

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA



**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA GENERAR
COMPOSTAJE A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA EMPRESA
INVERSIONES DRAMAR S.A.C.**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTADA POR:

Bach. JERÍ SILVA, ENZO

ASESOR: Ing. Javier Rivas León

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, a mi madre Maritza, mi padre Armando, mi abuela Paulina y mi abuelo Escolástico por su apoyo incondicional, mis primos Silva, a mi novia Wendy y mi familia que estuvieron en cada etapa de mi desarrollo profesional. A todo quien ha puesto su confianza en mí para lograr un objetivo más en mi vida.

Enzo Jerí

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitir culminar con éxito esta tesis, a mis padres y familia por la confianza y apoyo brindado para lograr la culminación de la investigación.

A mi alma mater la Universidad Ricardo Palma, por el apoyo y conocimientos brindados durante todo el camino transcurrido para alcanzar ser el profesional de hoy.

A mi asesor, Ing. Javier Rivas, por apostar por este proyecto desde el inicio, su constante asesoramiento, apoyo y confianza brindada.

Enzo Jerí

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento de la problemática	3
1.1.1. Problema General	7
1.1.2. Problemas-Específicos	7
1.2. Objetivo	8
1.2.1. Objetivo General	8
1.2.2. Objetivos Específicos	8
1.3. Justificación	8
1.4. Alcances y Limitaciones de la investigación.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.1.1. Antecedentes nacionales	11
2.1.2. Antecedentes internacionales	12
2.2. Estructura teórica y científica	15
2.2.1. Variables del proceso de compostaje.....	15
2.2.2. Compostaje.....	17
2.2.3. Sistemas de Compostaje	18
2.2.4. Métodos de operación.....	19
2.2.5. Tipos de composta.....	20
2.2.6. Modelos de Compostador	21
2.2.7. Fases de Compostaje.....	27
2.2.8. Sistema de recolección.....	30

2.2.9. Sistema mecánico	31
2.2.10. SolidWorks	32
2.2.11. Sistema eléctrico	33
2.2.12. Sistema electrónico	35
2.2.13. Sensores	35
2.2.14. Módulo Relé 12V 10A de 1 Canal.....	38
2.2.15. Driver Puente HL298N	39
2.2.16. Blynk	40
2.2.17. ESP82266	40
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA.....	42
3.1 Sistema de máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos. .	42
3.2 Diseño mecánico	43
3.2.1 Características del material para la estructura mecánica.	43
3.2.2 Selección del material.....	44
3.2.3 Cálculos y dimensionamiento de compostera	44
3.3 Diseño eléctrico.....	54
3.3.1 Cálculo para la selección de motor eléctrico.....	54
3.3.2 Variador Delta VFD220E43A.....	56
3.4 Diseño Electrónico	57
3.4.1 Microcontrolador.....	57
3.4.2 Motor Reductor de corriente alterna.....	59
3.4.3 Sensor de temperatura.....	61
3.4.4 Adaptar de señal para termocupla	62
3.4.5 Sensor de Humedad	63
3.4.6 Pantalla LCD 20X4.....	65
3.4.7 Relay o Relé	65

3.4.8	Sensor de proximidad	66
3.4.9	Acondicionamiento de tensión	68
3.5	Desarrollo del programa	69
3.5.1	Programación de Arduino	69
3.5.2	Programación de la plataforma Blynk IOT	74
3.6	Circuito de la Compostera	80
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		83
4.1	Resultados del Diseño Mecánico	83
4.2	Resultados del sistema eléctrico y electrónico	85
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES		90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		91
APENDICE.....		96
ANEXOS		107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición de la mezcla	16
Tabla 2: Características del material para la estructura.....	43
Tabla 3: Comparación de algunos materiales más usados para la estructura mecánica..	44
Tabla 4: Puntuación Z	45
Tabla 5: Parámetros del compostaje.....	47
Tabla 6: Requerimientos para la selección del microcontrolador.....	57
Tabla 7: Características de los principales microcontroladores.....	58
Tabla 8: Requerimientos para la selección del motor reductor.....	59
Tabla 9: Principales motores eléctricos.....	60
Tabla 10: Principales sensores de temperatura.....	61
Tabla 11: Principales sensores de humedad	64
Tabla 12: Requerimiento para la selección de fuente de alimentación.....	68
Tabla 13: Condiciones de fuente de alimentación	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Grafico de la producción de residuos sólidos de los países del mundo.	4
Figura N° 2: Generación de residuos sólidos en Lima Metropolitana.....	5
Figura N° 3: Grafico del destino final de basura recolectada 2013-2014, Perú.	6
Figura N° 4: Clasificación de los residuos sólidos.....	7
Figura N° 5: Entrada y salida del compostaje.....	18
Figura N° 6: Compostera de bloques de ladrillo.....	22
Figura N° 7: Compostera con tres depósitos de madera y alambre	23
Figura N° 8: Composta en bidón.....	23
Figura N° 9: Composta en pilas	24
Figura N° 10: Compostador Converter.....	25
Figura N° 11: Compostador Zera.....	26
Figura N° 12: Compostador industrial Kollvik.....	27
Figura N° 13: Fases del compostaje.....	28
Figura N° 14: Hongo indicador de la fase mesoflica II.....	29
Figura N° 15: Temperatura, Oxígeno y pH en el proceso de compostaje	29
Figura N° 16: Código de colores para la segregación de residuos sólidos.....	30
Figura N° 17: Eje de transmisión de velocidad de compostera	31
Figura N° 18: Solidworks utilizado para el diseño de cuchillas de compostera.....	32
Figura N° 19: Fuente de alimentación conmutada 12V / 5 A.....	33
Figura N° 20: Esquema eléctrico de la fuente de alimentación simétrica de 15V 1A	34
Figura N° 21: Datos de dimensiones y características de motor eléctrico modelo B14 .	34
Figura N° 22: Arduino Mega.....	38
Figura N° 23: Módulo Relé 12V 10 ^a de 1 canal.	39
Figura N° 24: Detalle del App Blynk.....	39
Figura N° 25: Detalle del App Blynk.....	40
Figura N° 26: Distribucion de pines del Node MCU	41
Figura N° 27: Diagrama de comunicación del sistema de la máquina de compostaje....	42
Figura N° 28: Dimensiones del cilindro de compostera.....	46
Figura N° 29: Dimensiones del cilindro de compostera.....	49
Figura N° 30: Dimensión de cuchilla cortadora del compostador	49
Figura N° 31: Determinación de la masa de las cuchillas	50

Figura N° 32: Simulación del esfuerzo de las cuchillas (en Solidworks)	51
Figura N° 33: Simulación del desplazamiento máximo de las cuchillas (en Solidworks)	52
Figura N° 34: Simulación del esfuerzo de las compuertas (en Solidworks)	53
Figura N° 35: Simulación del máximo desplazamiento de las compuertas (en Solidworks)	54
Figura N° 36: Motor reductor ortogonal.....	55
Figura N° 37: Variador Delta VFD220E43A	56
Figura N° 38: Arduino Mega.....	58
Figura N° 39: Motor reductor	60
Figura N° 40: Sensor de temperatura LABFACILITY XE-3530.....	62
Figura N° 41: Encapsulado del amplificador.....	63
Figura N° 42: Sensor de humedad FUNDUINO	64
Figura N° 43: Pantalla LCD 20x4.....	65
Figura N° 44: Microreductor	66
Figura N° 45: Declaración de variables.....	67
Figura N° 46: Fuente conmutada SANPU PS600.....	68
Figura N° 47: Inclusión de librerías y variables en Arduino IDE.....	69
Figura N° 48: Códigos de comunicación con la interfaz Blynk.	70
Figura N° 49: Selección de tiempo de transmisión de datos.	71
Figura N° 50: Declaración de variables de temperatura y humedad.....	71
Figura N° 51: Impresión de variables asignadas en las rutinas de arduino.	72
Figura N° 52: Declaración setup en arduino.....	73
Figura N° 53: Condicionales para ejecución de rutinas en arduino	73
Figura N° 54: Función Loop del programa en Arduino.	74
Figura N° 55: Menú de inicio de plataforma Blynk IOT	75
Figura N° 56: Código de autenticidad generado por Blynk IOT	75
Figura N° 57: Listado de micro aplicaciones de blynk	76
Figura N° 58: Micro aplicación de zona horaria del servidor de blynk.	77
Figura N° 59: Reloj según zona horaria.	77
Figura N° 60: Variable de temperatura	78
Figura N° 61: Variable de humedad.....	78

Figura N° 62: Ajustes de terminal de interfaz blynk.....	79
Figura N° 63: Interfaz final de Plataforma Blynk IOT	79
Figura N° 64: Circuito de conexión de termocuplas realizado en proteus	80
Figura N° 65: Circuito de conexión releo realizado en proteus.....	81
Figura N° 66: Integración de arduino con módulos de transmisión.....	82
Figura N° 67: Circuito con Módulo L298 con Arduino mega 2560	82
Figura N° 68: Propiedades del acero inoxidable utilizado para el cilindro (realizado en Solidworks).....	83
Figura N° 69: Figura de sujeción en la cara interior de la circunferencia del hélice (hecho en Solidworks)	84
Figura N° 70: Fuerzas aplicadas a la hélice (hecho en Solidworks)	84
Figura N° 71: Análisis estático de tensiones de la hélice (hecho en Solidworks)	85
Figura N° 72: Análisis estático de desplazamientos de paletas de la hélice (hecho en Solidworks).....	85
Figura N° 73: Diseño del circuito utilizando un puente H para el giro horario y antihorario de los motores (hecho en Proteus)	86
Figura N° 74: Circuito de módulo L298 acoplado con Arduino realizado en proteus....	87
Figura N° 75: Circuito en proteus de motor monofásico con variador.	87
Figura N° 76: Circuito en proteus con fusible de protección.	88
Figura N° 77: Onda de salida en Osciloscopio realizado en proteus	88

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la empresa INVERSIONES DRAMAR S.A.C ya que contaba con el procedimiento de acopio de residuos que fue necesario para la investigación realizada.

La empresa cuenta con un espacio donde se recolecta y clasifica todos los residuos, como los residuos orgánicos utilizados en el restaurante por lo que una empresa externa se llevaba dicho material y realizaba el proceso de compostaje de manera artesanal debido a la gran cantidad de residuos que generaba semanalmente, sin embargo la empresa DRAMAR S.A.C para generar mayor ingresos debido a la pandemia generada en el mundo quiso producir ellos mismos el compostaje, pero no contaba con el espacio para las pilas por lo que se planteó de manera automatizada.

Con el análisis de la problemática presentada por la empresa en la aplicación de la técnica del compostaje según las investigaciones es el tiempo que tarda el proceso y el espacio que ocupa. Es por ello que como solución se planteó el diseñar un prototipo de máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos.

Para el diseño se utilizó el software SolidWorks, donde se pudo simular la funcionalidad entre las piezas del prototipo, acoples y el comportamiento del material frente a altas temperaturas.

Se utilizó herramientas de la física, mecánica industrial, para determinar el material utilizado, hallar la potencia que requería el motor. Para el ámbito electrónico del prototipo se utilizó el software Proteus para simular y plantear la programación del controlador.

Finalmente, se logró comprobar que es factible la reducción de tiempo del proceso de compostaje, evitando la acumulación elevada de residuos y generando mayor productividad en la producción de compost.

Palabras claves: diseñar, prototipo, compostaje, residuos orgánicos, solidwork, programación.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the company INVERSIONES DRAMAR S.A.C since it had the waste collection procedure that was necessary for the investigation carried out.

The company has a space where all waste is collected and classified, such as organic waste used in the restaurant, so an external company took said material and carried out the composting process in an artisanal way due to the large amount of waste that generated weekly, however, the company DRAMAR SAC to generate more income due to the pandemic generated in the world wanted to produce the composting themselves, but did not have the space for batteries so it was proposed in an automated way.

With the analysis of the problems presented by the company in the application of the composting technique, according to the investigations, it is the time that the process takes and the space it occupies. That is why the solution was proposed to design a machine prototype to generate compost from organic waste.

For the design, SolidWorks software was used, where it was possible to simulate the functionality between the prototype parts, couplings and the behavior of the material against high temperatures.

Tools of physics and industrial mechanics were used to determine the material used, to find the power required by the motor. For the electronic field of the prototype, the Proteus software was used to simulate and propose the programming of the controller.

Finally, it was possible to verify that it is feasible to reduce the time of the composting process, avoiding the high accumulation of waste and generating greater productivity in the production of compost.

Keywords: design, prototype, composting, organic waste, solidwork, programming.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis busca demostrar con la investigación y experimentación que sí es posible automatizar el proceso de compostaje, utilizando las herramientas de la ingeniería industrial como el empleo del estudio de tiempos, automatización y optimización de procesos, diseño e innovación. Con la finalidad de desarrollar una tecnología que ayude a resolver el gran problema que es la generación y acumulación de residuos orgánicos.

Los resultados que se obtienen son fruto del monitoreo constante de las variables (temperatura, oxigenación, Relación Carbono/Nitrógeno en la mezcla a ingresar) que influyen en el prototipo diseñado y del análisis de ellos.

En el primer capítulo se detalla el planteamiento de la problemática mediante el uso del método del embudo que permite describir en primera instancia desde un punto de vista general y finalmente culminar la redacción con un punto de vista particular. Es por ello que primero se hace mención de la manifestación del problema que es “la generación de residuos orgánicos” relatando la situación mundial para culminar con la descripción y presentación del escenario del problema en el país.

En el primer capítulo, se hace muestra de la información adquirida para sustentar la manifestación del problema en el país, además se presenta los objetivos, delimitación, justificación e importancia de la investigación

En el segundo capítulo, se desarrolla el marco teórico de la investigación, es decir los antecedentes de estudio, las bases teóricas y las definiciones de los términos importantes utilizados para el desarrollo de la tesis.

En el tercer capítulo, se realiza el planteamiento de las hipótesis tanto principales como secundarias. Además, se conceptualiza a las variables de investigación, se desarrolla la operacionalización de ellas junto con sus indicadores correspondientes.

En el cuarto capítulo, se detalla la metodología de la investigación que abarca la descripción del tipo y nivel de estudio, diseño y enfoque. Se delimita la población y muestra de la investigación; explicando de igual manera las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de información o datos. Culminando el capítulo se detallan

las técnicas para el procesamiento y análisis de la información obtenida durante el proceso de recolección de datos.

El quinto capítulo consiste en la descripción del diseño del prototipo, componentes a utilizar, vista isométrica del diseño para visualizar la funcionalidad entre piezas, cálculos utilizados con respecto al motor, programación del controlador, costos de los materiales y de los componentes del prototipo.

En el sexto capítulo se realiza el análisis y presentación de los resultados obtenidos, se detalla el logro de los objetivos con la demostración de las hipótesis ligadas al control de los parámetros del prototipo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente capítulo describe la problemática de la tesis, se plantean los problemas generales y específicos al igual que los objetivos generales y específicos, alcances y limitaciones, la importancia y justificación.

1.1. Planteamiento de la problemática

En la presente investigación busca evidenciar el rápido crecimiento demográfico que hace que la cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos se incremente de manera alarmante y el terreno establecido para colocarlos sea cada vez menor a causa de la gestión ineficiente de residuos sólidos. Como resultado de esta situación, acontece la contaminación de agua, aire y suelo que originan la transmisión de enfermedades infecciosas y extinción de animales.

En el mundo hay diferentes investigaciones sobre el manejo de residuos sólidos en América y el Caribe, el cual una investigación menciona que “El incremento anual promedio de la producción de residuos sólidos se ha estimado que está entre 3,2 a 4,5% para los países desarrollados y entre 2 a 3% para los países en vía de desarrollo” (Sáez & Urdaneta, 2014).

En la Figura N°1 se puede visualizar la cantidad de residuos sólidos en toneladas que producen los países.

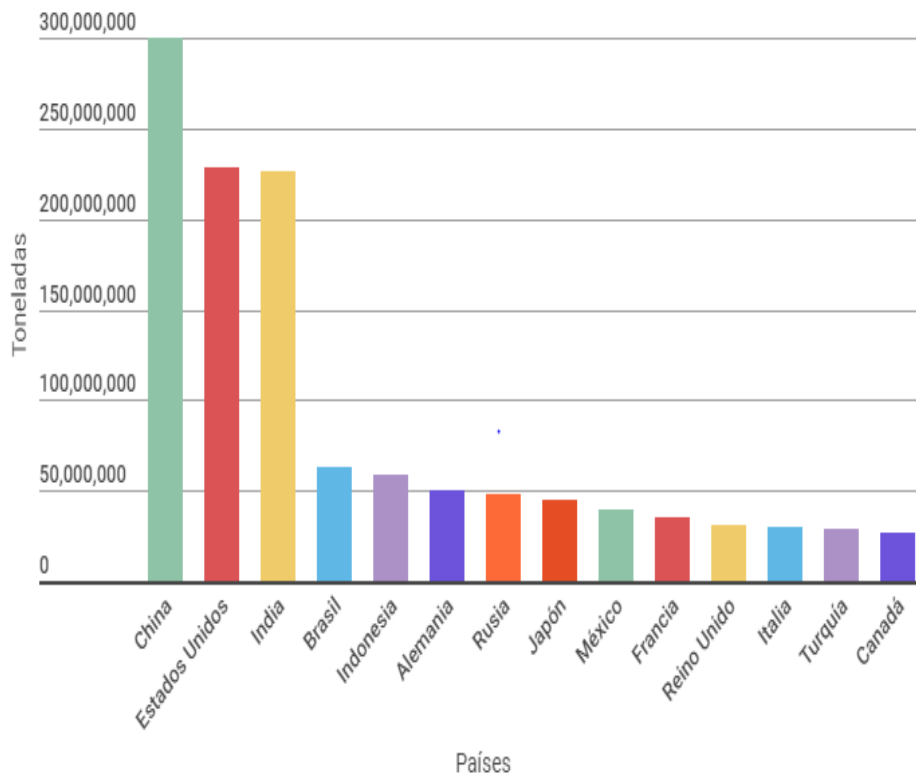


Figura N° 1: Grafico de la producción de residuos sólidos de los países del mundo.
Fuente: El atlas de los desperdicios: Los países que más basura producen, 2018.

Por lo mencionado, China, Estados Unidos y la India son los países con mayor cantidad de acumulación de residuos orgánicos, sin embargo, el Perú no es ajeno a dichos residuos exactamente en San Juan de Lurigancho que produce 946 toneladas diarias de basura, número que representa el 10% del total. Las cinco primeras localidades (SJL, San Martín de Porres, Cercado, Ate y Villa María del Triunfo) generan en totalidad el 36% del total en la ciudad, en los últimos años han aumentado sus residuos orgánicos respecto a otros distritos, se muestra en la Figura N° 2.

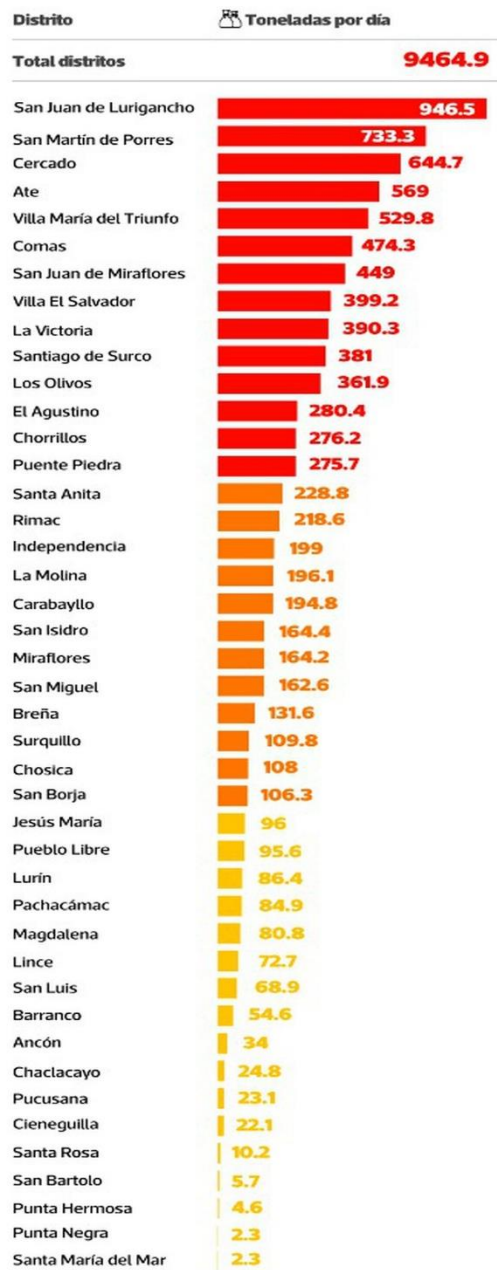


Figura N° 2: Generación de residuos sólidos en Lima Metropolitana
Fuente: INEI (Perú. Anuario de estadísticas Ambientales 2019)

En la presente investigación se evidencia el problema que actualmente va creciendo, el cual es la cantidad de residuos orgánicos, siendo parte del crecimiento de Lima como la ciudad con mayor porcentaje de lo dicho, por lo que la mayoría de residuos su destino final son los rellenos sanitarios y botaderos, el mayor porcentaje de residuos el cual es el 70,8% en el 2024 termina en botaderos a cielo abierto. En la Figura N°3 se puede visualizar la distribución del destino final de residuos orgánicos.

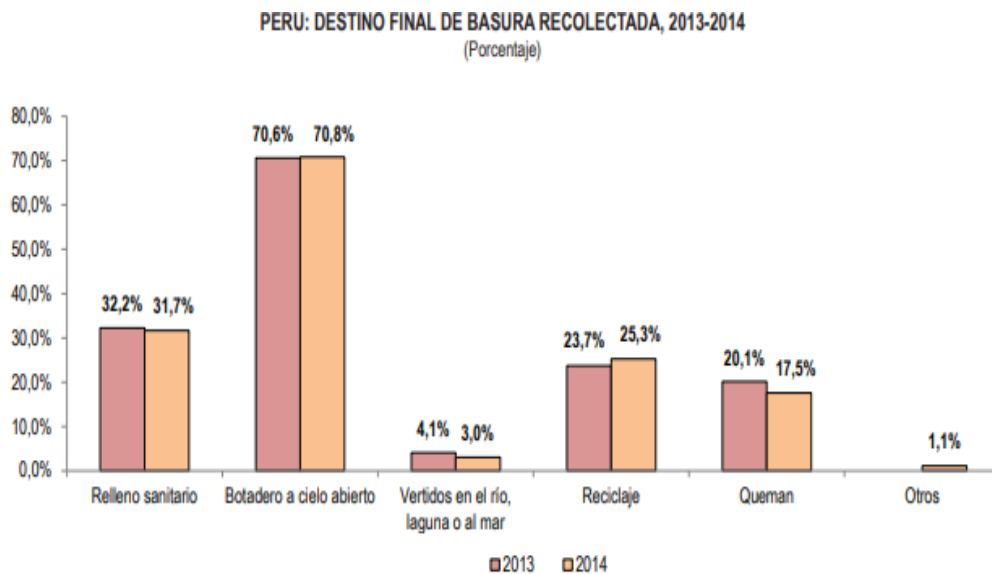


Figura N° 3: Grafico del destino final de basura recolectada 2013-2014, Perú.
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas e Informática – Registro Nacional de

La acumulación de residuos sólidos es un problema global que se manifiesta e incrementa año tras año de acuerdo a la información obtenida. A medida que el ser humano creció intelectual y económicamente fue generando empresas sin tener responsabilidad ambiental con el cual perjudicando la flora y fauna, extinguiendo algunas especies marinas, como se sabe los rellenos sanitarios ya han colapsado por el espacio, el reciclaje que existe con respecto a plásticos, papel entre otros no se da abasto para poder reducir el espacio, como se sabe en los estudios del MINAM el mayor porcentaje de basura son de materias orgánicas que son las verduras, frutas, la comida que por ello no se tiene un adecuado proceso de tratamiento o recolección, dicha basura es desembarcada en el mar, afectando las especies marinas y el agua el cual muchas veces las personas al bañarse lo beben generando enfermedades infecciosas (viral) y plagas, las cuales son:

En la figura N-º4 se puede visualizar la clasificación de los residuos sólidos (Según Ley n.º 27314: Ley general de residuos sólidos).

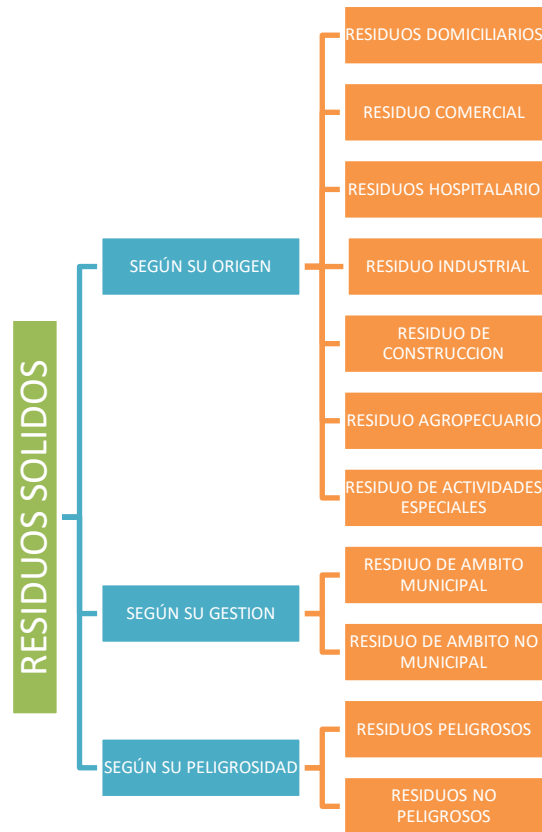


Figura N° 4: Clasificación de los residuos sólidos.

Fuente: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. (2009). Manual de residuos sólidos. - Elaboración propia.

1.1.1. Problema General

¿Cómo procesar de manera automática los residuos orgánicos de la empresa inversiones DRAMAR S.A.C para obtener compostaje?

1.1.2. Problemas-Específicos

- a. ¿Cómo establecer los mecanismos apropiados que realicen cada etapa del proceso de elaboración de compostaje?
- b. ¿Cómo generar la fuerza y controles eléctricos capaces de controlar los mecanismos y motores del prototipo de máquina para procesar compostaje?
- c. ¿Cómo establecer el monitoreo y control electrónico de los elementos de control que forman parte del proceso?

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo de máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos de la empresa Inversiones Dramar S.A.C.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a. Diseño y simulación de la parte mecánica del prototipo para generar compostaje.
- b. Diseñar la unidad eléctrica y de potencia del prototipo para generar compostaje.
- c. Diseño y simulación de un módulo de mando y control electrónico capaz de gobernar las acciones del prototipo para generar compostaje.

1.3. Justificación

a. Justificación ambiental

Se busca minimizar el gran problema global que va aumentando año tras año que es la acumulación de residuos orgánicos, es por ello que con el estudio de este proyecto lo que se logra es un diseño del proceso productivo de compostaje que empleara residuos orgánicos; sin embargo, esto conlleva a que se puedan realizar otros experimentos con diferentes insumos, ya que finalmente los componentes principales aprovechados y de los cuales se obtendrán propiedades similares a los plásticos son el almidón y la celulosa. Sin embargo, otro punto de igual importancia es la reducción de quema de basura evitando de esa manera la producción de gas metano que genera el cambio climático drástico que se va dando.

b. Justificación económica

Se busca promover que el compostaje como una alternativa de uso debido a la necesidad por parte del estado peruano que promueve la reducción de residuos, sin embargo, hay diferentes materias primas para realizar el compostaje, por ello para obtener mayor entrada económica muy aparte de lo ambiental son los residuos orgánicos con lo que es más factible desarrollar una pequeña empresa en este rubro

generando puesto de trabajo debido a la pandemia que va pasando el Perú y el mundo.

Además, el producto obtenido de esta máquina se puede comercializar por la gran demanda y el beneficio que genera.

c. Justificación tecnológica

Una de las principales competencias de la ingeniería Mecatrónica es el diseño e innovación de nuevas tecnologías, es por ello que con dicho proyecto se buscara automatizar el proceso de convertir los residuos orgánicos en compostaje, ya que en el Perú hay empresas y/o organizaciones que realizan de manera artesanal, día a día se va acumulando mucho más los residuos, sin embargo dichas maquinarias son importadas de China o Colombia y tiene un tiempo de transformación de 2 a 3 meses por lo que con este proyecto se quiere llegar a un mes., es por ello que con todos los conocimientos adquiridos durante la carrera se desarrollara dicho proyecto de tesis.

d. Justificación sanitaria

Debido a la pandemia COVID-19 generada en el mundo se toman diferentes medidas para controlar su propagación, es por ello que con este proyecto se busca reducir los índices de contaminación y manipulación de los residuos debido a que de manera artesanal se tiene que echar, remover, tocar y estar expuesto directamente a los residuos que están al aire libre, sin embargo con este proyecto de tesis se minimiza dicha propagación debido a que dicho equipo hace todo ese trabajo.

1.4. Alcances y Limitaciones de la investigación.

- El objetivo general del proyecto es plasmar el diseño de la máquina, por lo que no se presenta ningún prototipo ni pruebas realizadas. Por otro lado la maquina realiza el control del proceso de compostaje solo por medio de la medición de tres variables de estado del proceso que son la temperatura, la concentración de oxígeno y la humedad las cuales son las necesarias para el proyecto, por otro lado otras variables como el pH, la relación C/N y medición de otros gases permitiría aumentar aún más la eficiencia del proceso; sin embargo, estas variables no son tomadas en cuentas, ya que implicaría incrementar bastante la complejidad del diseño.

- En caso no haya energía eléctrica en el terreno donde esté ubicado la máquina no podrá funcionar la máquina.
- Adecuada implementación (lugar seguro) de la tarjeta electrónica para evitar fallas de señal por el calor.
- Se plantea que la máquina de compostaje tendrá una capacidad 10kg de residuos orgánicos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Gallardo, K. (2013), pudo determinar en su tesis que el compostaje es una técnica viable y que es posible reducir el tiempo del proceso.

Para lo cual se introduce en la etapa inicial una mezcla de 80% de residuos orgánicos con 5 % de estiércol de alpaca de la zona y 15% de agua para mantener la humedad colocados en cavidades de madera impermeabilizado con geomembrana para activar y acelerar la actividad bacterial; estas cavidades a manera de módulos de 2x2x1.5 m³ llevan acoplados en la parte superior un techo de modo variable a fin de que durante el día la mezcla quede expuesta a la energía solar y de noche cubierta con el mismo techo; siendo removido la mezcla 18 veces durante todo el proceso (3, 5 y 7 días por cada etapa), observándose una variación térmica y liberación de gases hasta estabilizarse a los 75 días donde se convierte en un materia grumoso a manera de suelo de color marrón y grisáceo con propiedades ricos en macro y micro nutrientes, cuyo factor importante para el cumplimiento de dicho resultado fue las propiedades físicas de la geomembrana evitando la infiltración de residuos líquidos y manteniendo la temperatura de proceso de compost (pp. 7-8).[...]

El objetivo fue generar compost a partir de residuos orgánicos resultantes de los restaurantes de un campamento minero ya que el problema se manifiesta a partir de la gran cantidad producida de residuos la cual es de 150 kg diarios y 4500 kg al mes. Es por ello que utilizaron la técnica de compostaje adaptándola a la situación climatológica de la ubicación de la mina y planteo el uso de geomembranas para activar y acelerar la actividad bacterial con la finalidad de acelerar el tiempo que conlleva aplicar este proceso. Cabe resaltar la importancia de la investigación ya que busca minimizar los residuos orgánicos con la aplicación de la técnica y además generar un abono natural creando un impacto social sustentable para el desarrollo de la población.

Finalmente concluye que el producto final es rico en nitrógeno, fósforo y potasio, de tal manera que nutre el suelo volviéndolo sano y fértil como es demostrado en el proceso, el compostaje como técnica de reducción de residuos orgánicos es una opción viable ya que se logró la reducción de residuos en el campamento minero y en un menor tiempo gracias a la utilización de la geomembrana lo cual es un indicador que si se controla la técnica se puede reducir el tiempo de fabricación de compost.

Acosta, R. (2016), desarrolló la tesis que tuvo como objetivo:

La implementación de un sistema que automatizará algunos procesos en la elaboración de composta orgánica implementado en un prototipo de compostador innovador para uso doméstico. Estos procesos fueron identificados y seleccionados para que el sistema sustituyera la intervención que tienen las personas que elaboran composta, esto es con la finalidad de minimizar la interacción del usuario con la manipulación en la elaboración de composta y reduciendo de manera significativa este problema, además de esto se podrá reutilizar aquellos desechos orgánicos producidos en el hogar y se podrá obtener un fertilizante natural para que sea aprovechado en los jardines y hortalizas de aquellas personas que hagan uso de este tipo de reciclaje (p. 4).

Finalmente se concluye que efectivamente si se pudo desarrollar un prototipo de máquina de compostaje que disminuye la intervención de la mano humana, además se estudia los parámetros de control a tener en cuenta como la humedad, temperatura, oxigenación. También muestra los elementos, circuitos, diseño, proceso, manipulación y costos de la experimentación.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Gutiérrez, M. (2013), realizó la tesis que tuvo como objetivo estudiar a profundidad el tratamiento de residuos sólidos mediante el proceso de compostaje.

El compostaje es una de las principales formas de tratamiento y reciclado de residuos orgánicos, que se impone frente a la incineración o el destino a vertedero, anteriormente utilizados de manera más común, lo cual se

pone de manifiesto en el incremento de instalaciones de compostaje. Si bien, se ha producido un gran desarrollo tecnológico que ha favorecido la implantación de sistemas de compostaje cerrados junto a sistemas de biofiltración que permiten un mejor control del proceso y la minimización de emisiones, actualmente siguen predominando los sistemas de compostaje abiertos debido al menor coste de inversión requerido. El principal problema asociado a este tipo de sistemas de compostaje es la gran cantidad de emisiones de olor que se emiten a la atmósfera de manera incontrolada (p.1).

Determinaron los parámetros esenciales que intervienen en el proceso como la humedad, temperatura, contenido de nitrógeno y carbono, relación C/N, cantidad de materia orgánica, conductividad eléctrica, oxígeno y ph. Además, dentro de su investigación estudia una planta de gestión de residuos del municipio de Vacarisses en Barcelona, evidenciando el sistema de automatización del proceso de compostaje con el que cuenta y la utilización de un sistema de aireación forzada para el control de oxígeno en el proceso.

Concluye que los sistemas de compostaje cerrados permiten realizar un control y seguimiento del proceso, lo cual se ha demostrado que tiene una estrecha relación con la generación de emisiones de olor y, en segundo lugar, a que estos sistemas suelen estar dotados de un sistema de biofiltración para el tratamiento de dichas emisiones, minimizando así su emisión a la atmósfera.

Ayala, O. (2014), realizó la tesis que tuvo como objetivo:

Para minimizar la contaminación ambiental es necesario separar la basura, de tales residuos sólidos orgánicos puedan ser utilizados para la generación de un fertilizante natural mediante la aplicación de compostadores, sin embargo, los compostadores que actualmente existen tanto los domésticos como los comerciales necesitan de la intervención de las personas que hagan uso de estos.

Esta intervención es necesaria para que la descomposición de los desechos orgánicos se lleve a cabo ya que debe de colocar la basura orgánica dentro

del compostador y deben de controlar la temperatura y humedad que se genera en la composta además debe de airear (descompactar) la composta para que exista oxígeno suficiente y los microorganismos encargados de descomponer los desechos orgánicos no mueran por falta de oxígeno y/o exceso-falta de humedad y temperatura (p. 9).

Concluye que el prototipo realiza mejora de la producción de fertilizantes mediante la temperatura y humedad que son controlados de manera automatizada, mediante sus factores de medición y seguimiento los cuales son controlados se obtiene de manera limpia la descomposición de los desechos generando compost.

Falco, C. (2015), realizó la tesis que tuvo como objetivo analizar el problema de la generación de residuos orgánicos domésticos

Se diseñó y construyó un biorreactor cilíndrico con rotación automatizada, de 140 L de capacidad, con una compuerta para la introducción de residuos ubicada en la primera de 3 cámaras en serie. El compost resultante se descarga independientemente por otra compuerta de la última cámara. Para la búsqueda de las condiciones óptimas de operación a escala real se instaló un dispositivo que fue recibiendo todo el Residuo Orgánico Biodegradable (ROB) al ritmo de la generación de una familia tipo. Todo el dispositivo fue montado sobre celdas de una balanza conectada a una computadora que llevó un monitoreo continuo y automático del peso. Para evaluar la eficiencia del dispositivo y la calidad del compost obtenido se llevó adelante un completo plan de monitoreo (p.3).

El proceso que utilizó para el tratamiento de fue el compostaje, sin embargo, menciona que el motivo por el cual no es una opción utilizada por la comunidad es debido a la cantidad de personas requeridas para el proceso y el rechazo cultural asociado al tener contacto con la basura.

Concluye en su investigación e experimentación al diseñar un sistema de compostaje mediante un biorreactor continuo, el cual con el diseño cilíndrico generó opciones óptimas para controlar y monitorear reduciendo tiempo,

espacio, generando un ambiente limpio libre de malos olores con el diseño de un biorreactor sin perjudicar la calidad del compostaje.

Arrigoni, J. (2016), en su tesis tuvo como objetivo identificar aspectos de diseño en compostadores y verificar la gestión del proceso de tal manera que ayude a mejorar la tecnología implementada.

Analizar modelos de compostadores exitosos, utilizados en otras experiencias; y diseñar, construir, evaluar un compostador experimental; permitió analizar sus características e influencia sobre el proceso de compostaje. Reúne información sobre la valoración del artefacto en experiencias previas, realizadas en países con mayores avances 160 que el nuestro en sus políticas ambientales frente a la gestión de residuos y permite observar la complejidad de las acciones que acompañan una política sobre la gestión descentralizada de los residuos orgánicos exitosa. Los compostadores estáticos de 500 l de capacidad volumétrica y un metro de altura máxima para la incorporación de residuos, fueron eficaces en el tratamiento de residuos orgánicos de comedor (pp. 159 – 160). [...].

Concluyo que el fertilizante obtenido tenía una elevada viabilidad para su aprovechamiento en diversos usos agrícolas o ambientales, de acuerdo al diseño y haciendo pruebas experimentales de las variables temperatura y oxígeno tuvo como resultado que se obtenga la madurez y calidad requerida.

2.2. Estructura teórica y científica

2.2.1. Variables del proceso de compostaje

a) Relación carbono/nitrógeno

Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35.

La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación

C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos (Casco, J. 2013. pp.101-102.).

Para determinar el porcentaje de residuos orgánicos y material estructurante o seco a utilizar, se empleó la siguiente tabla (Ver tabla N°1).

Tabla 1: Composición de la mezcla

Parámetro	mezcla 1:1		mezcla 1:2		mezcla 1:4	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final
Materia seca (%)	42,2	35,4	44,8	38,7	41,8	34,1
Materia orgánica (% s.m.s.)	76,5	74,8	72,9	60,5	70,7	67,6
N-Kjeldahl (% s.m.s.)	5,7	4,4	5,5	4,9	8,2	6,6
N-Kjeldahl (g)	42	26	36	26	36	12
IR ₃₇ (mg O ₂ g ⁻¹ MO h ⁻¹)	-	1,10	-	1,15	-	1,71

Fuente: Barrena, 2006

b) Temperatura

Al disponerse el material que se va a compostar en pilas, en un reactor, etc., si las condiciones son las adecuadas, comienza la actividad microbiana. Inicial- mente todo el material está a la misma temperatura, pero al crecer los microorganismos se genera calor aumentando la temperatura del material. El síntoma más claro de la actividad microbiana es el incremento de la temperatura de la masa que está compostando, por lo que la temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental en el control del compostaje (Liang y col., 2003; Miyatake y col., 2006). La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N (Casco, J. 2013. pp.96-106.).

Román, Martínez & Pantoja (2013) determinaron lo siguiente según su estudio de experimentación.

La fase termofílica se inicia el día 4 del proceso, alcanzando los 44°C en la primera semana, permaneciendo así durante 3 semanas. Se realizan volteos manuales cada 4 días. A partir de la semana 4 la temperatura disminuye hasta ser temperatura ambiente. El proceso de maduración dura hasta la semana 8, en la que se hace volteos semanales únicamente (p. 94).

c) Oxígeno

Para el correcto desarrollo del compostaje es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en el aire de sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el de dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2% (Ekinci y col., 2004).

Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidling- maier, 1996). El exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006).

2.2.2. Compostaje

El proceso de compostaje imita la transformación de la materia orgánica en la naturaleza, y permite homogenizar los materiales, reducir su masa y su volumen e higienizarlos. Este tratamiento favorece el retorno de la materia orgánica al suelo y su reinsertión en los ciclos naturales (Gutiérrez M., 2013, pp 17-18).

El proceso de compostaje es un método aeróbico de tratamiento de residuos orgánicos donde intervienen factores importantes como temperatura, humedad,

oxígeno, relación C/N, ph. En este proceso intervienen microorganismos que se encargan de realizar el proceso de compostaje, para que la actividad de estos microorganismos sea la adecuada necesitan de alimento (residuos orgánicos), agua (humedad) y oxígeno. Para una descripción grafica de lo mencionado visualizar Figura N°5.

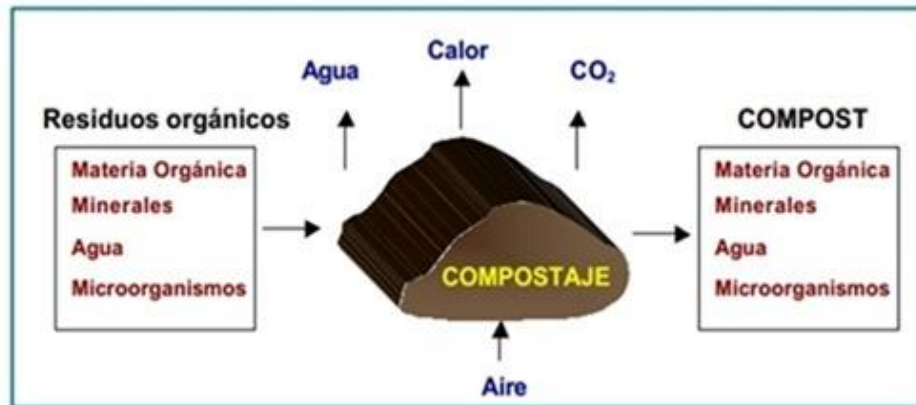


Figura N° 5: Entrada y salida del compostaje
Fuente: Gutiérrez M., 2013, pp 18.

2.2.3. Sistemas de Compostaje

El compostaje constituye un procedimiento adecuado de valorización de los residuos orgánicos, incluyendo la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y los lodos de depuradora. Este sistema de tratamiento de residuos orgánicos reporta un beneficio ambiental al evitar riesgos de contaminación provocados por otras alternativas como incineración y vertido y facilitar un mejor aprovechamiento de la materia orgánica.

Durante el proceso de compostaje la materia orgánica fresca de los residuos orgánicos se transforma mediante la acción de bacterias aeróbicas en materia orgánica estabilizada denominada compost.

Los principales objetivos del proceso de compostaje son: la estabilización de la materia orgánica y la higienización, por eliminación de patógenos y de malas hierbas, así como la reducción del peso y volumen de los materiales a compostar, de modo que el uso agrícola del producto final obtenido, tiene efectos beneficiosos para el suelo y los cultivos.

Los sistemas de compostaje entendiendo a diferentes criterios tales como nivel de complejidad, grado de control del proceso o método de ventilación empleado, pueden clasificarse en sistemas abiertos y sistemas cerrados.

En los sistemas de compostaje cerrados el proceso se realiza en unos recipientes llamados reactores, contenedores o digestores. Estos sistemas tienen la ventaja de un mayor control de las condiciones del proceso, la necesidad de un menor espacio para la construcción de sus instalaciones, los tiempos de compostaje son relativamente más cortos y se evitan las emisiones de malos olores, pero en cambio tienen un elevado coste de inversión y mantenimiento que en muchas ocasiones los hace inviables desde el punto de vista económico.

En los sistemas de compostaje abiertos los materiales a compostar se colocan en pilas/hileras, montones o mesetas y se diferencian dos tipos: estático y dinámico. En los sistemas dinámicos la aireación de la pila se realiza de forma periódica mediante volteos. Entre sus limitaciones, cabe citar que la ventilación de la pila solo se hace de manera periódica y por lo tanto el nivel de oxígeno no se mantiene constante, impidiéndose el aumento de las oxidaciones biológicas y haciendo que el proceso de compostaje sea más lento.

En los sistemas estáticos ventilados, el material a compostar se coloca sobre el conjunto de tubos perforados o una solera porosa, conectados a un sistema que aspira o insufla aire a través de la pila (Casco, J. 2013. pp.96-106.). [...]

2.2.4. Métodos de operación

Según el nivel de tecnología que se utilizan para aplicar la técnica de compostaje podrían ser de:

Niveles, mínimo, bajo e intermedio: Los tres se realizan en pilas estáticas grandes, medianas o pequeñas, respectivamente. Se diferencian también en la forma y periodicidad del volteo, en el primer caso con palas frontales y una o dos veces al año, en el segundo volteo se realiza con mayor frecuencia y en el tercero se voltean semanalmente mediante una máquina

dispuesta sobre la zona de composta. El proceso puede durar desde más de 18 meses hasta unos pocos meses, según el nivel

Nivel alto: La innovación más relevante para optimizar el proceso de compostaje es la aireación forzada. Generalmente la aireación se regula mediante un control de temperatura, de manera que cuando esta aumenta por encima de un determinado nivel, comienza a funcionar el sistema de ventilación produciendo una bajada de la temperatura y una evaporación parcial de agua. El tiempo de proceso disminuye a varias semanas (entre 4 y 6)

Nivel alto en reactor: Permite el control de todas las variables que afectan al proceso, de manera que minimizan los olores y el tiempo de proceso. Se pueden controlar niveles de humedad, aireación, temperatura y concentración de oxígeno. Tiempo de proceso unas 4 semanas. Algunos equipos como el estabilizador Dano o los fermentadores verticales consiguen reducir el tiempo de duración de la fase termofílica a una semana. La maduración se realiza en el exterior (Ramos et al., 2002, p.27).

2.2.5. Tipos de composta

a) Compostaje Aerobio

Este tipo de compost se hace de manera natural, la basura orgánica al descomponerse necesita oxígeno para que actúen las bacterias y se lleve a cabo el proceso, cabe resaltar que si no hay oxígeno o es menor cantidad morirán los microorganismos es por ello que necesita la supervisión de personas que durante el tiempo que va pasando el compost compacte.

Este tipo de composta se caracteriza principalmente por que los agentes (microorganismos) que se encargan de la descomposición de los desechos orgánicos necesitan del oxígeno para que se lleve a cabo este proceso, de manera que, si en el interior de la composta existe una cantidad por debajo del límite de oxígeno estos morirán y no termine el proceso de putrefacción de los residuos. Generalmente este tipo de composta necesita de la supervisión de las personas que hagan uso de

ellas ya que con el paso del tiempo la composta se compacta disminuyendo la cantidad de oxígeno dentro de la composta o compostador y la porosidad entre los desechos (Ayala, O. 2014, pp. 20 – 21).

Este compost se hace de manera natural, la basura orgánica al descomponerse necesita oxígeno, las bacterias se reproducen masivamente para que pueda iniciar el proceso de descomposición, este proceso necesita revolver para que todo el compost se oxigene y siga el proceso sin que se mueran los microorganismos y generen malos olores.

b) Compostaje Anaeróbico

La anaerobia es la ausencia de aire u oxígeno. Por lo tanto, la fermentación anaeróbica es el proceso de descomposición de residuos orgánicos en moléculas sencillas de forma anaeróbica (sin necesidad de aire).

Esta técnica es conocida como bocashi, la cual implica aplicar esta sustancia sobre los residuos orgánicos, activando la fermentación de los residuos lo cuales se descomponen sin generar malos olores y preservando todas sus vitaminas y minerales.

Además, gracias a los microorganismos eficaces presentes en el bocashi, cualquier tipo de sustancia nociva que pudiesen contener los residuos orgánicos, como pesticidas u otras toxinas, se descompondrán en elementos que no presenten ningún riesgo para la salud (Ayala, O. 2014, p. 22).

Este tipo de compost no se sugiere porque genera fuertes olores, pueden ser causa de los materiales, la humedad entre otros, ya que se utilizas desechos de jardinería.

2.2.6. Modelos de Compostador

Hay diferentes modelos, los cuales se diferencian en el tiempo que producen el compost, generación de olores, entre otros.

a. Compostaje Artesanal

En el compostaje artesanal se requiere continuamente de la intervención de la mano humana ya que desde el inicio del proceso se necesita añadir residuos y cada cierto tiempo remover la mezcla con la finalidad de airear para proseguir con el compostaje aeróbico.

En el compostaje artesanal se tiene una variedad de tipos, los cuales se detallan a continuación.

b. Compostaje con bloques de ladrillo y con bloques de madera

El compostaje realizado con bloques de ladrillo es similar al realizado con bloques de madera a diferencia que entre cada ladrillo se deja un espacio para facilitar el ingreso de aire. Es duradero, tiene gran capacidad y fácil de manipular.

La descripción grafica del proceso de compostaje con bloques de ladrillo se puede visualizar en la Figura N°6, el compostaje con bloques de madera se visualiza en la Figura N°7.

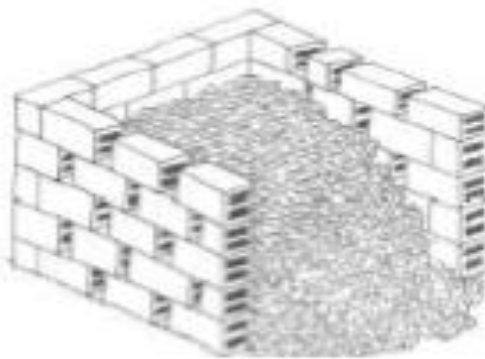


Figura N° 6: Compostera de bloques de ladrillo
Fuente: Navarro, R. (s.f.). Manual para hacer composta Aeróbica.

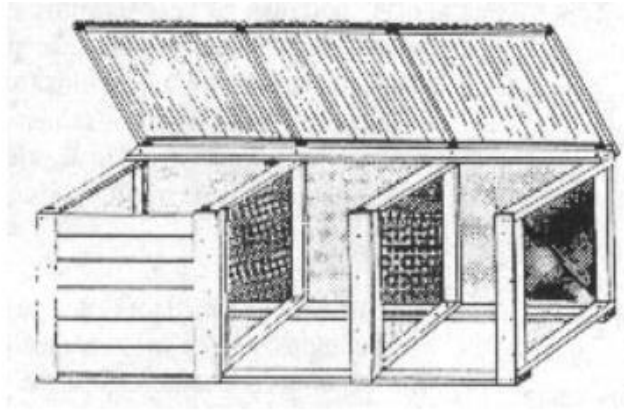


Figura N° 7: Compostera con tres depósitos de madera y alambre
Fuente: Navarro, R. (s.f.). Manual para hacer composta Aeróbica.

c. Compostaje de bidón

En el modelo de bidón se realizan agujeros alrededor de él con la finalidad de facilitar la aireación. El bidón tiene que estar tapado para evitar filtraciones por lluvia o caso contrario aislarlo a condiciones ambientales.

El inconveniente con este proceso se manifiesta al momento de retirar el compost ya que se tiene que descompactar y para ello alzar el bidón, cabe resaltar que es pesado, además de sufrir sobrecalentamiento por el material del bidón y eso causa la muerte de los microorganismos.

En la Figura N°8 se puede visualizar el bidón que se suele utilizar para este tipo de compostaje, junto con los agujeros alrededor de él que como ya se mencionó se utiliza para la aireación.



Figura N° 8: Composta en bidón
Fuente: Grupo de acción para el medio ambiente. (2005). Manual del buen compostador.

d. Compostaje en pilas

El compostaje en pilas es la manera tradicional más utilizada debido a la gran cantidad de residuos orgánicos por la que es suministrada. Este método acumula dichos residuos en forma de cerros o pilas lo que genera la oxigenación. En la Figura N°9 se puede visualizar la composta en pilas que son utilizadas por la UNAM.



Figura N° 9: Composta en pilas
Fuente: Captura realizada el 11-08-18. Elaboración propia.

En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo. (Roman, P. et.al., 2013, p 31).

e. Compostaje comercial

- Compostador Even greener

Compostador con una capacidad de 220 litros en el cual transforma sus desperdicios de cocina y jardín en compost lleno de nutrientes, hasta la fecha cuenta con tres millones de unidades vendidas, es el más vendido en el Reino Unido.

El compost este hecho de plástico reciclado, está estabilizado contra los rayos UV para evitar cualquier degradación así genera un entorno seguro para el compost al retener calor y humedad (Evengreener, s.f.).

En la Figura N°10 se puede apreciar uno de los modelos de contenedores de compost que fabrica la empresa Evengreener.



Figura N° 10: Compostador Converter
Fuente: Evengreener, s.f.

- Compostador Zera

El compostador Zera se encuentra enfocado en los residuos orgánicos producidos en el hogar, el suministro de este equipo es diario ya que el tiempo de producción del compost dura solo 24 horas. Adicionalmente a los residuos se suministra de aserrín para contrastar la humedad.

El compostador está hecho de plástico reciclado, se encuentra estabilizado contra los rayos UV para evitar cualquier degradación así genera un entorno seguro para el compost al retener calor y humedad (Benedicto, 2017).

En la Figura N°11 se puede visualizar al compostador Zera, al igual del cómo se ingresa los residuos y el aplicativo con el cual se controla el equipo.



Figura N° 11: Compostador Zera
Fuente: Zera, s,f

- Compostaje Industrial

Kollvik es la marca de equipos para el compostaje industrial el cual tratan los residuos orgánicos con mayor productividad, seguridad y limpieza. El proceso parte de la separación de residuos y selección de estos, el cual es mediante un operario, luego continua dicho proceso de triturado, mezcla, compostado, maduración y descarga del compost. En su totalidad lo realiza la máquina generando así minimización del tiempo perdido en el monitoreo ya que la máquina está programada para todo el proceso (Kollvik, s.f.).

En la Figura N° 12 se muestra un modelo de compostador industrial Kollvik.



Figura N° 12: Compostador industrial Kollvik
Fuente: Kollvik, s.f.

2.2.7. Fases de Compostaje

a) Fase Mesófila

El material inicial del proceso de composta se encuentra a temperatura ambiente y llega hasta los 45 °C, el aumento de temperatura es a consecuencia de la actividad microbiana porque utilizan C (carbono) y N (nitrógeno) generando calor. Cuando comienza a calentarse genera la difusión de vapor de agua que es como consecuencia de la descomposición de los desechos. El pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

Esta fase puede durar días u horas de acuerdo al juego de temperatura que se puede generar para que llegue más rápido a las 45 °C y termine dicha fase y pasar al siguiente. El proceso gráfico del comportamiento de la temperatura respectivamente por fases, se visualiza en la Figura N° 13.

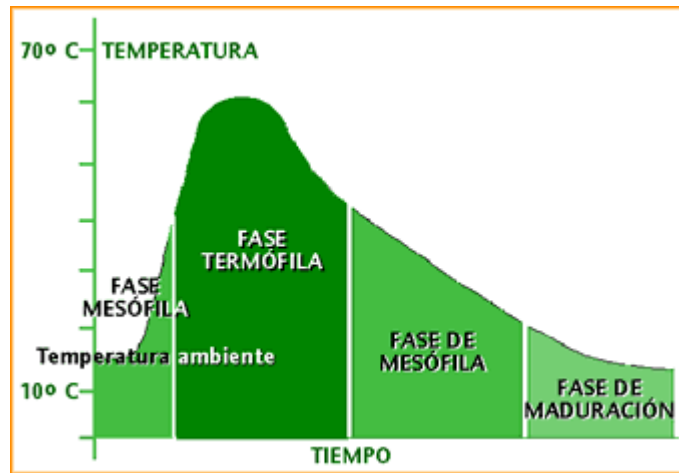


Figura N° 13: Fases del compostaje
 Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2012

b) Fase Termófila

Esta fase su temperatura es mayor a 45 °C y llegar hasta los 65°C, los microorganismos que se desarrollaron a temperaturas de la anterior fase son reemplazados por aquellos que crecen en la fase de termofílica a dicha temperatura ya descrita, lo cual facilita la degradación del C (carbono), celulosa y lignina.

La termofílica también es conocida como higienización porque el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen vegetal que se pueden encontrar en el material de inicio.

c) Fase de Enfriamiento

También conocida como mesófila II, en dicha fase se agota las fuentes de carbono y nitrógeno, aquí la temperatura vuelve a bajar entre 40-45°C, sigue la degradación de la celulosa con el cual aparecen algunos hongos y el pH se mantiene ligeramente alcalino, se puede visualizar en la Figura N°14.



Figura N° 14: Hongo indicador de la fase mesofílica II
Fuente: Román, P. et.al., 2013, p 24.

d) Fase de Maduración

En dicha fase, se retorna a una temperatura ambiente en el cual disminuye los microorganismos y el pH del compost terminado oscila en un rango entre 7 y 8 que es lo que la norma Austriaca O-NORM2023, S-2022, S-2200 establece.

En la Figura N° 15 se visualiza el comportamiento de los parámetros del compostaje a través del proceso de elaboración del compost de manera artesanal, aumento y disminución de la temperatura, Ph, oxígeno, tiempo de duración en cada fase. Además del aspecto del compost.

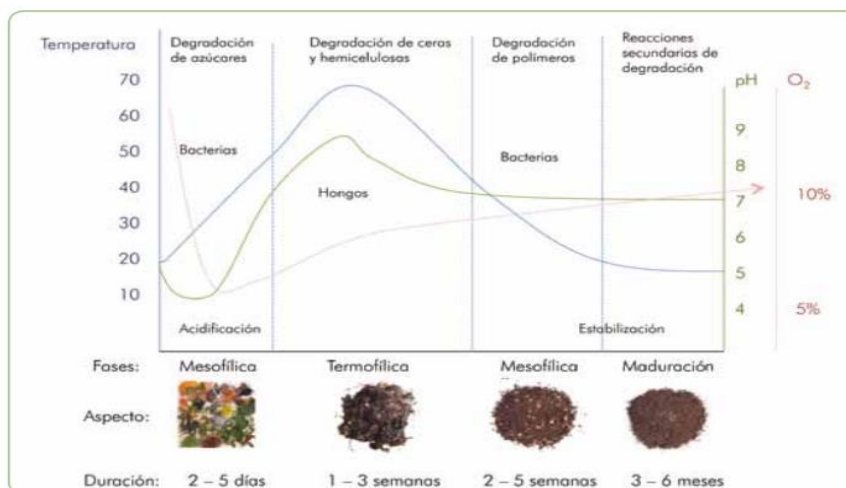


Figura N° 15: Temperatura, Oxígeno y pH en el proceso de compostaje
Fuente: Román, P. et.al., 2013, Manual de compostaje del agricultor, p.25.

2.2.8. Sistema de recolección

El aumento del crecimiento económico y del incremento de la población sumado a la insuficiente capacidad para la recolección de residuos en los rellenos sanitarios y los botaderos de residuos clandestinos, esto los convierte en potenciales focos de infecciones y transmisión de enfermedades. El proceso de recolección es el transporte de residuos desde los generadores que son las personas y el destinatario final que es la planta de tratamiento de residuos. Estos residuos se dividen en:

- Residuos Sólidos peligrosos: Estos residuos presentan un peligro ya que presentan un riesgo para la salud y el medio ambiente, porque tienen propiedades como la toxicidad, inflamabilidad, reactividad química, corrosividad, explosividad y radiactividad.
- Residuos Sólidos no peligrosos: Estos residuos no presentan un peligro para la salud y el medio ambiente en un corto plazo. En estos residuos tenemos los metales, residuos orgánicos, papel, cartón, caucho y plástico.

Por lo que en la empresa INVERSIONES DRAMAR SAC tienen su punto de acopio de todos los residuos utilizados durante el día que previamente son separados en los tachos de acuerdo a la clasificación de residuos sólidos que son suministrados en el compostador. Ver Figura N°16.



Figura N° 16: Código de colores para la segregación de residuos sólidos
Fuente: Minera Volcan.

2.2.9. Sistema mecánico

Son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos y elementos que tienen como función transformar la velocidad, trayectoria, fuerza o energía, desde la fuente que lo generan. Los sistemas mecánicos tienen los siguientes elementos básicos:

Sistema motriz o de entrada: Recibe la energía de entrada, la cual será transformada o transmitida.

- Sistema transmisor: Permite modificar la energía o movimiento proporcionado por el sistema motriz (ejes de transmisión, embragues, caja de cambios, etc.) Existen 2 formas de transmitir el movimiento los cuales son lineales (poleas y palancas) y circulares (correas, cadenas y engranajes).
- Sistema de recepción o sistema de salida: Realiza el movimiento con la salida que le proporciona el sistema de transmisión, este viene hacer el objetivo del sistema de mecánico. Existen 2 tipos de sistemas de transformación de movimiento, circular en rectilíneo (piñón, cremallera, tornillo, tuerca) y circular en alternativo (biela-manivela, cigüeñal-biela, leva-excéntrica).

La compostera hace uso un eje en él tiene acoplado cuchillas tipo delta R lo que genera. Ver Figura N°17.

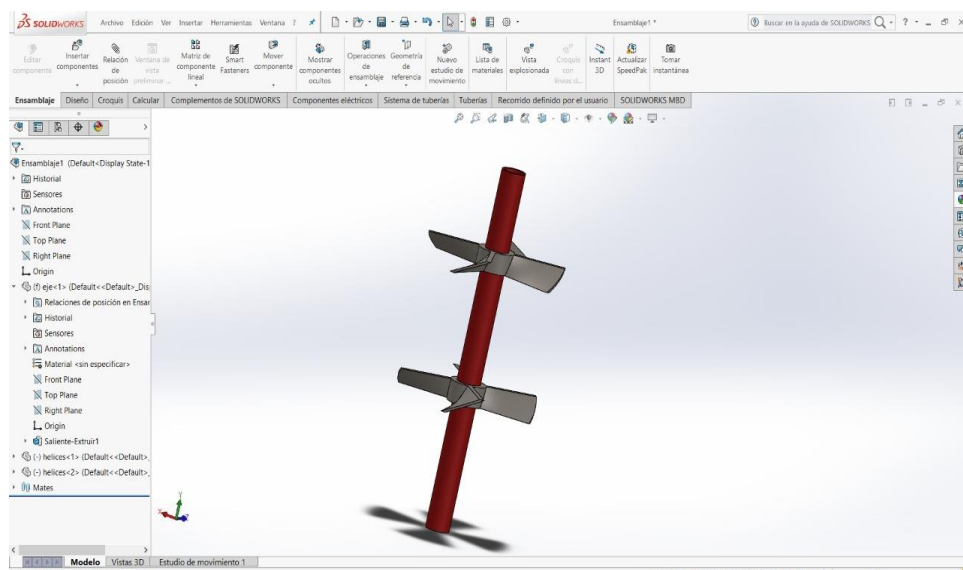


Figura N° 17: Eje de transmisión de velocidad de compostera
Fuente: Elaboración propia.

2.2.10. SolidWorks

El solidworks es un software CAD (diseño asistido por computador) desarrollado en la actualidad por Solidworks Corp., el cual permite modelar, simular, configurar, animar y analizar piezas y conjuntos de planos mecánicos. (SOLIDWORK Products, 2018).

Se utilizó el software Solidworks, ya que tiene un medio intuitivo, formado a la perfección en 3d, que contiene todos los aspectos del desarrollo mecánico, ayuda a maximizar la productividad del diseño y acelera la ingeniería del producto, como también evitar reprocesos en la fabricación de las piezas.

El programa permite el diseño de piezas, ensamblaje y poder extraer los planos para su posterior producción. Este programa nos ayuda en el momento de diseñar piezas, ya que permite plasmar nuestro diseño de las piezas en 3D con las medidas y la forma que necesitamos para luego ensamblarlo en el mismo programa para tener una visión como quedara el diseño finalizado, si queremos hacer cambios nos permite hacer correcciones de las piezas si tenemos algún error de cálculo, también nos permite extraer los planos de la pieza de nuestro diseño para así poder producirlas en físico, en la Figura N°18 se aprecia el ensamblaje de la compostera, también permite calcular las diferentes propiedades físicas.

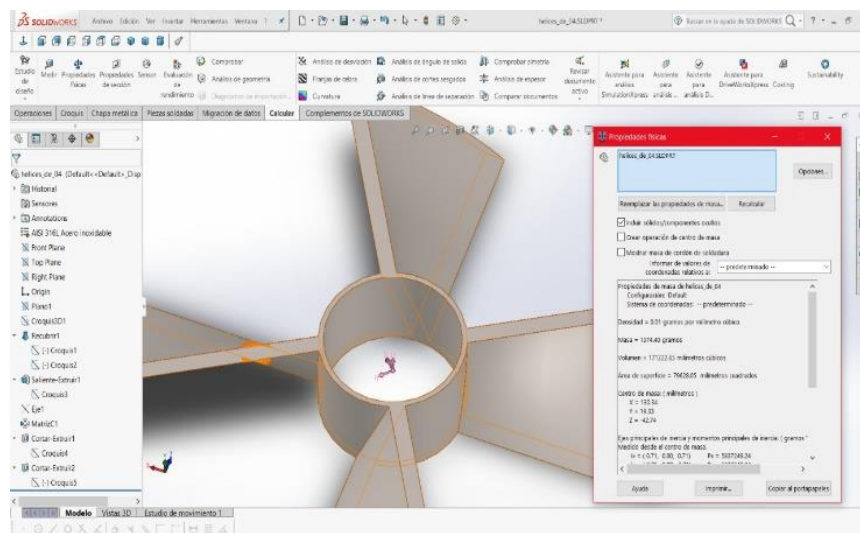


Figura N° 18: Solidworks utilizado para el diseño de cuchillas de compostera
Fuente: Elaboración propia.

2.2.11. Sistema eléctrico

Es el conjunto de conductores, instalaciones y equipos que son necesarios para el funcionamiento eficiente de los componentes que se necesitan para realizar las 3 partes fundamentales de un sistema eléctrico:

- Fuente de energía: El sistema es alimentado con una toma de corriente, en Perú 220V AC; por ello, el sistema deberá contar con los componentes necesarios para la conversión de los voltajes para la alimentación de actuadores, sensores, procesadores, etc.
- Trasmisión: Se da mediante cables para transportar o llevar la energía a todo el sistema de la compostera, de acuerdo a la corriente que va pasar por los cables se escoge el tipo, el material y el grosor.
- Distribución: Para esta etapa se utilizan componentes eléctricos para suministrar de forma eficiente y controlada a los actuadores de la compostera.

Todo esto conlleva que el sistema eléctrico para un funcionamiento correcto requiere de cálculos que serán necesarios para hallar la corriente (I), voltaje (V) y potencia (P), que va a consumir el sistema para su funcionamiento.

- Corriente continua o Corriente Directa (CC o DC): Los electrones circulan en la misma dirección, su polaridad no es variable y esto hace que la corriente sea relativamente constante. Suele estar suministrado mediante pilas, dinamos y fuente de alimentación ver Figura 19, la corriente continua es más segura y se puede almacenar, pero utilizar voltajes bajo para transmitir electricidad. Ver Figura N°19 y N° 20.



Figura N° 19: Fuente de alimentación conmutada 12V / 5 A
Fuente: ShopDelta.eu

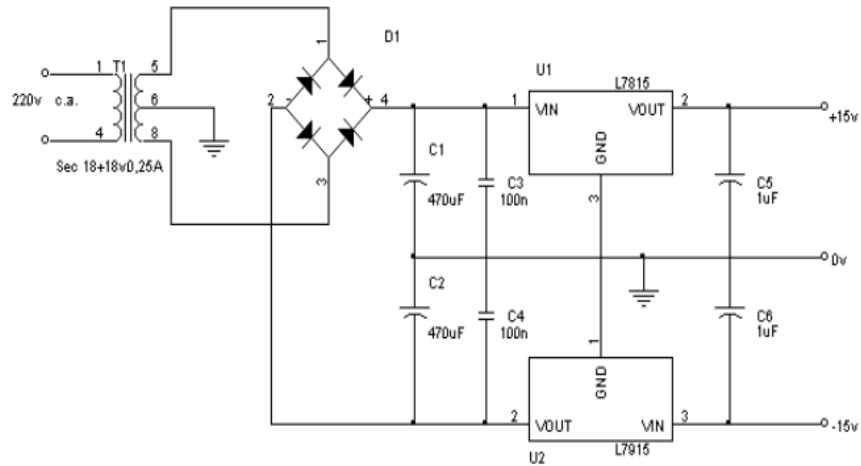


Figura N° 20: Esquema eléctrico de la fuente de alimentación simétrica de 15V 1A
Fuente: Onubaelectrónica.

- Corriente alterna: Es un tipo de corriente eléctrica que su variación es tipo cíclico ya que se caracteriza por la magnitud y la dirección, este tipo de corriente oscila en forma senoidal, es decir una curva que va subiendo y bajando continuamente ya que de acuerdo a esta forma logra transmitir la energía de manera más eficiente. Ver Figura N°21.

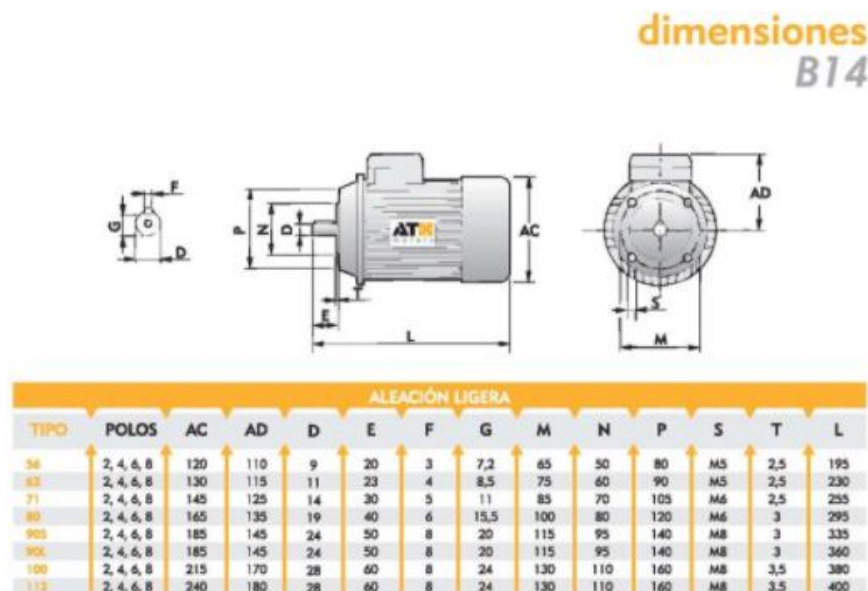


Figura N° 21: Datos de dimensiones y características de motor eléctrico modelo B14
Fuente: Centralde.com

2.2.12. Sistema electrónico

Es un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado, se dividen en tres partes, entradas, unidad de procesamiento y salidas.

- La señal de entrada (transductor) toma las señales del ambiente y las convierte en corriente o voltaje para leer el controlador.
- La unidad de procesamiento (circuito procesador) manipula, interpreta y transforma las señales.
- La señal de salida (circuito actuador) convierte la corriente o voltaje en señales útiles, este proceso ocurre en ambas direcciones contando con un sistema de retroalimentación.

El sistema electrónico recibe información del entorno mediante los sensores para selección se tiene que tener en cuenta el trabajo que se desea realizar, la temperatura que soporta dimensiones, la humedad y sensor de peso.

2.2.13. Sensores

Se puede definir a un sensor o transductor como un dispositivo o combinaciones de dispositivos que convierten señales de una forma física en otra, esta señal puede ser digital, en los casos donde funciona como elementos de detección analógicas, cuando se trata de una medición.

A. Sensor de temperatura

Son dispositivos que a consecuencia del cambio de temperatura generan un cambio en sus características físicas, produciendo una señal eléctrica proporcional, existen cuatro tipos de sensores de temperatura: termocupla, termistores, RTD (Resistance temperatura detector) e infrarrojo.

- a) Termocupla: Es un transductor que está compuesto por dos metales distintos y el resultado es la diferencia de voltajes en mini voltios que es proporcional a la diferencia de temperatura.

- b) Termistor: Es un tipo de resistencia (componente electrónico) cuyo valor varía en función de la temperatura de una forma más evidente que una resistencia común. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. Este componente se usa frecuentemente como sensor de temperatura o protector de circuitos contra excesos de corriente.
- c) RTD: Ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan.
Los sensores RTD suelen ir asociados a montajes eléctricos tipo puente de Wheatstone que responden a la variación de la resistencia eléctrica por efecto de la temperatura para originar una señal analógica de 4-20 mA que es la que se utiliza en el sistema de control correspondiente como señal de medida.
- d) Infrarrojos: Es un dispositivo opto electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Realizan mediciones de alto rendimiento, miden temperaturas desde -20°C a 2000°C .

B. Sensor de Humedad

Los sensores de humedad se aplican para detectar el nivel de líquido en un depósito, o en sistemas de riego de jardines para detectar cuándo las plantas necesitan riego y cuándo no. Permiten medir la temperatura de punto de rocío, humedad absoluta y relación de mezcla.

C. Sensor de peso

Los sensores de peso (células de carga) son versiones especiales de transductores de fuerza para su uso en la tecnología de pesaje. Se calibran en gramos, kilogramos o toneladas y no en Newtons, como es habitual en la tecnología de medición de fuerza. Las galgas extensométricas integradas transforman las deformaciones elásticas de los sensores de peso causados por las cargas de peso proporcionalmente

en señales eléctricas. Esto permite una exactitud de medición muy elevada entre 0,01 % y 0,05 % Fnom.

D. Arduino

Arduino es una marca de microcontroladores mundialmente conocida por los amantes de la electrónica, la programación y la robótica. Es un proyecto Open Source que pone a disposición de sus usuarios una amplia gama de dispositivos basados en el microcontrolador AtMega. Es posible comprar una placa Arduino armada o conseguir las piezas para uno mismo desarrollar sus propios dispositivos. Ver Figura N°22.

Características:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V
- Voltaje de Entrada: 7-12V
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz

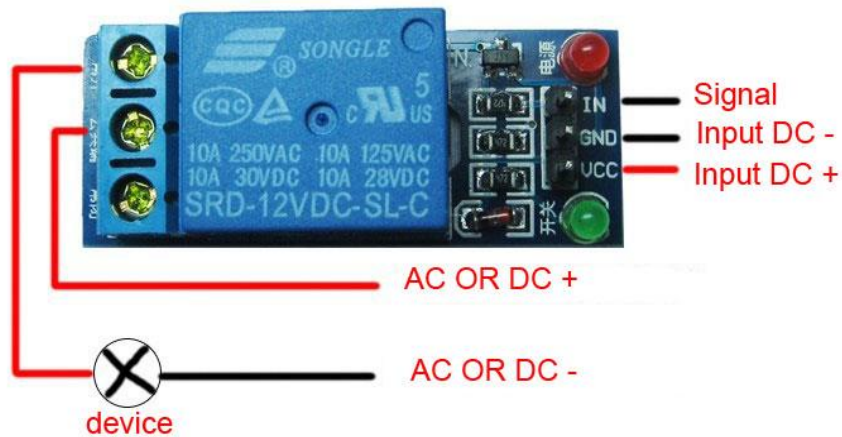


Figura N° 23: Módulo Relé 12V 10ª de 1 canal.
Fuente: Solectroshop.com

2.2.15. Driver Puente HL298N

El driver HL298N es un módulo muy utilizado para manejar motores DC de hasta 2 amperios. El módulo L298N posee dos puentes H completos que permiten controlar 2 motores DC o un motor de paso a paso bipolar/unipolar.

Este módulo permite controlar el sentido y velocidad de giro de motores mediante las señales que se obtienen de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino, Raspberry Pi, etc. El control del sentido de giro se realiza mediante dos pines para cada motor, la velocidad de giro se puede regular mediante el PWM. Ver Figura N° 24.

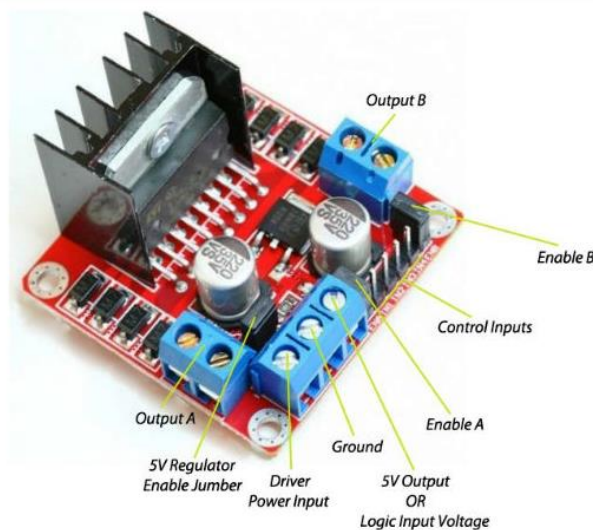


Figura N° 24: Detalle del App Blynk
Fuente: <http://arduinoamueete.blogspot.com>

2.2.16. Blynk

Es una plataforma de internet de las cosas para Android y iOS de control de sistemas desarrolladas con Arduino y Raspberry Pi. Con esta herramienta de trabajo diseña una interface gráfica para el proyecto dibujando y poniendo controles en la misma. Este sistema no está limitado a ningún hardware específico. Solo se requiere que el proyecto esté enlazado a internet por medio de wifi, Ethernet o un ESP82266, de esta manera se conecta con el servidor de blynk y controlar el sistema. Ver Figura N°25.



Figura N° 25: Detalle del App Blynk
Fuente: <http://arduinoamuede.blogspot.com>

2.2.17. ESP82266

El ESP8266 es un SoC (System on Chip), con capacidades de 2.4 GHz Wi-Fi (802.11 b / g / n, soporte WPA / WPA2), 16 GPIO de propósito general (entrada / salida), I²C, convertidor analógico-digital (ADC de 10 bits), SPI, I²S, UART y modulación de ancho de pulso (PWM), emplea un CPU RISC de 32 bits basado en el Tensilica Xtensa LX106 funcionando a 80 MHz (o overclocked a 160

MHz). Tiene una memoria ROM de inicio de 64 KB, memoria RAM de instrucciones de 64 KB y 96 KB de RAM de datos. Memoria flash externa de 4MB pero este último varía entre diferentes versiones de modulo. Ver Figura N°26.

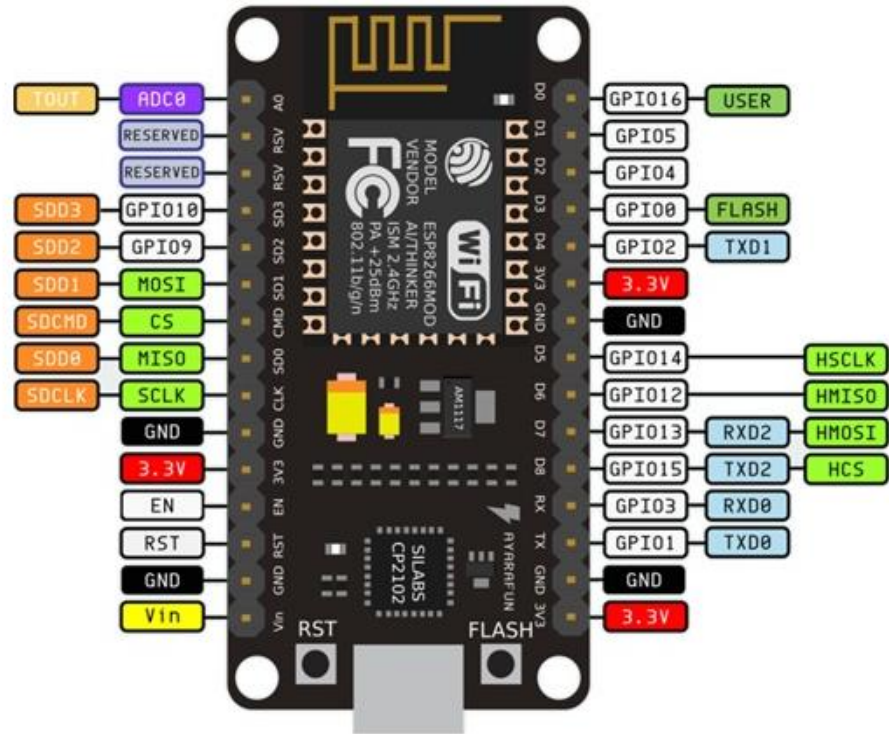


Figura N° 26: Distribucion de pines del Node MCU
Fuente: Naylampmechatronics.com/

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA

El presente capítulo se describe el desarrollo mecánico, eléctrico y electrónico, además el desarrollo del programa de la máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos.

3.1 Sistema de máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos.

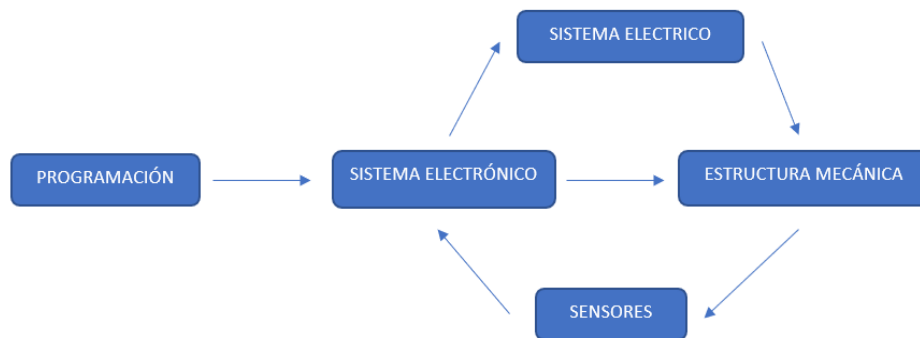


Figura N° 27: Diagrama de comunicación del sistema de la máquina de compostaje.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 27 se muestra la interacción entre los sistemas de la máquina de compostaje y sus sensores.

En la parte mecánica se selecciona el material con el que se va a trabajar, considerando los factores del entorno donde se va a instalar, luego se hace el dimensionado de la máquina realizando cálculos para la cantidad de residuos que almacena en su interior y pueda realizar las operaciones requeridas, al finalizar se lleva el diseño a un software CAD para visualizar la estructura de la máquina.

En la parte eléctrica se realiza el cálculo de la energía requerida para todo el sistema de la máquina de compostaje y los componentes eléctricos necesarios para su alimentación; En la parte electrónica se diseña la tarjeta controladora incluyendo todos los componentes que necesita para detección de temperatura, humedad, movimiento de actuadores y comparación de volúmenes. El diseño del circuito se realiza en un software para su visualización en 3D de la tarjeta controladora.

Finalmente se desarrolla el programa con la ayuda del software Arduino IDE y la plataforma Blynk IOT.

3.2 Diseño mecánico

3.2.1 Características del material para la estructura mecánica.

La estructura de la máquina tiene que contar con las siguientes características, tiene que ser un material con una alta dureza, fácil soldabilidad y refractario. Ver tabla 2.

Tabla 2: Características del material para la estructura

Características del material para la estructura mecánica		
Características del material	Propiedades	Descripción
Dúctil	Alta	La máquina tiene que tener alta dureza ya que tiene que soportar alteraciones físicas como la penetración, la abrasión y el rayado.
Soldabilidad	Alta	La máquina al tener que acoplar piezas de distintos materiales tiene que ser de fácil soldabilidad para tener soldaduras homogéneas y de gran calidad.
Refractario	Alta	Para el proceso de compostaje se necesita para el proceso altas temperaturas para la transformación de los residuos.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Selección del material

En la tabla 3 se muestra una comparación de 3 tipos posibles de materiales para el diseño de la compostera, se comparan estos 3 materiales porque son los más utilizados, así mismo cumplen con algunas de las características que necesita el material a escoger.

Tabla 3: Comparación de algunos materiales más usados para la estructura mecánica.

CARACTERÍSTICAS	GALVANIZADO	ALUMINIO	INOX AISI 420
DUREZA (HB)	159-169	245	160-190
Resistencia al Calor max	250°C	80° C	925 °C
Conductividad termica (W/m.K)	46	209.3	16.3
Peso (gr/cm3)	7.85	2.7	7.98
Costo	MEDIO	BAJO	ALTO

Fuente: Elaboración propia.

El aluminio es altamente resistente con 245HB en comparación con los otros materiales, es el segundo material más ligero entre los otros materiales con 2698,4 Kg/m³, pero tiene una alta conductividad térmica e 209,3 W/(mK). El acero galvanizado no tiene tanta dureza 158-169 HB como el aluminio y es el segundo material más pesado entre los demás con 7850 Kg/m³ y tiene una conductividad térmica 0,12 W/(mK).

El material elegido es Aluminio debido a sus características que se adecua a lo necesitado.

3.2.3 Cálculos y dimensionamiento de compostera

Se hacen los cálculos de la muestra del contenedor para determinar el peso del almacenamiento de residuos orgánicos, luego se procede hacer dimensionado tomando en cuenta los valores obtenidos.

La muestra de la investigación es obtenida estadísticamente, la cual es de 12 kg, cabe resaltar que dicha muestra representa la capacidad del prototipo desarrollado.

Para los cálculos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{N \times e^2}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

Para hallar el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula (1) presentada anteriormente, las variables por las que está compuesta son las siguientes:

N= Tamaño de la población

e= Margen de error el cual es expresado con decimales

z= Puntuación para lo cual se utiliza la tabla 4

Tabla 4: Puntuación Z

Nivel de confianza deseado	Puntuación z
80 %	1.28
85 %	1.44
90 %	1.65
95 %	1.96
99 %	2.58

Fuente: SurveyMonkey, s.f.

Con un nivel de confianza del 80% y un margen de error del 19%

Diario se tiene una población de 350 Kg., reemplazando datos:

$$\text{Tamaño de la muestra} = 12 \text{ Kg.}$$

Por lo que la muestra de residuos orgánicos de ingreso es 12 Kg. que ingresa a la primera cámara.

a) Dimensionamiento del cilindro

El modelo del compostador es diseñado con la finalidad de abarcar las diferentes etapas del compostaje (mesofílica, termofílica y maduración), es por ello que el interior del cilindro fue dividido en 3

cámaras, en el cual cada cámara tiene un volumen distinto de acuerdo a la densidad correspondiente a cada fase.

Para determinar la capacidad del prototipo en función a las dimensiones (Ver Figura N°28) del diseño que previamente se calculó de acuerdo al espacio hallado dentro de la empresa, se utilizó la siguiente formula:

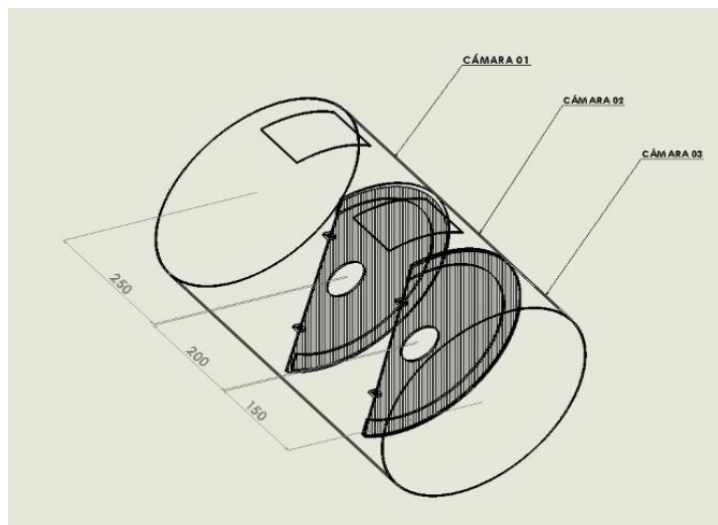


Figura N° 28: Dimensiones del cilindro de compostera
Fuente: Elaboración propia.

$$Capacidad = \pi \times r^2 \times h \times d \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

R= radio

H= altura

D= Densidad

Para la variable densidad se utilizó la tabla 5 ya que se extrae el dato del rango de esta variable el cual es de 400kg/m³ para la fase inicial (mesófila) y así respectivamente para cada fase.

Tabla 5: Parámetros del compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (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 – 8,5
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%

Fuente: Roman P. et.al (2013), Manual del compostador

Reemplazando en la cámara 1:

$$Capacidad = \pi \times 0.2^2 m \times 0.25 m \times 400 kg/m^3$$

$$Capacidad = 12.56 Kg.$$

Reemplazando en la cámara 2:

$$Capacidad = \pi \times 0.2^2 m \times 0.20 m \times 600 kg/m^3$$

$$Capacidad = 15.08 Kg.$$

Reemplazando en la cámara 3:

$$Capacidad = \pi \times 0.2^2 m \times 0.15 m \times 600 kg/m^3$$

$$Capacidad = 11.31 Kg.$$

b) Diseño del cilindro

El material seleccionado para el diseño del cilindro es el aluminio. Este material ofrece excelentes características para el diseño ya que es ligero, resistente a la corrosión y puede ser moldeado fácilmente.

Para hallar el espesor del contenedor se utiliza la ecuación 3.

$$\delta = F * d * \frac{\left(\frac{H}{2}\right)}{\left(\frac{1}{12}\right) * H * B^2} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

F=Fuerza (N)

d= Longitud del contenedor (m)

H= Altura seleccionada de la barra (m)

B=Espesor del contenedor (m)

δ = Resistencia a la fluencia del aluminio /el factor de seguridad
(N/m²)

Al reemplazar en la ecuación 3 con los siguientes valores fuerza por 381.71 N, distancia por 0.4 m, altura 0.6 m y δ por 117.3 x 10⁶ N/m³, reemplazando el resultado es:

$$B = 0.002796 \text{ m} \cong 0.0028 \text{ m}.$$

En la Figura N° 29 se muestra el diseño del cilindro en donde se va almacenar los residuos orgánicos, además es dividido en tres cámaras, debido a que cada cámara trabaja cada fase del compostaje (mesofílica, termofílica y maduración), como también cuenta con compuertas entre las cámaras para su respectivo traslado, en la parte superior tiene orificios circulares que genera el ingreso y salida de oxígeno.

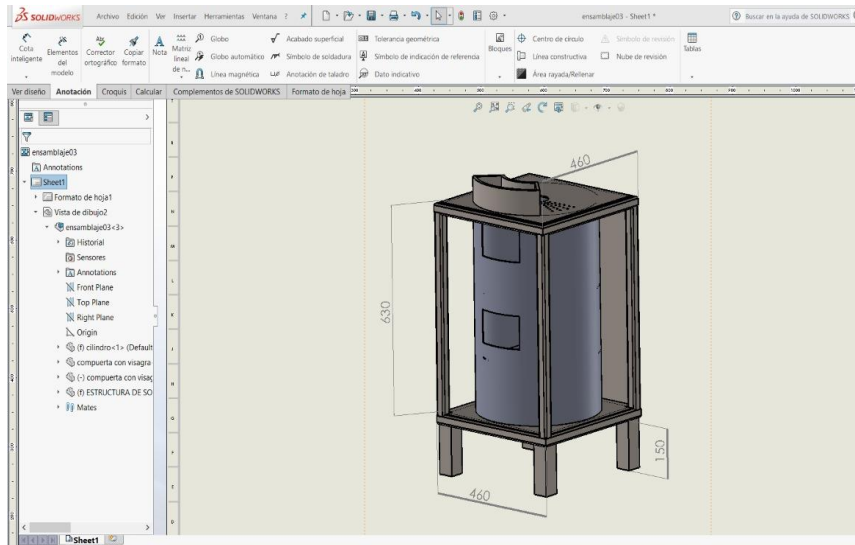


Figura N° 29: Dimensiones del cilindro de compostera
Fuente: Elaboración propia.

c) Diseño de cuchillas

Se hizo unas cuchillas conformadas de 4 palas en forma de semi diagonal, como el trabajo de las cuchillas es triturar los residuos similares como las cuchillas de la licuadora, de esa manera hace que los residuos con el tiempo del proceso se vuelvan de manera más compacta casi como arena. Al definir la forma, se procede hacer los cálculos, que cantidad de residuos va remover, con un largo de 0.108 m, altura 0.40.m y con un ángulo 35°. En la Figura N°30 se visualiza el dimensionamiento de la cuchilla.

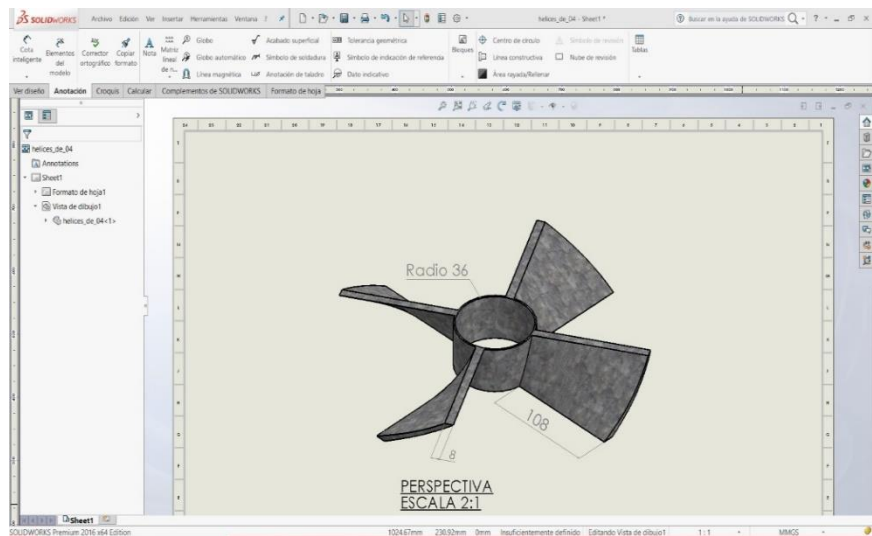


Figura N° 30: Dimensión de cuchilla cortadora del compostador
Fuente: Elaboración propia.

Para hallar el espesor de la cuchilla reemplazando en la ecuación 3, fuerza 117.6 N, distancia por 0.108 m y altura 0.40m y δ por $117.3 \times 10^6 \text{ N/m}^3$, el resultado es:

$$B = 0.00803 \text{ m} \cong 0.008 \text{ m.}$$

Por medio de la ecuación 6 se determina la masa total que soporta los brazos. Ver Figura N°31.

$$M_t = (M_{\text{cuchilla}} + M_{\text{residuo}}) * F_s \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

M_t = Peso total [Kg]

$M_{\text{res.}}$ = Peso del residuo [kg]

$M_{\text{cuch.}}$ = peso de la cuchilla [kg]

F_s = Factor de seguridad (1.5)

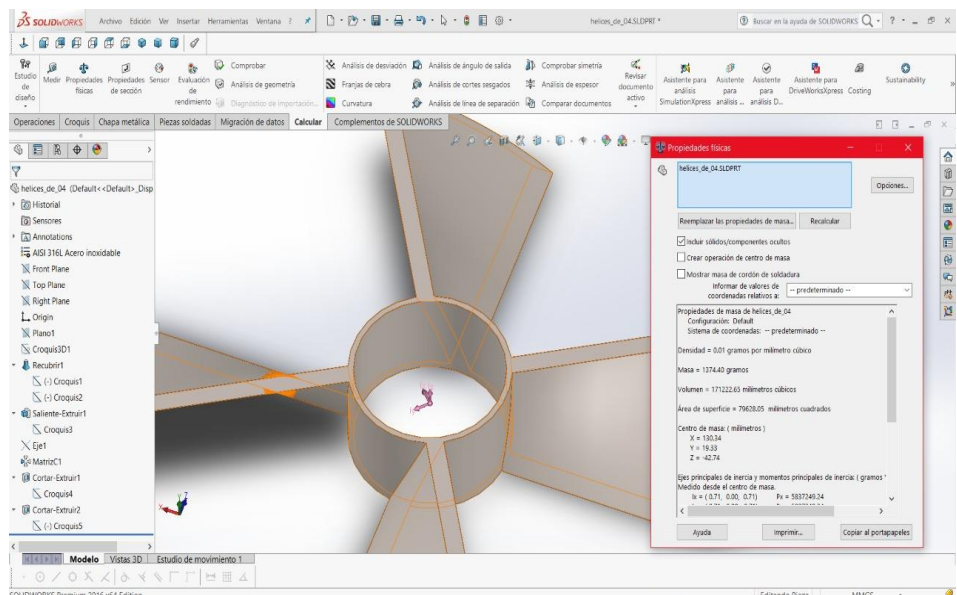


Figura N° 31: Determinación de la masa de las cuchillas
Fuente: Elaboración propia.

Luego se reemplaza en la ecuación 4, M_{residuo} por 12 Kg y M_{cuchilla} por 1.374 kg, se tiene que el peso total es:

$$M_t = 20.061 \text{ kg}$$

Esto quiere decir que cada brazo soporta aproximadamente 4 Kg sin causar ningún daño en estos.

d) Revisión de esfuerzos y desplazamiento

Se utiliza el programa SolidWorks Simulation para poder obtener los datos de esfuerzos y máximo desplazamiento.

i. Esfuerzo que soportan las cuchillas

Para realizar la simulación mediante el análisis estático se necesita obtener las fuerzas en unidades Newton, es por ello que se multiplica el peso de los residuos que triturara la cuchilla (12 Kg) por 9.8 m/s^2 que es la constante de gravedad, obteniendo como resultado 117.6 Newton que es la fuerza total que se distribuirá entre las 4 cuchillas.

Para analizar que las cuchillas soporten cargas externas se realiza una simulación por elementos finitos obteniendo como resultado las tensiones (VonMises) y desplazamientos (milímetros) máximos y mínimos. Ver Figuras N° 32.

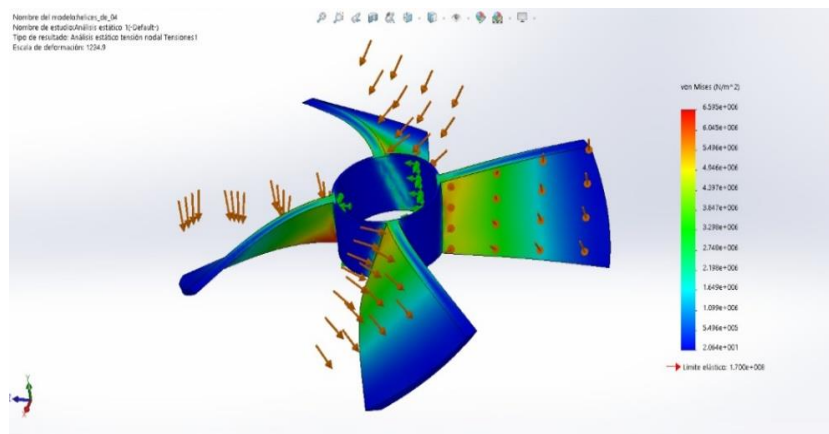


Figura N° 32: Simulación del esfuerzo de las cuchillas (en Solidworks)
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32 se visualiza el esfuerzo inicial de las cuchillas, el color azul indica el esfuerzo mínimo que las cuchillas soportan, el color naranja indica el esfuerzo máximo que soporta las cuchillas antes de deformarse completamente.

ii. Desplazamiento máximo de las cuchillas

Se utiliza Solidworks simulation para realizar un análisis estático del material, obteniendo como resultado el desplazamiento máximo que obtendrá a causa de las cargas externas.

En la Figura N°33 se observa los efectos de las cargas externas sobre el material dándonos como resultado el desplazamiento.

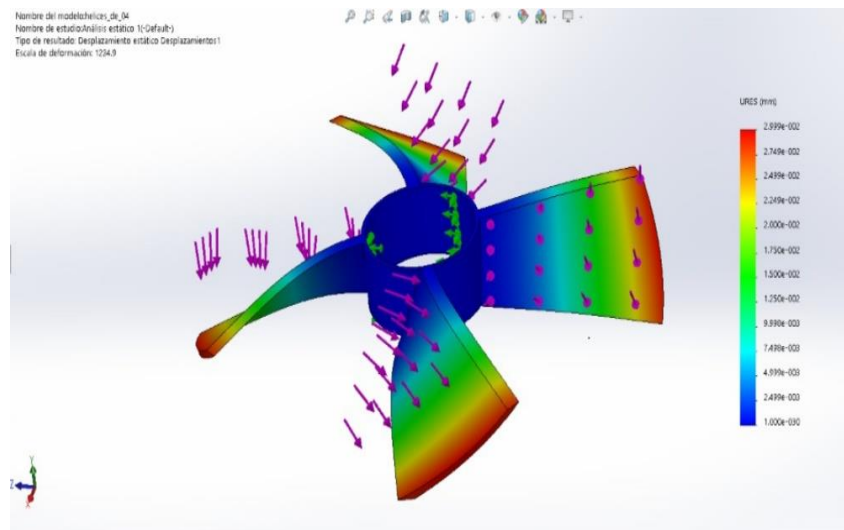


Figura N° 33: Simulación del desplazamiento máximo de las cuchillas (en Solidworks)

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°33 la simulación indica un desplazamiento de 2.99×10^{-2} mm, la mayor deformación se da al extremo de la cuchilla que se muestra con el color rojo la mayor deformación del material, los colores turquesa y azul se interpretan como las deformaciones mínimas que tendrá el material a causa de estas fuerzas externas obteniendo aproximadamente 1×10^{-30} m.

iii. Esfuerzo que soporta las compuertas

Para realizar la simulación mediante el análisis estático se necesita obtener las fuerzas en unidades Newton, es por ello que se multiplica el peso de los residuos que soporta las compuertas (12 Kg) por 9.8 m/s^2 que es la constante de gravedad, obteniendo como resultado 117.6 Newton que es la fuerza total que se distribuirá sobre toda la compuerta

Para analizar que la compuerta soporte cargas externas se realiza una simulación por elementos finitos obteniendo como resultado las tensiones (VonMises) y desplazamientos (milímetros) máximos y mínimos. Ver Figuras N° 34.

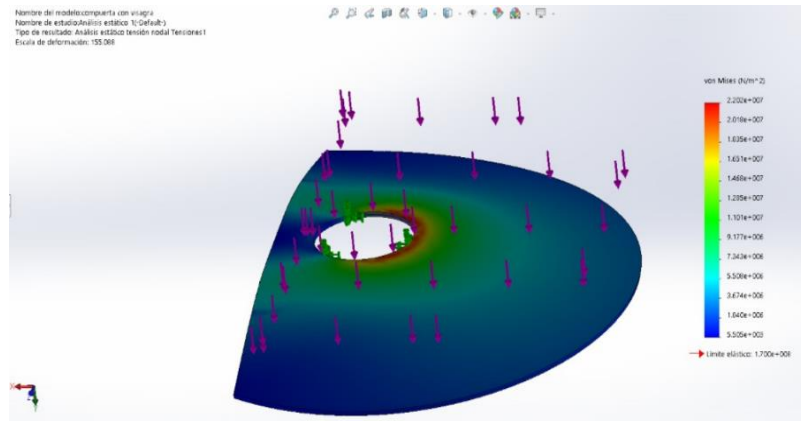


Figura N° 34: Simulación del esfuerzo de las compuertas (en Solidworks)
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N° 34 se visualiza el esfuerzo inicial de la compuerta, la deformación máxima obtenida es 5.06×10^{-3} , el color azul indica el esfuerzo mínimo que las cuchillas soportan, el color naranja indica el esfuerzo máximo que soporta las cuchillas antes de deformarse completamente.

La deformación máxima visualizada en la Figura 34 es de 7.428×10^{-6} mm ubicado en el extremo de este, El color rojo indica donde hay mayor deformación del material, mientras que en la parte azul indica que también hay deformación, pero es demasiado pequeña.

iv. Máximo desplazamiento del cilindro

En la Figura 35 se visualiza el máximo desplazamiento del contenedor mediante el programa Solidworks.

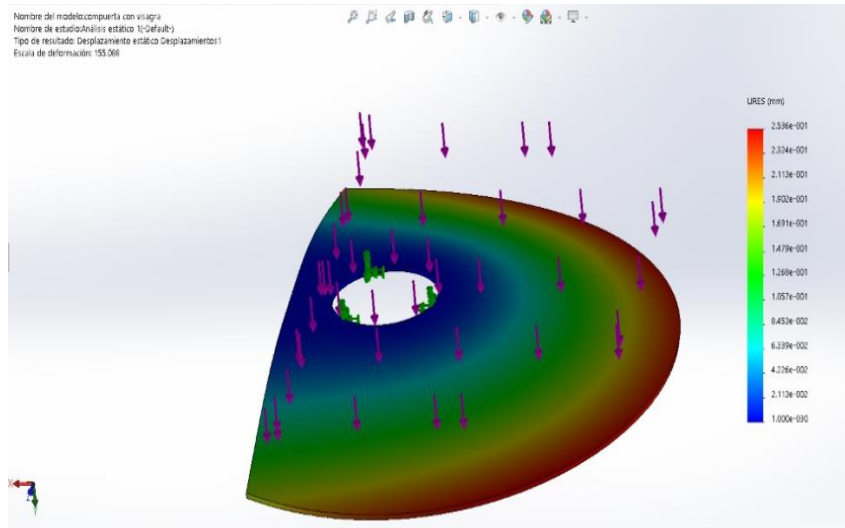


Figura N° 35: Simulación del máximo desplazamiento de las compuertas (en Solidworks)

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°35 se visualiza el esfuerzo inicial de la compuerta, la deformación máxima obtenida es 2.324×10^{-1} , el color azul indica el esfuerzo mínimo (1×10^{-30} m) que las compuertas soportan, el color naranja indica el esfuerzo máximo que soporta las compuertas antes de deformarse completamente.

3.3 Diseño eléctrico

3.3.1 Cálculo para la selección de motor eléctrico.

El sistema utiliza un motor eléctrico como actuador principal del sistema electrónico. Para ello, se conecta un eje principal o piñón al motor, luego por medio de un sistema de engranajes el giro y el torque son transmitidos al eje. Por medio de cálculos se determinó el torque requerido.

En la Figura N° 36 se puede visualizar el motor que se utilizó junto con la caja reductora.

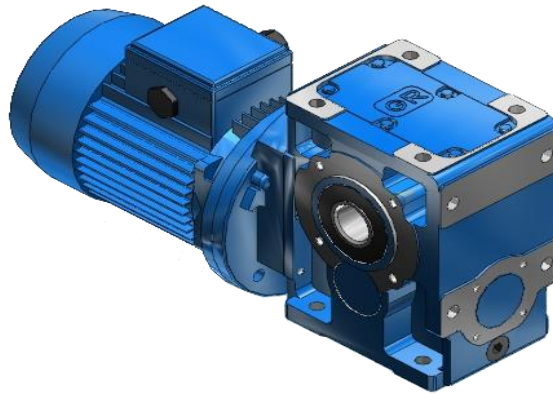


Figura N° 36: Motor reductor ortogonal
Fuente: Librería Solidworks.

Características:

- Potencia: 1/2 HP
- Velocidad: 1700 rpm
- Voltaje: 220/380/440 V; 60 Hz;
- Trifásico.

Es necesario señalar que este tipo de reductor tiene un agujero de servicio de 20 mm para el eje de salida y un cuñero cuadrado de 5 mm, además la caja reductora tiene una relación de reducción de 64:1, dicho dato se utiliza para halla la velocidad a la salida del reductor = $1700/64=26.56\text{RPM}$.

Para el cálculo del torque requerido se utiliza la siguiente fórmula

$$T = \frac{HP \times 716}{RPM} \quad \text{en kg-m} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Donde HP es la potencia del motor y el RPM (número de revoluciones por minuto) es la velocidad a la salida del reductor T es el Torque Par (Kg-m), reemplazando:

$$T = \frac{0,50 \times 716}{26.56}$$

$$T = 13.47 \text{ Kg-m}$$

3.3.2 Variador Delta VFD220E43A

El variador Delta (Ver Figura N° 37) tiene las siguientes características:

- Control PID con función de reposo.
- Bajo nivel de ruido: frecuencia portadora hasta 15 kHz.
- Aumento automático del par .
- 15 velocidades preestablecidas.
- Interruptor de RFI.



Figura N° 37: Variador Delta VFD220E43A
Fuente: Delta Electronics INC.(2007), Manual del usuario.

3.4 Diseño Electrónico

3.4.1 Microcontrolador

La máquina utiliza tres sensores, su funcionamiento puede operarse de manera simultáneamente o secuencialmente, también se puede mencionar que la dinámica de las variables temperatura y humedad no es rápida; por lo tanto, los tiempos de respuestas no lo son, al igual que es compatible con otros módulos de arduinos, son económicos y comerciales de fácil acceso, cuenta con foros y librerías. En la Tabla 6 se muestra los requerimientos considerados para seleccionar el microcontrolador.

Tabla 6: Requerimientos para la selección del microcontrolador

FACTOR	VALOR
Número de entradas y salidas digitales	8
Número de entradas analógicas	7
Voltaje operativo	5v
Voltaje de entrada	7-12v
Corriente DC	40mA
Comunicación	UART
Frecuencia de reloj	16 MHz

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 7 muestra la comparación entre los principales microcontroladores encontrados para este proyecto

Tabla 7: Características de los principales microcontroladores.

MICROCONTROLADORES	SPI	UART	FRECUENCIA MÁXIMA	VOLTAJE MAX.
 RASPBERRY PI 4.0	SI	SI	1.5GHz	5V
 ARDUINO MEGA 2560	SI	SI	16MHz	5V
 JETSON NANO	SI	SI	1.43GHz	19.6V

Fuente: Elaboración Propia

La velocidad de procesamiento del microcontrolador ATMEGA2560 es suficiente y necesaria para este proyecto de tesis, además de contar con las interfaces de comunicación requeridas. Para mejorar la compatibilidad se usará la placa ArduinoMega, el cual estaba basado en microcontrolador ATMEGA2560, ya que los sensores que se utilizarán tienen librerías en Arduino ya implementadas y tiene el número de entradas necesarias. Ver Figura N° 38.

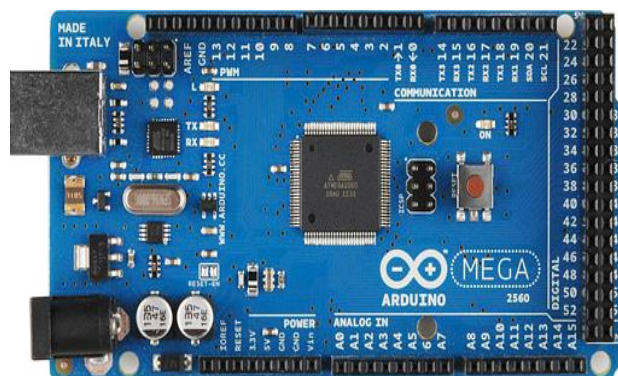


Figura N° 38: Arduino Mega
Fuente:Arduino.cl,s.f.

3.4.2 Motor Reductor de corriente alterna

Para el sistema de movimiento de las compuertas entre cámara y cámara es necesario utilizar un motor reductor para accionar las compuertas. A continuación, en la Tabla 8 se muestran los requerimientos mecánicos para su selección como velocidad, tensión y par que son los requerimientos principales para poder seleccionar correctamente el motor reductor. Los cálculos se detallan en el Anexo 1.

Tabla 8: Requerimientos para la selección del motor reductor.

FACTOR	VALOR
PAR (Kg.Cm)	15
Velocidad (rpm)	10
Tensión	12v

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente Tabla 9 se muestran la comparación entre los principales motores encontrados que podrían utilizarse para el accionar de las compuertas, el cual se colocara en el parte externo generan que las compuertas se abran y cierren de tal manera permite que se traslade los residuos orgánicos de una cámara a otra cámara de acuerdo al cambio de fase que se necesita.

Tabla 9: Principales motores eléctricos.

MOTORREDUCTOR	TORQUE	VELOCIDAD	VOLTAJE
 NBLEISON TT545122500	3-40Kg.Cm	1-60rpm	12V
 EMG-S330114	4.1Kg.Cm	81rpm	12V
 EMG49-S330105	16Kg.Cm	122rpm	24V

Fuente: Elaboración Propia

Se selecciona el motor MotionDynamics WormG200, ya que es el único que cumple el requerimiento de velocidad permitiendo así que el punto de operación del motor se encuentre muy cercano a los requerimientos de selección presentados en la Tabla 8 (para mayor detalle se puede consultar en el Anexo 1. En la Tabla 9, se muestran las características adicionales del motor reductor seleccionado como torque, velocidad y voltaje que son las principales características a tomar en cuenta para la selección. Ver Figura N°39



Figura N° 39: Motor reductor
Fuente: deltakit.net

3.4.3 Sensor de temperatura

Para medir la variable temperatura del proceso de compostaje será necesario contar con sensor de temperatura ubicada en el módulo de medición y manipulación.

Para la selección del sensor se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- El rango de medición de la temperatura debe estar comprendido entre los 20-60°C debido a las características del proceso de compostaje.
- El sensor debe ser mecánicamente resistente y químicamente inerte, ya que será introducido dentro cada grupo de residuos orgánicos en procesamiento.
- De dimensiones pequeñas y fácilmente montable para que puede ser integrado en el módulo de medición.

En la Tabla 10, se muestra un comparativo de los principales sensores de temperatura encontrados.

Tabla 10: Principales sensores de temperatura.

SENSOR TEMPERATURA	RANGO (°C)	ENCAPSULADO	TIPO DE CALIBRACIÓN
 LABFACILITY XE-3530	-75 °C - 250°C	NO	T
 MÓDULO MAX 6675	0°C - 800°C	SI	K
 MÓDULO DHT11	0°C - 50°C	SI	-

Fuente: Elaboración Propia

Se selecciona la termocupla LABFACILITY XE-3530 ya que presenta un menor constante de tiempo respecto al resto de modelos permitiendo así una dinámica más rápida en la medición del valor de la temperatura. Es un sensor comercial y económico. Termopar tipo K, J o T. rápido respuesta, soldado con autógena Unión expuesta disponible en Especificación de cable de clase 1 según BS EN 60584-3:2008 con una miniatura clavija de terminación. Ideal para aplicaciones de prueba y desarrollo. Ver Figura N°40.



Figura N° 40: Sensor de temperatura
LABFACILITY XE-3530
Fuente: directindustry.es

3.4.4 Adaptar de señal para termocupla

Será necesario contar con una etapa de amplificación de la señal salida de la termocupla, cuyo rango de trabajo solo será de 0 a 65 ° C para poder aprovechar todo el rango dinámico de la temperatura. De este modo el valor de la señal puede ser leída e interpretada por el microcontrolador el cual trabaja en un rango de 0 a 5 V. Teniendo en consideración lo anterior y los rango de salida de la termocupla será necesaria una ganancia de voltaje de 42 dB.

Para ello se trabaja con el amplificador LM108A, la cual se muestra en la Figura N° 41.

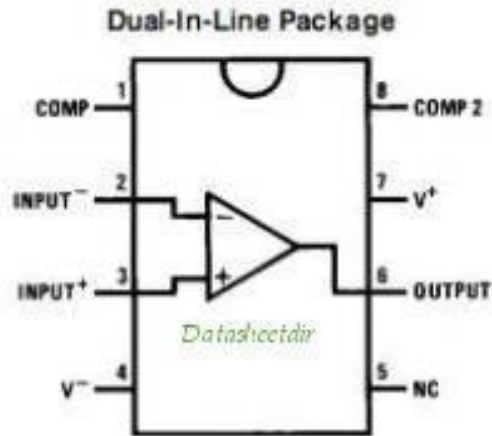


Figura N° 41: Encapsulado del amplificador
Fuente: cds.linear.com

En caso se contar con un ambiente ruidoso una alternativa a considerar puede ser el uso de los siguientes integrados mostrados en la Tabla 11.

3.4.5 Sensor de Humedad

Al igual que la temperatura, la humedad es considerada como un factor de gran importancia para que se lleve a cabo la descomposición de los RSU, es por esto que la humedad también debe de ser monitoreada y obtener la información que se genera dentro del compostador a lo largo del tiempo para que conocer la este dato, se puede hacer uso de un sensor que mida la humedad relativa en que se genera dentro del prototipo.

Tabla 11: Principales sensores de humedad

SENSOR HUMEDAD	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	CORRIENTE DE OPERACIÓN	VOLTAJE DE SALIDA
 <p>FUNDINO</p>	3.3-5V	20mA	2.3V
 <p>RESISTIVO FC-28</p>	3.3-5V	35mA	3.3V
 <p>CAPACITIVO</p>	3.3-5V	20mA	3

Fuente: Elaboración Propia

Se escogió el modelo FUNDUINO ya que tiene un conjunto perfecto para añadir a la humedad detección al compostador. Este es un módulo de sensor que pueden detectar gotas de agua y relé de señal a un microcontrolador. Esto permite construir en detección de agua, para su tiempo, riego u otros proyectos.
La placa de control puede salida analógica de señales. Tiene dimensiones de 5.8 x 2 x 0.8 cm y peso de 2 gramos. Ver Figura N°42.

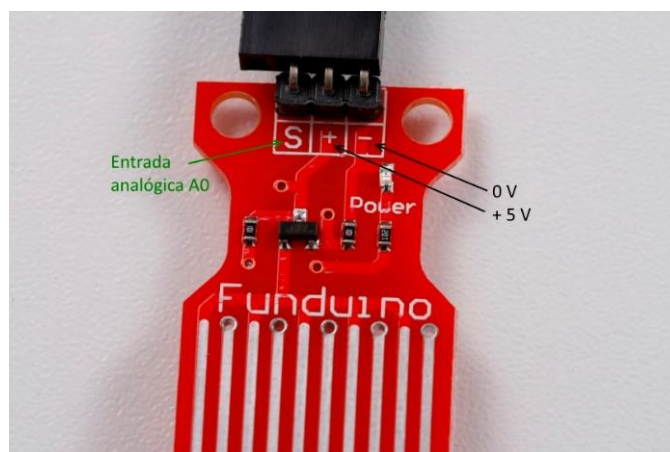


Figura N° 42: Sensor de humedad FUNDUINO
Fuente: aulaglaia.es

3.4.6 Pantalla LCD 20X4

La pantalla lcd se utiliza para mostrar los datos de temperatura y humedad en cada cámara, de tal manera que sirve para hacer el monitoreo de los parámetros que son temperatura y humedad.

La pantalla LCD 20X4 (Ver Figura N° 43) tiene las siguientes características:

- Alta Calidad.
- Módulo de bajo consumo.
- Formato de presentación: 20 caracteres x 4 líneas.
- Tensión de alimentación: 5V.
- Consumo – 125mA
- Interfaz analógica.
- Tamaño: 9,8 cm x 6 cm x 1,2 cm

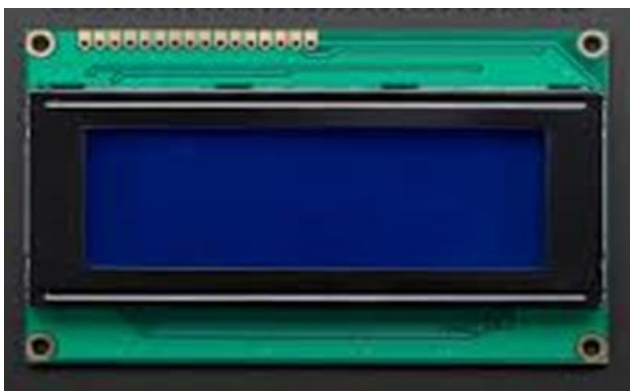


Figura N° 43: Pantalla LCD 20x4
Fuente: Rambal - Automatización y Rebotica, s.f., Pantalla Lcd - I2C - 20X4

3.4.7 Relay o Relé

Dispositivo que es estimulado con corriente eléctrica baja, abre o cierra un circuito donde disipa una potencia mayor que del circuito.

El relé (Ver Figura N°44) tiene las siguientes características:

- Voltaje de disparo: 5V DC

- Corriente de disparo: 70mA
- Corriente AC máxima de carga: 10A @ 250/125V AC
- Corriente DC máxima de carga: 10A @ 30/28V DC
- Configuración compacta de 5 pines
- Tiempo de operación: 10msec Release time: 5msec
- Conmutación máxima: 300 operación/minuto (mecánico)

Información recuperada de <https://components101.com/5v-relay-pinout-working-datasheet>



Figura N° 44: Microreductor
 Fuente: Nagar, Marg & Circuitloop Technologies LLP,
 2017, *5V Relay: Pinout, Description, Working & Datasheet*

3.4.8 Sensor de proximidad

Se observa en la Tabla 11 la comparación de algunos sensores de proximidad más utilizados la selección de estos 3 sensores se basó en la distancia de alcance, ángulo de apertura y consumo de corriente.

Tabla 11: Principales características de sensores de proximidad

Tipo de sensor	Módulo ultrasónico HC-SR04	Sensor capacitivo LJC18A3	Módulo infrarrojo FC-51
Voltaje (V)	5	6.0-3.6	3.8-5.5
Consumo (mA)	15	20	20
Ángulo de Apertura(grados)	0 - 15	0 - 1	0 - 2
Distancia de alcance (m)	0.02 - 0.45	0.001 - 0.005	0.02 - 0.30
Dimensiones(mm)	45mm x 20mm x 15mm	D18mm*L70mm	47mm × 15mm × 7mm

Fuente: Elaboración Propia

El consumo de corriente del módulo ultrasónico HC-SR04 es menor en comparación de los demás sensores de proximidad, a su vez su rango de medición es más elevado comparándolo con el módulo infrarrojo FC-51, es casi 7 veces más de alcance, este módulo infrarrojo no tiene una apertura de pulso amplia de su señal, el sensor capacitivo LJC18A3 tiene un alcance muy limitado al momento de sensar un objeto, es por ello que no es apto para este tipo de trabajo, se escogió el módulo ultrasónico HC-SR04 como se muestra en la Figura N°45 por todas las comparaciones mencionadas anteriormente para medir la distancia de la botella de plástico respecto al robot móvil.

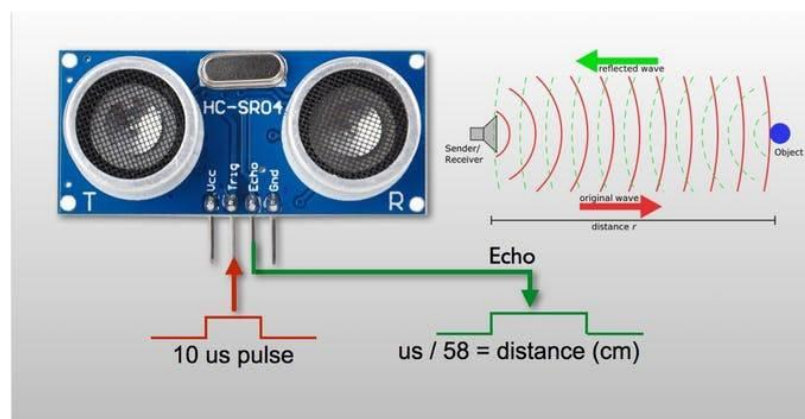


Figura N° 45: Declaración de variables

Fuente: Elaboración Propia

3.4.9 Acondicionamiento de tensión

De acuerdo al grupo de componentes seleccionados se tiene tres niveles de tensión de alimentación. En la tabla 12 se muestra los requerimientos para la selección de la fuente de alimentación correcta para la este proyecto de tesis.

Tabla 12: Requerimiento para la selección de fuente de alimentación.

Voltaje (V)	Corriente (A)
24	17.8
12	4.5
5	1

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que maneja valores altos de corriente se seleccionarán fuentes conmutadas. En la Tabla 13 se muestra las características de la fuente conmutada SANPU PS600. Ver Figura N°46.

Tabla 13: Condiciones de fuente de alimentación

Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)	Frecuencia (Hz)	Corriente de salida (A)
220	12	47-63	2.5

Fuente: Elaboración Propia

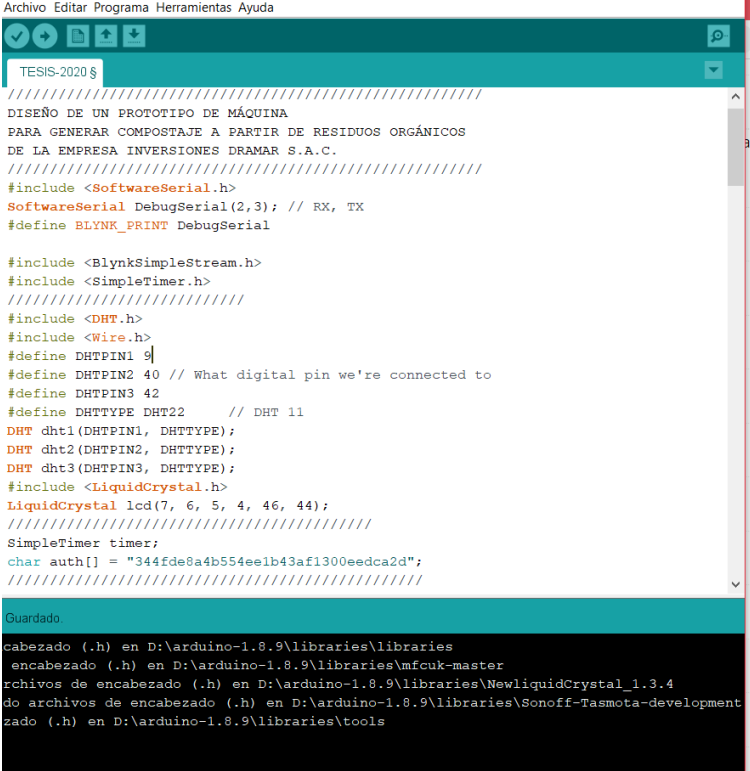


Figura N° 46: Fuente conmutada SANPU PS600
Fuente: es.aliexpress.com

3.5 Desarrollo del programa

3.5.1 Programación de Arduino

Para poder controlar el hardware en forma remota, monitorear los sensores de humedad y temperatura, controlar los motores, guardar los datos y visualizarlo, es necesario descargar las librerías de Blynk que se encuentran disponible para las plataformas de desarrollo, permitiendo la conectividad entre el servidor y los recursos del hardware. Siguiendo con la inclusión de las librerías se definen las variables “DHTPIN1”, “DHTPIN2” y “DHTPIN3”, en los pines 9, 40 y 42 , que son las receptoras de los datos de temperatura y humedad, “LCD” declarado para los pines 7, 6, 5, 46, 44, mostrará los datos a controlar. Ver Figura N°47.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
TESIS-2020 $
/////////////////////////////////////////////////////////////////
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA
PARA GENERAR COMPOSTAJE A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS
DE LA EMPRESA INVERSIONES DRAMAR S.A.C.
/////////////////////////////////////////////////////////////////
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial DebugSerial(2,3); // RX, TX
#define BLYNK_PRINT DebugSerial

#include <BlynkSimpleStream.h>
#include <SimpleTimer.h>
/////////////////////////////////////////////////////////////////
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#define DHTPIN1 9
#define DHTPIN2 40 // What digital pin we're connected to
#define DHTPIN3 42
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 11
DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);
DHT dht3(DHTPIN3, DHTTYPE);
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 46, 44);
/////////////////////////////////////////////////////////////////
SimpleTimer timer;
char auth[] = "344fde0a4b554ee1b43af1300eedca2d";
/////////////////////////////////////////////////////////////////

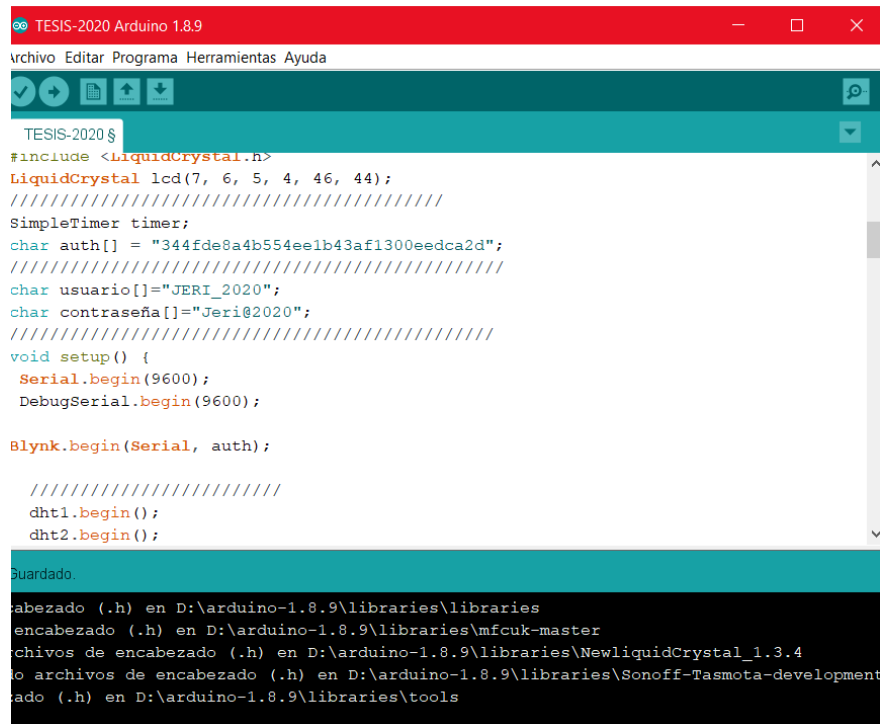
Guardado
cabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfcuk-master
rchivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
do archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-development
zado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools
```

Figura N° 47: Inclusión de librerías y variables en Arduino IDE

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°48, se observa el código que servirá para la intercomunicación del Arduino con la aplicación Blynk, la cual permitirá crear las interfaces de control por medio de wifi para la máquina de

compostaje. Para mayor seguridad se establecen un usuario único y contraseña.



```
TESIS-2020 Arduino 1.8.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
TESIS-2020 §
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 46, 44);
////////////////////////////////////
SimpleTimer timer;
char auth[] = "344fde8a4b554ee1b43af1300eedca2d";
////////////////////////////////////
char usuario[]="JERI_2020";
char contraseña[]="Jeri@2020";
////////////////////////////////////
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  DebugSerial.begin(9600);

  Blynk.begin(Serial, auth);

  ///////////////////////////////////
  dht1.begin();
  dht2.begin();
}

Guardado.
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfrcuk-master
archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
o archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-development
ado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools
```

Figura N° 48: Códigos de comunicación con la interfaz Blynk.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°49 se establece la inicialización del programa con las variables previamente definidas, a su vez se decreta los pines de salida, y los valores lógicos digitales que controlaran los motoredutores a la salida de la tarjeta de Arduino con la función “DigitalWrite”; Estas salidas se dividen en dos estados : HIGH con un voltaje de salida de 5V y LOW con voltaje de salida de 0V; También se selecciona el tiempo de para él envío y recepción de datos a través de la función “SetInterval”, este tiempo será de 1 segundo, que expresados en términos de la programación y la función “Timer.setInterval” es 1000L.

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
TESIS-2020 $
Blynk.begin(Serial, auth);

//////////////////////////////////
dht1.begin();
dht2.begin();
dht3.begin();
lcd.begin(20, 4);
pinMode(13, OUTPUT);
pinMode(12, OUTPUT);
pinMode(11, OUTPUT);
pinMode(10, OUTPUT);
digitalWrite(13, LOW);
digitalWrite(12, LOW);
digitalWrite(11, LOW);
digitalWrite(10, LOW);
//////////////////////////////////
timer.setInterval(1000L, enviarValores);

Guardado.
cabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfckuk-master
rchivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
do archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-development
zado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools
```

Figura N° 49: Selección de tiempo de transmisión de datos.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°50 se visualiza que las variables de temperatura (t1, t2 y t3) y humedad (h1, h2 y h3) se asignan a la lectura de los sensores que serán mostrados en la aplicación mediante la función “LCD.PRINT”.

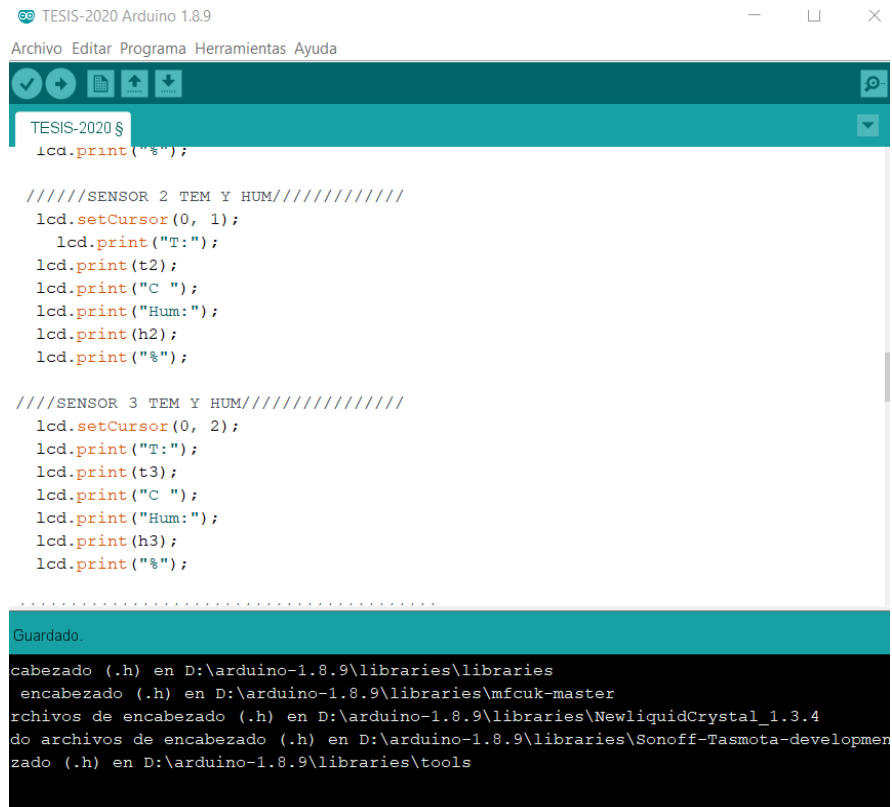
```
TESIS-2020 Arduino 1.8.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
TESIS-2020 $
void tem() {
//////////////////////////////////
float h1 = dht1.readHumidity();
float t1 = dht1.readTemperature();
//////////////////////////////////
float h2 = dht2.readHumidity();
float t2 = dht2.readTemperature();
//////////////////////////////////
float h3 = dht3.readHumidity();
float t3 = dht3.readTemperature();

///SENSOR 1 TEM Y HUM////////
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T:");
lcd.print(t1);
lcd.print("C ");
lcd.print("Hum:");
lcd.print(h1);
lcd.print("%");
}

Guardado.
cabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfckuk-master
rchivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
do archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-development
zado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools
```

Figura N° 50: Declaración de variables de temperatura y humedad.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°51 se muestra la impresión de las variables de temperatura y humedad de los sensores que se encuentran dividido en las tres cámaras de la máquina de compostaje, los cuales tienen la función de enviar información para el control de los motorreductores.



```
TESIS-2020 Arduino 1.8.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

TESIS-2020 §
  lcd.print("%");

/////SENSOR 2 TEM Y HUM////////////////////////////////
  lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("T:");
  lcd.print(t2);
  lcd.print("C ");
  lcd.print("Hum:");
  lcd.print(h2);
  lcd.print("%");

/////SENSOR 3 TEM Y HUM////////////////////////////////
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("T:");
  lcd.print(t3);
  lcd.print("C ");
  lcd.print("Hum:");
  lcd.print(h3);
  lcd.print("%");

Guardado.
cabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfcluk-master
rchivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
do archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-developmen
zado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools
```

Figura N° 51: Impresión de variables asignadas en las rutinas de arduino.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°52 se observa la condición para que el moto-reductor que está ubicado en la primera cámara de la máquina de compostaje, realice la función de abrir la compuerta cuando la subrutina se ejecuta si la temperatura es mayor de 45°C y cerrar la compuerta si es menor, esta condición permitirá que los residuos que están en proceso de conversión de compost pasen de una cámara a otra completando el proceso.

```
TEISIS-2020 $
////////////////////////////////MOTOR_1////////////////////////////////
if (t1 > 45)
{
  delay(2000);
  digitalWrite(13, HIGH);
  digitalWrite(12, LOW);
  delay(800);
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(12, LOW);
  delay(4000);
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(12, HIGH);
  delay(600);
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(12, LOW);
  delay(2000);
}
else
{
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(12, LOW);
}
}

Guardado.
cabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfcuk-master
rchivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
do archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-developme
zado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools
```

Figura N° 52: Declaración setup en arduino.
Fuente: Elaboración Propia

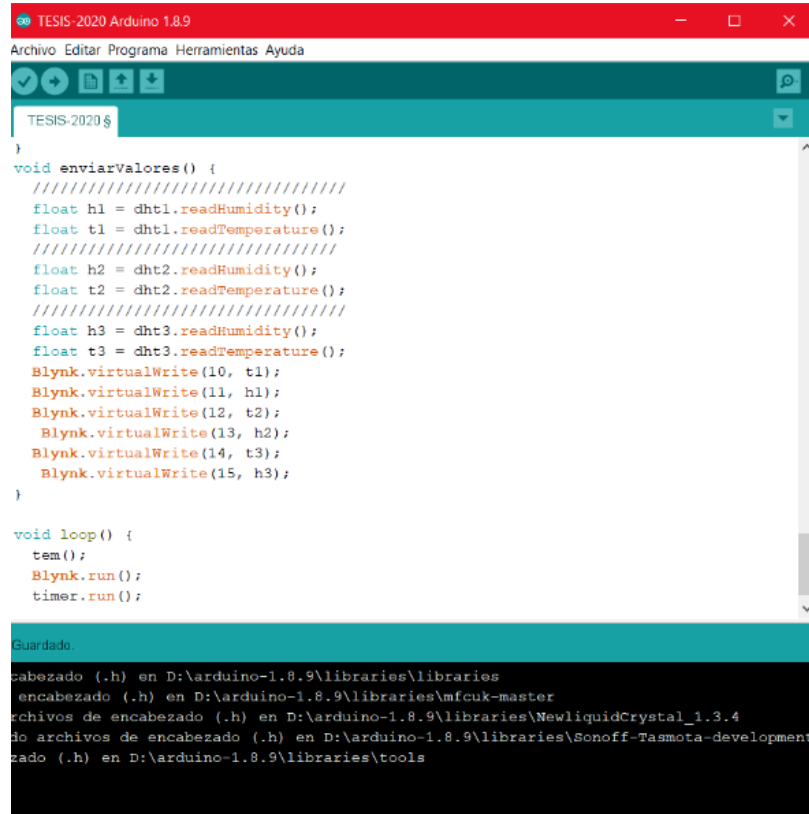
En la Figura N°53. Se muestra la segunda condición que debe cumplir la temperatura para que la compuerta permita el paso de los residuos a la última cámara de la máquina de compostaje.

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
TEISIS-2020 $
}
////////////////////////////////MOTOR_2////////////////////////////////
if (t2 > 65)
{
  delay(2000);
  digitalWrite(11, HIGH);
  digitalWrite(10, LOW);
  delay(800);
  digitalWrite(11, LOW);
  digitalWrite(10, LOW);
  delay(12000);
  digitalWrite(11, LOW);
  digitalWrite(10, HIGH);
  delay(800);
  digitalWrite(11, LOW);
  digitalWrite(10, LOW);
  delay(12000);
}
else
{
  digitalWrite(11, LOW);
  digitalWrite(10, LOW);
}
}

Guardado.
cabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfcuk-master
rchivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
do archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-developme
zado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools
```

Figura N° 53: Condicionales para ejecución de rutinas en arduino
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°54 se muestra el bucle, esta función realiza las lecturas constantes de los sensores que requiere la máquina, en esta función se programa la acción las librerías de la aplicación Blynk, Timer y tem.



```
void enviarValores() {
  ////////////////////////////////////////////////////
  float h1 = dht1.readHumidity();
  float t1 = dht1.readTemperature();
  ////////////////////////////////////////////////////
  float h2 = dht2.readHumidity();
  float t2 = dht2.readTemperature();
  ////////////////////////////////////////////////////
  float h3 = dht3.readHumidity();
  float t3 = dht3.readTemperature();
  Blynk.virtualWrite(10, t1);
  Blynk.virtualWrite(11, h1);
  Blynk.virtualWrite(12, t2);
  Blynk.virtualWrite(13, h2);
  Blynk.virtualWrite(14, t3);
  Blynk.virtualWrite(15, h3);
}

void loop() {
  tem();
  Blynk.run();
  timer.run();
}
```

Guardado.

encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\libraries
encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\mfuk-master
archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\NewliquidCrystal_1.3.4
do archivos de encabezado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\Sonoff-Tasmota-development
zado (.h) en D:\arduino-1.8.9\libraries\tools

Figura N° 54: Función Loop del programa en Arduino.
Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Programación de la plataforma Blynk IOT

Para iniciar la programación se empieza descargando las librerías de Blynk, que me da la posibilidad de crear una interfaz gráfica donde se muestra los datos de los sensores, control de variables y tiene un aprendizaje automático que permite analizar los datos y obtener pronósticos y detección de patrones. Se inicia un nuevo proyecto escogiendo un nombre, el dispositivo a controlar que en nuestro caso será el ESP8266 y el tipo de conexión.

La máquina se conecta con la red del restaurante permitiendo controlarlo a distancia. Ver Figura N°55.

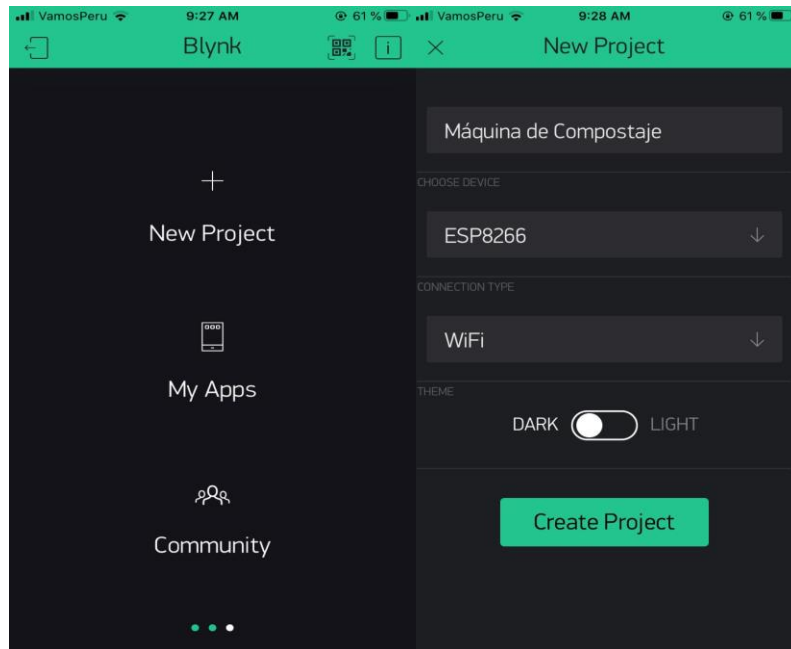


Figura N° 55: Menú de inicio de plataforma Blynk IOT
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°56 se observa que luego de crear el nuevo proyecto en la plataforma de Blynk IOT se generará un código de autenticidad (AUTH TOKEN).

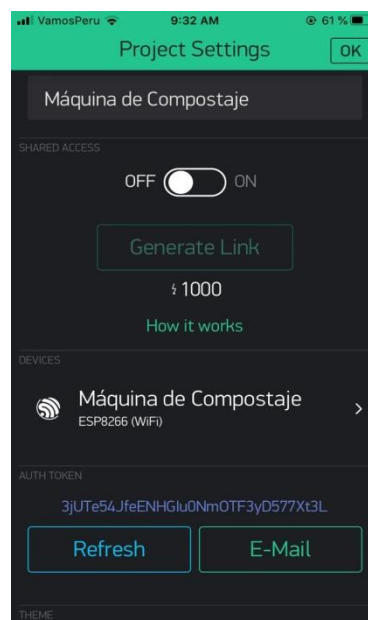


Figura N° 56: Código de autenticidad generado por Blynk IOT
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°57, se visualiza todas las micro aplicaciones disponibles que desplegaremos en la interfaz según se acomode a nuestros requerimientos.

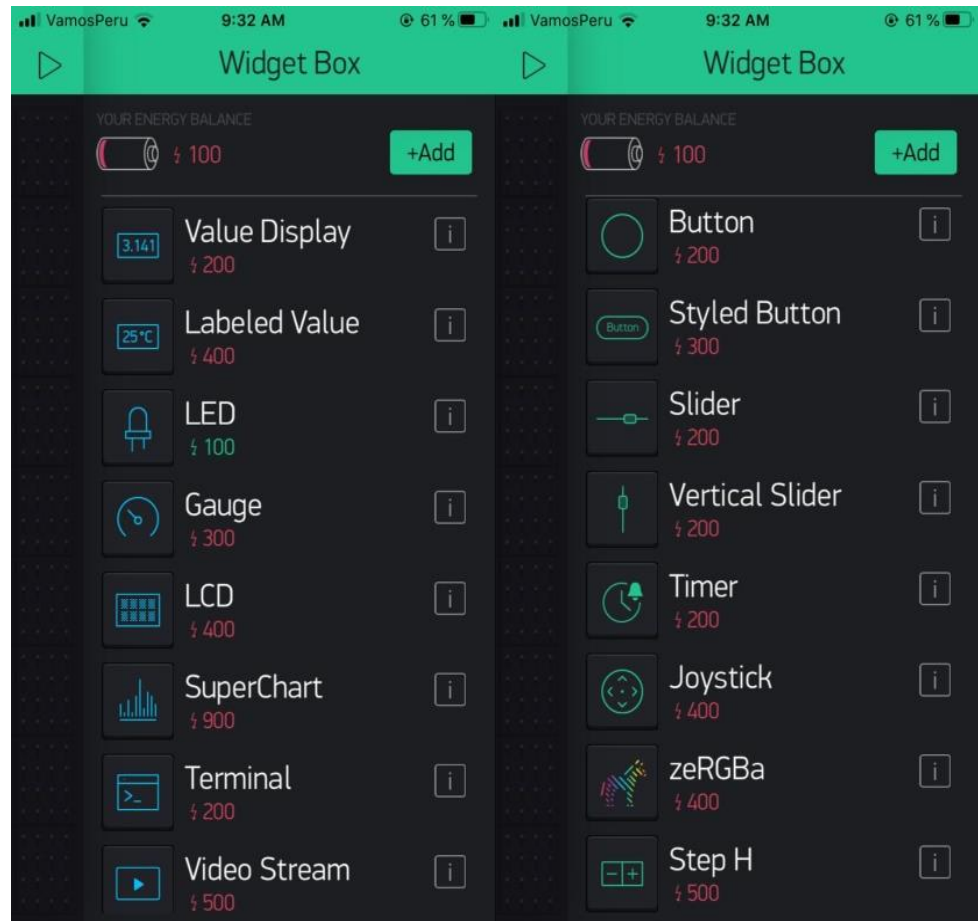


Figura N° 57: Listado de micro aplicaciones de blynk
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°58, elegimos la micro-aplicación “Time input”, esta opción permite seleccionar el inicio o fin de un proceso, así como también que días de la semana será ejecutado una función según la zona horaria.

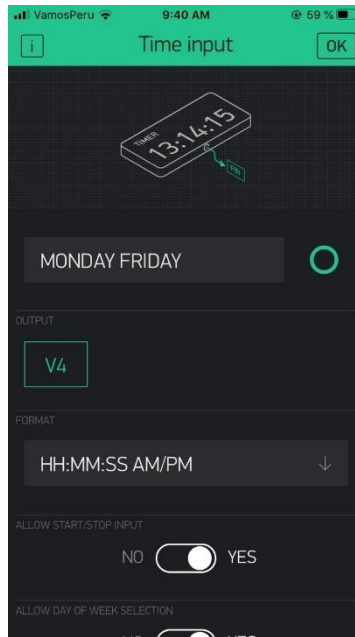


Figura N° 58: Micro aplicación de zona horaria del servidor de blynk.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°59, se visualiza el reloj del servidor, lo que permite que se pueda seleccionar algún tiempo de la zona horaria.

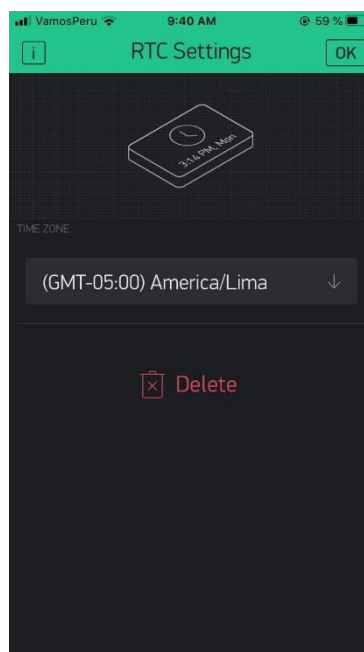


Figura N° 59: Reloj según zona horaria.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°60, se muestra el desarrollo de la aplicación con la variable de temperatura que se obtiene de los sensores ubicados en cada cámara de la máquina de compostaje.



Figura N°60: Variable de temperatura
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°61, se muestra los valores de humedad, estos datos serán recopilados para generar una base de datos que sirve para que el hardware tome acciones según la programación.



Figura N° 61: Variable de humedad.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°62, Se muestra todos los datos obtenidos por los sensores y procesados por el hardware, se obtiene información en tiempo real.



Figura N° 62: Ajustes de terminal de interfaz blynk.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°63, se muestra la interfaz que contiene todos los gadgets seleccionados previamente, estos nos darán información remota de los sensores instalados en la máquina de compostaje; También se podrá planificar el tiempo de ejecución desde la misma plataforma de Blynk IOT.

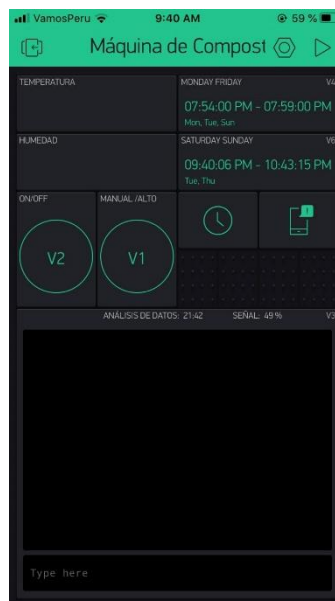


Figura N° 63: Interfaz final de Plataforma Blynk IOT
Fuente: Elaboración Propia.

3.6 Circuito de la Compostera

La elaboración del circuito se desarrolla en el software Proteus 8 Professional, se coloca tres termocuplas con amplificadores de señal que nos da un amplio rango (0-1023°C), estos amplificadores son equivalentes al módulo 6675, estos nos envían datos de la temperatura en cada cámara y accionan las compuertas que harán pasar los residuos de un cámara a otra según este configurado con las condiciones lógicas de la programación. Ver Figura N°64.

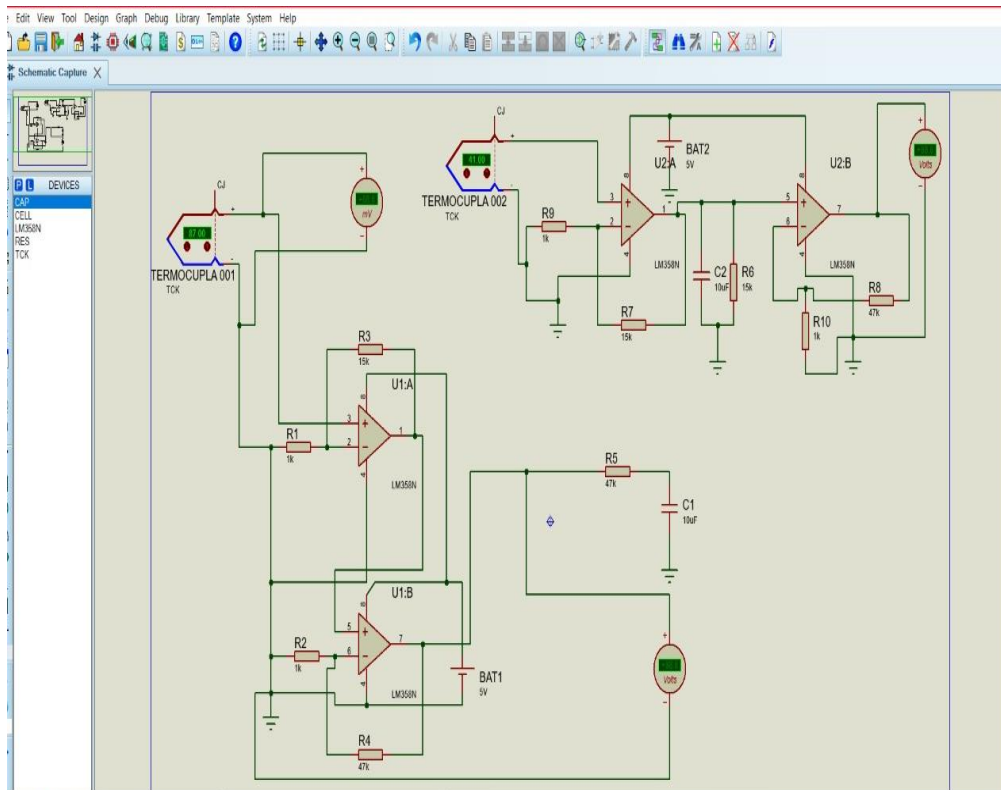


Figura N° 64: Circuito de conexión de termocuplas realizado en proteus
Fuente: Elaboración Propia

Se utiliza el driver puente H L298N que controlada los motorreductores que permite a la máquina abrir y cerrar las compuertas, estos se accionan mediante los módulos rele. Ver Figura N°65.

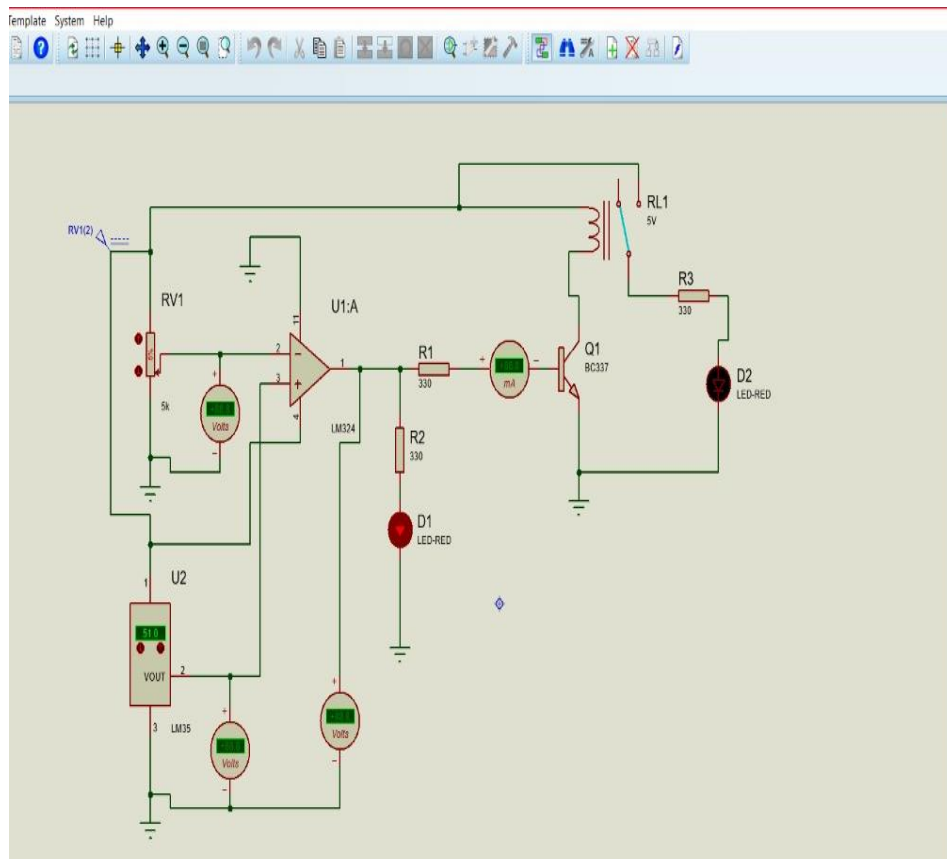


Figura N° 65: Circuito de conexión rele realizado en proteus
Fuente: Elaboración Propia

Se observa en el circuito la integración en conjunto de los componentes con su respectiva identificación, el regulador de voltaje, LD33CV, proporciona un voltaje continuo de 3.3v al módulo ESP8266 que envía los datos al servidor de la plataforma Blynk IOT, también se conecta el módulo MAX 6675 encargado de acondicionar las señales de las termocuplas. Además, se acopló una placa pcb de conexión doble requerido para el óptimo funcionamiento del módulo ESP8266 que muestra la conectividad mediante el parpadeo del led. Ver Figura N°66.

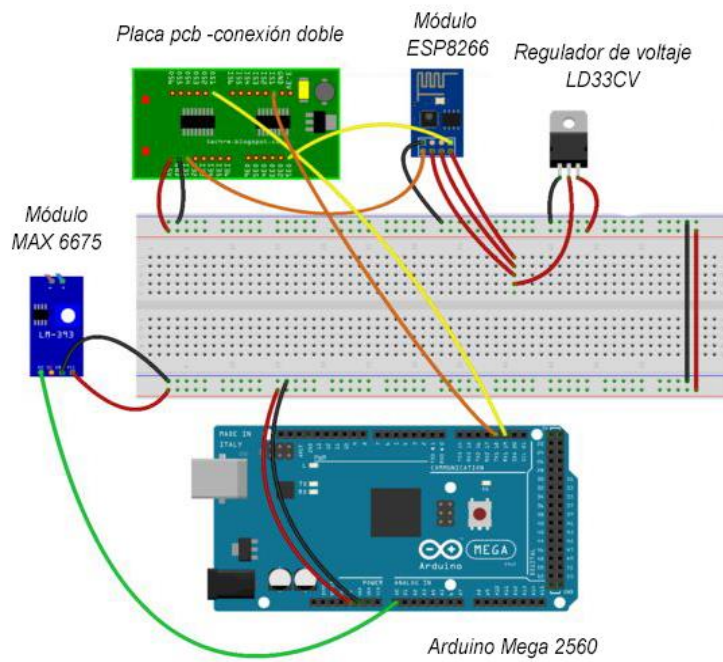


Figura N° 66: Integración de arduino con módulos de transmisión.
 Fuente: Elaboración Propia.

El circuito muestra la conexión de los servomotores con el módulo L298 y este a su vez con el arduino mega 2560. Ver Figura N°67.

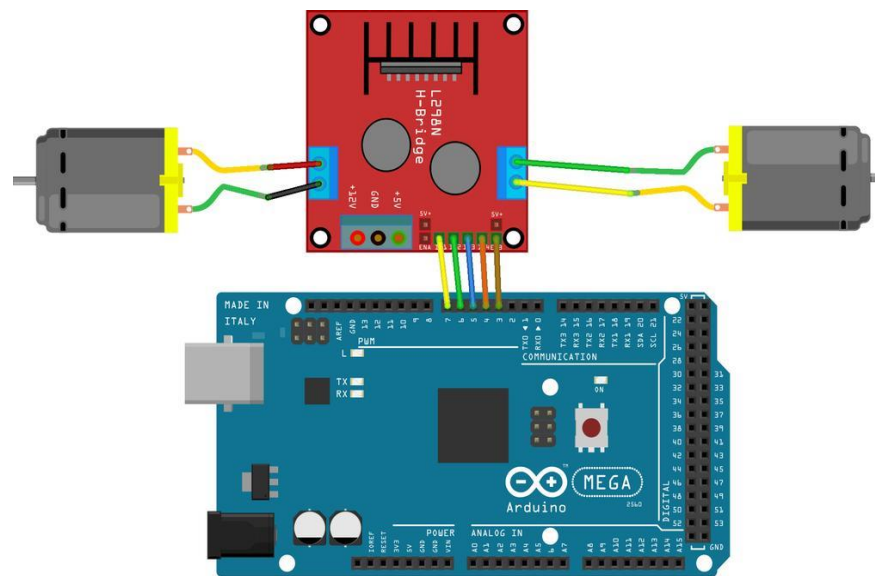


Figura N° 67: Circuito con Módulo L298 con Arduino mega 2560
 Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se especifican los resultados que se obtuvieron en el desarrollo de la investigación para el logro de objetivos planteados, observaciones en los diferentes diseños y recomendaciones para próximos proyectos.

4.1 Resultados del Diseño Mecánico

En la siguiente Figura N°68 se observó las propiedades mecánicas del material escogido para el diseño de las tres hélices, las mismas que removerán los residuos dentro del cilindro; En la librería de materiales del software de simulación SolidWorks se escogió el acero cumpla con las características y propiedades del material que se seleccionó en el capítulo anterior.

Propiedades de material

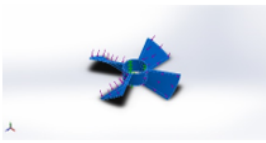
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: AISI 316L Acero inoxidable Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 1.7e+008 N/m ² Límite de tracción: 4.85e+008 N/m ² Módulo elástico: 2e+011 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0.265 Densidad: 8027 kg/m ³ Módulo cortante: 8.2e+010 N/m ² Coefficiente de dilatación térmica: 1.7e-005 /Kelvin	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(helices_de_04)
Datos de curva:N/A		

Figura N° 68: Propiedades del acero inoxidable utilizado para el cilindro (realizado en Solidworks)
Fuente: Elaboración propia.

Para argumentar que la compostera tuvo un resultado satisfactorio al momento de que las hélices remuevan los residuos, se utilizó el programa Solidworks para hacer las pruebas de esfuerzos y deformación.

En la Figura N° 69 se observa la sujeción en la parte interior de la circunferencia de la hélice donde se aprecia las tres fuerzas de reacción en Newton que ejercen sobre la base de la hélice ya que ahí se ubicará el sistema del eje central donde está conectado al motor.

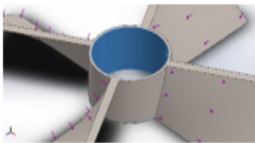
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.0101075	147.634	0.00168872	147.634
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Figura N° 69: Figura de sujeción en la cara interior de la circunferencia del hélice (hecho en Solidworks)

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°70 se muestra la fuerza que va a interactuar de forma directa con la hélice, la “Fuerza-1” representa los 12 Kg de residuos orgánicos, para hallar la fuerza que ejercen las 4 hélices las cuales cada una ellas tiene un peso de 2 Kg el total se multiplicó por la constató de la gravedad que es 9,8 m/s dando como resultado 200 N.

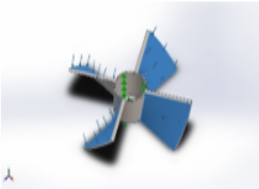
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 200 N		

Figura N° 70: Fuerzas aplicadas a la hélice (hecho en Solidworks)

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura N° 71 se muestra la mínima tensión estática que tuvo la hélice, fue de 20.64 N/m² y su máxima tensión en los puntos de apoyo del eje concéntrico será de 6.5x10 N/m².

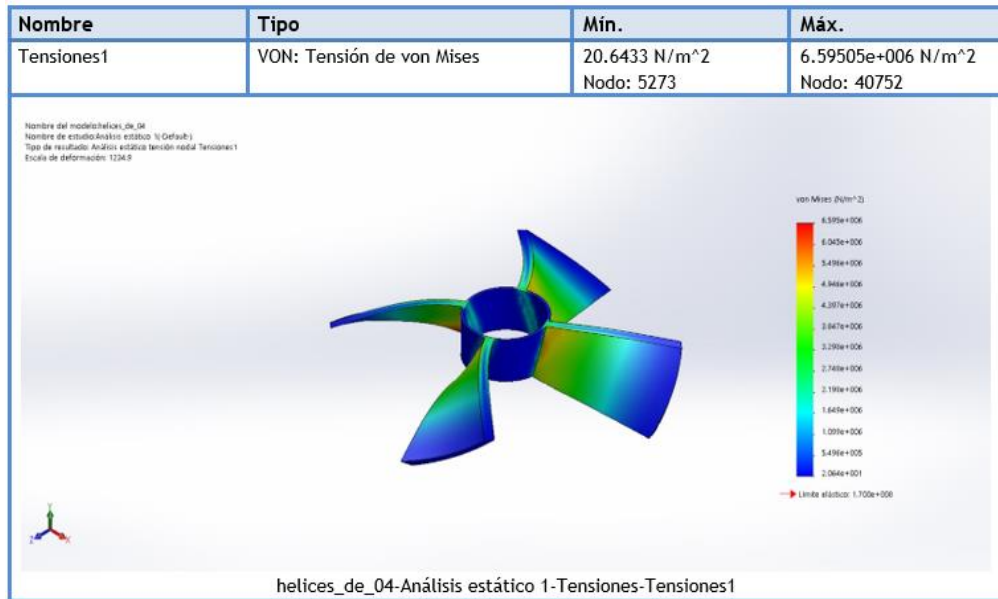


Figura N° 71: Análisis estático de tensiones de la hélice (hecho en Solidworks)
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 72 se observó los desplazamientos que tuvo las hélices al momento que interactúe con los residuos orgánicos.

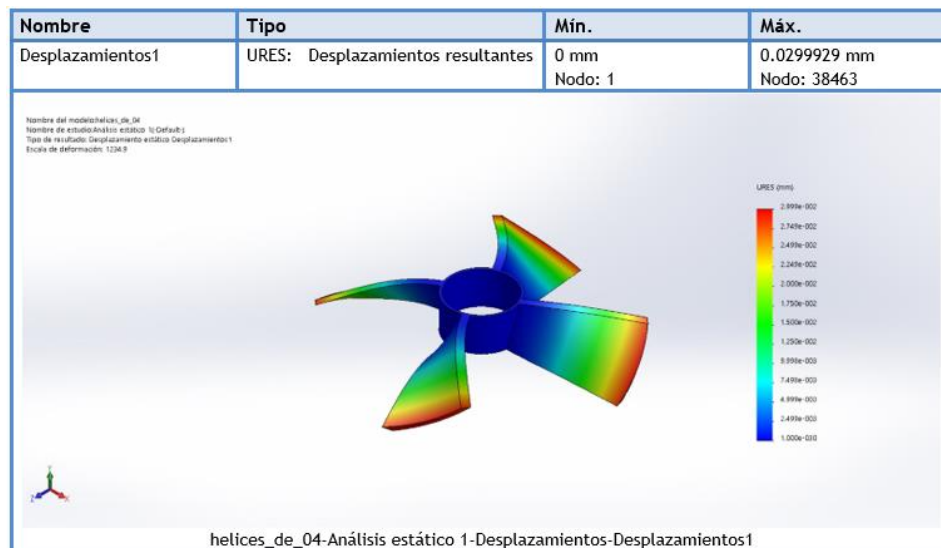


Figura N° 72: Análisis estático de desplazamientos de paletas de la hélice (hecho en Solidworks)
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Resultados del sistema eléctrico y electrónico

A continuación, se muestra el funcionamiento y las conexiones del programa en el software de simulación Proteus, donde se diseñó un circuito que demostró que cumple la función de giro.

En la siguiente figura se utilizó el módulo Driver L298 con adaptación para Arduino Mega, puente H para el control de los motores DC. Al ser activado, gira en sentido horario abriendo las compuertas y en sentido antihorario cerrando las compuertas, todo es controlado por el microprocesador Arduino. Además, se conectó diodos led para para visualizar el encendido de los motores y su respectivo sentido de giro. Ver Figura N° 73.

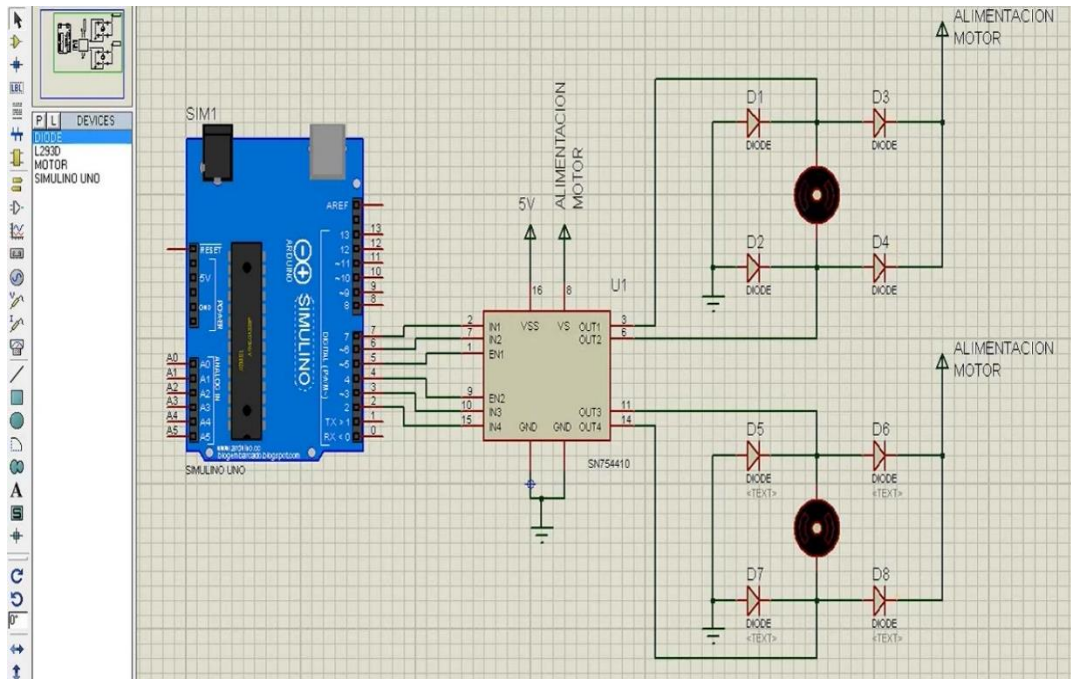


Figura N° 73: Diseño del circuito utilizando un puente H para el giro horario y antihorario de los motores (hecho en Proteus)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 74 se muestra la conexión de los pines 5, 6 y 7 a las entradas EN1, IN2, y IN1 y los pines 2, 3 y 4 a las entradas IN4, IN3 y EN2 del módulo L298, consecuentemente se envía las señales a los pines 3, 4, 5 y 6 que activaran los motores girando en sentido horario, esto abre las compuertas para que los residuos orgánicos pasen a la siguiente etapa y demostrando el proceso de compostaje.

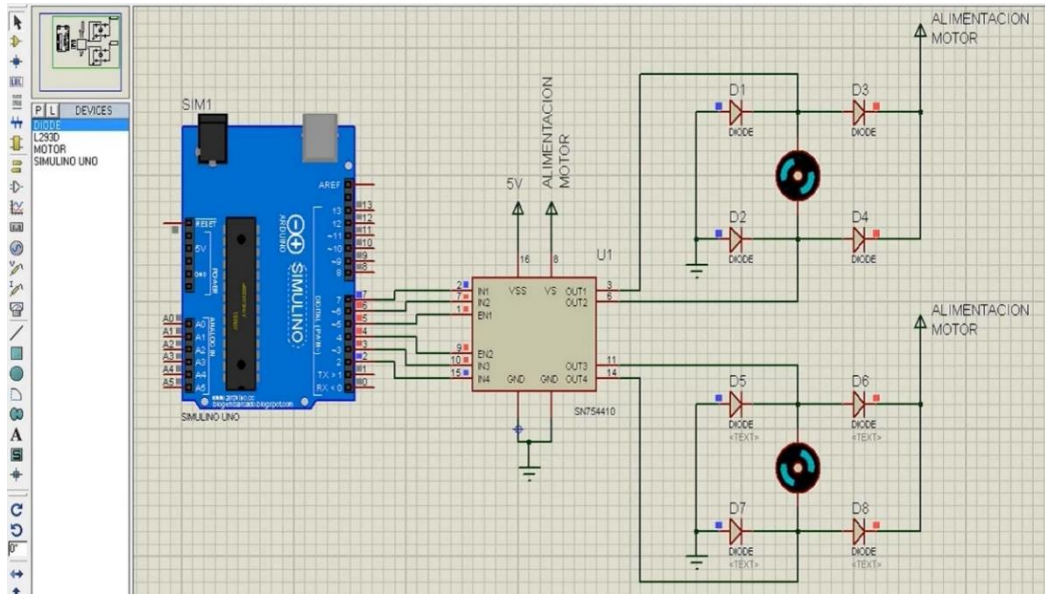


Figura N° 74: Circuito de módulo L298 acoplado con Arduino realizado en proteus.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 75 se muestra el circuito diseñado para el motor monofásico, que fue activado desde un móvil, en el actual circuito se observa el fusible de protección y switch de emergencia. Se demostró la conectividad del variador en el software proteus, con el Triac BT136, Diac DB3, capacitor 104 a 630V, realizando las pruebas con un potenciómetro 220 VAC a una frecuencia de 60hz.

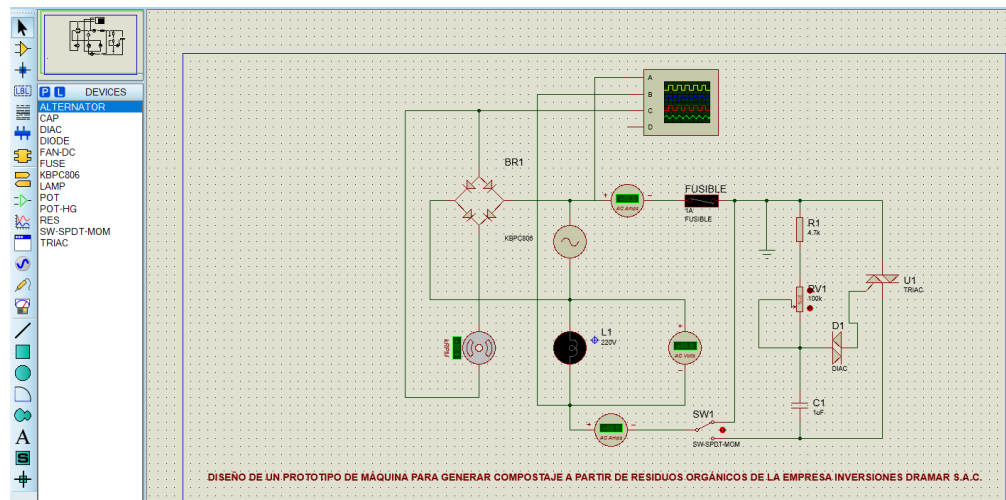


Figura N° 75: Circuito en proteus de motor monofásico con variador.
Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente circuito se demostró que fusible soporte el amperaje de trabajo del motor monofásico a 20RPM. Ver Figura N° 76.

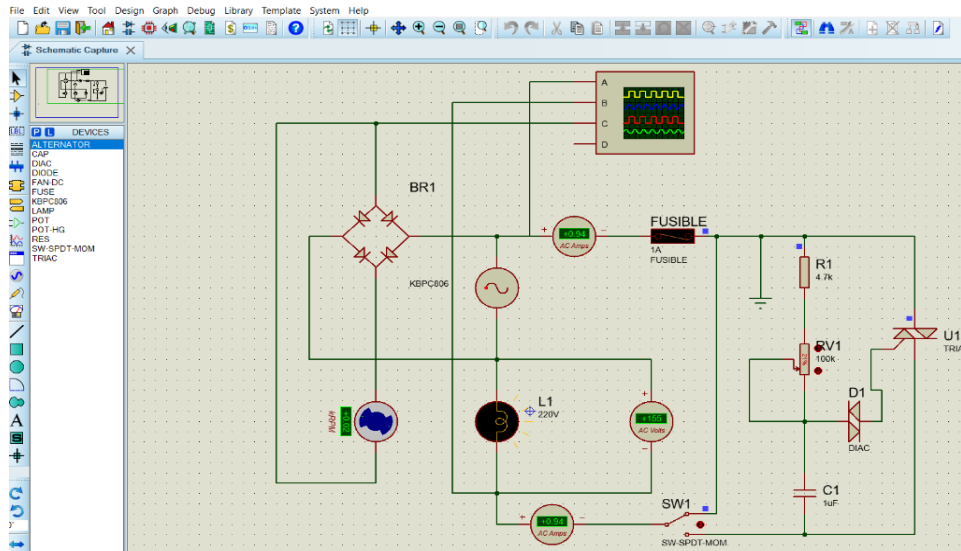


Figura N° 76: Circuito en proteus con fusible de protección.
Fuente. Elaboración propia.

La siguiente imagen se demostró la onda de salida del motor monofásico a 220 y 60 Hz. Ver Figura N°77.

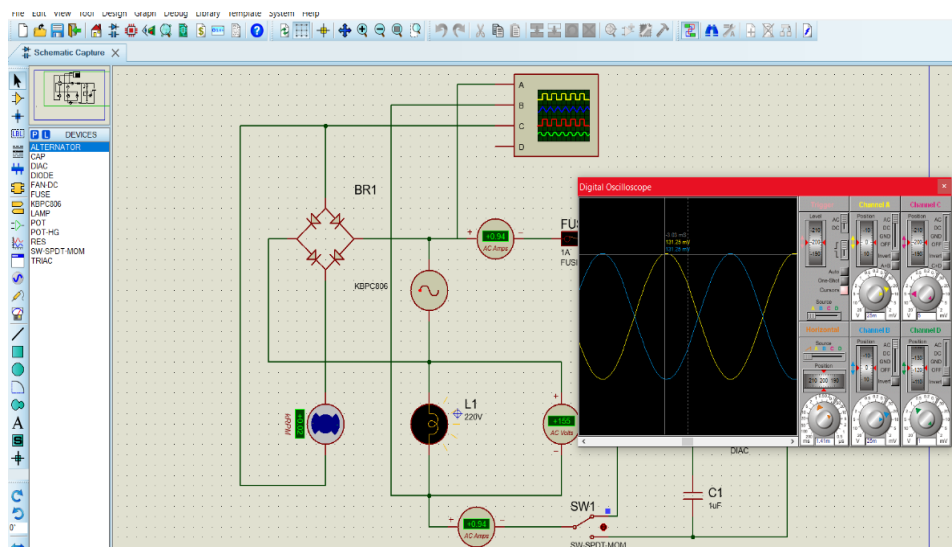


Figura N° 77: Onda de salida en Osciloscopio realizado en proteus
Fuente. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó una máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos con las medidas de 0.6 metros alto con la capacidad de procesar 12 Kg de residuos generando que el tiempo del proceso sea de un mes reduciendo a diferencia de manera artesanal el cual es de 3 a 6 meses generando facilitar la transformación de mayor cantidad de residuos en un menor tiempo.
2. Se diseñó la estructura mecánica del compostador utilizando el material de aluminio, ya que es altamente resistente, ligero, fácil de moldear y tiene una alta conductividad térmica, esto ayudó para no generar mucho peso del cilindro y que soporte las temperaturas máximas que requirió el proceso para la transformación de los residuos.
3. Se eligió como placa de control la placa Arduino Mega, y se programó la misma en su interfaz Arduino IDE, pudiendo controlar los motores de las compuertas, temperatura, humedad, encendido y apagado del motor central.
4. Se diseñó una interfaz de mando desde la aplicación blynk App, que mediante su conexión vía wifi se pudo controlar los relés a distancia a través del módulo ESP8266, generando el seguimiento continuo del proceso las acciones del prototipo para generar compostaje

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener en cuenta siempre la limpieza del contenedor para evitar la obstrucción de materia en los ejes giratorios brindando una mejor eficiencia en el movimiento.
2. Se recomienda diseñar las hélices de tal forma que se pueda cambiar sus palas debido al desgaste por el tiempo de uso o si llegan a tener un fallo funcional. De igual manera para su respectivo mantenimiento que sea fácil acceso.
3. Se sugiere aumentar más sensores, como GPS, para poder obtener información del medio ambiente de dicha ubicación y anticipar cambios de variables (temperatura, humedad, etc.).
4. Se recomienda, que, al implementar, se varíe los valores de PWM del programa que controlan los motores, ya que cada motor funciona a diferentes velocidades incluso si el PWM es el mismo, para esto, es recomendable utilizar el software MATLAB para graficar las velocidades en RPM utilizando el encoder de los motores.
5. Se recomienda para futuros proyectos de investigación sobre este tema, aumentar la capacidad de generar compostaje, asimismo enfocarlos a otros procesos de compostaje que disminuyen la contaminación del medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R. (2016), *Diseño de una maquina domestica para generar compost a partir de residuos orgánicos* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
- Arduino.cl. (2017). Arduino Mega 2560 R3. Recuperado 22 octubre, 2018, de <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Arrigoni, J. (2016), *Optimización del proceso de compostaje de pequeña escala* (Tesis de Doctorado), Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba-Argentina.
- Ayala, O. (2014), *Prototipo de un compostador de uso doméstico automatización con arduino* (Tesis de Pregrado), Universidad autónoma del Estado de México, Estado de México - México.
- Barrena, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos, aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso*. Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
- Benedicto, E. (2017). Suecia recicla un asombroso 99 % de su basura. Recuperado 18 septiembre, 2018, de <https://ecoinventos.com/suecia-recicla-un-asombroso-99-de-su-basura/>
- Benedicto, E. (2017). Compostador eléctrico portátil que convierte los residuos orgánicos en fertilizante en 24 h. Recuperado 12 septiembre, 2018, de <https://ecoinventos.com/compostador-electrico-portatil-zera/>
- Brito, T. (2017). Suecia recicla un asombroso 99 % de su basura. Recuperado de <https://ecoinventos.com/suecia-recicla-un-asombroso-99-de-su-basura/>
- Blanco., F. (2018). *Artículo. Compostaje*. [Online] CienciasAmbientales.com. Recuperado de: <https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/articulo-compostaje-56>. [Acceso 1 jun. 2018].
- Brito, T. (2018). *Suecia recicla un asombroso 99 % de su basura*. [online] EcoInventos. Recuperado de: <https://ecoinventos.com/suecia-recicla-un-asombroso-99-de-su-basura/> [Acceso 5 jul. 2018].

Casco, J. (2013). *Compostaje*. España: Mundi-Prensa, pp.96-106.

CENTRAR - UNALM. (2016). Centro modelo de tratamiento de residuos. Recuperado 20 agosto, 2018, de <http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/cemtrar/html/principal.htm>

Descubre Arduino.com. (2018, 17 febrero). Recuperado 2 octubre, 2018, de <https://descubrearduino.com/crea-tu-aplicacion-para-tu-arduino-en-solo-unos-minutos-arduino/>

Delta Electronics, INC.. (2007). *Manual del usuario*. Recuperado de <https://mecmod.com/pdf/delta-vfd-e.pdf>

El atlas de los desperdicios: los países que más basura producen. (2018). Recuperado de: <https://www.infobae.com/economia/rse/2017/05/01/el-atlas-de-los-desperdicios-los-paises-que-mas-basura-producen/>

EvenGreener. (s.f.). Productos [Foto]. Recuperado 11 agosto, 2018, de <https://evengreener.com/composting>

Falco, C. (2015), *Desarrollo de un biorreactor para la autogestión domiciliar de residuos sólidos urbanos orgánicos* (tesis de doctorado), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires - Argentina.

Fases del compostaje [Ilustración]. (s.f.). Recuperado 11 agosto, 2018, de <http://panacasabanamarguis85.blogspot.com/2006/11/que-es-el->

Gallardo, K. (2013), *Obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados con geomenbrana* (tesis de maestría), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú

Grupo de acción por el medio ambiente (GRAMA). (2005). *Manual del buen compostador*. Recuperado de <https://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/Manual%20del%20Buen%20Compostador%20GRAMA.pdf>

- Gutiérrez, M. (2013). *Determinación y control de olores en la gestión de residuos orgánicos* (Tesis de Doctorado). Universidad de Córdoba, Córdoba - Argentina.
- Kollvik. (s.f.). Kollvik Recycling - Especialistas en compostaje. Recuperado 9 agosto, 2018, de <http://www.kollvik.com/es/>
- Llamas, L. (2016). Medir temperatura y humedad con Arduino y sensor DHT11-DHT22. Recuperado 22 octubre, 2018, de <https://www.luisllamas.es/arduino-dht11-dht22/>
- Ministerio de Salud. Departamento Educación para la Salud. (1997). Disposición correcta de la basura: el relleno sanitario. San José, Costa Rica. Recuperado 21 septiembre, 2018, de <http://www.binasss.sa.cr/poblacion/rellenosanitario.htm>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Sistema información para la gestión de residuos sólidos* (Informe Anual 2015). Recuperado de <http://sigersol.minam.gob.pe/2014/verInforme.php?id=1249>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Plan nacional de gestión integral de residuos sólidos 2016-2024*. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/59910>
- Navarro, R. (s.f.). *Manual para hacer composta Aeróbica*. Recuperado de <http://latinamericacaribbean.recipnet.org/uploads/resource/cc1bd87a29c857c262b2655a94510754.pdf>
- Nagar, J., Marg, S., & Circuitloop Technologies LLP. (2017). 5V Relay: Pinout, Description, Working & Datasheet. Recuperado 6 octubre, 2018, de <https://components101.com/5v-relay-pinout-working-datasheet>
- Nueva Mujer. (2013). Diferentes enfermedades causadas por la contaminación - VeoVerde. Recuperado 1 mayo, 2018, de <https://www.nuevamujer.com/bienestar/2013/11/07/diferentes-enfermedades-causadas-por-la-contaminacion.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2012). *Cambio climático y sostenibilidad ambiental*. Documento presentado en Taller-Técnicas de compostaje, Paraguay. Recuperado de http://www.sian.inia.gob.ve/congresos_externos/compostaje_normalizacion/BI_BLIOGRAFIA/Bib_Fao_tecnicas_compostaje.pdf

- Potencia Electromecánica. (2013). ¿Cómo funciona un Reductor o Motorreductor? Recuperado 2 octubre, 2018, de <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>
- Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú Capacítate Perú (2007). *Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces*. Recuperado de http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/manual_para_elaboracion_de_compost.pdf
- Prieto, M. (2010). *6 Sigma : Un antídoto para la crisis*. Madrid, España: Fragma Repografía.
- Rambal - Automatización y Robótica. (s.f.). *Pantalla Lcd - I2C - 20X4*. Recuperado de http://rambal.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=535
- Ramos, P., Troitiño, M. A., García, A., Moreno, J., Beltrán, C., & Gonzales, N. (2002). *Medio ambiente calidad ambiental* (Ed. rev.). Barcelona, España: Ediciones Universidad de Salamanca.
- Real Academia Española. (2017). Diccionario de la lengua española, edición del Tricentenario. Recuperado 14 septiembre, 2018, de <http://dle.rae.es/?id=7Sa5TYq>
- Reloj de desecho global. (2018). Recuperado 4 agosto, 2018, de <http://www.atlas.d-waste.com/#globalFiguresTab>
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del Agricultor*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Sáez, A., & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 3, 121-135.
- Sistema nacional de información ambiental (Sinia). (2016). Generación de residuos sólidos en Lima Metropolitana [Conjunto de datos]. Recuperado 21 mayo, 2018, de <http://sinia.minam.gob.pe/indicador/1007>
- Sociedad Peruana de derecho Ambiental –SPDA. (2009). *Manual de Residuos Sólidos*. Recuperado de https://spda.org.pe/?wpfb_dl=146

SurveyMonkey. (s.f.). Calculadora del tamaño de muestra. Recuperado 11 octubre, 2018, de <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>

Tchobanoglouset, G., Theissen, H., Eliassen, R., (1982). *Desechos Sólidos. Principios de ingeniería y administración*. Serie: ambiente y los recursos naturales renovables. Mérida

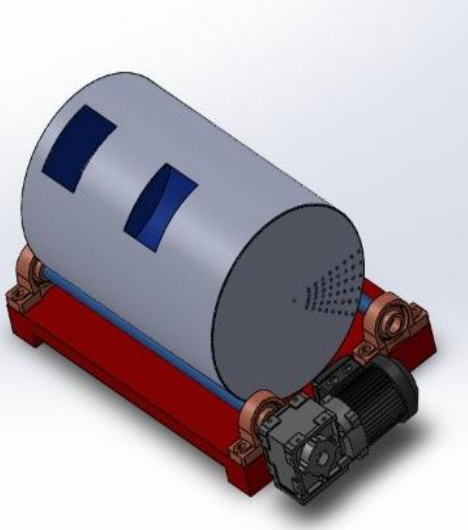
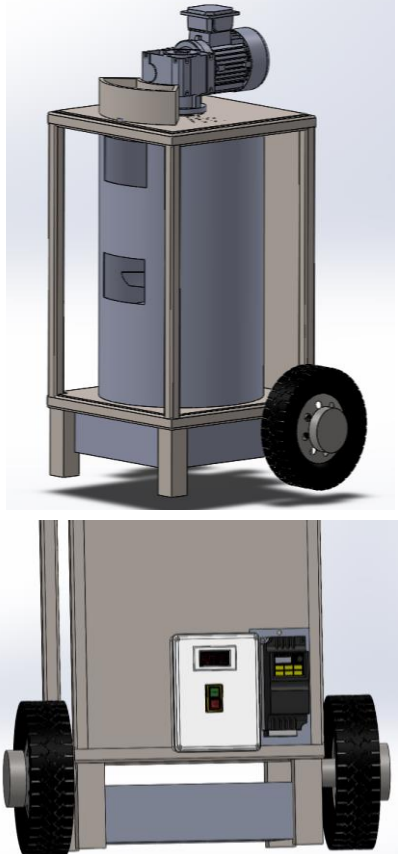
Tighe, R., et. al. (2014). *Evaluación de compost a base de espinillo*. Alejuela – Costa Rica: Agronomía Mesoamericana, Universidad de Costa Rica.

Tortosa, G., Lazo, J., Brea., J., Rodriguez, P. and atehortua, D. (2018). I+D+i. [online] Compostando Ciencia Lab. Recuperado de [:http://www.compostandociencia.com/lineas-de-investigacion](http://www.compostandociencia.com/lineas-de-investigacion). [Acceso 1 Jul. 2018].

Zera. (s.f.). Compostador. Recuperado 9 septiembre, 2018, de <https://wlabinnovations.com/pages/ze>

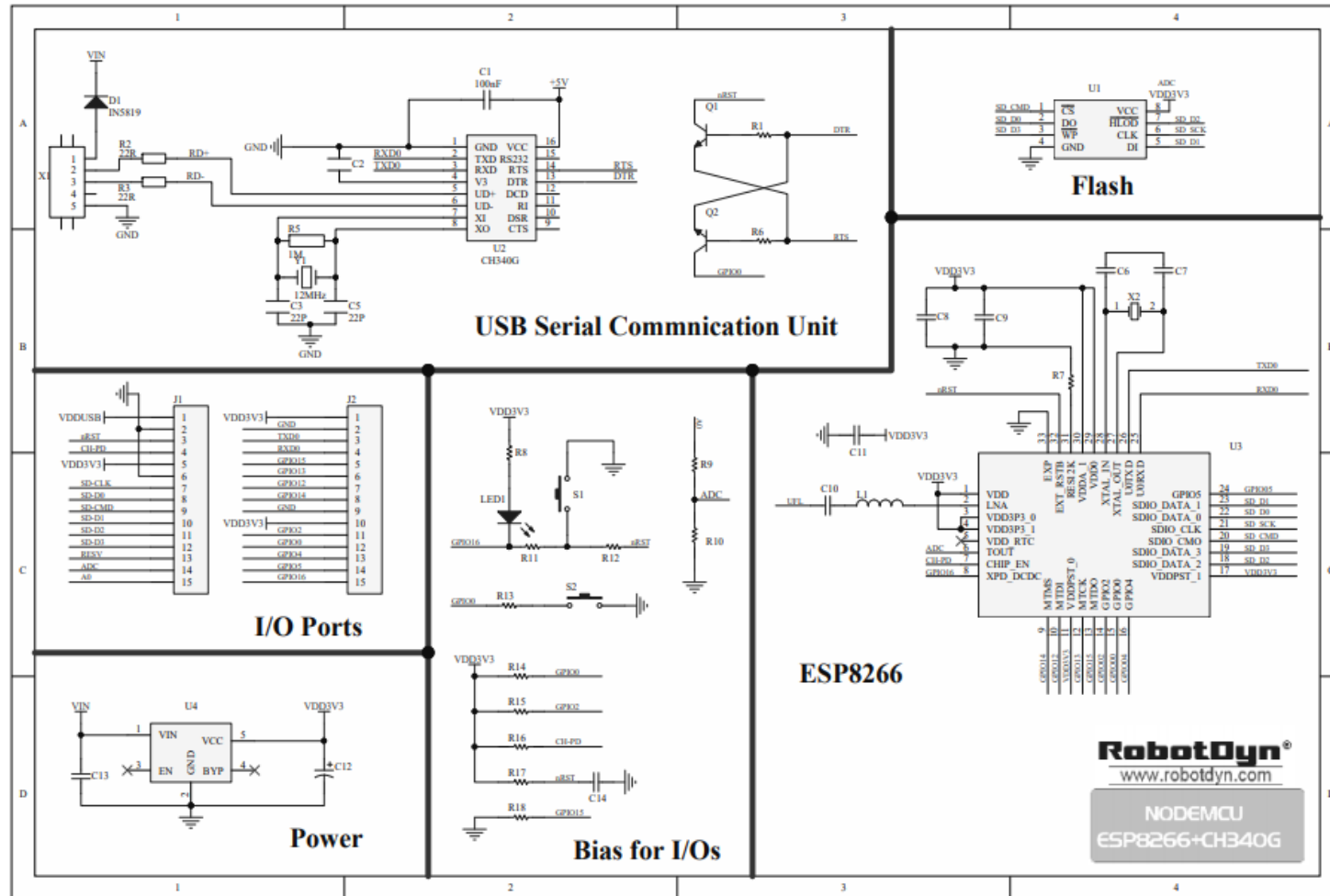
APENDICE

Apéndice 1: Evolución del diseño de la máquina de compostaje.

Primer Diseño	Diseño Final
	

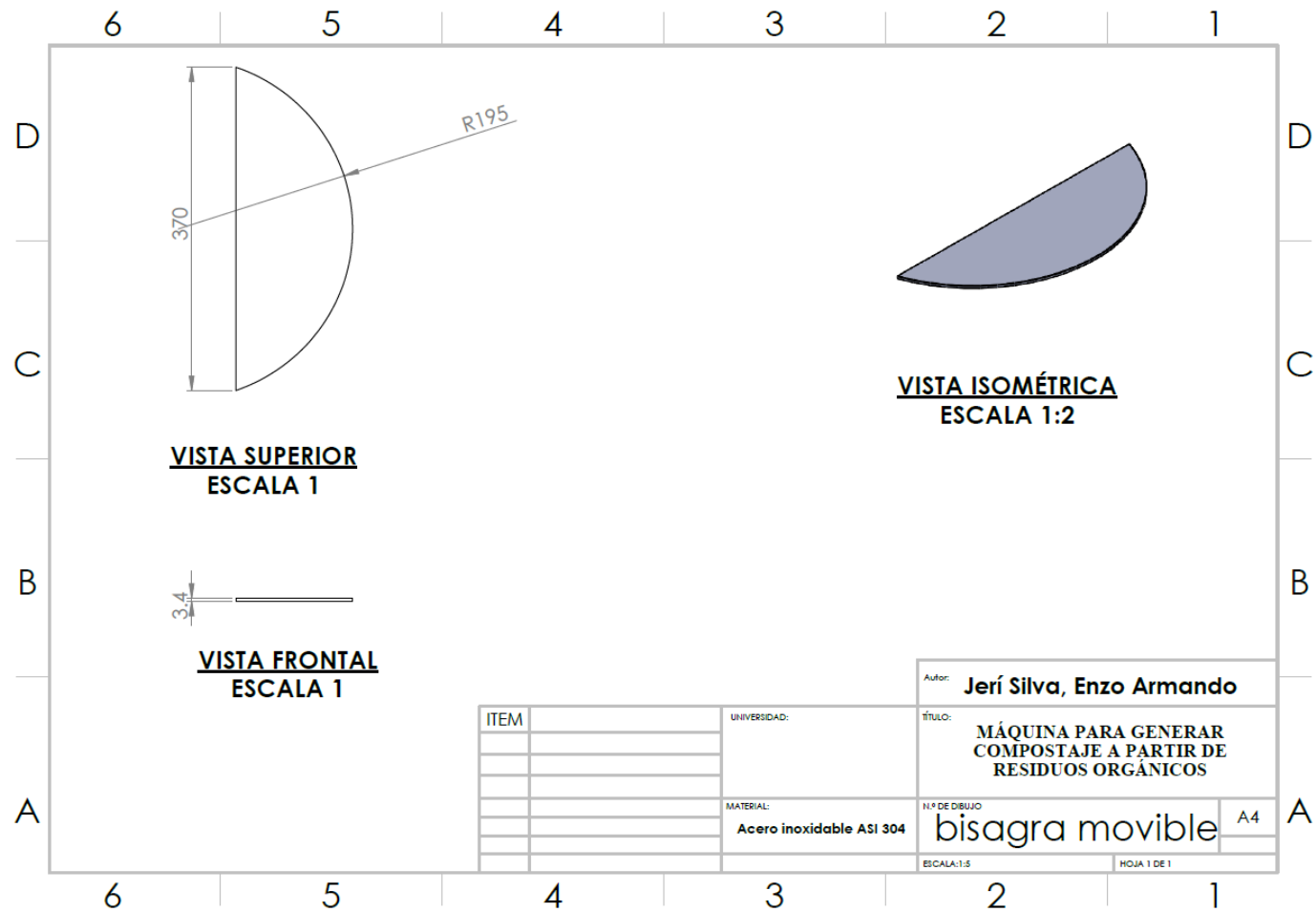
Fuente: Elaboración Propia usando Solidworks

Apéndice 2: Manual del microcontrolador NodeMCU ESP8266



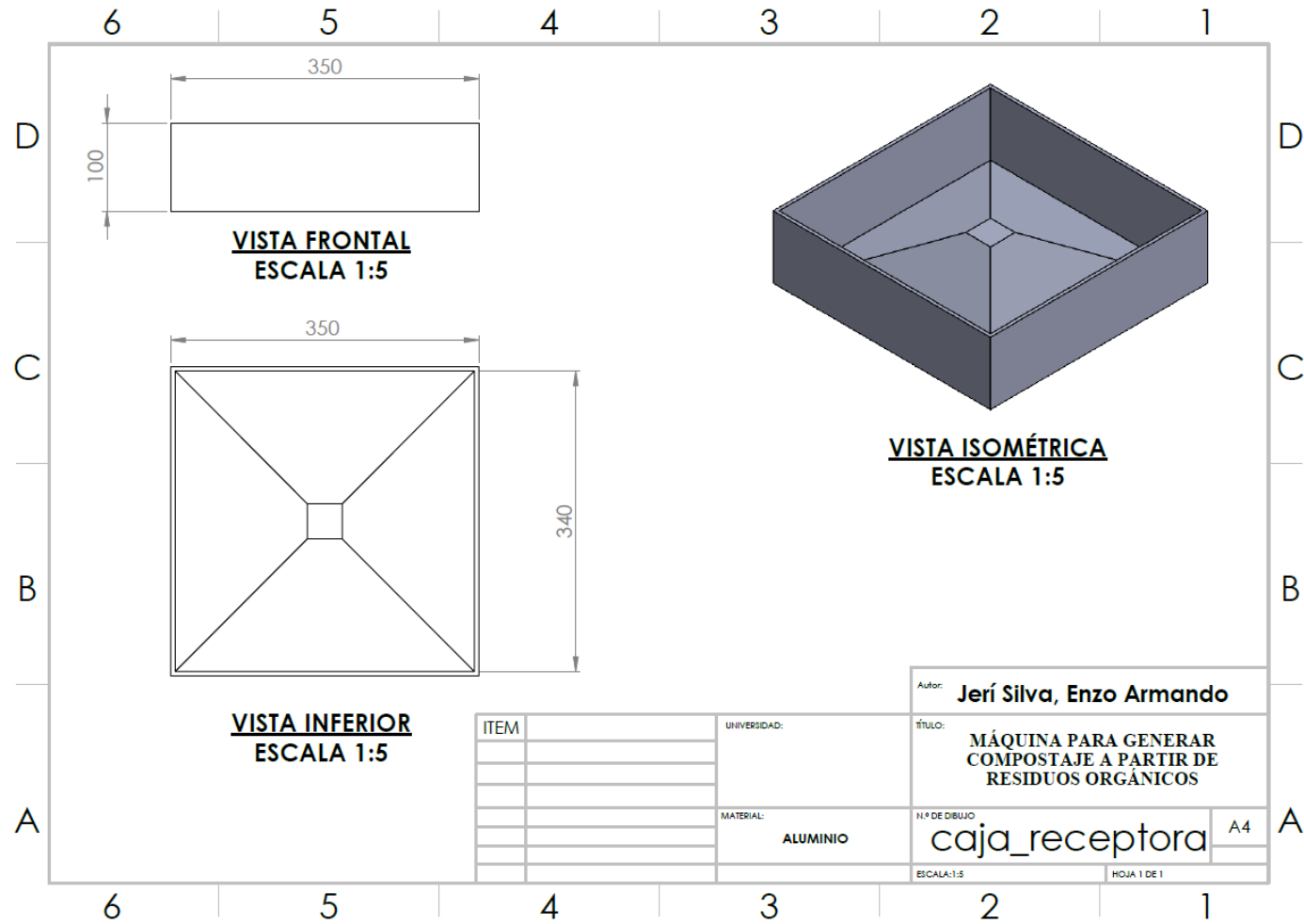
Fuente: Robotdyn (2019).

Apendice 3: Bisagra Movable



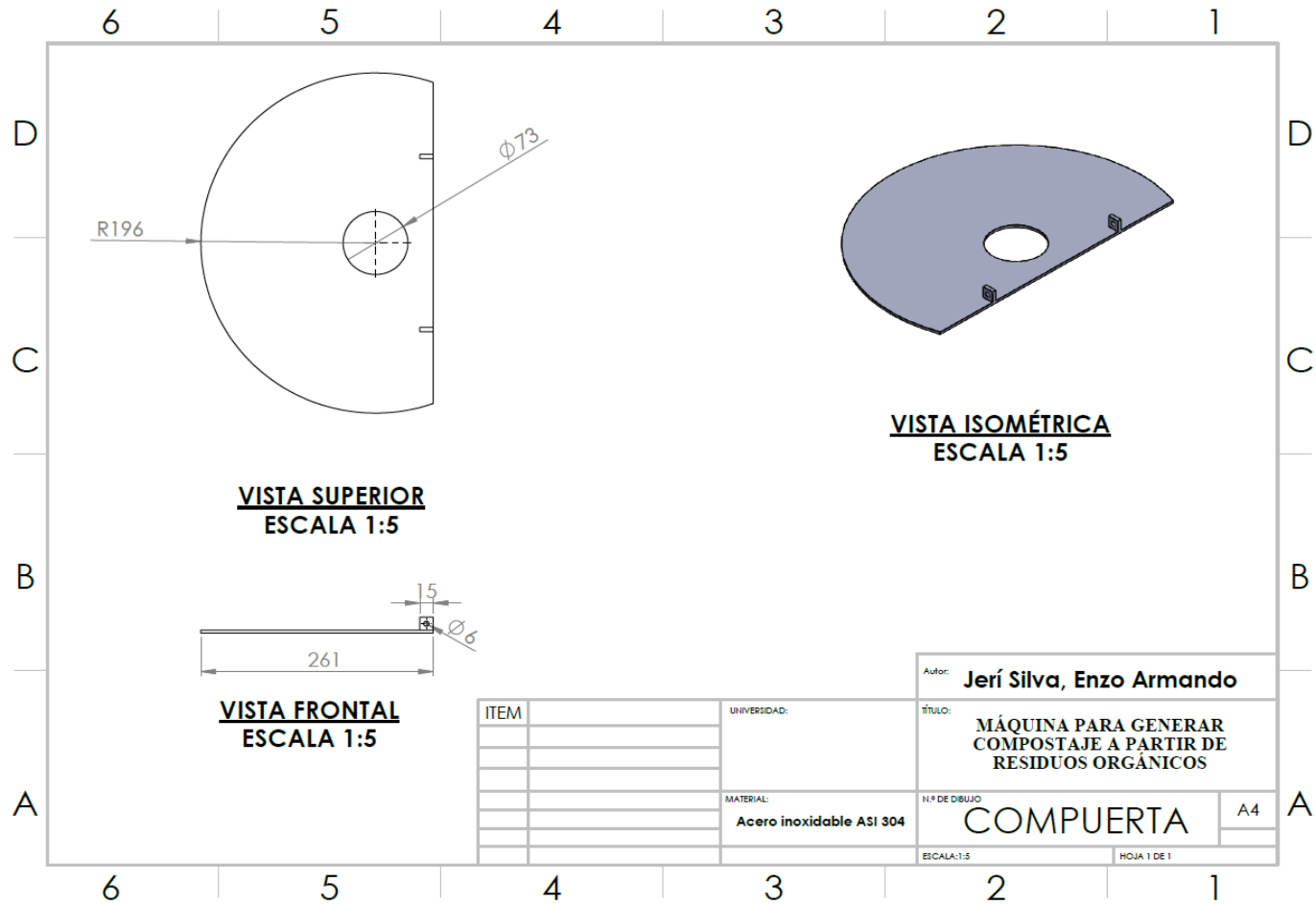
Fuente: Elaboración propia usando solidworks.

Apellido 4: Caja receptora de compostaje



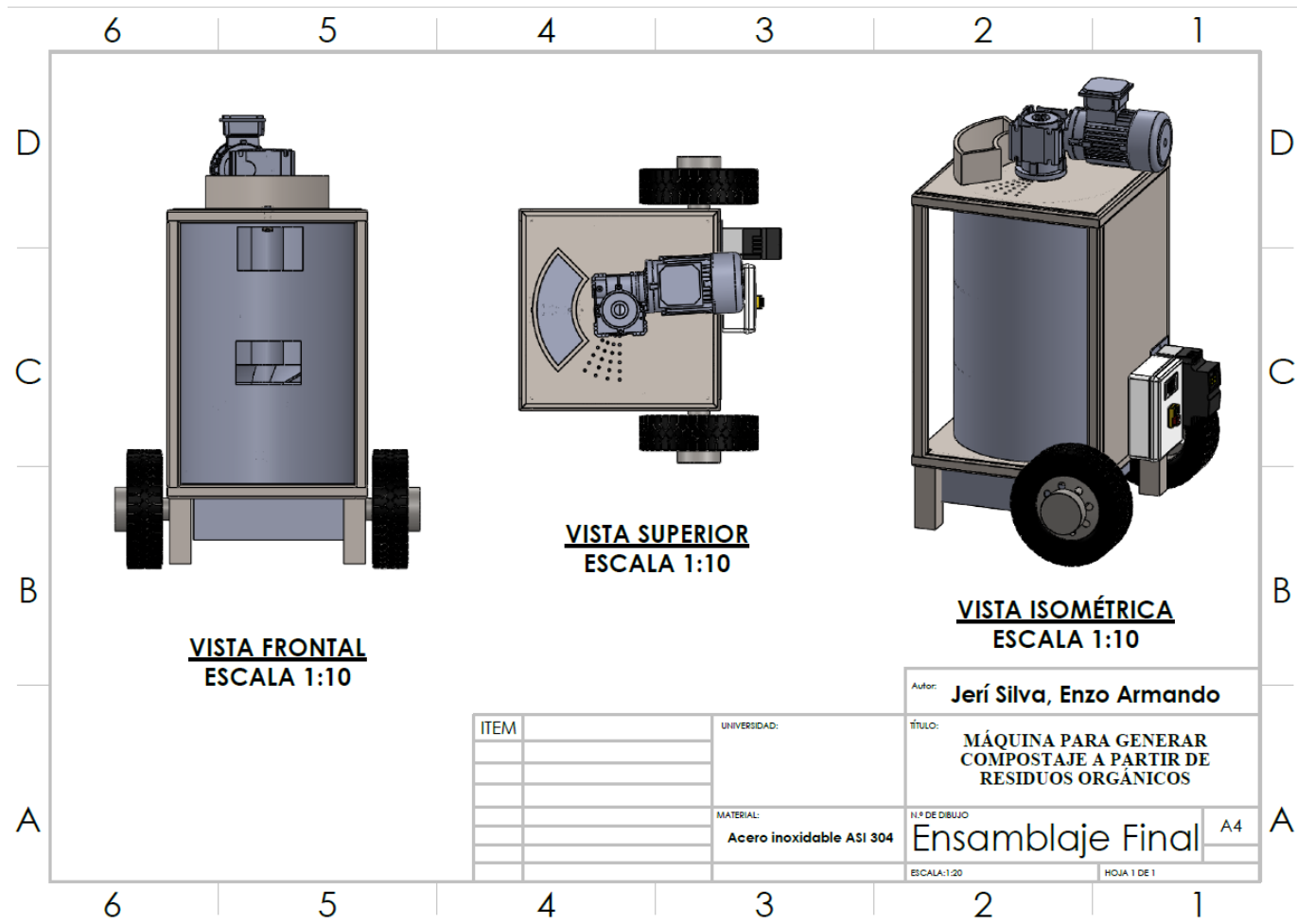
Fuente: Elaboración propia usando solidworks.

Apellido 5: Base de compuerta



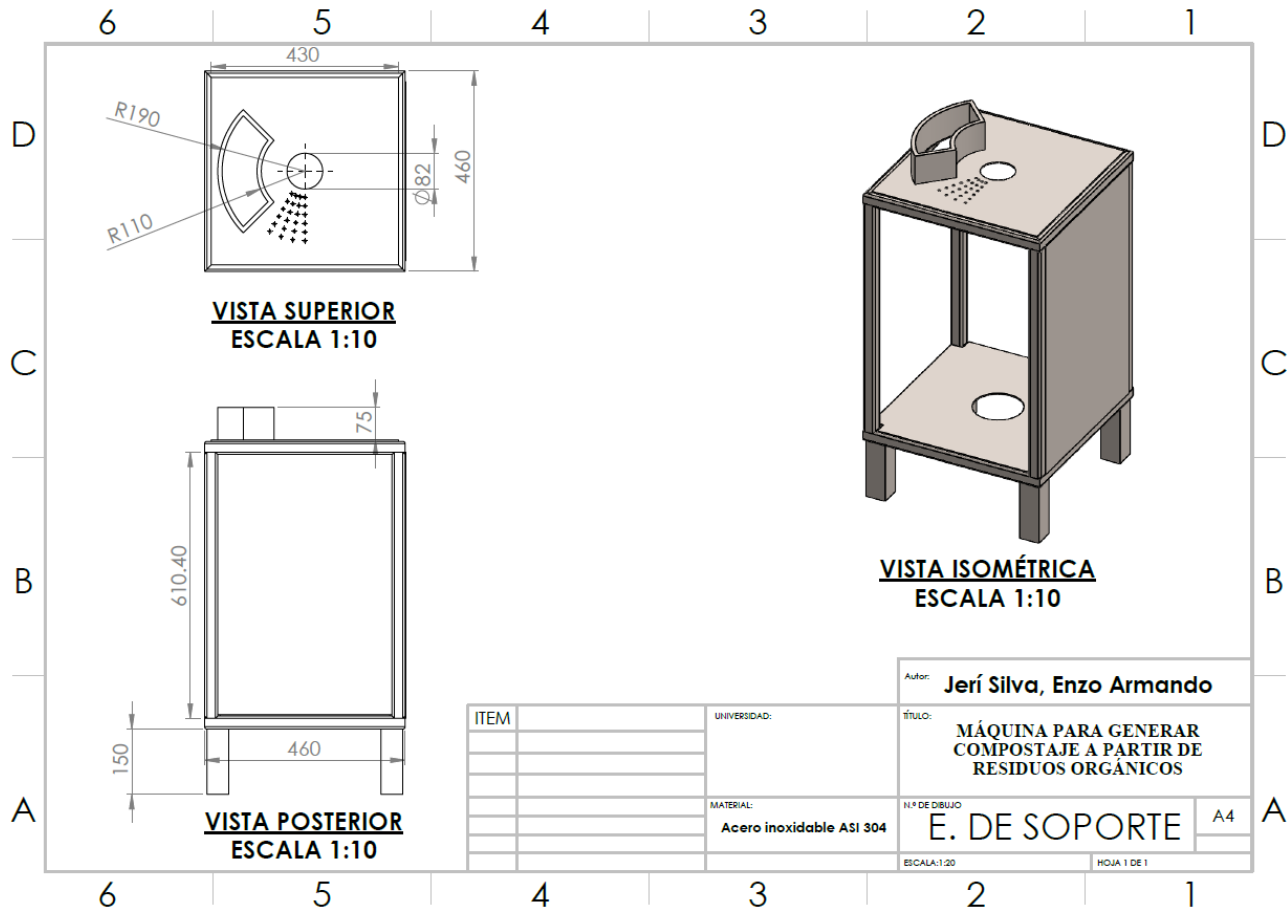
Fuente: Elaboración propia usando solidworks.

Apendice 6: Vista del ensamblaje del prototipo de máquina para generar compostaje a partir de residuos orgánicos



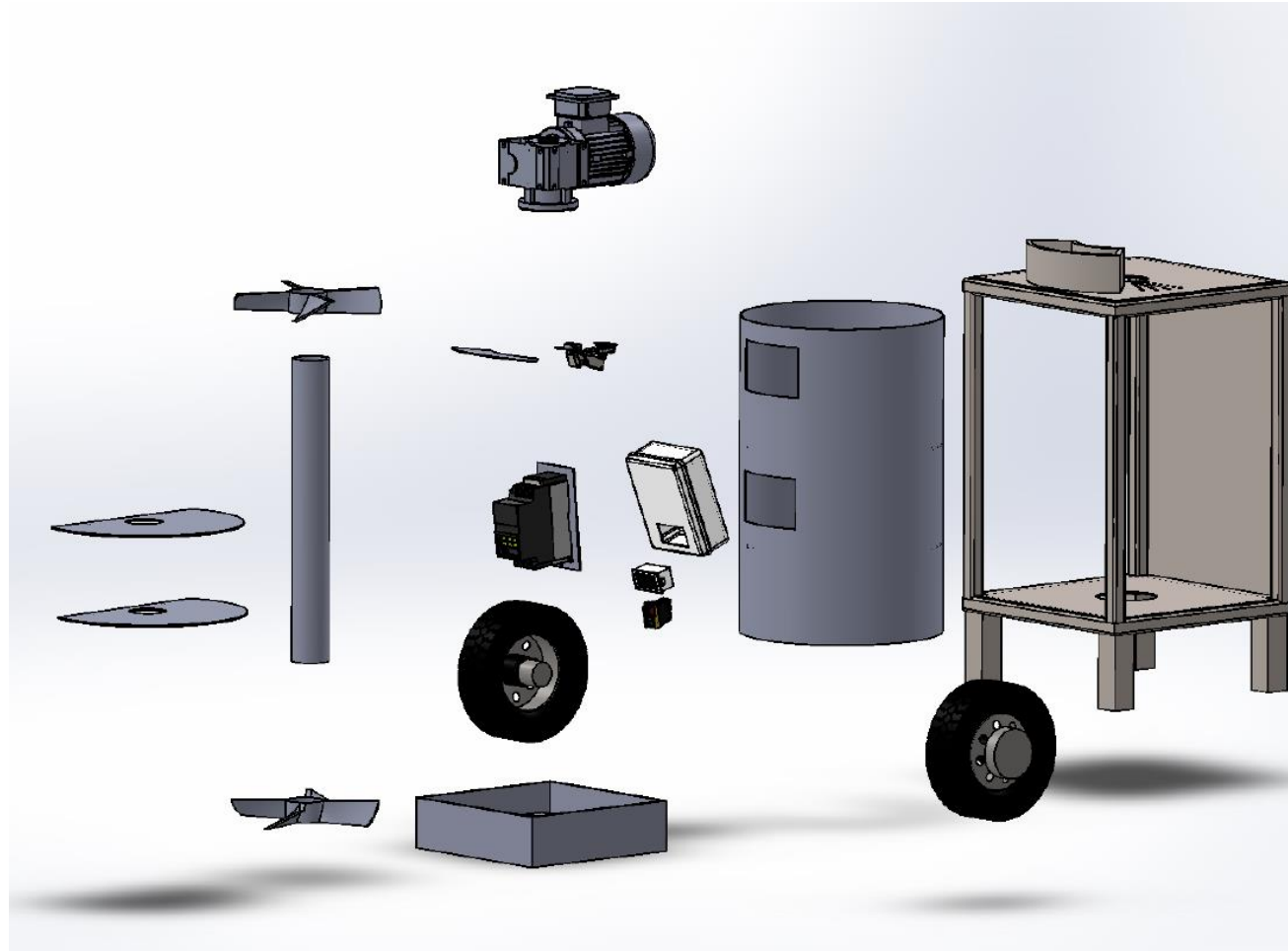
Fuente: Elaboración propia usando soliworks.

Apéndice 7: Estructura de soporte



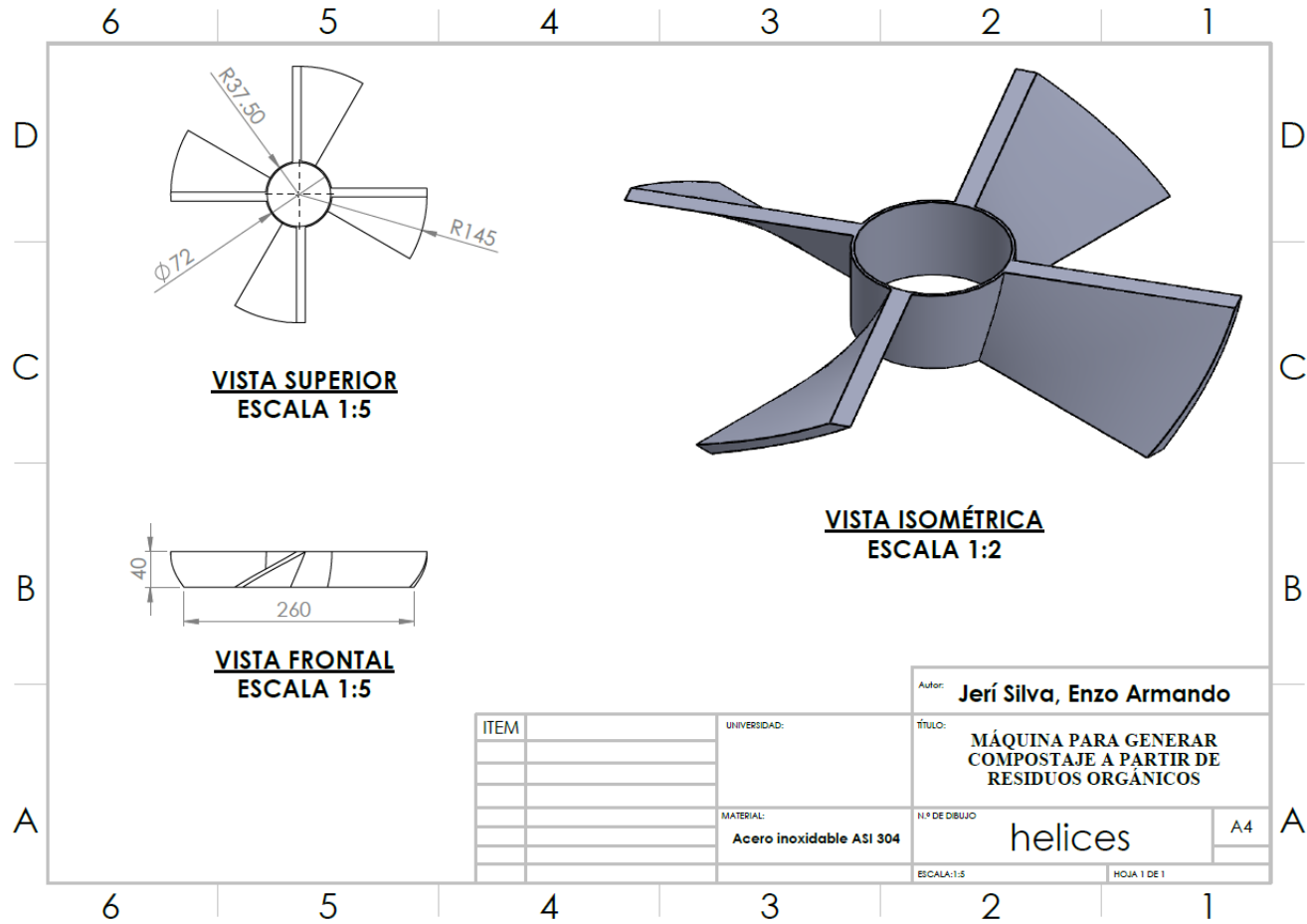
Fuente: Elaboración propia usando solidworks.

Apendice 8: Explosión de ensamblaje



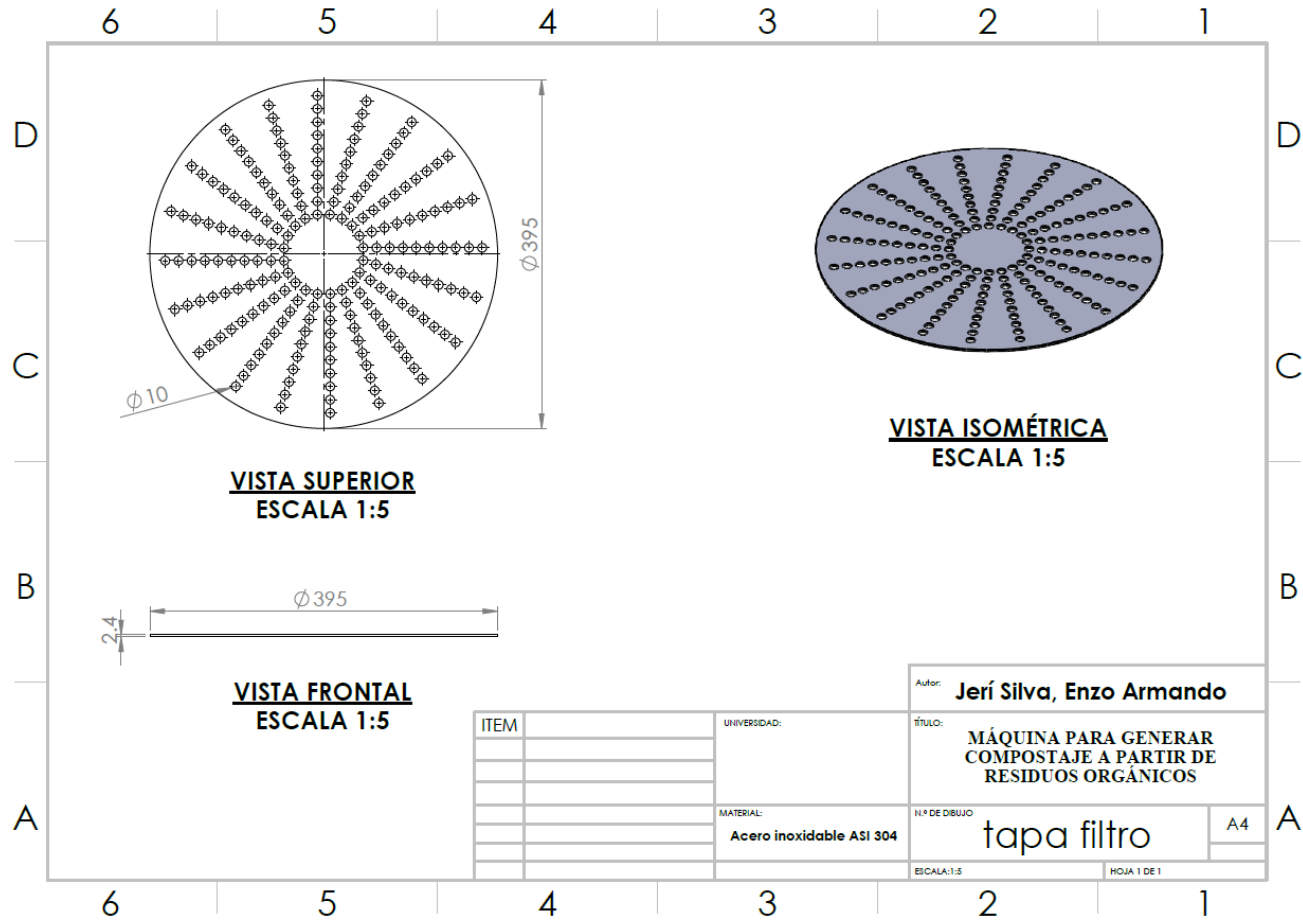
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

Apéndice 9: Hélices



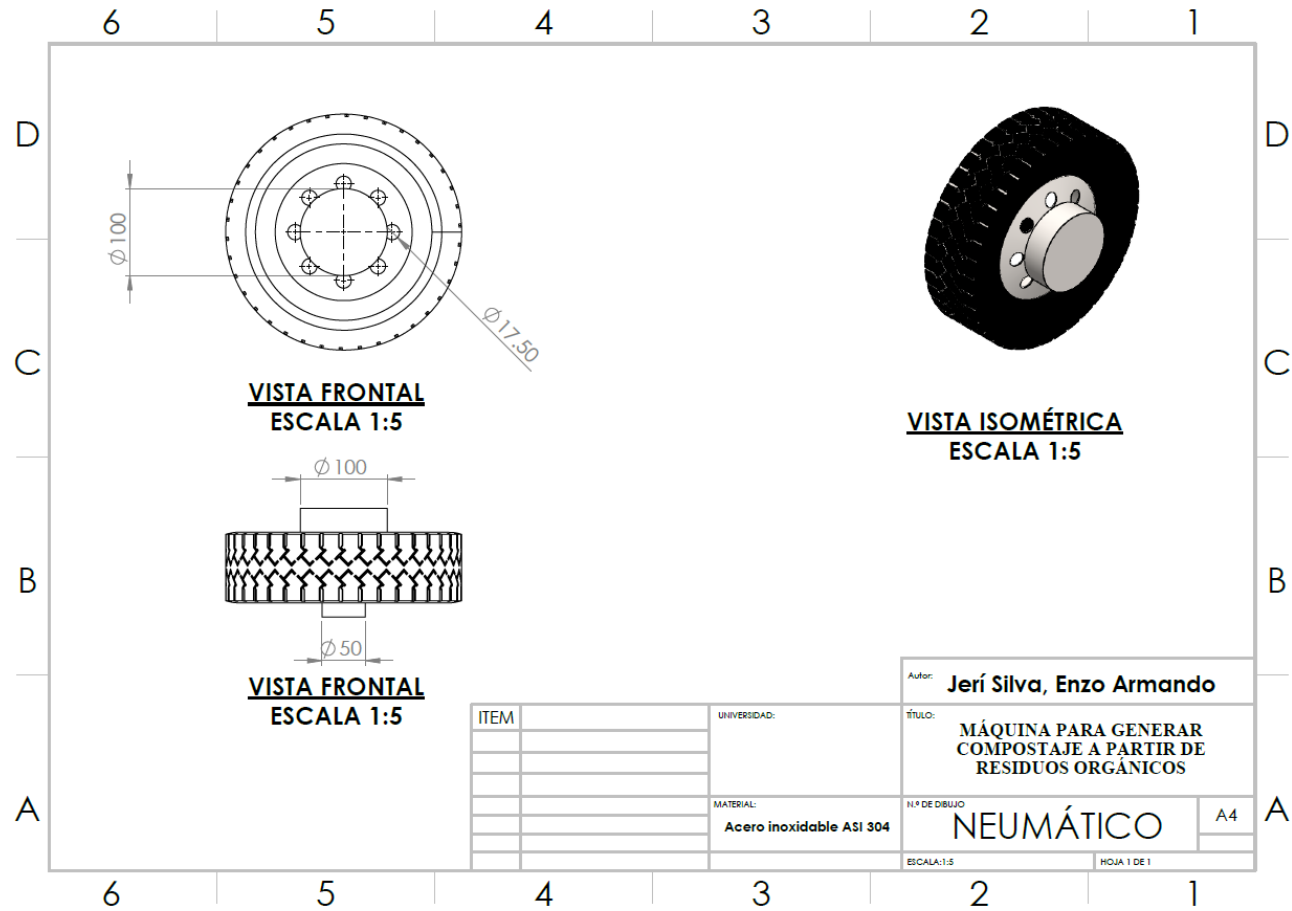
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

Apéndice 10: Tapa filtro



Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

Apéndice 11: Neumático



Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

ANEXOS

Anexo 1: Principales características de Arduino Mega.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Fuente: Arduino.cc (s.f).

Anexo 2: Lista de partes

ITEM	PART NUMER	QTY
1	Estructura de soporte	1
2	Cilindro	1
3	Motor reductor	1
4	Eje	1
5	Hélices	2
6	Bisagra	1
7	taba_giratoria	1
8	Variador VFD015EL43A	1
9	Electric Box	1
10	Red LED Temperature Display	1
11	Neumático	2
12	compuerta con visagra	2
13	Caja_receptora	1
14	Motor Monofásico	1

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Tabla de arruques de motor monofásico

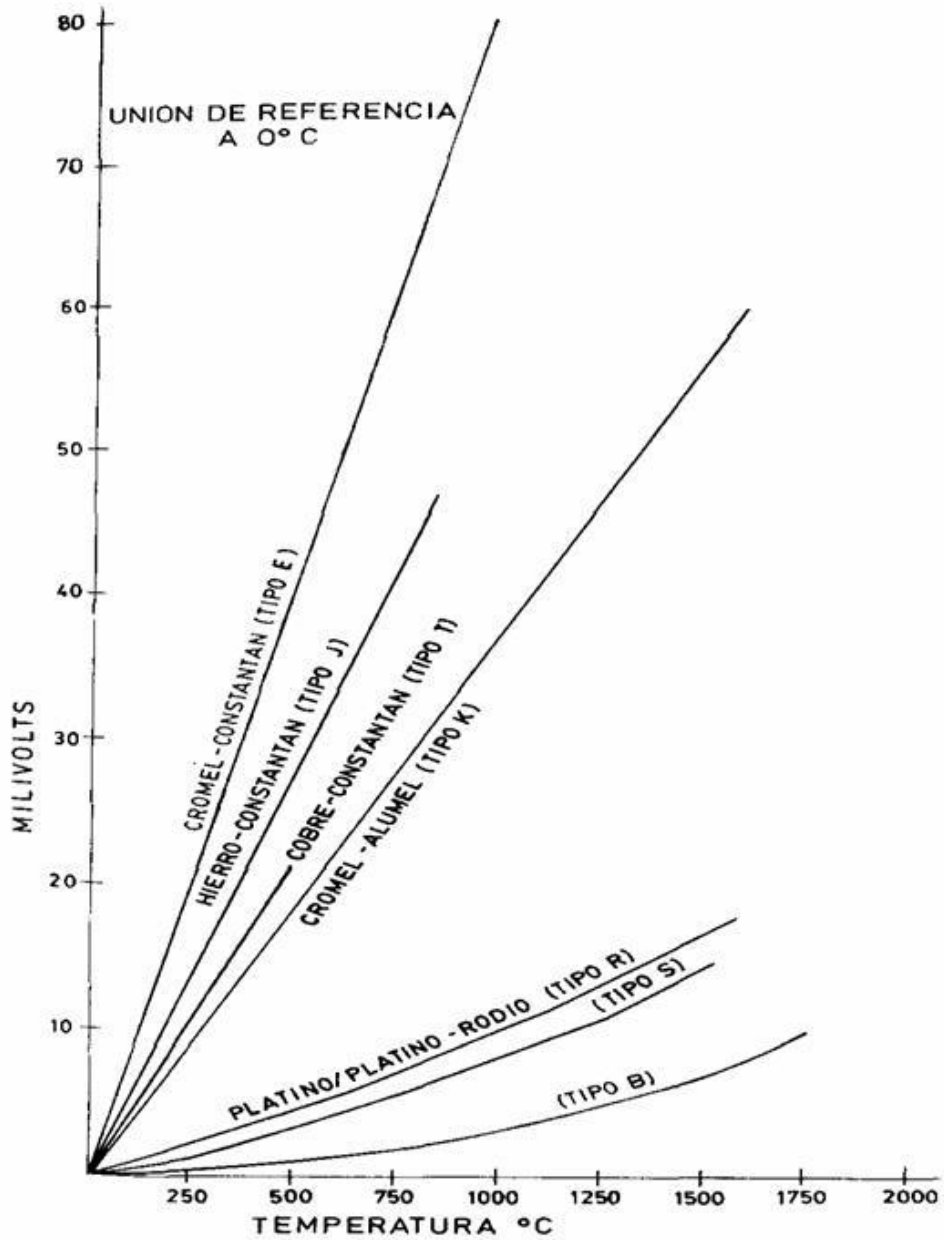
W22 Monofásico - Con condensador de arranque o arranque y permanente - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I _n /In	Par con rotor trabado T _v /Tn	Par Máximo T _b /Tn	Momento de inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
KW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
I Polos																			
0,12	0,16	63	0,034	5,9	2,0	2,9	0,0002	6	10,0	50	3490	35,8	44,4	49,9	0,52	0,60	0,68	1,61	0,804
0,18	0,25	63	0,050	6,1	2,2	2,8	0,0003	6	10,7	50	3490	42,3	50,8	55,8	0,51	0,61	0,69	2,12	1,06
0,25	0,33	63	0,071	4,6	2,4	2,4	0,0002	6	10,7	50	3440	48,0	55,6	59,0	0,51	0,62	0,72	2,68	1,34
0,37	0,5	71	0,102	7,2	2	3,1	0,0005	7	13,0	60	3520	51,7	59,9	64,2	0,50	0,61	0,72	3,64	1,82
0,55	0,75	80	0,152	7,7	2,1	3	0,0008	10	16,5	65	3525	60,7	69,8	72,8	0,77	0,85	0,91	3,78	1,89
0,75	1	80	0,208	7,0	2,3	2,7	0,0009	9	17,5	65	3520	60,0	68,0	71,0	0,75	0,83	0,88	5,46	2,73
1,1	1,5	90S	0,303	9,1	2,1	2,9	0,0020	9	24,0	69	3535	70,8	77,2	79,8	0,77	0,85	0,89	7,04	3,52
1,5	2	90L	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	100L	0,608	8,7	2,3	3	0,0064	9	37,0	72	3525	72,7	79,2	81,8	0,92	0,95	0,98	12,5	6,25
3	4	112M	0,830	8,0	2,6	2,5	0,0081	6	45,0	72	3520	76,4	81,6	82,1	0,91	0,94	0,95	17,5	8,74
3,7	5	112M	1,02	8,0	2,6	2,5	0,0091	6	47,0	72	3525	80,0	82,3	83,4	0,91	0,96	0,97	20,8	10,4
5,5	7,5	132S	1,52	8,5	2,8	2,9	0,0234	5	69,0	72	3515	73,7	79,7	82,4	0,92	0,95	0,96	31,6	15,8
7,5	10	132M	2,07	8,0	2,2	3,1	0,0223	8	70,0	72	3525	79,9	82,4	83,9	0,83	0,90	0,94	43,2	21,6
9,2	12,5	132M	2,55	8,8	1,9	3	0,0285	7	79,0	72	3515	85,0	87,5	88,3	0,94	0,96	0,97	48,8	24,4
11	15	132ML	3,04	8,5	2,2	3,5	0,0339	6	92,0	72	3530	83,7	87,2	88,5	0,89	0,94	0,95	59,4	29,7
Carcasas opcionales																			
1,5	2	90S	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	90L	0,612	7,5	2	2,1	0,0028	7	27,5	69	3500	72,0	77,0	78,5	0,94	0,95	0,96	13,3	6,63
IV Polos																			
0,12	0,16	63	0,068	5,0	2,3	2,0	0,0007	7	9,8	47	1730	32,5	40,0	44,2	0,50	0,58	0,66	1,87	0,935
0,18	0,25	71	0,101	5,0	2,8	2,1	0,0008	15	12,7	55	1730	49,6	55,2	60,4	0,43	0,51	0,61	2,22	1,11
0,25	0,33	71	0,141	5,0	2,6	2,2	0,0009	18	13,2	55	1725	45,1	51,0	56,2	0,46	0,53	0,64	3,16	1,58
0,37	0,5	80	0,207	6,8	2,1	2,5	0,0030	10	17,8	55	1740	51,7	61,0	66,1	0,76	0,83	0,88	2,89	1,45
0,55	0,75	80	0,308	5,8	2,1	2,2	0,0034	9	18,5	55	1740	54,0	63,5	68,0	0,71	0,81	0,87	4,23	2,12
0,75	1	90S	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,32	2,66
1,1	1,5	90L	0,607	9,5	2	2,3	0,0069	6	28,0	58	1765	61,0	69,5	74,0	0,88	0,93	0,95	7,12	3,56
1,5	2	100L	0,837	7,2	2,5	2,2	0,0093	10	37,0	58	1745	66,0	73,0	77,0	0,87	0,90	0,93	9,51	4,76
2,2	3	112M	1,23	7,7	2,9	2,7	0,0156	8	46,0	60	1745	65,0	74,0	77,0	0,79	0,87	0,90	14,4	7,22
3	4	112M	1,68	8,0	2,7	2,4	0,0184	6	49,0	60	1740	69,5	75,0	77,0	0,96	0,97	0,98	18,1	9,04
3,7	5	132S	2,06	7,3	3,4	2,5	0,0329	6	65,0	63	1750	71,0	77,9	80,5	0,84	0,91	0,93	22,5	11,3
5,5	7,5	132M	3,06	7,7	3,2	2,5	0,0457	6	80,0	63	1750	75,6	81,0	83,0	0,88	0,92	0,94	32,0	16,0
7,5	10	132M*	4,20	6,7	2,6	2,4	0,0486	6	82,0	63	1740	77,9	82,5	84,0	0,92	0,94	0,95	42,7	21,3
9,2	12,5	132M*	5,15	6,5	2,2	2,3	0,0543	6	88,0	63	1740	78,0	83,2	84,0	0,85	0,91	0,93	53,6	26,8
Carcasas opcionales																			
0,75	1	80	0,420	7,1	1,7	2,2	0,0030	6	18,0	55	1740	62,3	69,7	72,7	0,73	0,84	0,90	5,22	2,61
0,75	1	90L	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,33	2,67
1,5	2	90L	0,835	8,0	1,9	2	0,0066	6	28,0	58	1750	67,5	74,5	77,0	0,96	0,97	0,98	9,04	4,52
2,2	3	100L	1,22	6,8	2	2,5	0,0097	6	40,0	58	1750	70,0	75,0	76,0	0,61	0,70	0,77	17,1	8,55
3,7	5	112M	2,08	8,0	3,4	2,4	0,0183	6	51,0	60	1730	72,0	77,0	78,0	0,82	0,89	0,93	23,2	11,6
3,7	5	132S	2,06	7,3	3,4	2,5	0,0300	6	65,0	63	1750	71,0	77,9	80,5	0,87	0,92	0,94	22,2	11,1
VI Polos																			
0,75	1	90L	0,627	6,3	1,8	2,3	0,0066	13	27,0	58	1165	60,7	68,7	72,4	0,65	0,74	0,81	5,84	2,92
1,1	1,5	100L	0,912	7,0	2,1	2,7	0,0143	19	37,0	58	1175	62,5	70,5	74,5	0,56	0,66	0,73	9,20	4,60
1,5	2	112M	1,24	8,0	2,2	2,4	0,0220	15	50,0	60	1175	67,6	74,8	77,9	0,78	0,85	0,88	9,90	4,95
2,2	3	112M	1,85	6,1	1,9	1,8	0,0257	11	53,0	60	1160	71,3	76,5	77,3	0,74	0,83	0,87	14,9	7,43
3	4	132M	2,49	8,8	2,6	2,8	0,0738	7	72,0	63	1175	72,2	78,8	81,5	0,65	0,75	0,81	20,6	10,3
3,7	5	132M*	3,08	8,5	2,7	2,6	0,0836	9	78,0	63	1170	79,4	83,6	84,6	0,79	0,86	0,89	22,4	11,2

Nota:

(*) Motores con elevación de temperatura F (105K).

Anexo 4: Tabla de tipos de termocuplas



Fuente: Física II- Diseño industrial.

Anexo 5: Principales caracterisrticas

Imagen	Descripción
	<p>Pila con residuos orgánicos recién vertidos</p>
	<p>Pila en proceso de Mesofila en la U. Agraria</p>
	<p>Pila en proceso de Termofila en la U. Agraria</p>
	<p>Pila en proceso de Maduración en la U. Agraria</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Diagrama de flujo de proceso de compostaje automatizado



Fuente: Elaboración propia.