

**SISTEMA PRODUCTOR DE COMPOST A PARTIR DE HECES HUMANAS
CÓDIGO DE PROYECTO: PG-16-2-04**



JOSÉ ALEXANDER RUIZ NIETO
CÓDIGO: 1210992

JUAN SEBASTIÁN RODRÍGUEZ VILLANUEVA
CÓDIGO: 1210068

SANTIAGO SANTANA VALLEJO
CÓDIGO: 1211035

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2017**

SISTEMA PRODUCTOR DE COMPOST A PARTIR DE HECES HUMANAS

JOSÉ ALEXANDER RUIZ NIETO

CÓDIGO: 1210992

JUAN SEBASTIÁN RODRÍGUEZ VILLANUEVA

CÓDIGO: 1210068

SANTIAGO SANTANA VALLEJO

CÓDIGO: 1211035

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

DIRECTOR:

MSc. Ing. Jennifer Paola Corredor Gómez

Ingeniera Mecatrónica.

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.**

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos y se encuentra preparado para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.



MSc. Ing. Jennifer Paola Corredor Gómez
Director del Proyecto

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la existencia y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, por ser los pilares más importantes y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestros diferentes puntos de vistas. A mi hermana por ser el ejemplo principal de entrega y compromiso para lograr metas que se quieren lograr demostrando que nada es imposible mientras tengamos la entrega .A mi hermano, que a pesar de su presencia física, sé que me está acompañando y que este momento sería tan especial tanto para ti como para mí, A mis abuelos por siempre entregarme la confianza y las ganas de seguir a delante. A mis compañeros que me acompañaron des el comienzo con este gran sueño de ser profesionales y con los cuales se crean grandes lazos de amistad.

José Alexander Ruiz Nieto

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por las metas y las dificultades que he tenido ya que me han enseñado a valorar las oportunidades, A mi madre por apoyarme y acompañarme durante toda mi carrera universitaria, A mi padre quien con sus consejos me supo guiar hacia el camino del bien .A mi hermano por estar siempre a mi lado y apoyarme como amigo y con el cual conviví estos 5 años de mi vida universitaria. A mi novia que me impulso durante la carrera con su apoyo constante y su amor incondicional. A mis amigos con los cuales forme un equipo incondicional para la culminación de esta tesis.

Juan Sebastián Rodríguez Villanueva

Este proyecto de grado va dedicado a Dios, por colmarme de bendiciones a lo largo de la carrera, y permitirme salir adelante.

A mis padres, por estar presentes en mis victorias y derrotas a lo largo de estos años, por darme tan buenas bases para afrontar las adversidades que se van presentando día a día, por mostrarme que para cada problema hay una solución. También va dedicado a mis abuelos, que con su amor y su entrega me criaron con buenos principios. Por último, a cada persona que influyó positivamente en cuanto a mi vida personal y académica.

Santiago Santana Vallejo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy infinitas gracias a Dios, por haberme dado fuerzas y valor para culminar esta etapa de mi vida, agradezco también la confianza y el apoyo brindado por mis padres, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi hermana, que con sus consejos me ha ayudado afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida. A mi hermano, que siempre he sentido su compañía, y que donde este está orgulloso de mi.

Agradezco a nuestra tutora, la Ingeniera Jennifer por su colaboración brindada durante el proyecto.

José Alexander Ruiz Nieto

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, Él fue quien me hizo más valiente en todas las situaciones que se me presentaron en este proceso de vida universitaria. Agradezco a mis padres que con su amor y apoyo fueron el punto clave de inspiración para este proceso, Agradezco a los maestros que gracias a su tiempo nos permitieron obtener la sabiduría para culminar la tesis.

Juan Sebastián Rodríguez Villanueva

Agradezco a Dios por permitirme dar este gran paso, por todas las experiencias que me quedaron a través de estos cinco años. A mis padres, que son el pilar fundamental para culminar mi carrera, por ser la voz de aliento en los momentos que tenía alguna dificultad, les doy gracias por creer en mí y darme ese voto de confianza para poder entrar a una buena universidad.

Agradezco a mis profesores y compañeros, ya que me transmitieron su conocimiento y hoy es el reflejo de lo que aprendí. Por último, a la Ingeniera Jennifer, puesto que depositó la confianza en nosotros y nos guio a lo largo del desarrollo del proyecto.

Santiago Santana Vallejo

TABLA DE CONTENIDO

NOTA DE ACEPTACIÓN	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE ILUSTRACIONES	9
LISTA DE ANEXOS	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	12
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.4 JUSTIFICACIÓN	13
1.5 OBJETIVOS.....	13
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	13
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	13
1.5.3 <i>Alcances y limitaciones del proyecto</i>	13
1.6 MARCO REFERENCIAL	14
1.6.1 <i>Marco teórico</i>	14
1.6.2 <i>Estado del arte</i>	17
1.6.2.1 Abono.....	17
1.6.2.2 Compost.....	18
1.6.2.3 Estiércol.....	19
1.6.2.4 Fertilizantes químicos.....	21
1.6.2.5 Máquinas.....	22
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO	25
1.7.1 <i>Diseño Metodológico Preliminar</i>	25
1.7.2 <i>Costos</i>	26
2 DISEÑO ELECTRÓNICO PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST	28
2.1 SELECCIÓN DE SENSORES	28
2.1.1 <i>Sensor de temperatura DTH11</i>	29
2.1.2 <i>Sensor de pH sen0161</i>	30
2.1.3 <i>Sensor de proximidad capacitivo CR18-8DP</i>	31
2.1.4 <i>Sensor celda de carga HX711</i>	32
2.1.5 <i>Sensor infrarrojo</i>	34
2.2 SIMULACIONES Y PRUEBAS	34
2.2.1 <i>Simulación y prueba con el sensor DHT11 (Temperatura y humedad)</i>	34
2.2.1.1 Simulación del circuito.....	35
2.2.1.2 Implementación del circuito	36
2.2.1.3 Visualización en LCD	36
2.2.1.4 Toma de datos.....	37
2.2.1.5 Comparación de los datos.....	37
2.2.2 <i>Simulación y prueba con el sensor SEN0161 (pH)</i>	38

2.2.2.1	Implementación del circuito con la LCD.....	38
2.2.2.2	Datos del papel de pH.....	39
2.2.2.3	Prueba experimental con el Agua	40
2.2.2.4	Prueba experimental con la Naranja.....	41
2.2.2.5	Prueba experimental con el blanqueador.....	43
2.6	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	45
2.3.1	<i>Diagrama de flujo</i>	45
3	DISEÑO ELECTRÓNICO PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST	47
3.1	SELECCIÓN DE MATERIALES	47
3.1.1	<i>Análisis de la lámina</i>	48
3.1.2	<i>Análisis del perfil lateral</i>	51
3.1.3	<i>Análisis de la compuerta</i>	54
3.1.4	<i>Fuerzas en el engranaje sinfín – corona</i>	57
3.2	SELECCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN	60
4	SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN PARA LA OBTENCIÓN Y EMPAQUETADO DEL COMPOST	64
4.1	SISTEMA DE EMPAQUETADO	64
4.1.1	<i>Método de sellado</i>	65
4.1.2	<i>Método de corte e implementación</i>	66
4.2	ENTREGA A EL USUARIO.....	67
5	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	68
5.1	PRUEBA DE DESCOMPOSICIÓN.....	68
5.2	PRUEBA POR NIVELES	69
5.3	PRUEBA CON LA ESTRUCTURA	70
6	RESULTADOS, DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	74
6.1	RESULTADOS	74
6.1.1	<i>Resultado 1</i>	74
6.1.2	<i>Resultado 2</i>	75
6.1.3	<i>Resultado 3 con la máquina</i>	76
6.1.4	<i>Comparación de resultados</i>	77
6.2	DISCUSIÓN	77
6.3	CONCLUSIONES.....	79
6.4	TRABAJO A FUTURO	79
6.5	PRODUCTOS DERIVADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	79
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Supervivencia de Microorganismos.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2. Parámetros del compost</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3. Contenido de N, P y K en las heces humanas</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4. Tabla de heces de Bristol</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5. Cantidad de inóculo Microbial y agua.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 6. Costos del proyecto</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7. Clasificación de los sensores.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 8. Datasheet sensor DTH11</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 9. Datasheet Sensor pH sen0161.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 10. pH a partir del voltaje.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 11. Resultados sensor DTH11</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 12. Tensiones admisibles en vigas principales.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 13. Selección de procesos</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 14. Resultados de la prueba 1</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 15. Resultados de la Prueba manual con el inóculo</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 16. Resultados de la prueba del sistema productor de compost.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 17. Comparación de resultados.....</i>	<i>81</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Ciclo biológico	14
Figura 2. Mapa conceptual, clasificación de la descomposición de heces	15
Figura 3. Mapa conceptual, clasificación del abono.	17
Figura 4. Ciclo de ecosistema natural y ecosistema transformado.....	20
Figura 5. Fertilizante EM	22
Figura 6. Toxocarosis.....	23
Figura 7. OmniProcessor	23
Figura 8. Inodoro Sun-mar	24
Figura 9. Inodoro Multoa 65	24
Figura 10. Descripción del proyecto	25
Figura 11. Vista frontal del prototipo.....	25
Figura 12. Vista trasera del prototipo	26
Figura 13. Sensor de Temperatura DTH11	29
Figura 14. Sensor de pH sen0161	30
Figura 15. Sensor de proximidad capacitivo CR18-8DP	31
Figura 16. Circuito 7805	32
Figura 17. Sensor celda de carga HX711	32
Figura 18. Celda de carga 5kg.....	33
Figura 19. Trasmisor de celda de carga HX711.....	33
Figura 20. Sensor infrarrojo	34
Figura 21. Simulación circuito Temperatura y humedad	35
Figura 22. Resultado de Temperatura y humedad.....	35
Figura 23. Circuito electrónico Temperatura y humedad.....	36
Figura 24. Visualización de LCD.....	36
Figura 25. Prueba experimental sensor DTH11	37
Figura 26. Resultados experimentales del sensor DTH11.....	38
Figura 27. Implementación del circuito con la LCD	39
Figura 28. Cinta medidora de pH.....	39
Figura 29. Prueba del pH en el agua	40
Figura 30. Medición del pH en el agua con sonda.....	40
Figura 31. Resultado de Medición del pH en LCD.....	41
Figura 32. Resultado de Medición del pH en Arduino	41
Figura 33. Prueba del pH en la naranja.....	42
Figura 34. Medición del pH en la naranja con sonda	42
Figura 35. Resultado de Medición del pH en LCD.....	43
Figura 36. Prueba del sensor SEN0161 en la naranja.....	43
Figura 37. Prueba del pH en el blanqueador	44
Figura 38. Medición del pH en el blanqueador con sonda	44
Figura 39. Resultado de Medición del pH en LCD.....	45
Figura 40. Diagrama de flujo.....	45
Figura 41. Estructura mecánica.....	47
Figura 42. Diagrama de cuerpo libre de la lámina	48

<i>Figura 43. Simulación mdsolid.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 44. Gráfica inercia</i>	<i>49</i>
<i>Figura 45. Gráfica esfuerzo versus deformación</i>	<i>49</i>
<i>Figura 46. Lámina del prototipo</i>	<i>50</i>
<i>Figura 47. Diagrama de Ashby para la lámina</i>	<i>50</i>
<i>Figura 48. Diagrama de cuerpo libre de la base.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 49. Simulación mdsolid.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 50. Gráfica inercia del perfil lateral.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 51. Gráfica esfuerzo versus deformación</i>	<i>52</i>
<i>Figura 52. Base del prototipo</i>	<i>53</i>
<i>Figura 53. Diagrama de Ashby para el perfil lateral y la pata de la estructura</i>	<i>54</i>
<i>Figura 54. Diagrama de cuerpo libre de la compuerta</i>	<i>54</i>
<i>Figura 55. Simulación mdsolid.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 56. Gráfica esfuerzo versus deformación</i>	<i>55</i>
<i>Figura 57. Gráfica compresión y tensión.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 58. Compuerta del prototipo.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 59. Diagrama de Ashby para la compuerta</i>	<i>57</i>
<i>Figura 60. Engranajes del motor para el sellado</i>	<i>57</i>
<i>Figura 61. Gráfica para las deducciones del engrane</i>	<i>58</i>
<i>Figura 62. Gráfica del coeficiente de rozamiento.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 63. Cortado de la lámina</i>	<i>62</i>
<i>Figura 64. Doblado de las láminas</i>	<i>63</i>
<i>Figura 65. Corte de compuertas</i>	<i>63</i>
<i>Figura 66. Estructura soldada</i>	<i>63</i>
<i>Figura 67. Selladora de pedal.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 68. Prensa de la selladora</i>	<i>65</i>
<i>Figura 69. Transformador de la selladora</i>	<i>65</i>
<i>Figura 70. Prueba de sellado</i>	<i>65</i>
<i>Figura 71. Resultado final del sellado</i>	<i>66</i>
<i>Figura 72. Brazo mecánico</i>	<i>67</i>
<i>Figura 73. Empaquetado final</i>	<i>67</i>
<i>Figura 74. Prueba recolección y neutralización manual de las heces</i>	<i>68</i>
<i>Figura 75. Recolección del inóculo microbial</i>	<i>68</i>
<i>Figura 76. Mezcla del agua con los desechos.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 77. Reposo de la mezcla</i>	<i>69</i>
<i>Figura 78. Prueba del sensor de peso.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 79. Resultado del sensor</i>	<i>70</i>
<i>Figura 80. Prueba del motor.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 81. Proceso de la estructura.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 82. Ensamblaje de la estructura.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 83. Activación de la estructura.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 84. Resultados de la primera y segunda fase.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 85. Comprobación de la tercera fase</i>	<i>72</i>
<i>Figura 86. Fase final</i>	<i>73</i>

<i>Figura 87. Prueba de compost artesanal</i>	<i>74</i>
<i>Figura 88. Prueba manual con el inóculo</i>	<i>75</i>
<i>Figura 89. Prueba del sistema productor de compost.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 90. Características generales del prototipo</i>	<i>79</i>
<i>Figura 91. Carta de aceptación CIIMCA</i>	<i>81</i>

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PLANO ETAPA NÚMERO UNO	84
ANEXO B. PLANO ETAPA NÚMERO DOS	85
ANEXO C. PLANO ETAPA NÚMERO TRES.....	86
ANEXO D. PLANO UNIÓN DE ETAPAS.....	87
ANEXO E. PLANO BASE DE LA ESTRUCTURA	89
ANEXO F. PLANO EXPLOSIÓN DEL PROTOTIPO	90
ANEXO G. PLANO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	92
ANEXO H. PLANO CELDA DE PESO.....	96

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día, uno de los principales problemas a los que se enfrenta Bogotá es la contaminación de los ríos con los desagües, según un informe, la contraloría ha invertido más de 1.8 billones para poder descontaminar el río Bogotá (*Dinero, 2016*). Esta contaminación se debe en parte a los desechos que bota la gente en el río, el mal mantenimiento de las cañerías y por último los desechos orgánicos (heces) ha donde va enfocado el proyecto.

La descomposición, es el proceso que se no se está ejecutando de la forma correcta, ya que este depende de factores climáticos óptimos, pero hay que tener en cuenta que la descomposición no ocurre desde que salen del inodoro ya que pasan por muchas canales antes de llegar a las plantas de tratamiento sin contar que estas se queden en el camino, dejando mal olor, generando que la problemática aumente.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A través de los años las personas comenzaron a ubicarse cerca de los ríos, ya que la población ha ido aumentando. Además, los ríos brindan muchas facilidades en cuanto a economía y alimentación. Por otro lado, las prevenciones que se daban años atrás eran muy pocas, los organismos gubernamentales en Colombia se centraron en los daños que se generaban por desastres naturales (Semana, 2015). Como consecuencia de estas invasiones a los ríos cercanos se fueron contaminando con todos los desperdicios que se generaban.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la problemática que se existe con la contaminación de los ríos a partir de los desechos orgánicos que las personas generan, en el mundo 1.800 millones de personas de todo el mundo depende de aguas contaminadas con heces (Welle, 2017). Para disminuir los índices de contaminación, la idea es implementar una máquina en donde las personas depositen las heces y esta se encargue de todo el proceso de conversión a compost. La máquina da continuidad al sistema "Aquatron"¹, proyecto que separa las heces y la orina de los humanos por su densidad. El sistema productor de compost a partir de heces humanas se centrara en la neutralización de las heces y el empaclado, para poder reducir en cierto grado el impacto ambiental que están causando estos desechos.

Es de vital importancia conocer todo sobre los antecedentes de sistemas y mecanismos recolectores de heces que existen para lograr un diseño y una construcción de un dispositivo higiénico, para realizar el proceso de descomposición de las heces de forma adecuada.

¹ *Aquatron opera utilizando sólo el impulso de la descarga de agua, fuerza centrífuga y la gravedad. No es necesario piezas móviles, productos químicos o electricidad para llevar a cabo los procesos de separación.* (Aquatron International AB)

1.4 JUSTIFICACIÓN

La causa principal de la realización del proyecto es para generar conciencia, de que se puede mantener limpias las fuentes hídricas del país comenzando por Bogotá. Del mismo modo al desarrollar este prototipo, las personas que estén cerca de los ríos podrán tendrán una mejor calidad de vida, ya que disminuirá en un porcentaje los malos olores.

Además, al descomponer las heces no de forma natural sino de manera controlada se evitan en primera instancia el desbordamiento de ríos. En segunda instancia, la disminución del impacto ambiental, y por último la reutilización y generación de un recurso ya que el resultado al que se quiere llegar es la obtención del compost neutralizado y empaçado. Otro punto al que se quiere llegar después de haber desarrollado el prototipo, es la implementación de un generador de energía ya que a raíz del compost se puede generar gas natural.

Por estas razones si se sigue desarrollando y mejorando el prototipo se podría pasar de un sector de Bogotá a que disminuya en toda la capital, por otro lado, el prototipo está pensado que sea compacto y sencillo de utilizar sin generar malos olores para que las personas les llame la atención en el momento de utilizarlo.

Hasta el momento en Colombia no se ha incursionado el tema de la reutilización de heces, por eso se quiere innovar y contribuir a mejorar el entorno.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo para transformar las heces de humanos en compost.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar el proceso necesario para elaborar compost a partir de las heces humanas.
- Implementar un módulo de instrumentación para saber exactamente la cantidad de compuestos a mezclar para obtener del compost.
- Diseñar un sistema de control para la etapa del secado del compost.
- Diseñar y construir la estructura mecánica del dispositivo para la producción del compost.
- Diseñar y construir una etapa de empaque para el compost obtenido.

1.5.3 Alcances y limitaciones del proyecto

Los alcances del proyecto es la generación de un gran impacto ambiental en cuanto a los ríos ya que en este sector desembocan todos los desechos (heces) generando una contaminación mayor, al desarrollar este proyecto podríamos disminuir un porcentaje de esa contaminación. Como se mencionó en la justificación, después de desarrollar la idea completa del prototipo, se puede realizar la implementación de un generador de gas natural o utilizar este como abono para las plantas. Por otro lado, las limitaciones que podrían surgir al manejar estos residuos, son exposición del usuario a riesgos biológicos.

Por tanto, el material debe ser seleccionado de la mejor manera, además otra limitación, es el costo de algunos materiales para la toma de datos y el estudio microbiológico para acelerar el proceso de descomposición.

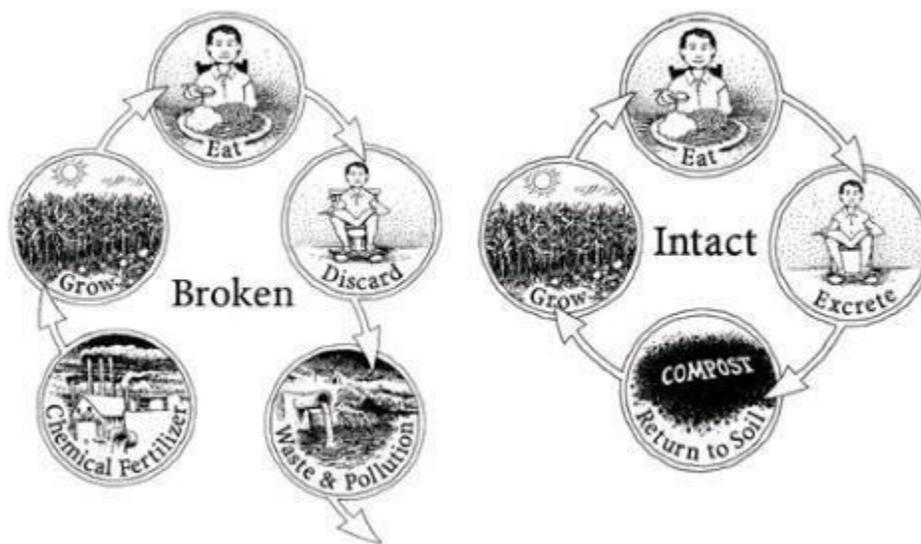
1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 Marco teórico

La investigación realizada para la problemática ambiental y sanitaria, “El Sistema productor de compost a partir de heces humanas”, está realizado a partir de un conjunto de microorganismos que actúan como aceleradores de la fermentación de la materia orgánica (heces) permitiendo que se transforme en abono orgánico con buenas propiedades nutritivas para las plantas y previniendo que ocurran otros procesos no tan convenientes como lo es los procesos de putrefacción y desintegración. (IVÁN, 2015)

En el mundo, solo un 20% de las aguas residuales tienen tratamiento completo (Semana, 2017), por tanto queda un porcentaje agua con sustancias nocivas o aún contaminada que vuelve a retornar a los hogares. Las personas al consumir el agua desde sus casas pueden adquirir enfermedades desde la diarrea hasta contraer enfermedades más complejas.

Figura 1. Ciclo Biológico



Tomado de (Análisis y recursos eco-sociales de adaptación para la transición del siglo XXI)

Para darle solución a la pregunta, ¿Porque es necesario hacer la implementación del prototipo y no dejar que las heces lleguen a los ríos?, hay que tener en cuenta que la mayoría de inodoros usan agua potable, lo que causa en primera instancia, un mayor gasto del recurso y por otra parte tratar aguas residuales sin heces sería más fácil y no tendría un consumo tan alto de energía. (Decker, 2013)

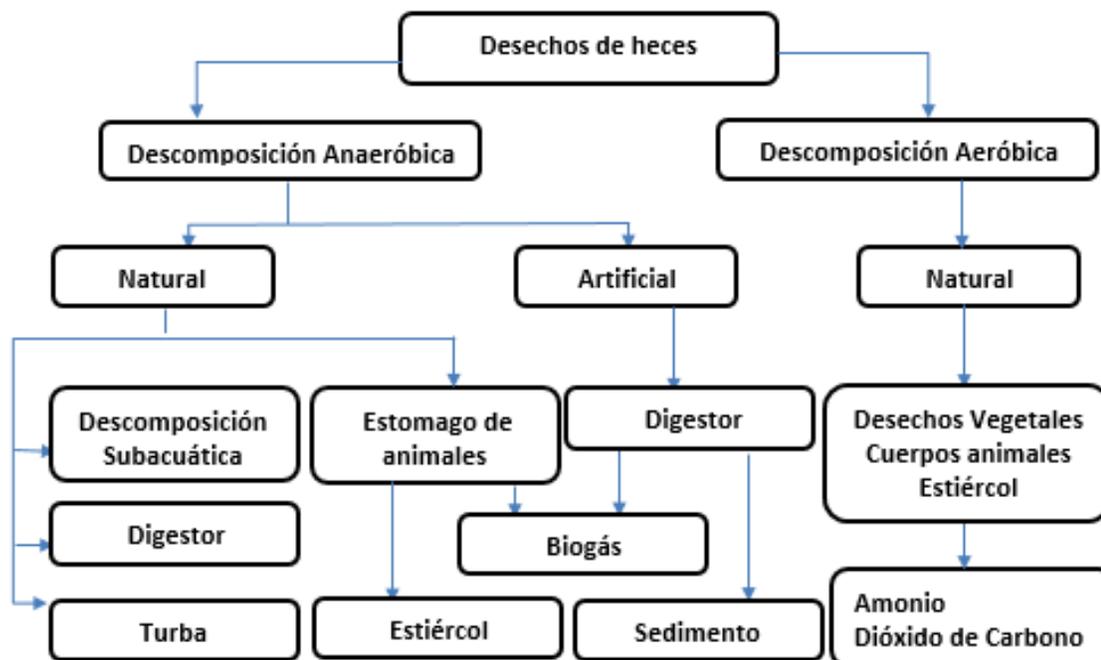
Otro elemento a tener en cuenta, es que si se volvieron a usar estos residuos a cambio de fertilizantes en abono para las plantas disminuiría el gasto de energía, dado que las empresas productoras de fertilizantes gastan mucha. Por ejemplo, las empresas para hacer la

producción deben utilizar gas natural o el carbón. (Decker, 2013) Por ende, la agricultura convencional agroquímica se basa en la dependencia del Agricultor en tecnologías industrializadas que requieren alta inversión de dinero y que debido a su flujo unidireccional (no tiene la posibilidad de reciclar) lleva a la contaminación y degradación ambiental y dificulta el desarrollo económico en el sector rural; Una situación "insostenible" a largo plazo. En países donde la mano de obra y la tierra son los factores más disponibles de producción, como es el caso de Colombia, la agricultura ecológica representa una importante alternativa para el desarrollo y progreso del campo, así como la principal vía para lograr productos más sanos.

En el proceso del compostaje participa una amplia gama de microorganismos que son los encargados de la degradación de residuos orgánicos, los cuales utilizan los desechos orgánicos como las heces. (Ximena, 2008) Gracias a esto se generan productos o elementos nutritivos en formas asimilables para las plantas; razón por la cual es necesario conocer su papel en el proceso de maduración del compost. El manejo de los abonos orgánicos ha sido tradicionalmente utilizado por los agricultores de pequeñas extensiones de tierra, incorporando directamente materiales orgánicos al agro sistema, generando una mala fertilización y desequilibrio del suelo. El compost como proviene de los desechos humanos es rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y al obtener un buen tratamiento puede ser aplicado nuevamente a los cultivos para la recuperación de suelos. No hay que olvidar la importancia que tiene mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, y en este sentido este tipo de abono juega un papel fundamental.

Los desechos orgánicos, si se exponen al medio ambiente, toman como alternativa la degradación, dentro de esta se encuentra el proceso de descomposición oxidativa o el proceso de descomposición fermentativa. (Labza) El proceso de descomposición fermentativa es conocido como abono orgánico fermentado.

Figura 2. Mapa conceptual, clasificación de la descomposición de heces



Se elabora a partir de materia orgánica (heces) a fermentar, bajo condiciones de oxidación incompletas con la acción de microorganismos que ayudan a acelerar el proceso. La materia orgánica con microorganismos fermentadores mantiene el proceso de bajas temperaturas, lo que permite que la energía no sea liberada al exterior durante la elaboración, de esta forma se puede aprovechar la máxima energía del producto (POPULAR, 2012). El uso de un fertilizante que puede ser un concentrado de bacterias específicas asegura buena fermentación, evitando que las bacterias productoras de ácido butírico² comiencen a actuar sobre la materia orgánica provocando putrefacción y malos olores, es por eso que la neutralización es tan importante en el desarrollo del prototipo.

El proceso de descomposición oxidativa se denomina compost³, en el cual los microorganismos aeróbicos participan durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, por lo tanto, en el proceso de la elaboración se necesitan cambios periódicos, en cuanto a cambio de agua, para permitir el ingreso de aires al interior de los materiales orgánicos y así promover la descomposición. Durante este proceso, la materia orgánica pierde mucha energía, ya que se produce una gran cantidad de calor y gas CO₂ que son residuos de la oxidación de la materia orgánica, estos salen del medio ambiente, después de este proceso se obtiene un producto mineralizado con poca energía acumulada (Botanical-online, 1999-2016).

Para la elaboración del compost hay que tener una serie de variables a considerar, como la Temperatura ya que está en función del incremento de la actividad microbiológica del abono,

² Es un producto final de la fermentación de carbohidratos por los microorganismos del rumen. (MEPHISTOS, 2009)

³ Es el resultado de un proceso controlado de descomposición de materiales orgánicos, se construye con el estiércol, desperdicios orgánicos domésticos. (ECOCOMUNIDAD)

que comienza con la mezcla de los componentes. Después de 14 horas del haberse preparado el abono no debe de presentar temperaturas superiores a 50°C (Alemana).

Un segundo aspecto a considerar para el proceso de abono es la Humedad, ya que debe ser de un 50% a un 60% en relación con el peso de la mezcla. Si está muy seco, la descomposición es muy lenta, por tanto, disminuye la actividad de los microorganismos. Por el contrario, si está muy húmedo, falta oxígeno y puede haber putrefacción de los materiales, ya que el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico (sin oxígeno) y el resultado sería una mezcla de mal olor y textura muy suave por el exceso de agua, es necesario tener en cuenta la cantidad de agua a disolver ya que la mezcla debe manejar un porcentaje de humedad entre el 40 y 45% (Mascota, 2015). Otro factor a tener en cuenta es el pH ya que el nivel más conveniente para los microorganismos del suelo está entre 6 y 7.5. Los valores extremos inhiben la actividad microbial. (2012).

El tercer aspecto es la aireación ya que es demasiado importante, significa la presencia de oxígeno dentro de la mezcla, necesaria para la fermentación aeróbica del compost. Si en caso de exceso de humedad la mezcla presentaría un estado anaeróbico y se obtendría un abono de mala calidad (Iberoamericana, 2006).

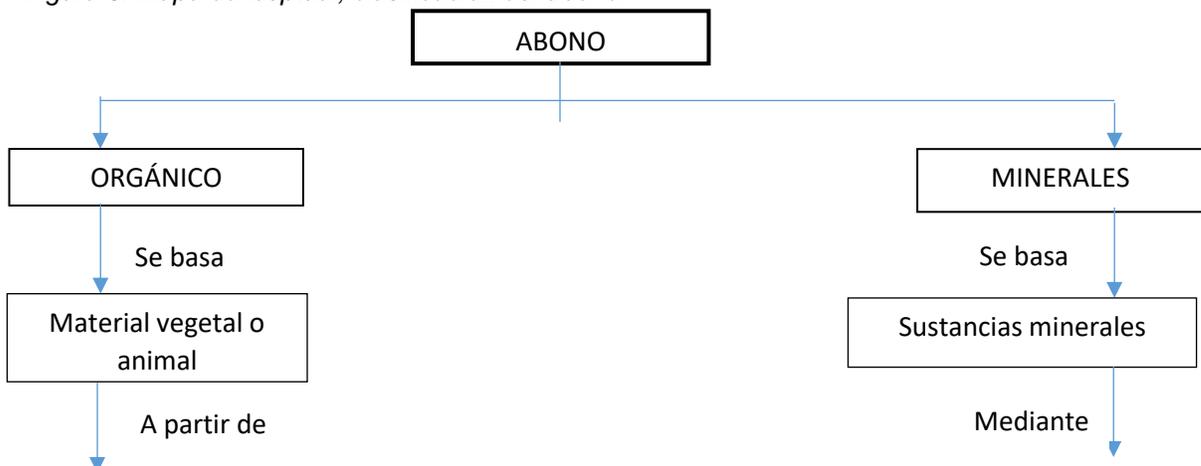
1.6.2 Estado del arte

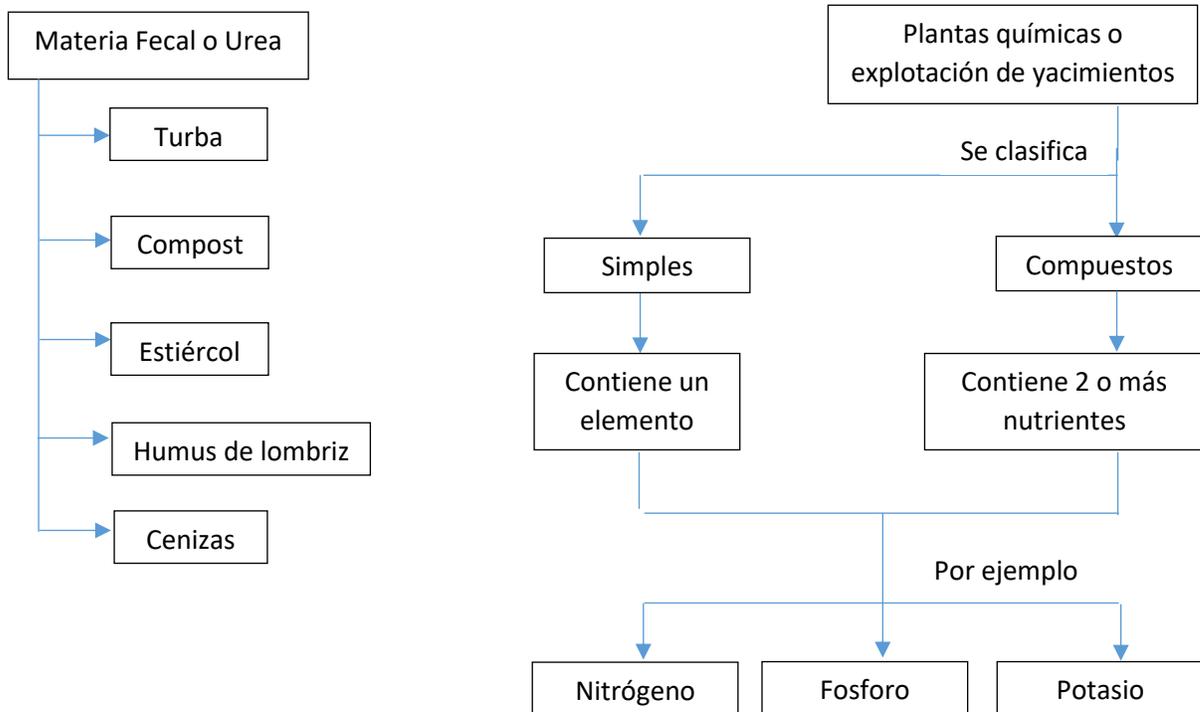
Para comenzar, hay que definir ciertos conceptos, para luego comprender mejor la temática. El primer concepto es el abono, se define “Cualquier tipo de material que mejore la calidad de la tierra, para las propiedades de las plantas. Su función es dar los nutrientes necesarios para ayudar con su crecimiento biológico.” (htt)

1.6.2.1 Abono

En la agricultura se clasifica en, abonos orgánicos y abonos de minerales. Los abonos orgánicos están basados en materiales de residuos vegetales o animales, quiere decir materia fecal y los abonos de minerales son los fertilizantes. En el siguiente esquema se muestra la clasificación.

Figura 3. Mapa conceptual, clasificación del abono.





Para nuestro proyecto se contemplara los tipos de abonos orgánicos y fertilizantes químicos.

1.6.2.2 Compost

Es un proceso de descomposición biológica de residuos orgánicos entre estiércol y hojas que son transformados en compuestos, que poseen materia orgánica y minerales conocidos como compost o abonos orgánicos, cuando son de buena calidad se caracterizan por tener una contextura de pasta color café oscuro, con un olor a tierra mojada. (Ramirez, 2002)

Para realizar un buen compostaje se debe tener en cuenta:

- La Temperatura: El proceso de compostaje inicia con la etapa mesofílica con temperaturas que se encuentra en el rango de 25°C - 40°C; cuando la temperatura alcanza valores entre 45°C - 70°C la fase del proceso pasa a ser termofílica. De estas dos fases la más determinante es la segunda, en la cual se destruyen organismos patógenos, huevos y larvas de insectos.
- La humedad. Al comenzar el proceso se necesita una humedad relativamente alta entre el 30 a 70%, ya que las poblaciones microbianas desarrolladas en los suelos requieren de agua para la formación de su biomasa. Con el paso del tiempo de descomposición la humedad debe ser más baja.
- La aireación. Para que el proceso se desarrolle en forma aeróbicas, los microorganismos deben disponer de oxígeno suficiente.
- Los patógenos: son causantes de enfermedades y pueden pertenecer a cualquiera de las clases de microorganismos. (Bacterias, hongos, virus y protozoos). El diseño de un proceso de compostaje debe tener en cuenta la destrucción de patógenos, ya que la presencia de ellos afecta la temperatura. Estos organismos se adaptan a temperaturas por debajo de los 42 °C;

Cuando el proceso de compostaje funciona correctamente se considera que mueren cuando se exponen todas las partes de la mezcla a temperaturas de 55 °C.

Tabla 1. Supervivencia de Microorganismos.

Micro-organismos	<i>Salmonera S.</i>	<i>Shigella s</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Áscaris lumbricoides</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Leptospira philadelphia</i>	<i>Micro Bacterium tuberculosis</i>	<i>Streptococci pyogenes</i>
Observación de supervivencia	Muerte dentro de una hora a 55 °C y dentro de 15 a 20 minutos a 60 °C	Muerte dentro de una hora a 55 °C	La mayoría muere dentro de 1 hora a 55°C	Mueren en menor tiempo De 1 hora a T por encima de 50 °C	Destruídos a 49°C	2 días	14 días	Muere dentro minutos a 54

Tomado de (adaptada de Luque, 1997 y Thobanoglous et al., 1994)

Sistemas de compostaje se pueden clasificar en Sistemas abiertos y Sistemas cerrados. Los Sistemas abiertos son aquellos dispositivos que se pueden ubicar al aire libre o cubiertos, se encuentran diferentes tipos (apilamiento estático, con aireación por succión, con aire espirado en conjunción con control de temperatura, apilamiento con volteo y apilamiento con ventilación forzada) funcionan por un lado con remoción del material o sin la necesidad del ingreso de aire ni remoción. (TROCHEZ, 2005)

Por otra parte se encuentran los sistemas cerrados, constan de dispositivos de pequeño tamaño para reducir las mezclas de compost. Se pueden encontrar, reactores verticales, la clasificación de este sistema son:

- Continuos: los desechos orgánicos se encuentran en masa única y se tiene control de la temperatura, aireación y características de los gases. Este sistema emplea un tiempo de dos semanas aproximadamente.
- Discontinuos: son Reactores divididos en varios niveles de altura, donde la masa se voltea en la parte superior descendiendo al siguiente nivel según su madurez. El tiempo de fermentación es de una semana.
- Estáticos: Tiempo de compostaje de 15 a 30 días. En este sistema el producto requiere un compostaje posterior.
- Dinámico: consiste en un sistema cilíndrico rotatorio donde los residuos permanecen en el reactor de 24 a 36 horas. El material es depositado posteriormente en pilas o reactores. (TROCHEZ, 2005)

En el caso de nuestro prototipo se eligió el sistema cerrado, ya que el tipo de reactor es vertical y permite pasar a cada fase fácilmente, además el sistema tiene en parte la clasificación continua y discontinua. Se puede clasificar continua, dado que se puede controlar la temperatura, humedad y la características de los gases, ahora bien, se puede clasificar discontinuo debido a que el prototipo está dividido en niveles de altura.

Un elemento central que hay que tener en cuenta es la Normatividad Nacional para determinar si un compost es bueno o no comercialmente, hay que considerar parámetros

físico-químicos y microbiológicos, según la NTC 5167⁴ y la resolución 00150 de 2003, establece los parámetros necesarios para asegurar que el compost sea óptimo para los suelos.

Tabla 2. Parámetros del compost.

Parámetro	Limites permisibles
Humedad	15 % máximo
Contenido de Carbono Orgánico Total	5 –15 %
N total +P2O5 + K2O	10% mínimo
Riqueza mínima de cada elemento	2%
CaO + MgO + elementos menores	10% mínimo
Densidad	> 1 g/cc

Tomado de (adaptada de Luque, 1997 y Thobanoglous et al., 1994)

1.6.2.3 Estiércol

El estiércol es una constitución de excrementos sólidos y líquidos de los animales, es rico en nutrientes y materia orgánica. Este proyecto quiere enfocar más adelante a generar abono el cual nos permita obtener un eficiente nivel para la fertilización de las plantas. La cantidad de nutrientes presentes en el estiércol dependen de la edad, la alimentación y la clase animal, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de nitrógeno, potasio y fósforo presentes en el estiércol humano que pueden llegar a ser asimilados por las plantas. (GONZÁLEZ, 1995)

Tabla 3. Contenido de N, P y K en las heces humanas.

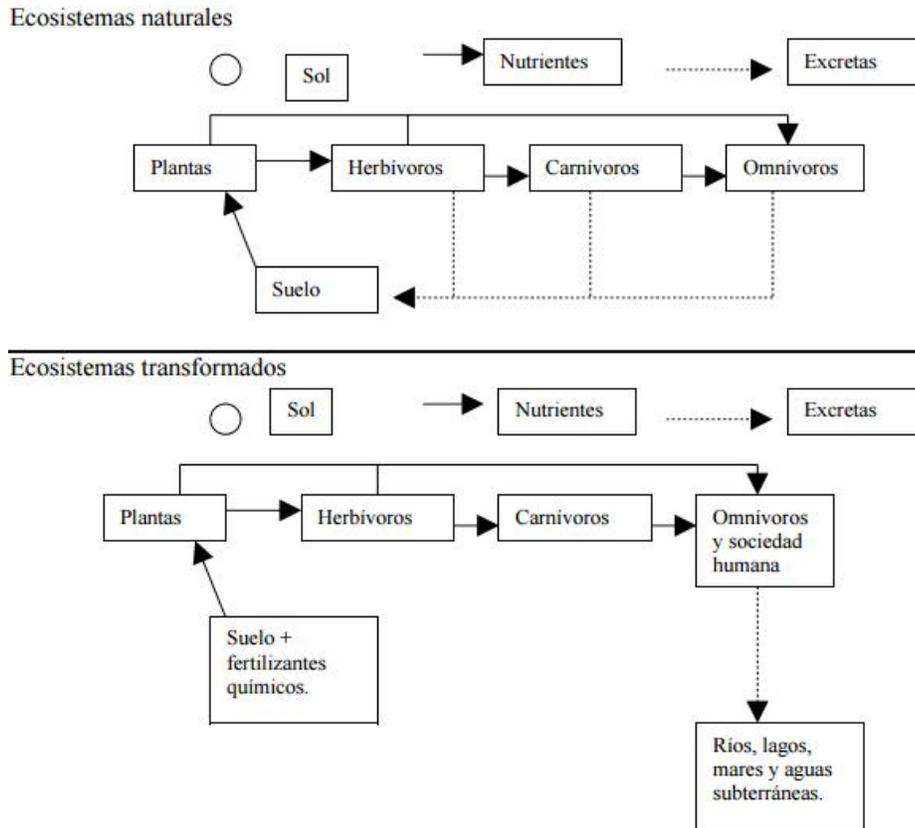
	Orina	Heces
Volumen (l/p/d)	1.2	0.15
Nitrógeno (g/l)	3	2
Fósforo (g/l)	0.8	0.6
Potasio (g/l)	1.3	0.6

Tomado de (Francisco J. Arroyo, 2005)

En los ecosistemas que aún no han sido modificados por el hombre, las heces y la orina de los animales se reciclan llegando al suelo, de manera que las plantas reciben nutrientes. En el siguiente esquema se puede observar el impacto ambiental que se está causando al cerrar este ciclo natural y donde van a parar los desechos.

Figura 4. Ciclo de ecosistema natural y ecosistema transformado.

⁴ Norma Técnica Colombiana 5167, productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. (Icontec Internacional, 2011)



Tomado de (G.D, y otros, 2005)

Se debe tener en cuenta el olor, tamaño, consistencia de las heces y la frecuencia de las deposiciones.

En cuanto al olor, existen bacterias presentes en las heces las cuales producen gases y el mal olor. El olor varía en función de lo que se consume, ya que el olor se vuelve intenso cuando las comidas y bebidas manejan un alto grado de sabores artificiales y químicos.

De acuerdo al tamaño, las heces por lo general no indican un problema (Mercola, 2013). Sin embargo, cuando las heces adquieren una forma semejante a un lápiz o toman la forma de una cinta, indica estrechamiento u obstrucción del colon. Las personas que sufren de síndrome de colon irritable con alternancia de diarreas pueden a veces hacer heces estrechas. Por el contrario también existen casos donde se presentan heces muy anchas, debido a escasa absorción de minerales. El diámetro ideal es de 2.5 cm a 5 cm.

Las heces saludables miden aproximadamente 30 cm de largo. Si son más cortas puede significar que el colon no procesa correctamente los alimentos y que las heces no tienen suficiente humedad, explica la terapeuta en colonics.

Heces con mucosidad⁵, se considera normal cuando las heces tienen una pequeña cantidad, ya cuando existe la presencia de mucosidad excesiva y especialmente si se acompaña de sangrado o cambios en los hábitos de defecación, puede ser una señal de alarma.

Cuando aparecen trozos de alimentos en las heces significa que estos no se han digerido, es decir, que el organismo no los ha absorbido. Muchos alimentos al ingerirse, como ciertos tipos de fibras, no se absorben.

Por otro lado, la tabla de heces de Bristol⁶, clasifica la materia fecal en siete tipos. Cada uno de estos tipos depende del tiempo que la materia fecal haya permanecido en el colon. Una vez que la materia fecal llega al inodoro, lo que se ve es el resultado de la dieta, la ingesta de fluidos, las medicaciones y el estilo de vida. Lo más importante a la hora de mover los intestinos es que las heces sean blandas y pasen sin esfuerzo. Las heces ideales son las numeradas 3 y 4 en la tabla de Bristol.

De acuerdo con la tabla (*Tabla 4.*), se manejan los siguientes grupos:

Tipos 1 y 2 indican constipación

Tipos 3 y 4 son las heces ideales

Tipos 5 y 6 pueden indicar diarrea y urgencia.

Tipo 7 indica diarrea

Tabla 4. Tabla de heces de Bristol.

⁵ La mucosidad es una sustancia gelatinosa que fabrican los intestinos para mantener la pared del colon húmeda y lubricada.

⁶ Desarrollada por Heaton y Lewis en la Universidad de Bristol, Gran Bretaña, y se publicó por primera vez en el Diario escandinavo de gastroenterología, en 1997.

Escala de heces de Bristol

Tipo 1		pedazos duros separados, como nueces (difícil de excretar)
Tipo 2		Con forma de salchicha, pero llena de bultos
Tipo 3		Como una salchicha pero con rajaduras en la superficie
Tipo 4		Como una viborita, suave y blanda
Tipo 5		Pedazos blandos con bordes claros (se excretan fácilmente)
Tipo 6		Pedazos blandos con bordes deshechos
Tipo 7		Aguado, sin trozos sólidos. Enteramente líquido

Tomado de (Mercola, 2013)

1.6.2.4 Fertilizantes Químicos

Los fertilizantes químicos son obtenidos de procesos industriales, este se utilizara en el proyecto para darle un menor tiempo a la elaboración del compost además de neutralizarlo, pues estos tienen nutrientes que ayudan a que el proceso sea más ágil. Al utilizar algún fertilizante dan a nutrientes a la mezcla como nitrógeno, potasio y fósforo. Los fertilizantes están clasificados en simples y compuestos, los primeros se caracterizan por contener un solo nutriente, mientras los compuestos poseen más de un nutriente (GOMEZ, 2017). El estado físico de los abonos sintéticos puede ser sólido, líquido y gaseoso. Según el ICA⁷ por la resolución 00150 del 21 de enero de 2003 clasifica los fertilizantes químicos en Inorgánicos, en los cuales los nutrientes garantizados se presentan como sales inorgánicas obtenidas por extracción o por procesos industriales físicos o químicos. La urea, la cianamida cálcica, el azufre, la harina de cuernos y el superfosfato de huesos, entre otros, por conveniencia, se han clasificado como fertilizantes inorgánicos.

También en esta categoría se puede encontrar, Fertilizantes con base en elementos secundarios y Fertilizantes con base en micros nutrientes.

A pesar que los fertilizantes químicos son muy utilizados y tienen efectos inmediatos en el desarrollo de los cultivos y su abuso trae consecuencias negativas al medio ambiente como:

⁷ Instituto Colombiano Agropecuario (Ministerio de agricultura y desarrollo rural)

- La eutrofización, consiste en un alto contenido de nutrientes en el agua, que trae como consecuencia el crecimiento desmedido de algas y cianobacterias, cuya descomposición disminuye la cantidad de oxígeno presente. **(GOMEZ, 2017)**
- La acidificación de suelos, debido a la fijación de productos nitrogenados en el suelo.

En el desarrollo del proyecto se ha pensado utilizar el siguiente fertilizante (*Figura 5.*) ya que brinda los nutrientes necesarios para ayudar el proceso de neutralización de modo que cuando se incorpore el líquido a las heces estas no se dañen, así mismo, cuando se vaya a realizar el proceso de secado las heces adquieran hongos.

Figura 5. Fertilizante EM.



Realizado por (Autor)

Según el estudio que se hizo con la empresa llamada Fundases⁸, nos ayudaron en la selección del anterior inóculo, el cual se agregan 250 ml por cada 10 kg, con 17 L de agua. Por tal motivo se escogió desde 90 g hasta 300 g para saber cuánto es la cantidad de inóculo microbial y agua hay que agregar respectivamente.

Tabla 5. Cantidad de inóculo Microbial y agua.

Heces (Kg)	Agua (L)	Inóculo (ml)	Microbial
0,090	0,153	2,250	
0,125	0,212	3,125	
0,150	0,255	3,750	
0,175	0,297	4,375	
0,200	0,340	5,000	
0,225	0,382	5,625	
0,250	0,425	6,250	
0,275	0,467	6,875	
0,300	0,510	7,500	

⁸ <https://www.fundases.net/>

Realizado por (Autor)

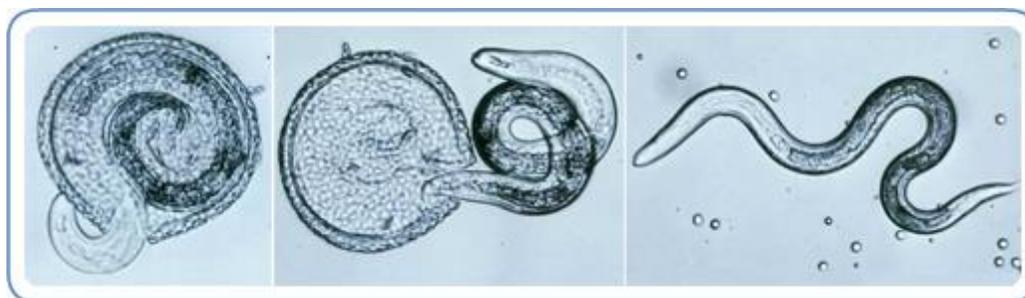
1.6.2.5 Máquinas

El tema que se va desarrollar se remonta al siglo XIX, cuando las comunidades crearon la idea de poner los residuos o desechos humanos a través de sistemas de drenaje para transporta lo que se conoce hoy en día “aguas negras” **(G.D, y otros, 2005)**. Poco a poco, se fueron desarrollando plantas de tratamiento para contrarrestar los problemas de tener las canales cerca; Estas plantas reducen el problema de nutrientes y hormonas, pero difícilmente limpian totalmente el agua ya que quedan desechos en los lodos residuales.

Cuando las aguas negras sale a un rio, este se contamina y eutrofia, como se había dicho anteriormente las algas y plantas crecen desmedidamente causando así diferentes disturbios en los ecosistemas acuáticos, sin contar los peces que puedan estar ahí. Además conlleva a un riesgo para la salud de las personas ya que estos desechos contienen parásitos, virus y bacterias que pueden provocar enfermedades gastrointestinales, oftalmológicas, quistes e incluso aborto en gestantes **(Iberoamericana, 2006)**.

Por otro lado, el riesgo de manejar con desechos es muy alto, a partir de parásitos (Toxocarosis, ancylostoma giarda) que flotan en el medio ambiente y pueden ser absorbidas por una persona al respirar, “causando estrabismo en los niños, pérdida gradual de la vista e incluso ceguera; el ancylostoma giarda ataca el aparato gastrointestinal; La toxoplasmosis puede provocar problemas en el globo ocular y también aborto en madres gestantes o retardo mental en el bebé. Además existen otros parásitos nocivos para el organismo humano.” **(Rodriguez, 2013)**

Figura 6. Toxocarosis



Tomado de (www.cdc.gov)

Según lo anterior, la actividad agropecuaria es de fundamental importancia ya que la idea inicial parte desde los desechos de los animales de granja pero ahora el problema va en aumento, debido a que no se tiene control de desechos tanto de los animales ni de los humanos en la ciudad. Ahora se busca solventar la problemática energética-ambiental realizando un adecuado manejo de los residuos. Al pasar los años se ha visualizado el resultado de este proceso, con un alto grado de adquisición de nutrientes y materia orgánica ideales para regenerar suelos, es el caso del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

(Cinvestav) que usa el tratamiento anaeróbico para transformar los desechos en minerales y en un proyecto piensa utilizar el líquido del biodigestor para comercializar y generar un fertilizante líquido.

Lo mismo ocurre con la máquina “OmniProcessor” también basado en el uso de heces, energía de vapor y filtración de agua (**Ecoportal.net, 2015**).

Figura 7. OmniProcessor



Tomado de (<http://www.ecoportal.net>)

Gracias a este proyecto se puede observar la problemática tan grande que hay en el mundo, por ejemplo el caso de, (**Ecoportal.net, 2015**) OmniProcessor, se enfrenta a problemas de saneamiento adecuado. A raíz de esto, alrededor de 1,5 millones de niños mueren cada año por la ingesta de agua y alimentos contaminados, y en los hospitales en países en vías de desarrollo, la mitad de los pacientes ingresan por problemas con el agua. Este proyecto tiene el mismo enfoque de nuestro prototipo ya que transforma las aguas residuales generando agua limpia y además genera fertilizantes.

El siguiente proyecto es un inodoro ecológico que transforma las heces y la orina en abono y combustible (**EL TIEMPO, 2012**), este sistema al utilizarse ahorra un 90% de agua. El inodoro compostador de plástico “Sun-mar”, también es un sistema parecido que se centra en el mezclado con material orgánico que el usuario desee añadir (cascaras de fruta).

La ventaja de este sistema es la rápida descomposición del compost, ya que permite que las heces no generen olor (**Boullosa, 2014**), ahora bien, este sistema necesita un sistema de desagüe para evacuar el exceso de humedad.

Figura 8. Inodoro Sun-mar.



Tomado de (<https://faircompanies.com/articles>)

Por último, el sistema que comparte el mismo ideal a nuestro prototipo es el “Inodoro compostador Multoa 65” (Boullosa, 2014), puesto que es lo más parecido a un inodoro convencional, además maneja un indicador electrónico que indica cuando el sistema está lleno.

Figura 9. Inodoro Multoa 65.



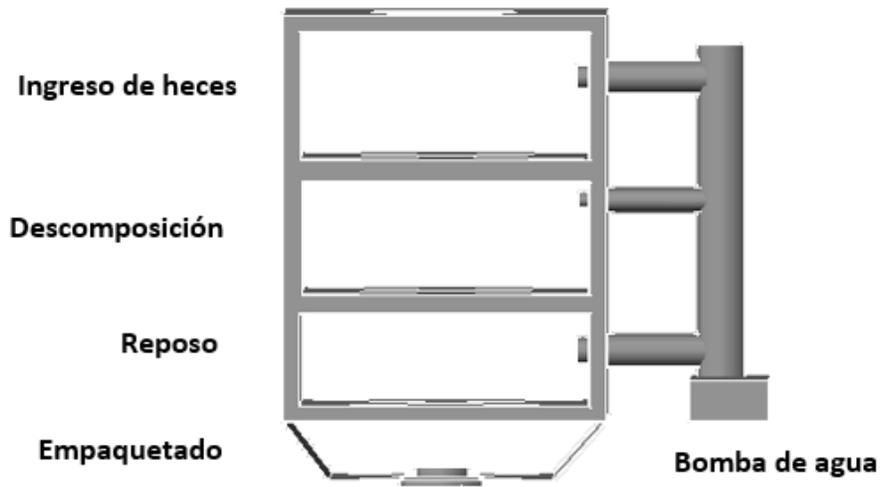
Tomado de (<https://faircompanies.com/articles>)

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1 Diseño Metodológico preliminar

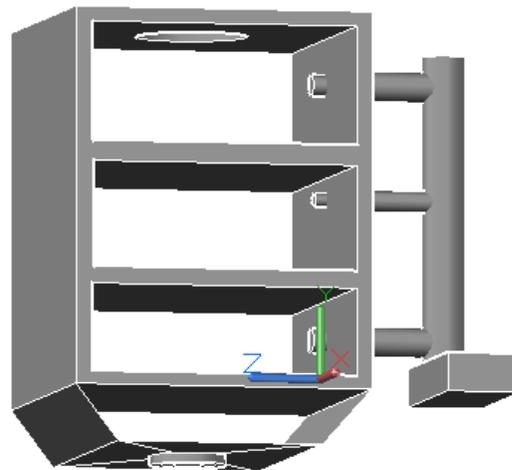
El dispositivo está pensado de forma vertical, la cual está dividida por etapas. La primera etapa es la descomposición de las heces, en donde se mezclarán las heces con las sustancias respectivas. La segunda etapa consta de una etapa de reposo, donde la materia continúa el proceso de descomposición hasta llegar al abono y la tercera etapa es la de empaquetado, la cual consta de unas aspas para poder cortar el empaque. Se puede observar el proceso en la siguiente imagen.

Figura 10. Descripción del proyecto.



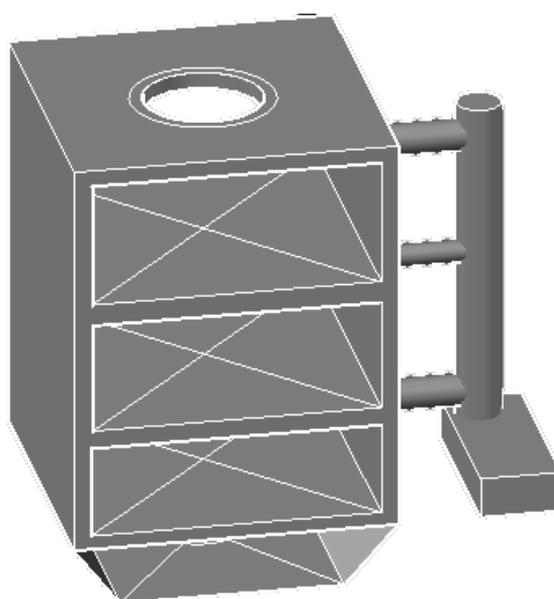
Realizado por (Autor)

Figura 11. Vista frontal del prototipo.



Realizado por (Autor)

Figura 12. Vista trasera del prototipo



Realizado por (Autor)

1.7.2 Costos

Durante el desarrollo del proyecto, se realizó la compra de los siguientes materiales para desarrollar el prototipo en condiciones óptimas. La siguiente tabla muestra todos los materiales que se tuvieron que comprar a lo largo del proyecto.

Tabla 6. Costos del proyecto

N°	MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	LÁMINA DE ACERO CALIBRE 20	1	\$37.000	\$37.000
2	SERVO MOTORES	4	\$20.000	\$80.000
3	MODULO HX711	1	\$7.000	\$7.000
4	CELDA DE CARGA	1	\$15.000	\$15.000
5	SENSOR DHT11	1	\$8.900	\$8.900
6	MICRO BOMBAS	2	\$15.000	\$30.000
7	MÓDULO RELE	1	\$8.700	\$8.700
8	VENTILADOR	1	\$16.000	\$16.000
9	LCD 20X4	1	\$30.400	\$30.400

10	INTERFACE I2C	1	\$6.400	\$6.400
11	ARDUINO	1	\$26.000	\$26.000
12	JUMPERS	1	\$15.000	\$15.000
13	MOLINO	1	\$200.000	\$200.000
14	SENSOR DE PH	1	\$150.000	\$150.000
15	SENSORES DE PROXIMIDAD	3	\$180.000	\$540.000
16	MICROSWITCH	1	\$20.000	\$20.000
17	CINTA TEFLÓN	1	\$12.000	\$12.000
18	PERILLA Y BISAGRA	1	\$18.000	\$18.000
19	35 CM DE ALAMBRE FERRONIQUEL	1	\$12.000	\$12.000
20	TORNILLOS	15	\$150	\$2.250
21	TRANSFORMADOR	1	\$15.000	\$15.000
22	CABLE UTP	1	\$20.000	\$20.000
23	MANO DE OBRA			\$250.000
24	OTROS			\$200.000
25	TOTAL			\$1.719.650

Realizado por (Autor)

2. DISEÑO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST

2.1 SELECCIÓN DE SENSORES

Para el proyecto es necesario deducir criterios de la selección de los sensores, lo primero es saber qué variables vamos a controlar en el proyecto, además se debe tener en cuenta las características y factores del proceso a el cual se están sometiendo los sensores.

La siguiente tabla muestra la clasificación de los sensores, además de la clasificación según los factores a considerar.

Tabla 7. Clasificación de los sensores.

MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA Y SALIDA	ALIMENTACIÓN	OTROS
Margen de medida	Sensibilidad	Tensión	Peso
Resolución	Tipo de tensión	Corriente	Dimensiones
Exactitud deseada	Forma de la señal	Potencia	Vida útil
Precisión deseada	Impedancia de entrada y salida	Frecuencia	Costo de adquisición
Linealidad del sensor	Destino presentación analógica o digital	Estabilidad	Disponibilidad
Tiempo de respuesta			Tiempo de instalación
Límites de la magnitud			

Realizado por (Autor)

Todas estas variables se tienen en cuenta para hacer la selección de los sensores teniendo en cuenta las siguientes variables:

- temperatura.
- humedad.
- carga.
- proximidad.
- PH.

Después de tener claro los costos, ventajas y desventajas de los sensores, se escoge los sensores que mejor se acoplan al dispositivo.

2.1.1 Sensor de Temperatura DHT11

Figura 13. Sensor de Temperatura DHT11



Realizado por (Autor)

El dispositivo DHT11 cuenta con un sensor de temperatura y humedad complejo con una salida de señal digital calibrada. Mediante el uso exclusivo de la adquisición de señales digitales de temperatura y sensibilidad a la humedad.

Este sensor incluye una medida de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC (Soloelectronicos, 2013), este sensor al conectarse ofrece una excelente calidad, respuesta rápida, anti-interferencia Capacidad y rentabilidad.

Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP, Que son utilizados por el sensor de detección de la señal interna del proceso. La interfaz serie de un solo hilo hace la integración del sistema rápida y fácil.

Por último, el sensor tiene un componente de 4 pines de una sola hilera de paquetes.

Tabla 8. Datasheet sensor DHT11.

RANGO DE MEDICION DE HUMEDAD	20-90% HR
RANGO DE MEDICION DE TEMPERATURA	0-50°C
PRESICION DE TEMPERATURA	+/-2°C
PRESICION DE HUMEDAD	+/-5%HR

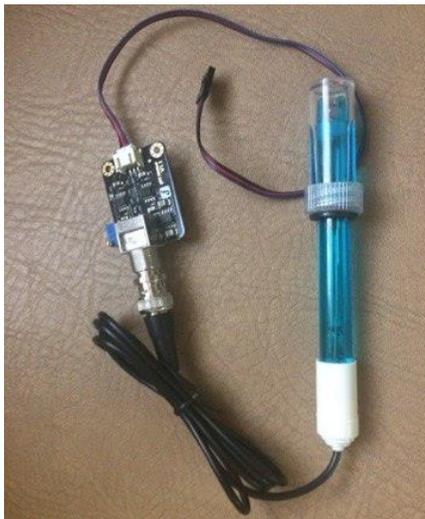
Tomado de (<http://soloelectronicos.com>)

La fuente de alimentación del DHT11 es 3 a 5.5V DC. Cuando se suministra energía al sensor, es necesario no enviar ningún comando al sensor en menos de un segundo ya que este puede pasar a estado inestable.

Lo que caracteriza el sensor es el tamaño, ya que cuenta con 12mm de ancho y 15.5mm de largo, de modo que ahorra espacio y genera una respuesta rápida.

2.1.2 Sensor de pH sen0161

Figura 14. Sensor de pH sen0161



Realizado por (Autor)

El Medidor de pH analógico, es diseñado para los controladores de Arduino. Esta cuenta con conexiones y características simples, convenientes y prácticas (Colombia), además cuenta con un LED que funciona como el indicador de encendido, un conector y pH 2,0 interfaz del conector BNC⁹.

Para usarlo, simplemente se conecta el sensor de pH con conector BNC y enchufe el interfaz de pH 2,0 en el puerto de entrada analógica a cualquier controlador Arduino. Si realiza la programación y calibración del sensor se podrá obtener el valor de pH con facilidad. La siguiente Tabla muestra las características del sensor de pH

Tabla 9. Datasheet Sensor pH sen0161.

Módulo de potencia	5 V
Tamaño	43 mm × 32 mm
Rango de Medición	0 – 14 pH
Temperatura	0 – 60 °C
Tiempo de respuesta	≤ 1
Cantidad de pines	3
Longitud del Cable	660 mm

Tomado de (<http://soloelectronicos.com>)

⁹ Conector BNC, consiste en la entrada de la sonda del sensor de control de pH. (Colombia)

Características pH

Para calcular el valor final del pH, hay que tener en cuenta que la salida del electrodo de pH se da en mili voltios, por tanto el valor del pH va variando conforme a la variación del voltaje.

Tabla 10. pH a partir del voltaje.

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Tomado de (<https://www.dfrobot.com>)

2.1.3 Sensor de proximidad capacitivo CR18-8DP

Figura 15. Sensor de proximidad capacitivo CR18-8DP



Realizado por (Autor)

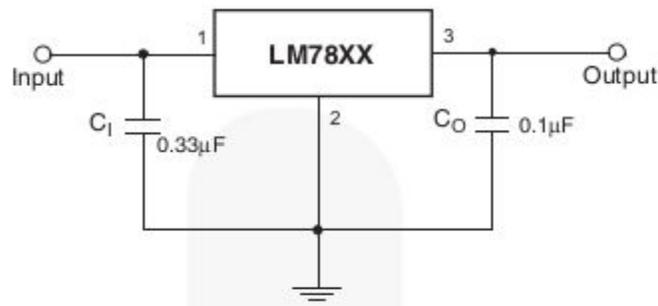
El CR18-8DP es un sensor capacitivo, cuenta con una distancia de detección de hasta 8 mm (Autonics). La ventaja al usar este sensor es la detección de una amplia variedad de materiales, ya que no sólo detecta materiales conductores tales como el hierro y el metal, también detecta materiales no conductores tales como plástico, agua, piedra y madera. Por otra parte, el sensor cuenta con un alto grado de sensibilidad que permite al usuario emplear el dispositivo en diferentes tipos de áreas.

Por ende, la detección capacitiva es un avance en la tecnología para reemplazar los métodos mecánicos para aplicaciones como detección de proximidad, análisis de materiales, nivel de líquido etc.

El sensor cuenta con una función normal de apertura PNP, en segundo lugar tiene una larga vida útil ya que el circuito de este sensor posee una protección contra sobretensiones y polaridad inversa, en tercer lugar el sensor CR18-8DP tiene la facilidad de ajustar la distancia de detección por medio de un potenciómetro, por último la alimentación es de 12 V.

En la realización del proyecto es necesario usar un convertor de voltaje para pasarlo a 5V, para ello se puede usar un 7805.

Figura 16. Circuito 7805.



Tomado de (<http://www.electrontools.com>)

2.1.4 Sensor celda de carga HX711

Figura 17. Sensor celda de carga HX711.

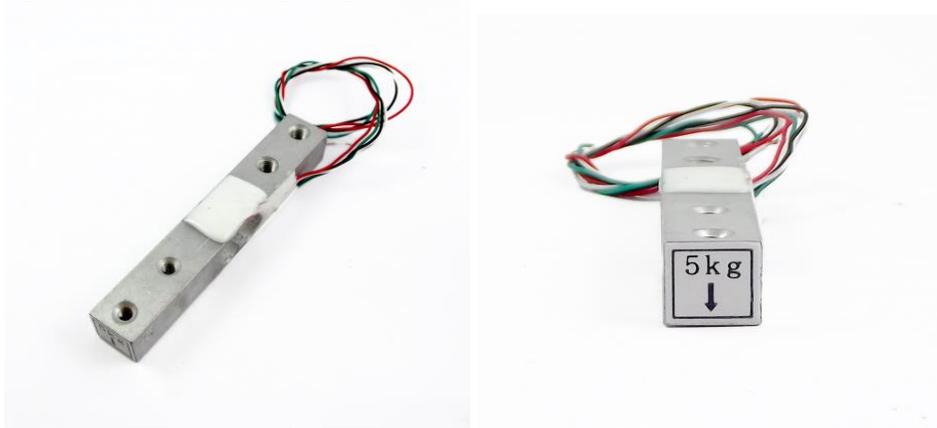


Realizado por (Autor)

Para el proceso de peso en el dispositivo, se implanto un sensor, el cual está compuesto por una celda de carga. Esta celda consiste en un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica (mechatronics), esto lo hace a través de galgas internas que configuradas en un puente Wheatstone.

Existen diversos tipos de Celdas de carga, dependiendo el peso que se quiera depositar, la celda de carga que se implementará en el dispositivo es la de 5 Kg (Figura 18).

Figura 18. Celda de carga 5kg.



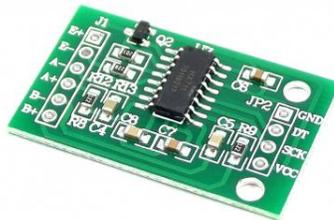
Tomado de (<http://www.naylampmechatronics.com>)

Por otro lado, para el correcto funcionamiento del sensor es necesario incorporar un transmisor de celda de carga HX711.

Consiste en un módulo entre la celda de carga y el microcontrolador, permitiendo leer el peso de manera sencilla. Internamente se encarga de la lectura del puente wheatstone formado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital.

Este sensor es utilizado en procesos industriales, sistemas de medición automatizada e industria médica. Se comunica con el microcontrolador mediante 2 pines (Clock y Data) de forma serial.

Figura 19. Trasmisor de celda de carga HX711.



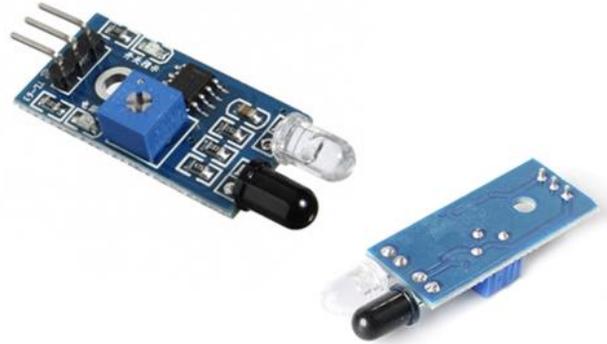
Tomado de (<http://www.amgkits.com/sensores>)

En cuanto al proceso de pesado, es necesario instalar la celda de carga con separadores, debido a que debe existir una distancia de la base y el recipiente de la celda para que la parte central quede libre; además hay que tener en cuenta que el sentido de la flecha indica la dirección de la fuerza o peso a aplicar.

Por último, la fórmula que se usa para obtener el peso real de lo que se requiera medir es el valor analógico entregado por el Arduino dividido entre el peso real del objeto a medir.

2.1.5 Sensor infrarrojo

Figura 20. Sensor infrarrojo.



Tomado de (<https://www.luisllamas.es>)

Este dispositivo detecta la presencia de un objeto mediante la reflexión que produce la luz (Llamas, 2016). Está compuesto por un led que es el emisor de la luz infrarroja y un fotodiodo que recibe la luz reflejada por algún objeto.

El sensor cuenta con un rango de 5 a 20 mm, además este sensor es vulnerable al tipo de material que este en frente. Por tal motivo, no cuenta con una precisión suficiente.

El sensor infrarrojo a diferencia del sensor CR18-8DP tiene un costo barato, ya que el montaje es sencillo y los materiales de composición no son caros. Otro factor del sensor, son los 3 pines de entrada. Cuenta con VCC, tierra y el pin de salida que va directo al Arduino.

2.2 SIMULACIONES Y PRUEBAS

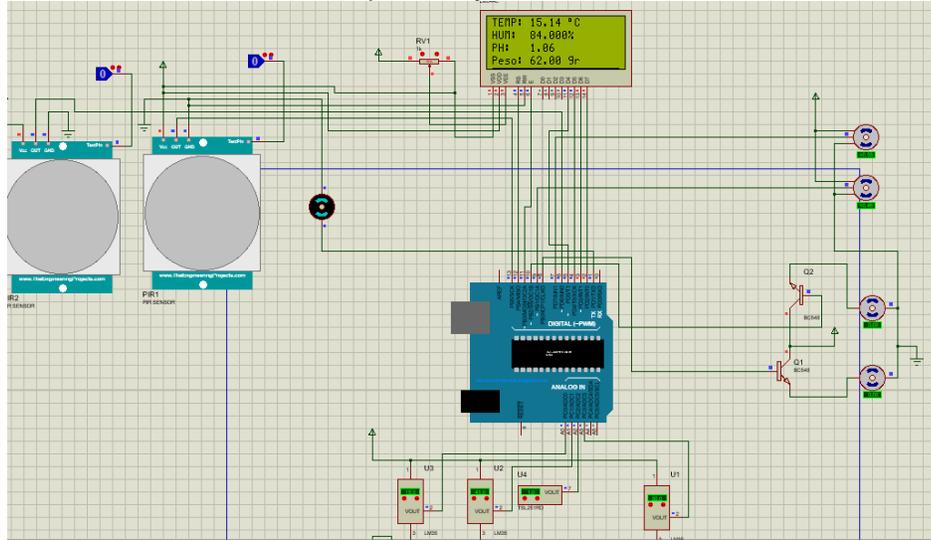
Debido a que los componentes eléctricos necesitan de ser evaluados y junto con ellos los circuitos, en el caso del dispositivo son los sensores, es necesario hacer pruebas con el fin de evaluar el estado en que se encuentran estos componentes y saber si la señal suministrada por ellos es la correcta; además comparar los resultados teóricos con los experimentales. Por tanto, se tomaron los sensores (Temperatura, humedad, pH) y se realizaron una serie de pruebas.

2.2.1 Simulación y prueba con el sensor DHT11 (Temperatura y humedad)

En la noche de la ciudad de Bogotá, se implementó el circuito de control para medir la temperatura y humedad por medio de una entrada digital a la tarjeta Arduino, además se imprimieron los valores por medio de una LCD y se compararon los datos con una aplicación suministrada a través del celular iPhone. Gracias a esto, se pudo comparar la temperatura y humedad actual. En las siguientes imágenes se puede observar el procedimiento y los resultados obtenidos.

2.2.1.1 Simulación del circuito

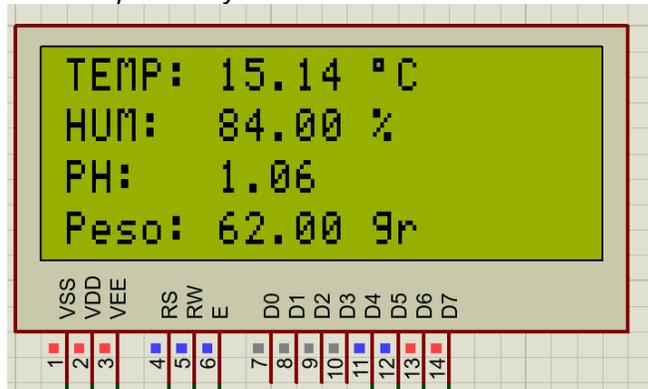
Figura 21. Simulación circuito Temperatura y humedad.



Realizado por (Autor)

Para la realización del circuito se realizó la prueba con dos sensores, motores y LCD, mediante los sensores proximidad se activan los motores que en el caso del prototipo “Sistema productor de compost a partir de heces humanas” son las compuertas de cada nivel. Por otra parte, se ingresa la temperatura que está en el momento y mediante la LCD (Figura 22.) se puede observar si los resultados de temperatura y humedad son correctos.

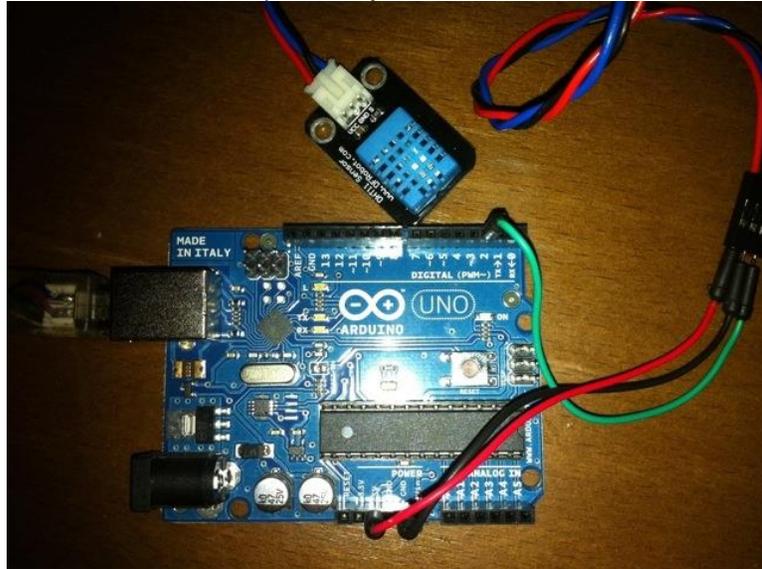
Figura 22. Resultado de Temperatura y humedad.



Realizado por (Autor)

2.2.1.2 Implementación del circuito

Figura 23. Circuito electrónico Temperatura y humedad.



Realizado por (Autor)

Para la prueba del sensor de Temperatura y humedad, se tomó el sensor y la tarjeta de Arduino. Después de esto, se realizó la ubicación correspondiente a los pines, en este caso son 3 pines: positivo 5v, tierra y el último es la salida de la señal digital.

2.2.1.3 Visualización en LCD

Figura 24. Visualización de LCD.

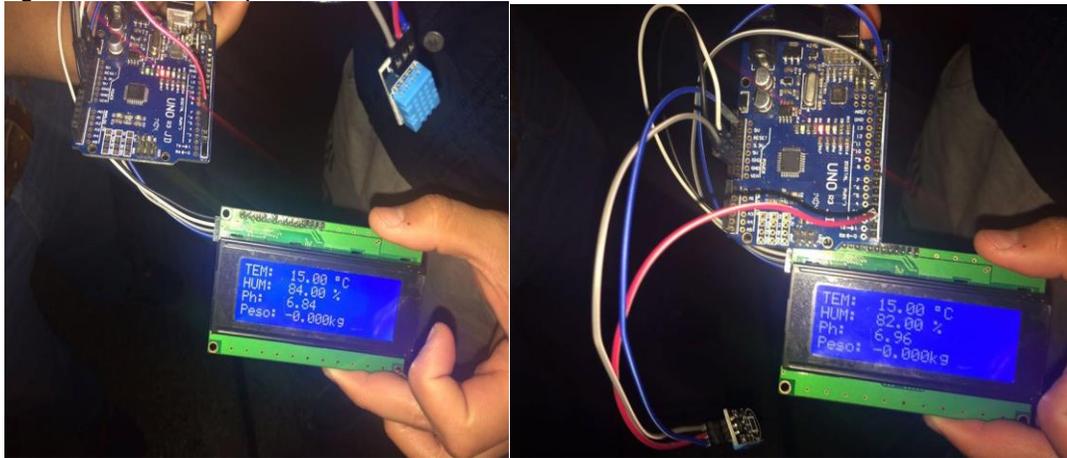


Realizado por (Autor)

Las lecturas de los sensores en este caso el de temperatura y humedad se verá reflejado mediante la pantalla LCD, esta pantalla también va conectada al Arduino. Para el ahorro de espacio en cuanto a entradas del mismo Arduino se usó una interfaz llamada I2C, el cual arroja 4 pines de salida y se puede ajustar el brillo y el contraste por medio de un potenciómetro. **(TD Egypt, 2007)**

2.2.1.4 Toma de datos

Figura 25. Prueba experimental sensor DTH11.



Realizado por (Autor)

Para la prueba experimental se capturó varias muestras, en donde variaba la temperatura y la humedad. Los casos donde se comprobó el funcionamiento del sensor fueron en primer lugar en el interior de una casa, exterior de la casa y por último el interior de una nevera. Gracias a estas pruebas se observó la variación de los datos del sensor. La siguiente tabla (Tabla 9.) indica los resultados obtenidos.

Tabla 11. Resultados sensor DTH11.

LUGARES	TEMPERATURA	HUMEDAD
INTERIOR CASA	20°C	70%
EXTERIOR CASA	15°C	84%
NEVERA	9°C	93%

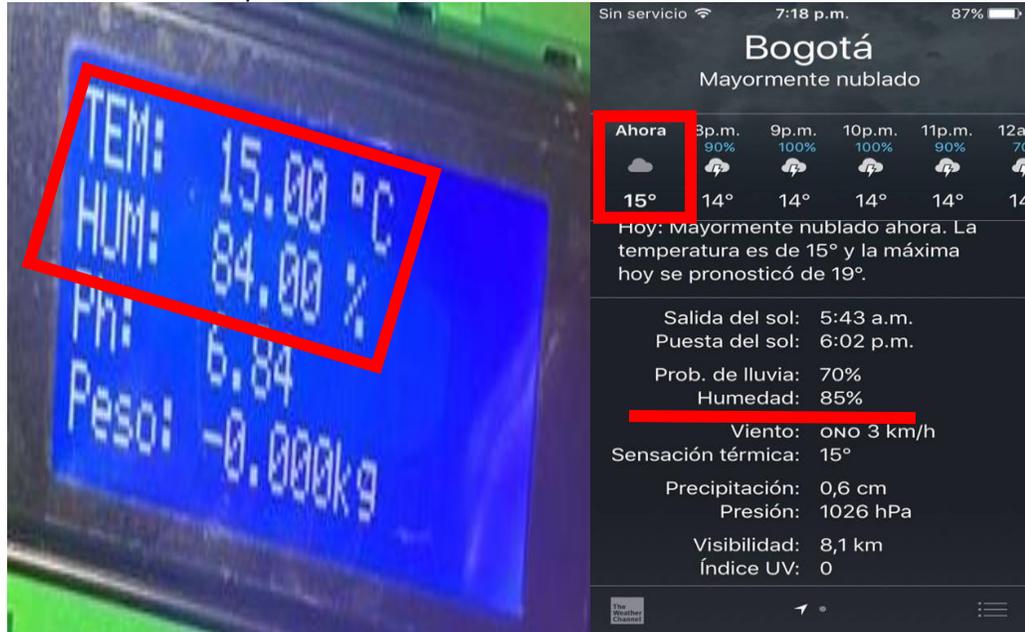
Realizado por (Autor)

2.2.1.5 Comparación de los datos

Por medio de la aplicación *weather*, se pudo comparar los valores que arrojan la temperatura y humedad. Para lograr eso, se ubicaron tanto el sensor DTH11 y el celular en diferentes sitios y arrojaron cierto valor.

Por ende, se puede observar que los datos del sensor se asemejan a los datos del celular lo que permite concluir que la señal suministrada por el sensor es correcta, además la presencia de la LCD ayudó en la comprobación del sensor ya que la humedad es una característica muy variable.

Figura 26. Resultados experimentales del sensor DTH11.



Realizado por (Autor)

Para corroborar los datos del sensor fue necesario comparar con el termohigrómetro con el sensor en donde se mostraba más la variación del sensor. Sin embargo, el sensor ofrece confiabilidad ya que los datos se encuentran dentro del rango.

Figura 27. Resultados experimentales del sensor con termo higrómetro.



Realizado por (Autor)

2.2.2 Simulación y prueba con el sensor SEN0161 (pH)

En la noche de la ciudad de Bogotá se implementó un circuito de control para medir el pH de unas sustancias, por medio de una entrada análoga de la tarjeta de Arduino se logró obtener una serie de parámetros que permite saber si la implementación del sensor es factible o no. Además, estos resultados también se pueden visualizar a través de la LCD.

Para comparar todos los resultados de sensor de pH se usó la cinta medidora, la cual al acercar un material ya sea líquido o sólido arroja un color, después con este resultado se

puede observar en la tabla de pH el índice que llega alcanzar; A continuación se mostrará el proceso de estas pruebas.

2.2.2.1 Implementación del circuito con la LCD

Para el desarrollo del circuito, se tomó el sensor, la tarjeta Arduino y la LCD. Se realizó la ubicación correspondiente del sensor y la LCD a cada pin de acuerdo con el datasheet, en este caso eran 3 pines; positivo 5v, tierra y la salida de la señal Análoga.

Vale la pena aclarar, que el sensor SEN0161 cuenta con un líquido que calibra la sonda a un valor de 7, quedando el pH en un estado neutro.

Figura 28. Implementación del circuito con la LCD.



Realizado por (Autor)

2.2.2.2 Datos del papel de pH

Figura 29. Cinta medidora de pH.



Realizado por (Autor)

Como se puede observar en la imagen (Figura 28.), la cinta cuenta con un rango y una serie de colores. Esto quiere decir, que al introducir la cinta indicadora de pH a una sustancia, esta va a comenzar a adquirir un color. Las sustancias que son consideradas como acidas van desde el número 1 al número 5, las sustancias que son consideradas

como neutras se encuentran en un rango del número 6 al 8, por último las sustancias que se encuentran dentro del rango de 8 a 14 son consideradas sustancias alcalinas, a cada valor que arroje se le atribuye en color. Para la prueba del sensor se tomaron 3 líquidos los cuales fueron:

- Agua con pH neutro.
- Naranja con pH ácido.
- Blanqueador o desinfectante pH alcalino.

2.2.2.3 Prueba experimental con el agua

En primer lugar para hacer la prueba del pH en el agua, se introduce el papel a la sustancia durante unos segundos mientras adquiere un color en este caso la cinta medidora de pH torno a un color amarillo, al comprobar este color con la tabla se pudo deducir que el valor del agua fue neutro, lo cual significa que el rango en el que se encuentra el agua es de 6 a 8.

Figura 29. Prueba del pH en el agua.



Realizado por (Autor)

En segundo lugar, se probó el sensor utilizando la sonda dentro del agua; Para ello, se programó el Arduino para calcular el pH y finalmente obtener el valor correcto.

Figura 30. Medición del pH en el agua con sonda.



Realizado por (Autor)

Después de colocar la sonda en el agua se realizaron varias pruebas en donde el indicador comenzaba a variar, en las siguientes imágenes se puede ver los resultados mediante la

LCD (Figura 31.) y los resultados de la simulación a través del programa Arduino (Figura 32.)

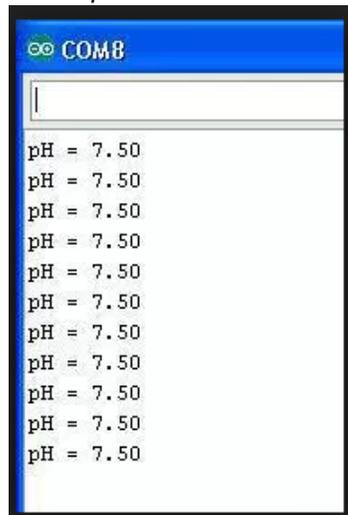
Figura 31. Resultado de Medición del pH en LCD.



Realizado por (Autor)

Como se pudo observar el valor del pH fue correcto ya que el resultado fue de 7.66, al comparar buscando en las tablas de sustancias, el pH del agua se encuentra entre un 6.5 y 8.¹⁰

Figura 32. Resultado de Medición del pH en Arduino.



Realizado por (Autor)

2.2.2.4 Prueba experimental con la Naranja

En el segundo caso, se tomó como prueba una naranja. Se repitió el mismo procedimiento que el ejemplo número uno, el papel debe hacer contacto con la naranja al cabo de unos segundos, se puede observar cómo cambia el estado a un color rojo no tan fuerte.

¹⁰ <http://www.lenntech.es/ph-y-alkalinidad.htm>

Figura 33. Prueba del pH en la naranja.



Realizado por (Autor)

De acuerdo con lo anterior, la naranja posee una acidez alta y según la tabla, el rango del pH se encontraría alrededor de 2. Para corroborar el dato tomado se utilizó el sensor SEN0161, para poder saber si el sensor está bien calibrado y asegurar que el valor es correcto.

Figura 34. Medición del pH en la naranja con sonda.



Realizado por (Autor)

Tan pronto como se introdujo la sonda a la naranja, se observa que el valor en la LCD ha cambiado (Figura 35.) este valor tiene que ser cercano a 2, para comprobar que la señal entregada por el sensor es correcta.

Figura 35. Resultado de Medición del pH en LCD.



Realizado por (Autor)

Al final el valor del pH fue de 2.04. Según las tablas, la naranja se encuentra en un nivel ácido cercano al número 3 dependiendo la pieza (E-Cultura Group, 2016). A continuación se mostrara una imagen general de lo que fue el experimento.

Figura 36. Prueba del sensor SEN0161 en la naranja.



Realizado por (Autor)

2.2.2.5 Prueba experimental con el blanqueador

Para este último caso, se repitió el proceso. En primer lugar, el papel debe hacer contacto con la sustancia (blanqueador), al cabo de unos segundos se puede observar como este cambia su estado a un color azul. De acuerdo con la tabla de colores, permite concluir que el blanqueador es una base ya que posee un pH elevado que se ubica entre 13 y 14.

Figura 37. Prueba del pH en el blanqueador.



Realizado por (Autor)

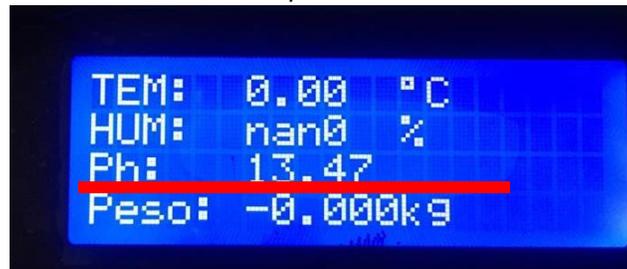
Figura 38. Medición del pH en el blanqueador con sonda.



Realizado por (Autor)

En segundo lugar para comprobar la funcionalidad del sensor, se introduce la sonda a la sustancia durante unos segundos y se puede observar el valor en la LCD. Según fuentes, el blanqueador tiende a ser una sustancia altamente alcalina, por tanto el valor tiene que ser superior a 10 (E-Cultura Group, 2016). Todo esto se realizó para comprobar que la señal entregada por el sensor fuera correcta, ya que si el valor no era cercano al pH obtenido por el papel se podría inferir que hay fallas en él envió de datos del sensor al Arduino. Por el contrario, si el valor correspondiente es cercano ya se tendría la certeza de que el sensor esta calibrado y listo para su funcionamiento en el proyecto.

Figura 39. Resultado de Medición del pH en LCD.



Realizado por (Autor)

Como se puede observar en la imagen (Figura 39.), el valor del pH fue de 13.47. De acuerdo con lo mencionado anteriormente y lo buscado en las tablas de sustancias, el valor se encuentra dentro del rango, de manera que las pruebas y la calibración fueron exitosas.

2.3 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

2.3.1 Diagrama de flujo

Para la explicación del procedimiento de todo el proceso del prototipo, se diseñó un diagrama de flujo donde se explica paso a paso el sistema de adquisición y el producto final que se desarrollaría.

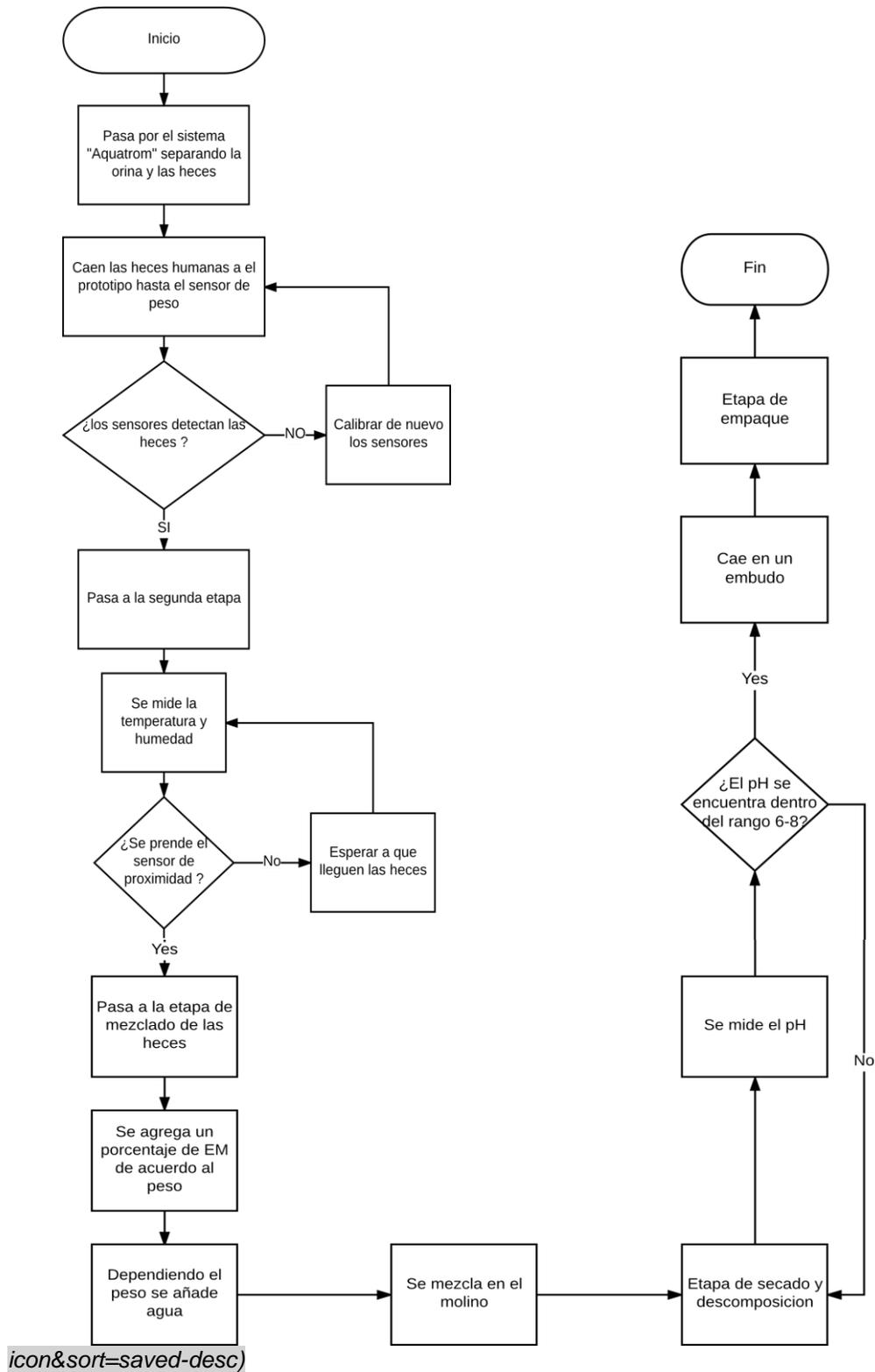
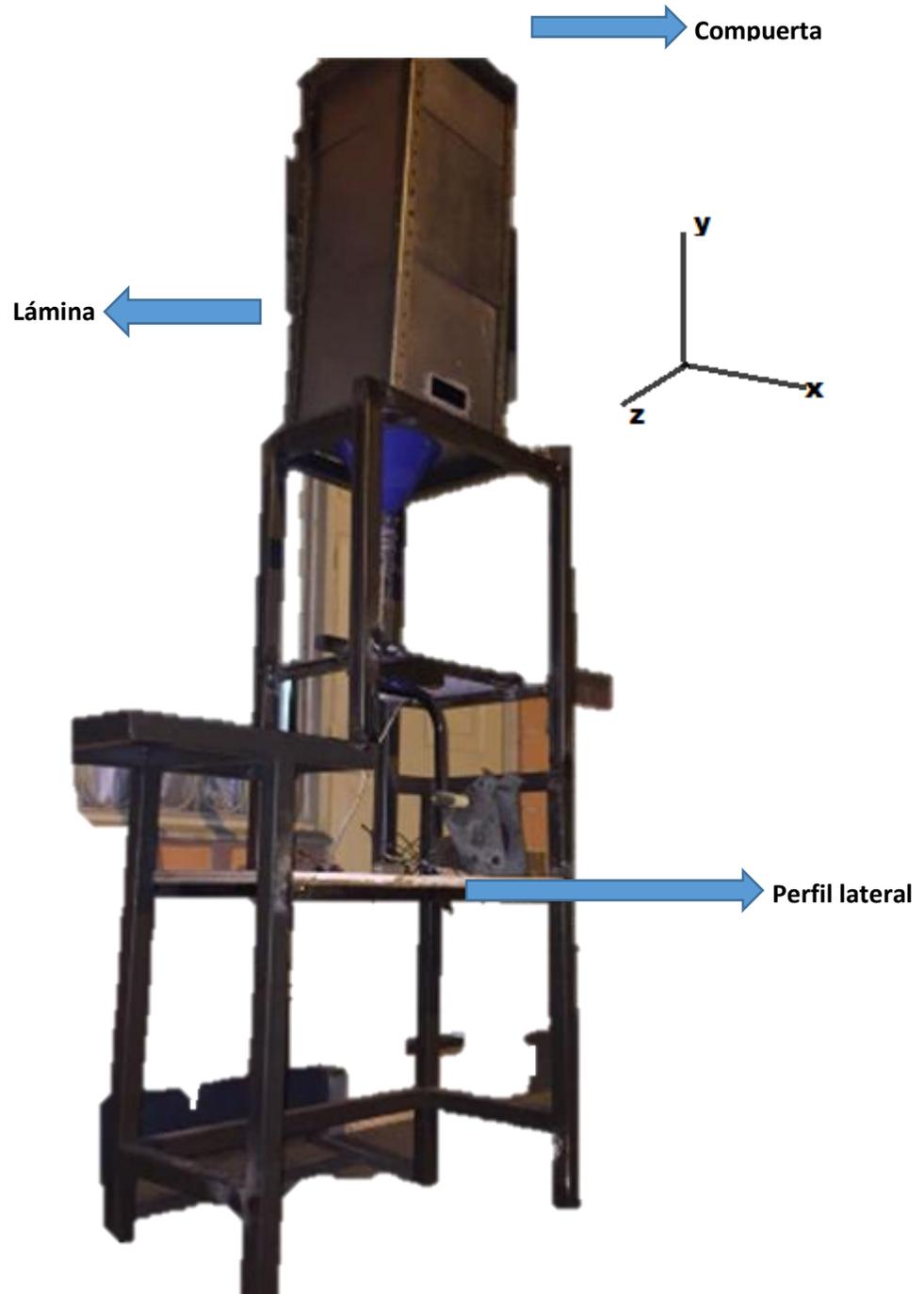


Figura 40. Diagrama de flujo. Tomado de (https://www.lucidchart.com/documents/docs?folder_id=home&browser=

3. DISEÑO MECÁNICO

3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Figura 41. Estructura mecánica.



Realizado por (Autor)

Para el cálculo del esfuerzo admisible se tuvo en cuenta la siguiente tabla, donde describe el valor del esfuerzo para el material que vamos a impletar. En este caso es el acero común que arroja un valor de 2.4 MPa.

Tabla 12. Tensiones admisibles en vigas principales.

Tensiones admisibles en las vigas principales y las vigas del tablero			
1	2	3	4
Clase del acero	Limite de fluencia σ_f en kg/cm ²	Tensiones admisibles de tracción y flexión en las vigas principales y en las vigas del tablero para solicitaciones producidas por	
		Fuerzas principales (carga permanente, sobrecarga móvil, fuerza centrifuga. Las fuerzas laterales que en determinados casos se adopten. La acción de la temperatura). σ_{ad} en kg/cm ²	Fuerzas principales y adicionales (Las fuerzas adicionales con la presión del viento, la fuerza del frenaje, los choques laterales, la resistencia de frotamiento de los apoyos, la desviación y el asentamiento de los pilares y estribos). σ_{ad} en kg/cm ²
Acero común	2.400	1.400	1.600
Acero alta resistencia	3.600	$1.400 \frac{3.600}{2.400} = 2.100$	$1.600 \frac{3.600}{2.400} = 2.400$

Tomado de (<http://168.101.24.238/viayobra/Reg%20Ptes%20Acero.htm>)

3.1.1 Análisis de la lámina

Diagrama de cuerpo libre

Figura 42. Diagrama de cuerpo libre de la lámina.

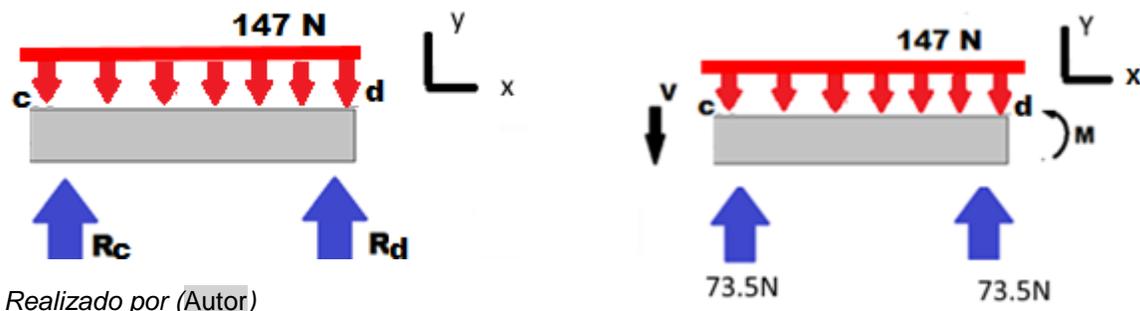
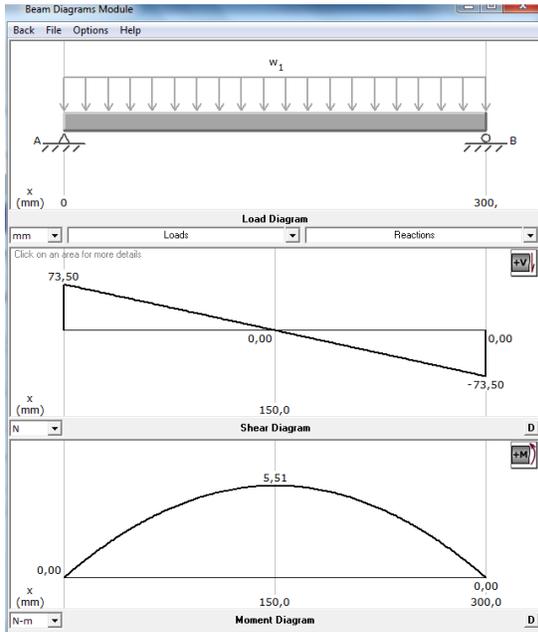


Figura 43. Simulación mdsolid.



Realizado por (Autor)

La masa que soporta la lámina es de es de 15 kilogramos, la fuerza será distribuida por los 30 cm de la lámina desde el punto c a d, la llamaremos F_{ds}

$$m = 15 \text{ kg}$$

$$F_{ds} = \frac{15 \text{ kg} * \text{gravedad}}{0.30 \text{ M}}$$

Realizamos sumatoria de fuerzas en el eje Y y momento en c

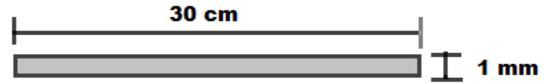
$$\sum F_y = Ra + Rb = 147 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0.3 \text{ M} * Rd - 0.15 \text{ M} * 147 \text{ N} = 0$$

$$Rd = \frac{0.15 \text{ M} * 147 \text{ N}}{0.3 \text{ M}} = 73.5 \text{ N}$$

$$Rc = 147 \text{ N} - 73.5 \text{ N} = 73.5 \text{ N}$$

Figura 44. Gráfica inercia.

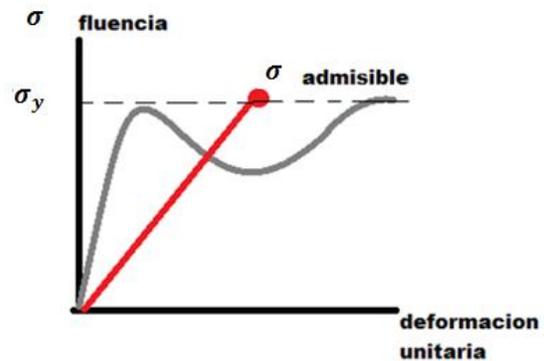


$$Inercia = \frac{1}{12} b * h^3$$

$$I = \frac{1}{12} (0.3 * 0.001^3)$$

$$I = 2.5 * 10^{-11} \text{ m}^4$$

Figura 45. Gráfica esfuerzo versus deformación.



Realizado por (Autor)

$$F_s = \frac{\sigma \text{ ultimo}}{\sigma \text{ admisible}} \geq 1$$

$$\sigma = \frac{\rho \text{ fuerza ultima}}{A_0}$$

$$F_s = \frac{\sigma \text{ fluencia}}{\sigma \text{ admisible}}$$

$$\sigma_y < \sigma$$

$$\sigma = \frac{\rho \text{ ultima}}{A_0}$$

$$A = dt$$

$$A = \frac{\rho}{\sigma \text{ admisible}}$$

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

La lámina tiene una medida de 30 cm, se opta por hacer dos cálculos por separado, de 0 a 15 cm y de 15 a 30, calculando dos diferentes momentos

$$0 \leq X \leq 50 \text{ mm}$$

$$15 \text{ cm} \leq X \leq 30 \text{ cm}$$

$$\sum F_y = -v + 73.5 = 0$$

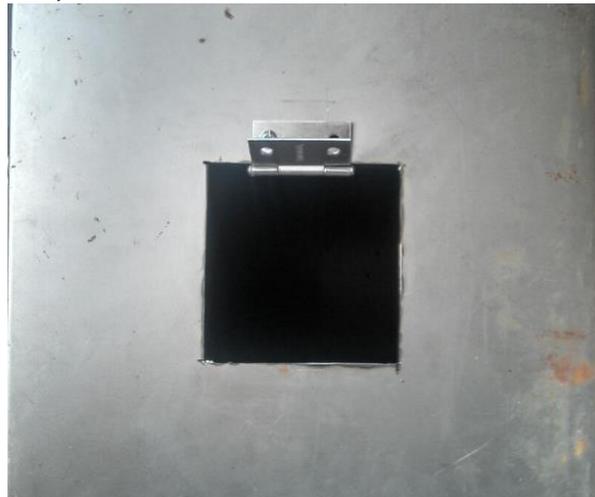
$$v = 73.5 \text{ N}$$

$$\sum M_c = -M + 73.5 (0.3 - x) = 0$$

$$M = 73.5(0.3 - x)$$

$$\sum F_y = -v + 73.5 \text{ N}$$

Figura 46. Lámina del prototipo.



Realizado por (Autor)

$$v = 73.5 \text{ N}$$

$$\sum M_c = M - 73.5 x = 0$$

$$m = 73.5 x$$

Ahora se calcula el momento total (Mt)

$$M_t = 73.5(0.3 - 0.15)$$

$$\sigma_b = \frac{0,005 \text{ m}^2 * 11.025 \text{ Nm}}{2.5 * 10^{-11} \text{ m}^4}$$

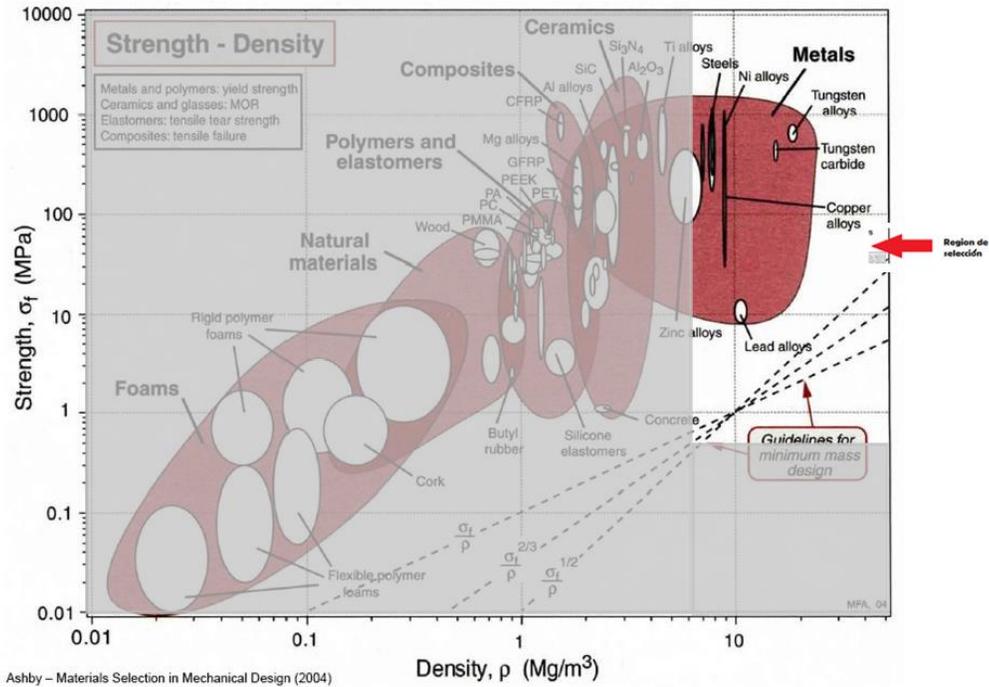
$$\sigma_b = 2205 \text{ MPa}$$

1600 $\frac{\text{Kg fuerza}}{\text{cm}^2}$ es igual a 156 MPa

$$\text{Factor}_{\text{seguridad}} = \frac{2205 \text{ MPa}}{156 \text{ MPa}} = 14.13$$

Teniendo el cálculo del esfuerzo, se asume densidades por encima de $6 \left(\frac{Mg}{m^3} \right)$, con estos datos se procede a trazar una línea horizontal y transversal para el rango de selección.

Figura 47. Diagrama de Ashby para la lámina.



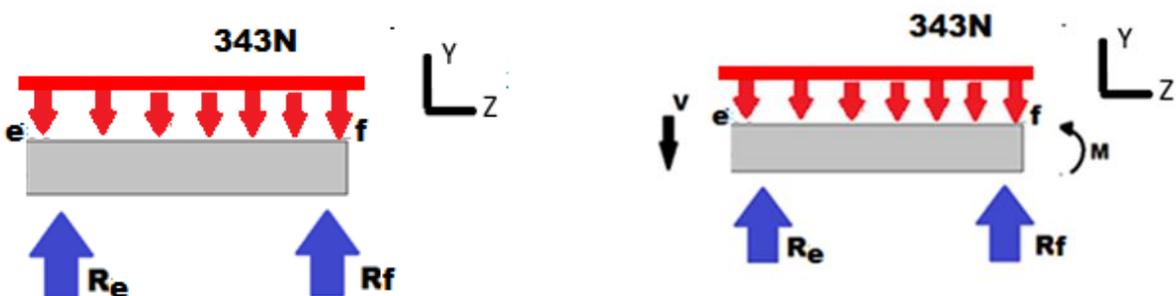
Teniendo en cuenta este resultado, los materiales que abarcan son (acero, aleaciones de cobre, aleaciones de tungsteno, aleaciones de plomo). Para el prototipo se usó acero calibre 20, en vista de que no aumentaría el costo del material y tampoco se deformaría el material.

Vale la pena aclarar que es necesario aplicar una capa de anticorrosivo y sellante al material para que no permita la oxidación en lugares húmedos.

3.1.2 Análisis del perfil lateral que soporta el mayor peso (caso extremo).

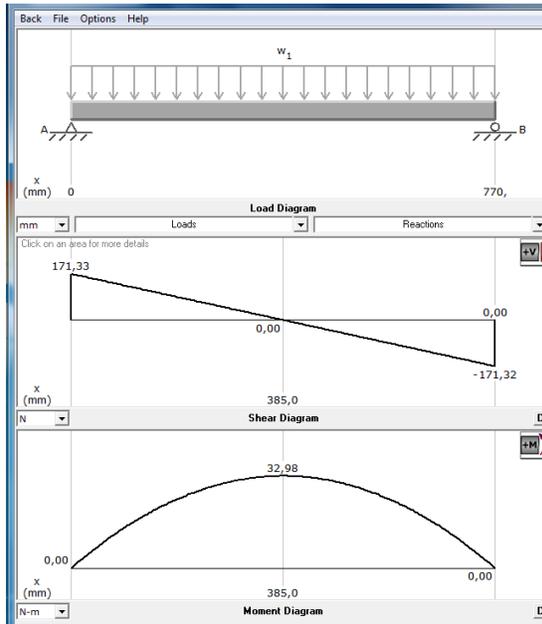
Diagrama de cuerpo libre

Figura 48. Diagrama de cuerpo libre de la base.



Realizado por (Autor)

Figura 49. Simulación mdsolid.



Realizado por (Autor)

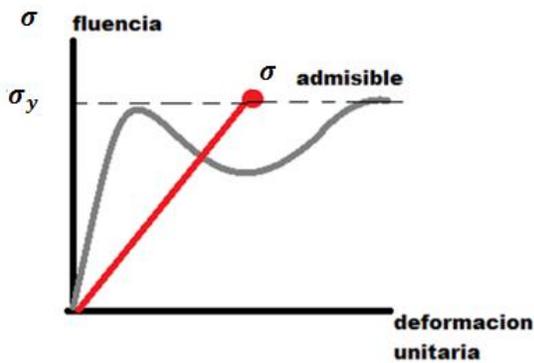
La masa que soporta las patas es de 35 kilogramos, la fuerza será distribuida desde el punto e al f, la llamaremos F_{ds}

$$m = 35 \text{ kg}$$

$$F_{ds} = \frac{35 \text{ kg} * \text{gravedad}}{0.77 \text{ M}}$$

Realizamos sumatoria de fuerzas en el eje Y y momento en e

Figura 51. Gráfica esfuerzo versus deformación en el perfil lateral.



Realizado por (Autor)

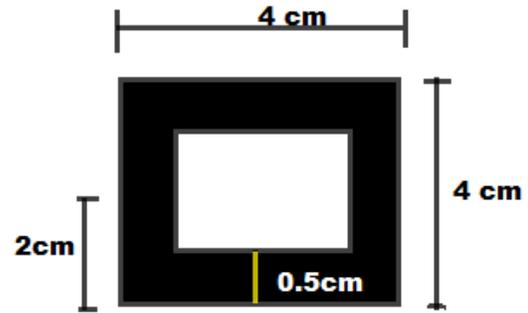
$$\sum F_y = Ra + Rb = 343 \text{ N}$$

$$\sum M_e = -0.38 * 343 \text{ N} + 0.77 * Rf = 0$$

$$Rf = \frac{132.05 \text{ N}}{0.77 \text{ M}} = 171.5 \text{ N}$$

$$Re = 343 \text{ N} - 171.5 \text{ N} = 171.5 \text{ N}$$

Figura 50. Gráfica inercia del perfil lateral.



Realizado por (Autor)

$$\text{Inercia} = \frac{1}{12} b * h^3$$

$$I = \frac{1}{12} (0.04 * 0.04^3) - \frac{1}{12} (0.03 * 0.03^3)$$

$$I = 1.458 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$F_s = \frac{\sigma \text{ ultimo}}{\sigma \text{ admisible}} \geq 1$$

$$\sigma = \frac{\rho \text{ fuerza ultima}}{A_0}$$

$$F_s = \frac{\sigma \text{ fluencia}}{\sigma \text{ admisible}}$$

$$\sigma_y < \sigma$$

$$\sigma = \frac{\rho \text{ ultima}}{A_0}$$

$$A = dt$$

$$A = \frac{\rho}{\sigma \text{ admisible}}$$

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

La distancia que hay entre patas es de 77 cm, se opta por hacer dos cálculos por separado, de 0 a 38.5 cm y de 38.5 a 77, calculando dos diferentes momentos

$$0 \leq X \leq 38.5$$

$$\sum F_y = -v + 171.5 \text{ N}$$

$$v = 171.5 \text{ N}$$

$$\sum M_c = M - 171.5 x = 0$$

$$M = 171.5 x$$

$$38.5 \text{ cm} \leq X \leq 77 \text{ cm}$$

$$\sum F_y = -v + 171.5 = 0$$

$$v = 171.5 \text{ N}$$

$$\sum M_c = -M + 171.5 (0.77 - x) = 0$$

$$M = 171.5(0.77 - x)$$

Ahora se calcula el momento total (Mt)

$$Mt = 171.5(0.77 - 0.385) = 66.88 \text{ Nm}$$

$$\sigma_b = \frac{0.02 * 66.88 \text{ Nm}}{1,458 * 10^{-7}}$$

$$\sigma_b = 9.17 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 214 \frac{\text{N}}{\text{M}^2}$$

La convertimos a $\frac{\text{Kg fuerza}}{\text{cm}^2}$

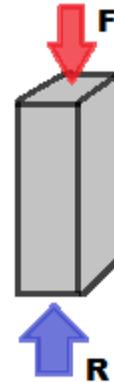
$$\sigma = 2100$$

La convertimos a $\frac{\text{Kg fuerza}}{\text{cm}^2}$

$$\sigma = 93507$$

$$\text{Factor}_{\text{seguridad}} = \frac{93507}{1600} = 58.44$$

Pata que soportara mayor peso (caso extremo)



$$F = 35 \text{ Kg} * \text{gravedad}$$

$$F = 343.35 \text{ N}$$

Al estar la pata de la estructura friccionando con el suelo la R será igual a la fuerza F

$$\sigma = \frac{343.35 \text{ N}}{0.04 \text{ m} * 0.04 \text{ m}}$$

$$\sigma = 0.2145 \text{ MPa}$$

$$\text{Factor}_{\text{seguridad}} = \frac{2100}{1600} = 1.3$$

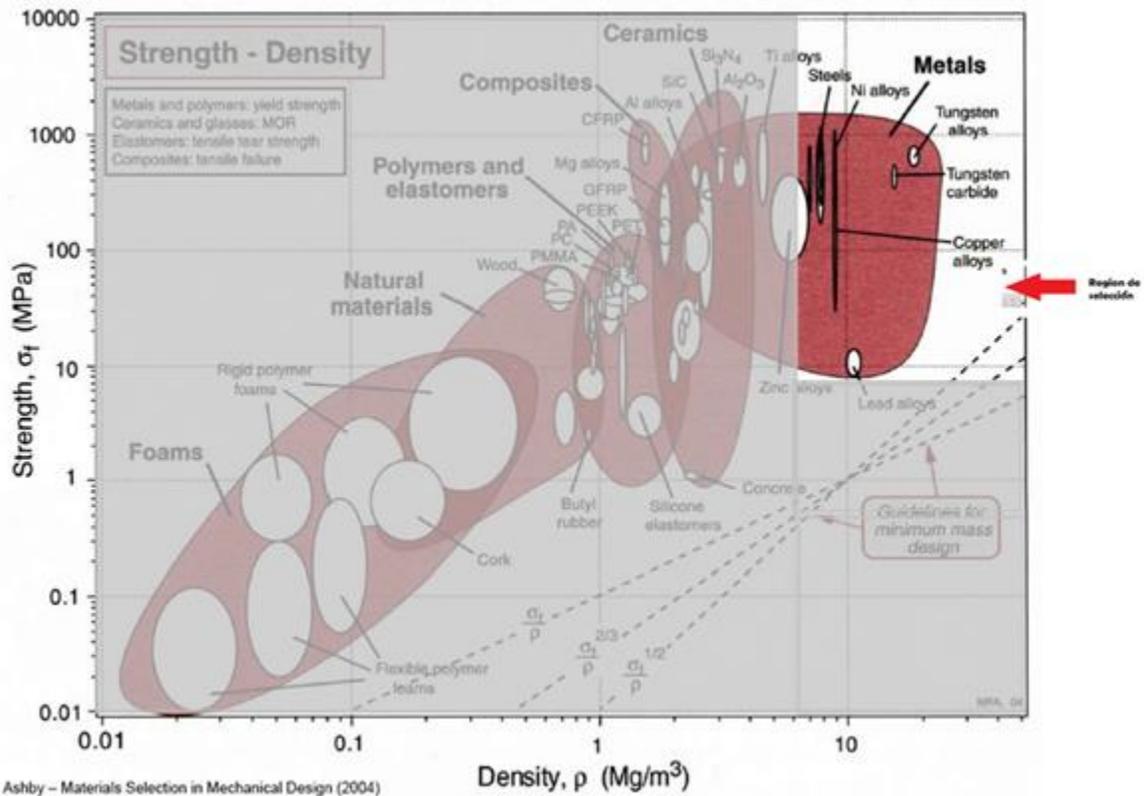
Figura 52. Base del prototipo.



Realizado por (Autor)

Teniendo el cálculo del esfuerzo, se asume la misma densidad de la lámina, después de haber obtenido estos datos procedemos a trazar una línea horizontal y transversal para selección del rango.

Figura 53. Diagrama de Ashby para el perfil lateral y la pata de la estructura.

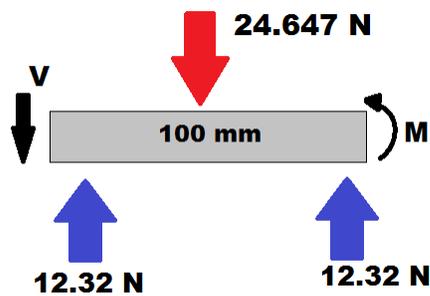
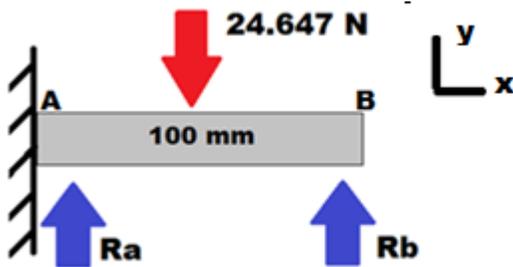


Se repite el mismo proceso que la selección de materiales en la lámina y arroja los mismos materiales (acero, aleaciones de cobre, aleaciones de tungsteno, aleaciones de plomo). Teniendo en cuenta este resultado, se seleccionó el mismo material, acero calibre 20.

3.1.3 Análisis de la Compuerta

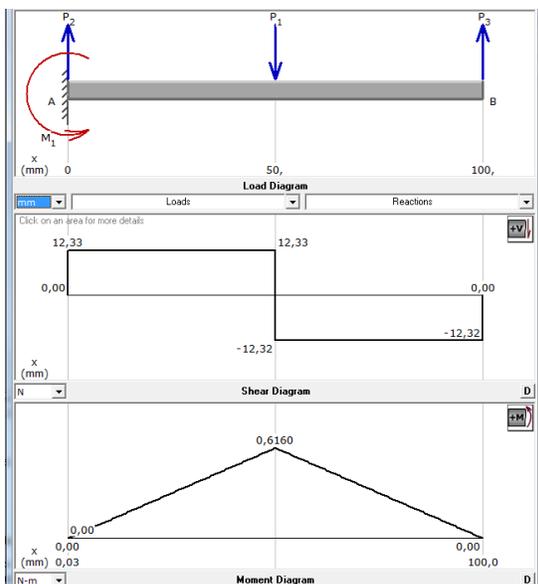
Diagrama de cuerpo libre

Figura 54. Diagrama de cuerpo libre de la compuerta.



Realizado por (Autor)

Figura 55. Simulación mdsolid.



Realizado por (Autor)

La masa que soporta la compuerta es de 2.5 kilogramos, a esto se le suma el peso de la misma compuerta, la cual es de 15 gramos con estos datos se sacaran la fuerza total a soportar es:

$$m_s = 2.5 \text{ Kg} \quad m_c = 0.015 \text{ Kg}$$

$$F_1 = peso = 2.5 \text{ Kg} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 24.5 \text{ N}$$

$$F_2 = 0.015 \text{ Kg} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 0.147 \text{ N}$$

$$Fuerza \text{ total} = 24.5 + 0.147 = 24.647 \text{ N}$$

Realizamos sumatoria de fuerzas en el eje x y momento en a

$$\sum F_x = Ra + Rb = 24.647 \text{ N}$$

$$\sum M_a = -0.05 * 24.647 + 0.1 * Rb = 0$$

$$Rb = \frac{1.23235}{0.1} = 12.3235 \text{ N}$$

$$Ra = 24.647 - 12.3235 = 12.3235 \text{ N}$$



Se calcula el área transversal e inercia de la compuerta para calcular el esfuerzo

$$Area = (0.1m)(0.001m)$$

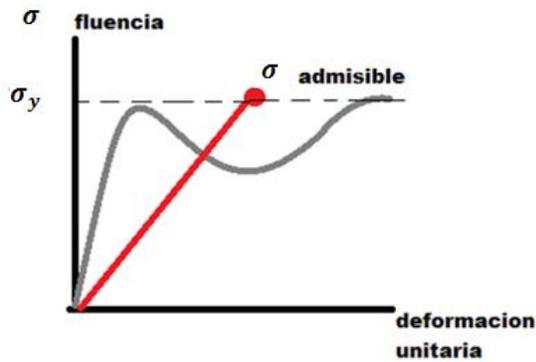
$$Area = 1 * 10^{-4} m^2$$

$$Inercia = \frac{1}{12} b * h^3$$

$$I = \frac{1}{12} (0.1)(0.001)^3$$

$$I = 8.33 * 10^{-12} m^4$$

Figura 56. Gráfica esfuerzo versus deformación.



$$F_s = \frac{\sigma_{\text{ultimo}}}{\sigma_{\text{admisible}}} \geq 1$$

$$\sigma = \frac{\rho_{\text{fuerza ultima}}}{A_0}$$

$$F_s = \frac{\sigma_{\text{fluencia}}}{\sigma_{\text{admisible}}}$$

$$\sigma_y < \sigma$$

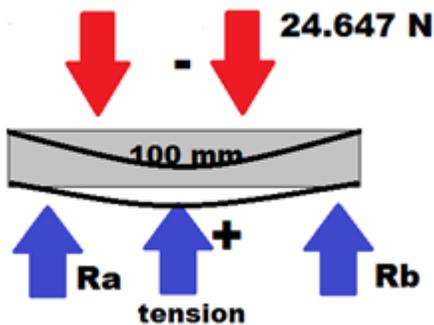
$$\sigma = \frac{\rho_{\text{ultima}}}{A_0}$$

$$A = dt$$

$$A = \frac{\rho}{\sigma_{\text{admisible}}}$$

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

Figura 57. Gráfica compresión y tensión



$$\sigma_b = \frac{24.647 * 1 * 10^{-4}}{8.33 * 10^{-12}}$$

$$\sigma_b = 295.76 \text{ MPa}$$

$$\text{Factor}_{\text{seguridad}} = \frac{295 \text{ MPa}}{1.6 \text{ MPa}} = 184.375$$

Ahora se realizan los cálculos, para la obtención del esfuerzo por flexión.

$$\sigma_b = \frac{12.33 * (50 * 10^{-3}) * (\frac{0.1}{2} * 10^{-3})}{8.33 * 10^{-12} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_b = 3.7138 \text{ MPa}$$

La compuerta tiene una medida de 100mm, se opta por hacer dos cálculos por separado, de 0 a 50 y de 50 a 100, calculando dos diferentes momentos

$$0 \leq X \leq 50 \text{ mm}$$

$$\sum F_x = -v + 12.3235 \text{ N}$$

$$v = 12.3235 \text{ N}$$

$$\sum M_c = M - 12.3235 x = 0$$

$$M = 12.3235 x$$

$$50 \leq X \leq 100 \text{ mm}$$

$$\sum F_x = -v - 24.647 + 12.3235 = 0$$

$$v = 12.3235 \text{ N}$$

$$\sum M_c = M - 24.647 (0.1 - x) = 0$$

$$M = 24.647 (0.1 - x)$$

La convertimos a $\frac{Kg\ fuerza}{cm^2}$

$$\sigma = 37800$$

$$Factor_{seguridad} = \frac{37800}{1600} = 23.65$$

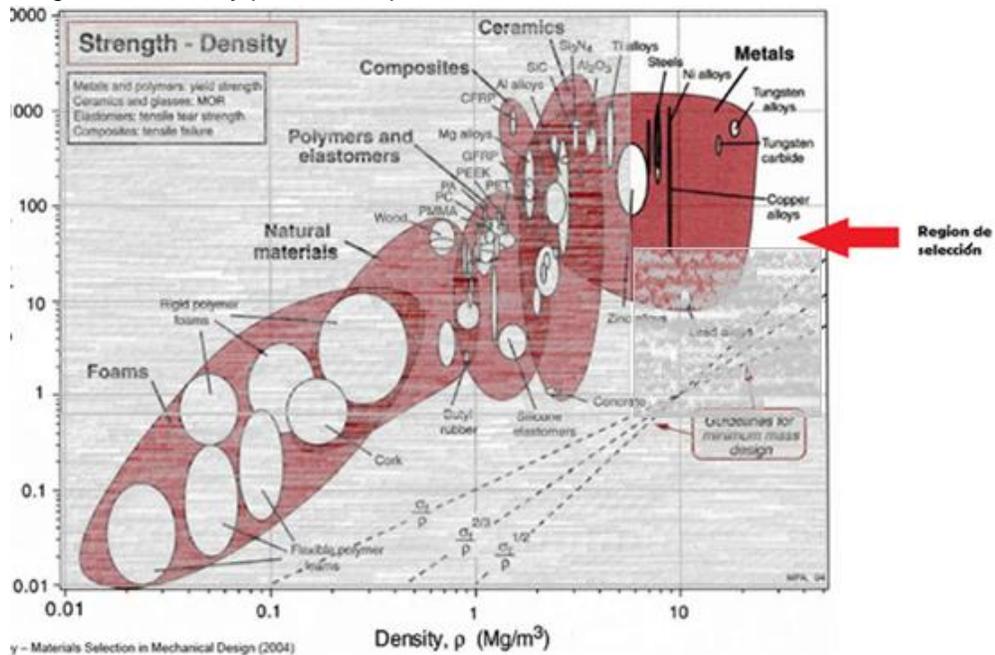
Figura 58. Compuerta del prototipo.



Realizado por (Autor)

Teniendo el cálculo del esfuerzo, se asume densidades como en los dos casos anteriores por encima de $6\left(\frac{Mg}{m^3}\right)$, con estos datos se traza una línea horizontal y transversal para selección del rango.

Figura 59. Diagrama de Ashby para la compuerta.



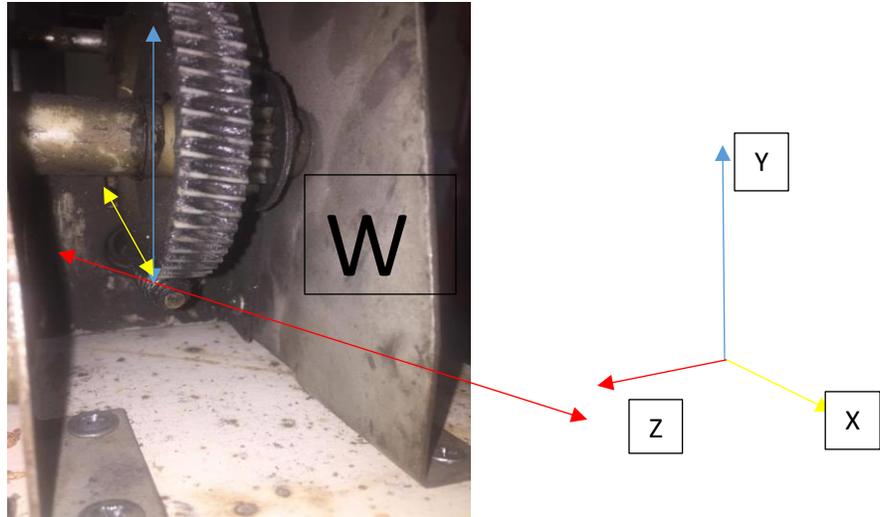
Se repite el mismo proceso de la selección de materiales en la lámina y en la compuerta, a partir de esto arroja los materiales (acero, aleaciones de cobre, aleaciones de tungsteno).

Teniendo en cuenta este resultado, se seleccionó el mismo material de la lámina, acero calibre 20, en vista de que no aumentaría el costo del material y tampoco se deformaría el material.

Al tener en las cuatro piezas seleccionadas un factor de seguridad grande, se recomienda usar un acero y aluminio de mayor calibre, con esto se obtiene un ahorro de costo para una elaboración posterior

3.1.4 Fuerzas en el engranaje sinfín – corona

Figura 60. Engranajes del motor para el sellado.



Realizado por (Autor)

En primer lugar se determina el valor absoluto de la componente “x” de la fuerza total ($|Wtx| = Wtx$), dividiendo la potencia por la velocidad. La potencia que transmite el sinfín al engrane es:

$$P = 1 \text{ hp} = 745 \text{ w}$$

La velocidad que gira el sinfín es $n = 1200 \text{ rpm} = 1200 \cdot 2\pi/60 = 125.66 \text{ rad/s}$. Por tanto la velocidad lineal del punto del sinfín en contacto con la corona es:

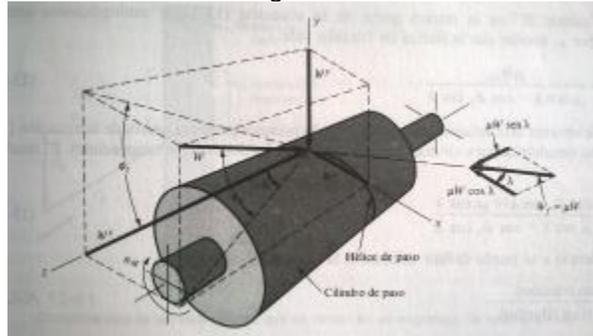
$$v = n \cdot (dw/2) = 125.66 \cdot (2/2) = 125.66 \text{ plg/s} = 125.66 \cdot 0.0254 = 3.1918 \text{ m/s}$$

Por tanto Wtx es igual

$$Wtx = Wx + Wrx = P/v = (745 \text{ w}) / (3.1918 \text{ m/s}) = 233.4 \text{ N} = 233.4 / 4.45 = 52.5 \text{ lb}$$

W , es una fuerza que el sinfín ejerce sobre la corona. A continuación, se determina $|W| = W$, despejando de la ecuación $Wtx = Wx + Wrx$

Figura 61. Gráfica para las deducciones del engrane.



Tomado de (<https://es.linkedin.com/pulse/fuerzas-en-engranajes-sinf%C3%ADn-corona-ii-david-hern%C3%A1ez-moret%C3%B3n>)

De esta figura se deduce que $W_x = W \cdot \cos\phi_n \cdot \text{sen}\lambda$ y $W_r = \mu \cdot W \cdot \cos\lambda$, siendo el ángulo de presión normal $\phi_n = 14.5^\circ$ y el ángulo de avance $\lambda = 9.46^\circ$. Y como acabamos de averiguar que $W_{tx} = 52.5 \text{ lb}$.

$$52.45 = (W \cdot \cos 14.5^\circ \cdot \text{sen} 9.46^\circ) + (\mu \cdot W \cdot \cos 9.46^\circ)$$

$$52.45 = W \cdot [(\cos 14.5^\circ \cdot \text{sen} 9.46^\circ) + (\mu \cdot \cos 9.46^\circ)]$$

Como se puede observar, para poder despejar W , es necesario conocer el valor del coeficiente de rozamiento, μ . Para ello hay que tener en cuenta que mientras los engranes rectos el movimiento de un diente en relación al diente que embona es de rodadura pura en el punto de paso, por lo que la velocidad en ese punto es la misma para ambos engranes, en el caso de los engranajes de sinfín resulta que el movimiento relativo entre el tornillo y los dientes de la corona es de deslizamiento, por lo que esas velocidades son diferentes.

Pues bien, a la suma (vectorial) de ambas velocidades se la llama velocidad de deslizamiento, y precisamente el coeficiente de rozamiento es función directa de dicha velocidad.

Velocidad de paso en el sinfín.

$$v_w = n_w \cdot (d_w/2) = 125.66 \cdot (2/2) = 125.66 \text{ plg/s} = (125.66 \cdot 60/12) \text{ pie/min}$$

$$= 628.3 \text{ pie/min}$$

$$v_w = 628.3 \cdot i$$

Velocidad de rotación de la corona.

$$(n_g/n_w) = (N_w/N_g); n_g = n_w \cdot (N_w/N_g); n_g = 1200 \cdot (2/30) = 80 \text{ rpm}$$

$$80 \cdot 2\pi/60 = 8.37758 \text{ rad/s.}$$

$$\text{Velocidad de paso en la corona } v_g = n_g \cdot \left(\frac{d_g}{2}\right) = 8.37758 \cdot \left(\frac{5}{2}\right) = 20.94 \frac{\text{pie}}{\text{s}}$$

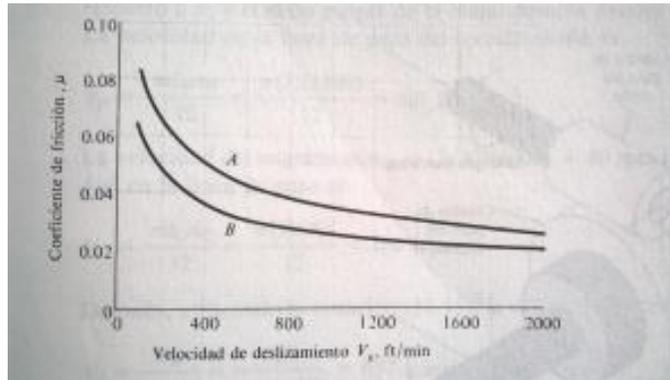
$$(20.94 \cdot 60/12) \text{ pie/min} = 104.7 \text{ pie/min}$$

$$v_g = -104.7 \cdot k$$

Velocidad de deslizamiento.

$$v_s = 628.3 \cdot i - 104.7 \cdot k; v_s = [628.3^2 + (-104.7)^2]^{0.5} = 636.96 \text{ pie/min}$$

Figura 62. Gráfica del coeficiente de rozamiento.



Tomado de (<https://es.linkedin.com/pulse/fuerzas-en-engranajes-sinf%C3%ADn-corona-ii-david-hern%C3%A1ez-moret%C3%B3n>)

Muchos experimentos han puesto de manifiesto que el coeficiente de fricción depende directamente de la velocidad de deslizamiento. Para el típico caso de sinfín de acero templado, corona de bronce fosforado y velocidad relativa del orden de 600 pie/min, a partir de la curva B de la figura anterior (Figura 60.) se obtiene aproximadamente un coeficiente de fricción.

$$\mu = 0.03$$

Hay que tener en cuenta que la curva A se utiliza para materiales de menor calidad

$$W = 52.5 \text{ lb} / [(\cos 14.5^\circ \cdot \sin 9.46^\circ) + (0.03 \cdot \cos 9.46^\circ)] = 277.9 \text{ lb}$$

$$|W_x| = W_x$$

$$W_x = W \cdot \cos \theta_n \cdot \sin \lambda = 277.9 \text{ lb} \cdot \cos 14.5^\circ \cdot \sin 9.46^\circ = 44.2 \text{ lb}$$

$$|W_z| = W_z$$

$$W_z = W \cdot \cos \theta_n \cdot \cos \lambda = 277.9 \text{ lb} \cdot \cos 14.5^\circ \cdot \cos 9.46^\circ = 265.4 \text{ lb}$$

$$|W_y| = W_y$$

$$W_y = W \cdot \sin \theta_n = 277.9 \text{ lb} \cdot \sin 14.5^\circ = 69.6 \text{ lb}$$

Se comprobó cumple que $W = (W_x^2 + W_y^2 + W_z^2)^{0.5}$, es decir, que $277.9 = (44.2^2 + 69.6^2 + 265.4^2)^{0.5}$

$$|W_{rx}| = W_{rx}$$

$$W_{rx} = \mu \cdot W \cdot \cos\lambda = 0.03 \cdot 277.9 \text{ lb} \cdot \cos 9.46^\circ = 8.3 \text{ lb}$$

$$|W_{rz}| = W_{rz}$$

$$W_{rz} = \mu \cdot W \cdot \sin\lambda = 0.03 \cdot 277.9 \text{ lb} \cdot \sin 9.46^\circ = 1.4 \text{ lb}$$

$$|W_{ty}| = W_{ty}$$

$$W_{ty} = W_y = 69.6 \text{ lb}$$

$$|W_{tz}| = W_{tz}$$

$$W_{tz} = W_z - W_{rz} = 265.4 - 1.4 = 264.0 \text{ lb}$$

3.2 SELECCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN

Después de haber seleccionado el material, se define la forma para implementar las secciones del prototipo, diseño de compuertas y otras partes que se requieran añadir para el dispositivo final.

Para la selección de proceso de manufactura es necesario tener en cuenta la selección de procesos, en la búsqueda de procesos para la fabricación de las piezas se basó en libro de Michael F. Ashby "Material Selección in Mechanical Design"; A partir de eso, se busca en la tabla (Tabla 10.) el tipo de proceso que se requiere para conseguir el acabado del producto deseado.

Otro elemento a tener en cuenta como en el caso de la selección de materiales, es el costo de fabricación debido a que es necesario conocer un buen proceso a un buen costo.

Tabla 13. Selección de procesos.

	Prisma circular	Prisma no circular	Hoja plana	Hoja de papel	Solido 3d	Hueco 3d
moldeo en arena						
Fundición de inversión					X	
Fundición a baja presión			X			
forja						X
extrusión						X
Tortura de hojas			X	X		X
Métodos en polvo						
Electro mecanizado						
Mecanizado convencional			X	X		X
moldeo por inyección			X	X	X	
moldeo por soplado			X			
moldeo por compresión						
Moldeo por rotación			X			
Termoformado						
Polímero fundición						
Moldeo por transferencia de resina						
devanado de filamentos						
Métodos de colocación						
Bolsa de vacío		X				
-						
Adhesivos	X		X	X	X	

Soldadura de metales				X		
Polímeros de soldadura			X	X		
Sujetadores	X	X				
-						
Mecanizado de precisión						
molienda				X	X	
Rodando			X	X	X	
pulido	X	X	X	X	X	X
-						
-						
moldeo en arena						
Fundición a presión					X	X
Fundición de inversión						
Fundición a baja presión			X	X	X	X
Origen						
extrusión			X			
Formación de hojas			X	X	X	
Métodos en polvo						
Electro mecanizado						
Mecanizado convencional						
-						
moldeo por inyección			X	X		
moldeo por soplado	X	X				
moldeo por compresión			X			
Moldeo por rotación						
Termoformado						
Polímero fundición		X	X	X		
Moldeo por transferencia de resina						
-	-					
devanado de filamentos						
Métodos de colocación						
Bolsa de vacío						

Realizado por (Autor)

Ahora, conociendo que se usara acero, el cual es un metal ferroso, se escogen procesos tales como la fundición en arena, fundición a presión, fundición de precisión, forjado, electro maquinado, maquinado convencional, doblado.

En los procesos de fundición el molde suele ser bastante costoso por lo que queda descartado; entre la forja, el electro maquinado y el maquinado convencional, el más asequible en precio y en oferta es el maquinado convencional. Y mirando en la tabla de forma de la pieza con el proceso, se puede notar que para el proceso de maquinado convencional están todas las formas, pero lo importante es que esta la de interés, que en este caso al ser un círculo extruido, sería un sólido 3D.

Primero se compró lamina de acero de calibre 20 el cual tenía unas medidas 1.20m x 1.60, de la cual se sacó toda la estructura

Se utiliza una dobladora de lámina, para darle una forma de caja. Posteriormente las tapas se ajustan por medio de remaches, y se refuerza con silicona para no dejar huecos el cual pueda escaparse olores en masa, forjando las esquinas como muestra la siguiente imagen.

Figura 63. Cortado de la lámina.



Realizado por (Autor)

Por medio de la pulidora se logra hacerle un hueco en toda la mitad de la caja, con dimensiones de 10cm x 10cm, el cual se le colocara la compuerta de activación de 90°, este proceso se le realiza a la primera y segunda caja.

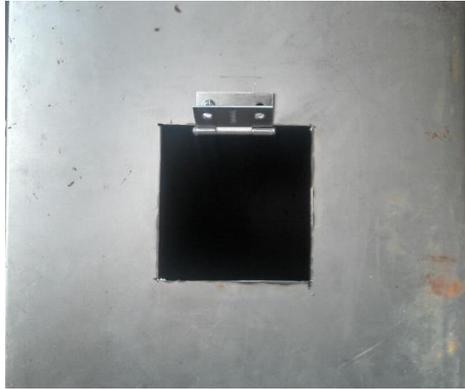
Los huecos para ajustar ya sea motores, sensores, bisagras entre otros; fue una broca de 3/16 para acero, en algunos casos se utilizan tornillos con arandelas para ajustar bien los sensores.

Figura 64. Doblado de las láminas.



Realizado por (Autor)

Figura 65. Corte de compuertas.



Realizado por (Autor)

Para el desarrollo de la base de la estructura se usó una mesa ya fabricada, se realizó un corte para el paso de la selladora y fue necesario soldar la estructura con soldadura 6011.

Figura 66. Estructura soldada.



Realizado por (Autor)

4. SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN PARA LA OBTENCIÓN Y EMPAQUETADO DE COMPOST

4.1 SISTEMA DE EMPAQUETADO

Para la entrega del producto a los posibles clientes se pensó en la obtención del producto a través de un empaque. La razón de realizar este procedimiento es debido a que el usuario no tendría contacto con los desechos. Por otro lado, es necesario realizar este procedimiento si se quiere trasladar el resultado del producto a otro sitio.

En primer lugar, para que el producto sea empacado es necesario que los desechos estén neutralizados, luego cae en una bolsa y por último pasa una prensa la cual realiza 3 cortes. Un primer corte es el sellado de la parte superior de la bolsa, el segundo es el corte de la misma y el tercero es el sellado del final de la siguiente bolsa.

El sistema está basado en un mecanismo de resistencias hecho por “Resistencias RODHER s.a.s.”, está compuesto por una resistencia de níquel forrada en teflón, esto está aislado de un tubo a través de una váquela. Para el calentamiento de la resistencia de níquel se realiza por medio de un transformador.

Figura 67. Selladora de pedal.



Realizado por (Autor)

El sistema de la anterior imagen es necesario utilizar un pedal para realizar el sellado, existen máquinas que utilizan un temporizador que permite tener un control mayor del sellado.

Basado en el sistema que se observó (*Figura 56.*), se diseñó una prensa con unos dientes que permitieran realizar corte y sellado al mismo tiempo, además se incorporó 2 resistencias en cada esquina del tubo que ayudan en el sellado de las bolsas, ahora bien, en cuanto para aislar la corriente se atravesó un bloque de madera y en las esquinas se usó la váquela.

Figura 68. Prensa de la selladora.



Realizado por (Autor)

4.1.1 Método de sellado

Para sellar las bolsas se usó un transformador de 1500 W, fue necesario conectar la salida en serie para generar el suficiente calor en la resistencias de níquel y poder pegar la bolsa.

Figura 69. Transformador de la selladora.

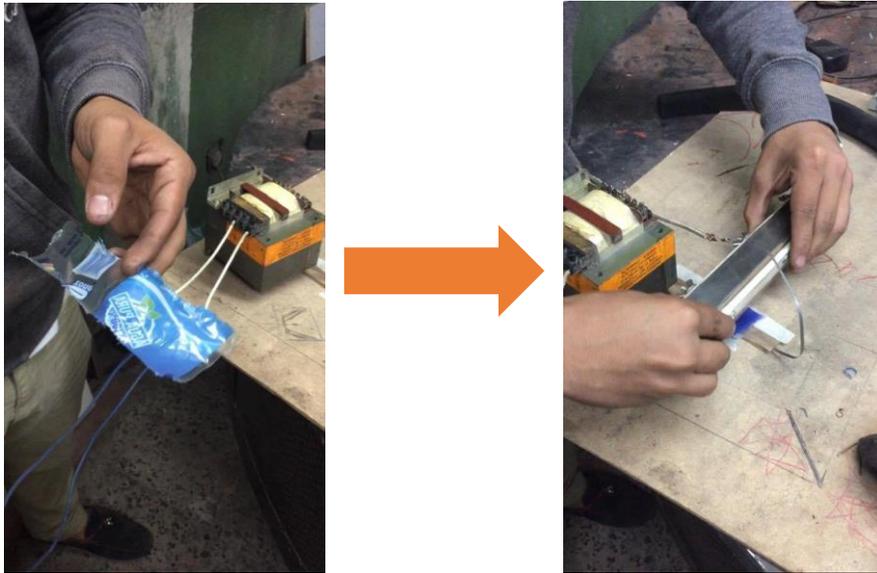


Realizado por (Autor)

Después de realizar esta conexión a la resistencia, se realizó el ensayo con diferentes tipos de bolsas (Figura 59.), ya que existen bolsas que después de realizar el sellado aún siguen abiertas o se rompen fácilmente.

Inicialmente la prensa se sostuvo para saber la cantidad de presión que se debe ejercer en la bolsa; a partir de estas pruebas se procede a realizar el proceso de montaje.

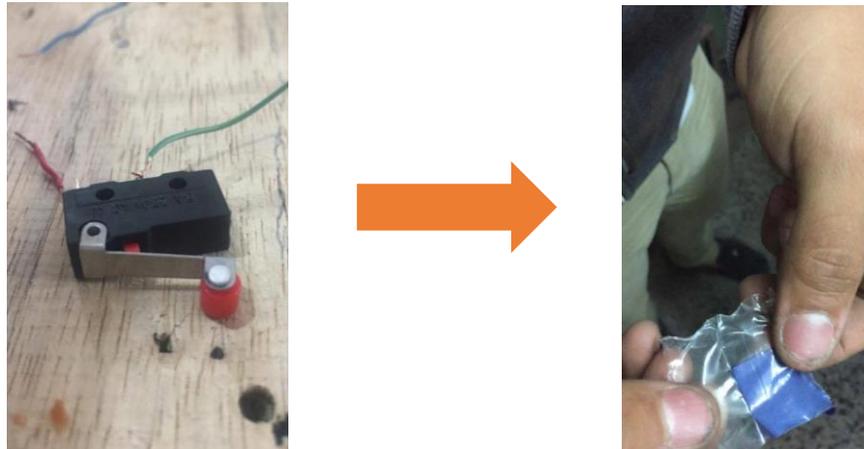
Figura 70. Prueba de sellado.



Realizado por (Autor)

Teniendo las pruebas listas, se instala a la prensa un microswitch de 5 amperios que será el que activará las resistencias, la sierra y la cinta teflón, el resultado del proceso es la bolsa empacada como se puede observar en la imagen

Figura 71. Resultado final del sellado.



Realizado por (Autor)

4.1.2 Método de Corte e Implementación

Para este método como se mencionó anteriormente se usó una parte de una sierra que va pegada al tubo que realiza la presión. Al realizar esta presión, los dientes quedan marcados en la bolsa para que al final el usuario realice la separación de cada bolsa manualmente.

Finalmente, todo se instaló en un brazo mecánico el cual tiene un juego de piñones que permiten que la prensa selle y se devuelva, para que esto se cumpliera, se usó un motor de 110 V.

Figura 72. Brazo mecánico.



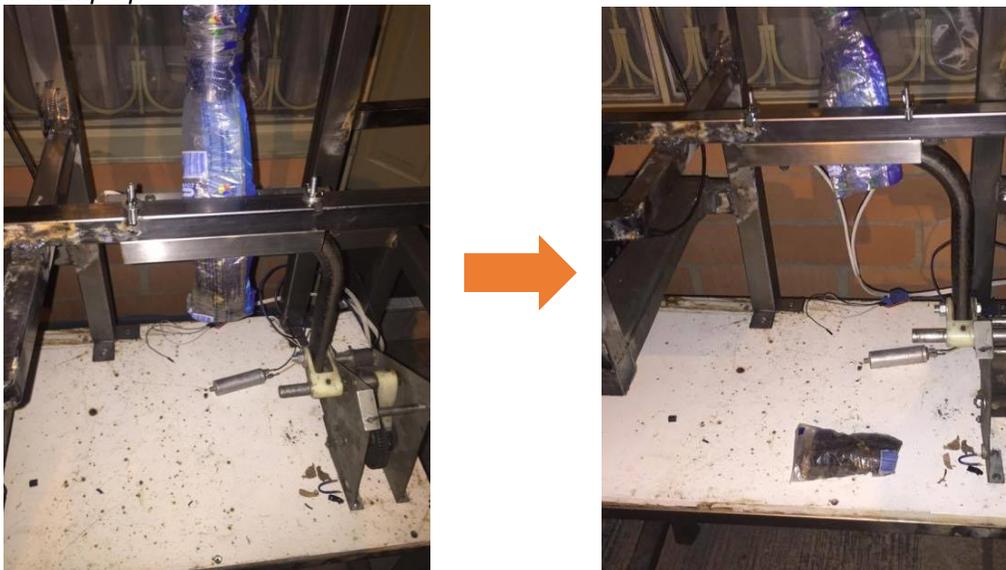
Realizado por (Autor)

4.2 ENTREGA AL USUARIO

El resultado final son los desechos neutralizados, estos pasan a través del embudo a una bolsa que tiene el final sellado. Esto permite que los desechos queden ahí depositados, después de depositados la prensa se mueve hasta sellarlo.

Como se ve en la imagen es el producto antes de que sea cortado y después como lo recibirá el usuario.

Figura 73. Empaquetado final.



Realizado por (Autor)

5. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Como se ha venido explicando, se integró todo el sistema mecánico y electrónico en el cual los desechos pasan por tres niveles y una etapa de empaquetado, a continuación se explicará cómo se realizó este proceso y como se tomaron las diferentes pruebas.

5.1 Prueba de descomposición

Figura 74. Prueba recolección y neutralización manual de las heces.



Realizado por (Autor)

Inicialmente, se recolectaron 100 gr de heces de humano y se embazaron a través de dos plásticos, en segundo lugar se realiza la adquisición del inóculo microbial; Este me permite descomponer las heces.

Figura 75. Recolección del inóculo microbial.



Realizado por (Autor)

Vale la pena aclarar, que se agregan 250 ml por cada 10 kg de estiércol que se quiera descomponer, en nuestro caso son 100g es necesario aplicar 2.5ml de inóculo microbial para compostaje, el cual consta en un preparación de bacterias vivas y activadas, listas para ser sembradas o depositadas en un nuevo medio que puede ir desde reactores hasta procesos de compostaje, gracias a este líquido se puede observar como el compost después de cierto tiempo de secado se neutraliza.

Figura 76. Mezcla del agua con los desechos.



Realizado por (Autor)

El agua hace una parte fundamental para este proceso en el cual por cada mililitro de inóculo microbial se le aplican dos mililitros de agua en nuestro caso se aplicaron 8 mililitros de agua a la mezcla final.

Figura 77. Reposo de la mezcla.



Realizado por (Autor)

Por último, los desechos entran a un proceso de empacado para poder neutralizar esto en menos tiempo, llevando el resultado del pH obtenido a 6.89 el cual entra en el rango de neutralización.

5.2 Prueba por niveles

Para la comprobación de los sensores y motores fue necesaria la realización de pruebas. En primer lugar, se pesó arroz el cual permite generar un buen peso y abrir la compuerta, para saber si el sensor de peso estaba arrojando un valor correcto se probó con diferentes objetos.

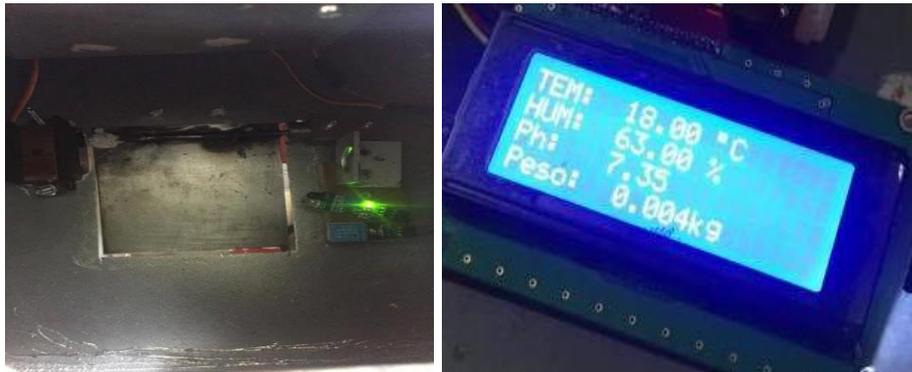
Figura 78. Prueba del sensor de peso.



En esta etapa se pudo observar que el sensor de peso está funcionando en perfectas condiciones, ya que el servomotor se activa después de 150 g.

En esta etapa también se comprobó el sensor de humedad, temperatura y proximidad. Como se puede observar en la siguiente imagen los sensores poseen un excelente funcionamiento con los datos obtenidos por la LCD.

Figura 79. Resultado del sensor.



Realizado por (Autor)

También fue necesario realizar una prueba al molino, ya que se van a introducir líquidos. Por ende, era necesario verificar si este tenía fugas. Además, se implementó al molino un módulo de relé que me permite unirlo al Arduino.

Figura 80. Prueba del motor.



Realizado por (Autor)

Por último, se realiza la prueba del sistema de empaçado, y se llegó a la conclusión que el producto puede ser entregado en bolsa de polietileno.

5.3 Prueba con la estructura

Para la realización de las pruebas del montaje completo, se realizó inicialmente la estructura por partes que permiten un ensamble de la máquina más fácil y entendible por el usuario.

La siguiente imagen muestra los procesos para llegar a la estructura completa, y el ensablaje final.

Figura 81. Proceso de la estructura.



Realizado por (Autor)

Se implementó toda la estructura y se hizo una inspección de las conexiones eléctricas para evitar cualquier corto o carga eléctrica que pueda perjudicar la estructura, sensores o motores.

Figura 82. Ensamblaje de la estructura.



Realizado por (Autor)

Después de haber revisado la estructura se procede a la activación de esta.

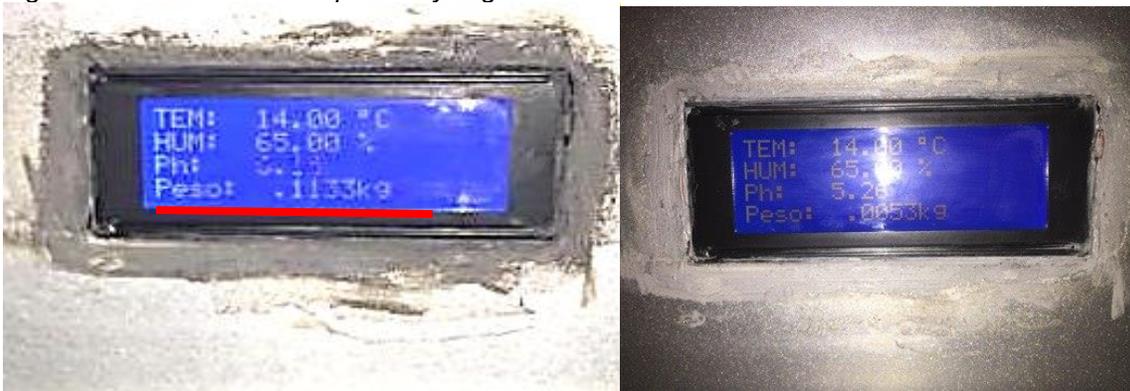
Figura 83. Activación de la estructura.



Realizado por (Autor)

Para la prueba de la estructura, se agregan 100 g de heces de humano y se observa que cumple con el peso indicado. Al cumplir con el rango de peso se observa que pasa a la segunda etapa en la cual calcula la humedad y la temperatura de las heces

Figura 84. Resultados de la primera y segunda fase.



Realizado por (Autor)

Se pudo observar que dependiendo el peso y las variables de temperatura y humedad, al detectar las heces por medio de un sensor de proximidad se encienden las dos bombas que le depositan la cantidad necesaria del inculo microbial y del agua para ser mezclado con el molino.

Figura 85. Comprobación de la tercera fase.



En el siguiente nivel se hace el proceso de secado, pasada una semana la maquina prueba automáticamente el pH y se puede observar que cumple con las condiciones. Finalmente pasa al último nivel que es el empaclado, se observa que el producto es depositado en la bolsa, cuando cayó todo el motor se mueve para sellar el producto final, cortarlo y ser entregado al usuario.

Figura 86. Fase final.



Realizado por (Autor)

6. RESULTADOS, DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

6.1 Resultados

6.1.1 Resultado 1

Se realizó un proceso de neutralización por medio de la combinación entre la tierra y el pasto, se tapó y con el paso del tiempo y los días se mide el pH; Al final se hizo una tabla comparativa donde se puede comparar los siguientes resultados

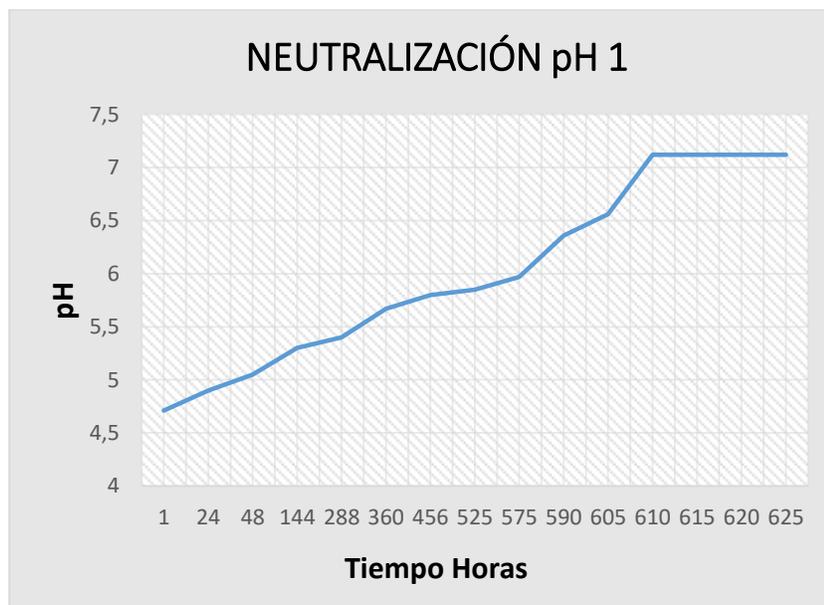
Figura 87. Prueba de compost artesanal.



Realizado por (Autor)

Tabla 11. Resultados de la prueba 1.

PH	TIEMPO HORAS
4.71	1
4.90	24
5.05	48
5.30	144
5.40	288
5.67	360
5.80	456
5.85	525
5.97	575
6.36	590
6.56	605
7.12	610
7.12	615
7.12	620
7.12	625



6.1.2 Resultado 2

Por medio de la prueba que se realizó manualmente con el inóculo microbial se tomaron una serie de muestras con el papel del pH y se obtuvieron los siguientes resultados.

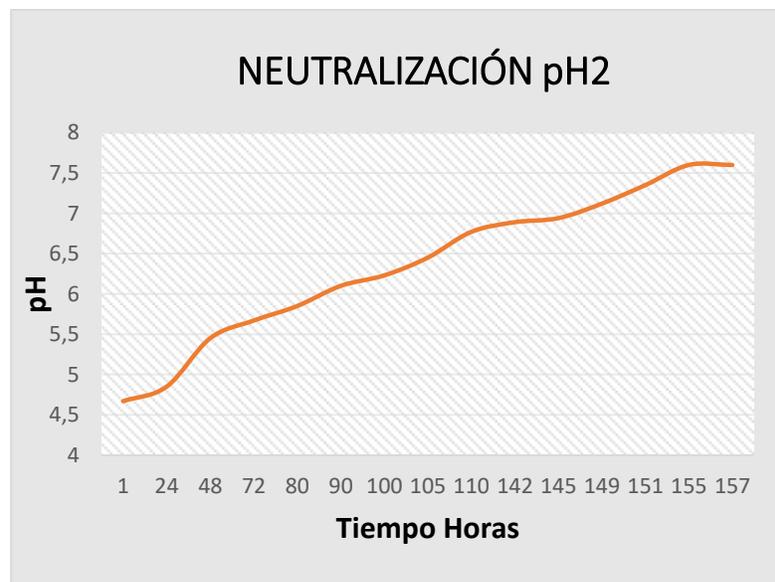
Figura 88. Prueba manual con el inóculo.



Realizado por (Autor)

Tabla 12. Resultados de la Prueba manual con el inóculo.

PH2	TIEMPO HORAS
4.67	1
4.85	24
5.45	48
5.67	72
5.85	80
6.10	90
6.23	100
6.45	105
6.77	110
6.89	142
6.94	145
7.12	149
7.35	151
7.60	155
7.60	157



6.1.3 Resultado 3 con la maquina

Se realizó una serie de muestras de pH con la máquina puesta en funcionamiento y observo lo siguiente

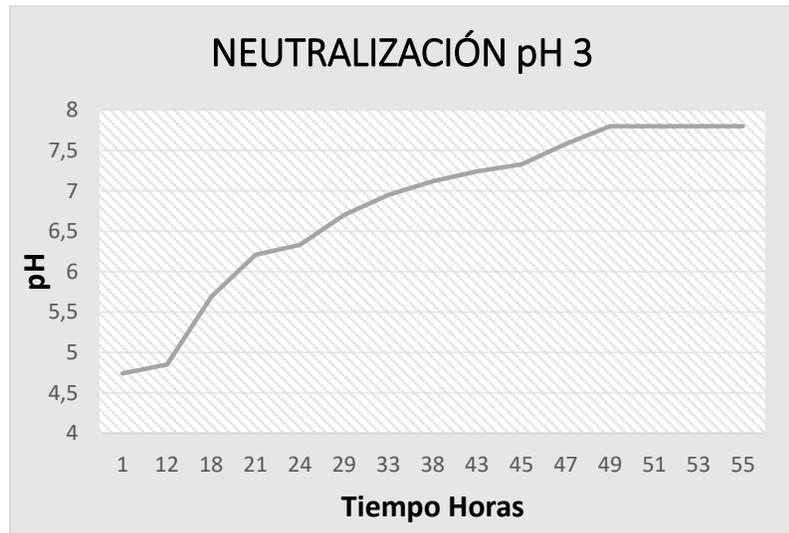
Figura 89. Prueba del sistema productor de compost.



Realizado por (Autor)

Tabla 13. Resultados de la prueba del sistema productor de compost.

PH3	TIEMPO HORAS
4.74	1
4.86	12
5.69	18
6.21	21
6.33	24
6.70	29
6.95	33
7.12	38
7.24	43
7.33	45
7.58	47
7.80	49
7.80	51
7.80	53
7.80	55



6.1.4 Comparación de resultados

Tabla 14. Comparación de resultados.



Como se puede observar el mejor proceso optimizado y con una mejor respuesta para la neutralización de las heces humanos fue el de la maquina pues en tan solo 55 horas las logro neutralizar esto gracias a la etapa de secado y a la cantidad necesaria y aplicada del inoculo microbial y del agua.

6.2 DISCUSIÓN

Este proyecto tuvo como propósito neutralizar y generar compost de las heces para disminuir el impacto ambiental y la contaminación en los ríos de Colombia, se tomaron tres pruebas de las cuales la primera fue hecha en campo con un uso convencional para neutralizarlas por medio de pasto y tierra.

Según el estudio realizado por Centro de Resiliencia de Aranjuez¹¹ nos comunica que la neutralización y el proceso de compost dura alrededor de 3 meses, pero cuando se realizó la prueba en campo se pudo observar que al mes de haber realizado la toma de pH, las heces se encontraban neutralizadas. Esto se debe a la condición ambiental en la que fue hecha se realizó en el municipio de Rivera en el departamento del Huila, este municipio cuenta con una temperatura promedio de 26 °C lo cual ayuda a que el secado sea más rápido y eficaz.

¹¹ <https://csaranjuez.wordpress.com/2013/04/12/el-reciclaje-de-los-excrementos-humanos-es-la-clave-para-la-agricultura-sostenible>

Los datos obtenidos al cabo de un mes, fueron el pH, debido a que este se encontraba en 7.12 ya perfecto y neutralizado. Para así, con el compost obtenido se pueda generar diferentes alternativas como la producción de energía.

La segunda prueba fue hecha en el mismo municipio, pero en esta se la agregó el producto inóculo microbial y agua para llevarlo al mismo fin de la primera prueba que es la neutralización de heces, pero en un menor tiempo.

$T_a = \text{Tiempo alcanzado}; T_e = \text{Tiempo esperado}$

$$\text{eficiencia} = \frac{T_a}{T_e} * 100$$

$$\text{efectividad} = 100 - \text{eficiencia}$$

En la segunda prueba se observó que el tiempo bajo a 7 días, ya el compost realizado se encontraba con un pH de 7.6. De acuerdo con la formula, la efectividad al manejar este producto fue 77 % con respecto al tiempo. Además, se llegó a la conclusión que el calor es un factor importante en la realización de este proceso.

Por último, el tercer resultado fue realizado por medio del prototipo el cual se dividió en: un nivel de secado, un estudio de variables. En las cuales pudimos encontrar la cantidad de heces, la temperatura a la que se encontraban y la humedad. Debido a que se agregaba la cantidad adecuada del inóculo microbial para una cantidad de 10Kg, 17L de agua y 250ml de inóculo. Haciendo las pruebas necesarias se observó que la máquina tenía un buen funcionamiento ya que ayudó a que la fertilización de las heces fuera mucho mejor. Debido a que en tan solo 3 días las heces fueron neutralizadas, por tal motivo se generó una efectividad del 90 % con respecto al tiempo.¹²

Cabe resaltar que en el sistema de empaque se realizaron varias pruebas con diferentes tipos de bolsa hasta llegar al plástico polietileno, ya que las otras bolsas se deformaban con el calor. Además, se investigó que para reducir el impacto ambiental de la máquina es recomendable utilizar bolsas oxobiodegradables, es decir, que se degrada más rápido y no es tan contaminante como las bolsas comunes.

Para finalizar, con nuestros resultados se encontró un número de variables las cuales podrían desempeñar una labor importante no solo por el ahorro del tiempo sino también por la calidad y estética. Gracias a esto, los consumidores podrán tener un producto con mejor higiene y estética para su uso y así realizar un cambio ecológico para hacer un aporte a la no contaminación de los ríos. Es por eso que se realiza un llamado para utilizar esta máquina y así obtener un futuro sostenible y un mejor mañana para el país y el mundo.

¹² <http://www.ceppia.com.co/Herramientas/INDICADORES/Indicadores-efectividad-eficacia.pdf>.

Figura 90. Características generales del prototipo.



Realizado por (Autor)

6.3 CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un prototipo capaz de transformar las heces humanas en compost para posibles usos como la generación de energía y abono, además esta máquina tiene un sistema adecuado para implementarla en la industria de producción.
- Se implementó un sistema capaz de elaborar el compost en menor tiempo (Horas), teniendo en cuenta variables que influyen en la descomposición de la materia fecal estas fueron la temperatura, humedad y el pH. Durante el proceso se fue midiendo la temperatura y la humedad.
- Se diseñó un sistema de secado autónomo, ya que se controla el funcionamiento de los ventiladores a partir del pH que suministra el compost; El funcionamiento de los ventiladores hace que el secado sea eficaz.
- Se identificó un proceso capaz de descomponer las heces humanas por medio de fases que generan una mejora en cuanto al tiempo.
- Se construyó una estructura capaz de albergar desechos, los cuales se pueden realizar el tratamiento respectivo con el inóculo microbial sin que el material sufra daño alguno.
- Se desarrolló un prototipo que es capaz de hacer una producción para el empaquetado, el cual permite hacer el sellado y un semicorte de la bolsa al mismo tiempo, esto se logró a través de resistencias que generan calor para el sellado adecuado del plástico.
- De acuerdo al sistema de empaquetado no se puede implementar cualquier tipo de plástico ya que este tiende a quemarse y deteriorarse, es por esto que se utiliza el material polietileno.

6.4 TRABAJO A FUTURO

El trabajo a futuro es la vinculación del prototipo con empresas que elaboren de abono y permitan la generación de gas, esto se hace con el fin de reutilizar los desechos para poder disminuir el impacto ambiental y poder llegar a poblaciones donde la gente carece de recursos.

Además, se busca la implementación de resistencias en la fase de descomposición, esto con el fin de aumentar la temperatura y llevar el compost a una etapa termofílica, donde la temperatura se encuentra en un rango de 45°C - 70°C. Esto ayudaría a destruir los organismos patógenos, huevos

y larvas de insectos, al conseguir esto se lograría obtener un mejor compost el cual se podría utilizar en cultivos.

Otro aspecto a mejorar, es la utilización de la temperatura y humedad como variables dependientes en cuanto la mejora del compost. Teniendo en cuenta estas características, mejoraría el rendimiento de la maquina en cuanto al tiempo ya que el prototipo no se basaría en lograr el valor de pH, sino en la identificación de cualquiera de estas tres variables.

Por último, otra mejora que se puede implementar a futuro, son las bolsas biodegradables en la parte de empaquetado ya que se mantendría la misma calidad de bolsa pero el impacto ambiental de esta sería menor.

6.5 PRODUCTOS DERIVADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo del prototipo, el proyecto de grado fue preseleccionado para el congreso CIIMCA, realizado en Bucaramanga, con la presentación del artículo “Automation of the drying process for producing compost from human feces”. Se adjunta carta de aceptación por parte del comité (*Figura 95*).

Por otra parte, el proyecto fue aceptado en la primera fase de brigada de patentes desarrollada por Bogotá Connect.

Figura 91. Carta de aceptación CIIMCA.



Bucaramanga, May 20th 2017

Mr(s) Jennifer Paola Corredor
jennifer-corredor@upc.edu.co

Dear Author,

We acknowledge the receipt of your contribution entitled "**Automation of the drying process for producing compost from human feces**" for presentation at the 3rd International Congress of Mechanical Engineering and Agricultural Science and the 2nd International Conference Science and Technology of Drying, to be held October 2-6 at Bucaramanga, Colombia.

According to initial assessment of the scientific committee, your Abstract has been pre-selected to be presented in the **Oral** sessions, thematic area *Automation and Agricultural Science*. Please, take into consideration the following aspects that must be modified or included in your extended paper in order to receive your final communication of acceptance: *It would not be better to use the term "biosolid" instead of "human feces"; likewise, is recommended to use third person instead of first person in the last sentence. Please indicate just one corresponding author.*

Remember that the deadline for the extended paper submission is June 25th, 2017. All contributions must be submitted in the Microsoft Word template available at <http://conferenceseries.iop.org/content/authors>. Finally, we would like to remind you that each person is allowed to submit a maximum of two contributions as presenting author. There is no limit to the number of extended papers submitted as co-author.

Thank you very much for your kind cooperation and we are looking forward to welcoming you in Bucaramanga.

On behalf of the organizing committee and the scientific committee,

Dr. Sandra P. Cuervo A.
CIIMCA 2017 & CICTS 2017
Scientific Committee Secretary
ciimca2017.bga@upb.edu.co
<http://ciimca.upbbga.edu.co>

ciimca2017.bga@upb.edu.co
<http://ciimca.upbbga.edu.co>

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

2012. [En línea] 2012. rpp.pe/vida-y-estilo/salud/.

[En línea] <http://www.tipos.co/tipos-de-abonos/#ixzz4apPkqyH7>.

Alemana, Proyecto de Sanidad Vegetal de la Cooperación Técnica. [En línea] www.bionica.info/biblioteca/AnonimoProduccionAbonosOrganicos.pdf.

Aquatron International AB. Aquatron WC soluciones biológicas! *Aquatron*. [En línea] <http://www.aquatron.se/how-it-works/>.

Autonics . Newark element 14. *Newark element 14*. [En línea] <http://mexico.newark.com/autonics/cr18-8dp/proximity-sensor-capacitive-8mm/dp/10R6706>.

Botanical-online. 1999-2016. [En línea] 1999-2016. www.botanical-online.com/nutrientesplantas.htm.

Boullosa, Nicolás. 2014. Váteres para nómadas: 10 WC baratos, portátiles y ecológicos. *Váteres para nómadas: 10 WC baratos, portátiles y ecológicos*. [En línea] 14 de 05 de 2014. <https://faircompanies.com/articles/>.

BV, Lenntech. Lenntech. *Lenntech*. [En línea] <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>.

Cantón, Emilia Cercenado y Rafael. 200*. [En línea] 200*. www.seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia35.pdf.

Colombia, Hanna. Hanna instruments. *Hanna instruments*. [En línea] <http://www.hannacolombia.com/productos/instrumentacion-de-procesos/electrodos-industriales/electrodo-combinado-de-ph-sensor-de-platino-conexion-bnc-5-m>.

Decker, Kris De. 2013. Centro de Resiliencia de Aranjuez. *El reciclaje de los excrementos humanos es la clave para la Agricultura Sostenible*. [En línea] 01 de 03 de 2013. permaculturenews.org.

Dinero. 2016. Dinero Economía . *Dinero Economía* . [En línea] 8 de 5 de 2016. <http://www.dinero.com/economia/articulo>.

ECOCOMUNIDAD. ECOMUNIDAD . [En línea] <http://www.ecocomunidad.org.uy/ecosur/txt/compost.htm>.

Ecoportal. 2015. [En línea] 2015. www.ecoportal.net/Eco-Noticias/Una-maquina-transforma-las-heces-humanas-en-electricidad-y-agua-potable.

Ecoportal.net. 2015. Ecoportal.net. *Ecoportal*. [En línea] 19 de 01 de 2015. <http://www.ecoportal.net/Eco-Noticias/Una-maquina-transforma-las-heces-humanas-en-electricidad-y-agua-potable>.

E-Cultura Group. 2016. El pensante educación. *El pensante educación*. [En línea] 15 de 04 de 2016. <https://educacion.elpensante.com/cual-es-el-ph-del-jugo-de-naranja/>.

—. 2016. El pensante educación. *El pensante educación*. [En línea] 23 de 08 de 2016. <https://educacion.elpensante.com/cual-es-el-ph-del-cloro/>.

EL TIEMPO. 2012. EL TIEMPO. *EL TIEMPO*. [En línea] 12 de 07 de 2012. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12024401>.

Francisco J. Arroyo, Magdalena Bulnes. 2005. *Lo que sabemos de la orina humana como fertilizante*. Tepoztlán, Morelos : s.n., 2005.

G.D, Francisco J. Arroyo y P., Magdalena Bulnes. 2005. Sarar Transformación SC. *Sarar Transformación SC*. [En línea] 02 de 2005. http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ARROYO%20et%20al%202002%20Lo%20que%20sabemos%20de%20orina%20humana%20como%20fertilizante-SPANISH.pdf.

GOMEZ, G. 2017. *Elaboración, Caracterización y Comparación de abonos orgánicos*. Cali, Colombia : Talleres grafica de impresos Feriva S.A., 2017.

GONZÁLEZ, Sotelo Alfredo. 1995. *Aplicación y efecto residual del estiércol en la producción y calidad del buffel (Cenchrus ciliaris c. v. Texas-4464) en el trópico seco*. Colima, México : Universidad de Colima, 1995.

Iberoamericana, Divulgación y Cultura Científica. 2006. [En línea] 2006. www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/noticias_625.htm.

—. 2006. [En línea] 2006. www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/noticias_625.htm.

Icontec Internacional. 2011. Norma Técnica Colombiana. *Norma Técnica Colombiana*. [En línea] 23 de 03 de 2011. <https://tienda.icontec.org/producto/impreso-ntc-5167-productos-para-la-industria-agricola-productos-organicos-usados-como-abonos-o-fertilizantes-y-enmiendas-o-acondicionadores-de-suelo/?v=42983b05e2f2>.

IVÁN, ACOSTA CARRIÓN WILSON Y PERALTA FRANCO MILTON. 2015. [En línea] 2015. dspace.unicundi.edu.co.

Labza. [En línea] [/www.labza.com.ar/descargas/inoculantes.pdf](http://www.labza.com.ar/descargas/inoculantes.pdf).

Llamas, Luis. 2016. Tutoriales Arduino. *Tutoriales Arduino*. [En línea] 2016. <https://www.luisllamas.es/detectar-obstaculos-con-sensor-infrarrojo-y-arduino/>.

mechatronics, Naylamp. Naylamp mechatronics. *Naylamp mechatronics*. [En línea] <http://www.naylampmechatronics.com/sensores-varios/155-celda-de-carga-5kg.html>.

MEPHISTOS. 2009. Acido Butirico. *Acido Butirico*. [En línea] 22 de 10 de 2009. <http://acidobutanoico.blogspot.com.co>.

Mercola, Dr. 2013. Tome control de su salud. *Tome control de su salud*. [En línea] 14 de 02 de 2013. <http://espanol.mercola.com/boletin-de-salud/forma-y-color-de-las-heces.aspx>.

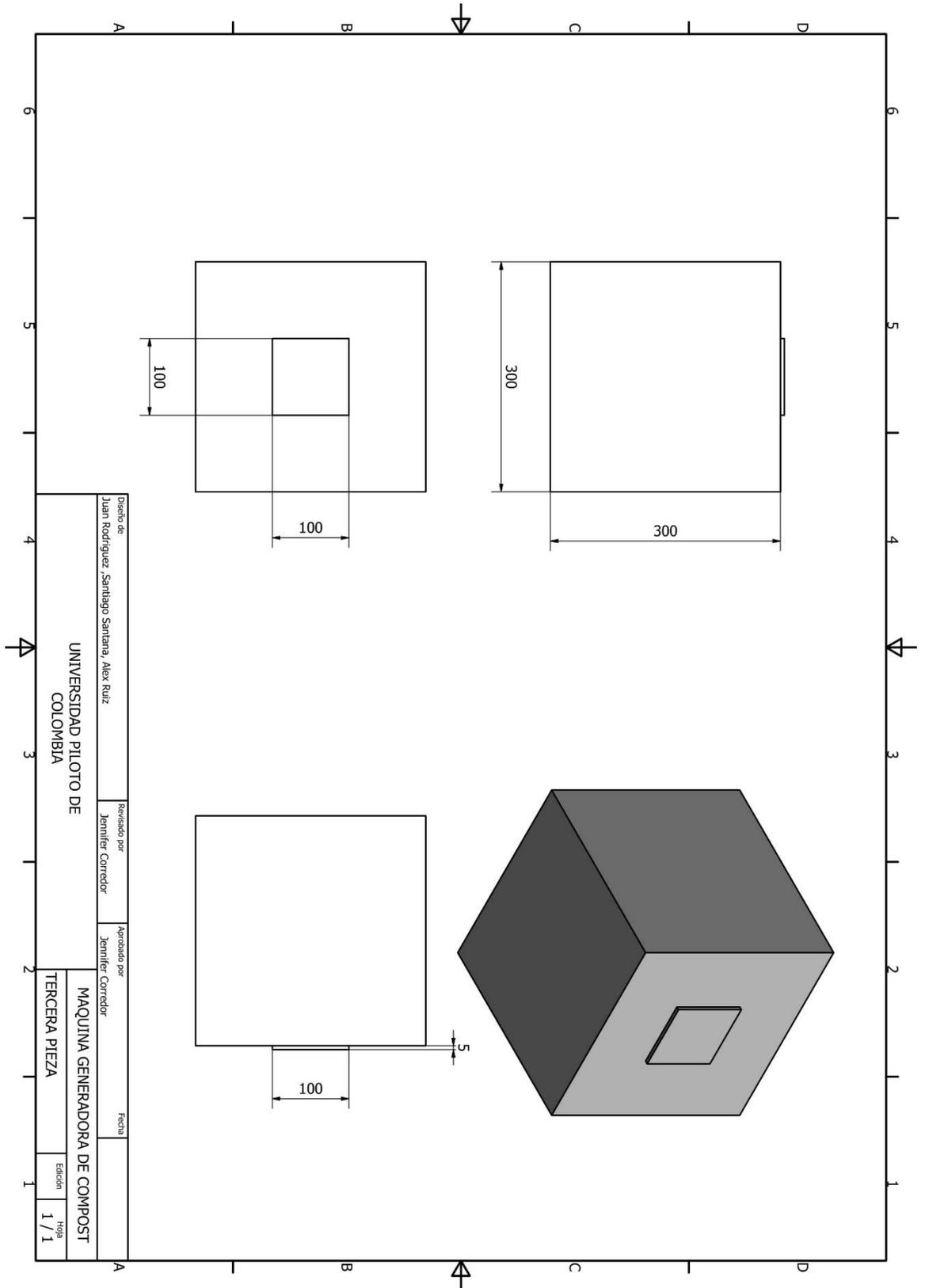
Ministerio de agricultura y desarrollo rural. ICA. ICA. [En línea] <http://www.ica.gov.co/>.

- Nacional de Acero, S.A. de C.V.** NASA. NASA. [En línea] <http://www.nacionaldeacero.com/tabla-de-calibres>.
- Parra, Sergio. 2014.** Xataka ciencia . *Xataka ciencia* . [En línea] 06 de 02 de 2014. <https://www.xatakaciencia.com/salud/cuantas-clases-de-caca-puede-evacuar-un-ser-humano-la-escala-de-heces-de-bristol>.
- POPULAR, CIENCIA. 2012.** [En línea] 2012. www.cienciapopular.com/ecologia/degradacion-de-la-basura.
- Ramírez, Roberto. 2002.** *Características de los suelos de altillanura plana y acondicionamiento mediante el uso de correctivos, fertilizantes y abonos orgánicos*. Puerto carreño, Vichada : s.n., 2002.
- Rodríguez, Andrea. 2013.** *Sobrepoblación en el municipio de Cogua*. Cogua : Sena, 2013.
- Semana. 2015.** Semana Sostenible. *Semana Sostenible*. [En línea] 10 de 07 de 2015. <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/>.
- . **2017.** Semana Sostenible. *Semana Sostenible*. [En línea] 24 de 03 de 2017. <http://sostenibilidad.semana.com/impacto/>.
- Soloelectronicos. 2013.** Sensores de Temperatura para tu Arduino o Netduino . *Sensores de Temperatura para tu Arduino o Netduino* . [En línea] 04 de 02 de 2013. <http://soloelectronicos.com/2013/02/04/1112/>.
- TD Egypt. 2007.** TD Egypt. *TD Egypt*. [En línea] 2007. <https://www.tdegypt.com/product/iici2ctwisp-interface-for-arduino/>.
- TROCHEZ, JOSE SÉLIMO MUÑOZ. 2005.** *COMPOSTAJE EN PESCADOR, CAUCA: TECNOLOGÍA APROPIADA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS*. Palmira : UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA, 2005.
- Welle, Deutsche. 2017.** Semana Sostenible. *Semana Sostenible*. [En línea] 24 de 03 de 2017. <http://sostenibilidad.semana.com>.
- Ximena, GÓMEZ TEQUIA Adriana y Tovar Gil. 2008.** [En línea] 2008. www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis121.pdf.

ANEXO A. PLANO ETAPA NÚMERO UNO

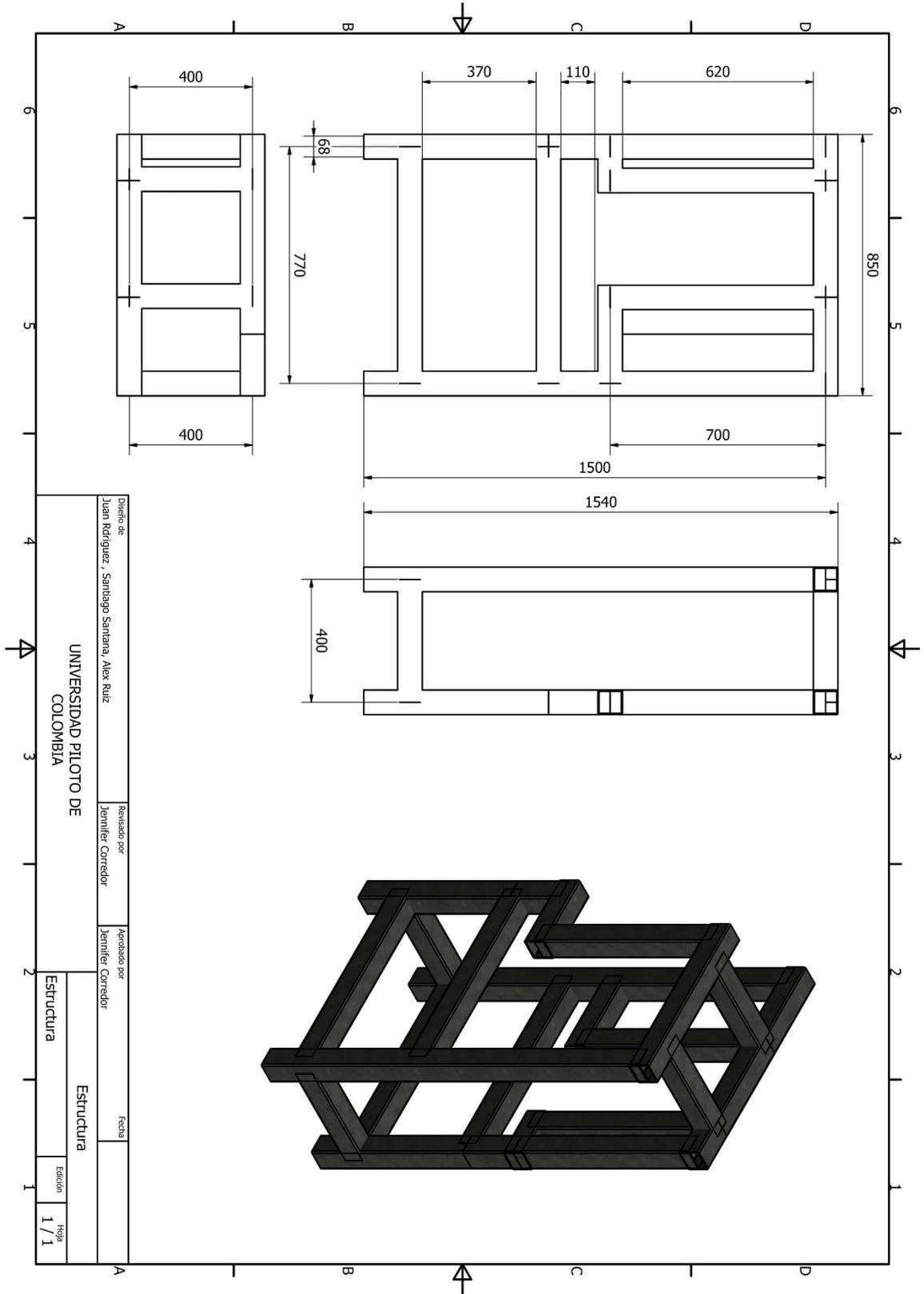
ANEXO B. PLANO ETAPA NÚMERO DOS

ANEXO C. PLANO ETAPA NÚMERO TRES

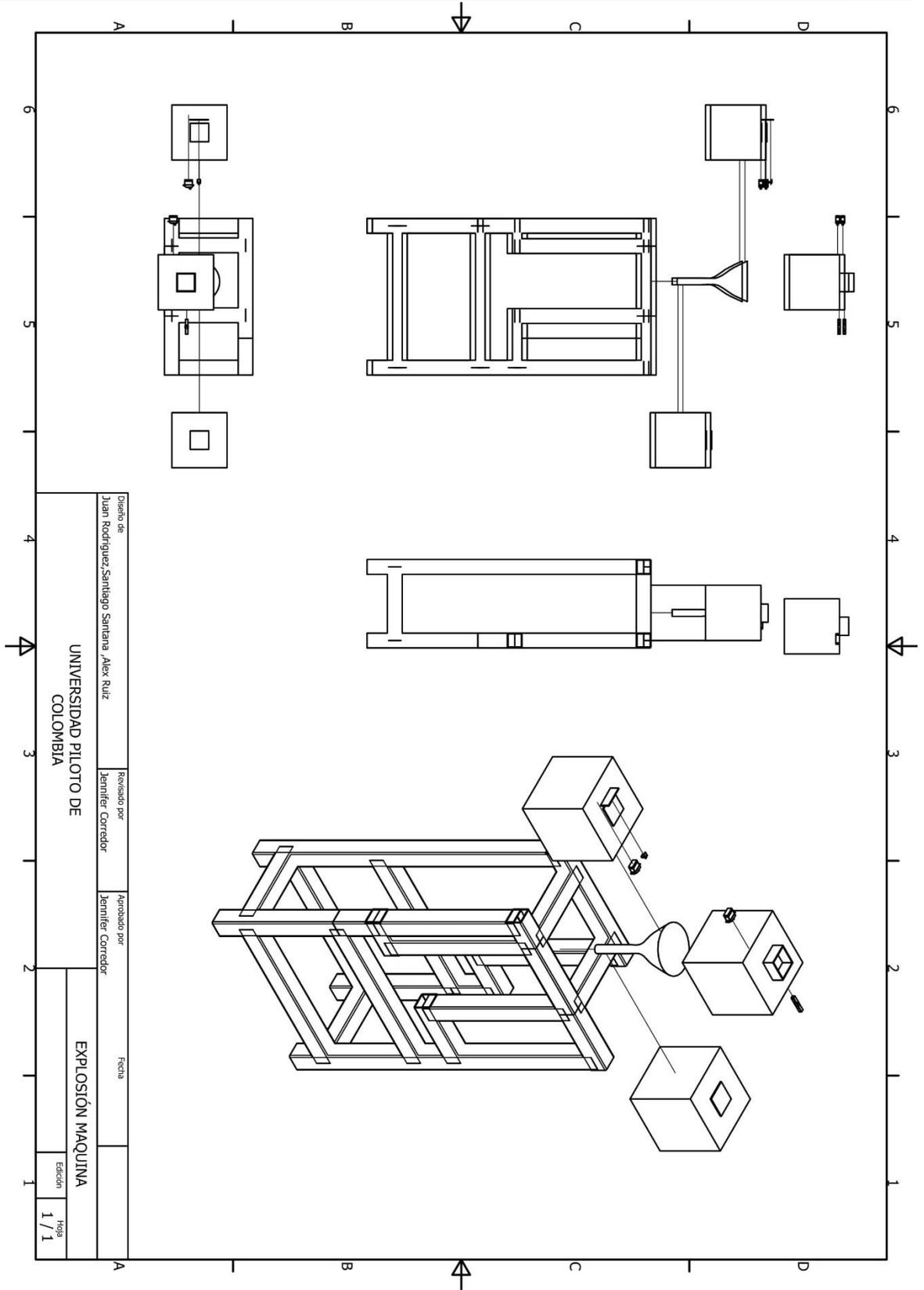


ANEXO D. PLANO UNIÓN DE ETAPAS

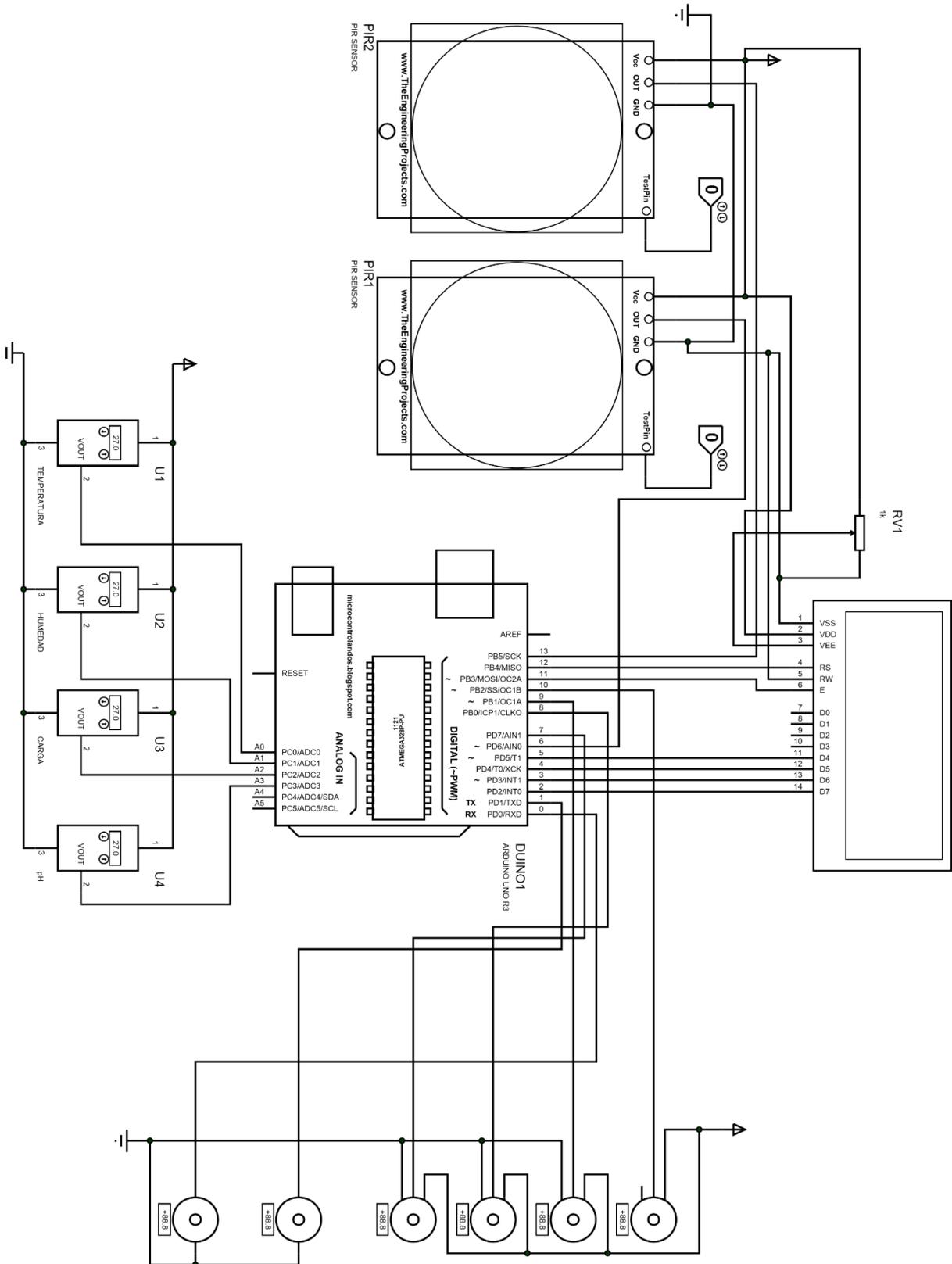
ANEXO E. PLANO BASE DE LA ESTRUCTURA



ANEXO F. PLANO EXPLOSIÓN DEL PROTOTIPO



ANEXO G. PLANO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO



ANEXO H. PLANO CELDA DE PESO

