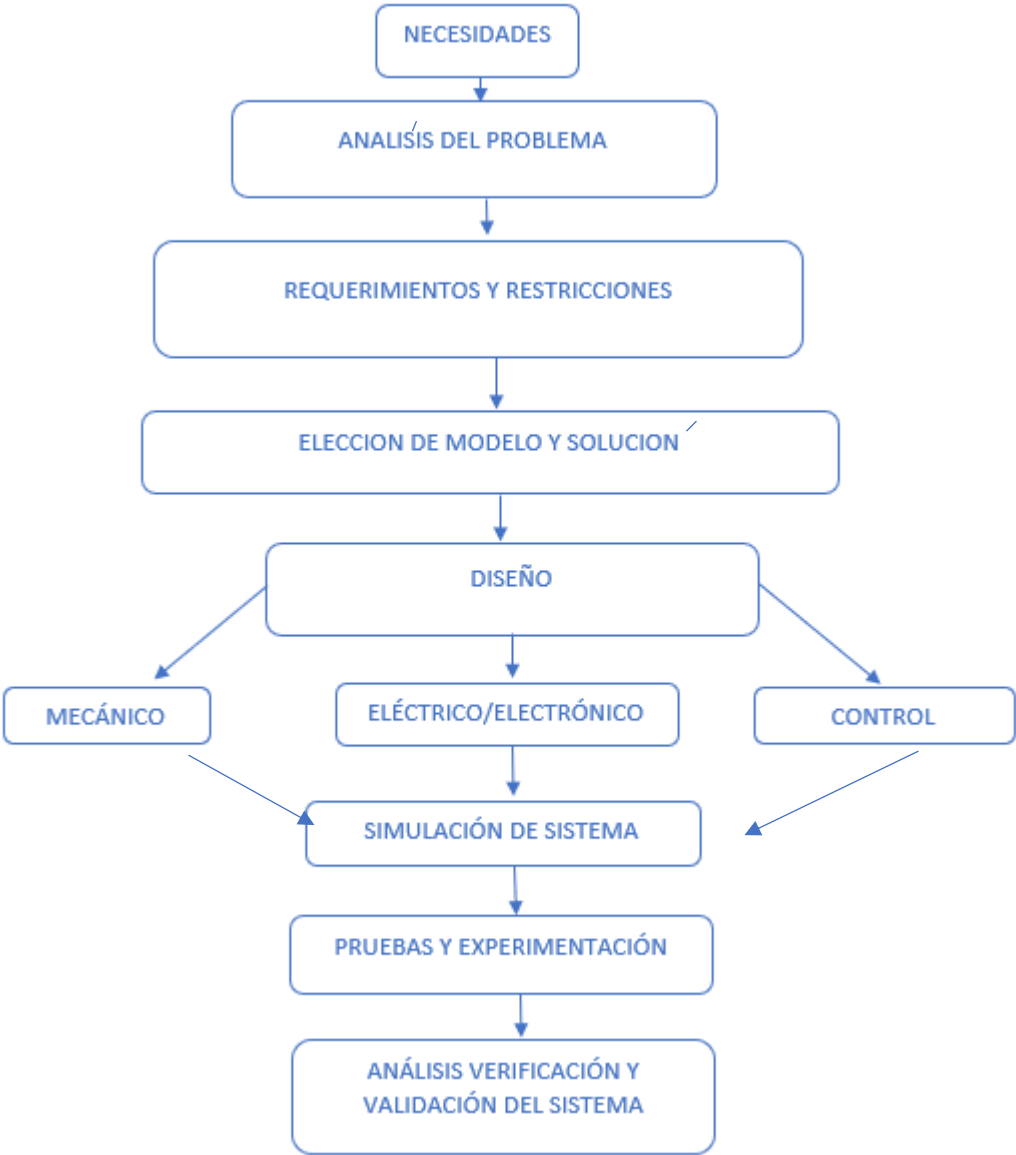


Figura 2. Metodología a utilizar

2.1. Necesidades

El proyecto denominado Canopy Bridge buscaba efectivizar el proceso de despulpar la fruta del macambo, este proceso se lo hacía manualmente lo que conlleva tiempo extra y poca producción.

Otra necesidad que tenía este proyecto era la reducción de costes la cual involucró directamente el trabajo manual al momento de separar el mucilago de la semilla y ubicar estos en contenedores diferentes.

2.2. Análisis del problema

Las principales máquinas despulpadoras del mercado funcionan con la variable de temperatura, pero esto generaba un problema en el macambo ya que se buscaba obtener la semilla intacta y al momento de usar este método la semilla sufría daños irreversibles.

Otra alternativa era usar un molino que separaba el mucilago de la semilla, pero en este proceso la semilla también se veía comprometida y no se lo pudo implementar.

El proceso de despulpado debía ser semiautomático y mejorar los tiempos de producción, debía ser ordenado, higiénico y obtener un producto sin daños al terminar su etapa.

2.3. Requerimientos y restricciones

- Se debía retirar el mucilago de la semilla del macambo sin dañar a la misma
- Se implementaría un prototipo de pruebas de una máquina despulpadora de semillas de macambo, el cual debía tener una capacidad de 10Kg por hora.
- El prototipo debía ser realizado con acero inoxidable ya que es para industria alimenticia
- El prototipo debía almacenar las semillas procesadas
- El motor no se debía detener independientemente de cuantas semillas se introduzcan
- El sistema debía ser seguro para el usuario evitando que pueda ocurrir un accidente con los motores y las manos del operador

En el diagrama 3 se muestra los requerimientos y en el diagrama 4 la definición de bloques.

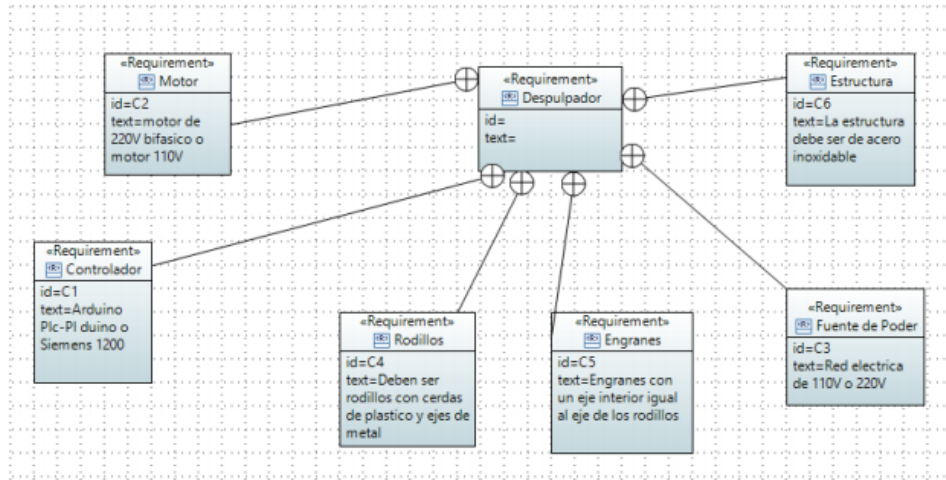


Figura 3. Diagrama de Requerimientos

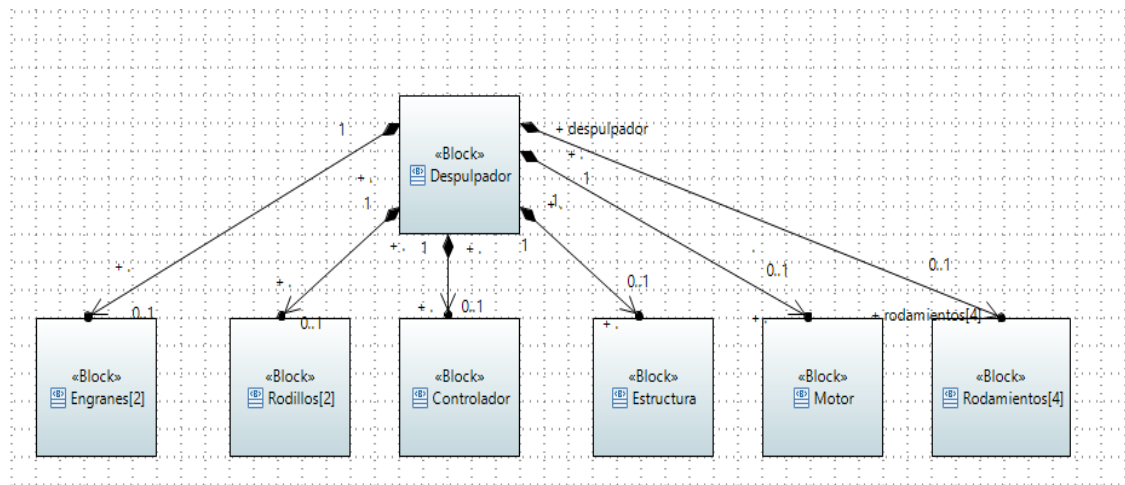


Figura 4. Diagrama definición de bloques

En el diagrama interno de bloques mostrado en la figura 5 se visualiza la conexión de los principales componentes del sistema despulpador.

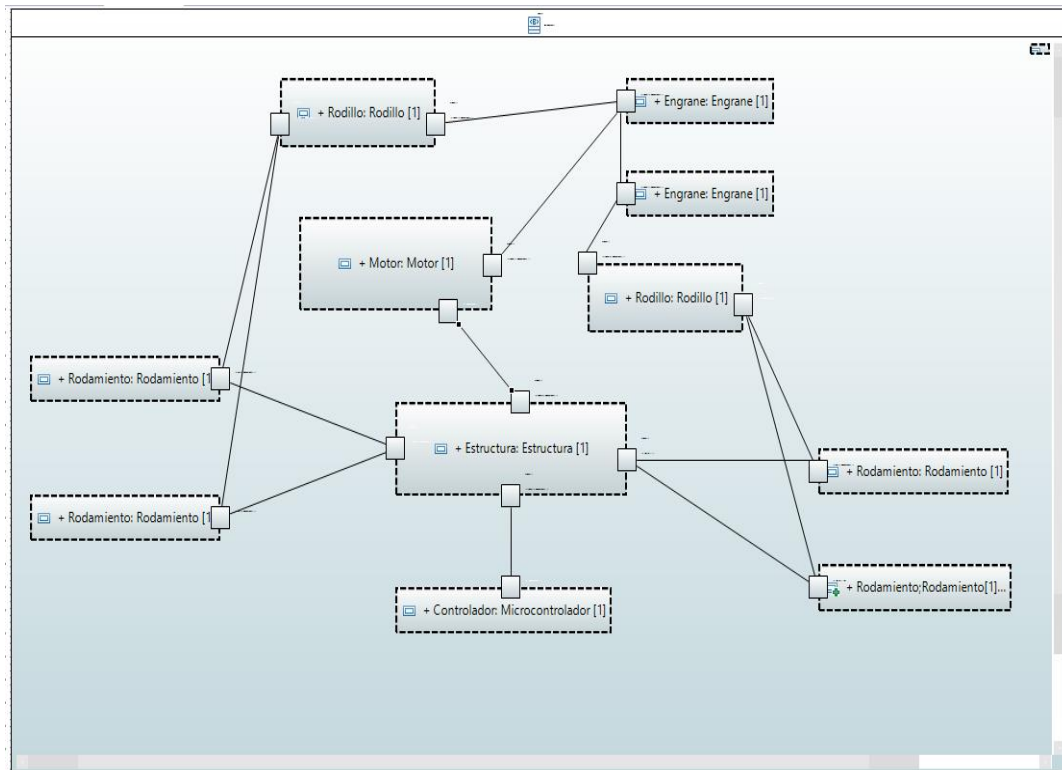


Figura 5. Diagrama interno de bloques

2.4. Elección de modelo y solución

En función de los requerimientos funcionales el modelo seleccionado trata de dos rodillos ubicados diagonalmente, estos rodillos tienen cerdas de plástico que evitarían que las semillas y la pulpa se mezclen, en la parte inferior un contenedor recogería la pulpa de forma automática las cuales caerán hacia un contenedor inferior, el sistema contó con dos compartimientos la parte en la que se introducen las semillas y la parte de almacenamiento, de esta manera el operador contó con un sistema seguro.

Los criterios en los cuales se verificó la solución y el modelo seleccionado son los siguientes:

- Retirar el mucilago de la semilla de macambo
- La semilla no debía perder sus propiedades
- La semilla no debía tener daños físicos
- El sistema debía almacenar las semillas y el mucilago por separado
- El sistema debía ser seguro para el operador
- Los materiales para el sistema debían estar disponibles en el país
- El sistema debía ser semiautomático.

- El sistema abarcaría una producción de 10Kg por hora.
- El sistema incorporaría un control para el motor
- El sistema podía funcionar 12 horas.
- El sistema acataría las normas para máquinas de alimentos.
- El sistema funcionaría con una fuente de 110 V.

2.5. Diseño sistema mecánico

Para el diseño mecánico se creó el modelado 3D, se simuló el proceso de retirar el mucilago de la semilla, que consta de la estructura principal, 2 ejes de acero inoxidable, sus respectivos rodamientos, un motor y los engranes que permiten dar el movimiento a los ejes, una vez obtenido el modelo sirvió para determinar la potencia necesaria del motor al momento en que este realice el accionamiento de los 2 ejes.

Los elementos de la estructura debían ser diseñados tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de material
- Dimensiones de la estructura
- Disponibilidad en el mercado
- Facilidad de ensamble
- Peso y movilidad.

2.5.1. Estructura principal

Para diseñar la estructura principal fue necesario poder almacenar las semillas sin mucilago, también debía tener la capacidad de soportar los ejes, el motor y el controlador, la forma de la estructura debió permitir el ingreso de las semillas por la parte superior y la extracción por la parte inferior.

La estructura se diseñó en base a los requerimientos funcionales ya que de estos dependen el volumen la forma y el material, todas las características también dependieron del motor y el controlador seleccionado ya que estos afectan directamente el peso el cual debe soportar. El diseño también verificó el tipo de ensamblaje que la estructura pueda proporcionar a los componentes tales como el motor, ejes y controlador.

2.5.2. Cepillos

Los ejes tuvieron que ser diseñados para poder soportar la transmisión de movimiento y potencia que genere el motor, aparte de esto se debió tener en cuenta los pares torsionales y los momentos flexionantes generados por la cantidad de semillas que afecten directamente a esta parte del sistema. El diseño de los ejes debió considerar los cojinetes, engranes y rodamientos ya que según la elección de estas partes el diámetro del eje se vería afectado.

2.5.3. Rodamientos

Para este tipo de piezas se verificó cuáles son las opciones disponibles en el mercado, los cálculos de diseño sirvieron para averiguar la vida útil de la pieza, se diseñó respecto a la carga equivalente máxima que puedan soportar.

2.5.4. Engranes

El diseño se basó en engranes rectos, los dientes de los engranes debían soportar la potencia ejercida por el motor además del peso de los ejes. Como características principales a tomar en cuenta estaban el par torsional y la fuerza tangencial ejercida sobre los engranes

2.6. Diseño sistema eléctrico/electrónico

2.6.1. Motor

El motor para este sistema debía poseer una potencia suficiente capaz de mover los 2 ejes y las semillas que pasaran a través de ellos, se usó un motor que funcione con electricidad y que pueda alimentarse a la red eléctrica del lugar a ser montado, el diseño se enfocó en el torque y velocidad que sean necesarios para desprender el mucilago de la semilla sin afectar a la misma.

El motor contó con un control para que no sufra daños por sobrepicos de voltaje.

2.6.2. Contactor

El sistema necesitó un contactor que permite e interrumpe el paso de la corriente en el circuito de potencia.

2.6.3. Luces industriales

El sistema incorporó luces que indicaran el estado del sistema y del motor.

2.6.4. Interruptores industriales

Los interruptores industriales están para activar al motor y también para activar el controlador del sistema.

2.6.5. Sensores

Los sensores permiten medir variables físicas y convertirlas en datos, en esta ocasión se usó un sensor de distancia para conocer cuando la tolva está vacía o está llena, esto permitió ahorrar electricidad en caso de que este vacía el motor no se activara.

2.7. Diseño sistema de control

El sistema de control revisó señales del sensor incorporado sean digitales o analógicos, una vez obtenidos los datos del sensor el controlador tomó opciones dependiendo de los requerimientos del operador, el controlador se encargó de decidir si pone en marcha o detiene el motor.

2.7.1. Inicio de operación de despulpado

El controlador recibió la señal del interruptor y este a su vez puso en marcha el sistema completo, esto se mantuvo hasta que este interruptor se desactive o se active el interruptor de paro de emergencia.

2.7.2. Control de motor

Para el control del motor se utilizó un sensor de distancia en la tolva el cual indicó si existen semillas y si ponía en marcha al motor.

2.7.3. Interfaz con el operario

Debido a que el sistema es semiautomático siempre contó con un operario que, de inicio y fin al proceso, la interfaz con el operario consistió en activar y

desactivar la máquina, el operario se encargó de verificar que no exista atascamiento en los rodillos y tenía un paro de emergencia en caso de que se presente cualquier anomalía dentro del sistema.

2.8. Simulación del sistema

La simulación de la parte mecánica se la realizó en el programa SolidWorks, aquí se pudo simular las fuerzas a las que está sometido el mecanismo y los esfuerzos que este sufre, una vez calculado los esfuerzos se asignó un factor de diseño al sistema. En la simulación se pudo analizar el comportamiento de diferentes tipos de material y como estos reaccionan dependiendo del torque del motor y la cantidad de semillas insertadas, además se logró comprender la forma de ensamble de las diferentes piezas.

La parte electrónica y de control se simuló con el programa de Arduino y proteus el programa se lo realizó con el lenguaje c, dentro de este se pudo simular los interruptores, las alarmas, el motor y las luces de emergencia, igualmente la parte de control recibió los datos de los sensores los cuales pudieron ser simulados para obtener diferentes valores y analizar cómo reacciona el sistema ante los mismos.

2.9. Pruebas y experimentación

Las pruebas y experimentación se las realizó con un prototipo físico, este prototipo debía despulpar las semillas de la misma manera en la que trabajaría el modelo real. Las pruebas que se realizaron son:

- Semilla y mucilago deben terminar separados sin daño físico a la semilla.
- Se insertó el peso máximo de semillas para verificar que el sistema no sufre ninguna rotura mecánica.
- Se ubicó el sistema en una superficie plana y estable para evitar vibraciones.
- Se probó los interruptores al inicio y final del proceso de despulpamiento
- Se experimentó el tiempo que le toma despulpar 10 Kg de semillas.

2.10. Diseño específico sistema mecánico

Las partes del diseño mecánico se detallan en el siguiente gráfico con su respectiva tabla la cual indica el nombre de cada parte.

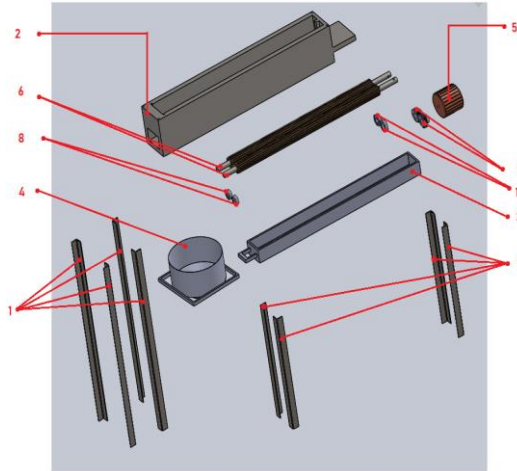


Figura 6. Vista explosionada.

El siguiente gráfico muestra el sistema armado y como va incorporada cada parte del sistema.

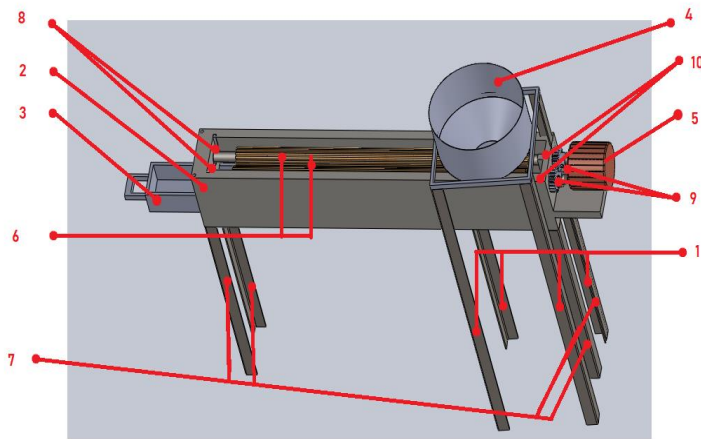


Figura 7. Sistema Completo

En la tabla 2 se muestra las partes del sistema completo mostrado en la figura 7.

Tabla 2. Partes del sistema completo

1	Columnas de Tolva
2	Estructura principal
3	Estructura receptora
4	Tolva
5	Motor
6	Ejes
7	Columnas de estructura Principal
8	Rodamientos Inferiores
9	Engranés
10	Rodamientos Superiores

2.10.1. Tolva

El material seleccionado debía cumplir con los requerimientos de las industrias alimenticias, por esta razón se optó por trabajar con el acero inoxidable AISI 304 y AISI 306 ya que son los que se disponen en el país. Para diseñar el volumen de la tolva primero se debía calcular el volumen de semillas que va a contener, además se debía conocer el volumen de una semilla.

“Las características físicas del fruto del macambo con largo del fruto 15,0 cm, peso total 752 g, % peso de pulpa 23,76, % peso de cáscara 62,54, % de peso de semillas 13,70 y número de semillas 38” (Burlan, et ál., 1999, p. 8).

Se procedió a calcular su volumen con la ecuación (1).

$$V = \frac{4}{3} \pi * a * b * c$$

$$V = \frac{4}{3} \pi (6.5)(12.5)(15) \quad (1)$$

$$V \approx 5105 \text{ mm}^3$$

Se optó por rellenar la tolva cada 15 minutos, esto significa que debió abarcar una masa de 2500g para llegar al requerimiento de 10 kg/h, la masa de una semilla con pulpa equivale a 7,4 g, se necesita cumplir con la cantidad de 2500 gramos equivalente a 338 semillas. Las 338 semillas ocuparan 1725490 mm³, contando el espacio vacío que generan las semillas el volumen final fue:

$$2000 \text{ cm}^3$$

Se eligió una tolva de modelo cilíndrico y tronco de cono para encontrar el volumen, el cual está dado por la ecuación (2).

$$\text{Volumen Tolva} = \pi * r^2 * h + \frac{h_2\pi}{3} * (R_1^2 + R_2^2 + R_1R_2) \quad (2)$$

$$\text{Volumen Tolva} = 2015\text{cm}^3$$

Donde:

r= radio del cilindro

h= altura del cilindro

h_2 =altura del tronco de cono

R_1 =radio mayor del tronco de cono

R_2 =radio menor del tronco de cono

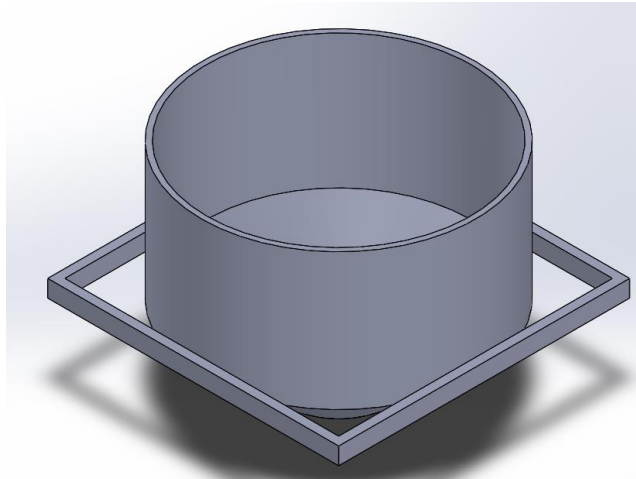


Figura 8. Tolva

El peso de la tolva esta dado por la ecuación (3).

$$W = m * g$$

$$W = 2.5 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3)$$

$$W = 24.5 \text{ N}$$

Donde:

w= peso

m= masa

g = gravedad

Para seleccionar el espesor se utilizó un factor de diseño igual a 4, el cual está dado por la ecuación (4):

$$\begin{aligned}\sigma d &\leq \frac{S_y}{N} \\ \sigma d &\leq \frac{241 \text{Mpa}}{4} \\ \sigma d &\leq 60.25 \text{Mpa}\end{aligned}\tag{4}$$

Donde:

σd = Esfuerzo de diseño

S_y =Resistencia de fluencia

N =Factor de diseño

La presión ejercida fue mayor en la menor área del tronco de cono como se puede ver en la ecuación (5):

$$\begin{aligned}P &= \frac{F}{A} \\ P &= \frac{24.5 \text{ N}}{2827 \text{ mm}^2} \\ P &= 0.0087 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\end{aligned}\tag{5}$$

Donde:

P = Presión ejercida en la menor área del tronco de cono

F = Fuerza ejercida por la cantidad de semillas introducidas en la tolva

A = Área de la base del tronco de cono

El espesor se obtuvo de la ecuación (6):

$$\begin{aligned}t &= \frac{P(Dm)}{2(\sigma d)} \\ t &= \frac{(0.0087 \text{ N/mm}^2)(160 \text{ mm})}{2(60.25 \text{ N/mm}^2)} \\ t &= 0.011 \text{ mm}\end{aligned}\tag{6}$$

Donde:

t= Espesor del cilindro

P= Presión ejercida en el radio menor del tronco de cono

Dm= Diámetro medio al espesor de pared

σd = Esfuerzo de diseño

En el mercado el espesor mínimo disponible es de 0.6mm, con este espesor se verificó si la suposición de pared delgada fue correcta por medio de la ecuación (7):

$$\begin{aligned} \frac{Dm}{t} &> 20 \\ \frac{160.6mm}{0.6mm} &> 20 \\ 267.67 &> 20 \end{aligned} \quad (7)$$

Como si cumple el espesor seleccionado fue de 0.6 mm, las dimensiones finales de la tolva de acuerdo a los cálculos están en el anexo 10.

Análisis estructural tolva

El análisis estructural de la tolva se enfocó en el factor de seguridad el cual tiene su valor mínimo en la base de la tolva, al aplicar un espesor de 0.6 mm el factor de seguridad es mayor a 1 demostrando así que el material no tuvo deformaciones.

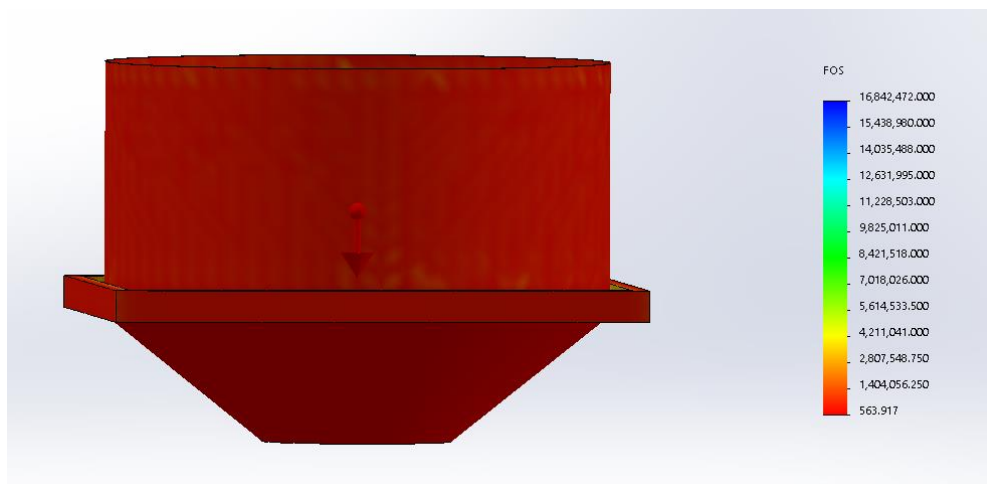


Figura 9. Análisis Tolva

2.10.2. Cepillos

Para el diseño de cepillos se necesitan saber las fuerzas que se va a ejercer para el despulpamiento del macambo.

Tabla 3. Fuerza de despulpamiento

Prueba	Fuerza [Kgf]
1	1,215
2	1,360
3	1,080
4	1,035
5	1,410
6	1,415
7	1,383
8	1,605
9	1,675
10	1,867
11	1,594
12	1,327
13	1,745
14	1,158
15	1,792
16	1,224
17	1,817
18	1,602
19	1,329
20	1,802
Valor máximo obtenido	1,867

(BARRERA, 2020)

Para asegurar el funcionamiento del motor y los ejes se toma el valor máximo de la fuerza de despulpamiento en la tabla 4, este valor se le aumenta para contar con un factor de diseño más seguro el valor final fue de 2,5Kgf.

La longitud del eje fue de 60 cm, para conocer cuantas semillas entran en el eje y el peso que este va a soportar se usa la relación la longitud del eje y la longitud de las semillas como se muestra en la ecuación (8).

$$\frac{\text{Longitud de eje}}{\text{Longitud de semilla}} = \frac{0.6m}{0.03m} = 20 \text{ semillas} \quad (8)$$

Se distribuye la fuerza a lo largo del eje, para conocer la fuerza distribuida, se multiplica la fuerza necesaria para despulpar una semilla por la cantidad de semillas como se detalla en la ecuación (9).

$$w1 = \text{Fuerza distribuida} = 24.52 \text{ N/m} * 20 \text{ semillas} \approx 491 \text{ N/m} \quad (9)$$

Existe una fuerza normal la cual se puede visualizar en la ecuación (10 que es perpendicular a la fuerza de fricción, para calcular esta fuerza es necesario el coeficiente de fricción de las cerdas plásticas el cual es tomado de (Askeland, et ál., 1993).

$$\begin{aligned} N &= \frac{fr}{u} \quad [10] \\ N &= \frac{491 \text{ [N/m]}}{0.32} \\ N &= 1534.4 \text{ [N/m]} \end{aligned} \quad (10)$$

Donde:

N = fuerza normal en el eje

fr= Fuerza de fricción

u=Coeficiente de fricción de las cerdas plásticas.

Se trabajó con una sola fuerza resultante:

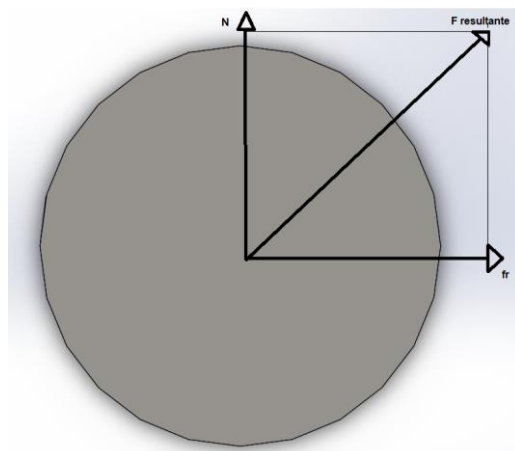


Figura 10. Fuerza Resultante

La fuerza resultante está dada por la ecuación (11).

$$F_{Resultante} = \sqrt{N^2 + fr^2}$$

$$F_{Resultante} = 1611.04 [N] \quad (11)$$

Diagrama de la carga distribuida

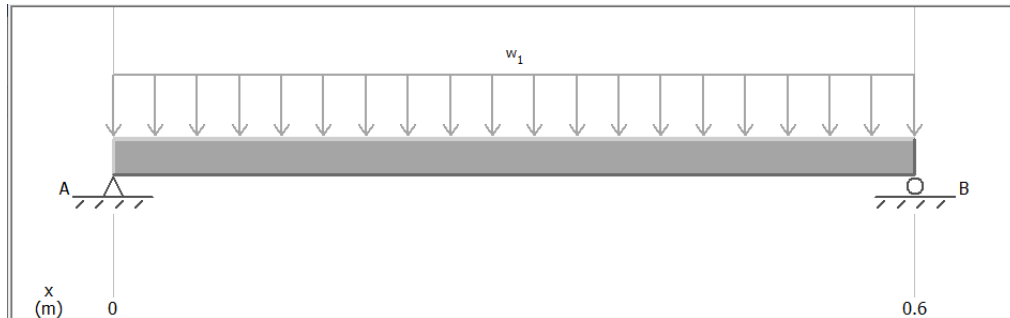


Figura 11. Carga distribuida

Diagrama de fuerza cortante

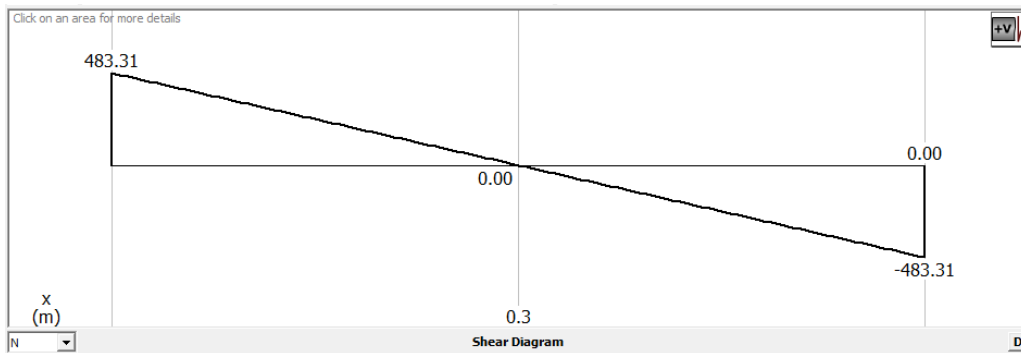


Figura 12. Fuerza Cortante en el eje

Diagrama de momentos

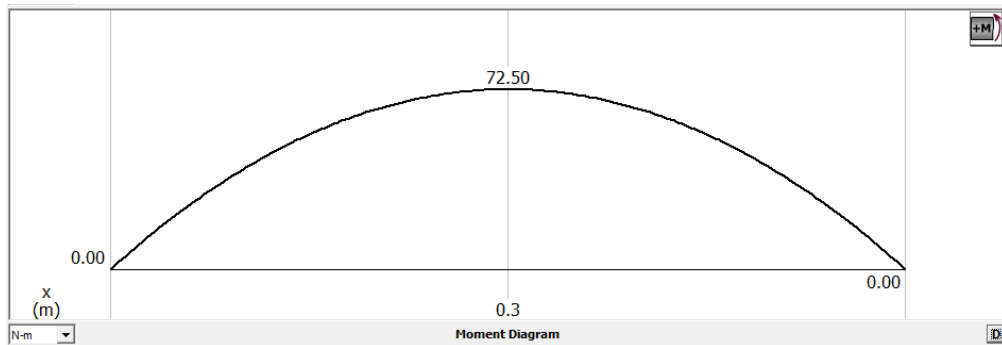


Figura 13. Momentos en el eje

El torque necesario para el despulpamiento depende de la longitud del centro del eje hasta el extremo de las cerdas plásticas el cual es de 30 mm, el torque resultante se visualiza en la ecuación (12).

$$T = fr * l$$

$$T = 491 [N] * 30 [mm]$$

$$T = 14730 [N * mm] \quad (12)$$

$$T = 14.73 [N * m]$$

La distancia de los componentes ubicados en el eje se encuentra en el anexo 17.

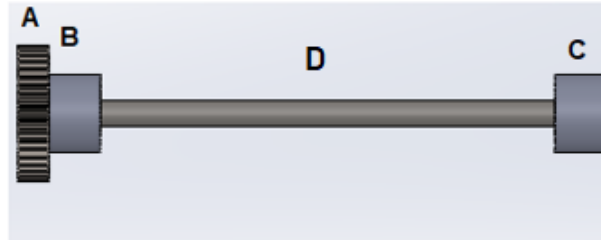


Figura 14. Diámetros del eje

En el punto A del eje se encuentra uno de sus extremos y el engrane que transmite la potencia, por esta razón existe torsión y no existe flexión, se usó la ecuación (13):

$$DA = \sqrt[3]{\left(\frac{32n}{\pi} * \sqrt{\frac{3}{4} * \left(\frac{T}{Sy}\right)^2}\right)} \quad (13)$$

$$DA = \sqrt[3]{\left(\frac{128}{\pi} * \sqrt{\frac{3}{4} * \left(\frac{14730}{241}\right)^2}\right)}$$

$$DA = 12.92mm$$

El diámetro que se usó será el de 15 mm debido al engrane.

$$DA=15mm$$

En el punto B y el punto C existen rodamientos y es necesario usar anillos de retención, se necesita la resistencia a la fatiga real estimada la cual está dada por la ecuación (14).

$$S'n = Sn * Cm * Cst * CR * Cs$$

$$S'n = 227.5Mpa * 1 * 1 * 1 * 0.85 \quad (14)$$

$$S'n = 193.375 Mpa$$

Donde:

$S'n$ =Resistencia a la fatiga real estimada

S_n =Resistencia a la fatiga (maquinado)

C_m =factor de material

C_{st} =factor de tipo de esfuerzo

C_R =factor de confiabilidad

C_s =factor por tamaño

Para encontrar el diámetro en el punto B se usó la ecuación (15)

$$DB = \sqrt[3]{\left(\frac{32n}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{Kt * M}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}\right)}$$
$$DB = \sqrt[3]{\left(\frac{128}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{3 * 1804}{193.375}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{14730}{241}\right)^2}\right)}$$
$$DB = 13.46 \text{ mm}$$
(15)

Debido a que en el punto D se calculó un diámetro mayor se optó por tomar el valor de 15 mm.

$$DB = 15 \text{ mm.}$$

Debido a que en el punto C no existe flexión es necesario otro tipo de cálculos, los cuales se detallan en la ecuación (16).

$$DC = \sqrt{\frac{2.94(Kt)(V)(n)}{S'n}}$$
$$DC = \sqrt{\frac{(2.94)(3)(483.31)(4)}{193.375}}$$
$$DC = 9.39 \text{ mm}$$
(16)

Debido a que en el punto D se calculó un diámetro mayor se optó por tomar el valor de 15 mm.

$$DC=15 \text{ mm}$$

En el punto D se encuentra el momento máximo, se aplica la ecuación (17).

$$DD = \sqrt[3]{\left(\frac{32n}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{Kt * M}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{Sy}\right)^2}\right)}$$

$$DD = \sqrt[3]{\left(\frac{128}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{3 * 7250}{193.375}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{14730}{241}\right)^2}\right)}$$

$$DD = 17.17 \text{ mm}$$
(17)

Se tomó el valor de 18 mm.

$$DD= 18 \text{ mm.}$$

Donde:

n= factor de diseño

T= Torque necesario para el despulpamiento

Sy= Resistencia a la fluencia (acero inoxidable AISI 304)

Kt=Valores preliminares de diseño

M=Momento máximo

S'n=Resistencia a la fatiga real estimada

V=Fuerza cortante.

El eje final según los cálculos se lo puede visualizar en el anexo 10.

Análisis estático del eje

El análisis estructural del eje se enfocó en el factor de seguridad el cual tiene su valor mínimo de 7.9, el factor de seguridad es mayor a 1 demostrando así que el material no tuvo deformaciones.

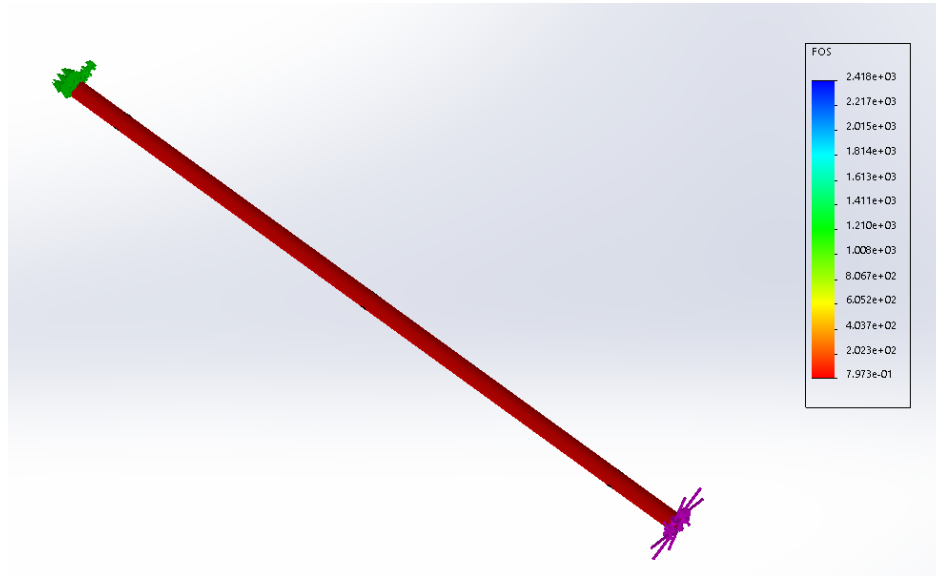


Figura 15. Análisis estático Eje

2.10.3. Rodamientos

Para la selección de rodamientos es necesario conocer las fuerzas que se aplican en los mismos, las reacciones corresponden a las fuerzas cortantes:



Figura 16. Reacciones en rodamientos

Donde:

$$R_{By} = 483.31 \text{ [N]}$$

$$R_{Cy} = 483.31 \text{ [N]}$$

Para conocer la carga dinámica es necesario saber la duración de diseño y está dada por la ecuación (18).

$$L_d = L_{10} * n * \frac{60 \text{ min}}{h}$$

$$L_d = 25000 \text{ h} * 540 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$L_d = 810 * 10^6 \text{ rev} \tag{18}$$

Donde:

L_d =Duración de diseño en revoluciones

L_{10} =Duración nominal de diseño en horas

n =Velocidad angular en revoluciones por minuto

Una vez conocida la duración de diseño la carga dinámica está dada por la ecuación (19).

$$C = Pd \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{K}}$$
$$C = 483.31 \text{ N} * \left(\frac{810 * 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (19)$$
$$C = 4505.27 \text{ N}$$

Donde:

C =Carga dinámica

Pd =Carga de diseño

K = constante de rodamiento con bolas

La elección de rodamientos para el punto B y C tomando en cuenta el diámetro del eje y la carga dinámica es el rodamiento de la serie 6002 con tapa metálica.

2.10.4. Engranés

La distancia requerida entre los ejes es igual al diámetro primitivo entre los ejes, con este dato se procedió al cálculo del módulo seleccionando 20 dientes como se muestra en la ecuación (20).

$$m = \frac{D_p}{z}$$
$$m = \frac{35 \text{ mm}}{20 \text{ dientes}} \quad (20)$$
$$m = 1.75 \text{ mm}$$

Donde:

m = módulo

D_p = diámetro primitivo

z = número de dientes

Para el cálculo del paso diametral se aplicó la ecuación (21)

$$\begin{aligned}pd &= m * \pi \\pd &= 5.498 \text{ mm}\end{aligned}\tag{21}$$

Donde:

pd= paso diametral

La potencia necesaria que debe transmitir el engrane fue la que el eje necesita para despulpar las 20 semillas que estarán en él, la velocidad del engrane fue de 540 rev/min esto permite encontrar la potencia necesaria con la ecuación (22):

$$\begin{aligned}P &= T * w \quad [22] \\P &= 14.73 \text{ Nm} * 540 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \\P &= 14.73 \text{ Nm} * 56.55 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\P &= 832.98 \text{ watts} * 2 \\P &= 1665.96 \text{ W}\end{aligned}\tag{22}$$

Donde:

P=potencia

T=Torque

W=velocidad angular

El plano del engrane según los cálculos aplicados se lo puede visualizar en el anexo 10 el material seleccionado fue acero inoxidable AISI 304.

2.10.5. Estructura principal

La estructura principal se encargó de sostener a los ejes, engranes, chumaceras, rodamientos y motor, la estructura se dividió en dos partes para poder extraer los ejes y los rodillos permitiendo así limpiar individualmente estas partes.

El primer compartimiento es donde se acoplaron los ejes, tiene una longitud de 60.5cm de largo, 11.6 cm de ancho y una profundidad de 21 cm de esta manera todos los cepillos estuvieron en contacto, las paredes también estuvieron recubiertas de cepillos esto con el fin de mejorar la funcionalidad de la máquina. El segundo compartimiento se encarga de la salida de la pulpa lejos de los

rodillos, esto con el fin de que sean almacenadas en una base recolectora y separadora.

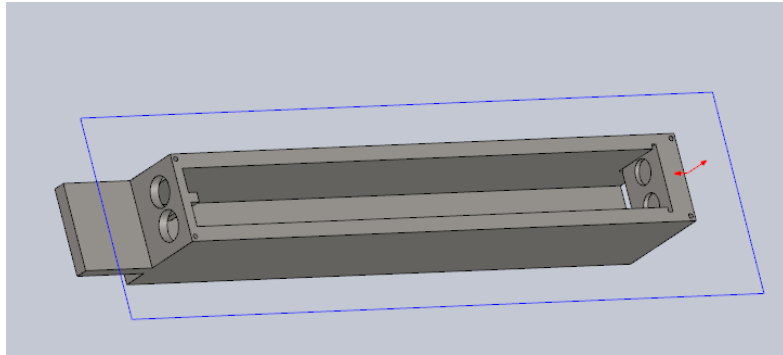


Figura 17. Estructura Principal

El plano de la estructura principal se la puede visualizar en el anexo 10.

El material seleccionado fue acero inoxidable AISI 304.

2.10.6. Estructura receptora

La geometría de la estructura receptora fue rectangular para que se acople a la estructura principal, el material seleccionado fue acero inoxidable AISI 304, su volumen esta dado por la ecuación (23).

$$\begin{aligned} V &= a * b * c \\ V &= 4cm * 6cm * 57cm \\ V &= 1368 cm^3 \end{aligned} \tag{23}$$

Donde:

a=longitud

b=ancho

c=altura

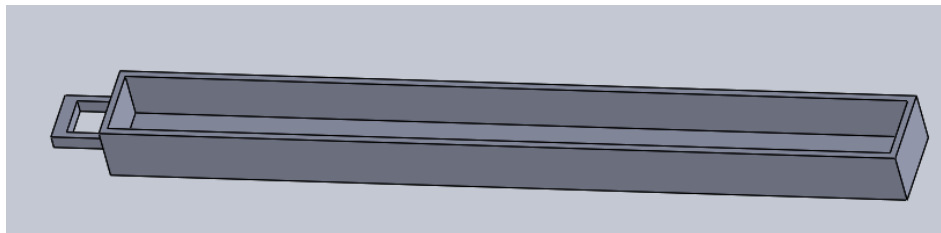


Figura 18. Estructura Receptora

El diseño de la estructura receptora se la puede ver detalladamente en el anexo 10.

2.10.7. Columnas

2.10.7.1. Columnas de estructura principal

Las columnas de la estructura principal soportaron los siguientes pesos:

Masa de la estructura	8664.36 gramos
Semilla en los ejes	148 gramos
Motor promedio	6000 gramos

Masa total 14812.36 gramos

Las columnas fueron ubicadas en los extremos de la estructura principal, las reacciones corresponden a la fuerza que debe soportar, se usó un factor de diseño $N=4$, la carga crítica está dada por la ecuación (24).

$$\begin{aligned} P_{crit} &= m * g * N \\ P_{crit} &= 14.8Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 4 \\ P_{crit} &= 580.752N \end{aligned} \quad (24)$$

Donde

P_{crit} =carga crítica

m =masa total

g =gravedad

N =factor de diseño

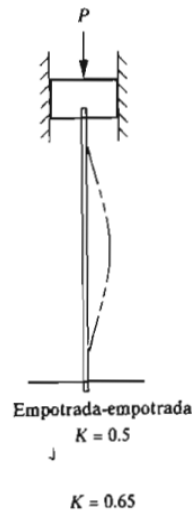


Figura 19. Conexiones en los extremos de la columna (Mott R. L., 2006)

La carga crítica para cada columna fue de 580.752 N, la ecuación (25 indica la longitud efectiva

$$\begin{aligned} Le &= K * L \\ Le &= 0.65 * 35cm \\ Le &= 22.75 cm \end{aligned} \tag{25}$$

Donde:

Le= Longitud efectiva

K= constante que depende del extremo fijo

L= Longitud real

La relación de esbeltez se indica en la ecuación (26

$$Re = \frac{227.5 mm}{r min} \tag{26}$$

La constante de columna se verifica con la ecuación (27

$$\begin{aligned} Cc &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Sy}} \\ Cc &= \sqrt{\frac{2\pi^2 (207000 \frac{N}{mm^2})}{250 \frac{N}{mm^2}}} \\ Cc &= 127.84 \end{aligned} \tag{27}$$

Donde:

Cc=Constante de columna

E=Módulo de elasticidad (ACERO ASTM A36)

Re= Relación de esbeltez

r min = radio de giro mínimo

Se asume columna larga

La ecuación (28 indica la inercia mínima.

$$\begin{aligned}
I_{min} &\geq \frac{(P_{crit})(K * L)^2}{E\pi^2} \\
I_{min} &\geq \frac{(580.752N)(227.5mm)^2}{(207000 \frac{N}{mm^2})\pi^2} \\
I_{min} &\geq 14.71 \text{ mm}^4 \\
I_{min} &\geq 0.0001471
\end{aligned} \tag{28}$$

Conocida la inercia se eligió la mejor opción según en Anexo1 el cual indica un perfil estructural de ángulo doblado 20*20*2 en acero ASTM A36

$$Re = \frac{22.75cm}{0.62cm}$$

$$Re = 36.69$$

Debido a que $Re < Cc$ se procedió el cálculo como columna corta.

La carga crítica está dada por la ecuación (29)

$$\begin{aligned}
P_{cr} &= A * Sy * \left(1 - \frac{(Sy)\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2(E)}\right) \\
P_{cr} &= (73mm^2) * \left(250 \frac{N}{mm^2}\right) \left(1 - \frac{(250 \frac{N}{mm^2})\left(\frac{227.5mm}{6.2mm}\right)^2}{4\pi^2(207000 \frac{N}{mm^2})}\right) \\
P_{cr} &= 15888.42 \text{ N} \\
580.752N &< 15888.42 \text{ N}
\end{aligned} \tag{29}$$

Los resultados muestran que la carga crítica es mayor a la carga calculada de tal manera que el perfil 20*20*2 en acero ASTM A36 es válido para este proyecto.

Análisis estructural columna principal

El análisis estructural de la columna de la estructura principal está diseñado con una sujeción en la parte inferior y una fuerza de 580.752 N aplicada en la cara superior, el material en el cual se realizó la simulación es acero ASTM A36, el factor de seguridad es mayor que 1 asegurando que la estructura no tuvo deformaciones.

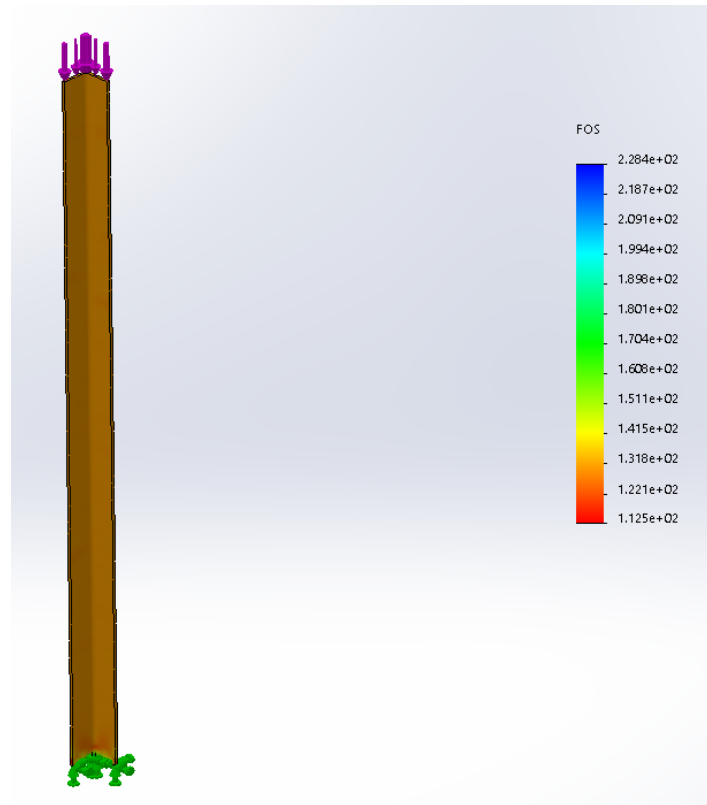


Figura 20. Análisis columna de estructura principal

2.10.7.2. Columnas de tolva

Las columnas de la tolva soportaron los siguientes pesos:

Cantidad de semillas	2500 gramos
Masa de la tolva	3300 gramos
Masa total	5800 gramos

Se procede a calcular la carga crítica como se muestra en la ecuación (30), al igual que las columnas de la estructura principal se usó un factor de diseño $N=4$, la longitud de la columna fue de 57 cm, esta medida se seleccionó para que la distancia entre la tolva y los rodillos sea la adecuada al momento de introducir las semillas.

$$\begin{aligned}
 P_{crit} &= m * g * N \\
 P_{crit} &= 1.45Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 4 \\
 P_{crit} &= 56.898 N
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

La longitud efectiva está dada por la ecuación (31).

$$\begin{aligned}
 Le &= K * L \\
 Le &= 0.65 * 57cm \\
 Le &= 37.05 cm
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

La ecuación (32 indica la constante de columna.

$$\begin{aligned}
 Cc &= \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Sy}} \\
 Cc &= \sqrt{\frac{2\pi^2(207000 \frac{N}{mm^2})}{250 \frac{N}{mm^2}}} \\
 Cc &= 127.84
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

Se asume columna larga.

La ecuación (33 indica la inercia mínima.

$$\begin{aligned}
 Imin &\geq \frac{(Pcrit)(K * L)^2}{E\pi^2} \\
 Imin &\geq \frac{(56.898N)(370.5mm)^2}{(207000 \frac{N}{mm^2})\pi^2} \\
 Imin &\geq 3.82 mm^4 \\
 Imin &\geq 0.000382cm^4
 \end{aligned}
 \tag{33}$$

Conocida la inercia se eligió la mejor opción según en Anexo1 el cual indica un perfil estructural de ángulo doblado 20*20*2 en acero ASTM A36, la relación de esbeltez se indica en la ecuación (34

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{37.05cm}{0.62cm} \\
 Re &= 59.76
 \end{aligned}
 \tag{34}$$

Debido a que $Re < Cc$ se procede el cálculo como columna corta, la carga critica se muestra en la ecuación (35.

$$P_{cr} = A * S_y * \left(1 - \frac{(S_y) \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2(E)}\right)$$

$$P_{cr} = (73\text{mm}^2) * \left(250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) \left(1 - \frac{\left(250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) \left(\frac{370.5\text{mm}}{6.2\text{mm}}\right)^2}{4\pi^2 \left(207000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}\right) \quad (35)$$

$$P_{cr} = 16256.27 \text{ N}$$

$$56.898 \text{ N} < 16256.27 \text{ N}$$

Los resultados muestran que la carga crítica es mayor a la carga calculada de tal manera que el perfil 20*20*2 en acero ASTM A36 es válido para este proyecto.

Análisis estructural columna de tolva

El análisis estructural de la columna de la tolva está diseñado con una sujeción en la parte inferior y una fuerza de 56.898 N aplicada en la parte superior, el material en el cual se realizó la simulación es acero ASTM A36, el factor de seguridad supera el valor de 1 demostrando que el elemento no tendrá deformaciones.

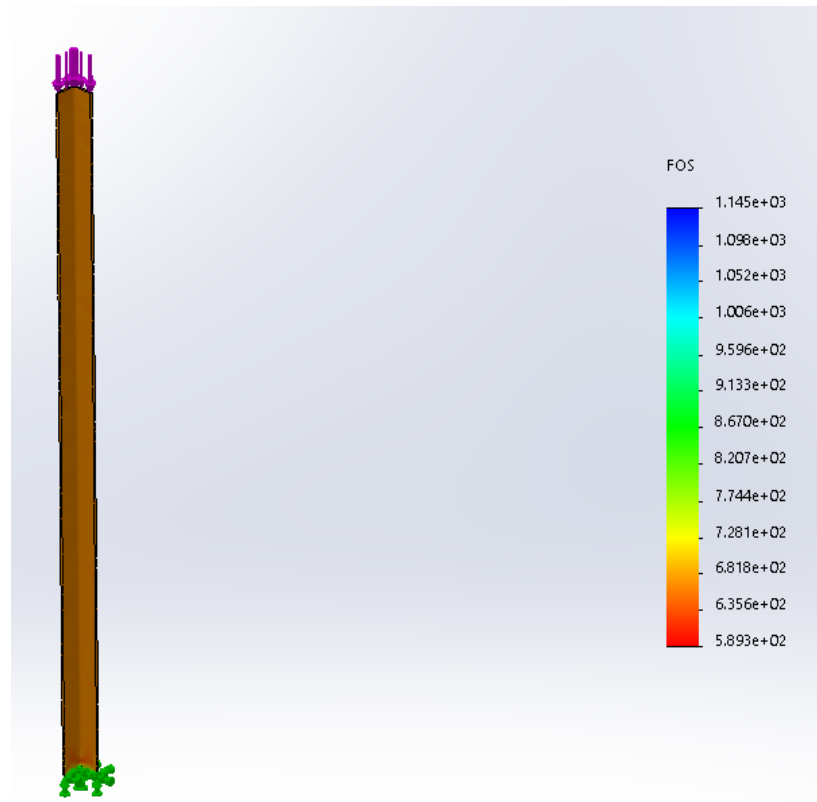


Figura 21. Análisis estructural columna de tolva

2.11. Diseño específico sistema eléctrico

El diseño eléctrico se divide en dos secciones, la parte de potencia y la parte de mando.

2.11.1. Planos de potencia

Los planos de potencia se los puede visualizar a continuación.

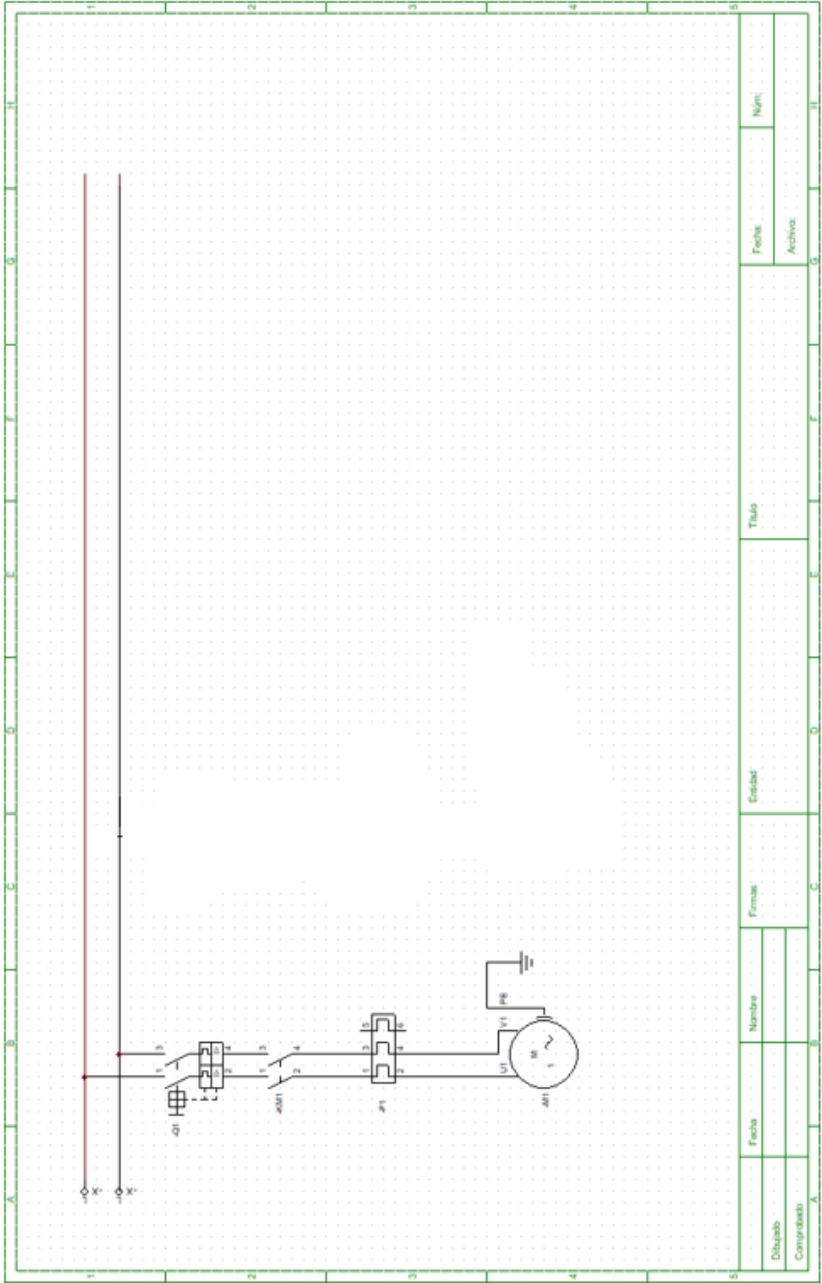


Figura 22. Planos de potencia

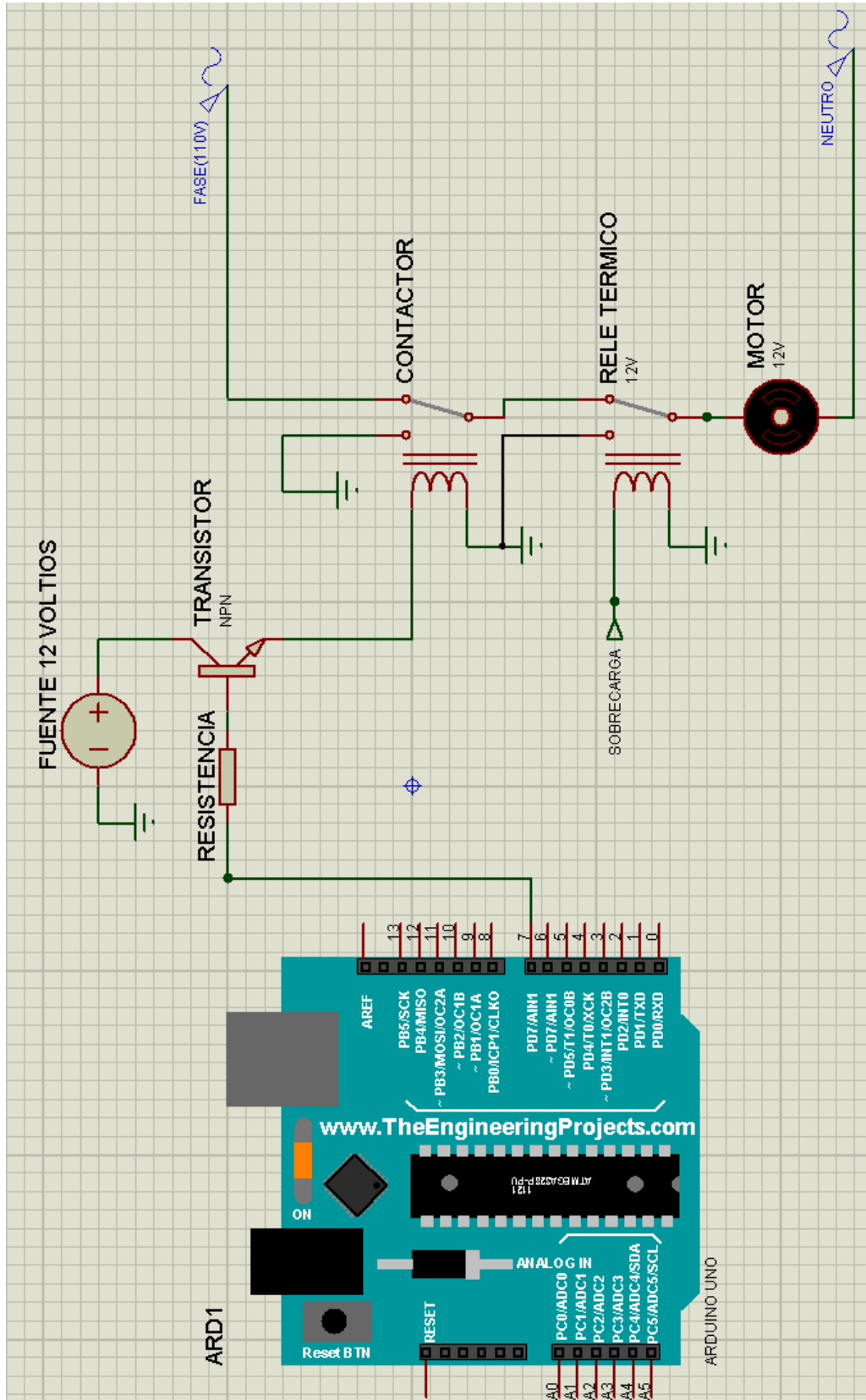


Figura 23. Conexión del motor a sistema de mando

2.11.2. Planos de circuito

Los planos de circuito se los puede visualizar en las figuras 24 y 25 las cuales comprenden la conexión de pulsadores, luces piloto, sensor de distancia, entre otros.

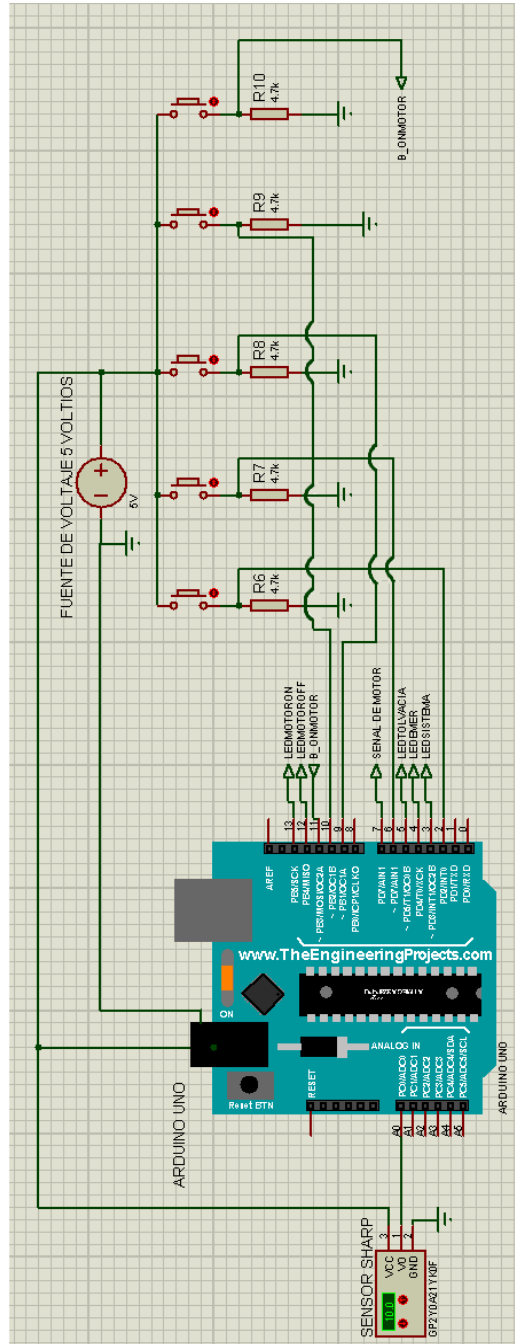


Figura 24. Conexión de pulsadores y sensor de distancia

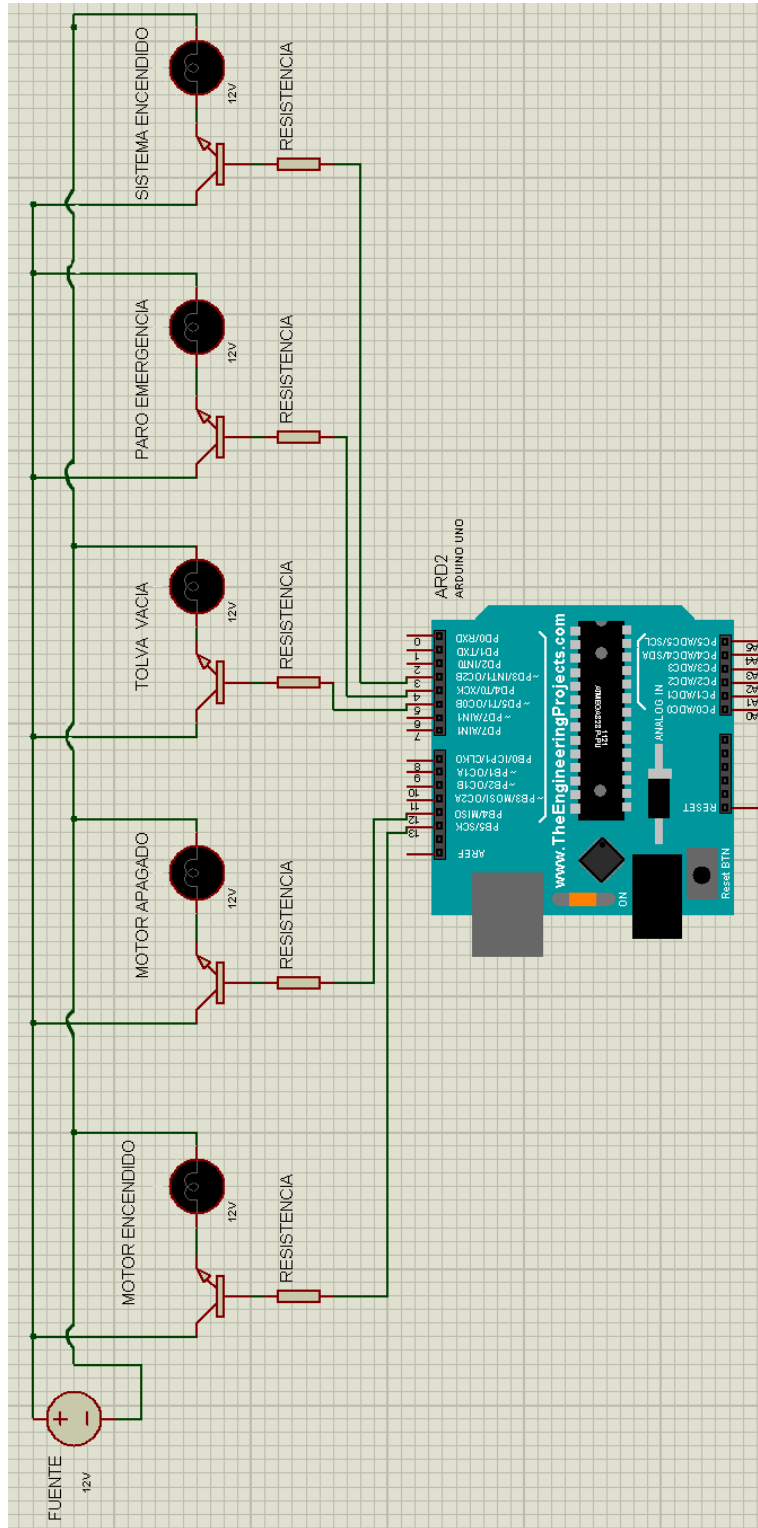


Figura 25. Conexión de luces piloto

2.11.3. Cálculo de resistencias para transistores

La corriente del colector es igual a la de las luces piloto como se muestra en el anexo 8. Con este dato se seleccionó el transistor adecuado el cual fue el 2N3904, la corriente de base se indica en la ecuación (36)

$$\begin{aligned} \beta &= 100 \\ I_b &= \frac{I_c}{\beta} \\ I_b &= 0.06 \text{ mA} \end{aligned} \quad (36)$$

Por ende, la resistencia en la base es igual al voltaje que proporciona el Arduino sobre la corriente de base como se muestra en la ecuación (37).

$$\begin{aligned} R &= \frac{V}{I_b} \\ R &= 83k \Omega \end{aligned} \quad (37)$$

2.11.4. Motor

La selección del motor se la realizó en base a la potencia que este debe transmitir, esta potencia es la misma que generan los engranes para el despulpamiento del macambo por ende la potencia necesaria fue de 1665.96 W, la potencia final se indica en la ecuación (38).

$$\begin{aligned} \text{Potencia final} &= 1665.96 \text{ W} * \frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ W}} \\ \text{Potencia final} &= 2.2 \text{ hp} \end{aligned} \quad (38)$$

Una vez conocida la potencia que necesita el motor se procedió a la elección del mismo y verificar su disponibilidad, la marca elegida es Tenpo que posee las siguientes características.

Tabla4. Características de motor

Voltaje de entrada	110/220 V
Potencia	2.5 HP
Frecuencia	60 Hz
Revoluciones por minuto	500 a 1730 rev/min
Amperaje	21.5/9.4 A

2.11.5. Contactor

Este dispositivo electromecánico permite el paso o la interrupción de la corriente en el circuito de potencia.



Figura 26. Contactor

2.11.6. Luces Industriales

Las luces que fueron incorporadas al sistema debían funcionar a 12 V DC, las luces a usar son mencionadas en la tabla 5.

Tabla5. Luces Industriales

Nº de luz	Indicación
1	Motor Encendido
2	Motor Apagado
3	Sistema Encendido
4	Paro de emergencia
5	Tolva vacía

2.11.7. Pulsadores

Al igual que las luces industriales los pulsadores fueron ubicados en el gabinete, en la tabla 6 se indican los pulsadores a utilizar y el tipo de contacto que poseen.

Tabla6. Pulsadores

N de pulsador	Acción a realizar	Tipo de contacto
1	Encendido del sistema	NA
2	Encendido del motor e inicio del sistema	NA
3	Apagar el sistema	NA
4	Paro de emergencia	NA
5	Salir paro de emergencia	NA

2.11.8. Sensores

Se usó un sensor Sharp este permite saber si un objeto se encuentra presente o no, este sensor permitió saber si la tolva se encuentra con semillas en su interior.



Figura 27. Módulo sensor SHARP GP2Y0A21

2.11.9. Fuente de poder

Para la transformación de voltaje se seleccionó una fuente de poder de 12V/5A 60W con estructura de metal. Las características de esta fuente se presentan en la tabla 7.

Tabla7. Características de fuente de poder

Especificaciones técnicas	Valores
Tensión de entrada	110V/220V
Corriente de salida	5A
Potencia de salida	60W
Material de la carcasa	Aluminio
Temperatura de trabajo	0 - 40°C
Masa	0.12kg

Para la conversión de voltaje a 5V se utilizó un LM2596, este es necesario para el sensor Sharp.

2.11.10. Gabinete eléctrico

El gabinete permitió acoplar todos los elementos electrónicos en un solo lugar de esta manera se evita que los componentes queden a la intemperie, el gabinete seleccionado tiene medidas de 40x40x20.



Figura 28. Gabinete eléctrico.

Ubicación de los componentes

El controlador, la fuente, el circuito general y las protecciones del motor estarán ubicados en la parte trasera del gabinete.

Las luces piloto y los interruptores estarán ubicados en la parte frontal, los detalles de las medidas están adjuntos en el anexo 12.

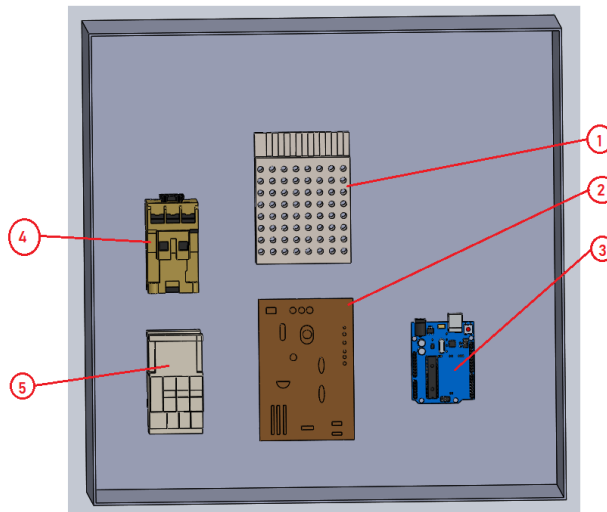


Figura 29. Ubicación de componentes parte trasera

La tabla 8 detalla la ubicación de los componentes en la parte trasera.

Tabla8. Ubicación de componentes parte trasera

1	Fuente de poder
2	PCB
3	Arduino uno
4	Contactador
5	Relé térmico

La figura 30 se muestra la ubicación de los componentes en la parte frontal.

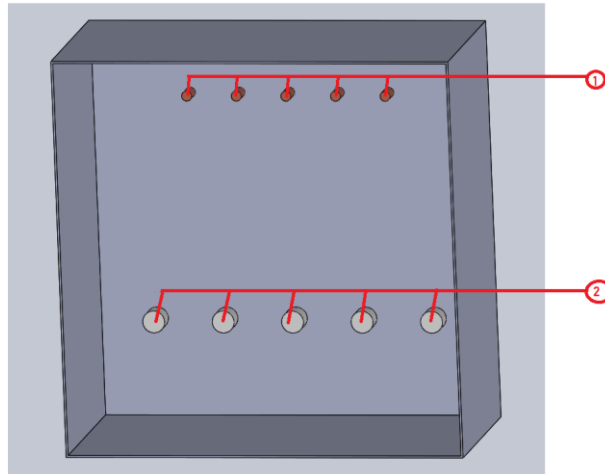


Figura 30. Ubicación de componentes parte frontal

La tabla 9 detalla la ubicación de los componentes en la parte frontal.

Tabla9. Ubicación de componentes parte frontal

1	Luces piloto
2	pulsadores

2.11.11. Potencia del circuito eléctrico

Una vez obtenido todos los componentes eléctricos a utilizar se procedió a calcular la potencia total que suman, todo este procedimiento se lo realizó con el fin de elegir el conductor apropiado para el flujo de la corriente, primero se calculó la potencia del motor como se indica en la ecuación (39).

$$\begin{aligned}
 P_{motor} &= I_{motor} * V \\
 P_{motor} &= 21.5 A * 110 V \\
 P_{motor} &= 2365 W
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

La potencia que ocuparon los siguientes componentes eléctricos está dada en la ecuación (40), el sensor consume una corriente muy pequeña la cual fue despreciable.

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (I_{arduino} + I_{fuente} + (I_{led} * 5)) * 110 V \\
 P_1 &= (1.2 A + 3.2A + (6mA * 5)) * 110 V \\
 P_1 &= 487.3 Watts
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

La potencia total se obtuvo con la ecuación (41 sumando la potencia del motor, y la potencia de los componentes.

$$P_{total} = 2365W + 487.3W \quad (41)$$

$$P_{total} = 2852.3 W$$

Una vez obtenida la potencia total esta permitió conocer la corriente que pasó por el conductor, la cual se indica en la ecuación (42).

$$I_{total} = \frac{P_{total}}{V}$$

$$I_{total} = \frac{2852.3W}{110 V} \quad (42)$$

$$I_{total} = 25.93 A$$

La corriente total permite elegir el conductor adecuado el cual es un conductor AWG 3X10 SE con Norma UL62 los colores integrados en estos conductores son blanco y negro, cada color tiene su utilidad.

- Blanco: Línea 110 V AC
- Negro: Neutro

2.11.12. Selección de cables circuito de mando

Las luces piloto tienen un consumo máximo de corriente de 6 mA, la fuente de poder tiene una corriente de salida máxima de 5 A, el cable seleccionado fue TFF código 208620 este tiene una capacidad de corriente de 7 A asegurando el funcionamiento de los componentes de mando, además cumple con las normas UL 66 / NTC 3203 y la NTE-INEN-2305, el resto de características están presentes en el anexo 14.

2.11.13. Selección de relé térmico

Para conocer que relé térmico se incorporó se usó la ecuación (43):

$$I_{relé} = 1.25 * I_n \quad (43)$$

$$I_{relé} = 26.875 [A]$$

Donde:

I_n = corriente nominal del motor

El relé seleccionado fue Schneider Electric / Square D LRD3353 Relé de sobrecarga bimetálico térmico; 32 A, 600 V, 1 fase, montaje directo. Las características del relé están en el anexo 13.

2.12. Diseño de sistema digital y hardware

Se trabajó con la tarjeta Arduino la cual necesita las siguientes características.

- 5 entradas digitales
- 1 entradas analógicas
- 5 salidas digitales
- Voltaje de funcionamiento de 5 Voltios

El tipo de Arduino seleccionado según las características mencionadas anteriormente es Arduino uno el cual posee las siguientes características.

Tabla10. Características de Arduino uno

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje Operativo	5v
Voltaje de Entrada (Recomendado)	7-12 v
Pines de Entrada/Salida Digital:	14 de las cuales 6 son pwm
Pines de entradas Análogas	6
Memoria Flash	32 KB (0.5KB es usado por Bootloader)
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Velocidad del reloj	16 MHZ

La programación se la realizó en su propio entorno basado en lenguaje C la cual se encuentra en el anexo 5.

En la tabla 11 se detallan los pines utilizados los cuales cuentan con pines de entrada, salida, digitales y analógicos.

Tabla11. Pines utilizados

PINES DIGITALES	ACCION A REALIZAR
2	Botón paro de emergencia
3	Led sistema encendido/apagado
4	Led paro de emergencia
5	Led tolva vacía
7	Encender/apagar motor
8	Botón encender sistema
9	Botón apagar paro de emergencia
10	Botón Apagar sistema
11	Botón Encender motor
12	Led motor apagado
13	Led motor encendido
PINES ANALOGICOS	ACCION A REALIZAR
A0	Sensor de distancia

2.13. Diseño específico sistema de control

El equipo debió contar con un sistema de control que permita mantener en orden secuencial las acciones a realizarse, también debió controlar en caso de que una opción sea requerida en medio de una parte del proceso, el diseño de control contó con funciones de prohibición en caso de que no se cumplan todos los pasos planteados, el botón de emergencia fue analizado en cada parte del proceso en caso de que ocurra algún percance.

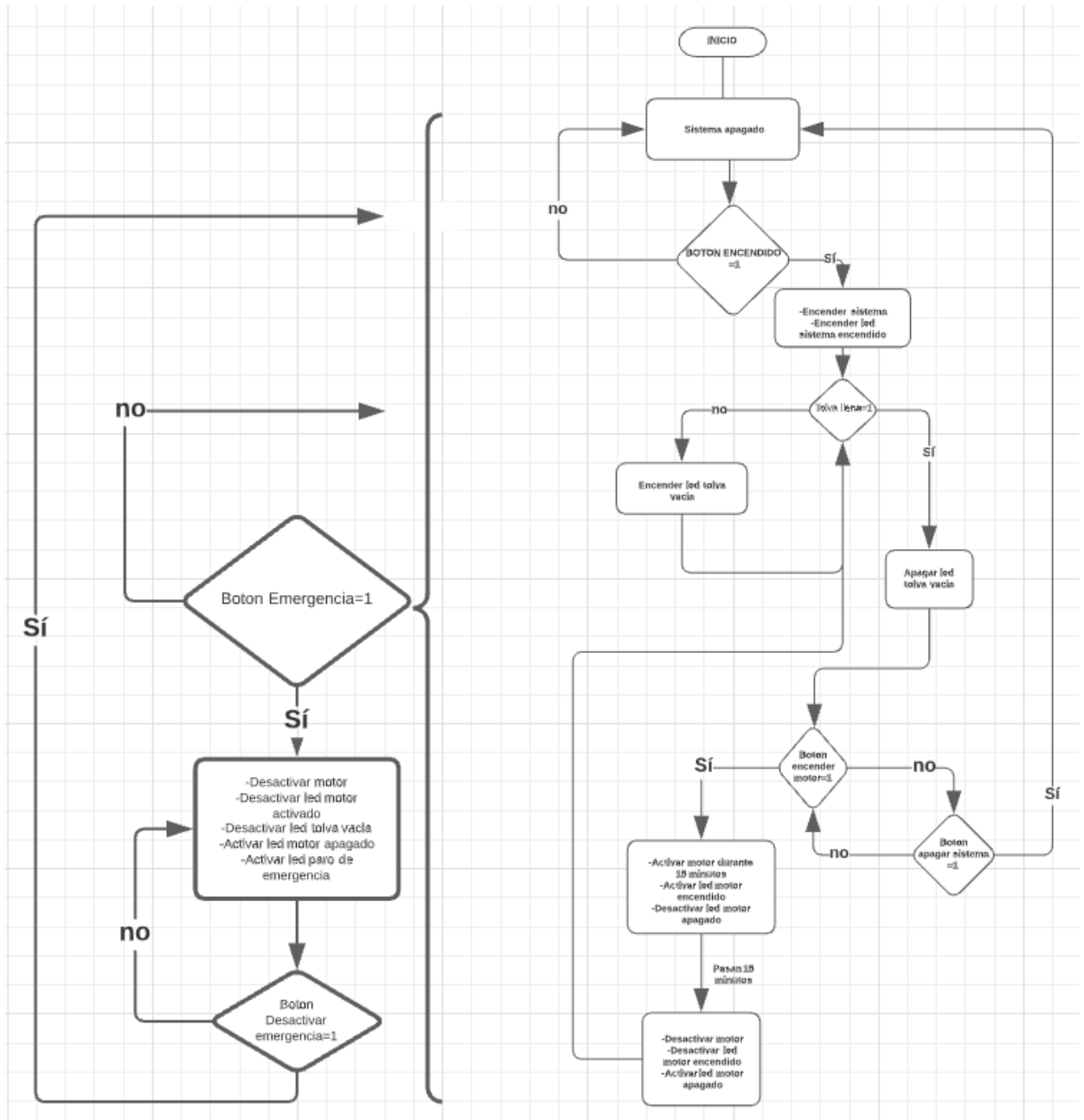


Figura 31. Diagrama de flujo control del sistema.

El sistema de control seleccionado es de lazo abierto, esto debido a que una vez los sensores llegan al setpoint establecido el proceso puede empezar hasta finalizar su propósito.



Figura 32. Control del sistema

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características de la máquina

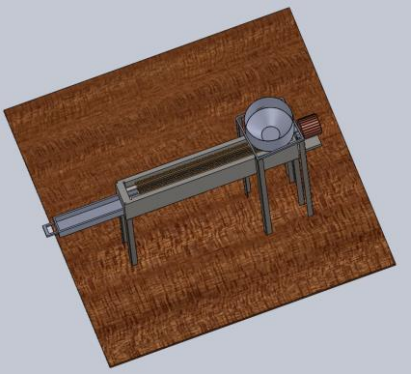
Es una máquina industrial capaz de retirar el mucilago de la semilla del macambo. El funcionamiento de la máquina permite al usuario seguridad y un uso fácil, las semillas se las ingresa en una tolva y luego el operario trabaja solo desde el tablero electrónico.

Al tratarse de un proceso alimentario, todos los elementos cumplen con las normas de higiene para máquinas.

La ficha técnica de la máquina se presenta en la tabla 12.

Tabla 12. Ficha técnica de la máquina.

Producción máxima por hora	Kg	10
Alimentación	V	110
Consumo nominal	A	26
Potencia nominal	W	2860
Masa	Kg	47
Dimensiones [cm]	Alto	83
	Ancho	23
	Largo	64



3.2. Análisis de costos

3.2.1. Costos de materiales

La máquina fue diseñada con materiales que estén disponibles en el país, los cuales son detallados a continuación.

Tabla 13. Materiales de la máquina

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Total [\$]
Motor eléctrico weg 3500 rpm 2hp		1	211.20	211.20
Contactador SMC-12Z		1	7.51	7.51
Relé Schneider Electric		1	55	55
Arduino uno R3		1	14	14
Cable tff 18 awg color rojo	m	5	1.70	8.5
Cable tff 18 awg color negro	m	5	1.70	8.5
Módulo sensor SHARP GP2Y0A21		1	15	15
Luz piloto 12 V		5	2.50	12.50
Pulsador de paro industrial		1	7.50	7.50
Pulsador industrial		4	4.50	18
Fuente 12 V 60 W		1	5.50	5.50
Cable AWG 3X10 rojo	M	5	2.74	13.70
Cable AWG 3X10 negro	m	5	2.74	13.70
Gabinete eléctrico 20*20		1	30	30
Módulo Relé		1	5	5
Módulo regulador lm2596		1	3	3
Enchufe monofásico		1	2.30	2.30
Transistores 2N3904		5	0.20	1
Resistencias 83K		5	0.05	0.25
Angulo L "20*2"	6m	1	9.91	9.91
Engranés rectos		2	40	80
plancha de acero 304 espesor 0.6mm		1	24.80	24.80
Plancha de acero 304 espesor 1cm		1	41.33	41.33
rodamiento FAG serie 6002		2	2.01	4.02
Eje de acero 15 mm 304	1.2m	2	21.99	43.98
Cepillos laterales		16	0.50	8
Pasador acero inoxidable 5mm	mm	2	0.40	0.80
Perno acero inoxidable 1cm	cm	23	0.80	18.40
Tuerca acero inoxidable 1cm	cm	23	0.60	13.80
Cepillos rotatorios		6	28.50	171
			TOTAL	848.2

3.2.2. Costo de utilización de equipos

Los costos requeridos por los equipos utilizados son los siguientes.

Tabla 14. Costos requeridos

DESCRIPCIÓN	COSTO POR HORA	HORAS DE EQUIPO	TOTAL
Taladro	0.75	6	4.50
soldadora	3	2	6
torno	10	1	10
dobladora	1.40	4	5.6
		Total	26.10

3.2.3. Costo de mano de obra

Para el acople de las piezas del sistema se requirieron varios especialistas, los cuales son mencionados a continuación.

Tabla 15. Costo de mano de obra

DESCRIPCIÓN	COSTO POR HORA	HORAS-HOMBRE	TOTAL
Soldador	4	8	32
Mecánico	3.5	6	21
Ayudante	3	5	15
Tornero	3.5	1	3.5
Pintor	2.50	4	10
		Total	81.50

3.2.4. Costo de transporte

El costo de transporte se detalla a continuación.

Tabla 16. Costo de transporte

DESCRIPCIÓN	COSTO
Costo de transporte	30

3.2.5. Costo total

El costo total se puede contemplar en la siguiente tabla.

Tabla 17. Costo total

DESCRIPCIÓN	COSTO
Materiales	677.20
Equipos	26.10
Mano de obra	81.50
Transporte	30
Total	985.8

3.2.6. Costo de consumo eléctrico al mes

La potencia total de la máquina está reflejada en sus componentes eléctricos y el motor.

La máquina puede trabajar 4 horas al día, 5 días a la semana, el consumo total de la máquina se detalla a continuación en la ecuación (44).

$$\begin{aligned} \text{Consumo mensual} &= 2852.3 \text{ [W]} * 4[\text{h/día}] * 20[\text{días}] \\ \text{Consumo mensual} &= 228.18 [\text{Kwh/mes}] \\ \text{Consumo mensual} &= 228.18 \left[\frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \right] * 0.092 [\$/\text{Kwh}] \\ \text{Costo mensual} &= 20.99 \left[\frac{\$}{\text{mes}} \right] \end{aligned} \quad (44)$$

3.3. Pruebas y verificación

Para validar los requerimientos funcionales se implementó un prototipo físico en el cual se hicieron varias pruebas, el prototipo físico consta de las siguientes características.

- 2 cepillos rotatorios con una longitud de 45 cm cada uno, su diámetro incluido cerdas es de 6cm, el eje individual tiene un diámetro de 1.2cm.
- El motor incorporado en el prototipo tiene una velocidad máxima de 1800 RPM y 525 pulg.-lb de torque
- La estructura donde van incorporados los cepillos tiene las siguientes medidas
 - Largo= 50cm.
 - Ancho= 25cm.
 - Altura= 15 cm.

Las paredes laterales e inferiores están cubiertas por cepillos que ayudan en la limpieza del mucilago.

- Dos engranes que permiten transmitir la potencia del motor con las siguientes características.
 - Módulo= 4.
 - Número de dientes= 16.
 - Ancho de cara= 2,5cm.
 - Diámetro nominal interno= 12mm.

- El sistema eléctrico fue incorporado en un gabinete de 20*30 cm con una profundidad de 10 cm.
 - El microcontrolador incorporado fue Arduino uno, pulsadores genéricos y leds que simularon las luces piloto.
 - Para la simulación del sensor de distancia se usó un potenciómetro que envía la señal analógica al microcontrolador.
- El prototipo físico se muestra en la ilustración 33.



Figura 33. Prototipo físico

3.3.1. Pruebas realizadas

- La primera prueba realizada en el prototipo consistió en analizar la cantidad de mucilago retirado en 1 minuto se realizaron 10 ensayos y en cada ensayo se usó 10 semillas.

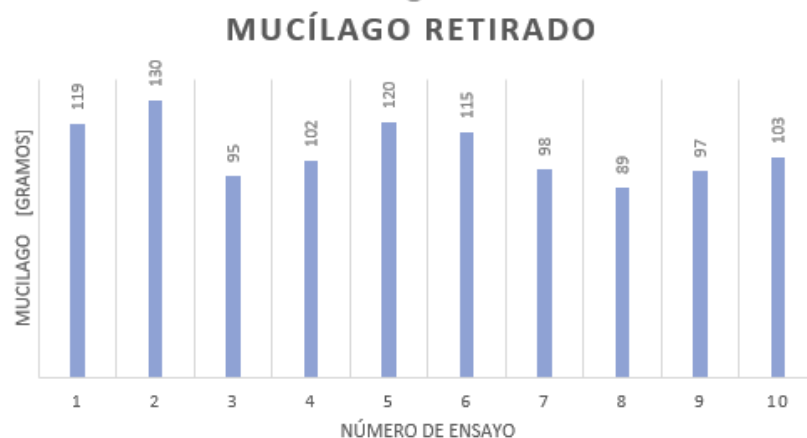


Figura 34. mucilago retirado.

Los resultados se obtuvieron con una balanza en la cual se pesaron las semillas antes y después del proceso, con estos valores queda comprobado que el

sistema abarca el requerimiento de 10 Kg/h ya que el sistema soporta 20 semillas por minuto.



Figura 35. Resultados ensayo

- La segunda prueba consistió en aplicar diferentes velocidades al motor y observar si la semilla sufrió daños internos sobrepasando el mucilago, se aplicaron 10 ensayos y en cada ensayo se usó 10 semillas.

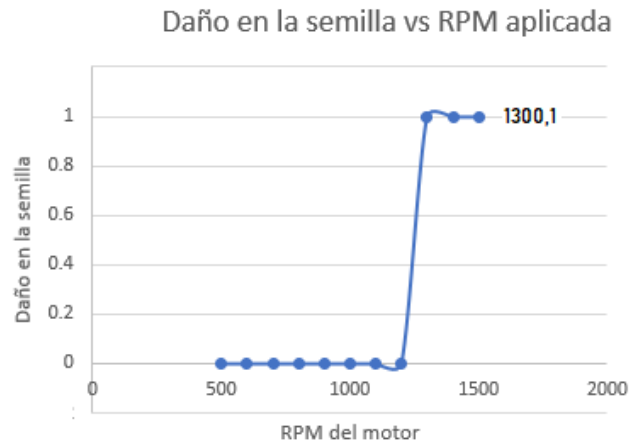


Figura 36. Daño en las semillas vs RPM aplicada

El mucilago es retirado correctamente hasta una velocidad de 1299 RPM, al superar este valor las cerdas de los cepillos rotatorios empiezan a dañar a las semillas dejándolas obsoletas para el proceso requerido.

Uno de los daños que se presentó demuestran pequeñas quemaduras debido a la alta velocidad angular, otro daño que se encontró fue que debido a la velocidad

angular la semilla tendía a desbordar pequeños pedazos, en cada ensayo los daños se presentaron entre una y dos semillas.



Figura 37. Daños presentados en la semilla

- La prueba número 3 consistió en cubrir la parte superior de la estructura para analizar si la extracción del mucilago era más efectiva, las pruebas se las realizó con 10 semillas por ensayo, se realizaron 10 ensayos con una duración de 1 minuto cada uno.

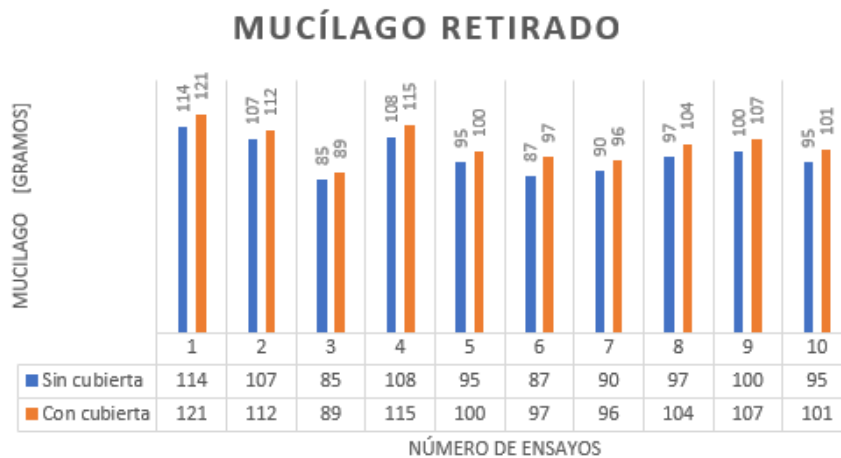


Figura 38. Resultados de máquina con cubierta vs sin cubierta

Los resultados indican un mejor despulpamiento cuando se introduce una cubierta en el sistema. La mejoría en la cantidad despulpada es del 5%.

- La prueba número 4 consistió en el tiempo que le toma al prototipo despulpar 10 semillas, la figura muestra el porcentaje de despulpamiento y el tiempo que este le tomo, se hicieron 10 pruebas con 10 semillas en cada ensayo.

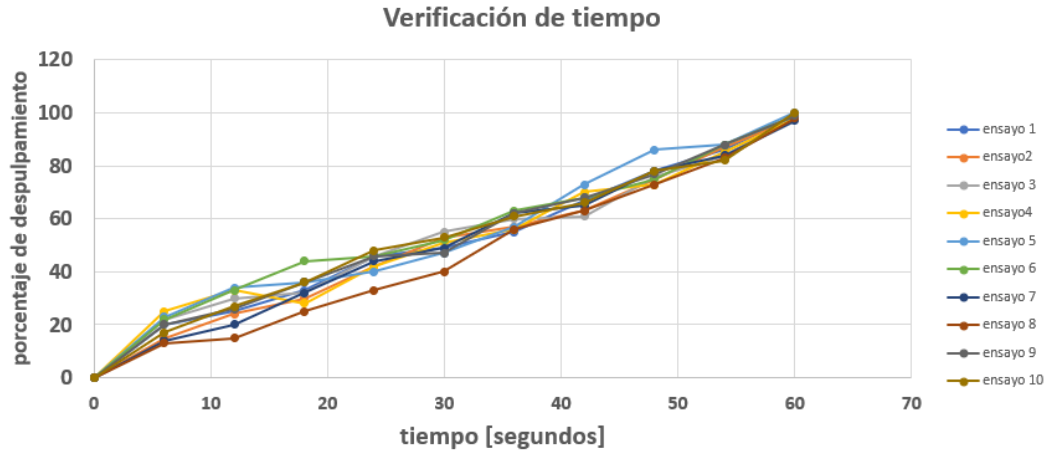


Figura 39. Tiempo de despulpamiento

El tiempo que le tomó a las semillas ser despulpadas varía entre 40 y 60 segundos, si se aplica un tiempo menor a 30 segundos el porcentaje de despulpamiento disminuirá por debajo del 50 %.

A continuación, se muestran unas imágenes de los resultados a 60 segundos.



Figura 40. Resultado de despulpamiento

3.3.2. Verificación del aumento de producción

La verificación de aumento se basó en el porcentaje de diferencia que se obtiene entre la producción manual y la producción semiautomática. En la tabla mostrada a continuación se visualiza la producción manual.

Tabla 18. Producción manual

Tiempo de despulpamiento [minutos]	Masa [g] despulpada
15	200
30	400
45	600
60	800

La cantidad de semillas despulpadas en el proceso manual fue 800 [gramos/hora].

En la tabla número 19 se muestra la producción obtenida por la máquina en el proceso semiautomático.

Tabla 19. Proceso semiautomático

Tiempo de despulpamiento [minutos]	Masa [g] despulpada
15	2500
30	5000
45	7500
60	10000

La cantidad de semillas despulpadas en el proceso semiautomático fue 10 000[gramos/hora].

A continuación, se puede visualizar la mejora en la producción de despulpamiento de macambo comparando el proceso manual vs el proceso realizado a máquina.

Tabla 20. Mejora en la producción

Proceso Manual [gramos/hora]	Proceso Semiautomático [gramos/hora]	Diferencia [unidades]	Incremento [%]
800	10 000	9200	1150

Con estos valores se puede apreciar el incremento en la producción el cual es de 11.5 veces mayor a la producción manual

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Conforme a los requerimientos planteados por la empresa Canopy Bridge referido a la mejora en el despulpamiento del macambo, se logró diseñar, y validar los distintos elementos de un sistema mecatrónico teniendo como base una producción de 10 [Kg/h] por lote, mediante pruebas en un prototipo se logró comprobar el despulpamiento de la semilla, la máquina obtuvo un aumento de 1150 % respecto al proceso manual.
- Las pruebas a diferentes revoluciones mostraron cambios significativos en el proceso de despulpamiento, al superar las 1299 RPM la semilla presento daños físicos dando lugar a una velocidad angular máxima, mientras el sistema se mantenga debajo de esta velocidad el proceso de despulpamiento funciona acorde lo redactado.
- El sistema eléctrico/electrónico fue incorporado en un gabinete metálico, para comprobación de su uso y funcionamiento se dispuso de luces piloto, sensor de distancia y pulsadores industriales los cuales conectados al microcontrolador funcionaron en la forma esperada, el sistema de control tiene un orden secuencial que pudo ser interrumpido en cualquier momento gracias al paro de emergencia.
- La implementación en conjunto del sistema eléctrico/electrónico, el sistema mecánico y el sistema de control permitieron obtener un sistema mecatrónico que mejoró la extracción del mucilago en las semillas de macambo, además permitió reducir costes a la empresa Canopy Bridge.
- Las pruebas realizadas en el prototipo dieron como resultado un mejor desempeño cuando los ejes giran expulsando la semilla hacia la parte superior, ya que estas tienen más movilidad y los rodillos retiran de una mejor manera el mucilago, asimismo cuando los ejes giran hacia la parte inferior la semilla tiene una mayor fricción lo que causa que en algunos casos la semilla presente daños físicos.

Recomendaciones

- Debido a que los ejes giran hacia la parte superior de la máquina se recomienda usar una cubierta transparente ya que el mucilago desprendido puede salir de la zona de trabajo, además la cubierta proporciona un mayor contacto entre las semillas con mucilago y los cepillos que desprenden el mismo.
- El diseño mecánico de los ejes fue creado con un máximo de 20 semillas para un correcto funcionamiento, a pesar de que en el análisis mecánico el sistema soporta cargas mayores se recomienda introducir 20 semillas cada ciclo de despulpamiento.
- Las cerdas de los cepillos tienen 2 cm de largo sin ninguna forma en especial, se recomienda usar cepillos con forma helicoidal de esta manera las semillas tendrán una caída uniforme y al ir girando conforme los cepillos giran el desprendimiento del mucilago se daría de una forma más efectiva, la ventaja del movimiento helicoidal es que es tanto rotatorio como traslatorio.
- Ya que la máquina se puede dividir en dos partes, se recomienda la limpieza de los cepillos una vez finalizado el proceso diario, esto con el fin de que el mucilago no se acumule y cree un proceso más lento para el desprendimiento del mismo en las semillas.
- Debido a que las semillas varían de tamaño según la época de cosecha o respecto a la mazorca, se recomienda crear un sistema ajustable respecto a la distancia de centros de los ejes, de esta manera se puede tener más fricción entre las semillas más pequeñas obteniendo un mejor desprendimiento del mucilago sin que la semilla se vea comprometida.

Bibliografía

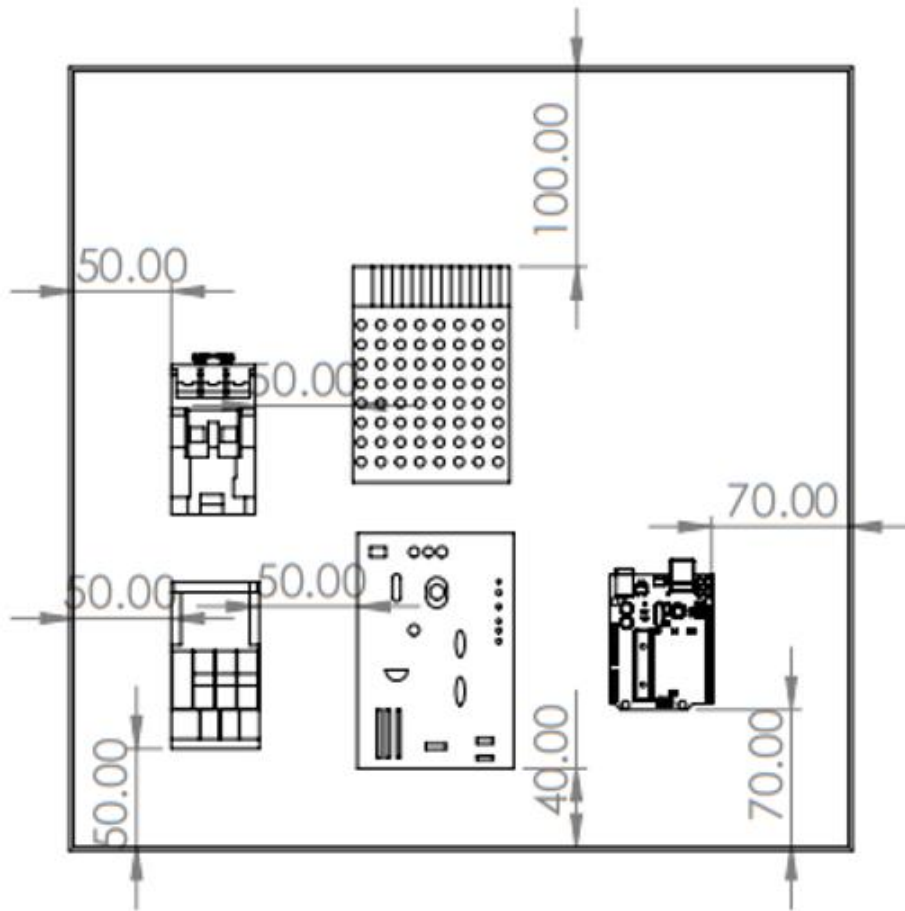
- ACEROS INDUSTRIALES. (15 de 01 de 2020). INOXIDABLE 304 TUBERIA CELULADA. Obtenido de Aceros industriales: <https://www.acerosindustrialeshgb.com/>
- Allan H. Robbins, W. C. (2008). *Analisis de circuitos*. Cengage Learning.
- Askeland, D. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tercera Edición. Ed. International Thomson, 1998.
- BARRERA, N. A. (2020). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA LA. (*Tesis*). UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. BOGOTÁ D.C
- Beer, F. P. (2010). *Mecanica vectorial para ingenieros dinamica*. MC Graw Hill
- Bladimir, B. A. (2019). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESPULPADORA DE FRUTAS CON UNA CAPACIDAD DE 500 kg/h PARA LA EMPRESA PRODUCTOS SUIZA DAJED CIA. LTDA. (*Tesis*). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato.
- Buelvas, H. D., (2011). GUÍA DE OPTIMIZACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LOS MOTORES DE MEDIA TENSIÓN EN LA CENTRAL TERMOGUAJIRA. (*Tesis*). UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, Cartagena.
- Callister, W. (1996). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tomo II. Reverté.
- Cancio, I. M. (2016). *Analisis de circuitos electricos alimentados con corriente directa*. Grin verlag.
- Casillas, M. A. (2016). *Mecanica vectorial para ingenieros estática*. Palibrio.
- DiStefano, S. y. (1992). *Retroalimentacion y sistemas de control*. MC Graw Hill.
- Enrique Sanchis, c. (2002). *Sistemas electronicos digitales*. Maite Simon.
- Floyd, T. L. (2006). *Fundamentos de sistemas digitales*. Pearson Education.
- Gaviño, R. H. (2010). *Introduccion a los sistemas de control*. Pearson.
- González, C. A. (2010). *Manual Cultivo de Macambo*. Saúl Pinedo Flor.
- Hibbeler.R.C. (2004). *Mecanica vectorial para ingenieros*. Pearson Education.
- Juan Manuel Escaño Gonzales, J. G. (2019). *Integracion de sistemas de automatizacion industrial*. Lara Carmona.

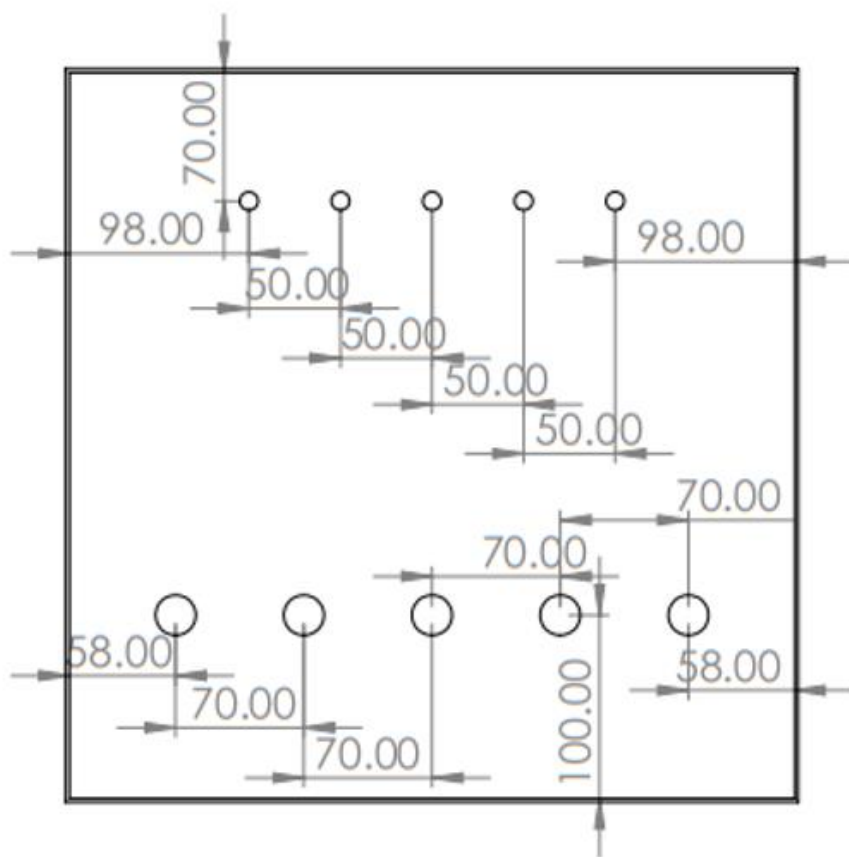
- Loi, N. G. (2016). *Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes Recursos Informaticos*. ENI.
- López, S. (2009). Desarrollo de un plan de implementación de buenas prácticas de manufactura en una planta procesadora de pulpa de frutas. (*Tesis*). Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- Mendez, R. M. (2013). *Sistemas de control moderno volumen I*. Tecnológico de Monterrey.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Pearson Education.
- Myszka, D. H. (2012). *Maquinas y mecanismos*. Pearson Education.
- Ned Mohan, T. M. (2009). *Electronica de potencia Convertidores, aplicaciones y diseño*. MC Graw Hill.
- OGATA, K. (1987). *Dinamica de sistemas*. Prentice Hall.
- P.Beer, F. (2010). *Mecanica de materiales*. MC Graw Hill.
- Peña, C. (2020). *Arduino IDE: Domina la programación y controla la placa*. Creative Andina Corp.
- Puentes, J. A. (1999). *Control de motores electricos*. Control de motores. Consultado el 03 de enero de 2021. <https://www.Kimerius.com>.
- Raffino, M. E. (14 de julio de 2020). *Concepto de Nylon*. Concepto de. Consultado el 20 de diciembre de 2020. <https://concepto.de/nylon/>.
- Reyes, L. R. (2017). *Automatización de la agricultura por medio de la mecatrónica con energía solar*. Grin Verlag.
- Ruiz, A. S. (2010). *Guía practica de sensores*. Cedro.
- RUIZ, J. (1993) *Alimentos del bosque amazónico: Una alternativa para la protección de los bosques tropicales*. ORCYT.
- Vidriales, C. C. (2016). *Automatización fundamentada II*. Carlos Castaño Vidriales.
- Vidriales, C. C. (2018). *Automatización fundamentada III*. Carlos Castaño Vidriales.

ANEXOS

ANEXO 1

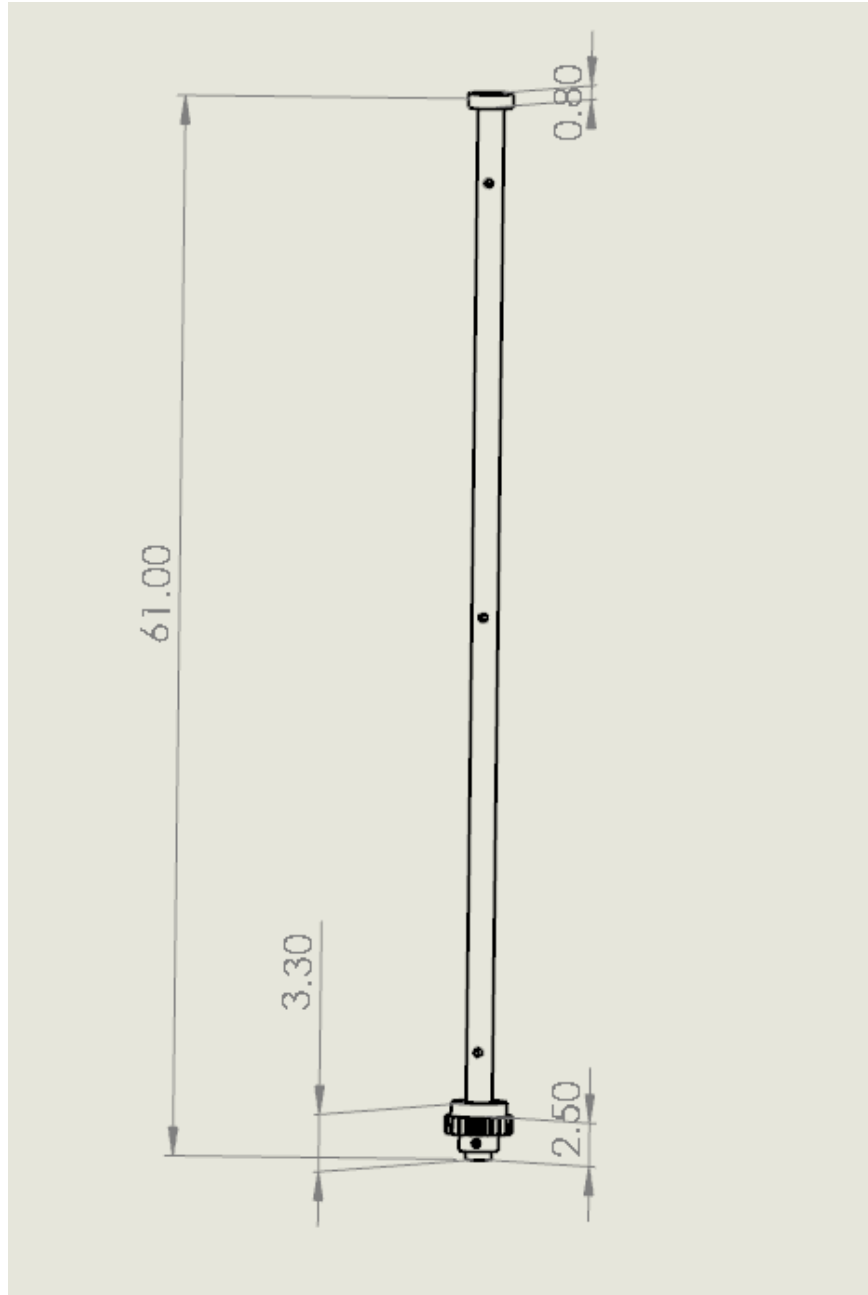
UBICACIÓN DE COMPONENTES





ANEXO 2

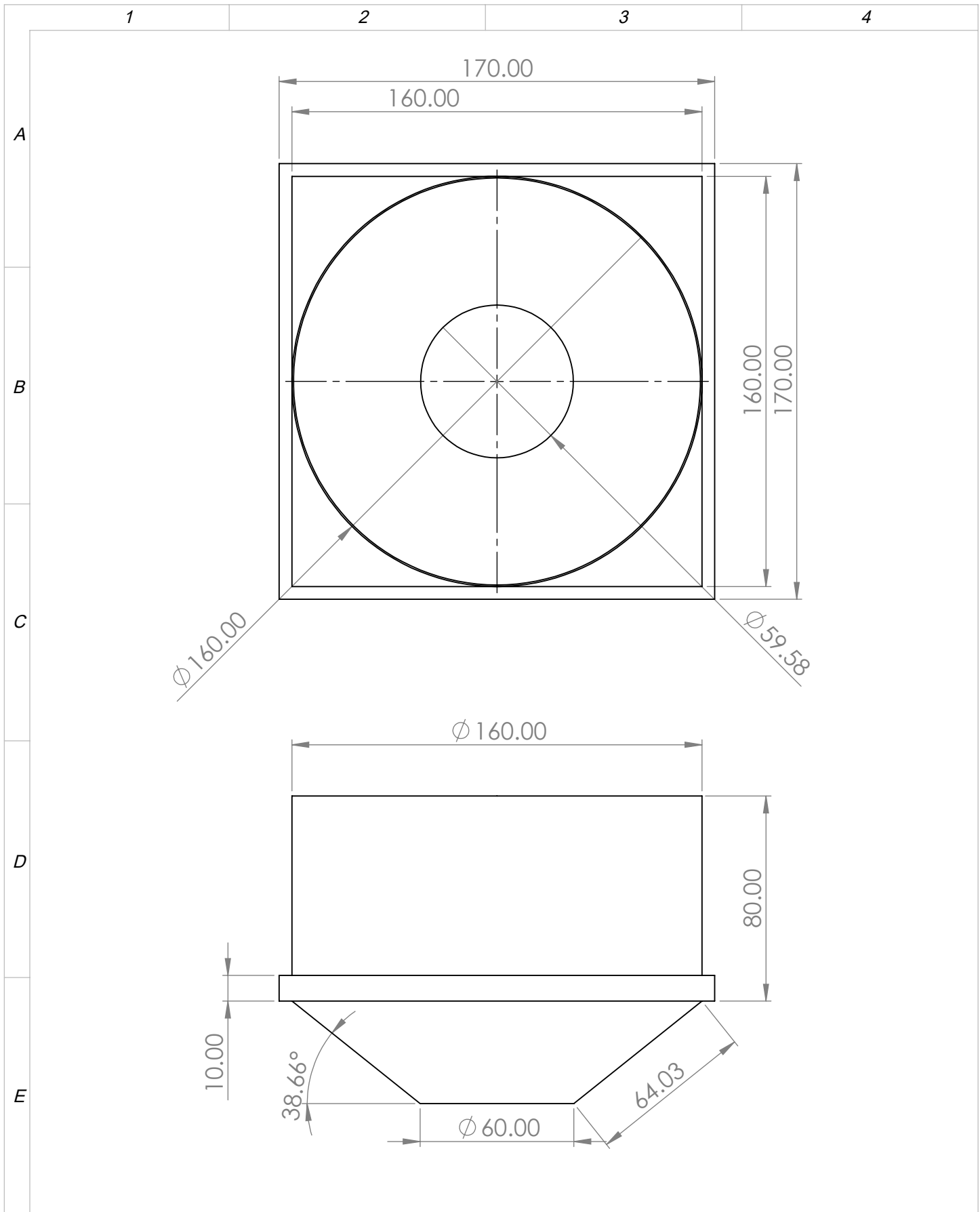
UBICACIÓN DE COMPONENTES EN EL EJE




ANEXO 3

PLANOS

Los planos de la máquina están detallados en las siguientes páginas, sus medidas están situadas en el sistema internacional.



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	<h1>TolvaCircular</h1>	
				Dibujado	3/2/2021		
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	ESCALA:
							1:5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				HOJA:
							A4

1

2

3

4

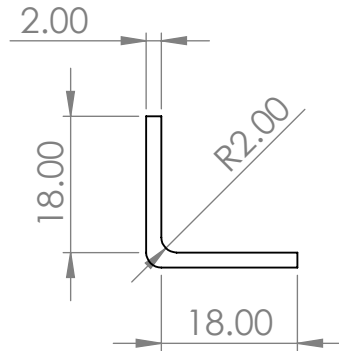
A


B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
					Fecha	Nombre	Columna Tolva ESCALA: 1:5
				Dibujado	12/22/2020		
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

A

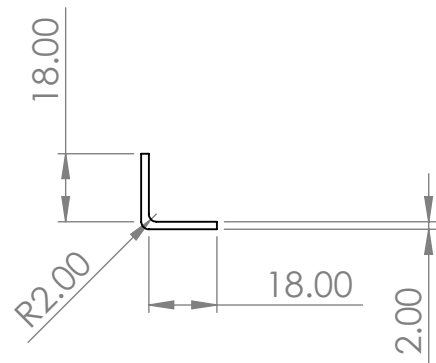
B

C

D

E

350.00



TOLERANCIA:
± 0.1

PESO [Kg]:

MATERIAL:

Fecha

Nombre

Dibujado 3/5/2021

Revisado

Aprobado

Columna Principal

ESCALA:

1:5

FIRMA / EMPRESA:

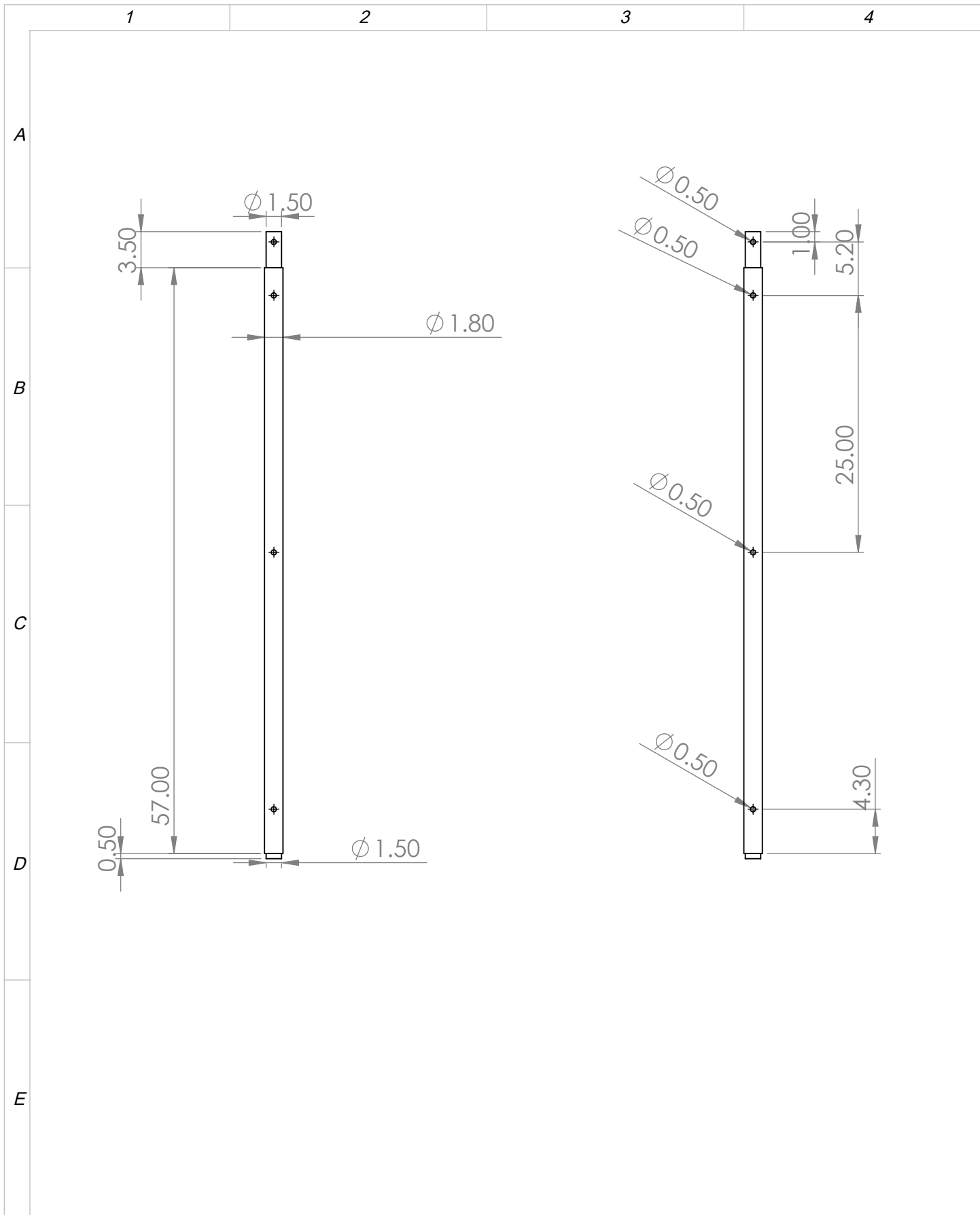
DIBUJO Nº:


HOJA:

A4



Edición	Modificación	Fecha	Nombre



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	3/26/2021		1:10
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

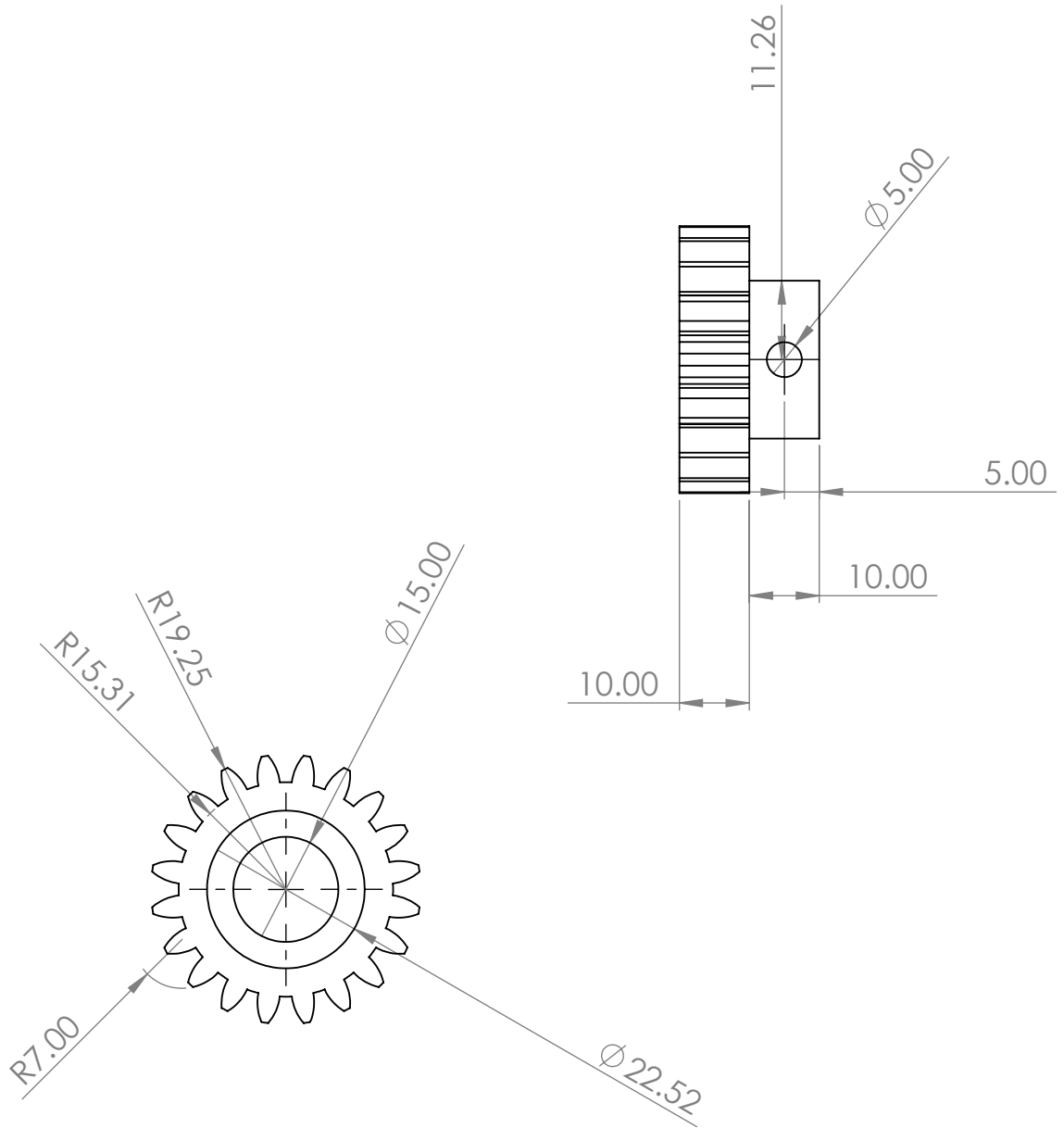
A

B

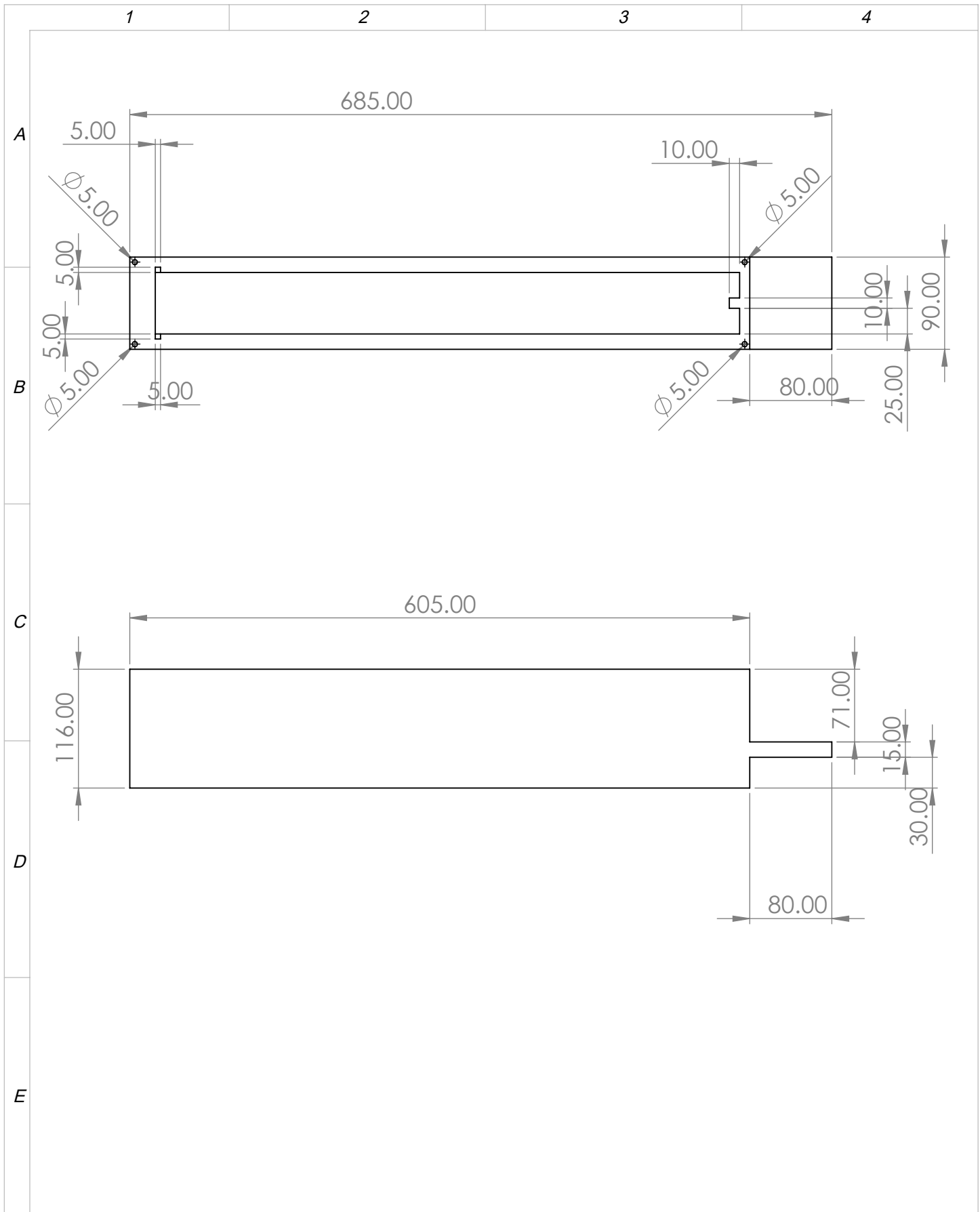
C


D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	<h1>Engrane</h1>	ESCALA:
			Dibujado	3/4/2021			1:1
			Revisado				
			Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	EstructuraP1	
				Dibujado	3/5/2021		
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

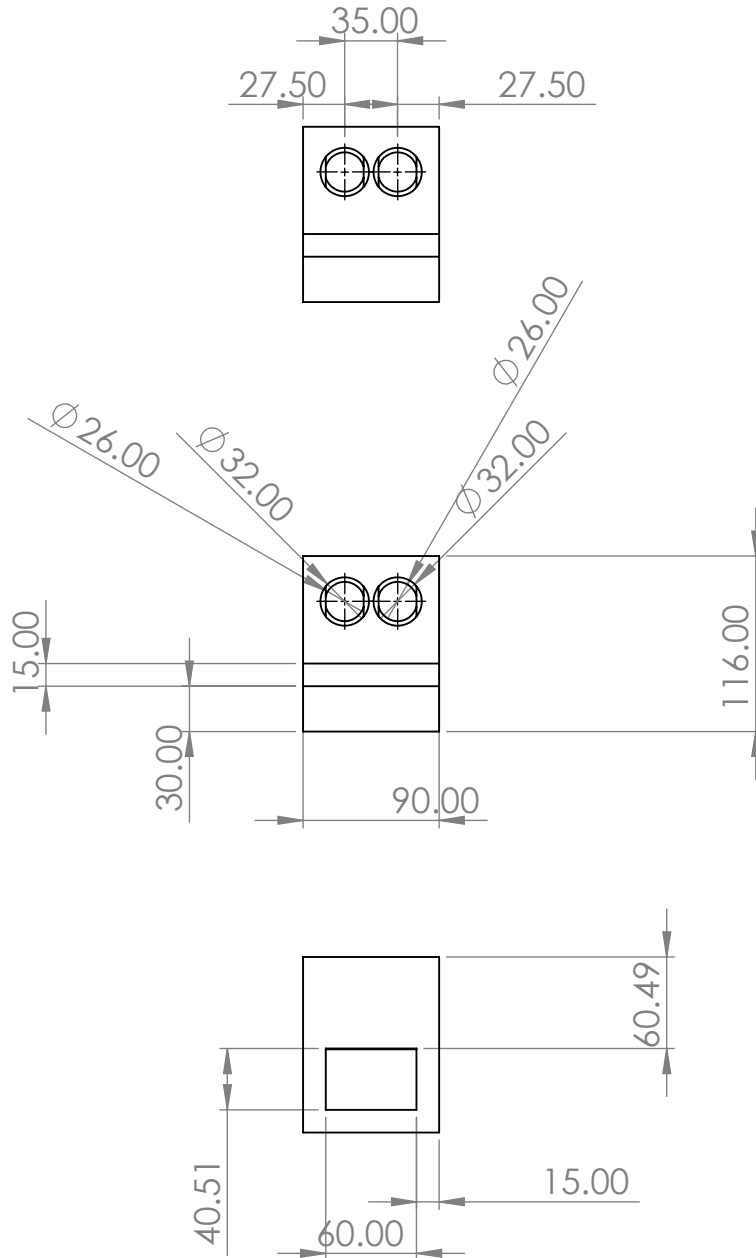
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	<h1>EstructuraP2</h1>	ESCALA:
				Dibujado 3/5/2021			1:10
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

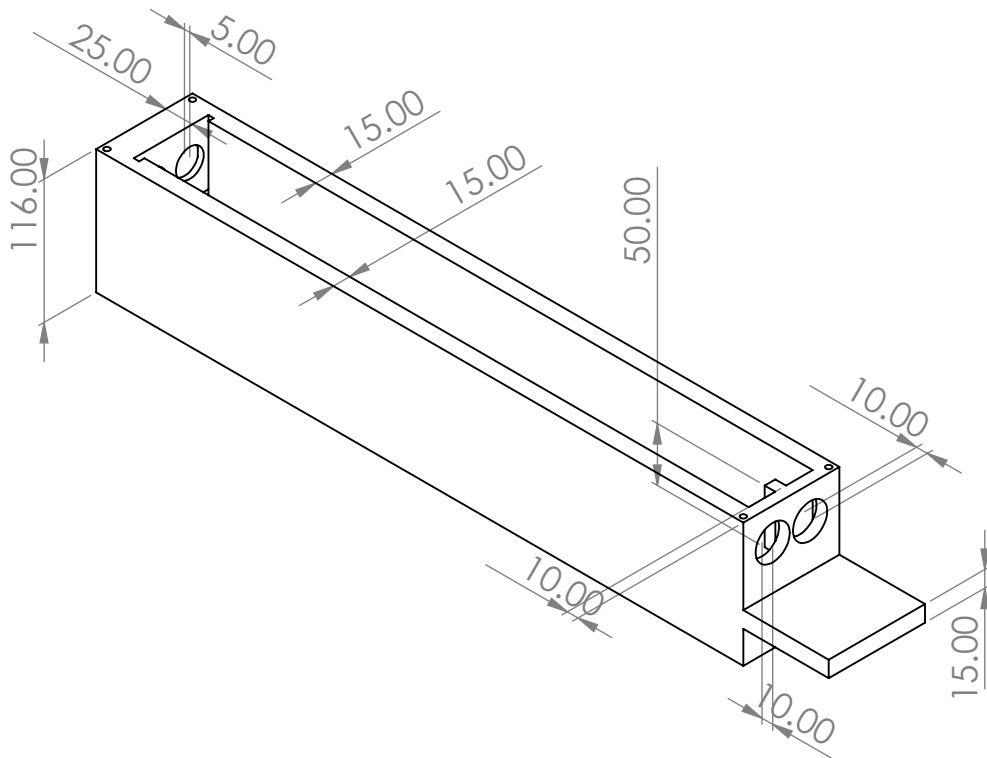
A

B

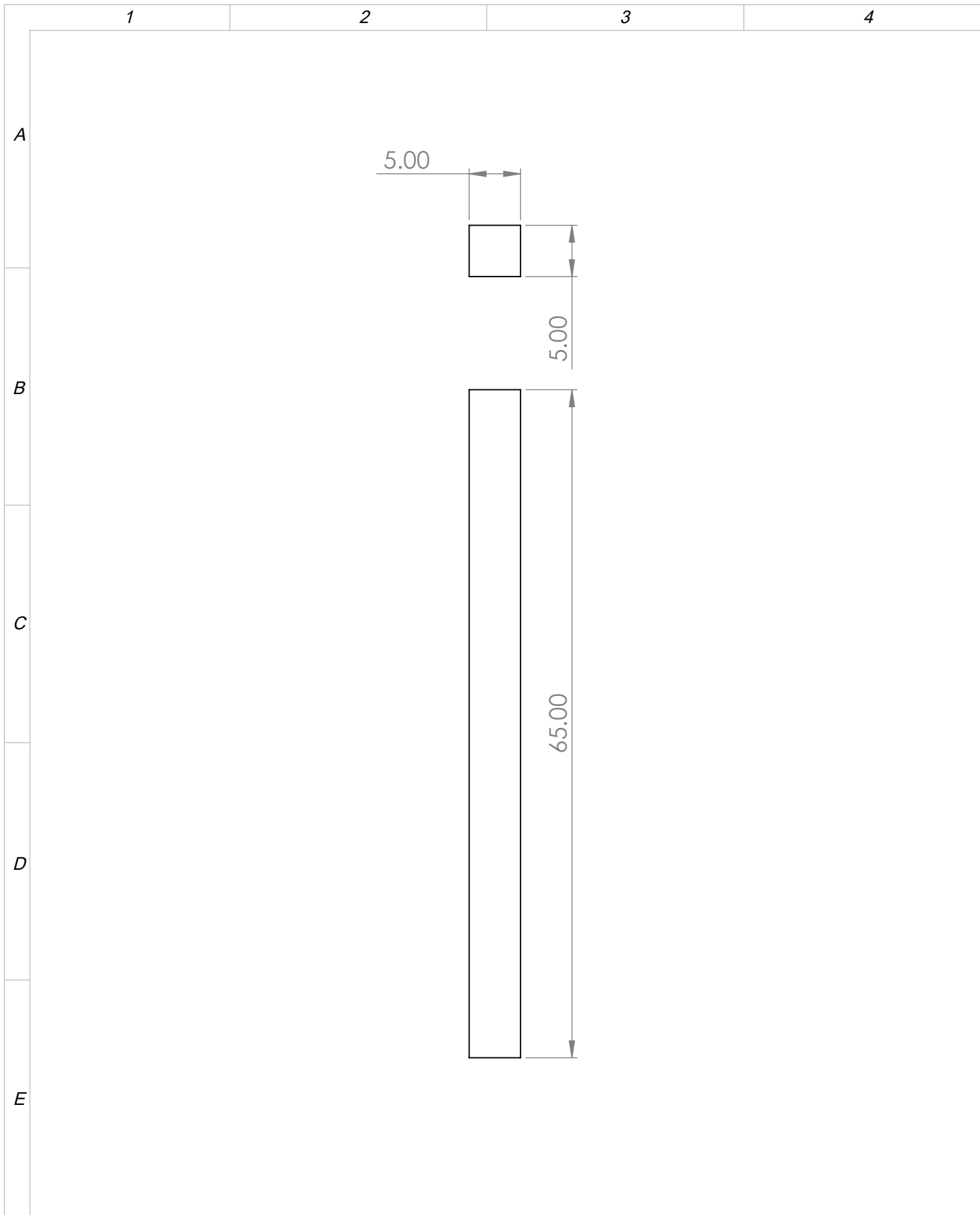
C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	EstructuraP3	ESCALA:
				Dibujado 3/5/2021			1:10
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	12/26/2020		2:1
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
							A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



SegurodeRuliman

1

2

3

4

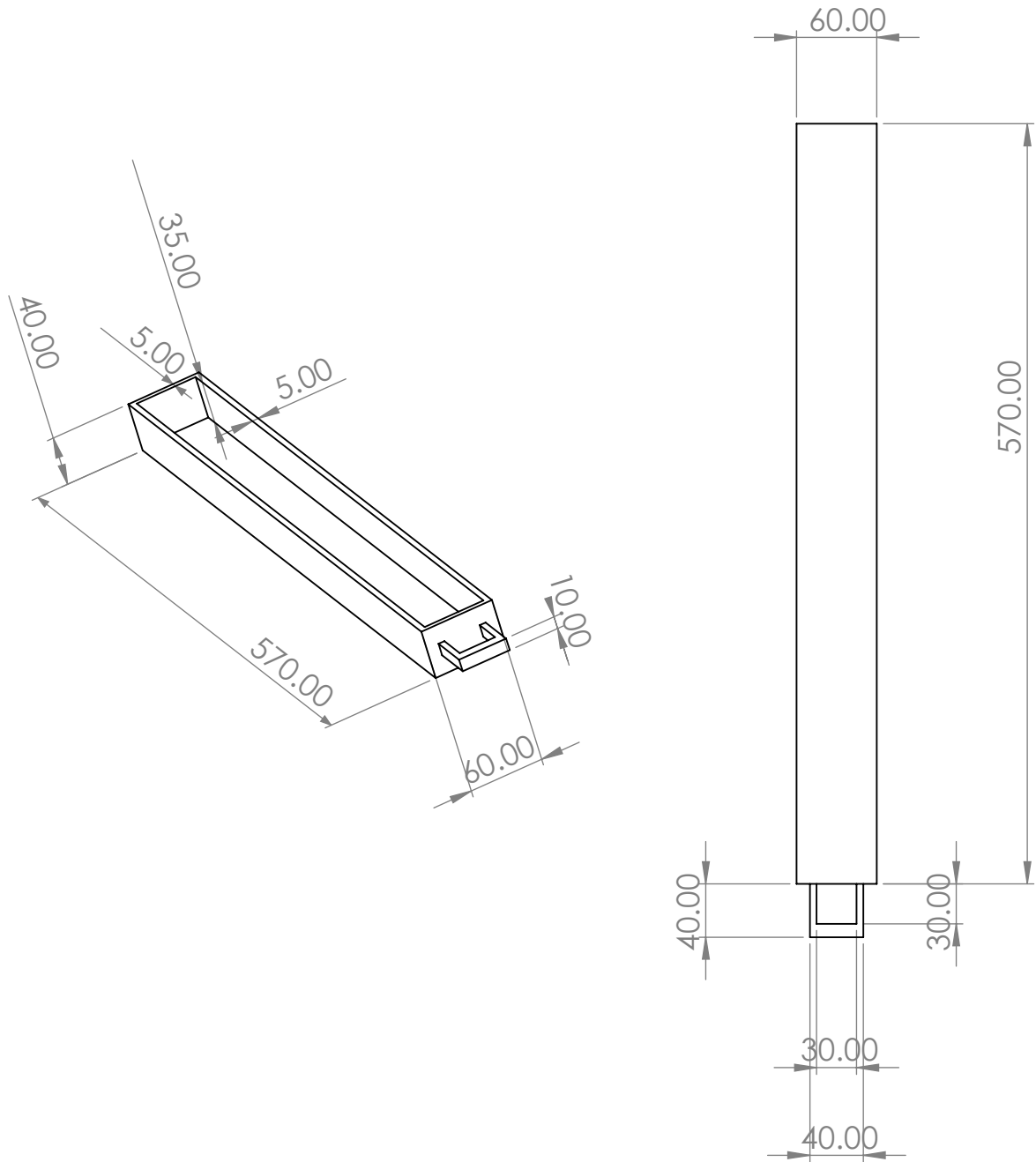
A

B

C

D

E



TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

 ± 0.1

Fecha

Nombre

Dibujado 3/5/2021

Revisado

Aprobado

BaseReceptora

ESCALA:

1:5

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO N°:

HOJA:

A4

Edición Modificación Fecha Nombre

