



UNIVERSIDAD UTE

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

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
SEMIAUTOMÁTICA PARA EL PROCESAMIENTO DE
DESECHOS DOMÉSTICOS ORGÁNICOS EN LA
ELABORACIÓN DE ABONO**

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

BRYAN ALEXANDER PLAZARTE MICHILENA

DIRECTOR: PhD. PABLO VELARDE RUEDA

Quito, octubre 2019

© Universidad UTE 2019.

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172307681-4
APELLIDO Y NOMBRES:	PLAZARTE MICHILENA BRYAN ALEXANDER
DIRECCIÓN:	CHILIBULO, JOSÉ EGUSQUIZA Y MATIAS BIGO, S10-05E
EMAIL:	ba_plazartem@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	02-2617-081
TELÉFONO MOVIL:	0995723793

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA EL PROCESAMIENTO DE DESECHOS DOMÉSTICOS ORGÁNICOS EN LA ELABORACIÓN DE ABONO
AUTOR O AUTORES:	BRYAN ALEXANDER PLAZARTE MICHILENA
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	18/10/2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	PhD. PABLO VELARDE RUEDA
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECATRÓNICO
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>Este trabajo de titulación propone el diseño y construcción de una máquina mecatrónica que procesa desperdicios orgánicos, para transformarlo en abono para plantas o viveros localizados en hogares.</p> <p>Este proyecto considera uno de los métodos de compostaje más rápidos, el método de 14 días para la creación de compost, el cual permite obtener abono sin activadores, aparatos complicados y utilizable en cualquier cultivo. Además, hay que tomar en cuenta factores como el oxígeno según el proceso (aeróbico o anaeróbico), temperatura, humedad, equilibrio Nitrógeno-Carbono y pH.</p> <p>Para esto se desarrolló el diseño, modelado CAD y construcción de la máquina utilizando el modelo en V de proyectos mecatrónicos. El</p>

proyecto cumplió con diferentes requerimientos planteados como son: el diseño del recipiente de 2 kg para el procesamiento de materia orgánica y tierra, selección del día en el que se iniciará el proceso, muestreo de la humedad de la mezcla y regulación de temperatura mediante un controlador.

El sistema cuenta con alarmas sonoras y lumínicas que son activadas en el caso que las lecturas de los sensores salgan de rangos establecidos, además del volteo de la mezcla en los días predeterminados del proceso.

Previa a la construcción del prototipo se realizó en un software CAE (SolidWorks); el diseño y la comprobación del correcto funcionamiento de la máquina, mediante el análisis de elementos finitos (comportamiento del factor de seguridad y desplazamientos) de elementos mecánicos que estaban sometidos a fuerzas, la comparación del inicio y final de los desperdicios orgánicos, pruebas de seguimiento del controlador PI de un valor de referencia de temperatura, pruebas de calidad casera y de laboratorio para analizar la calidad del compost obtenido. Al final se analizó la calidad del abono semi maduro obtenido, como resultado del proceso.

PALABRAS CLAVES:

Orgánico, abono, controlador PI, equilibrio nitrógeno-carbono, pH.

ABSTRACT:

This thesis proposes the design and construction of a mechatronic machine that processes organic waste, to transform it into fertilizer for plants or nurseries located in homes.

This project considers one of the fastest composting methods, the 14-day method for the creation of compost, which allows to obtain fertilizer without activators, complicated devices and usable in any crop. In addition, factors such as oxygen must be taken into account depending on the process (aerobic or anaerobic), temperature, humidity, nitrogen-carbon balance and pH.

For this, the design was developed using CAD modeling and construction of the machine was developed using the V model of mechatronic projects. The project met different requirements, such as: the design of the 2 kg container for the processing of

KEYWORDS	<p>organic matter and soil, selection of the day on which the process will begin, sampling of the humidity of the mixture and temperature regulation by means of a controller.</p> <p>Prior to the construction of the prototype, it was carried out in a CAE software (SolidWorks); the design and verification of the correct functioning of the machine, through the analysis of finite elements (behavior of the safety factor and displacements) of mechanical elements that were subjected to forces, the comparison of the beginning and end of organic waste, follow-up tests of the PI controller of a temperature reference value, home and laboratory quality tests to analyze the quality of the compost obtained. In the end, the quality of the semi-mature fertilizer obtained was analyzed as a result of the process.</p>
	<p>Organic, fertilizer, PI Control, nitrogen-carbon balance, pH.</p>

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



f: _____

PLAZARTE MICHILENA BRYAN ALEXANDER

172307681-4

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PLAZARTE MICHILENA BRYAN ALEZANDER**, CI **1723076814** autor del proyecto titulado: **Diseño y construcción de una máquina semiautomática para el procesamiento de desechos domésticos orgánicos en la elaboración de abono** 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, 18 de octubre de 2019



f: _____

PLAZARTE MICHILENA BRYAN ALEXANDER

172307681-4

DECLARACIÓN

Yo, **BRYAN ALEXANDER PLAZARTE MICHILENA**, 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 institucional vigente.



PLAZARTE MICHILENA BRYAN ALEXANDER

172307681-4

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño y construcción de una máquina semiautomática para el procesamiento de desechos domésticos orgánicos en la elaboración de abono**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **Bryan Alexander Plazarte Michilena**, 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.



Ing. Pablo Velarde Rueda, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1718907478

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado en primer lugar a Dios y a la Virgencita Dolorosa que han estado presentes en toda mi vida y jamás me han abandonado.

A mis padres y a mi hermana, que son las personas más importantes en mi vida y han sabido guiarme a lo largo de toda mi vida y pese a cualquier adversidad me han brindado su apoyo.

A mis abuelitos que son una gran inspiración y han estado conmigo con palabras de aliento, buenos deseos, con sus sonrisas y amor.

Además, lo dedico a una persona muy especial en mi vida quien me apoyó de una forma incondicional en el presente proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios y a la Virgencita Dolorosa por darme fortaleza y sabiduría para vencer los obstáculos que se me han presentado y poder culminar otro objetivo en mi vida.

Agradezco a toda mi familia, quienes me han apoyado de una forma incondicional en mi vida personal y académica; a todas las personas que siempre confiaron en mí y supieron darme palabras de aliento para seguir adelante.

A los ingenieros: Pablo Velarde, Luis Hidalgo y Daniel Mideros, quienes con sus enseñanzas y paciencia me guiaron en el desarrollo del proyecto de grado.

INDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 ESTADO DEL ARTE	4
1.4 DEFINICIONES GENERALES	5
1.4.1 ABONO ORGÁNICO	5
1.4.2 COMPOST	6
1.4.3 MATERIALES ORGÁNICOS	6
1.5 COMPOSTAJE	6
1.5.1 FACTORES QUE CONDICIONAN EL COMPOSTAJE	6
1.5.2 EL PROCESO DE COMPOSTAJE	7
1.5.3 MÉTODOS DE COMPOSTAJE RÁPIDOS	7
1.5.4 MÉTODOS PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE SÓLIDOS	9
1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO	9
1.6.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.7 ALCANCE	10
2. METODOLOGÍA	11
2.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA	11
2.2 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA	11
2.2.1 SISTEMA MECÁNICO	11
2.2.2 SISTEMA ELÉCTRICO	12
2.2.3 SISTEMA DE CONTROL	12
2.3 DISEÑO MECÁNICO	12
2.3.1 DISEÑO DEL RECIPIENTE	17
2.3.2 DISEÑO DE PALETAS	19
2.3.3 SELECCIÓN DEL MOTOR	29
2.3.4 SELECCIÓN DE POLEAS Y BANDA	30

2.3.5	DISEÑO DE EJE	32
2.3.6	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y CHUMACERAS	38
2.3.7	DISEÑO MECANISMO DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO	40
2.3.8	DISEÑO DE ESTRUCTURA	47
2.4	DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	50
2.4.1	CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN	50
2.4.2	CIRCUITO DE CONTROL	51
2.4.3	CIRCUITO DE POTENCIA	53
2.5	DISEÑO DE CONTROL	53
2.5.1	LÓGICA DE PROGRAMACIÓN	53
2.5.2	DISEÑO CONTROL PI	55
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
3.1	CONSTRUCCIÓN	61
3.2	ELEMENTOS DE LA MÁQUINA	64
3.3	PRUEBAS DEL CONTROLADOR PI	66
3.4	PRUEBAS COMPARATIVAS DEL PROCESO	67
3.5	PRUEBA CASERA DE CALIDAD	69
3.6	ANÁLISIS DE LABORATORIO OSP	69
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.	ANEXOS	77

INDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Listado de elementos de la máquina	13
Tabla 2. Dimensiones internas recipiente	18
Tabla 3. Mediciones experimentales de fuerza en paletas	21
Tabla 4. Reacciones de rodamientos en el plano XY	35
Tabla 5. Reacciones de rodamientos en el plano XZ	36
Tabla 6. Fuerzas de corte de alimentos orgánicos	41
Tabla 7. Reacciones en las paredes laterales de la tapa	42
Tabla 8. Fuerza de reacción y aplicada por el usuario en el mango	46
Tabla 9. Fuerzas en sección A de la estructura	47
Tabla 10. Cargas por elementos de sección A en la estructura	48
Tabla 11. Cargas por elementos de sección B en la estructura	48
Tabla 12. Fuerzas en sección B de la estructura	48
Tabla 13. Cargas por elementos de sección C en la estructura	49
Tabla 14. Fuerzas en sección C de la estructura	49
Tabla 15. Puntos de referencia para función de transferencia	55
Tabla 16. Valores de constantes P, I del controlador	59
Tabla 17. Costo elementos mecánicos	64
Tabla 18. Costos elementos electrónicos	65
Tabla 19. Costo total de la máquina	65
Tabla 20. Características del inicio y final de la mezcla	68
Tabla 21. Análisis del abono producido	69
Tabla 22. Características NPK de fertilizantes en el mercado	70
Tabla 23. Parámetros del compostaje	71

INDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Recicladora de comida ZERA	4
Figura 2. Compostadora de desperdicios de comida UNIQUE	4
Figura 3. Máquina Food Cyclor	5
Figura 4. Tipos de abono orgánico	5
Figura 5. Etapas del proceso de compostaje	7
Figura 6. Formación del montón para compostaje rápido	9
Figura 7. Métodos de reducción de tamaño de sólidos	9
Figura 8. Modelo en V	11
Figura 9. Vista explosionada de la máquina	12
Figura 10. Resistencia a la fatiga en función de la resistencia a la tensión	15
Figura 11. Sección Circular	16
Figura 12. Sección Rectangular	16
Figura 13. Recipiente	17
Figura 14. Factor de Seguridad del recipiente	19
Figura 15. Paletas	19
Figura 16. Determinación de fuerza sobre las paletas	20
Figura 17. Área tentativa real	20
Figura 18. Área experimental	21
Figura 19. a) Carga distribuida; b) Fuerza puntual en la paleta	23
Figura 20. Diagrama fuerzas presentes en la paleta lado izquierdo	23
Figura 21. Diagrama de fuerzas cortantes de la paleta	24
Figura 22. Forma tentativa de varilla de la paleta	25
Figura 23. Diagrama de momento y fuerza cortante en varilla en eje z	26
Figura 24. Diagrama de momento y fuerza cortante en varilla en eje x	27
Figura 25. Simulación de factor de seguridad de paleta girada 30°	28
Figura 26. Simulación de factor de seguridad de paleta recta	29
Figura 27. Eje principal	32
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del eje	32
Figura 29. Momentos producidos por paletas sobre el eje	33
Figura 30. Diagrama de cuerpo libre simplificado del eje	33
Figura 31. Diagrama de fuerzas presentes del eje en el plano XY	34
Figura 32. Diagrama de fuerzas cortantes del eje en el plano XY	35
Figura 33. Diagrama de fuerzas cortantes y momento en el plano XZ	36
Figura 34. Diagrama de torques en el eje	37
Figura 35. Simulación del factor de seguridad del eje	38
Figura 36. Mecanismo tipo prensa de reducción de tamaño	40
Figura 37. Cuchillas cuadradas	40
Figura 38. Soportes de la tapa del recipiente	41
Figura 39. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de platinas	42
Figura 40. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de placa	43

Figura 41. Análisis de factor de seguridad de placa de presión	44
Figura 42. Mecanismo tipo prensa para corte	45
Figura 43. Diagrama de fuerza cortante y momento flector del mango	45
Figura 44. Análisis estático de factor de seguridad del mango	46
Figura 45. Esquema de la estructura de soporte	47
Figura 46. Análisis de factor de seguridad de la estructura	49
Figura 47. Circuito de alimentación AC y DC	50
Figura 48. Circuito de control	51
Figura 49. Circuito de potencia	53
Figura 50. Lógica de programación	54
Figura 51. Comparación entrada PWM y temperatura	55
Figura 52. Tiempo en llegar al 63.2% del valor de estabilización	56
Figura 53. Validación del sistema a controlar	57
Figura 54. Control PI con valores calculados	58
Figura 55. Control PI con valores adaptados	59
Figura 56. Construcción del diseño de la máquina	61
Figura 57. Dimensiones máquina	62
Figura 58. Sección de mezclado	62
Figura 59. Panel del tablero de control	63
Figura 60. Alarmas de humedad	63
Figura 61. Panel de control finalización del proceso	64
Figura 62. Prueba 1 de control PI	66
Figura 63. Prueba 2 de control PI	66
Figura 64. Panel de table alarma de temperatura	67
Figura 65. Temperatura fuera de rango	67
Figura 66. Primer día del proceso	67
Figura 67. Último día del proceso	68
Figura 68. Prueba casera de calidad del abono	69
Figura 69. Comparación entre el abono producido con fertilizantes	70

INDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Análisis de desplazamientos del recipiente	77
ANEXO 2. Gráfica de experimentación de fuerzas sobre las paletas	77
ANEXO 3. Análisis de desplazamientos de paletas	78
ANEXO 4. Características del motor	79
ANEXO 5. Análisis de desplazamientos del eje	79
ANEXO 6. Análisis de desplazamientos de la placa de presión	80
ANEXO 7. Análisis de desplazamientos de la estructura	80
ANEXO 8. Planos de los elementos de la máquina	81
ANEXO 9. Entrada del sistema a controlar	93
ANEXO 10. Salida del sistema a controlar	93
ANEXO 11. Análisis de muestra de la mezcla producida	94

RESUMEN

Este trabajo de titulación propone el diseño y construcción de una máquina mecatrónica que procesa desperdicios orgánicos, para transformarlo en abono para plantas o viveros localizados en hogares.

Este proyecto considera uno de los métodos de compostaje más rápidos, el método de 14 días para la creación de compost, el cual permite obtener abono sin activadores, aparatos complicados y utilizable en cualquier cultivo. Además, hay que tomar en cuenta factores como el oxígeno según el proceso (aeróbico o anaeróbico), temperatura, humedad, equilibrio Nitrógeno-Carbono y pH.

Para esto se desarrolló el diseño, modelado CAD y construcción de la máquina utilizando el modelo en V de proyectos mecatrónicos. El proyecto cumplió con diferentes requerimientos planteados como son: el diseño del recipiente de 2 kg para el procesamiento de materia orgánica y tierra, selección del día en el que se iniciará el proceso, muestreo de la humedad de la mezcla y regulación de temperatura mediante un controlador.

El sistema cuenta con alarmas sonoras y lumínicas que son activadas en el caso que las lecturas de los sensores salgan de rangos establecidos, además del volteo de la mezcla en los días predeterminados del proceso.

Previo a la construcción del prototipo se realizó en un software CAE (SolidWorks); el diseño y la comprobación del correcto funcionamiento de la máquina, mediante el análisis de elementos finitos (comportamiento del factor de seguridad y desplazamientos) de elementos mecánicos que estaban sometidos a fuerzas, la comparación del inicio y final de los desperdicios orgánicos, pruebas de seguimiento del controlador PI de un valor de referencia de temperatura, pruebas de calidad casera y de laboratorio para analizar la calidad del compost obtenido. Al final se analizó la calidad del abono semi maduro obtenido, como resultado del proceso.

Palabras claves: Orgánico, abono, controlador PI, equilibrio nitrógeno-carbono, pH.

ABSTRACT

This thesis proposes the design and construction of a mechatronic machine that processes organic waste, to transform it into fertilizer for plants or nurseries located in homes.

This project considers one of the fastest composting methods, the 14-day method for the creation of compost, which allows to obtain fertilizer without activators, complicated devices and usable in any crop. In addition, factors such as oxygen must be taken into account depending on the process (aerobic or anaerobic), temperature, humidity, nitrogen-carbon balance and pH.

For this, the design was developed using CAD modeling and construction of the machine was developed using the V model of mechatronic projects. The project met different requirements, such as: the design of the 2 kg container for the processing of organic matter and soil, selection of the day on which the process will begin, sampling of the humidity of the mixture and temperature regulation by means of a controller.

Prior to the construction of the prototype, it was carried out in a CAE software (SolidWorks); the design and verification of the correct functioning of the machine, through the analysis of finite elements (behavior of the safety factor and displacements) of mechanical elements that were subjected to forces, the comparison of the beginning and end of organic waste, follow-up tests of the PI controller of a temperature reference value, home and laboratory quality tests to analyze the quality of the compost obtained. In the end, the quality of the semi-mature fertilizer obtained was analyzed as a result of the process.

Keywords: Organic, fertilizer, PI Control, nitrogen-carbon balance, pH.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Quito se generan 1700 toneladas de basura diariamente, de estas se recogen el 90% y el resto se almacenan, se queman o llegan a sitios inadecuados. Del total de basura generada, la basura orgánica representa el 65%, la cual se puede procesar. Actualmente, se recicla papel, cartón, caucho y vidrio que representan el 2% del total de la basura (Garófalo, 2012).

Algunos países, como México, han empezado proyectos para la obtención de energía a partir de los desechos que sus ciudades producen, los cuales permitirán que la basura “ilumine” a la Ciudad de México. Ideas como estas son innovaciones que el Ecuador puede aplicar para desarrollar un futuro sustentable (Roa, 2017). México tratará de seguir disminuyendo los impactos ambientales negativos en los siguientes años, comenzando con industrias como la automovilística, la cual gasta recursos como el agua, para producir un solo automóvil, debido a la poca regulación existente en estas áreas industriales (Barreda, 2018).

El contexto en el cual es generado este proyecto es el mal aprovechamiento de la basura entre elementos considerados desechos o residuos. Los mal llamados desechos orgánicos generados en el país carecen de un correcto tratamiento y es por esto que, gracias a la tecnología, técnicas como el compostaje¹ pueden evolucionar para combinar los conocimientos en agronomía y mecatrónica, en la elaboración de nuevas maquinarias y procesos que permitan aprovechar los residuos orgánicos, cuidar el medio ambiente y combatir la contaminación desde nuestras casas. Por lo tanto, es necesario buscar respuestas al problema de la falta de alternativas para el tratamiento de reciclaje de desechos orgánicos que se producen diariamente en los hogares de las familias ecuatorianas y que podrían ser utilizadas en actividades agrícolas, las mismas que permitan superar las limitaciones económicas y la falta de conocimiento para la producción de abono doméstico.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los residuos orgánicos aprovechados inteligentemente conllevan a idear nuevas maneras más tecnificadas para realizar la mezcla que producirá abono de manera rápida y eficiente, para actividades agrícolas como huertos domésticos que pueden ser enfocados al cultivo de frutas, hortalizas o plantas medicinales destinados al consumo de la familia del hogar.

Existe la necesidad de aportar con ideas que permitan aprovechar los desechos orgánicos generados en forma doméstica. Por lo cual, se propone

¹ Compostaje: técnica que consiste en acelerar la descomposición de residuos agrícolas para su utilización como fertilizante.

crear una máquina que aproveche los residuos orgánicos que se generan en los hogares para producir abono; es decir, automatizar y mejorar a una escala doméstica la técnica de compostaje que permite el tratamiento, de una forma racional, de los desechos orgánicos, con lo que se busca conservar los nutrientes presentes en los mismos, para aprovechar en la fertilización del suelo que posteriormente podrá ser usado en la agricultura, incentivando una cultura de reciclaje.

1.3 ESTADO DEL ARTE

Algunas máquinas han sido construidas con la finalidad de obtener un abono doméstico. En la Figura 1 se expone la estructura externa e interna del electrodoméstico pensado para viviendas, que cuentan con un espacio de jardín que se necesita abonar; está enfocado al reciclaje de los residuos orgánicos que se generan día a día en el hogar, la máquina controla temperatura y humedad por flujo de aire. Su capacidad estimada es de 3.5 Kg, basado en la producción de una familia de Estados Unidos. Promete un tiempo de compostaje de 24 horas, con precio tentativo al mercado de 1000 dólares (Whirlpool, 2017).

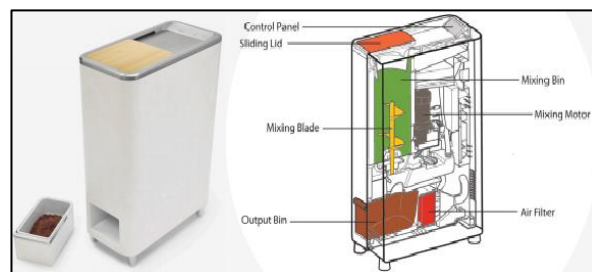


Figura 1. Recicladora de comida ZERA
(Whirlpool, 2017)

La Figura 2 muestra el diseño de la máquina compostadora, semejante a la anterior, con la diferencia que esta tiene una capacidad de 5 Kg/día (*Food Waste Composting Machine*, 2019).



Figura 2. Compostadora de desperdicios de comida UNIQUE
(Food Waste Composting Machine, 2019)

La Figura 3 presenta una máquina de compostaje de residuos de hogares mucho más compacta que posee tres etapas de funcionamiento: secado, molienda y enfriamiento. El tiempo de compostaje de la máquina es de 3 horas sin adicionar aditivos o químicos que apresuren el proceso. Su potencia es de 500 W (*How It Works*, 2019).



Figura 3. Máquina Food Cycler
(How It Works, 2019)

1.4 DEFINICIONES GENERALES

Esta sección está dedicada a la revisión de definiciones generales que permitirán entender el proceso de obtención de abono doméstico.

1.4.1 ABONO ORGÁNICO

Es el material de origen animal o vegetal utilizado como fuente de nutrientes para mejorar las características del suelo. Los abonos orgánicos más conocidos son el compost, el bocashi y lombricomposta (Soto & Meléndez, 2004). La Figura 4 indica los tipos de abono orgánico existentes, en el caso de los abonos procesados, se toma en cuenta su estado (sólido o líquido) y cabe recalcar que en ambas divisiones se pueden encontrar más diferencias como: consistencia, forma de aplicación, tiempo de aplicación o materiales empleados, etc.

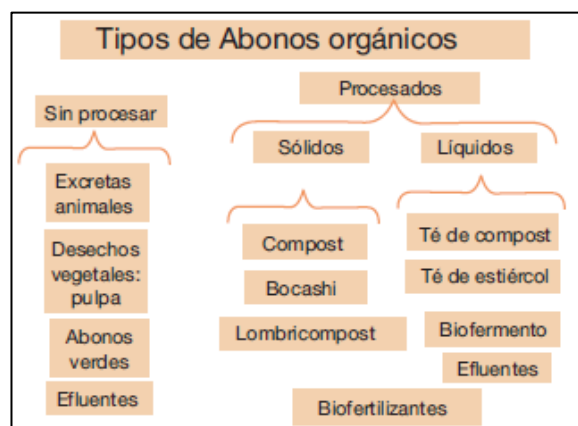


Figura 4. Tipos de abono orgánico
(Soto & Meléndez, 2004)

1.4.2 COMPOST

Mezcla de materiales de origen animal o vegetal que se produce cuando se biodegradan o se pudren por acción de bacterias, hongos u otros microorganismos (Navarro, 2019).

Las formas de producir compost son:

- Proceso Aeróbico: con microorganismos que necesitan oxígeno.
- Proceso Anaeróbicos: con microorganismos que necesitan que no haya oxígeno.

1.4.3 MATERIALES ORGÁNICOS

Conjuntos de compuestos formados de materiales de diferente clase (animal o vegetal) con base de carbono en continuo estado de descomposición (Soto & Meléndez, 2004).

Los materiales que fácilmente se compostan están los vegetales, granos, huevos, excremento de animales y humanos, hojas de árboles, papel, periódicos, cartón (Navarro, 2019).

1.5 COMPOSTAJE

Es primordial hablar de algunos factores que condicionan el proceso de compostaje, para obtener un abono nutritivo para el suelo y las plantas.

1.5.1 FACTORES QUE CONDICIONAN EL COMPOSTAJE

- Oxígeno: determina el retraso o generación de malos olores.
- Temperatura: mantener el rango de temperatura, mencionado en el alcance, permitirá matar agentes biológicos patógenos y mantener un buen ritmo de descomposición.
- Humedad: tanto el exceso de agua como la escasez de humedad dañarán el proceso de compostaje.
- Equilibrio Nitrógeno-Carbono: el carbono, nitrógeno, hidrógeno y el oxígeno son los elementos principales en la composición de las plantas. Para un correcto compostaje se precisa de una adecuada proporción de materias carbonatadas y materias nitrogenadas (Bueno, 2007).
- pH: en condiciones normales , en montones con gran mezcla de variedad de restos orgánicos, no se deberá preocupar por la acidez o la alcalinidad del compost, e incluso es mejor si es ligeramente alcalino (pH entre 6 y 8)(Bueno, 2007).

1.5.2 EL PROCESO DE COMPOSTAJE

La Figura 5 representa de una forma esquemática el proceso de compostaje el cuál se divide en cuatro fases, en función de la temperatura respecto al tiempo.

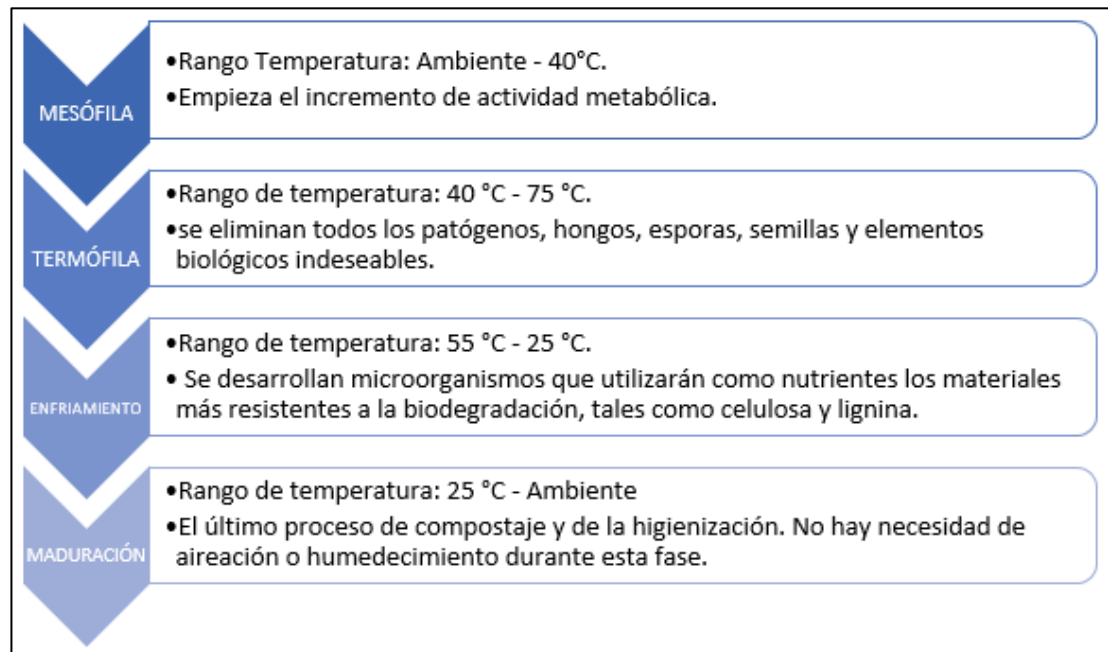


Figura 5. Etapas del proceso de compostaje

1.5.3 MÉTODOS DE COMPOSTAJE RÁPIDOS

A continuación, se nombrarán varios procesos de producción de abono que duran alrededor de 2 a 3 semanas y la explicación del proceso seleccionado para el funcionamiento de la máquina.

- Método *Quick return* (Bueno, 2007)
- *Bocashi* (D. Ramos & Terry, 2014)
- Método 14 días (Bueno, 2007)

1.5.3.1 El método 14 días

Este es uno de los métodos de compostaje más rápidos, puesto en práctica por G. Golueke de la Universidad de California. Permite obtener un compost utilizable en cualquier cultivo, sin activadores o aparatos complicados (Bueno, 2007).

Para esto es necesario cumplir con condiciones para un compost ordinario como calor, humedad, etc. Además de ciertas condiciones particulares, como las que se enumeran a continuación:

- Los materiales utilizados deben tener nitrógeno, pues por los volteos puede causar pérdida de este elemento. Se evitará poner ceniza o cal sobre los materiales.
- El material debe ser troceado o partidos en trozos pequeños.
- Los materiales utilizados deben estar íntimamente mezclados y no dispuestos en capas (Bueno, 2007).

El montón puede hacerse sobre tierra o sobre cualquier superficie no tóxica para los microorganismos que van a desarrollarse. Es necesario cubrir el montón a fin de evitarnos una sobrecarga de trabajos, aparte de los volteos. Los volteos frecuentes son la esencia de este método para los procesos de compostaje, marcando en el cual se presentan las siguientes etapas:

- Primer día, formación del montón: se debe mezclar bien los materiales y se controla su humedad. Sin comprimirlo. La Figura 6 ejemplifica el proceso de mezcla de desechos orgánicos con la tierra.
- Los días de volteo son el cuarto, séptimo y décimo día, verificando su humedad.
- El decimocuarto día, el compost está listo para ser utilizado aplicándolo en la superficie.

El compost, asumiendo condiciones ideales, se puede conseguir en 10 días. Mariano Bueno menciona, según su experiencia como agricultor ecológico, que en realidad no estará verdaderamente listo antes de 16 o 17 días. Posteriormente si no está listo se debe voltearlo cada 3 días (Bueno, 2007).

Es importante dejar claro que el producto final de este método de compostaje no es un compost maduro que se parece al humus, a menos que se lo envejezca por más tiempo; pero es bueno para esparcirlo en el terreno, es decir, es un compost que ha finalizado la fermentación caliente (Bueno, 2007).



Figura 6. Formación del montón para compostaje rápido

1.5.4 MÉTODOS PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE SÓLIDOS

Los tipos de métodos para la reducción de tamaño se pueden observar en la Figura 7 y estos dependen del tamaño que se requiere obtener, forma, cantidad, facilidad de manipulación o almacenamiento de un alimento o material.

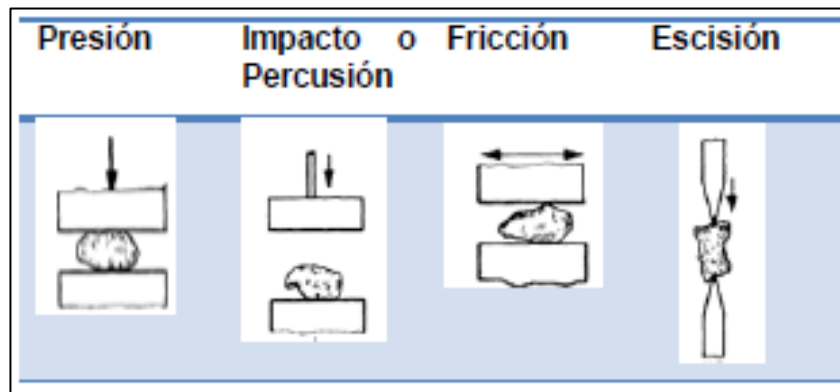


Figura 7. Métodos de reducción de tamaño de sólidos

1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para la elaboración de este proyecto se han planteado los siguientes objetivos:

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una máquina semiautomática para el procesamiento de desechos orgánicos en la elaboración de abono.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los parámetros que se deben considerar en el procesamiento de desechos orgánicos.
- Determinar el mecanismo de trituración y aireación considerando el tamaño y espacio a ocupar en un área doméstica.
- Determinar y diseñar los componentes del dispositivo.
- Programar el funcionamiento lógico de la máquina con un sistema de control automático que garantice la calidad del compost.
- Comprobar el funcionamiento del sistema construido mediante la realización de pruebas de humedad, temperatura, tiempo de putrefacción y obtención de resultados.

1.7 ALCANCE

Se diseñará y construirá un dispositivo mecatrónico que permita procesar un máximo de 2 Kg de desperdicios orgánicos para su uso en abono para plantas o viveros localizados en hogares, verdulerías, restaurantes; teniendo en cuenta parámetros como la temperatura, entre rangos de valores bajos recomendables de alrededor de 10 °C, hasta una temperatura máxima de 70 °C y la humedad entre 40% a 60% (Mitma & Braulio, 2015).

2. METODOLOGÍA

2.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA

Para el desarrollo de la máquina se seguirá el modelo en V ilustrado en la Figura 8, el cuál describe el procedimiento genérico para el diseño de sistemas mecatrónicos, estableciendo relaciones entre cada fase del ciclo de vida del proyecto y sus fases de prueba.

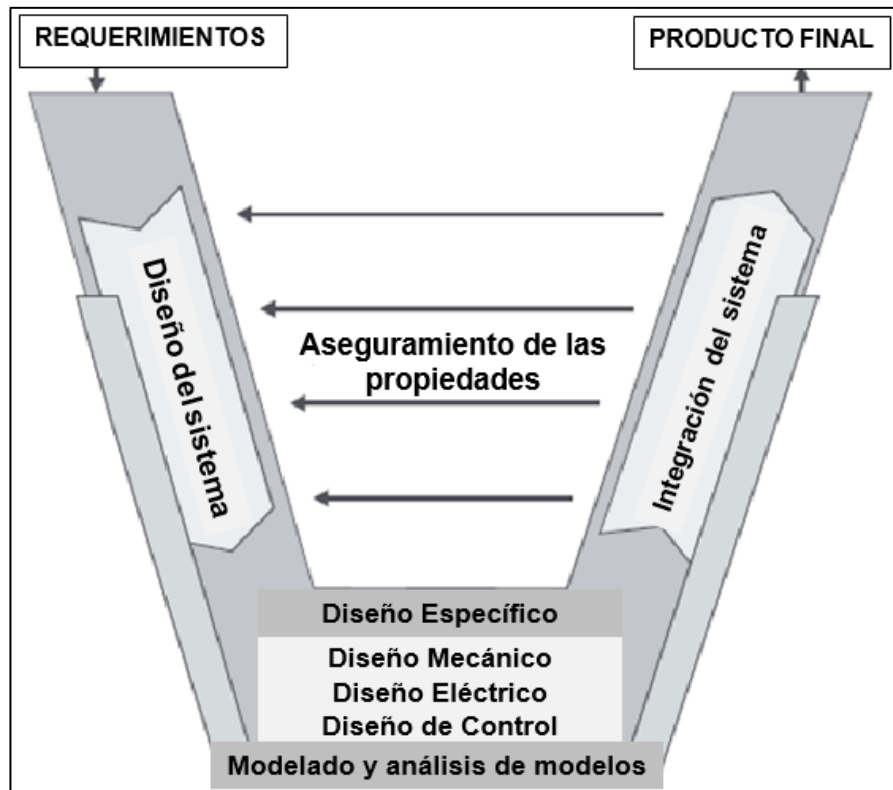


Figura 8. Modelo en V

2.2 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA

Se detallan algunas características mecánicas, eléctricas y de control necesarias para realizar el proceso de la mezcla de abono.

2.2.1 SISTEMA MECÁNICO

- La cantidad de preparación de una mezcla apta para abonar el suelo será igual al consumo de una familia promedio en un mes, es decir, 2 Kg (Rueda & Moya, 2015).
- En mezcladoras se consideran adecuadas de 30 a 40 rpm (Rodríguez, 2018).

2.2.2 SISTEMA ELÉCTRICO

- Conexión a fuente monofásica de 110 V -120 V y rectificación para energización del motor.
- Los sensores que entren en contacto con la mezcla deben tener robustez.

2.2.3 SISTEMA DE CONTROL

- Es necesario regular la temperatura, en caso que los valores salgan del rango establecido y muestrear la humedad de la mezcla para permitir que el ciclo de descomposición se cumpla de la mejor manera posible.

2.3 DISEÑO MECÁNICO

En esta sección se analizarán los elementos sometidos que son importantes en el funcionamiento de la máquina, dejando de lado elementos que cumplen funciones estéticas o de cubrimiento en la máquina. La Figura 9 muestra los elementos de los que está formada la máquina.

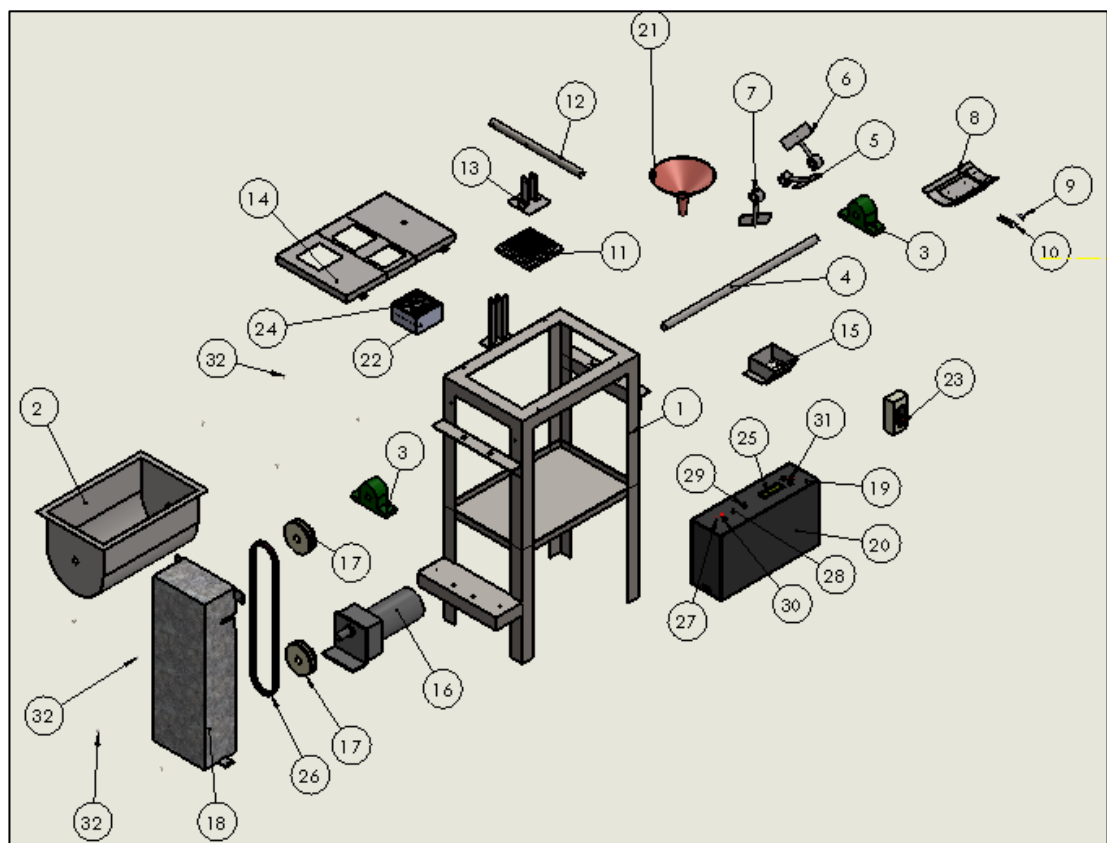


Figura 9. Vista explosionada de la máquina

La Tabla 1 es un listado, enunciando los nombres y cantidad de cada elemento de la máquina.

Tabla 1. Listado de elementos de la máquina

#	Elemento	Cantidad
1	Estructura	1
2	Recipiente	1
3	Chumacera de piso	2
4	Eje principal	1
5	Paleta Central	1
6	Paleta Derecha	1
7	Paleta Izquierda	1
8	Caja sensores	1
9	Sensor Temperatura	1
10	Sensor Humedad	1
11	Cuchillas	1
12	Mango Prensa	1
13	Placa de presión	1
14	Tapa recipiente	1
15	Tamiz	1
16	Motor	1
17	Polea	2
18	Protección Banda-motor	1
19	Tablero de Control	1
20	Tapa frontal	1
21	Embudo	1
22	Caja ventilador	1
23	Botonero ON/OFF	1
24	Ventilador	1
25	Display LCD 16x2	1
26	Correa	1
27	Led Rojo	2
28	Led Verde	1
29	Botón Motor	1
30	Buzzer	1
31	Botones comando	3
32	Tornillos	8

Se ha visto necesarios materiales dúctiles en la construcción de la máquina, además que varios elementos estarán sometidos a cargas dinámicas, por lo que el factor de diseño que se establecerá (Mott, 2006), se encuentra en la categoría:

$$N = 2,5$$

Para elementos con cargas cíclica, esfuerzos uniaxiales (Mott, 2006):

$$\frac{K_t \sigma_a}{S'_n} + \frac{\sigma_m}{S_u} = \frac{1}{N} \quad [1]$$

Donde:

- K_t : factor de concentración de esfuerzos
- σ_a : esfuerzo alternativo
- σ_m : esfuerzo medio
- S'_n : resistencia a la fatiga estimada real
- S_u : resistencia a la tensión
- N : factor de seguridad

Para elementos que se diferencian de los anteriores por su carga estática la fórmula (Mott, 2006):

$$\sigma < \frac{S_{yt}}{N} \quad [2]$$

Donde:

- σ : esfuerzo de tensión

Para el estudio de la resistencia a la fatiga estimada real (Mott, 2006):

$$S'_n = S_n \times C_m \times C_{st} \times C_R \times C_s \quad [3]$$

Donde:

- S'_n : resistencia a la fatiga estimada real
- S_n : resistencia a la fatiga
- C_m : factor material
- C_{st} : factor tipo de esfuerzo
- C_R : factor confiabilidad
- C_s : factor de tamaño

Valores de los parámetros de diseño:

- Factor de concentración de esfuerzos ($K_t=1$)
- Resistencia a la tensión (Acero AISI 304)

$$S_u = 586 \text{ MPa} = 85 \text{ Ksi} \quad (\text{Mott, 2006})$$

- Resistencia a la fluencia (Acero AISI 304)

$$S_y = 241 \text{ MPa} \quad (\text{Mott, 2006})$$

- El factor de material ($C_m=1$)
- El factor de tipo de esfuerzo ($C_{st}=1$ esfuerzo flexionante)
- El factor de confiabilidad ($C_R=0,9$)
- El factor de tamaño, al desconocer diámetro, se supone ($C_s=0,85$)

Para la resistencia a la fatiga (S_n) es necesario considerar su acabado superficial el cual está representado en la Figura 10 como maquinado o estirado en frío (Mott, 2006).

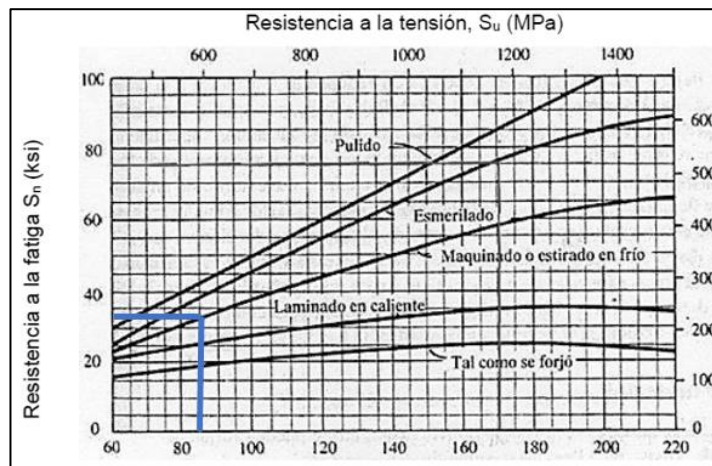


Figura 10. Resistencia a la fatiga en función de la resistencia a la tensión (Mott, 2006)

$$S_n = 32,5 \text{ ksi} \approx 224,08 \text{ MPa}$$

$$S'_n = (224,08)(1)(1)(0,9)(0,85)$$

$$S'_n = 171,42 \text{ MPa}$$

Para el esfuerzo medio y el esfuerzo alternativo: se calculan los esfuerzos máximos y mínimos (Mott, 2006).

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}}}{2} \quad [4]$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{máx}} - \sigma_{\text{mín}}}{2} \quad [5]$$

Para elementos con esfuerzos normales por flexión:

$$\sigma_{m\acute{a}x,m\acute{i}n} = \frac{M}{S} \quad [6]$$

Donde:

M : momento ocasionado por fuerza flectora

S : m3dulo de secci3n

Los m3dulos de secci3n que se utilizan en la m3quina son:

- Circular (Figura 11):

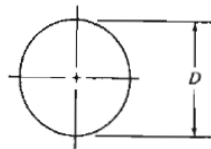


Figura 11. Secci3n Circular
(Mott, 2006)

$$S = \frac{\pi * D^3}{32} \quad [7]$$

Donde:

D : di3metro

- Rect3ngulo (Figura 12):

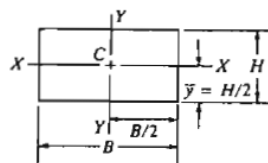


Figura 12. Secci3n Rectangular
(Mott, 2006)

$$S = \frac{B * H^2}{6} \quad [8]$$

Donde:

H : altura o espesor

2.3.1 DISEÑO DEL RECIPIENTE

El recipiente de la mezcladora se basa en la letra U, conteniendo un semicilindro en la parte inferior y un paralelepípedo en la parte superior, como se observa en la Figura 13.

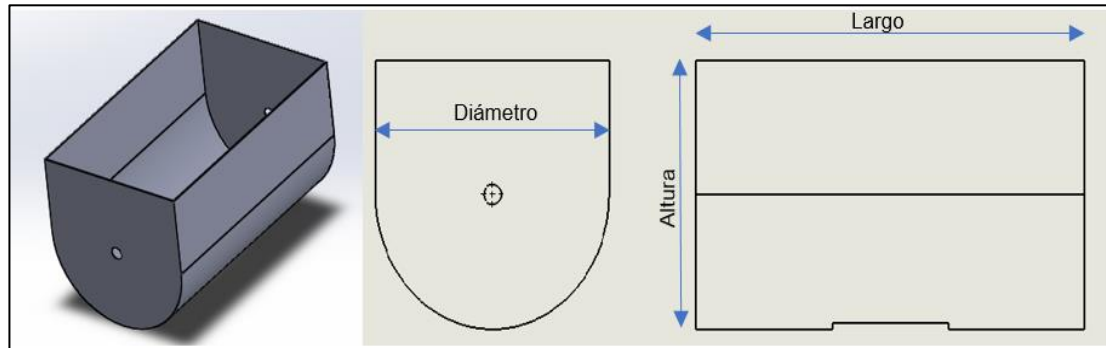


Figura 13. Recipiente

2.3.1.1 Dimensionamiento del recipiente

El abono será constituido tentativamente por 2/3 de residuos orgánicos y 1/3 de tierra para un peso total de 2 Kg (0.667 Kg de tierra y 1.333 Kg de residuos orgánicos).

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [9]$$

Donde:

V : volumen

m : masa

ρ : densidad

- Tierra:

$$\rho_{tierra} = 2,65 \text{ Mg/m}^3 \quad (\text{Flores \& Alcalá, 2010})$$

$$V_{tierra} = \frac{0,667 \text{ Kg}}{0,00265 \text{ Kg/cm}^3} = 251,7 \text{ cm}^3$$

- Residuos Orgánicos:

$$\rho_{ro} = 266 \text{ Kg/m}^3 \quad (\text{Cifuentes \& Vega, 2014})$$

$$V_{RO} = \frac{1,333 \text{ Kg}}{266 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{100^3 \text{ cm}^3}} = 5011,3 \text{ cm}^3$$

Volumen total

$$V = V_{tierra} + V_{RO}$$
$$V = 251.7 \text{ cm}^3 + 5011.3 \text{ cm}^3 = 5263 \text{ cm}^3$$

El nivel de llenado del recipiente será hasta el semicilindro de la parte inferior, por lo tanto:

- Volumen interno semicilindro

$$V_{sc} = \frac{\pi R^2 * largo}{2} \quad [10]$$

Donde:

R: radio

largo: altura del semicilindro

El radio tentativo para el recipiente con respecto al largo total de las paletas es 10 cm, por lo que es necesario calcular el largo del recipiente despejando.

$$largo = \frac{2V_{sc}}{\pi R^2}$$

$$largo = \frac{2 \times 5263 \text{ cm}^3}{\pi \times (10 \text{ cm})^2} = 33.51 \text{ cm}$$

Para la altura del paralelepípedo rectangular superior se considera que será igual al radio del semicírculo, para evitar desbordamiento del recipiente y seguridad del usuario. En la Tabla 2 se resumen las dimensiones finales del recipiente en donde se depositará la mezcla.

Tabla 2. Dimensiones internas recipiente

Dimensiones internas	Valor [cm]
Diámetro	20
Largo	33,51
Altura	20

Debido a que dentro del recipiente solo habrá 2 Kg de mezcla, no es necesario cálculos para el espesor de la plancha. Sin embargo, el espesor de la plancha con la que será construido el recipiente será de 1 mm. Para demostrar su fiabilidad puede verse el comportamiento del factor de seguridad por análisis de elementos finitos en la Figura 14. Y si es de interés conocer los desplazamientos dirigirse al Anexo 1.

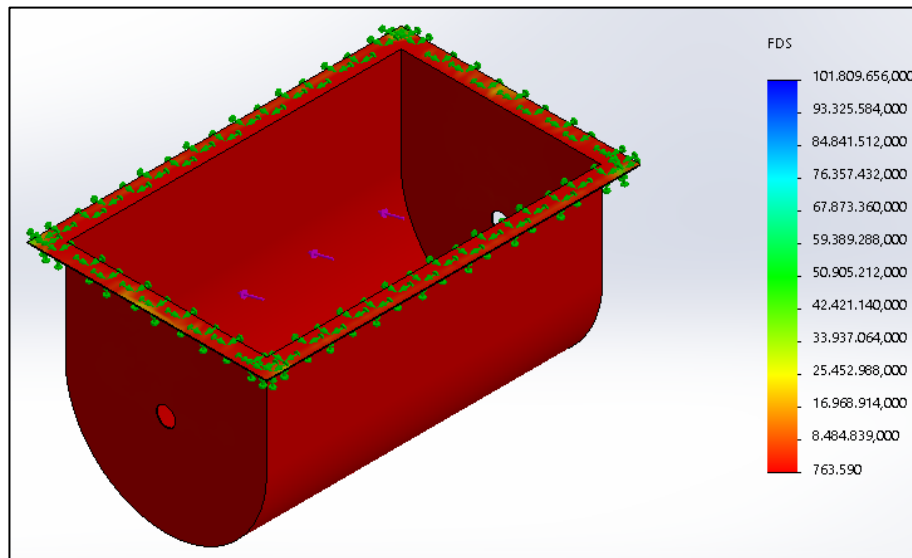


Figura 14. Factor de Seguridad del recipiente

2.3.2 DISEÑO DE PALETAS

La forma de las paletas, que serán usadas para mezclar, a ser diseñadas se puede observar en la Figura 15, como los elementos 5,6,7 de la Figura 9.

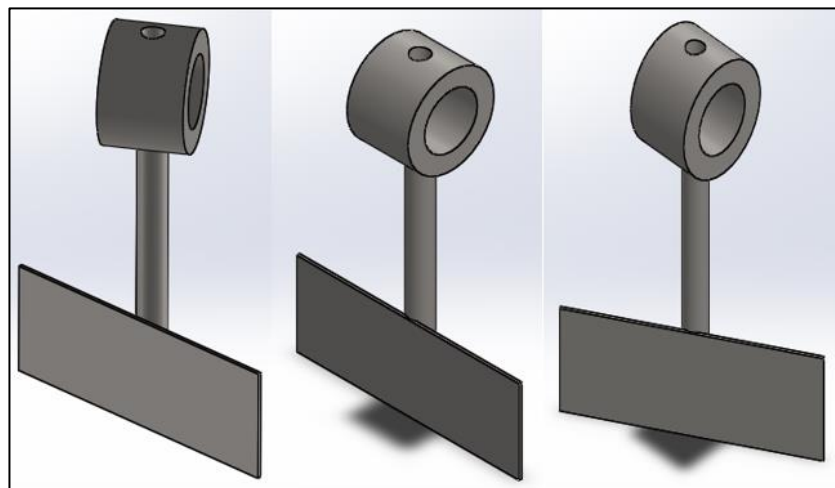


Figura 15. Paletas

Los factores de dimensionamiento de las paletas a considerar son:

- El ángulo de inclinación de las paletas laterales para objeto de cálculo será de 30° , pero al momento de la manufactura cambie moderadamente sin afectar considerablemente el diseño de la paleta.
- El material a utilizarse es un acero inoxidable AISI 304
- Por motivos de análisis la carga en las paletas será analizada como una fuerza puntual aplicada en el centroide de la paleta.
- La fuerza es la misma en cada una de las paletas.

2.3.2.1 Prueba de mediciones de la fuerza en las paletas

Para medir la fuerza que actúa sobre las paletas se ha decidido seguir la experimentación en la cual una placa es halada a una velocidad lineal aproximada a la cual la paleta girará tentativamente (Andrango & Naranjo, 2012). En la Figura 16 se ilustra las herramientas y la mezcla donde se realizaron las mediciones.



Figura 16. Determinación de fuerza sobre las paletas

Velocidad del motor: 38 rpm

Distancia tentativa del centro del eje al centroide de la paleta: 8 cm

Cálculos para determinar velocidad tangencial:

$$V_t = w * r$$

$$V_t = \frac{38 \text{ rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg.}} \times 8 \text{ cm}$$

$$V_t = 31,8 \text{ cm/s}$$

La Figura 17 muestra las dimensiones tentativas con las que se diseñará las paletas del dispositivo.

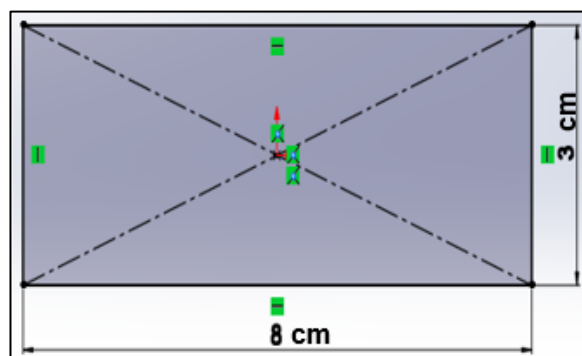


Figura 17. Área tentativa real

$$A_r = 0,0024 \text{ m}^2$$

La Figura 18 indica las dimensiones utilizadas en la paleta del experimento para la toma de datos.

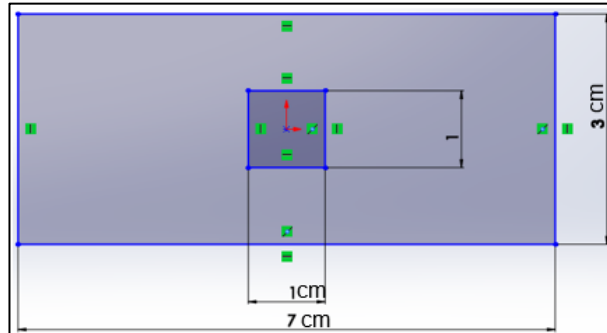


Figura 18. Área experimental

$$A_e = (0,07 \times 0,03) - (0,01 \times 0,012) = 0,002 \text{ m}^2$$

La Tabla 3 detalla las 15 mediciones realizadas, a partir de las cuales se han obtenido la fuerza promedio, la fuerza máxima y mínima, y la desviación estándar para escoger la fuerza con la que se trabaja.

Tabla 3. Mediciones experimentales de fuerza en paletas

Medición	Fuerza [Kgf]
1	2,8
2	3
3	2,8
4	3,1
5	2,9
6	3,5
7	3
8	3,3
9	3
10	2,8
11	3,5
12	3,2
13	2,7
14	3,5
15	3,4

Analizando los datos:

Promedio de la fuerza: 3,1 Kgf
Máxima fuerza registrada: 3.5 Kgf
Mínima fuerza registrada: 2,7 Kgf
Desviación estándar: 0,28 Kgf

El Anexo 2 muestra los valores de las mediciones de las diferentes veces que se realizó el experimento, existiendo gran variación entre estos datos por la consistencia de la mezcla o trozos de la mezcla que quedaban en la paleta, sin embargo, son situaciones que pueden ocurrir en el funcionamiento de la máquina. Debido a la incertidumbre de las mediciones experimentales, será tomado en cuenta el promedio de las muestras más la desviación estándar.

$$F_e = \left((3,10 + 0,28) \text{Kgf} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 33,12 \text{ N}$$

Posteriormente la presión que se ejerce sobre la paleta es constante y siguiendo el procedimiento antes mencionado, se establece:

$$\begin{aligned} P_r &= P_e \\ \frac{F_p}{A_r} &= \frac{F_e}{A_e} \end{aligned}$$

$$F_p = \frac{F_e \times A_r}{A_e} \quad [11]$$

Donde:

F_p : Fuerza real que actúa en la paleta

F_e : Fuerza experimental

A_r : Área real

A_e : Área experimental

La fuerza que se tomará para los cálculos se obtiene de la ecuación [11]:

$$F_p = \frac{33,12 \text{ N} \times 2.4 \times 10^{-3} \text{m}^2}{2 \times 10^{-3} \text{m}^2} = 39.74 \text{ N}$$

$$F_p = 39.74 \text{ N}$$

Para el análisis de la paleta y teniendo en cuenta su simetría se tomará una mitad de esta para poder tratarlo como una viga empotrada.

En el trayecto de las paletas hay que tomar en cuenta que hay un momento que esta saldrá de la mezcla y no habrá fuerzas que actúen sobre la superficie de la paleta, por lo tanto:

Fuerza máxima: 39,74 N

Fuerza mínima: 0 N

La Figura 19 detalla la sección en donde actuaría la carga distribuida en las paletas y la representación de la fuerza puntual sobre la paleta.

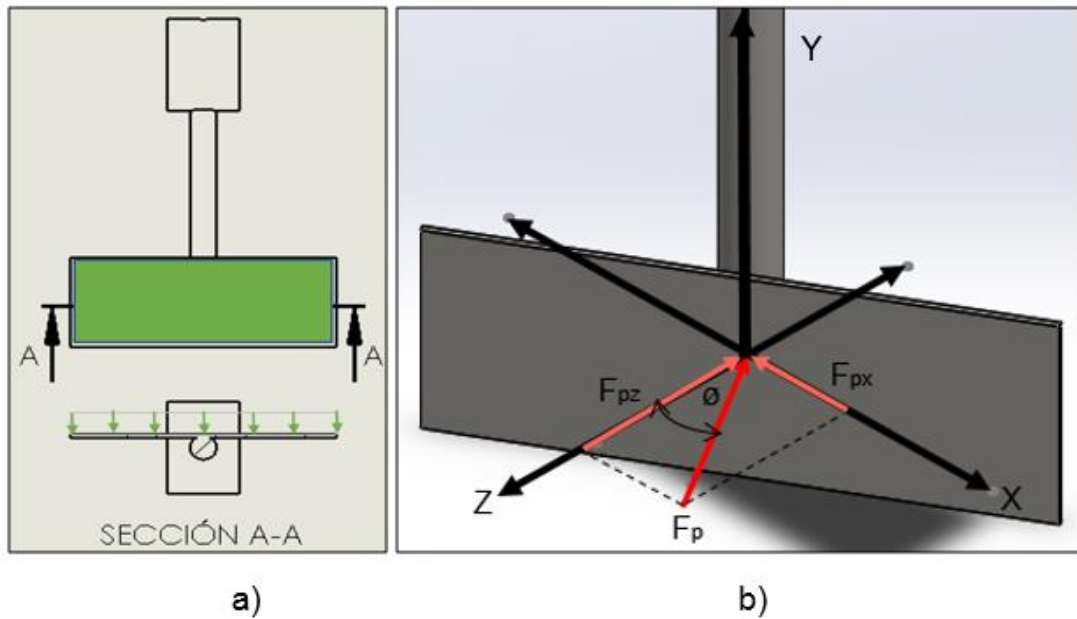


Figura 19. a) Carga distribuida; b) Fuerza puntual en la paleta

En la Figura 20 se puede observar el diagrama de cuerpo libre de la paleta.

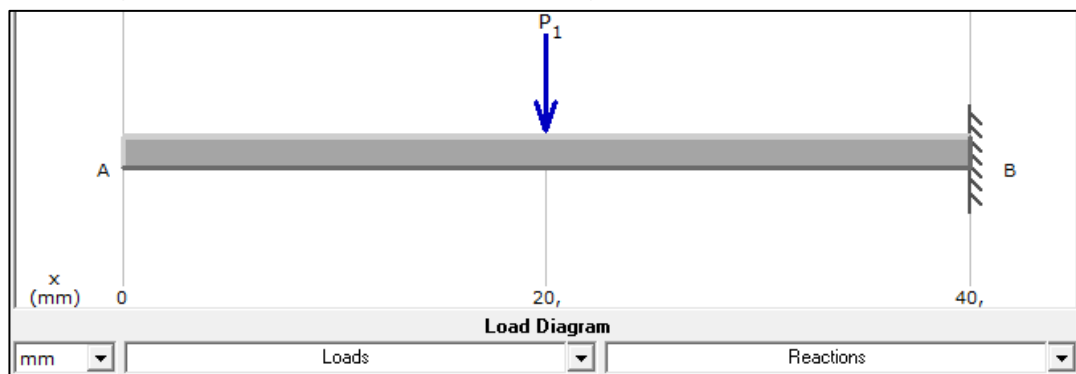


Figura 20. Diagrama fuerzas presentes en la paleta lado izquierdo

La Figura 21 muestra los diagramas de momento y fuerzas cortantes del lado de la paleta, valores de la reacción y el momento de la viga empotrada que fueron calculados con el software MDsolid.

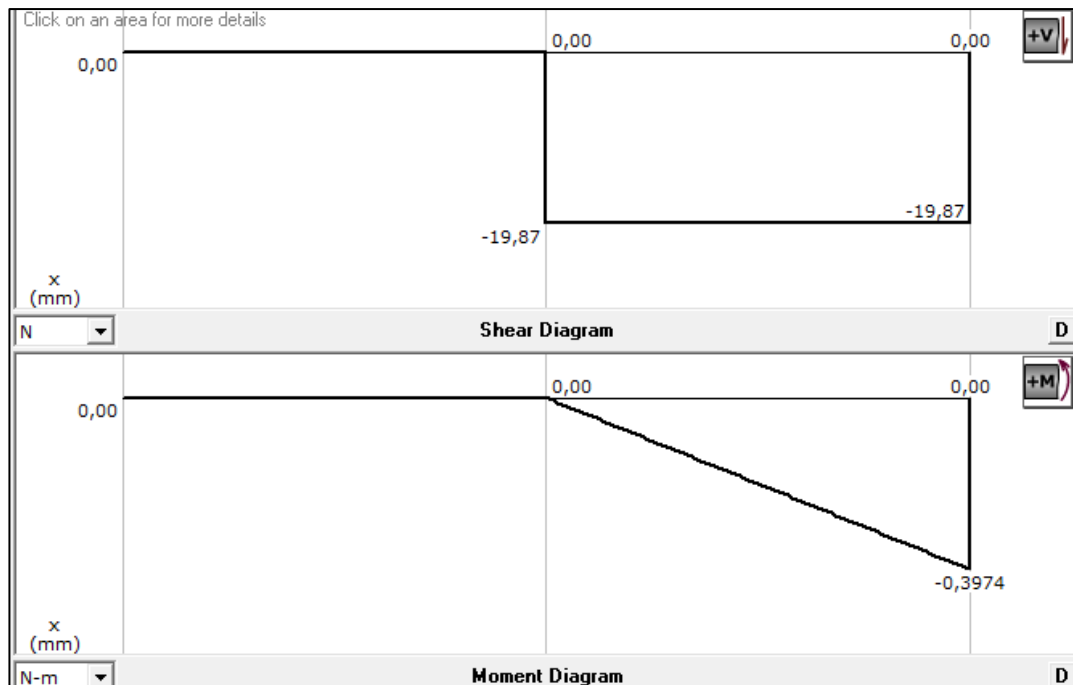


Figura 21. Diagrama de fuerzas cortantes de la paleta

$$R1 = 19,87 \text{ N } (\uparrow)$$

$$M1 = 0,4 \text{ Nm } (\cup)$$

Dado la posición más alta de la paleta, en la que no actuarán fuerzas:

$$\sigma_{\text{mín}} = 0$$

Remplazando la ecuación [8] en la ecuación [6]:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{6 * M_1}{B * H^2}$$

El esfuerzo medio se calcula mediante:

$$\sigma_m = \frac{6 * M_1}{B * H^2} \rightarrow \sigma_m = \frac{3 * M_1}{2 * B * H^2}$$

σ_m y σ_a son iguales, al eliminarse el esfuerzo flector mínimo:

$$\sigma_m = \sigma_a$$

De la ecuación [1], se obtiene H, que representaría el espesor mínimo:

$$\frac{(K_t) * \frac{3 * M_1}{2 * B * H^2}}{S'_n} + \frac{\frac{3 * M_1}{2 * B * H^2}}{S_u} = \frac{1}{N}$$

$$H = \sqrt[2]{\frac{3 * M_1 * N * (S_u + S'_n) * K_t}{2 * B * S_u * S'_n}}$$

$$H = \sqrt[2]{\frac{3 * 0,4 * 2,5 * [(586 \times 10^6) + (171,42 \times 10^6)] * (1)}{2 * 0,04 * (586 \times 10^6) * (171,42 \times 10^6)}}$$

$$H = 5,3 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,53 \text{ mm}$$

Al ser el espesor mínimo de las paletas de 0,53 mm. Se las elaborará en planchas de 1 mm de espesor (IPAC, 2019).

La Figura 22 ilustra la varilla que sostendrá a la paleta, para poder mezclar la tierra con los residuos orgánicos.

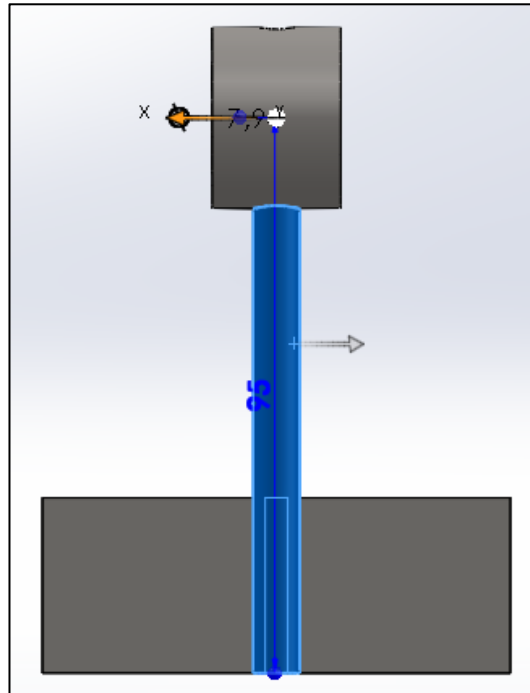


Figura 22. Forma tentativa de varilla de la paleta

La distancia de la línea de acción del eje al centroide de la paleta es:

$$d_{ep} = 8 \text{ cm}$$

En el caso de las paletas giradas es necesario descomponer en sus proyecciones de los ejes X, Y, Z, para conocer si el efecto de la fuerza y el momento no cambia, con respecto a la paleta central.

$$F_{pz} = F_p * \cos(\theta)$$

$$F_{pz} = 39,74 * \cos 30 = 34,42 \text{ N}$$

$$F_{px} = F_p * \sin(\theta)$$

$$F_{px} = 39,74 * \sin 30 = 19,87 \text{ N}$$

$$F_p = \sqrt{34,42^2 + 19,87^2} = 39,74 \text{ N}$$

$$\sum M_x = 0$$

$$M_{Ax} = d_{ep} * F_{pz}$$

$$M_{Ax} = (0,08) * (34,42) \text{ Nm}$$

$$M_{Ax} = 2,754 \text{ Nm}$$

$$\sum M_z = 0$$

$$M_{Az} = d_{ep} * F_{px}$$

$$M_{Az} = (0,08) * (19,87) \text{ Nm}$$

$$M_{Az} = 1,59 \text{ Nm}$$

$$M_A = \sqrt{2,754^2 + 1,59^2}$$

$$M_A = 3,18 \text{ Nm}$$

La Figura 23 muestra los diagramas de fuerzas y momentos que actúan en el plano Z, sobre la varilla que sujeta las paletas giradas. En la paleta recta los diagramas mostrarán la acción de los módulos de la fuerza y momento flector de las paletas giradas.

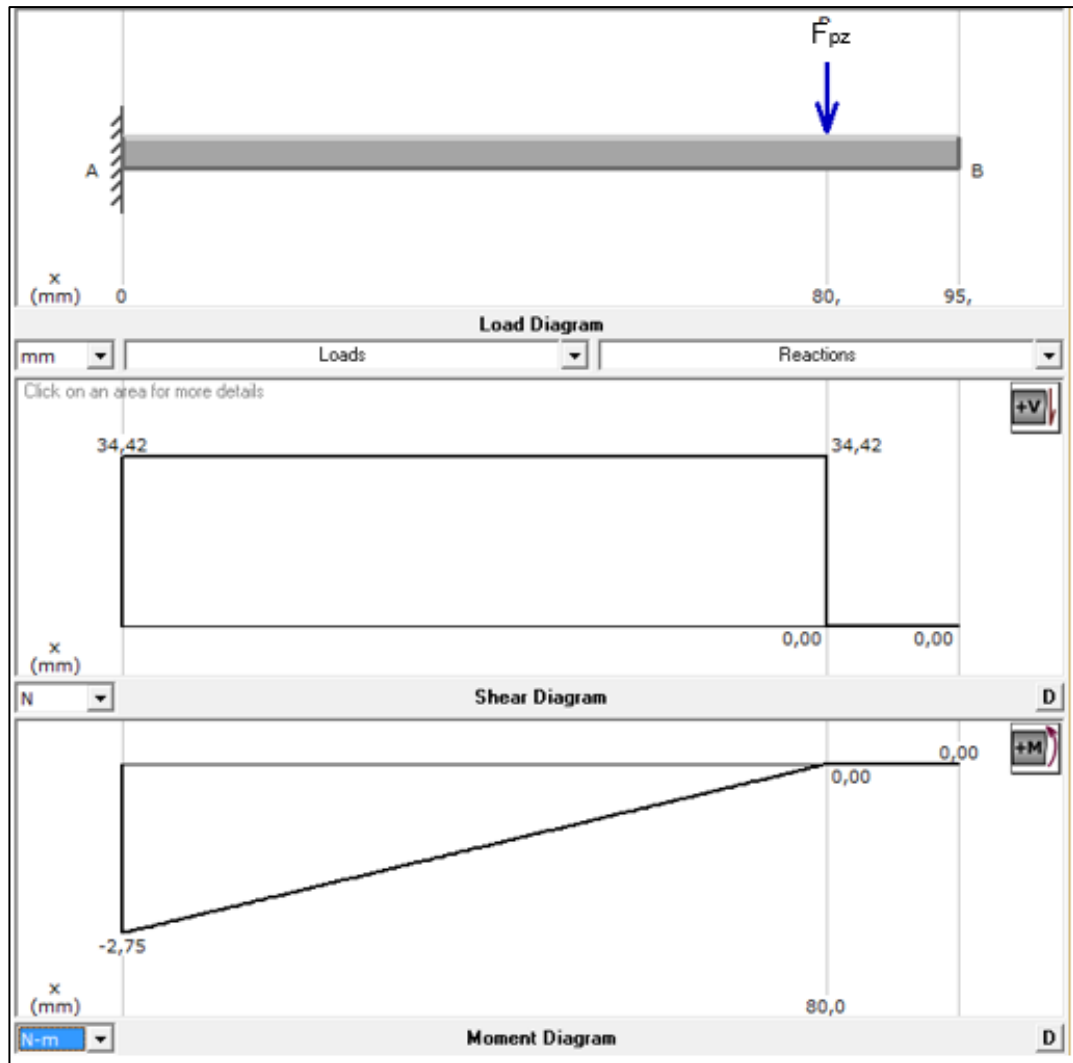


Figura 23. Diagrama de momento y fuerza cortante en varilla en eje z

Los diagramas de fuerzas y momentos que actúan en cada plano X están ilustrados en la Figura 24. En la paleta recta los diagramas mostrarán la acción de los módulos de la fuerza y momento flector de las paletas giradas.

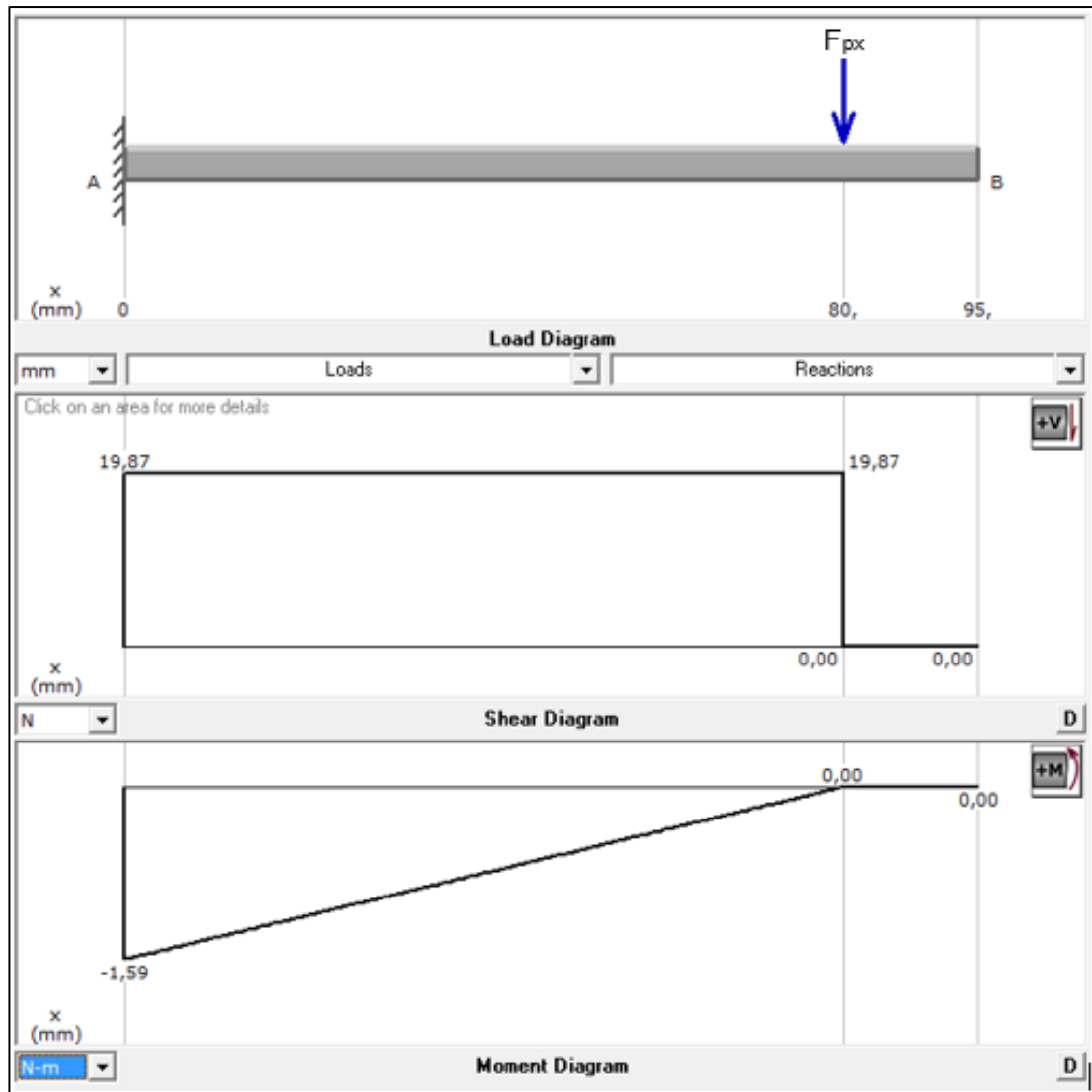


Figura 24. Diagrama de momento y fuerza cortante en varilla en eje x

Reemplazando la ecuación [7] en [6]:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{32 * M}{\pi * D^3} \quad \sigma_{m\acute{i}n} = 0$$

σ_m y σ_a son iguales, al eliminarse el esfuerzo flector mínimo:

$$\sigma_m = \sigma_a$$

Por lo tanto, las ecuaciones [4] y [5] serín iguales a:

$$\sigma_m = \frac{16 * M}{\pi * D^3}$$

Despejando el diámetro mínimo de la ecuación [1]:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 * M * N * K_t * (S_u + S'_N)}{\pi * S_u * S'_N}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 * 3,19 * 2,5 * 1 * ((586 \times 10^6) + (171,42 \times 10^6))}{\pi * (586 \times 10^6) * (171,42 \times 10^6)}}$$

$$D = 6,74 \times 10^{-3}m = 6,74 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo más cercano de 5/16 in o 7,94 mm (Dipac, 2019b).

Las Figura 25 indica el comportamiento del factor de seguridad para la paleta girada aplicada a los extremos de la mezcladora.

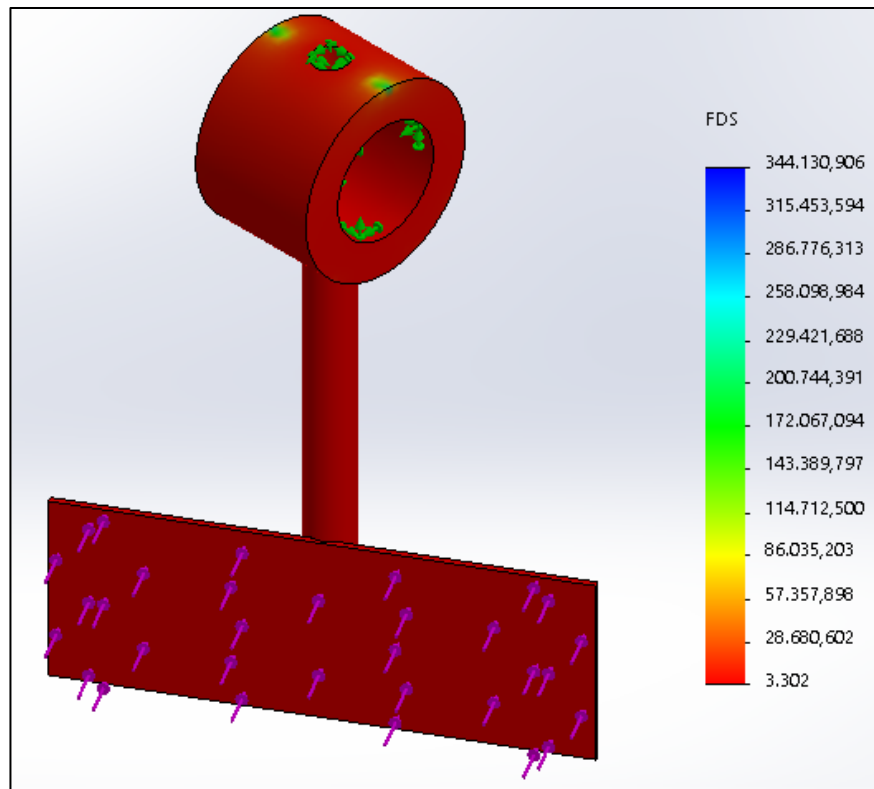


Figura 25. Simulación de factor de seguridad de paleta girada 30°

La Figura 26 indica el mismo comportamiento del factor de seguridad en la paleta recta, estas simulaciones hechas en el software SolidWorks reflejan el cumplimiento satisfactorio del diseño para las paletas.

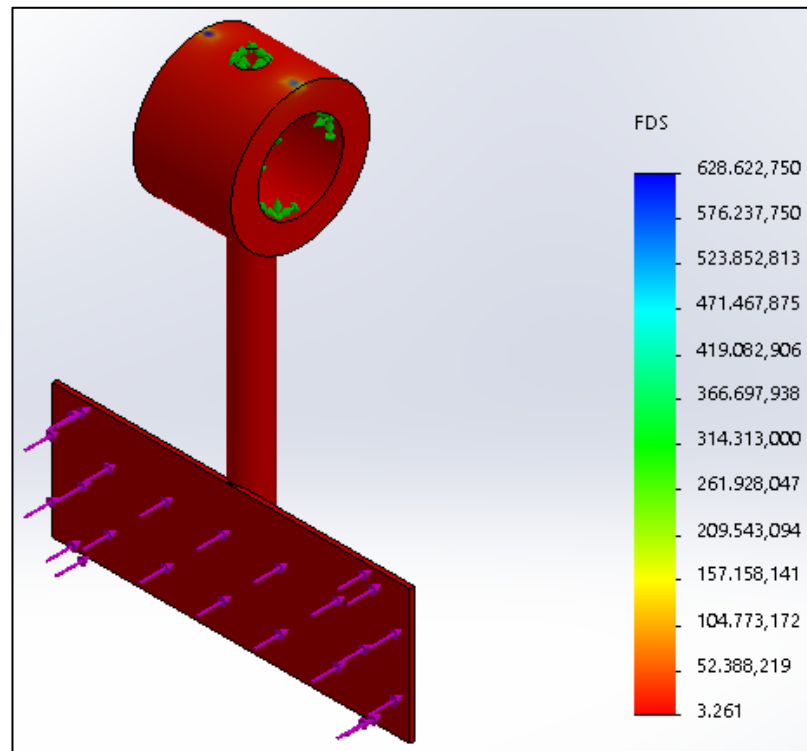


Figura 26. Simulación de factor de seguridad de paleta recta

En el Anexo 3 se muestran los desplazamientos, los cuales son mínimos.

2.3.3 SELECCIÓN DEL MOTOR

Conocidas las propiedades de la mezcla y la fuerza necesaria para mezclar, es necesario saber el torque que deberá transmitirse, para cálculos posteriores. El torque requerido para mover las 3 paletas de mezclado se determina por:

$$\sum M_{eje} = F_z * d_{ep} \quad [12]$$

Donde:

M_{eje} : momento respecto a un eje o torque requerido

F : fuerzas puntuales ejercida sobre paletas en el eje z

d_{ep} : distancia del centro del eje al centroide de la paleta

Reemplazando en la ecuación [22]:

$$\sum M_{eje} = (34,42) * (0,08) + (39,74) * (0,08) + (34,42) * (0,08)$$

$$M_{eje} = T = 8,686 \text{ Nm}$$

Para determinar la velocidad angular:

$$\omega = 38 \text{ rpm} \approx 3,98 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Para determinar la potencia requerida por el motor:

$$P = T * \omega \quad [13]$$

Donde:

P : Potencia del motor

T : Torque

ω : Velocidad angular

$$P = (8,686 \text{ Nm}) * \left(3,98 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

$$P = 34,57 \text{ Watts} = 0,05 \text{ Hp}$$

El motor más cercano encontrado en el mercado industrial ecuatoriano fue de 1/8 Hp. El Anexo 4 muestra el motor seleccionado y sus características.

2.3.4 SELECCIÓN DE POLEAS Y BANDA

Para el desarrollo de los cálculos se considera la siguiente información:

- Motor entrega 1/8 de hp a 38 rpm, la velocidad angular y la potencia debe ser la misma en ambas poleas.
- La transmisión de potencia se realiza mediante una banda tipo V.

La relación de velocidad para poleas se define por la ecuación:

$$\frac{N_p}{n_p} = \frac{D}{d} \quad [14]$$

Donde:

N_p : velocidad mayor de polea

n_p : velocidad menor de polea

D : diámetro polea del motor

d : diámetro polea del eje de mezcladora

En este caso dado que la velocidad del motor y la determinada para la mezcladora son las mismas, se tiene que:

$$\frac{N_p}{n_p} = 1$$

Por lo tanto, la ecuación [14] es igual a:

$$D = d$$

Se selecciona una polea de 3 1/2 in o 89 mm para disminuir la fuerza que actúa sobre el eje.

$$F_{eje} = \frac{3T}{D} \quad [15]$$

Donde:

F_{eje} : fuerza que actúa en el eje por la polea

T : torque que entrega el motor

D : diámetro de polea que recibe la potencia

Reemplazando los valores antes calculados en la ecuación:

$$F_{eje} = \frac{3 * 8,686 \text{ Nm}}{0,089 \text{ m}}$$

$$F_{eje} = 292,79 \text{ N}$$

La longitud de la banda se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Lp = 2E + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4E} \quad [16]$$

Donde:

E : distancia entre ejes

D : diámetro polea motor

d : diámetro polea eje

Lp : longitud primitiva de la correa

Parámetro:

- Distancia entre ejes: 380 mm

$$Lp: 2 * (380 \text{ mm}) + \frac{\pi(89 + 89)}{2} + \frac{(89 - 89)^2}{4 * (380)}$$

$$Lp = 1039,6 \text{ mm} = 40,93 \text{ in}$$

Por lo tanto, la banda más cercana en el mercado industrial es A-41(Bohman, 2019).

2.3.5 DISEÑO DE EJE

El eje transmite el movimiento a las paletas de la sección de la mezcladora y por esto es el elemento más crítico a ser analizado.

Como se ha indicado anteriormente la mezcla solo ocupará el semicilindro del recipiente, sin embargo, para el análisis de las fuerzas se supondrá que en todas las paletas están ejerciendo fuerza para remover la mezcla. Para el proceso de mezclado se utilizarán 3 paletas dispuestas a 120° (Figura 27).

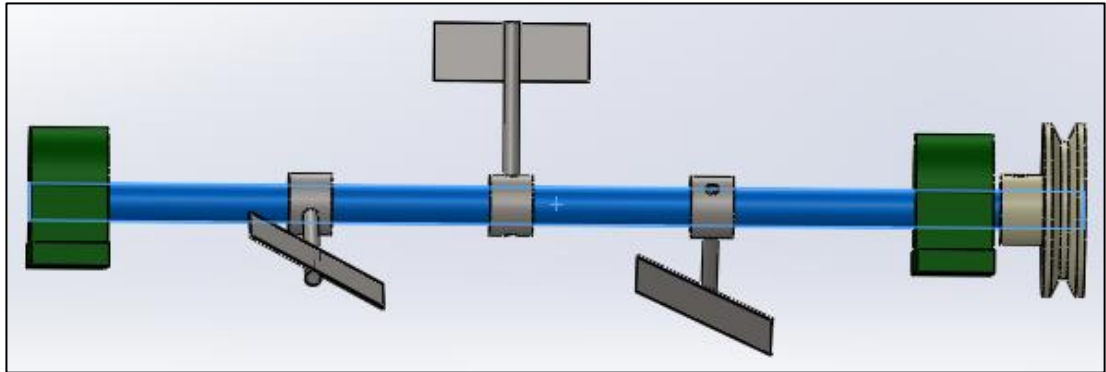


Figura 27. Eje principal

Debido a las fuerzas que actúan sobre cada una de las paletas, habrá reacciones a considerar en el eje, como se representan en la Figura 28.

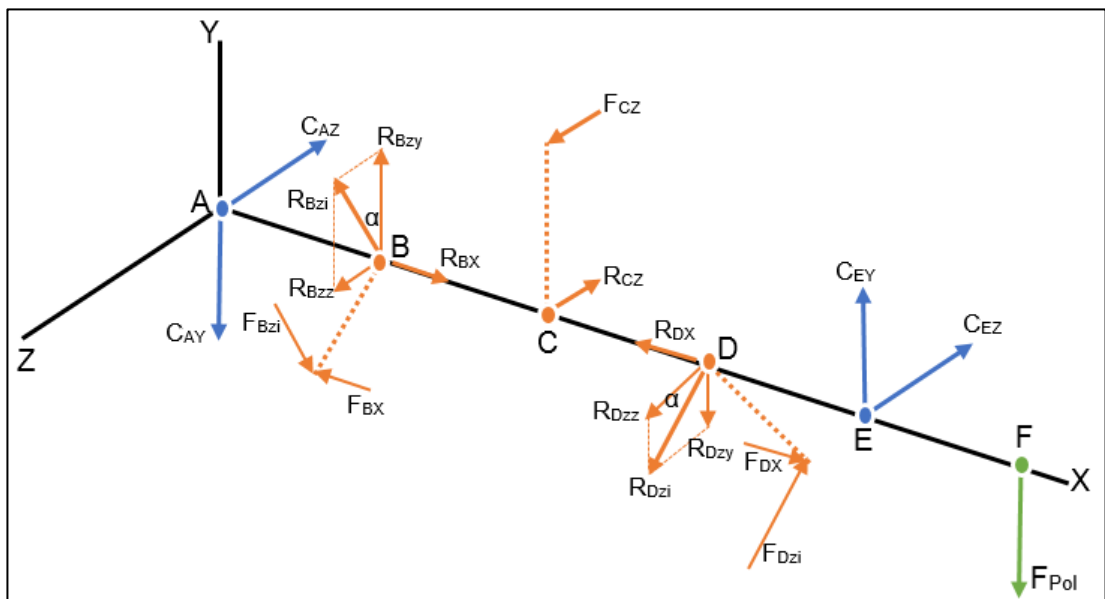


Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del eje

La Figura 29 ilustra el momento producido por las paletas sobre el eje, además del momento que el motor tiene que dar para la mezcla.

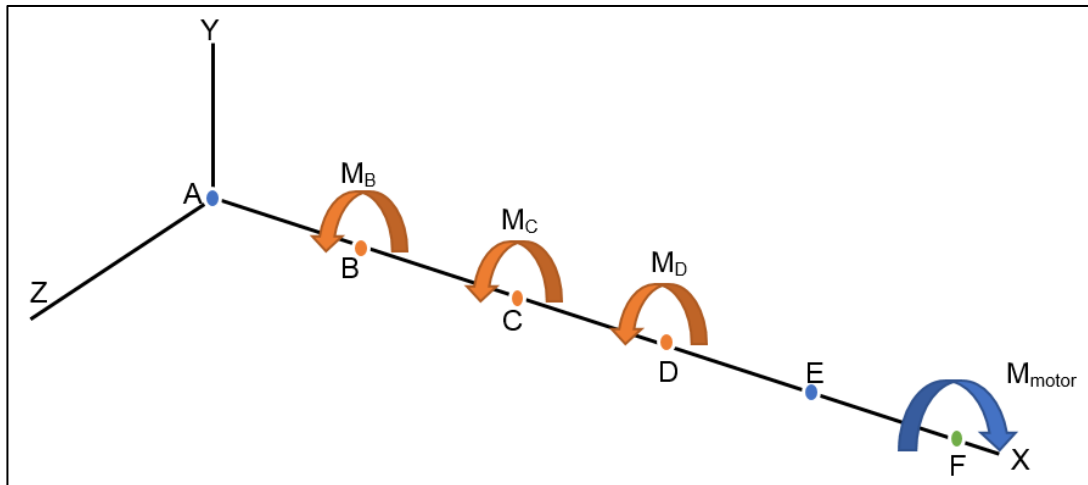


Figura 29. Momentos producidos por paletas sobre el eje

Las fuerzas en el eje X son las que actúan axialmente en el eje y debido a la inclinación que tienen las paletas, estas fuerzas se anulan entre sí. Las fuerzas que producen torsión en el eje son las que actúa en los ejes Y y Z. Por lo tanto, las fuerzas actúan en el eje son presentadas en la Figura 30.

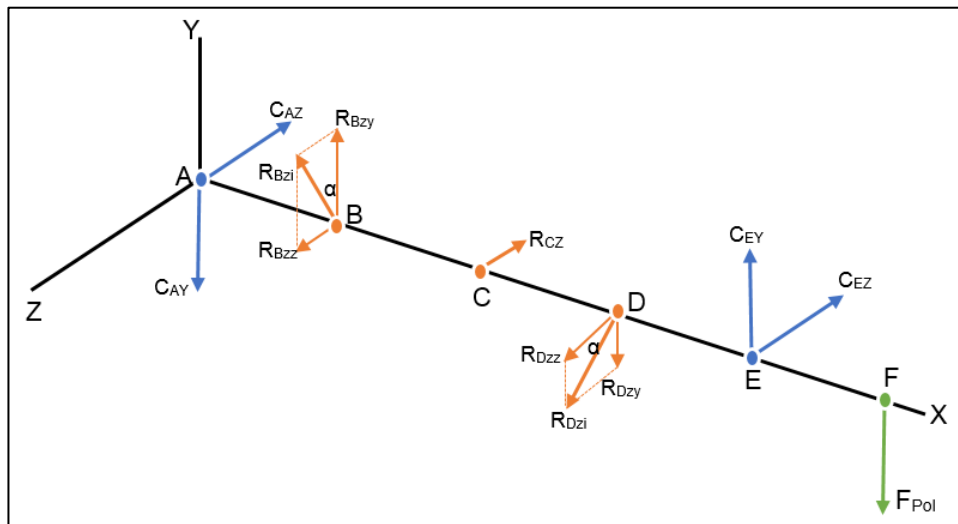


Figura 30. Diagrama de cuerpo libre simplificado del eje

Donde:

$C_{AY}, C_{AZ}, C_{EY}, C_{EZ}$:

reacciones rodamientos en puntos A, E

$F_{Bzi}, F_{BX}, F_{DX}, F_{Dzi}$:

proyecciones de la fuerza en la paleta (Figura 19)

R_{BX}, R_{DX} :

reacciones axiales en el eje

R_{Bzi}, R_{Dzi} :

reacciones a proyecciones F_{Bzi}, F_{Dzi}

R_{Bzy}, R_{Dzy} :

proyecciones de R_{Bzi} sobre eje Y,Z

R_{Dzz}, R_{Dzy} : proyecciones de R_{Dzi} sobre eje Y,Z
 F_{Cz} : fuerza en la paleta en el punto C
 R_{Cz} : reacción en el eje en el punto C
 F_{pol} : fuerza ejercida por polea
 M_B, M_C, M_D : momentos producidos por paletas
 α : ángulo de proyección

Algunos valores de reacciones en el eje se puede obtener los valores previamente calculados:

$$\begin{aligned}
 R_{Bzi} &= 34,42 \text{ N} & R_{Bzy} &= 34,42 * \cos 30 = 29,8 \text{ N} \\
 R_{Dzi} &= 34,42 \text{ N} & R_{Bzz} &= 34,42 * \sin 30 = 17,21 \text{ N} \\
 & & R_{Dzz} &= 34,42 * \cos 30 = 29,8 \text{ N} \\
 & & R_{Dzy} &= 34,42 * \sin 30 = 17,21 \text{ N} \\
 F_{pol} &= 292,79 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Distancia entre puntos:

$$\begin{aligned}
 A - B &= 124,78 \text{ mm} \\
 B - C &= 103,78 \text{ mm} \\
 C - D &= 103,78 \text{ mm} \\
 D - E &= 124,78 \text{ mm} \\
 E - F &= 56,66 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Para el análisis del eje, primero se tomarán las fuerzas presentes en el plano XY representadas en la Figura 31.

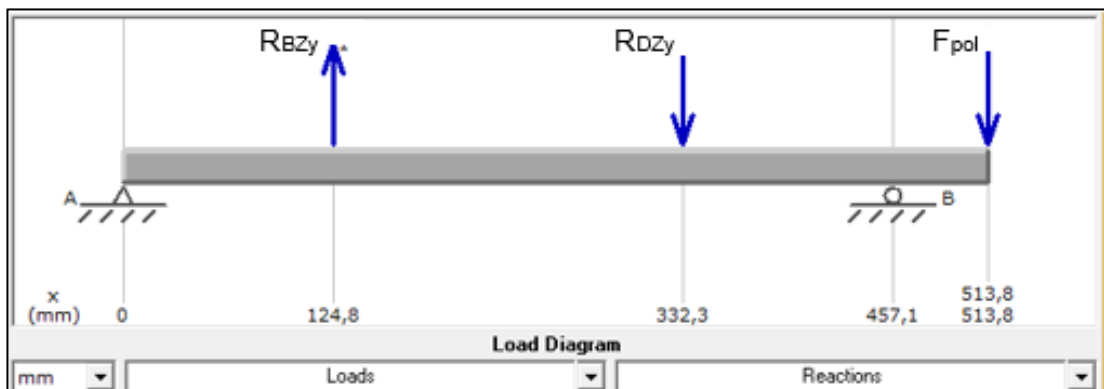


Figura 31. Diagrama de fuerzas presentes del eje en el plano XY

La Figura 32 representará las fuerzas cortantes y momentos, para poder obtener las reacciones en los rodamientos.

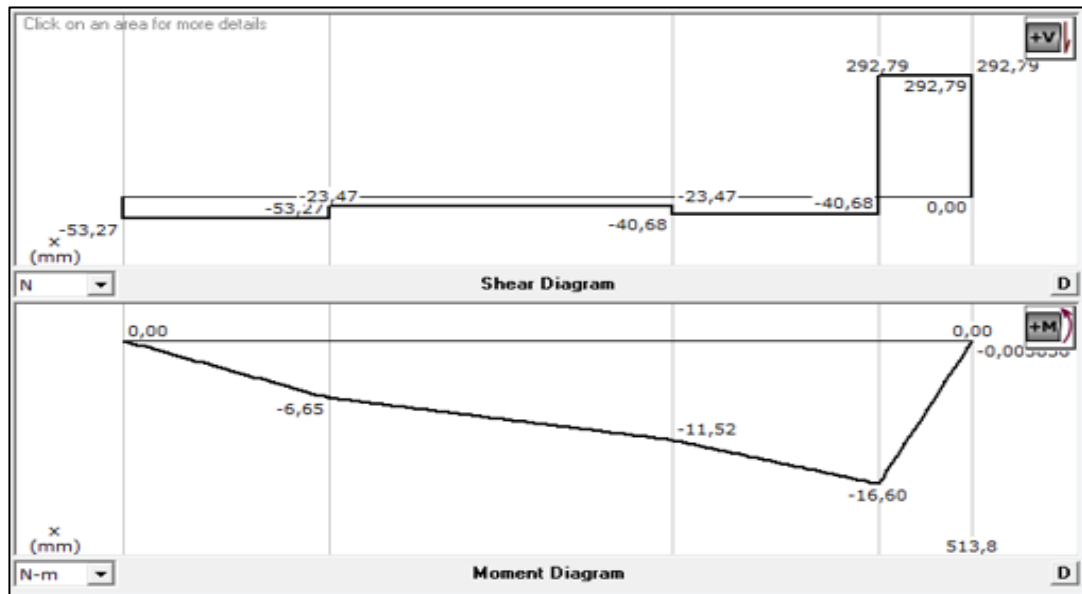


Figura 32. Diagrama de fuerzas cortantes del eje en el plano XY

Las fuerzas de reacción en los rodamientos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Reacciones de rodamientos en el plano XY

Reacción rodamiento A[N]	Reacción rodamiento E[N]
$C_{AY} = 53,27 \downarrow$	$C_{EY} = 333,47 \uparrow$

Posteriormente se hace el análisis de fuerzas que actúan en el plano XZ, para poder conocer las reacciones de los rodamientos en los puntos A y E, además en la Figura 33 se muestran los diagramas de fuerzas cortantes y momentos actuantes en el eje en el plano seleccionado.

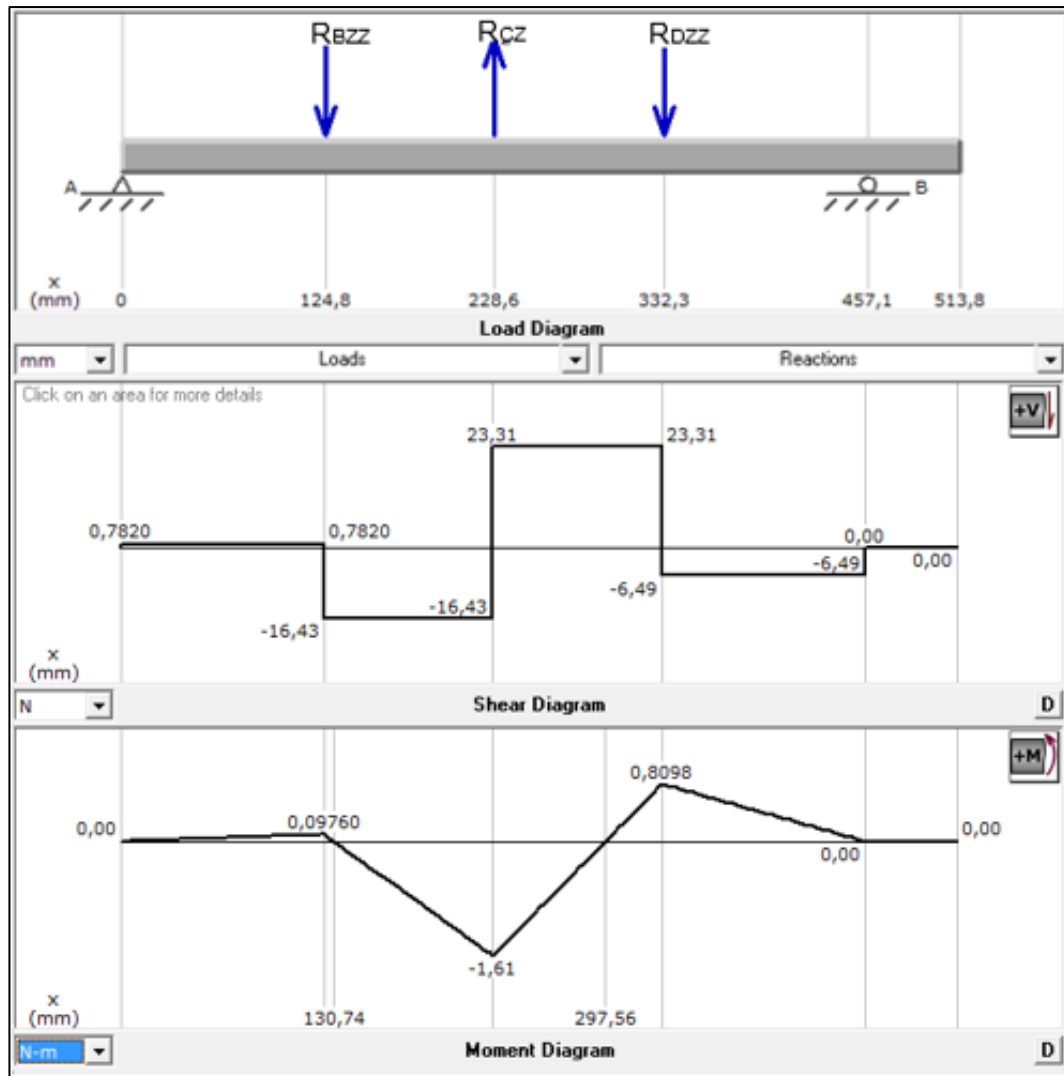


Figura 33. Diagrama de fuerzas cortantes y momento en el plano XZ

Tabla 5. Reacciones de rodamientos en el plano XZ

Reacción rodamiento A[N]	Reacción rodamiento E[N]
$C_{AZ} = 0,78 \leftarrow$	$C_{EZ} = 6,49 \leftarrow$

La Figura 34 indica la aplicación de torques en cada punto de análisis del eje producidos por el motor y las paletas que actúan en el eje.

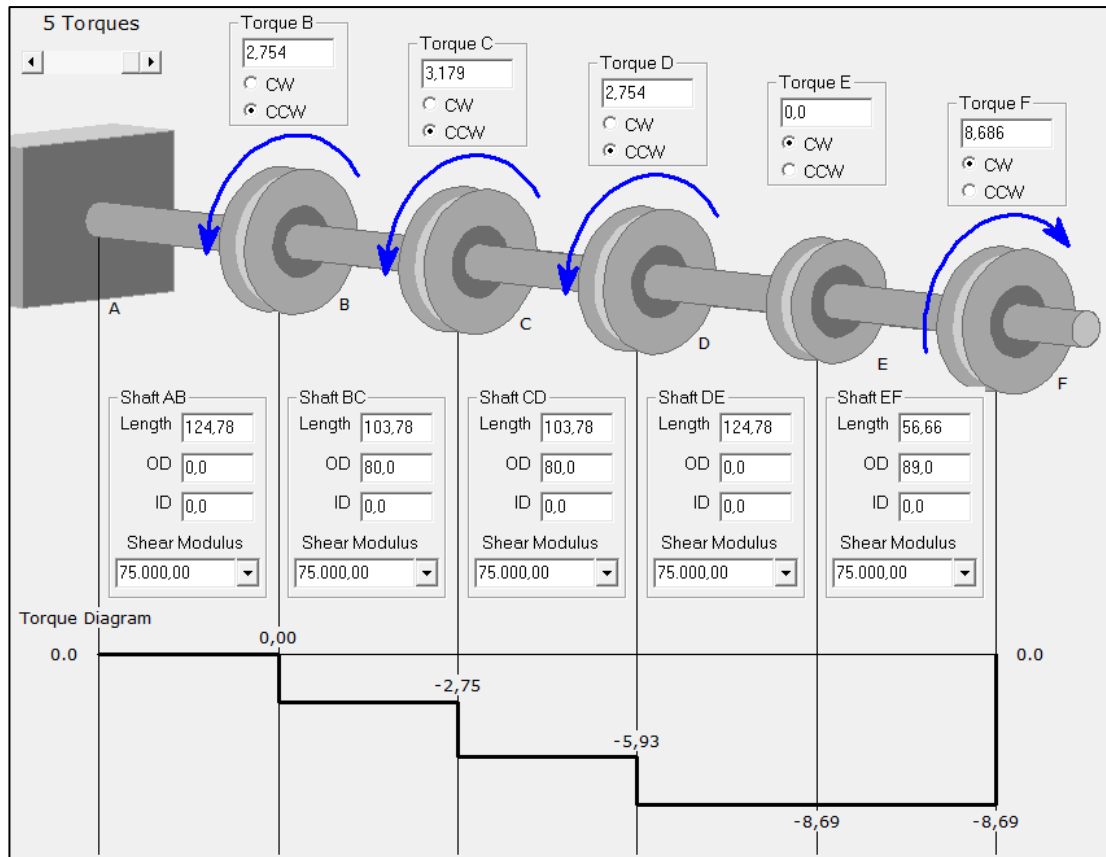


Figura 34. Diagrama de torques en el eje

Para garantizar el diseño del eje, los cálculos se realizarán en el punto E, donde se encuentran el momento flector y el torque máximo actuando al mismo tiempo, por lo tanto, en esta sección puede presentar inconvenientes. Cuando el eje está sometido a flexión y torsión (Mott, 2006):

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [17]$$

Donde:

M : momento flector

T : momento torsor

Se supone un chaflán agudo para asentar el rodamiento en esta sección y se tomará valor de concentración de esfuerzo (Mott, 2006):

$$K_t = 2,5$$

El momento flector y torsor que actúan en el punto mencionado son:

$$M = 16,6 Nm$$

$$T = 8,686 Nm$$

Considerando los factores se utiliza la ecuación [22], para este caso:

$$D = \left[\frac{32 * 2,5}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2,5 * 16,6}{171,42 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{8,686}{241 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$
$$D = 0,0184 m = 18,4 mm$$

El diámetro mayor que se muestra es de 18,4 mm por lo que se seleccionará un tubo de acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ in=19,05 mm (Dipac, 2019b).

La Figura 35 demuestra el comportamiento del factor de seguridad, en el cuál bajo las condiciones críticas que asumimos, los parámetros de diseño del eje no tendrán falla.

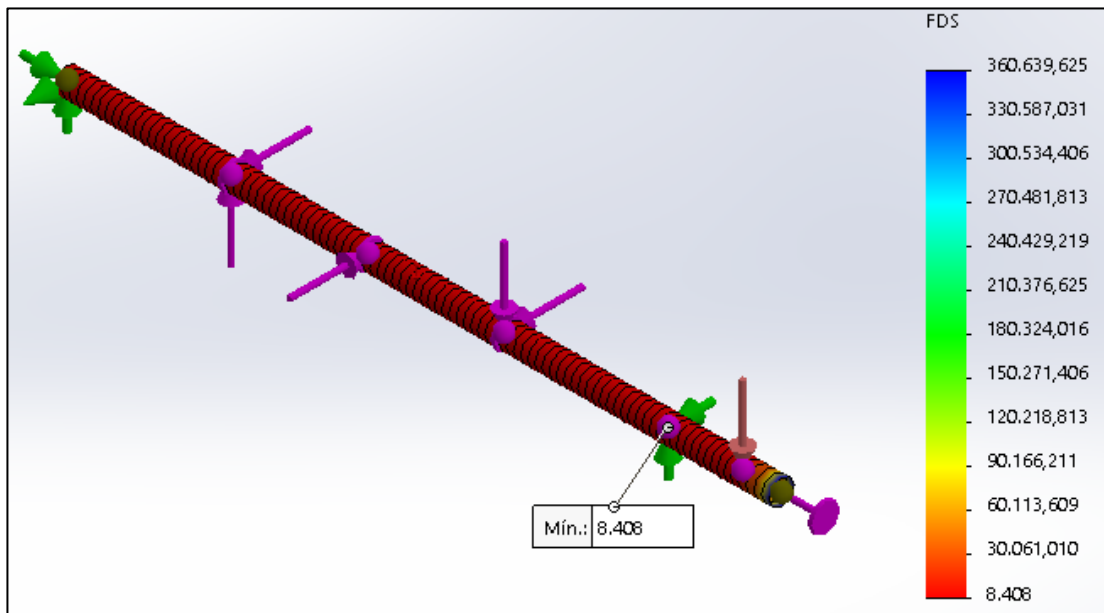


Figura 35. Simulación del factor de seguridad del eje

El Anexo 5 muestra los desplazamientos mínimos que sufrirá el eje en su funcionamiento.

2.3.6 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y CHUMACERAS

Para la selección de un rodamiento se considera la capacidad de carga y el tipo de rodamiento, para que se instale correctamente en la máquina. Según los rodamientos se eligen las chumaceras, las cuales son piezas de metal en donde descansan y gira un eje.

En el diseño existen dos puntos con rodamientos (A y E), y para poder encontrar un rodamiento apto es necesario encontrar la capacidad de carga dinámica básica requerida C, con la ecuación 14-3 (Mott, 2006).

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{K}} \quad [18]$$

Donde:

Pd: carga equivalente

Ld: duración de diseño

K: concentración de esfuerzos

El tiempo de duración (L_{10}) recomendada de diseño que se escogerá para los cálculos será el mismo para un electrodoméstico.

$$L_{10} = 2000 \text{ horas}$$

A partir de L_{10} , es posible calcular la duración de diseño en revoluciones mediante la ecuación [22].

$$L_d = L_{10} * \omega \quad [19]$$

$$L_d = (2000 \text{ h}) * \left(\frac{38 \text{ rev}}{\text{min}} \right) * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$L_d = 4,56 \times 10^6$$

Cálculo de las cargas de diseño en los puntos A y E

$$P_{dA} = \sqrt{(53,28)^2 + (0,78)^2} \quad P_{dE} = \sqrt{(333,47)^2 + (6,49)^2}$$

$$P_{dA} = 53,286 \text{ N} \approx 11,98 \text{ lbf} \quad P_{dE} = 333,533 \text{ N} \approx 74,981 \text{ lbf}$$

La concentración de esfuerzos para un rodamiento de bolas es:

$$K = 3$$

Se seleccionará un rodamiento para el punto E, debido a que se encuentra en un punto crítico en el eje, y este será el mismo en el punto A. Sustituyendo los valores en la ecuación [18].

$$C = 74,981 * \left(\frac{4,56 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 124,34 \text{ lb}$$

La capacidad básica de carga dinámica es menor comparada para lo que son fabricados los rodamientos, por lo tanto, se debe seleccionar un rodamiento y chumacera respecto al diámetro crítico del eje.

Tipo de rodamiento: UCP 204-12

Chumacera: UCP 204-12

(Bohman, 2019)

2.3.7 DISEÑO MECANISMO DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO

La aplicación aconsejada para la reducción de tamaño a sólidos es de presión o impacto (F. Ramos & Vega, 2015), como el indicado en la Figura 36, debido a que el usuario utilizará muy pocas veces este mecanismo y la implementación será de bajo costo. De esta manera se busca obtener un tamaño de sólido de salida menor al de entrada. Por la velocidad que se busca descomponer los residuos orgánicos se tomarán en cuenta las características del tamaño de partículas de salida de una trituración fina, donde se especifica tamaños de 0,5 a 3 cm (F. Ramos & Vega, 2015). El tamaño aproximado de los residuos orgánicos es de 5 a 30 cm² (Hernandez, 2015).

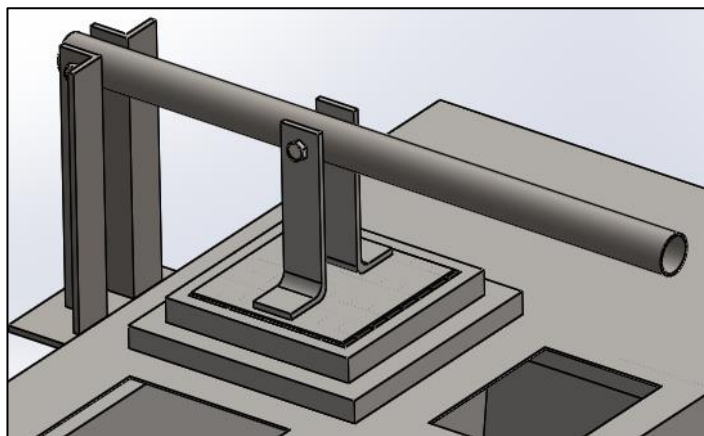


Figura 36. Mecanismo tipo prensa de reducción de tamaño

2.3.7.1 Selección de cuchillas

Se selecciona cuchillas de acero inoxidable 4034 (Figura 37), tienen una dureza de 56 HRC (Imbaquingo, 2017), con marco cuadrado, debido al bajo costo y la facilidad de encontrarlas en el mercado.



Figura 37. Cuchillas cuadradas
(Impoexito, 2019)

Las cuchillas encontradas en el mercado tienen una separación entre cuchillas de 1 cm y cubren un área de 64 cm², por lo que estas cuchillas cumplen satisfactoriamente los parámetros de diseño.

2.3.7.2 Fuerza para cortes

El promedio de las fuerzas para realizar cortes transversales y longitudinales (Chicaiza & Jácome, 2013) serán detalladas en la Tabla 6:

Tabla 6. Fuerzas de corte de alimentos orgánicos

Alimento	Corte Transversal [Kgf]	Corte longitudinal [Kgf]
Zanahoria	3,92	4,14
Cebolla	3,88	4,21
Frutilla	0,72	0,68
Plátano	1,39	0,84
Promedio	2,48	2,47

Se determina que la fuerza de corte como referencia a utilizar será:

$$F_c = 2,48 \text{ Kgf} \approx 24,32 \text{ N}$$

Adicionalmente, se sumará el peso de la tierra que puede quedarse en la caja tipo tamiz en la tapa del contenedor.

$$F_{ti} = 0,667 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 6,54 \text{ N}$$

Se colocará unas platinas de soporte internamente en la tapa del recipiente para que soporte la presión que se ejercerá sobre las cuchillas como se puede ver en la Figura 38.

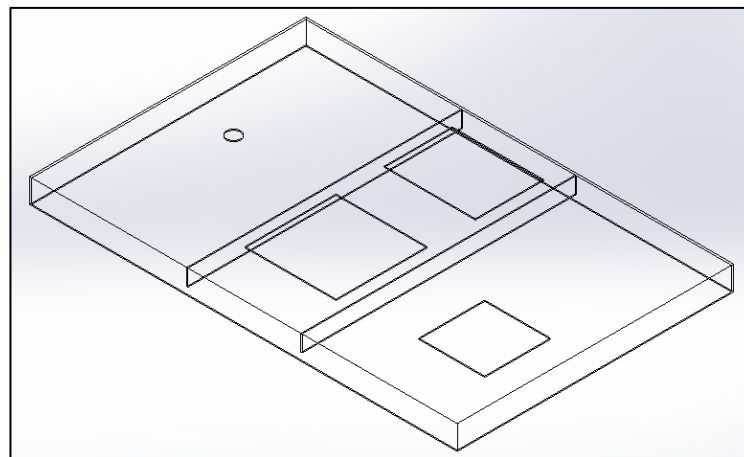


Figura 38. Soportes de la tapa del recipiente

En la Figura 39 se observan las fuerzas actuando sobre los soportes internos de la tapa por efecto de la presión en las cuchillas y el tamiz, se tomó la mitad de las fuerzas para el análisis del soporte de un solo lado.

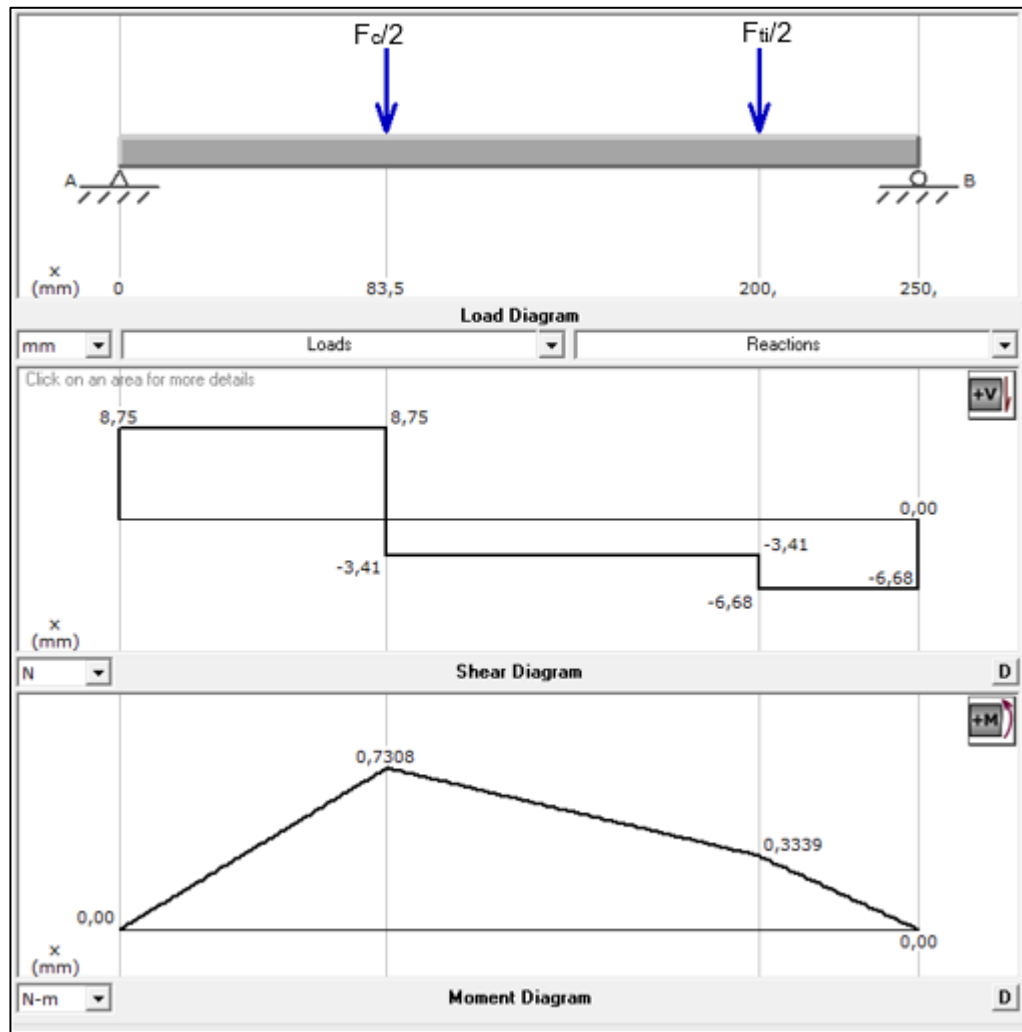


Figura 39. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de platinas

La Tabla 7 muestra las fuerzas que actúan en la pared de la tapa por acción del proceso de corte o tamización de la tierra para la mezcla, estas fuerzas serán tomadas en cuenta para el análisis de la estructura.

Tabla 7. Reacciones en las paredes laterales de la tapa

Reacción A [N]	Reacción B[N]
$R_A = 8,75 \uparrow$	$R_B = 6,68 \uparrow$

Utilizando la ecuación [2], para encontrar la sección crítica:

$$S = \frac{M \times N}{S_y}$$

$$S = \frac{(0,731) * (2,5)}{241 \times 10^6}$$

$$S = 7,581 \times 10^{-9} m^3$$

Para conocer el espesor de la platina considerando que estará ubicada verticalmente, con una altura de 1,5 cm, se emplea la ecuación [8].

$$B = \frac{6 * S}{H^2}$$

$$B = \frac{6 * (7,581 \times 10^{-9})}{0,015^2}$$

$$B = 0,2 \text{ mm}$$

Por el bajo valor permite seleccionar cortes en placas de 1 mm (IPAC, 2019). Para aplicar presión en las cuchillas se ha pensado en una placa de un espesor que será calculado mediante las ecuaciones [2] y [8]. La placa será analizada como viga empotrada, similar al análisis de la paleta. La Figura 40 ilustra los diagramas de análisis en función de las fuerzas que actúan en la placa.

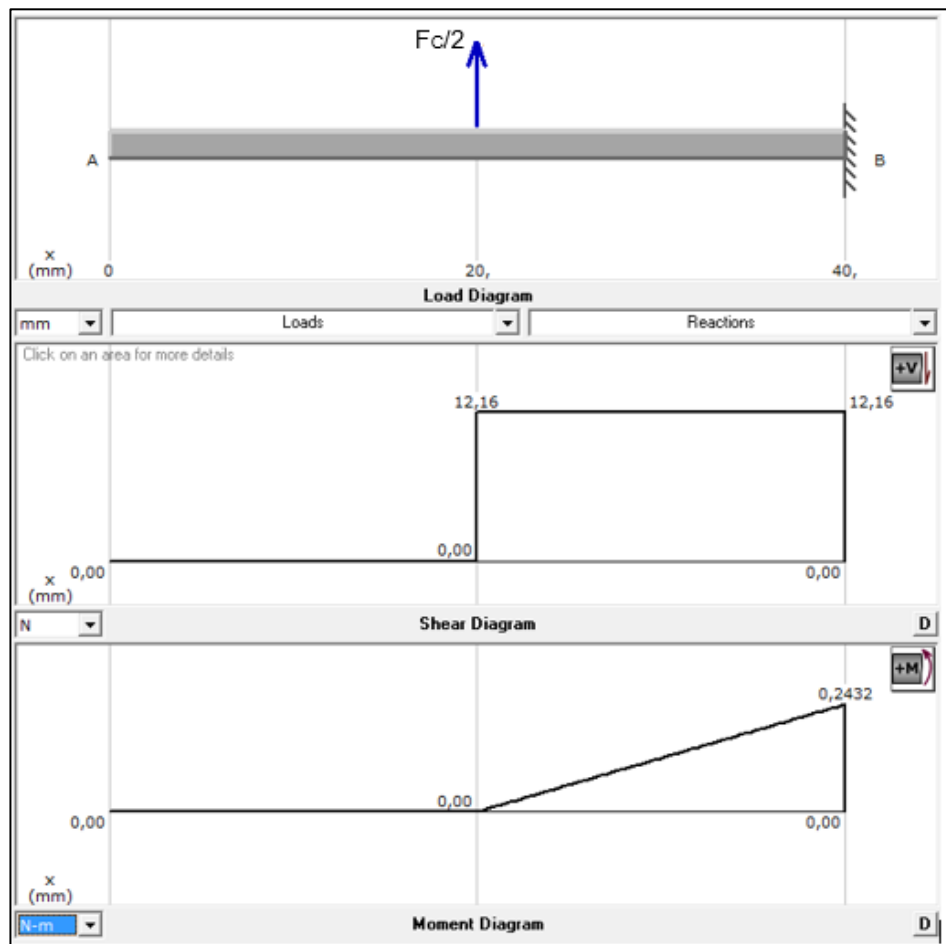


Figura 40. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de placa

$$S = \frac{(0,243) * (2,5)}{241 \times 10^6}$$

$$S = 2,5 \times 10^{-9} m^3$$

$$H = \sqrt{\frac{6 * 2,5 \times 10^{-9}}{0,04}}$$

$$H = 0,06 \text{ cm} = 0,6 \text{ mm}$$

El espesor de la placa a utilizar es de 1 mm (IPAC, 2019), con una forma cuadrada de 80 mm por lado y su análisis en SolidWorks permite determinar que no fallará en su funcionamiento, tanto por el comportamiento del factor de seguridad mostrado en la Figura 41 como en los desplazamientos como se muestra en el Anexo 6.

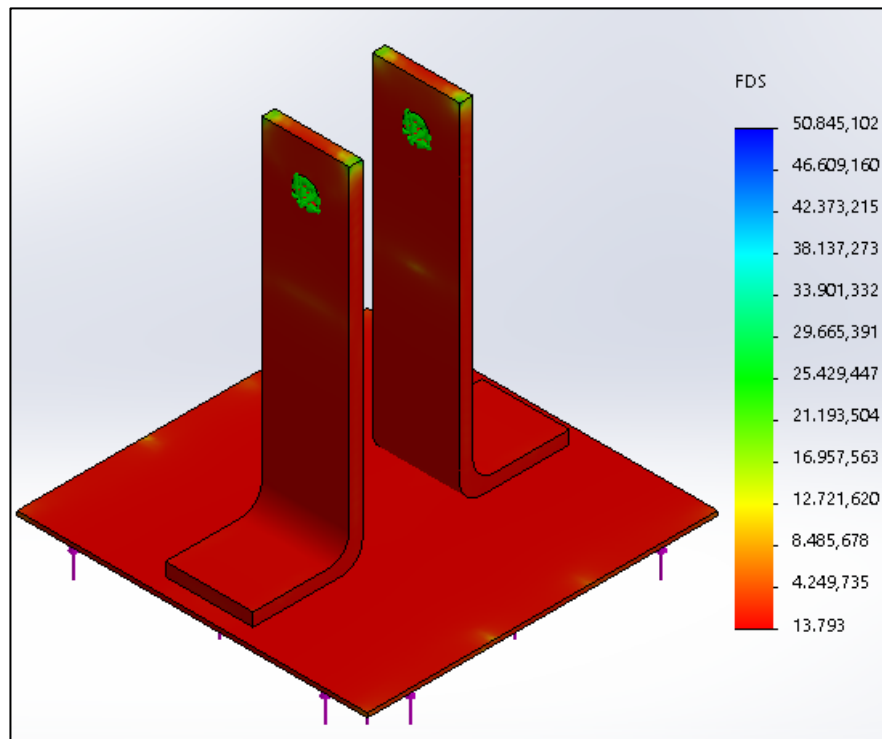


Figura 41. Análisis de factor de seguridad de placa de presión

Finalmente, para el mecanismo de trituración se necesita un mango para que el usuario aplique la fuerza y produzca presión sobre las cuchillas.

La Figura 42 muestra el mecanismo de corte, pudiendo ver como se aplicarían las fuerzas.

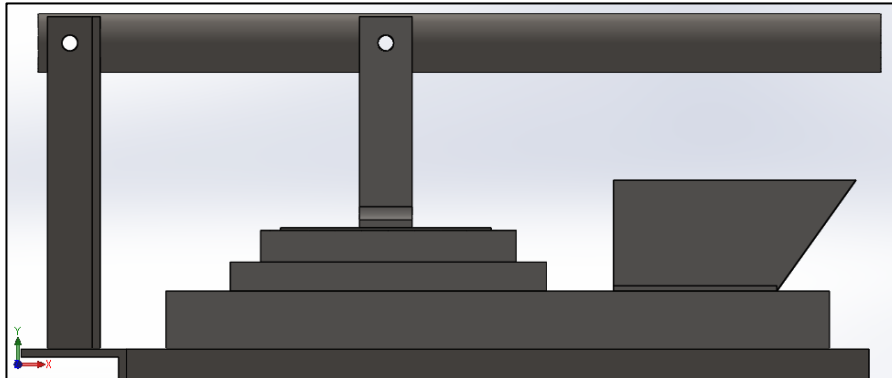


Figura 42. Mecanismo tipo prensa para corte

En Figura 43 ilustra los diagramas de fuerza y momento que se aplica en el mango, a partir del diagrama de cuerpo libre.

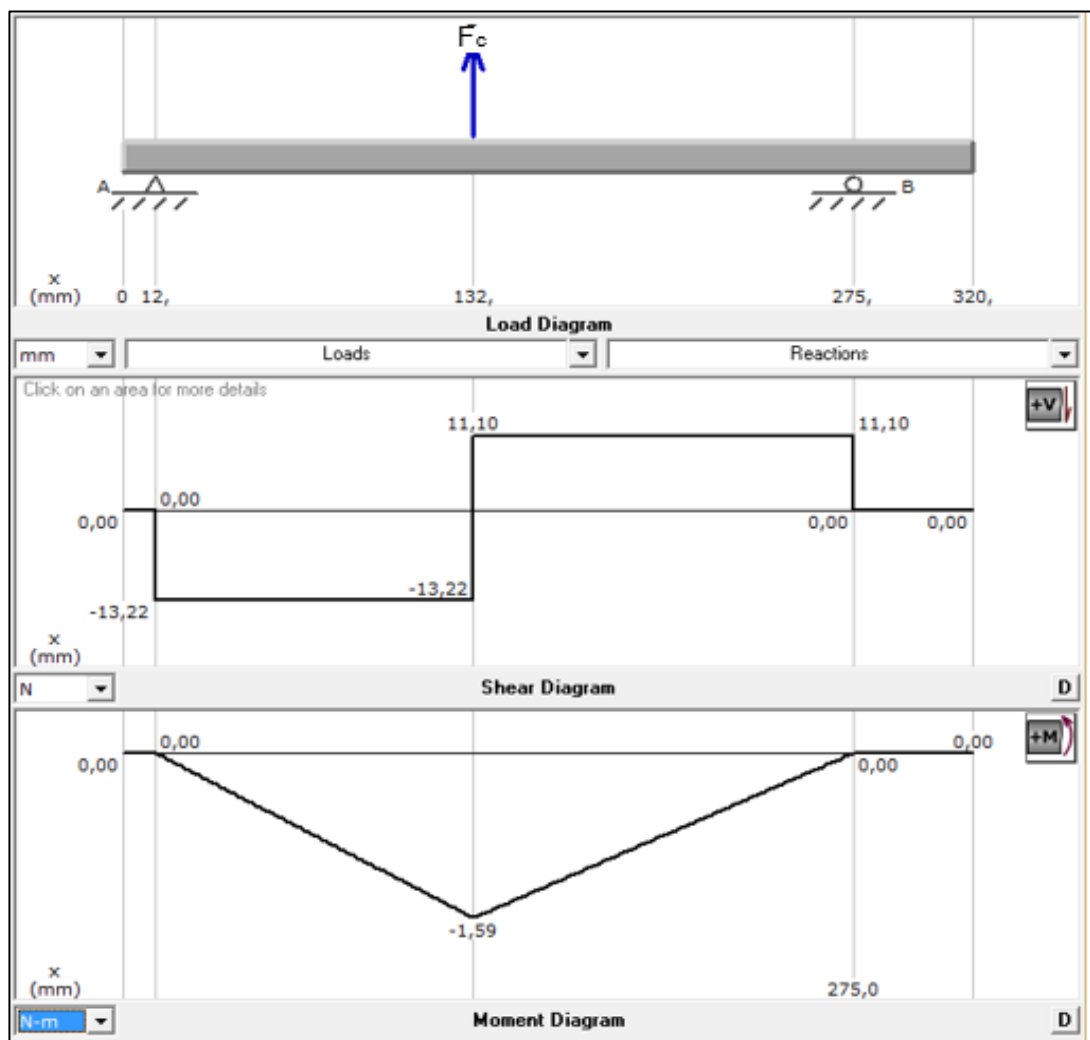


Figura 43. Diagrama de fuerza cortante y momento flector del mango

El tubo a utilizar es de acero A36 redondo:

$$S_y = 250 \text{ MPa} \quad (\text{Mott, 2006})$$

$$S = \frac{(1,59) * (2,5)}{250 \times 10^6}$$

$$S = 0,016 \text{ cm}^3$$

El tubo en el mercado industrial y en el acero mencionado será de 19,05 mm y espesor de 1 mm (Dismetal, 2019). La Tabla 8 indica el valor de reacción del soporte del mango con la estructura y la fuerza que el usuario debe aplicar al extremo del mango para poder cortar.

Tabla 8. Fuerza de reacción y aplicada por el usuario en el mango

Reacción Soporte A[N]	Fuerza por usuario[N]
13,22 ↓	11,10 ↓

Para el análisis de factor de seguridad se utilizó propiedades en SolidWorks del acero A36. Aunque se consideró el tubo más sencillo en el mercado industrial el factor de seguridad muestra un factor de diseño elevado como se observa en la Figura 44. Y se puede ver que el mango no presentará fallas.

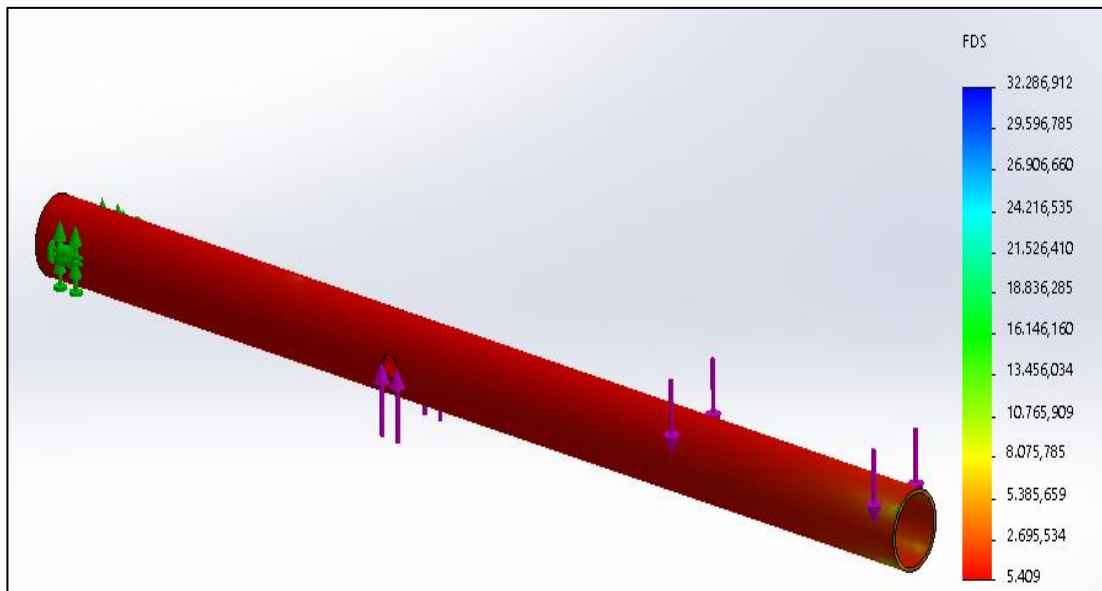


Figura 44. Análisis estático de factor de seguridad del mango

2.3.8 DISEÑO DE ESTRUCTURA

La Figura 45 muestra la estructura comprendida por ángulos L 40X3 y para bandeja de salida con L 20X3 de acero A36 (Dipac, 2019a), contando con secciones donde deberá soportar cargas de la etapa de mezclado, de trituración, recolección del abono, soporte del motor.

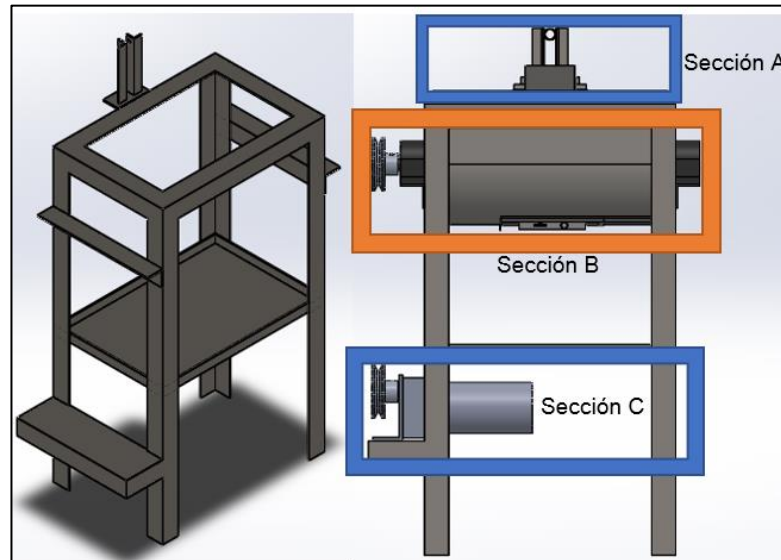


Figura 45. Esquema de la estructura de soporte

2.3.8.1 Cargas

Las principales cargas a las cuales estará sometida son los pesos de todos los elementos que se posicionan sobre ella, contando también con su propio peso y las fuerzas que se aplican en la estructura por el funcionamiento de la máquina, las cuales deben posicionarse sobre el área en la que actúan para obtener un mejor análisis en el software SolidWorks 2017.

A continuación, se detallan los pesos de todos los elementos involucrados:
Sección A: la Tabla 9 muestra las fuerzas actuantes en la sección A que hay que considerar para el análisis.

Tabla 9. Fuerzas en sección A de la estructura

Fuerza/Reacción[N]	Valor[N]
Punto sujeción en mango de prensa	13,22
Puntos laterales de vigas de tapa	8,75
	6,68

La Tabla 10 indica los elementos que soportaría la estructura en esta sección, dando una fuerza de 18,824 Kgf o 184,475 N.

Tabla 10. Cargas por elementos de sección A en la estructura

Elemento	Peso [Kgf]
Mango de prensa	0,142
Placa de presión	0,148
Cuchillas	0,978
Caja Tamiz	0,181
Tapa de recipiente	0,935
Recipiente	2,134
Caja sensores	0,175
Sensores	0,04
Peso Estructura	11,481
Tablero de control	2,13
Recipiente de salida	0,2
Embudo	0,1
Ventilador	0,180
Total	18,824

Sección B: la Tabla 11 define los elementos que soportaría en cada viga acoplada a la estructura en la sección B, con una fuerza total de 3,272 Kgf o 32,066 N.

Tabla 11. Cargas por elementos de sección B en la estructura

Elemento	Peso [Kgf]
Chumaceras con rodamiento	1,3
Polea	0,323
Eje	1,241
Paletas	0,408
Total	3,272

La Tabla 12 muestra las fuerzas actuantes en la sección A que hay que considerar para el análisis.

Tabla 12. Fuerzas en sección B de la estructura

Fuerza/Reacción[N]	Valor[N]
Reacción en rodamiento A	53,27
Reacción en rodamiento E	333,47

Sección C: la Tabla 13 define los elementos que soportaría en cada viga acoplada a la estructura en la sección B, con una fuerza total de 5,323 Kgf o 52,165 N.

Tabla 13. Cargas por elementos de sección C en la estructura

Elemento	Peso [Kgf]
Motor	5
Polea	0,323
Total	5,323

La Tabla 14 muestra las fuerzas actuantes en la sección A que hay que considerar para el análisis.

Tabla 14. Fuerzas en sección C de la estructura

Fuerza/Reacción[N]	Valor[N]
Fuerza originada por banda	292,79

La Figura 46 muestra que el comportamiento del factor de seguridad es mayor a 9, por lo tanto, la estructura soportará las cargas y tendrá robustez para soportar vibraciones que podrían aparecer en el funcionamiento, además en el Anexo 7 los desplazamientos son mínimos como para que afecten a la máquina, porque son menores a 1 mm.

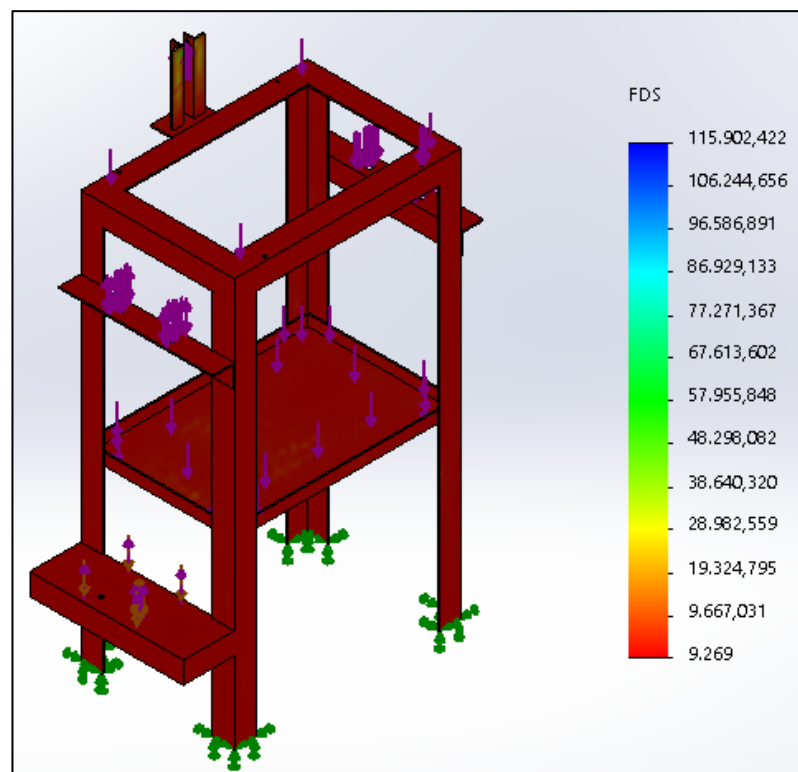


Figura 46. Análisis de factor de seguridad de la estructura

En el Anexo 8 se indica los planos de cada elemento que conforma la máquina, incluidos los elementos anteriormente diseñados y los que cumplen con funciones estéticas o de cubrimiento.

2.4 DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

A continuación, se describen los sistemas eléctrico y electrónico por sus componentes más importantes, divididos en circuitos de alimentación, control y potencia.

2.4.1 CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN

Permite la alimentación de los componentes de la máquina que funcionan tanto con corriente continua como alterna, las conexiones son representadas en la Figura 47.

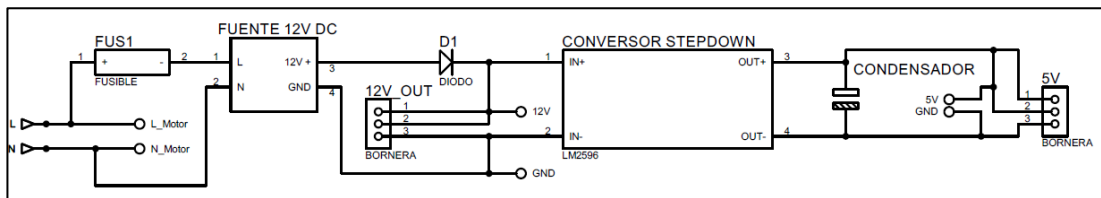


Figura 47. Circuito de alimentación AC y DC

2.4.1.1 Conversor Step-Down

Elementos de control como microcontrolador, sensores, etc. Funcionan con voltaje de 5V, por lo que el conversor bajará el voltaje de 12 V a 5V cuidando el amperaje necesario para el funcionamiento de la máquina. Por lo que se selecciona el Regulador LM2596 DC-DC.

2.4.1.2 Fuente de 12V DC

Se encarga de la alimentación del ventilador a 12 V, y permite alimentar el circuito de control.

2.4.2 CIRCUITO DE CONTROL

Se encarga del accionamiento de actuadores y la realización de acciones respecto a la programación del microcontrolador. La Figura 48 muestra las conexiones desde el Arduino Uno hacia los sensores, luces led y botones que permiten operar la máquina.

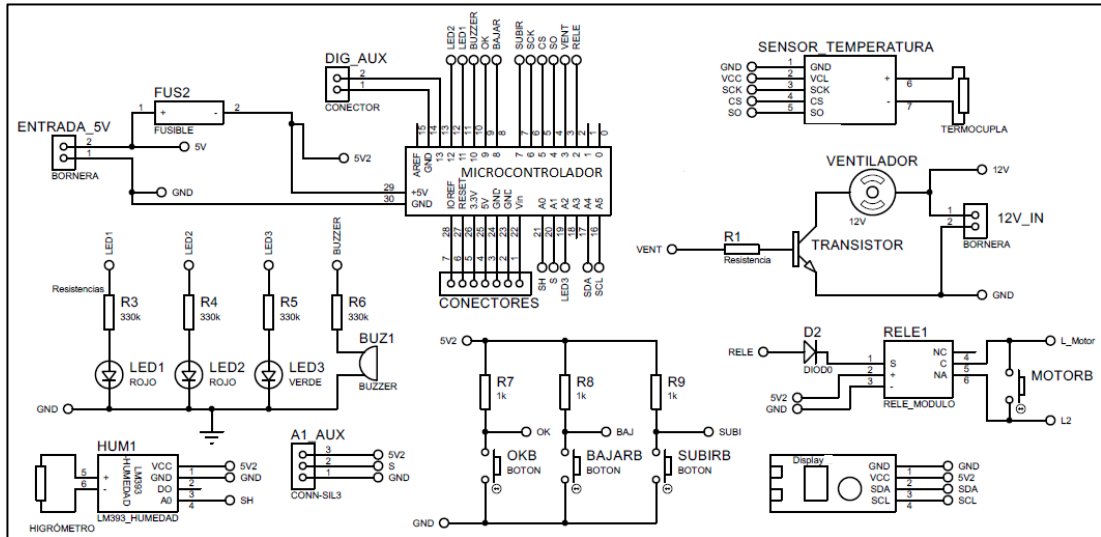


Figura 48. Circuito de control

2.4.2.1 Luces LED

Se encargarán de dar señales de alarma en caso de problemas con temperaturas, humedad o que el proceso ha finalizado.

2.4.2.2 Pantalla LCD

Se ha seleccionado el display LCD 16X2, ya que se considera suficiente el espacio como para mostrar los datos y dar opciones al usuario para que interactúe con la máquina.

2.4.2.3 Fusibles

Los fusibles se utilizarán para la protección del sistema de potencia, al microcontrolador y sensores.

Para sensores, luces, conversores:

$$I_{fusable1} = 0,5 A$$

Para el Arduino Uno:

$$I_{fusible2} = 0,5 A$$

Para el motor de corriente 1A:

$$I_{fusible3} = 1,5 * I_n$$

$$I_{fusible3} = 1,5 * 1$$

$$I_{fusible3} = 1,5 A$$

2.4.2.4 Microcontrolador

Evaluarán las señales adquiridas a partir de los sensores, así este podrá tomar decisiones independientes para poder dar movilidad a los actuadores y mostrar el estado en el LCD 16x2.

Requerimientos:

- 11 pines digitales
- 4 entradas analógicas
- 1 salida digital PWM

Se ha seleccionado el Arduino Uno ya que cumple con los requerimientos y es de fácil obtención en el mercado.

2.4.2.5 Sensor humedad (Higrómetro FC-28)

El sensor se encargará de medir la humedad del suelo entre los rangos establecidos anteriormente.

2.4.2.6 Sensor de temperatura (termocupla tipo K)

Se encarga de medir la temperatura dentro de la mezcla desde una temperatura ambiente hasta 70 °C, además posee cierto recubrimiento y robustez para que no se oxiden sus terminales en la mezcla.

2.4.2.7 Ventilador

Se activará para controlar la temperatura de la mezcla y en casos de los días de volteo este permitirá la aireación. La velocidad del ventilador será controlada por PWM, por lo que por facilidad se selecciona un ventilador DC a 12V, por su potencia.

2.4.3 CIRCUITO DE POTENCIA

Permite el funcionamiento de actuadores de un alto consumo de corriente eléctrica o voltaje mediante las órdenes del microcontrolador. Las conexiones que permiten el accionamiento del motor están ilustradas en la Figura 49.

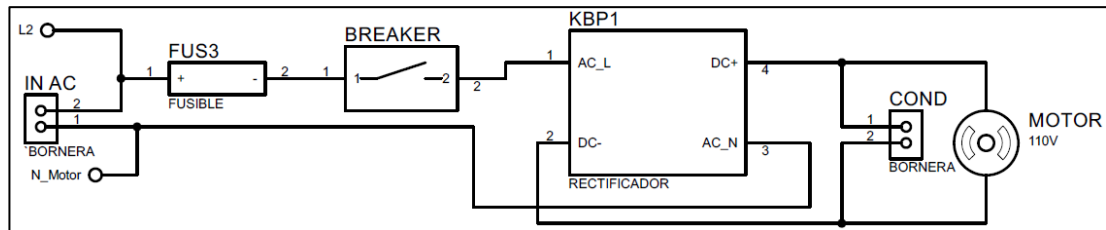


Figura 49. Circuito de potencia

2.4.3.1 Breaker de protección

Funciona como protección contra corrientes de sobre carga y cortocircuitos, debe cumplir con las siguientes condiciones:

Para un motor de 1A.

$$I_{m\acute{a}x} = 1,5 * 1$$

$$I_{m\acute{a}x} = 1,5 A$$

De acuerdo con la disponibilidad del mercado se selecciona un breaker de 2A (INGEL-PRO, 2016).

2.4.3.2 Rectificador KBPC5010

La máquina se alimentará con 110-120 V en corriente alterna, por lo que es necesario un convertidor a DC de potencia para el motor de funcionamiento 110 V en corriente continua.

2.5 DISEÑO DE CONTROL

En esta sección se mostrará el flujograma de la lógica de programación y el diseño del controlador PI para la temperatura.

2.5.1 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN

Al encender la máquina una vez que el usuario haya decidido comenzar con el procesamiento de los materiales para la producción de abono, este podrá

seleccionar el día en el que comenzará del proceso, dado que haya ocurrido alguna interrupción en un proceso anterior. Seleccionado el día el sistema analizará si es un día de volteo (1^{ro}, 4^{to}, 7^{mo}, 10^{mo} día) para proceder a mezclar, después continuará midiendo temperatura y humedad durante todo el transcurso del proceso y en caso de que alguno de estos parámetros salga de los rangos establecidos se encenderá los leds de aviso y el buzzer para avisar al usuario que hay problemas en la producción de la mezcla para el abono. Para el mejor entendimiento se puede interpretar el diagrama de flujo de la programación en la Figura 50.

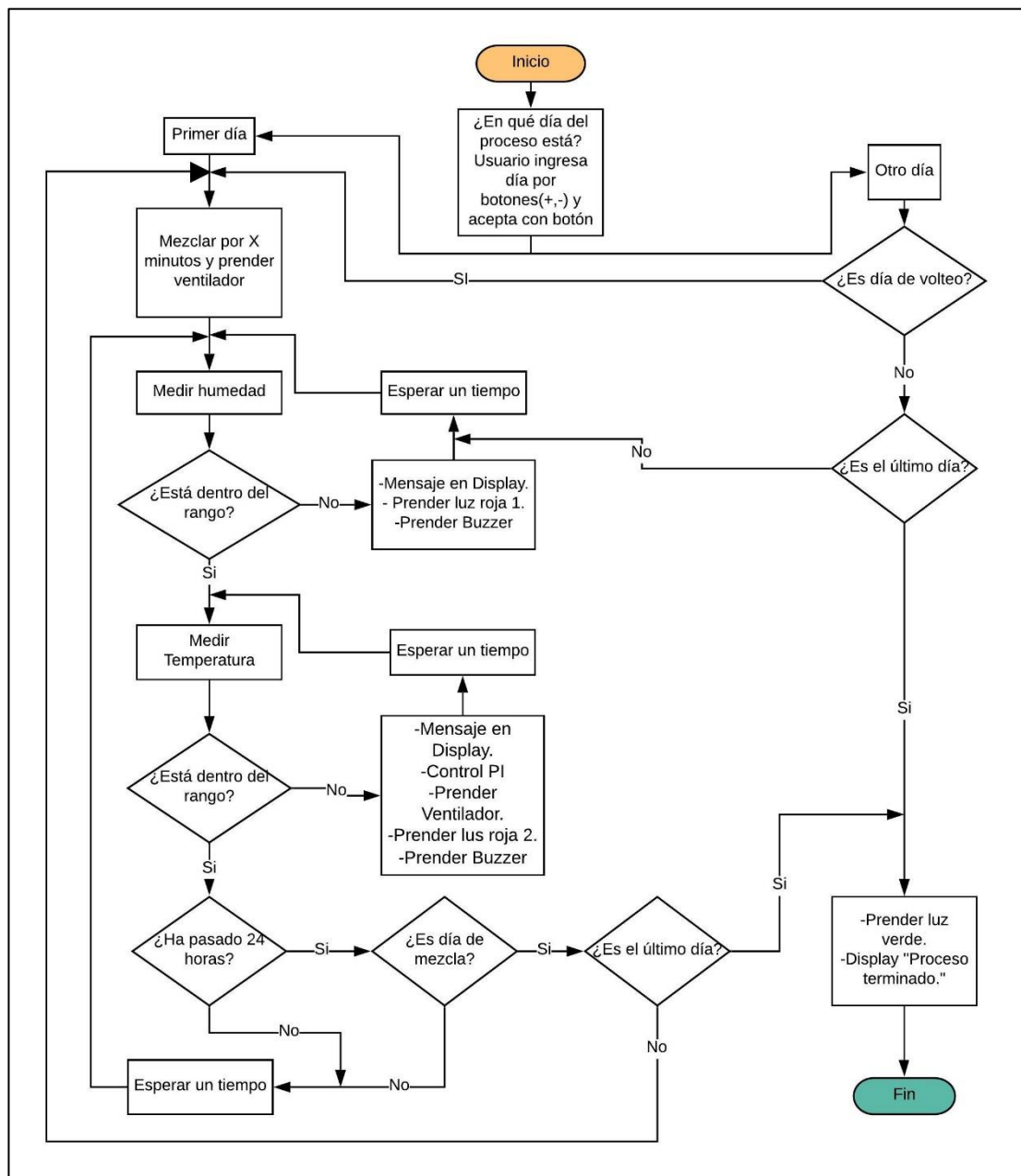


Figura 50. Lógica de programación

2.5.2 DISEÑO CONTROL PI

Para la obtención del modelo matemático del sistema mediante una función de transferencia se realizó una mezcla de desechos orgánicos con tierra y se le dio el procesamiento hasta alrededor del 7-10 día, con humedad alrededor del 50%, posteriormente se elevó la temperatura de la mezcla a unos 49 °C aproximadamente, posteriormente se le aplicó una perturbación mediante un ventilador el cual se controlaba a través de una señal PWM (Anexo 9) proveniente de un microcontrolador, con la finalidad de tomar muestras de temperatura (Anexo 10) durante el transcurso del enfriamiento, como se puede observar en la Figura 51.

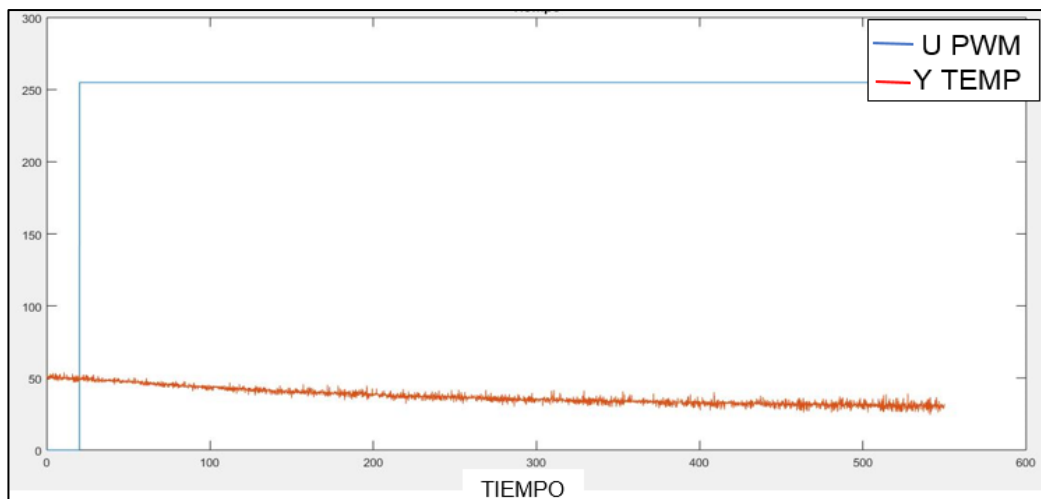


Figura 51. Comparación entrada PWM y temperatura

Para el cálculo de la función de transferencia se requieren dos puntos de referencia de las lecturas de temperatura mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15. Puntos de referencia para función de transferencia

Punto Final (s; °C)	Punto Inicial (s; °C)
(546,2 ; 31,01)	(2,3 ; 49,81)

La ecuación [22] muestra la forma generalizada de una función de transferencia de un sistema de primer orden.

$$G(s) = \frac{K}{\zeta s + 1} e^{-tms} \quad [20]$$

Donde:

- K : Ganancia estática del sistema
- ζ : Constante de tiempo del sistema
- tm : Tiempo muerto

Para conocer el valor de la Ganancia K, se utiliza los puntos final e inicial antes mencionados y los valores de PWM que se enviaron de 0 a 255.

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta u} = \frac{Y_f - Y_i}{u_f - u_i} \quad [21]$$

De la ecuación [22] calculamos:

$$K = \frac{31.01 - 49.81}{255 - 0} = -0.074$$

ζ es el tiempo que tarda la respuesta del sistema en llegar al 63.2% de su valor en estado estacionario.

$$Y_\zeta = 0,632 * (Y_f - Y_i) \quad [22]$$

$$Y_\zeta = 0,632 * (31,01 - 49,81) = -11.88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A este valor se le debe sumar el valor del punto inicial de la temperatura, puesto que era la temperatura inicial antes de la perturbación.

$$Y_\zeta = -11,882 + 49,81 = 37,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De los datos recolectados buscamos el valor que más se acerque al valor calculado como se muestra en la Figura 52. En este caso, se obtiene un tiempo de:

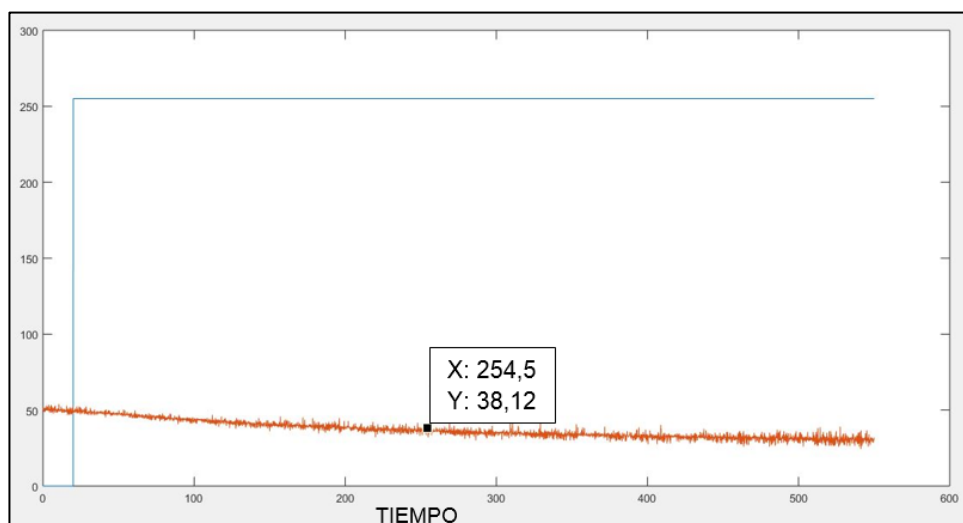


Figura 52. Tiempo en llegar al 63.2% del valor de estabilización

$$X_T = 254.5 \text{ s}$$

$$X_i = 20 \text{ tiempo que se dio el step}$$

Por lo tanto, el valor final de ζ :

$$\begin{aligned}\zeta &= 254,5 - 20 \\ \zeta &= 234.5 \approx 235 \text{ s} \\ tm &= 0\end{aligned}$$

Reemplazando los valores en la ecuación [22], la función de transferencia del sistema es:

$$G(s) = -\frac{0.074}{234.5s + 1}$$

La validación del modelo se muestra en la Figura 53, donde se observa que la gráfica de la función de transferencia calculada con respecto a la gráfica de los datos obtenidos de temperatura se acerca mucho y hay un margen de error aceptable, debido a las no linealidades del sistema.

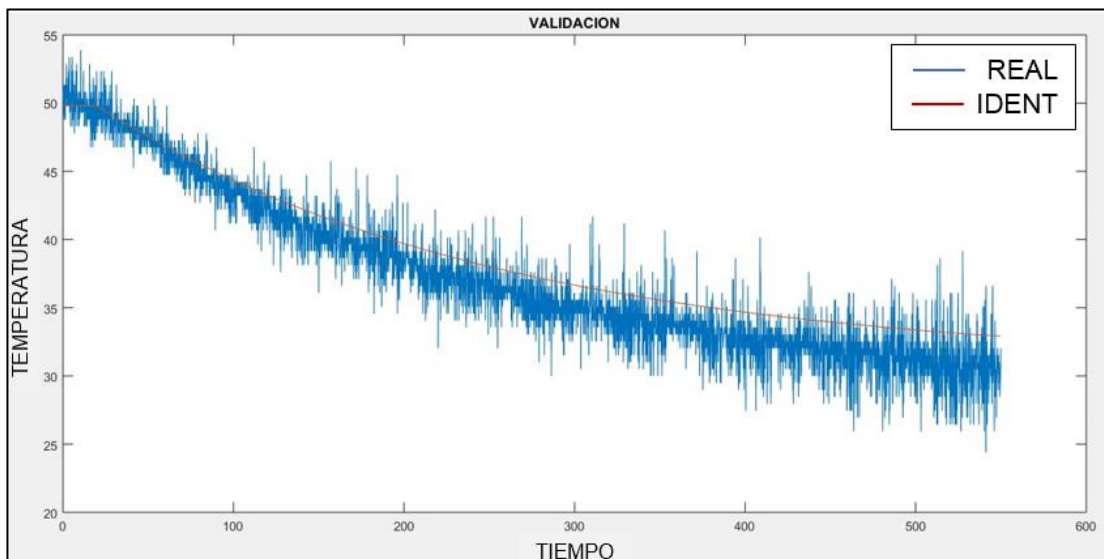


Figura 53. Validación del sistema a controlar

Para el control del sistema se implementará un controlador PI (Proporcional integral), sintonizando el controlador por el método de cancelación de polos, por lo que es necesario obtener los valores de las constantes P(Kp), I(Ki), mediante la ecuación[23] :

$$K_i = \frac{1}{K * \zeta_d} \quad [23]$$

$$\zeta(\text{lazo abierto}) = 235$$

Se seleccionará un valor cercano a la mitad del Tau en lazo abierto, para el valor de Ki:

$$\zeta d(\text{Tau deseado}) = 118$$
$$K_i = \frac{1}{-0,074 * 118} = -0,115$$

Con el valor de Ki, podemos calcular Kp de la ecuación [22]:

$$\frac{K_p}{K_i} = \zeta d \quad [24]$$

$$K_p = \zeta d * K_i$$
$$K_p = (-0.115)(234,5) = -26,968$$

Los valores calculados son probados en Matlab para observar si se controla a la planta, en la Figura 54 muestra que el sistema tiene sobrepico. Para mejorar esta respuesta, se realiza un ajuste fino de los parámetros calculados. La respuesta final del sistema controlado se muestra en la Figura 55.

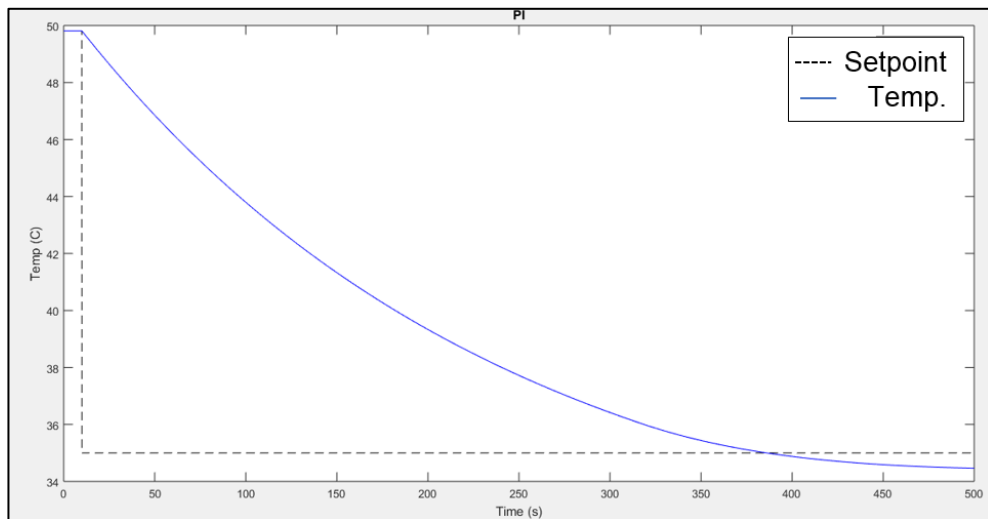


Figura 54. Control PI con valores calculados

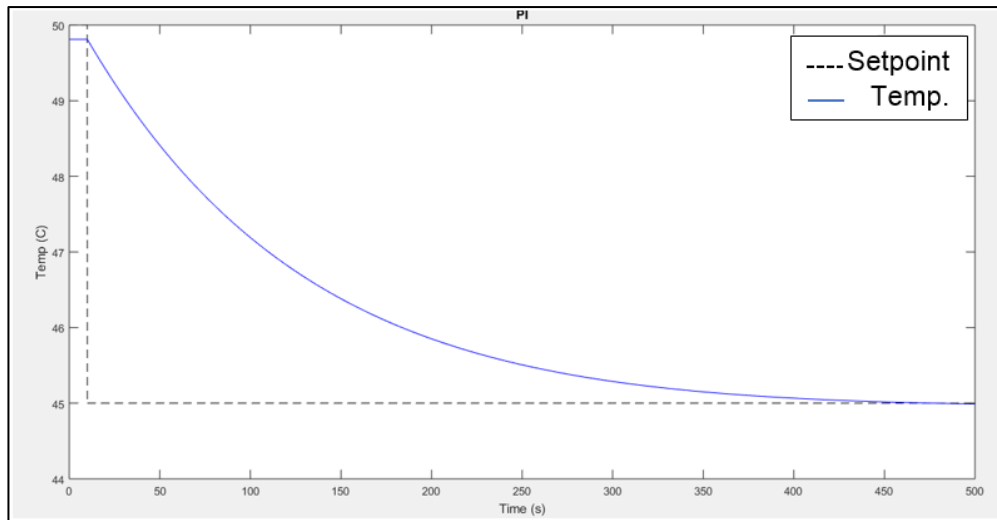


Figura 55. Control PI con valores adaptados

Tanto los valores calculados, como los finales ajustados se indican en la Tabla 16 serán utilizados en la programación de la máquina.

Tabla 16. Valores de constantes P, I del controlador

Valores Calculados	Valores adaptados en Simulación
P=-26,968	P=-27
I=-0,115	I=-0,13

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CONSTRUCCIÓN

La Figura 56 muestra el resultado final de la construcción de la máquina en donde se observa el ensamblaje final de todos los elementos que permiten el funcionamiento, tal como la estructura, sección de entrada de desperdicios orgánicos, tablero de control, botoneras.

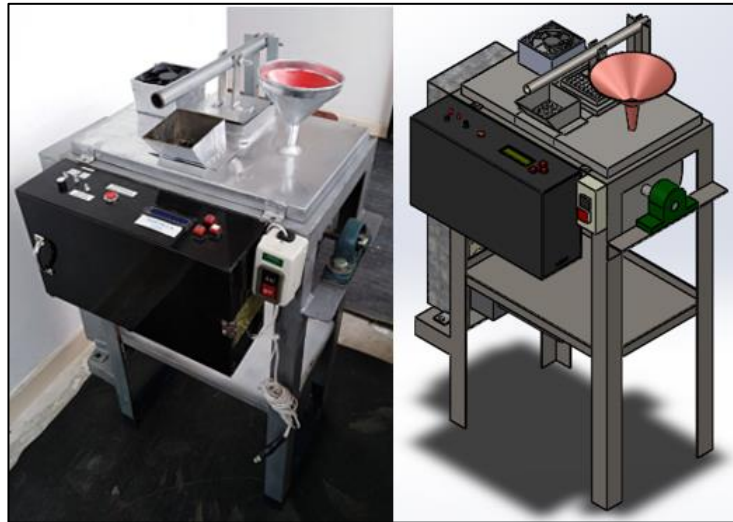


Figura 56. Construcción del diseño de la máquina

La máquina cumple con la función de trituración o corte de materia orgánica mediante un mecanismo simple, posteriormente es capaz de procesar estos residuos con el proceso de mezcla, control de humedad y temperatura. Cuenta con dimensiones y poca emisión de ruido que la hace conveniente para ubicarla dentro de casas. Los elementos están unidos a la estructura mediante tornillos o prisioneros para facilidad de limpieza o mantenimiento.

Características técnicas:

- Capacidad de producción de 2 Kg de compost.
- Potencia del motor 1/8 HP.
- Velocidad del motor 38 rpm.
- Mecanismo de trituración tipo prensa, con cuchilla de área de corte por sección de 1 cm², y área de corte total de 64 cm².
- Espacio para instalación 57 cm x 90 cm x 43 cm (Figura 57).
- Alarmas sonoras y lumínicas.
- Conexión eléctrica 110V AC.

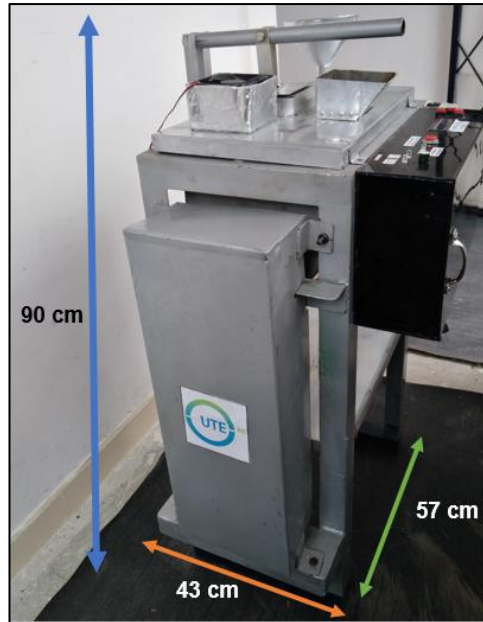


Figura 57. Dimensiones máquina

Como se indica en la Figura 58, la sección de mezclado es la parte más importante de la máquina, dentro del recipiente permanecerá la mezcla para convertirla en compost orgánico, las paletas moverán la mezcla a la misma velocidad del motor, además son desmontables para limpieza. El lugar donde la caja de los sensores se ubica es la parte inferior del recipiente, donde se tomarán datos de temperatura y humedad para dar seguimiento al proceso.



Figura 58. Sección de mezclado

La Figura 59 muestra las alarmas de los problemas que se pueden presentar durante el proceso tanto de humedad y temperatura con leds rojos con un buzzer para avisar al usuario, el led verde indica que el proceso finalizó. El botón circular acciona el motor de manera manual en cualquier momento, estando encendida la máquina. El display es donde se muestra la temperatura, humedad, el día, la hora, minutos y segundos actual de la mezcla o la acción que está ejecutando la máquina mediante mensajes en el display.

Los botones rojos cuadrados permiten seleccionar el día (aumentar o disminuir) y aceptar el comienzo del proceso.



Figura 59. Panel del tablero de control

Las alarmas de humedad se activan cuando la lectura analógica de humedad salga del rango (40%-60%) como se muestra en la Figura 60.



Figura 60. Alarmas de humedad

La máquina da una señal de finalización del proceso, como se observa en la Figura 61 para avisar al usuario y este pueda recoger su compost.



Figura 61. Panel de control finalización del proceso

3.2 ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

La Tabla 17 enlista los elementos mecánicos con sus respectivos costos.

Tabla 17. Costo elementos mecánicos

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Total
Plancha de acero A304-1mm	1	125.52	125.52
Eje de acero A304 \varnothing 3/4	1	37.95	37.95
Varilla de acero A304 \varnothing 5/16	1	11.26	11.26
Tubo A36 \varnothing 3/4	1	3.00	3.00
Perfil L 40X3 A36	1	11.37	11.37
Perfil L 20X3 A36	1	7.25	7.25
Chumaceras \varnothing 3/4	2	3.00	6.00
Banda V	1	9.75	9.75
Poleas	2	2.50	2.50
Tornillos y prisioneros 6mm	8	0.14	1.12
Embudo	1	1.00	1.00
Cuchillas	1	5.00	5.00
Pintura	1	1.20	1.20
TOTAL			222.92

La Tabla 18 indican los costos incurridos en los elementos que conforman la parte eléctrica, electrónica y control del sistema.

Tabla 18. Costos elementos electrónicos

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Total
Arduino Uno	1	10.00	10.00
Fuente AC-DC 12V	1	5.00	5.00
Sensor Humedad	1	12.00	12.00
Sensor Temperatura	1	8.00	8.00
Conversor DC-DC	1	14.00	14.00
Display 16x2	1	7.00	7.00
Botonera	1	2.00	2.00
Botones	4	0.37	1.48
Motor	1	100.00	100.00
Ventilador	1	4.30	4.3
Rectificador KBP	1	8.00	8.00
Breaker	1	13.00	13.00
Cables	1	12.00	12.00
Caja Tablero	1	13.50	13.50
Varios	1	20.00	20.00
TOTAL			227.28

La Tabla 19 indica el valor total en la fabricación de la máquina.

Tabla 19. Costo total de la máquina

Descripción	Valor
Costos elementos mecánicos	222.92
Costos elementos electrónicos	227.28
Costos Maquinado	115.00
Costo Mano de obra	400.00
Varios	40.00
TOTAL	1005.20

Como se refleja en la tabla anterior, el costo total de la máquina es de \$1005,20; Por lo tanto, su valor comercial será de \$1005,00. Los valores pueden variar dependiendo de proveedores, taller de fabricación, lugar de fabricación.

3.3 PRUEBAS DEL CONTROLADOR PI

Se realizaron dos pruebas para comprobar el seguimiento de un valor de referencia de la temperatura; la primera, como se muestra en la Figura 62, con una temperatura inicial de la muestra de alrededor de 50 °C, y la referencia en 40 °C, por lo que la señal del PWM al ventilador, hace que la temperatura baje hasta el referencia establecida, posteriormente a los 300 segundos se cambia el referencia a uno menor de 35 °C y el funcionamiento del control se ejecutó de manera satisfactoria.

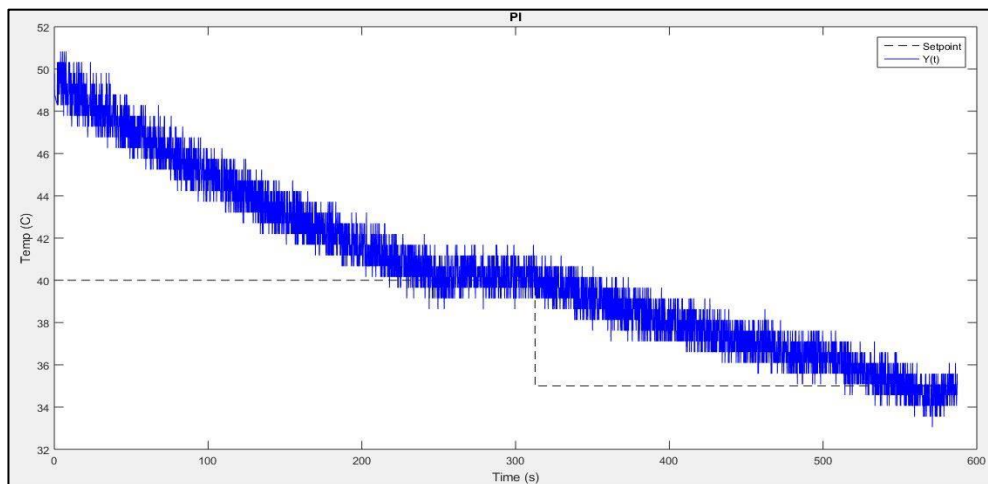


Figura 62. Prueba 1 de control PI

La Figura 63 muestra en este caso que se comenzó con una temperatura de 49 °C y se cambió la referencia primero a 45 °C y a los 90 segundos la referencia es de 35 °C, en este cambio se dio cambios más bruscos, para comprobar que el controlador realiza una correcta regulación, seguimiento de la referencia y control de la planta.

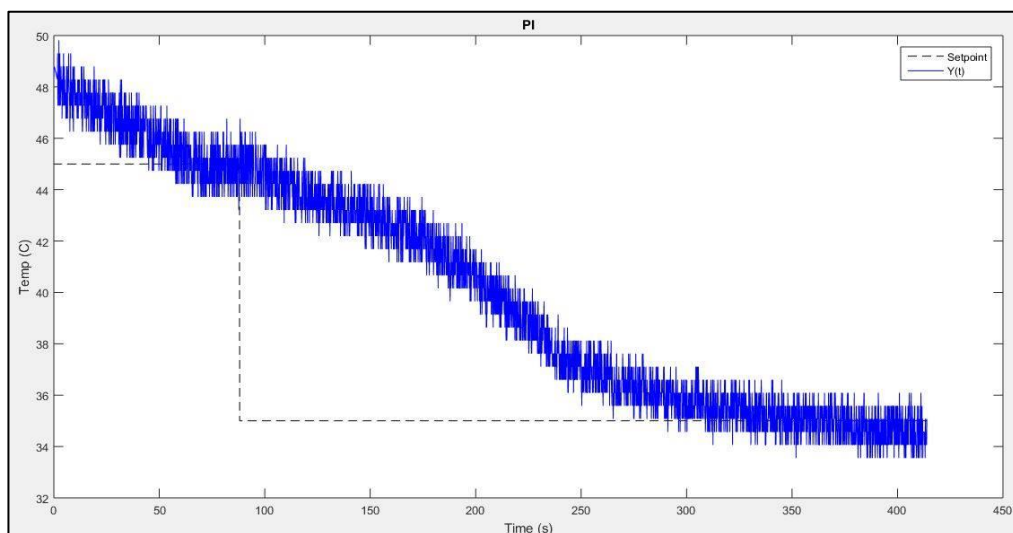


Figura 63. Prueba 2 de control PI

El usuario podrá observar el actuar de la máquina ante un problema de temperatura como se indica en la Figura 64.



Figura 64. Panel de table alarma de temperatura

Solo en el caso que la mezcla haya excedido los 70 °C, las alarmas quedaran encendidas (Figura 65) pues significará que algún factor elevó la temperatura de la mezcla y dañó el proceso.



Figura 65. Temperatura fuera de rango

3.4 PRUEBAS COMPARATIVAS DEL PROCESO

Esta prueba permite evidenciar los cambios ocurridos en los desechos orgánicos mediante los 14 días del proceso. En la Figura 66 muestra los desechos antes de ser aprovechados como residuos orgánicos y ser convertidos en compost.



Figura 66. Primer día del proceso

La Figura 67 muestra la mezcla en el último día del proceso antes de ser recogida y después de ser recogida, por lo que los restos trozados de cáscaras de huevo, cáscaras de frutas, trozos de espinaca o apio, entre otros, no son distinguibles.



Figura 67. Último día del proceso

La Tabla 20 enlista los cambios que ocurren en el primer día de la mezcla comparándolos con el último día del proceso. Estas diferencias son obtenidas mediante un análisis visual y olfativo.

Tabla 20. Características del inicio y final de la mezcla

Características observables	1^{er} día	14^{vo} día
Distinción entre tierra y desperdicios orgánicos.	SI	NO
Descomposición de los desperdicios orgánicos	NO	SI
Existe olor desagradable	SI	NO
El volumen de mezcla ocupa el semicilindro del recipiente	SI	NO
Presencia de insectos	SI	NO

Es importante recalcar que las características comparadas van a ser variables dependiendo de la cantidad de materia orgánica, tiempo extra que el usuario pudo haber añadido al proceso, problemas con factores de humedad, temperatura.

3.5 PRUEBA CASERA DE CALIDAD

Una prueba con la que una persona puede observar si el abono está apto para mezclarlo con el suelo sin la necesidad de analizarlo en un laboratorio (Mosquera, 2015), es tomar una muestra del compost con la mano, apretar y observar que no escurra agua pues significaría mucha humedad y al momento de abrir la mano que la compactación del compost no se desmorone, como se observa en la Figura 68.



Figura 68. Prueba casera de calidad del abono

3.6 ANÁLISIS DE LABORATORIO OSP

Los exámenes de laboratorio son necesarios para saber la composición N, P, K (Nitrógeno, fósforo, potasio), cantidad de materia orgánica y pH, mediante un organismo certificado y capacitado para realizar análisis de suelos.

En el Anexo 11 muestra el informe del laboratorio del análisis del compost. Del análisis del abono semi maduro que se produjo se obtuvieron los siguientes resultados enlistados en la Tabla 21:

Tabla 21. Análisis del abono producido

Parámetro	mg/Kg	%	Incertidumbre %	
Fósforo	709,0	0,071	-	-
Materia orgánica	-	18,4	-	-
Nitrógeno	9192	0,919	-	-
Potencial Hidrógeno	-	-	8,6	2,9
Potasio	4324	0,432	-	-

La Tabla 22 muestra la composición de N, P, K (Nitrógeno, fósforo, potasio) de algunos fertilizantes son:

Tabla 22. Características NPK de fertilizantes en el mercado

Abono	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca
Nitrato de amonio (M)	33%			
Urea (M)	46%			
Fosfato diamónico (M)	18%	46%		
Cloruro potásico (M)			60%	
Nitrato de calcio (M)	12%			17%
Compost (O)	1.65%	1%	1%	
Guano de isla (O)	12%	11%	2.5%	
Biol (O)	38%	15%	15%	

Nota: (O) Abono orgánico, (M) Abono mineral.

(Ancín, 2011)

En el caso de la mezcla, entraría en el tipo de Compost, por lo tanto, se muestra una comparación de los datos en la Figura 69:

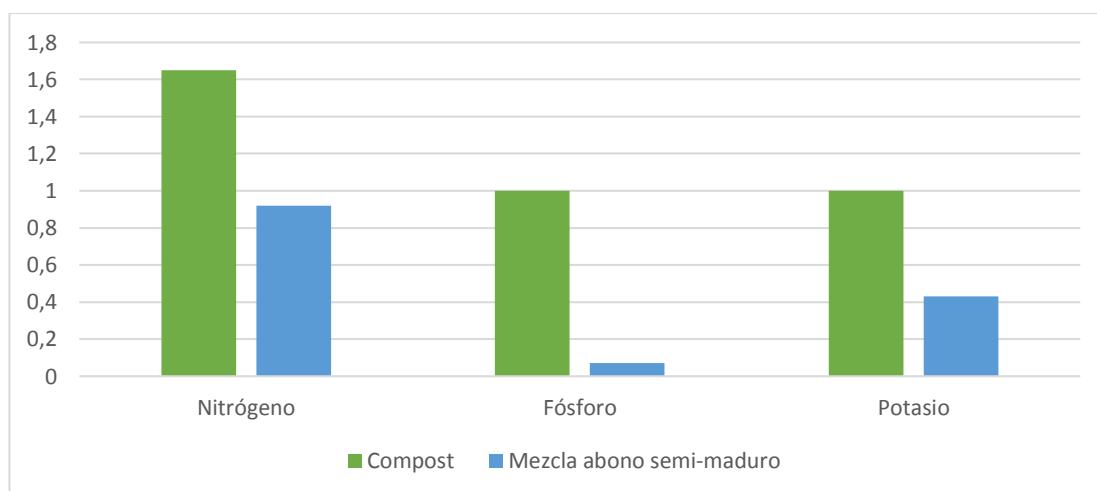


Figura 69. Comparación entre el abono producido con fertilizantes

La mezcla fue hecha de manera doméstica, por usuarios sin conocimientos en agronomía, con la intención de aprovechar los desperdicios orgánicos, los nutrientes N, P, K presentes en la mezcla de abono son aceptables para ser mezclados con el suelo para el cultivo de plantas.

Los valores de los nutrientes serán variables dependiendo de los desperdicios orgánicos que sean usados. Para la comparación de la mezcla de abono producida de los parámetros de pH y materia orgánica serán basados en los valores de la Tabla 23.

Tabla 23. Parámetros del compostaje

Parámetro	Rango ideal (2-5 días)	Rango ideal en fase termofílica (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50%-60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 - 8,0	6,0 - 8,5	6,5 - 8,0
Temperatura	45 – 60 °C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 Kg/m ³	<700 Kg/m ³	<700 Kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5 – 3%	1 – 2%	~1%

(Román, Martínez, & Pantoja, 2013)

El porcentaje de materia orgánica para compost que se encuentran entre la 2-5 semana de maduración es 20%, la mezcla de abono semi maduro, la cual se analizó, se encuentra entre 14-17 días de maduración por lo que entra en esta categoría con un porcentaje de 18%, lo que es una diferencia de 2%, siendo aceptable para uso doméstico.

El pH si bien es aceptable en la normativa ecuatoriana en rangos de 6 a 8 (*Norma Técnica Ambiental Ecuatoriana*, 2019), es necesario recalcar que la muestra y el método con el que se produjo el abono semi maduro duró un periodo de 14-17 días hasta ser analizada, por lo tanto, el pH de 8,5 es aceptable, siendo el pH regulable con otros procesos sencillos o simplemente modificado al ser mezclado con el suelo.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego del diseño y construcción fue posible llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES

El presente proyecto de titulación logró cumplir con el objetivo principal de diseñar y construir la máquina semiautomática para el procesamiento de desechos orgánicos. Las dimensiones de la máquina y el poco ruido de funcionamiento la hacen accesible para instalarla en el interior de casas, departamentos, restaurantes, etc. Además, los elementos están soldados a la estructura, mientras que los elementos móviles están sujetos por pernos, tornillos y prisioneros, todo esto para evitar problemas como vibraciones o rayaduras al momento de accionar la máquina y permitir que el mantenimiento se realice con mayor facilidad.

El panel del tablero de control y las alarmas permiten al usuario interactuar con la máquina y verificar cómo va el proceso.

El mecanismo de corte implementado en la máquina cumplió con la función importante de no permitir que el usuario ingrese desperdicios de un área muy grande ($>1 \text{ cm}^2$), puesto que retardarían el proceso y no se descompondrá en el periodo de tiempo establecido.

Con los datos obtenidos en las pruebas del controlador PI, se visualizó el control de temperatura, el cuál es utilizado para mantener la mezcla entre los rangos establecidos, y en caso de no cumplir los parámetros accionar el ventilador y alarmas.

El proceso cumplió con degradación dentro del recipiente de la máquina dado en los 14 días, siguiendo la programación del funcionamiento de la máquina, en donde el usuario al final del proceso obtuvo compost casero con el uso intuitivo de la máquina, entendiendo los mensajes del display, alarmas o seleccionar opciones por botones.

Se realizaron pruebas de calidad tanto de una forma casera como en el laboratorio OSP de la Universidad Central, donde se concluyó que la mezcla producida puede ser utilizada como un abono semi maduro hecho de forma casera con características aceptables comparadas con abonos encontrados en el mercado agrícola.

RECOMENDACIONES

Para reducir dimensiones y costo de la máquina se puede quitar los mecanismos de corte, debido a que se puede encontrar dispositivos o mecanismos de corte comerciales mucho más baratos y pequeños ya que son producidos en masa.

Se puede implementar un modo de apagado y encendido automático para ahorro de energía, es decir, si la máquina al ser activada cumple con todos los requisitos de temperatura y humedad entrar a un modo de reposo hasta que se detecte un parámetro fuera de rango y activar una alarma o un actuador.

Por experiencias en las pruebas de funcionamiento el entorno para desarrollo de un compost es mejor en lugares abiertos como terrazas, patios, que, en lugares cerrados debido a los malos olores, esto permitiría el uso de paneles solares para el funcionamiento de dispositivos DC.

Se puede analizar la implementación de un sistema que permita la captación de biogás procedente de la descomposición de residuos orgánicos, lo cual permitiría tener una fuente de energía ecológica en los hogares.

Los sensores podrían ser asegurados en soportes pequeños para evitar que se salgan o se desconecten por los movimientos dentro del recipiente.

Este proyecto tiene potencial para ser extrapolado a la producción de más cantidad de abono para usuarios o empresas pequeñas o medianas que se dediquen al cultivo o elaboración de abonos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ancín, M. (2011). Evaluación de diferentes tipos de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. Var. Alubia) en el distrito de San Juan de Castrovirreyna-Huancavelica (Perú). Universidad Pública de Navarra, Perú.
- Andrango, H., & Naranjo, L. (2012). Diseño y construcción de una mezcladora y dosificadora de suplemento nutricional para ganado con una capacidad de hasta 125 Kg/h para la empresa química RIANDI CIA LTDA. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
- Barreda, A. (2018). La guerra de devastación ambiental impuesta a México por el tlcan y la respuesta popular.
- Bohman, I. (2019). Catálogo de Productos (3.^a ed.). Quito-Ecuador.
- Bueno, M. (2007). Cómo hacer un buen compost (3.^a ed.). Imprimatur.
- Chicaiza, W., & Jácome, E. (2013). Diseño y construcción de una máquina picadora de productos alimenticios como parte del proceso de deshidratación para mejorar el procedimiento de enseñanza aprendizaje de la carrera de agroindustrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Cifuentes, K., & Vega, H. (2014). Implementación de un prototipo de triturador para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de la parroquia Tena-provincia de Napo en el 2014. Escuela Politécnica del Chimborazo, Riobamba.
- Dipac, M. (2019a). Perfiles estructurales ángulos «L» doblado.
- Dipac, M. (2019b, julio 29). Ejes Acero inoxidable. Recuperado de <http://www.dipacmanta.com/ejes/ejes-aisi-304/acero-inoxidable-aisi>
- Dismetel. (2019, julio 29). Tubería estructural de acero (Redonda). Recuperado de <https://dismetel.ec/productos/tuberias/estructural/redonda>
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Food Waste Composting Machine. (2019). Recuperado 28 de febrero de 2019, de Indiamart website: <https://www.indiamart.com/proddetail/food-waste-composting-machine-18650140662.html>
- Garófalo, P. (2012). Análisis de prácticas para la disminución del impacto ambiental causado por las actividades productivas de la agricultura urbana en la ciudad de Quito (Universidad Central del Ecuador). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1137/1/T-UCE-0004-3.pdf>
- Hernandez, J. (2015). Diseño de un prototipo de triturador de desechos orgánicos. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

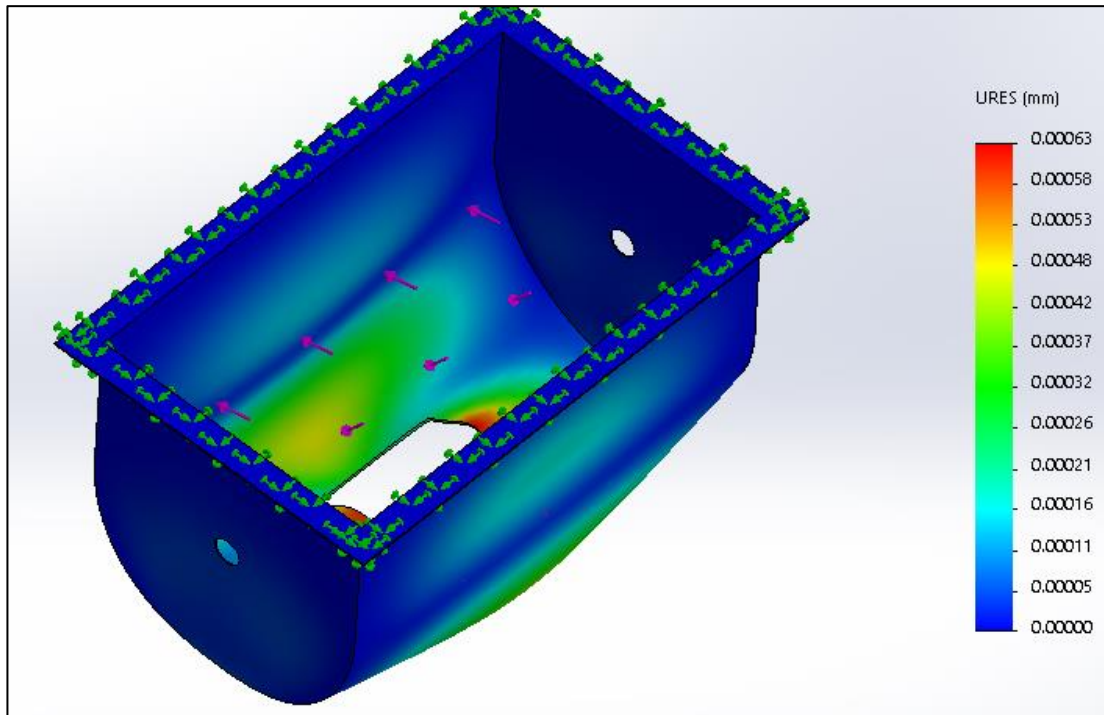
- How It Works. (2019). Recuperado 28 de febrero de 2019, de Food Cycle Science website: <https://www.nofoodwaste.com/pages/how-it-works>
- Imbaquingo, J. (2017). Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador.
- Impoexito. (2019, abril). Cuchilla repuesto para picadora. Recuperado de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-420236552-cuchilla-repuesto-para-picadora-de-papas-38-impoexito-_JM
- INGEL-PRO. (2016). LS(LG).
- IPAC, acero. (2019, julio 29). Planchas Inoxidable. Recuperado de <http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/66ee395632a1e9ad9a446535d2a6dcff.pdf>
- Mitma, R., & Braulio, M. (2015). Evaluación de parámetros de temperatura, Ph y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la Municipalidad provincial de Leoncio Prado.
- Mosquera, B. (2015). Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana (Vol. 1). Ecuador: FONAG.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (Cuarta). PEARSON EDUCACIÓN.
- Navarro, R. (2019). Manual para hacer composta aeróbica. 21.
- Norma de calidad ambiental del recurso suelo criterios de remediación para suelos contaminados. (2019). Presidencia de la República.
- Ramos, D., & Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232493007>
- Ramos, F., & Vega, K. (2015). Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
- Roa, W. (2017). La basura generará luz para la CDMX a finales de 2017. Recuperado de <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/2017/04/24/1159518>
- Rodríguez, J. (2018). Mezclado y Mezcladoras. Nutrimentos Concentra S.A.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor-Experiencias en América Latina. Santiago de Chile: FAO.
- Rueda, F., & Moya, M. (2015). Proyecto asociativo para la creación de una planta productora de abono orgánico en base al reciclaje de los desechos del mercado de Conocoto y su distribución a través de un punto de venta en la parroquia Conocoto (Tesis). Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador.
- Soto, G., & Meléndez, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. 97.

Whirlpool. (2017). ZERA FOOD RECYCLER. 1.

5. ANEXOS

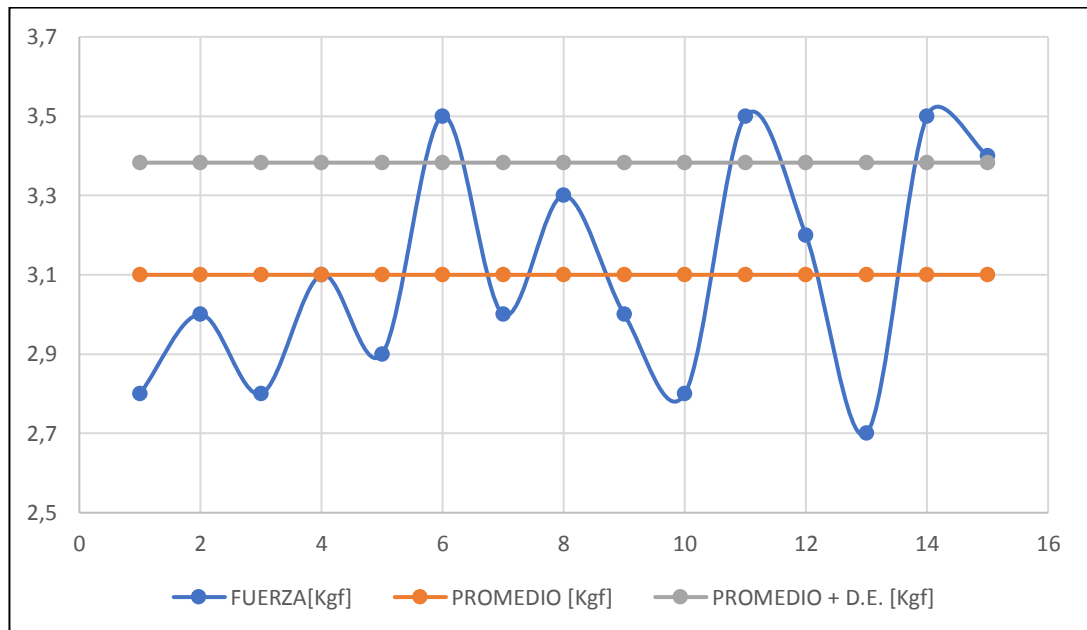
ANEXO 1

Análisis de desplazamientos del recipiente



ANEXO 2

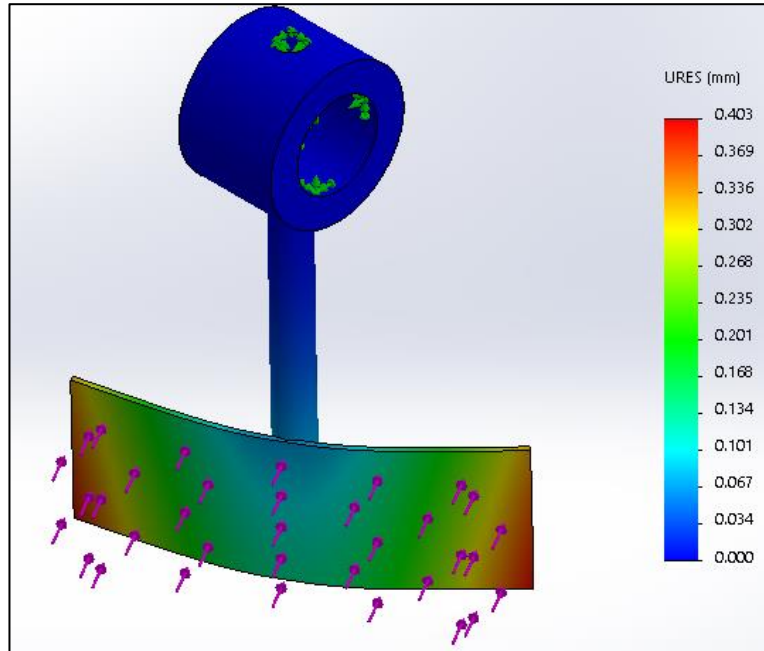
Gráfica de experimentación de fuerza sobre las paletas



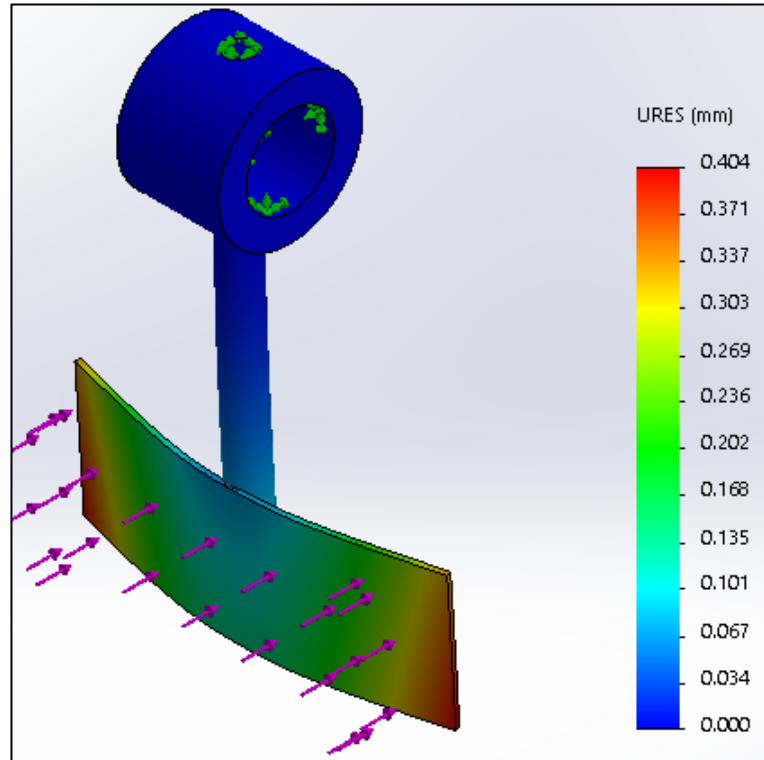
ANEXO 3

Análisis de desplazamientos de paletas

a) Paleta girada b) Paleta recta



a)



b)

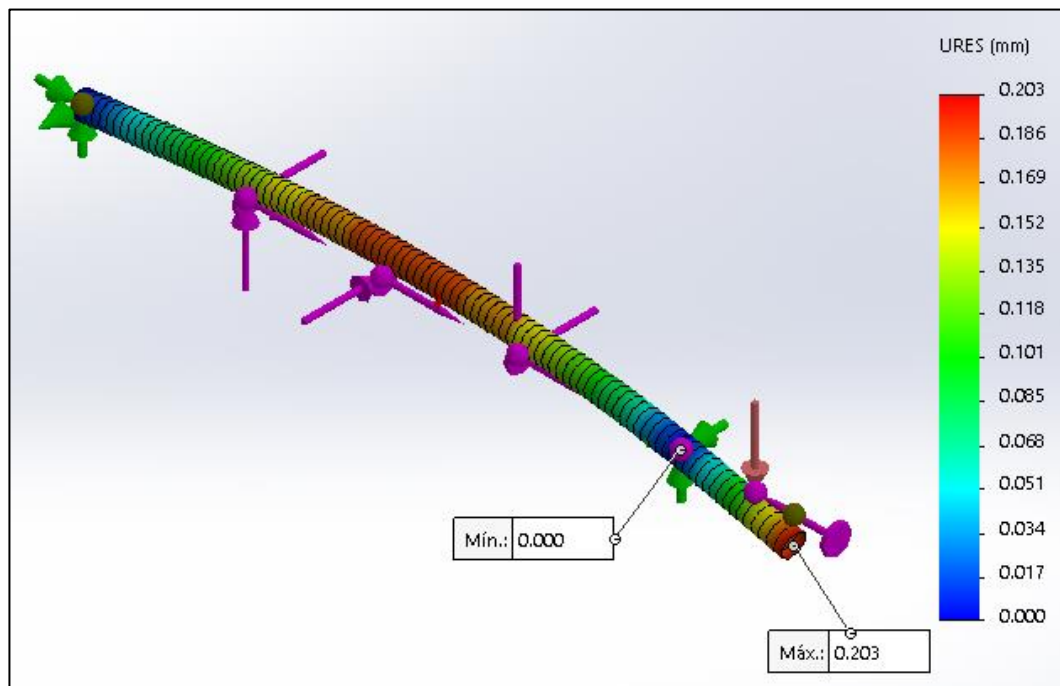
ANEXO 4

Características del motor



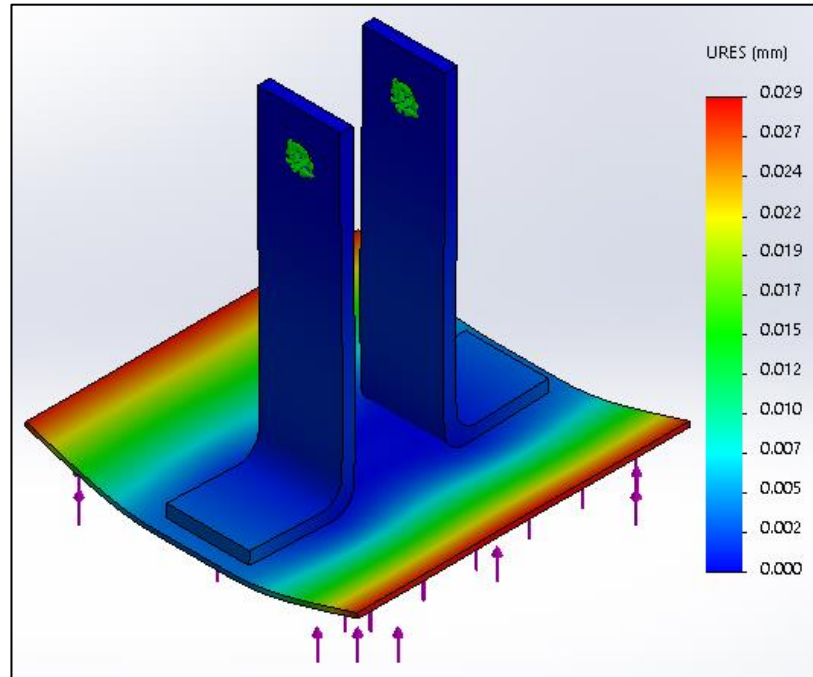
ANEXO 5

Análisis de desplazamientos del eje



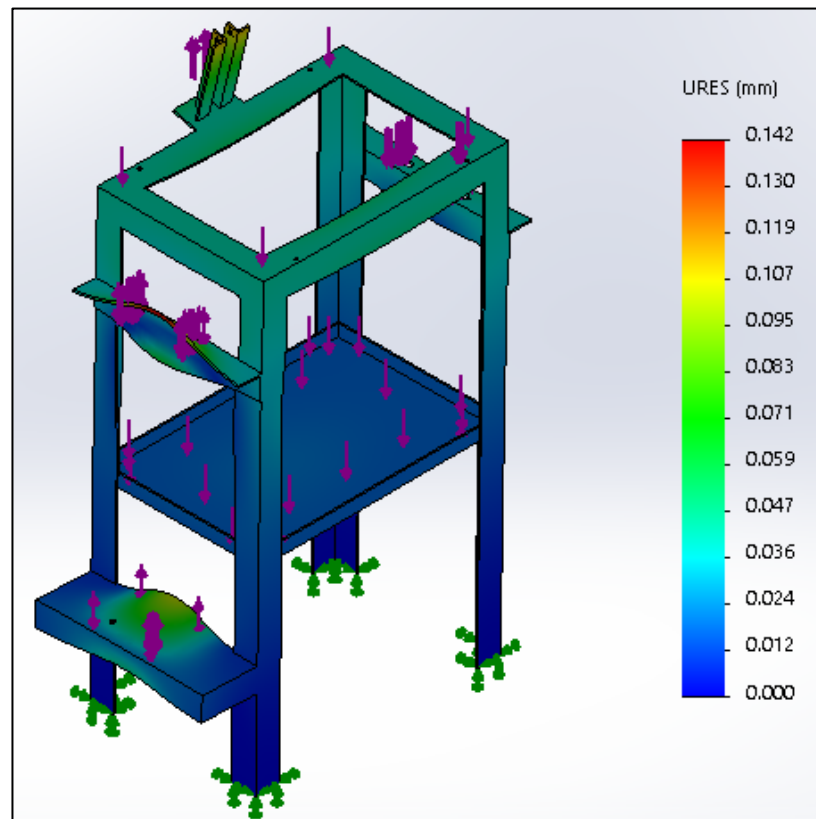
ANEXO 6

Análisis de desplazamientos de la placa de presión



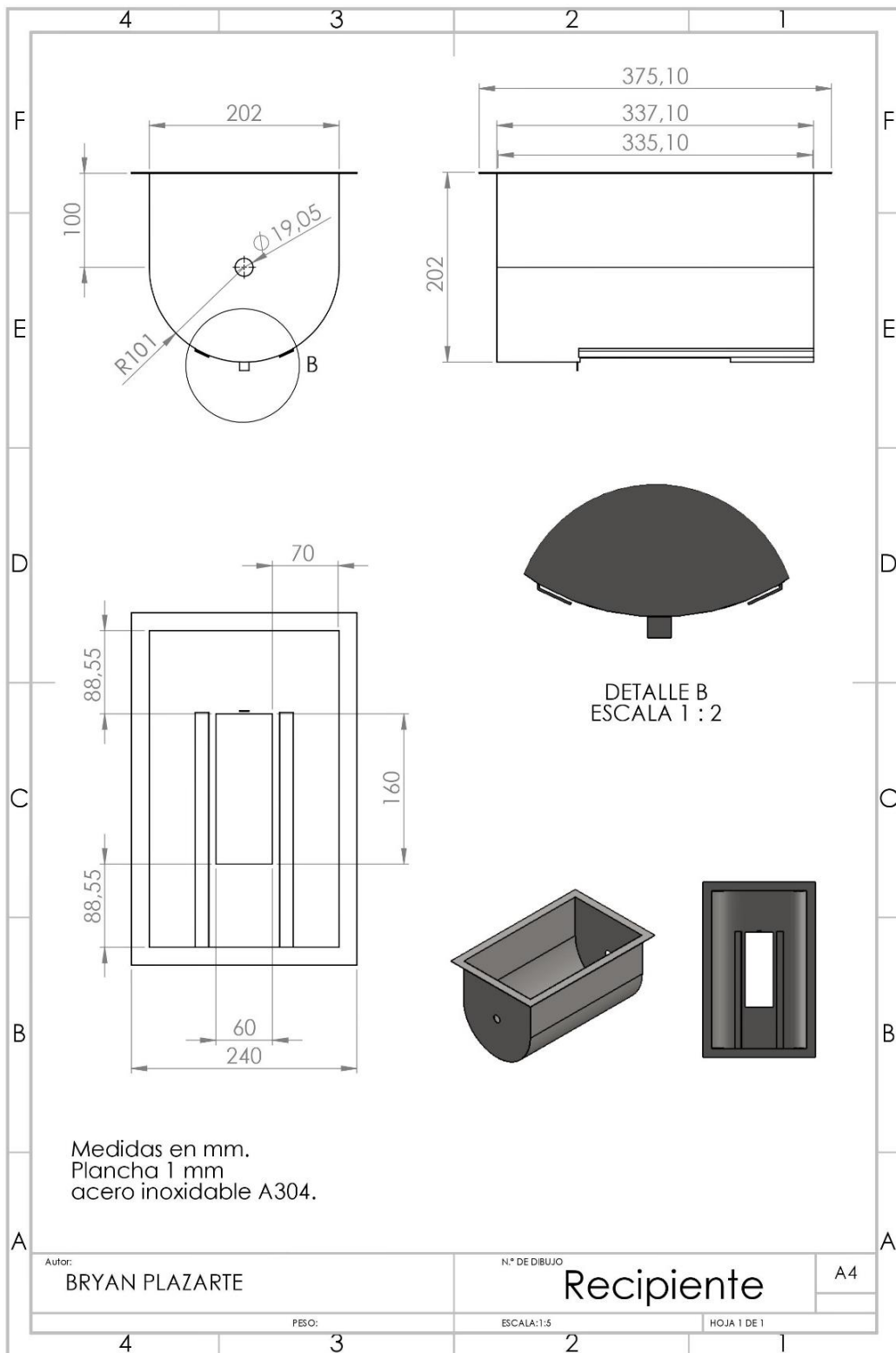
ANEXO 7

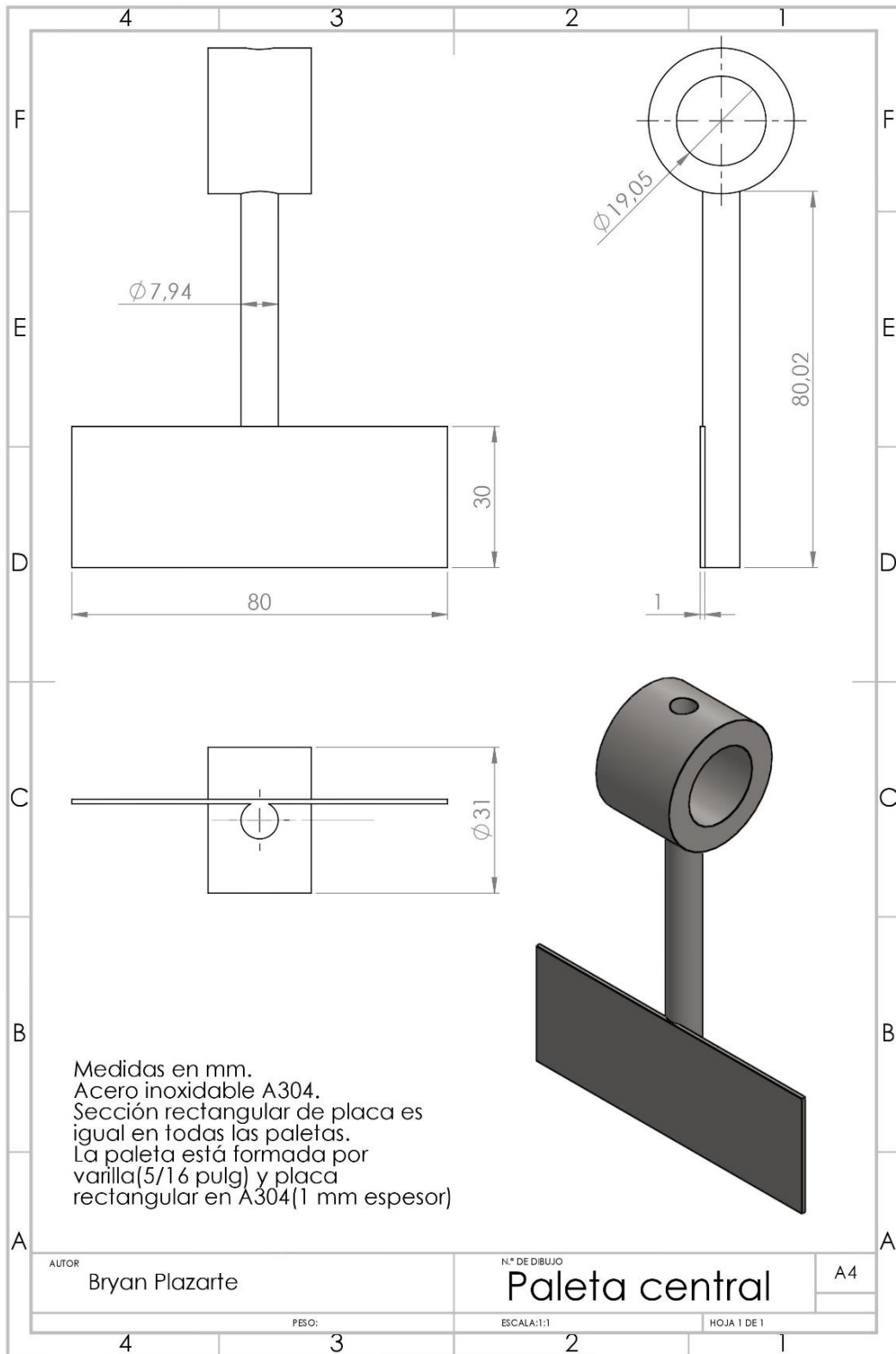
Análisis de desplazamientos de la estructura

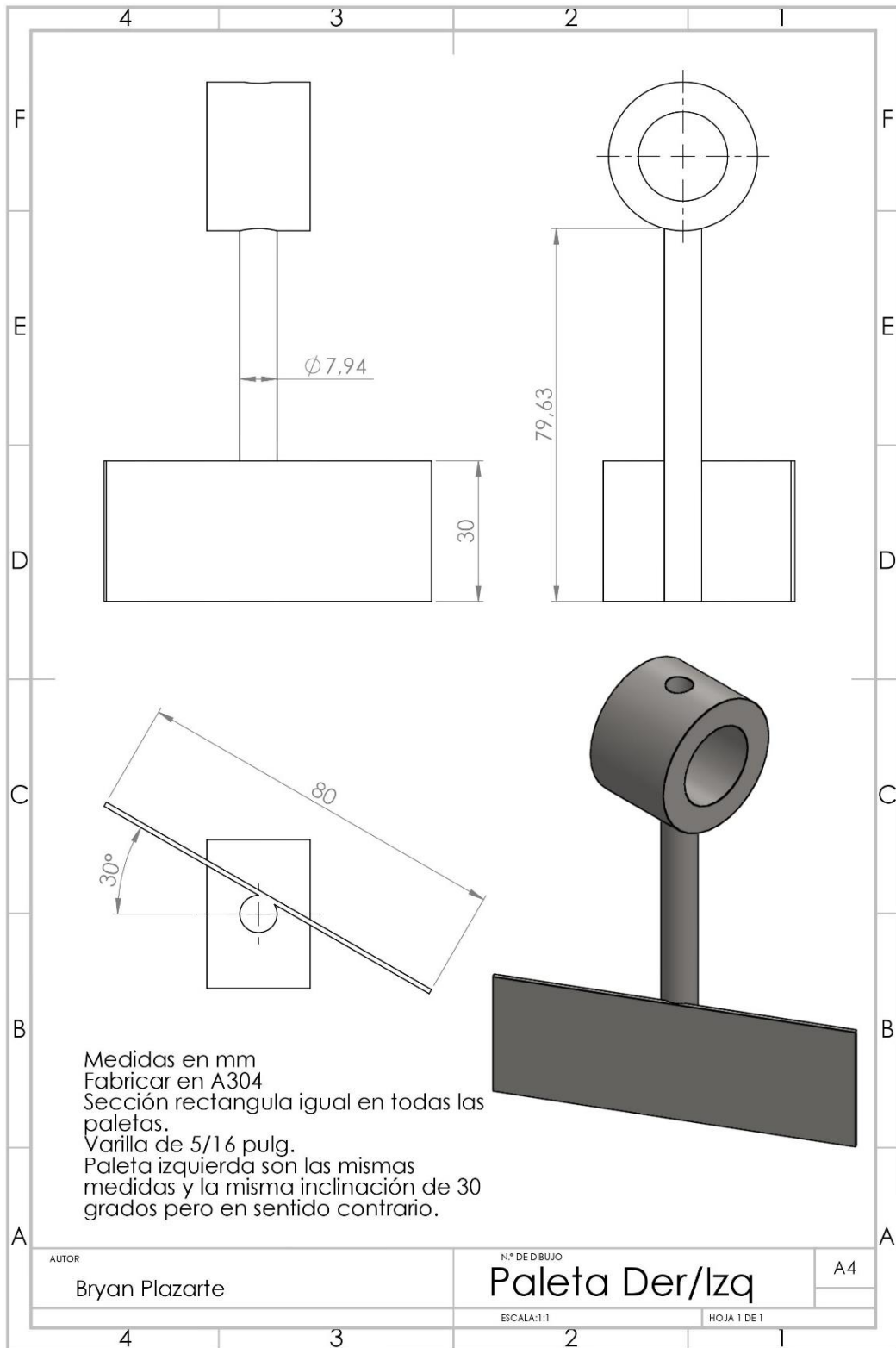


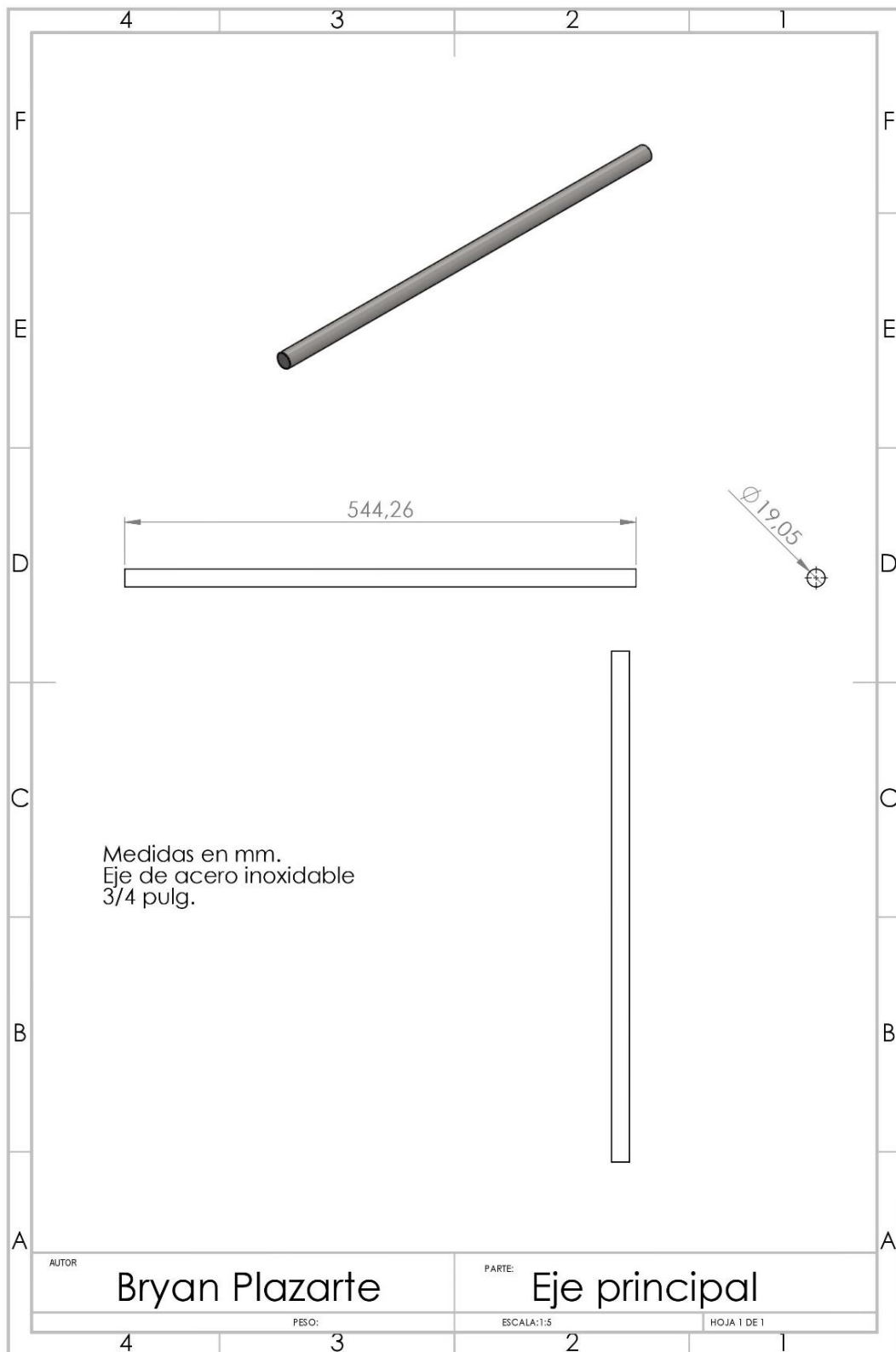
ANEXO 8

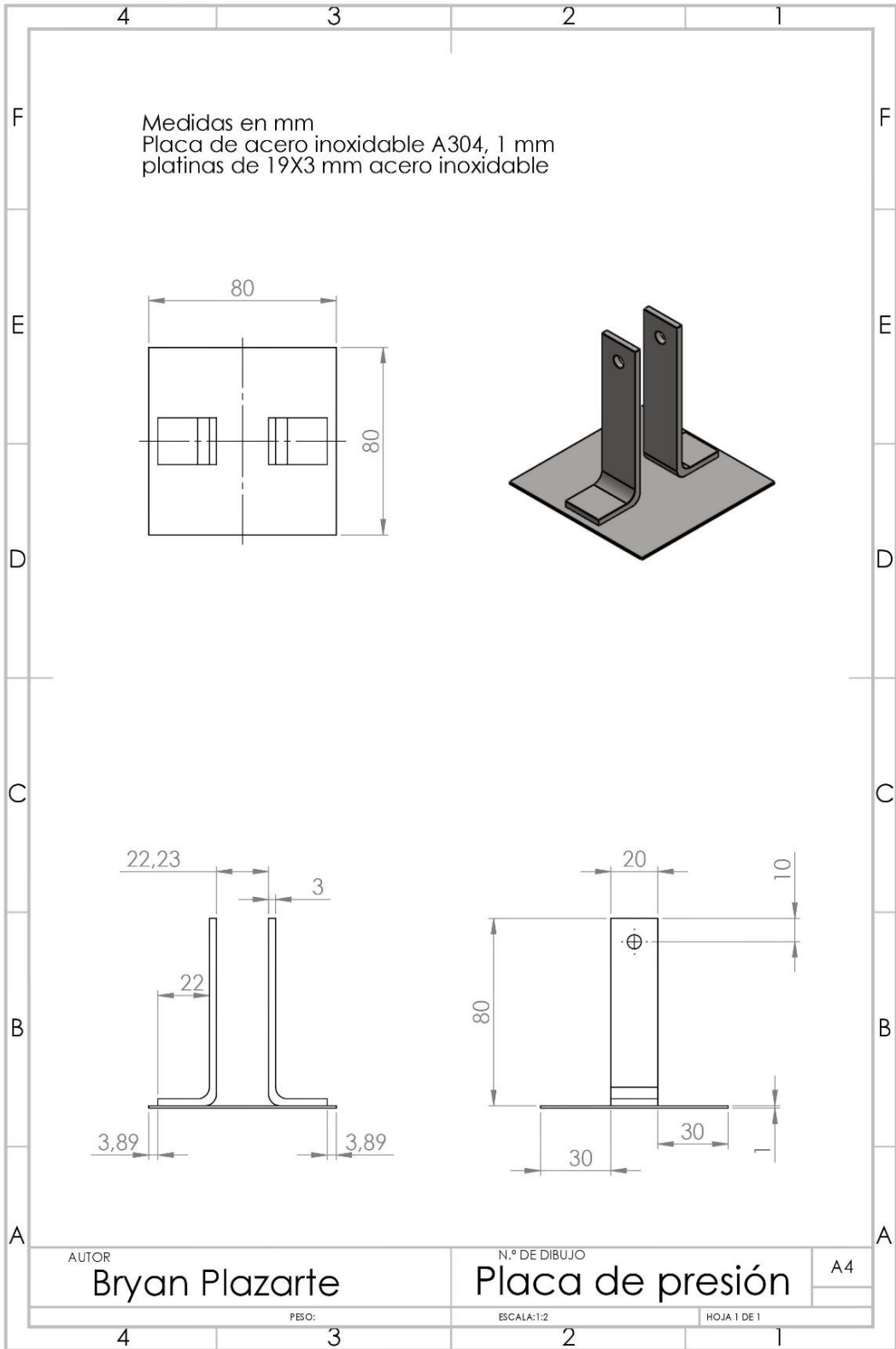
Planos de los elementos de la máquina

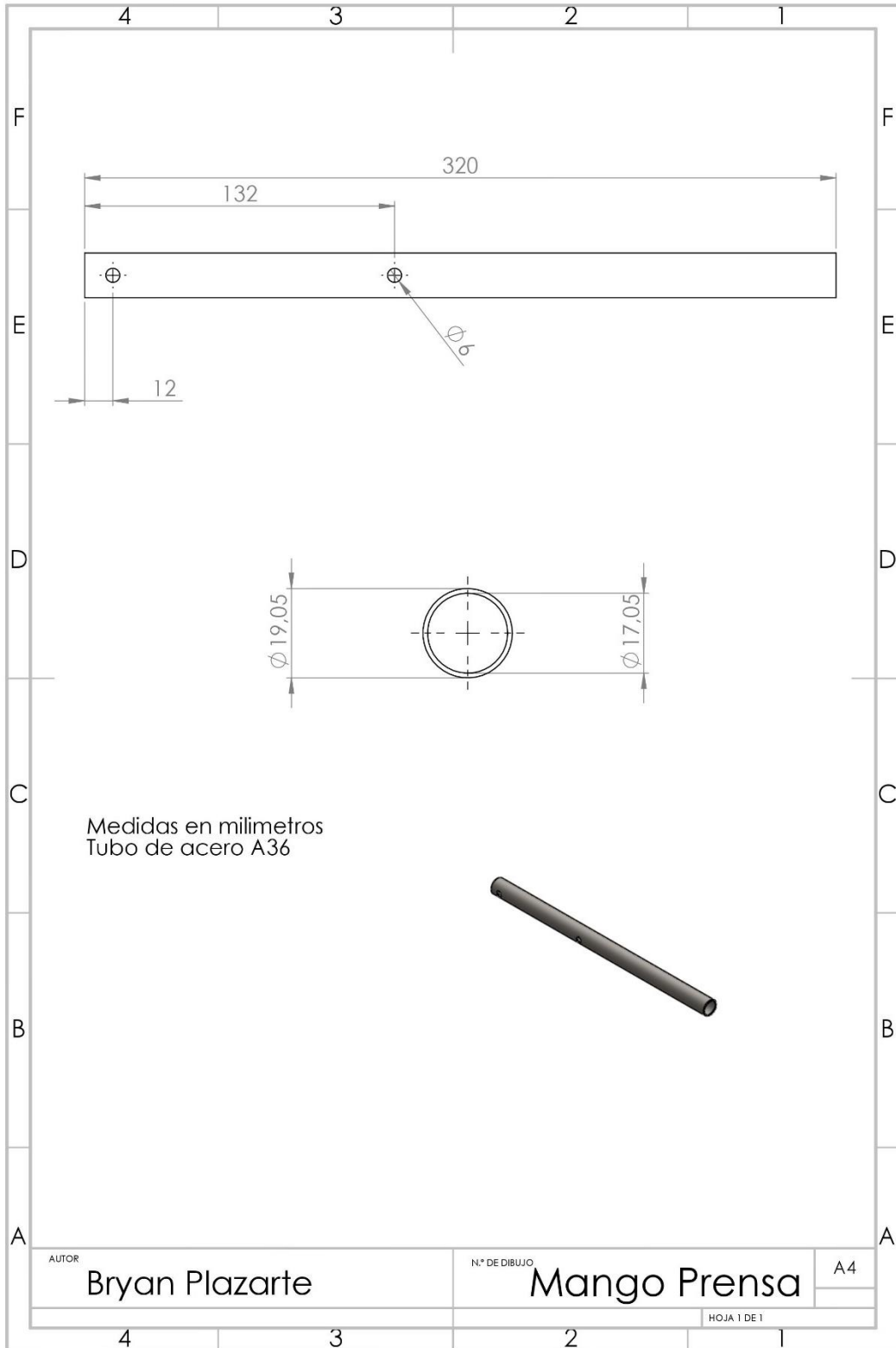


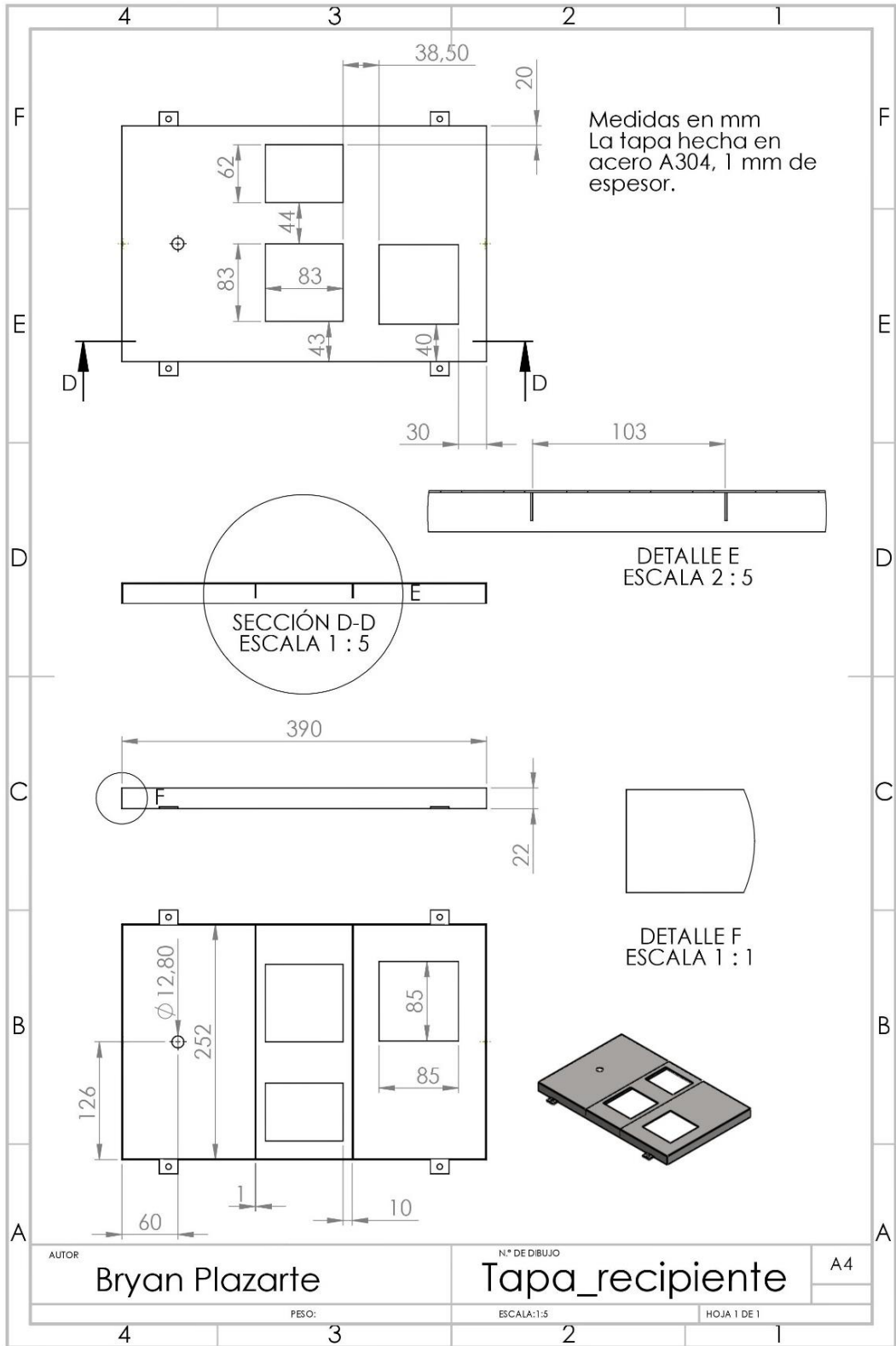


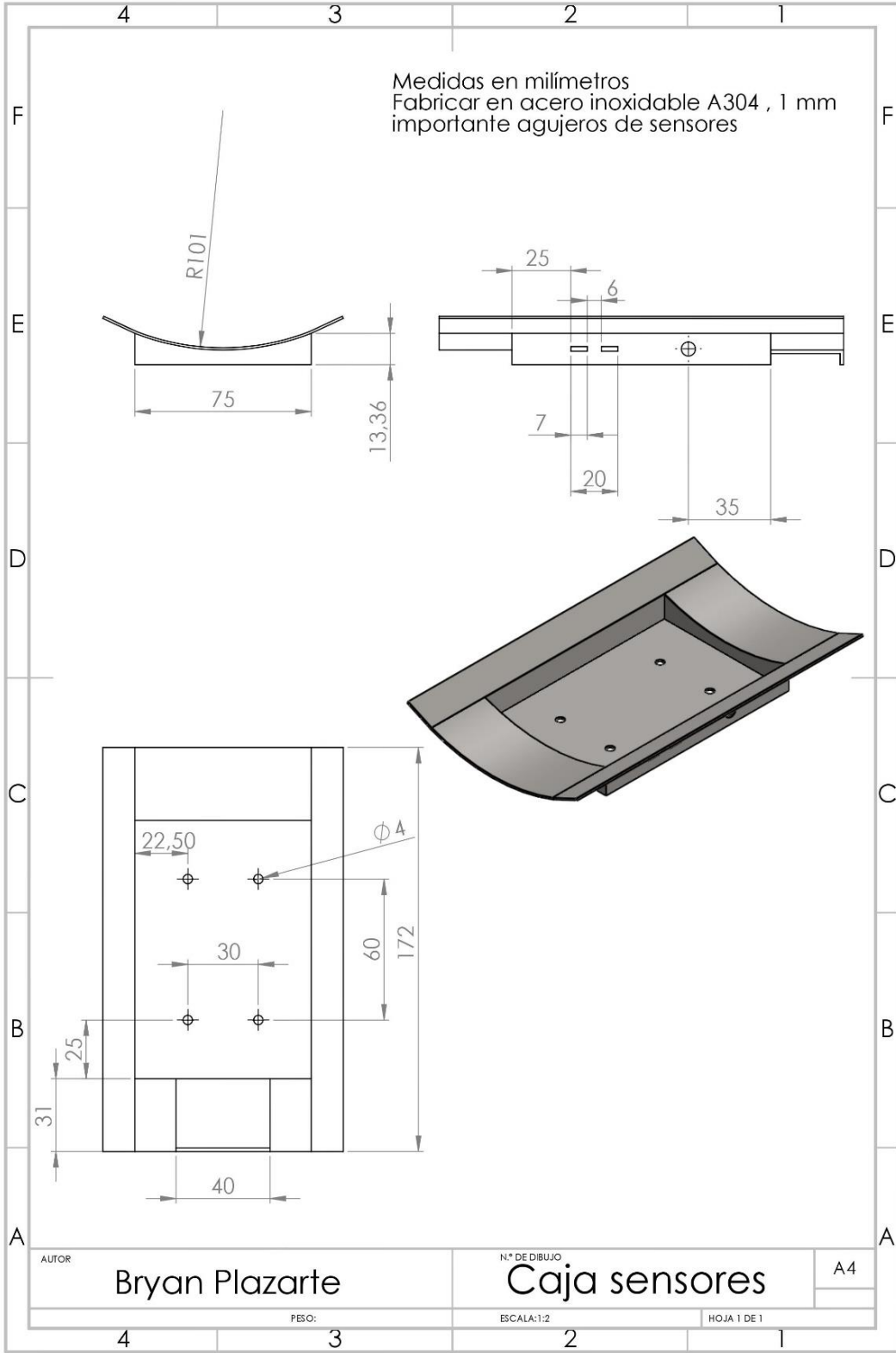


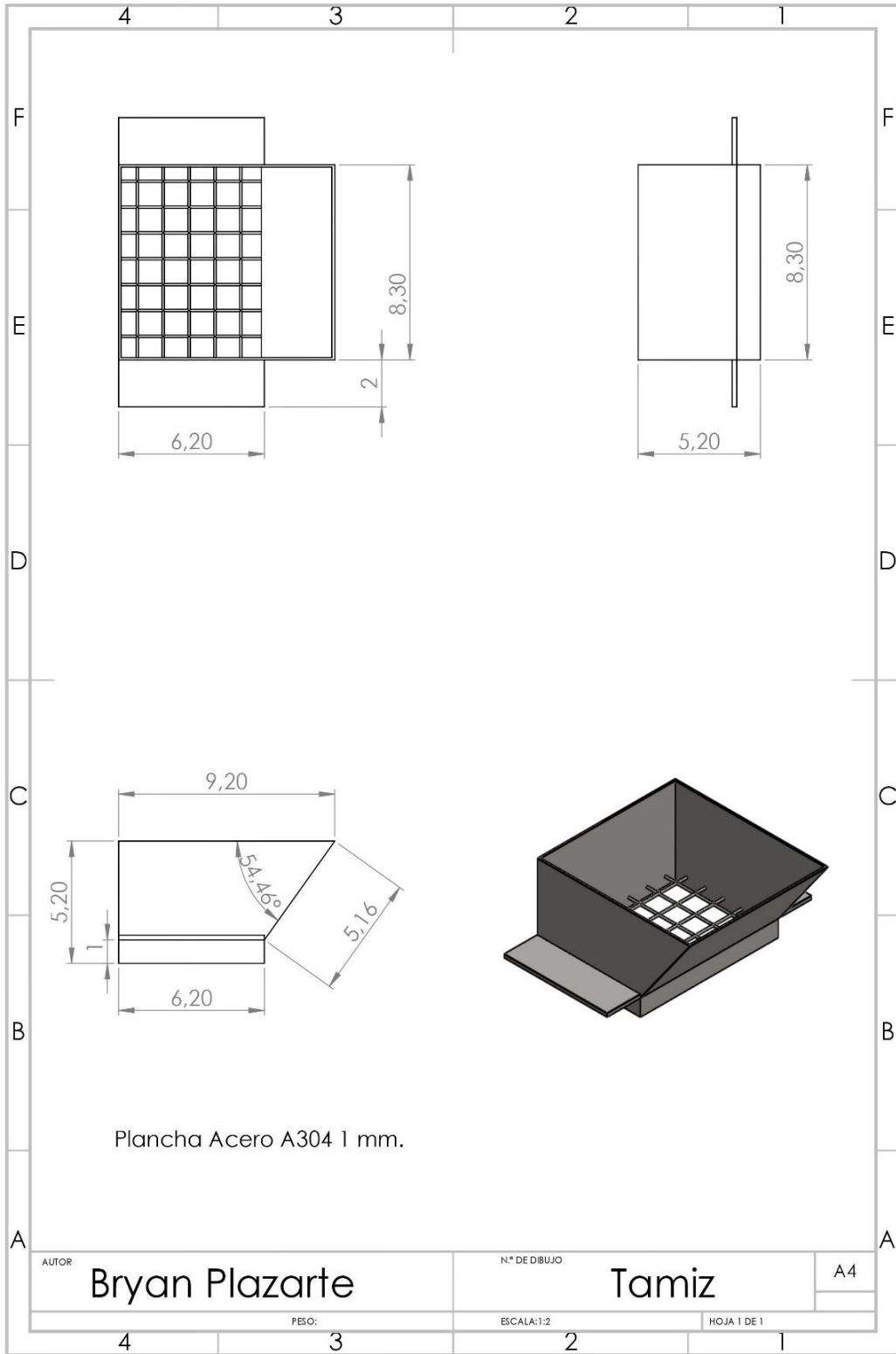


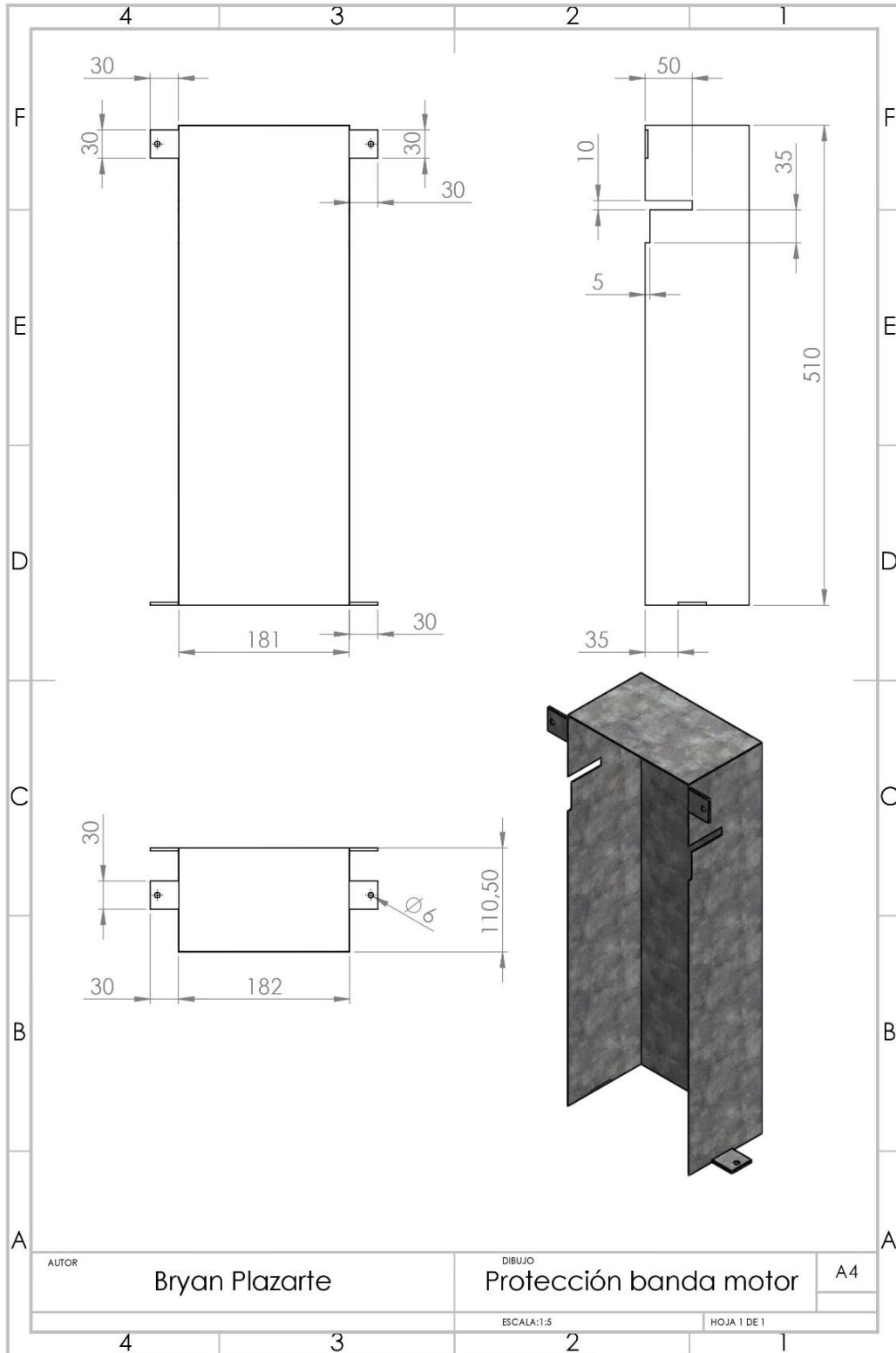












AUTOR

Bryan Plazarte

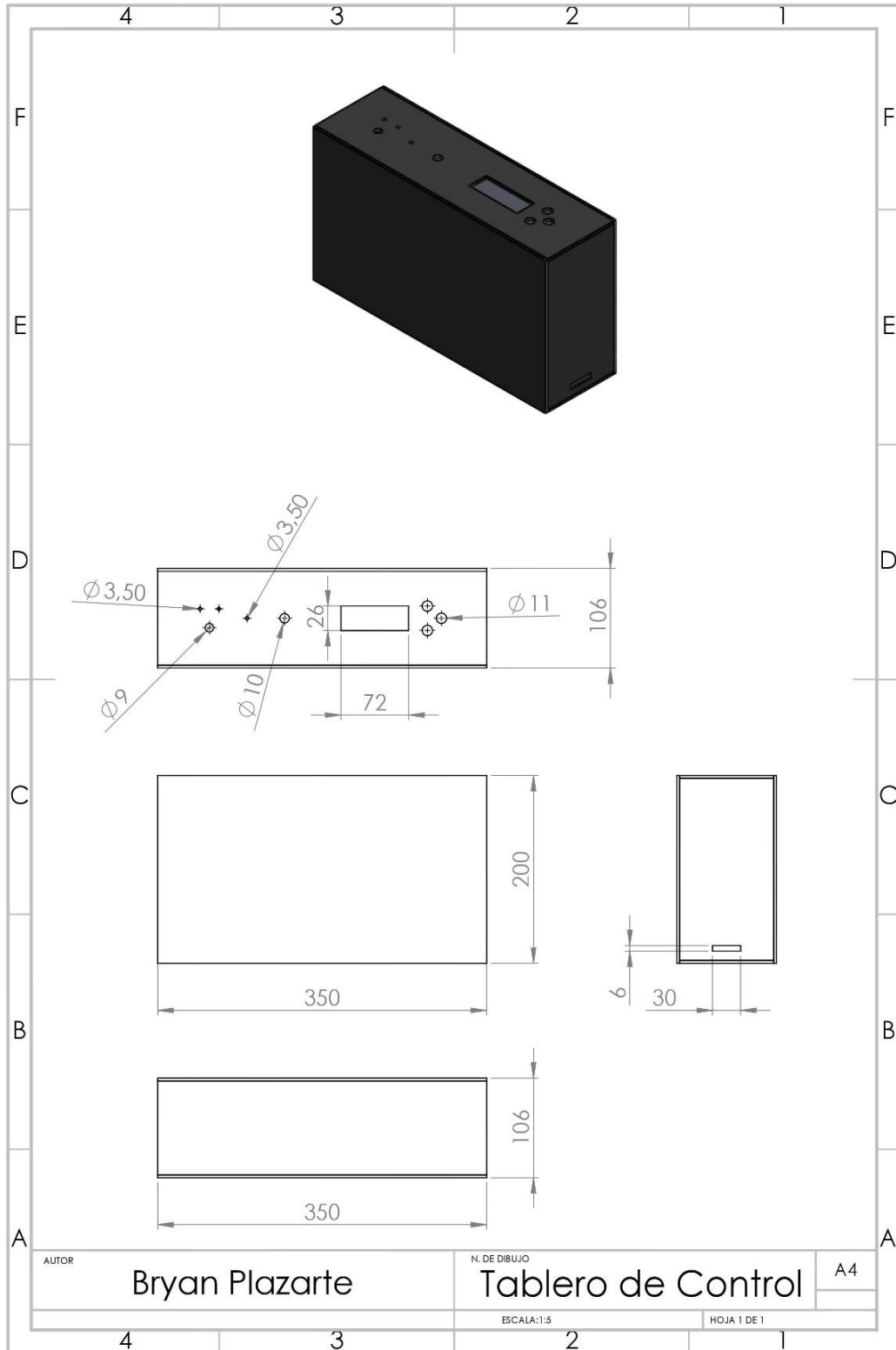
DIBUJO

Protección banda motor

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



AUTOR

Bryan Plazarte

N. DE DIBUJO

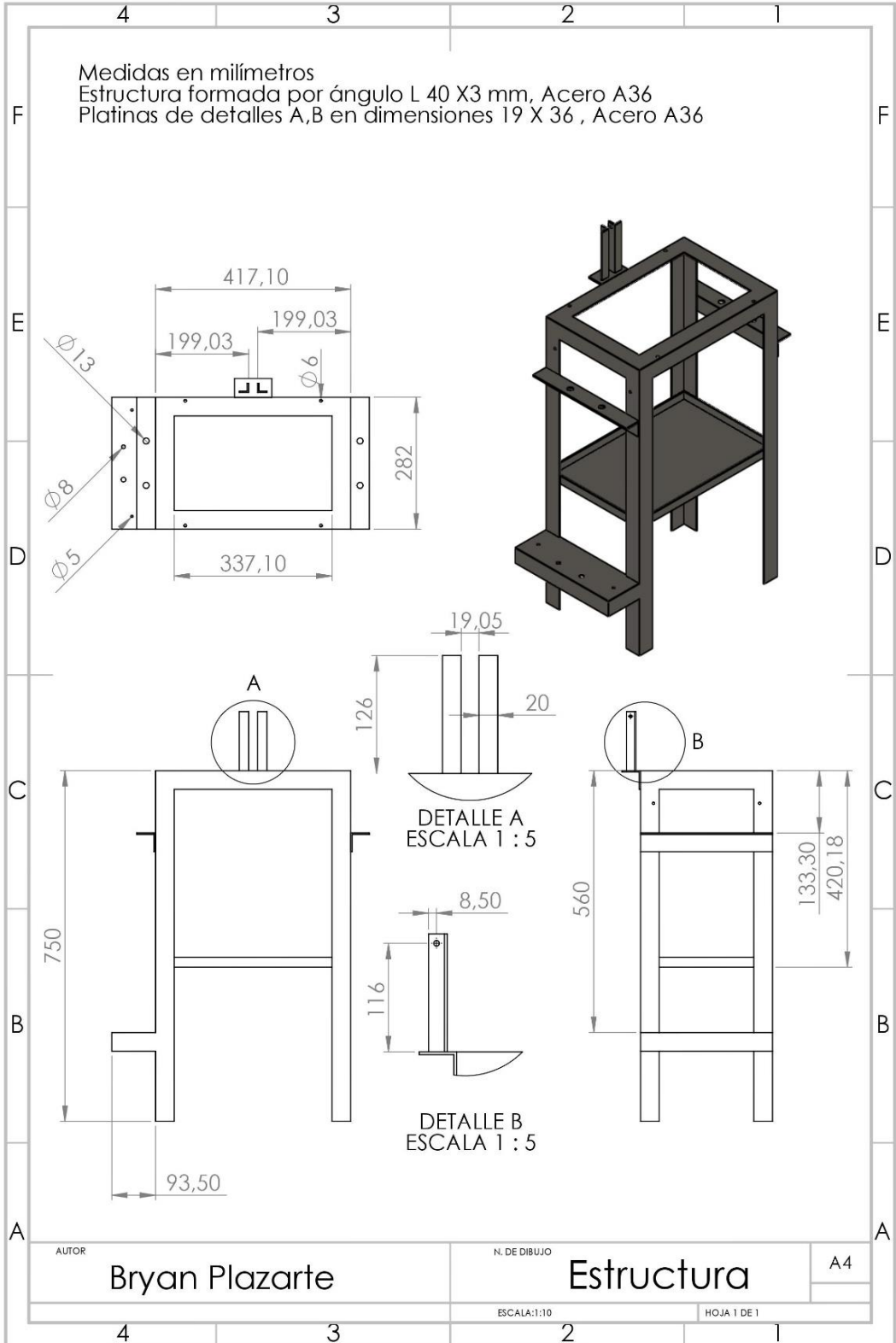
Tablero de Control

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

Medidas en milímetros
 Estructura formada por ángulo L 40 X3 mm, Acero A36
 Platinas de detalles A,B en dimensiones 19 X 36 , Acero A36



AUTOR

Bryan Plazarte

N. DE DIBUJO

Estructura

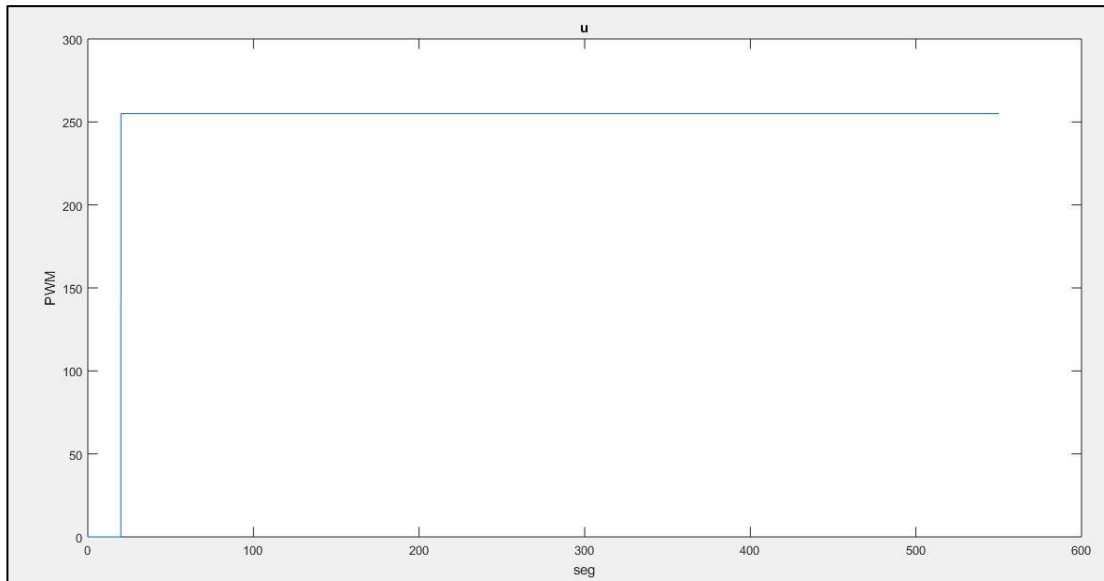
A4

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

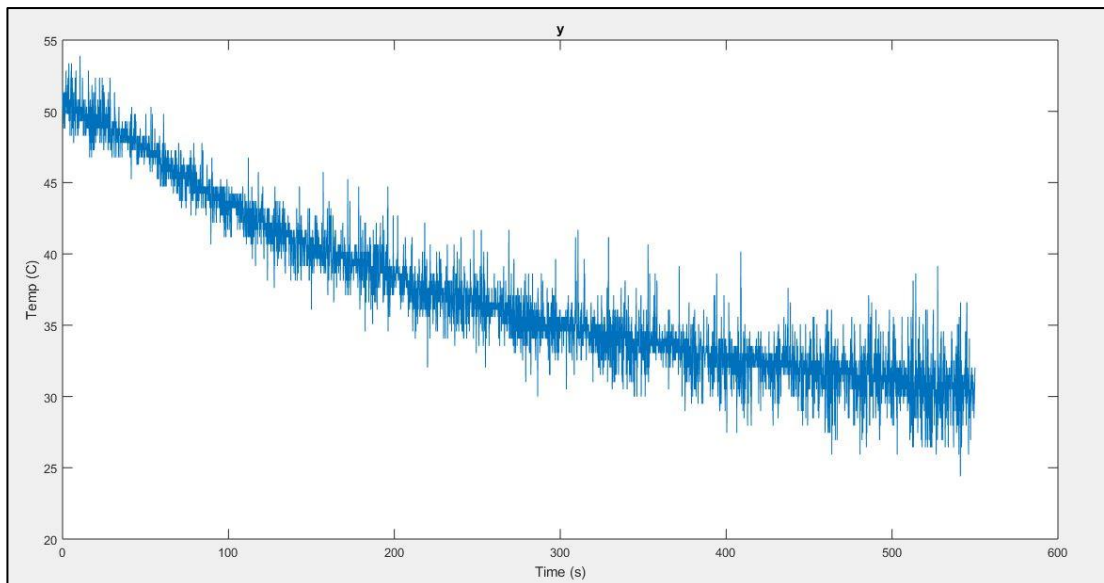
ANEXO 9

Entrada del sistema a controlar



ANEXO 10

Salida del sistema a controlar



ANEXO 11

Análisis de muestra de la mezcla producida



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 49474
ORDEN DE TRABAJO No. 61853

SOLICITADO POR:	PLAZARTE MICHILENA BRYAN ALEXANDER		
DIRECCION DEL CLIENTE:	CHILIBULO - JOSE EGUSQUIZA Y MATIAS BIGO S10-05		
MUESTRA DE:	SUELO		
DESCRIPCIÓN:	SUELO 1		
FECHA DE RECEPCIÓN:	24/7/2019	HORA DE RECEPCIÓN:	09H21
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 24/07/2019 AL 06/08/19		
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	6/8/2019		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
CARACTERÍSTICA:	CAFÉ OSCURO	ESTADO:	SOLIDOS
		CONTENIDO:	1 Kg
OBSERVACIONES:	* Los resultados se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregadas al personal técnico del OSP. * La fecha de recepción corresponde a la fecha en la que se emite la orden de trabajo.		

RESULTADOS

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODOS	INCERTIDUMBRE %
* FOSFORO ASIMILABLE	mg/Kg	709,0	EXTRACCION CON BICARBONATO Y COLORIMETRICO MOLIBDATO-VANADATO	-
* MATERIA ORGANICA	%	18,4	METODO DE WALKLEY	-
* NITROGENO TOTAL KJELDAHL	mg/Kg	9192	KJELDAHL	-
POTENCIAL HIDROGENO	-	8,6	MAM-67 / EPA 9045 C MODIFICADO	2,90
* POTASIO TOTAL	mg/Kg	4324	EPA 3050 Y 7610 EXTRACCION CON ACETATO DE AMONIO	-

"Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 1C 04-002"
 "Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS Q.S.P.



B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04



Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com