

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO
ORGÁNICO A TRAVÉS DE LA TRANSFORMACIÓN MECÁNICA DE LA
BIOMASA EN UNA PARCELA EN LA MESA DE LOS SANTOS**

**GUY BLEY ZAMBRANO MORENO
RAÚL ANTONIO GORDON JIMÉNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2019

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO
ORGÁNICO A TRAVÉS DE LA TRANSFORMACIÓN MECÁNICA DE LA
BIOMASA EN UNA PARCELA EN LA MESA DE LOS SANTOS**

**GUY BLEY ZAMBRANO MORENO
RAÚL ANTONIO GORDON JIMÉNEZ**

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Mecánico

**Director
JORGE LUIS CHACÓN VELASCO
PhD. en Ingeniería Mecánica**

**Codirector
YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ
PhD. en Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2019

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a todas las personas que de una u otra forma con su ayuda y colaboración intervinieron en la consecución de este trabajo de grado.

Al ing. Jorge Luis Chacon Velasco, director del proyecto, por su orientación, confianza y colaboración en este proyecto de grado.

Al ing. Yesid Javier Rueda Ordoñez, profesor de la Universidad Industrial de Santander por habernos guiado, por su disposición y amabilidad para cumplir los objetivos propuestos en este proyecto.

A todos los profesores catedra y planta de la escuela de ingeniería mecánica, por sus conocimientos aportados a este proyecto y al desarrollo de este.

}

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. MARCO TEÓRICO	22
4.1 ABONO ORGÁNICO	22
4.1.1 Origen de los abonos orgánicos.	22
4.1.2 Influencia sobre las características físicas químicas y biológicas del suelo..	22
4.2 MATERIA ORGÁNICA.....	23
4.3 COMPOST.....	27
4.3.1 Compostación.	27
4.3.2 Agentes de descomposición.	28
4.4 ETAPAS DEL COMPOSTAJE	29
4.5 CARACTERÍSTICAS DEL COMPOST	31
4.6 COMPOSICION QUIMICA DEL COMPOST.....	32
4.7 MATERIAS PRIMAS DEL COMPOST.....	33
4.8 PARÁMETROS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	34
4.9 TÉCNICAS DE COMPOSTAJE.	36
5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	38
5.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	39
5.2 DESCRIPCION DE ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	43
6. DISEÑO	45
6.1 SECCIÓN DE SELECCIÓN	45
6.1.1 Selección y características de las materias primas.....	45

6.1.2 Recetas de la materia orgánica.	48
6.2 SECCION DE CORTE	51
6.2.1 Propiedades de la madera.	52
6.2.2 Análisis de penetración.	53
6.2.3 Parámetro para el diseño de cuchillas.	56
6.2.4 Área de trabajo de la máquina.	59
6.2.5 Diseño de equipo	60
6.3 SECCIÓN DE SECADO	84
6.3.1 Descripción del modelo de secado.	85
6.3.2 Diseño.....	87
6.4 PROCESO DE COMPOSTAJE	94
6.4.1 Volumen de trabajo.....	95
6.4.2 Diseño.....	97
6.4.3 Análisis de esfuerzos.	109
6.4.4 Control de variables	114
7. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA	120
8. CONCLUSIONES	123
BIBLIOGRAFÍA.....	125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Evolución de la temperatura y pH durante el proceso de maduración.	30
Figura 2. Alternativa 1.....	39
Figura 3. Alternativa 2.	40
Figura 4. “Triturador de pastillas”. Alternativa 3	41
Figura 5. Alternativa 4.....	42
Figura 6. Equipo triturador.	51
Figura 7. Comparación del filo de la cuchilla y dureza Brinell.	56
Figura 8. Penetración de la cuchilla en la madera.	56
Figura 9. Cuchilla con tres filos.	58
Figura 10. Cuchillas que trabajan simultáneamente.	59
Figura 11. Zona de trabajo.....	60
Figura 12. Fuerza de la cuchilla y ángulo de presión de los engranajes.....	61
Figura 13. Fuerzas presentes en cuchillas y engranajes.	61
Figura 14. Eje conducido y sus componentes.	62
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre eje conducido, (Plano Y-Z).	63
Figura 16. Diagrama de fuerza cortante. (Plano Y-Z)	64
Figura 17. Diagrama de momento flector. (Plano Y-Z)	65
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre eje conducido. (Plano X-Z)	65
Figura 19. Diagrama de fuerza cortante. (Plano X-Z)	67
Figura 20. Diagrama de momento flector. (Plano X-Z)	67
Figura 21. Diagrama de momento flector combinado.	68
Figura 22. Eje conductor y sus componentes.	70
Figura 23. Diagrama de cuerpo libre eje conductor. (Plano Y-Z).....	71
Figura 24. Diagrama de fuerza cortante del eje conductor. (Plano Y-Z)	72
Figura 25. Diagrama momento flector del eje conductor. (Plano Y-Z)	73

Figura 26. Diagrama de cuerpo libre eje conductor. (Plano X-Z).....	73
Figura 27. Reacciones en los apoyos, momento flector y fuerza cortante. (Plano X-Z).....	74
Figura 28. Diagrama del eje conductor. (Plano X-Z).....	74
Figura 29. Diagrama momento flector del eje conductor. (Plano X-Z)	75
Figura 30. Diagrama de momento flector combinado.	75
Figura 31. Rodamiento de rodillos.	80
Figura 32. Semi cajón de secado.....	86
Figura 33. Soporte de secado.....	86
Figura 34. Ensamble de mesa de secado.....	86
Figura 35. Soporte para cajones se secado	87
Figura 36. Alturas recomendadas para trabajar de pie	90
Figura 37. Vista isométrica compostadora.....	94
Figura 38. Corte longitudinal de compostadora.	95
Figura 39. Fuerzas en la compostadora	101
Figura 40. Rodamientos de bolas a rotula	102
Figura 41. Soporte de rodamiento SKF	103
Figura 42. Circuito motor hidráulico	107
Figura 43. Catálogo de cadenas americanas SKF.....	108
Figura 44. Sistema de transmisión de potencia	109
Figura 45. Análisis de deformación.....	110
Figura 46. Análisis de tensiones	111
Figura 47. Análisis de deformación del eje soportador	112
Figura 48. Análisis de tensiones del eje soportador.....	113
Figura 49. Análisis de factor de seguridad.....	113
Figura 50. Termómetro TAYLOR	114
Figura 51. 4 in 1 soil survey instrument	115
Figura 52. Medidor PMS-714	116
Figura 53. Selección de compresor por catálogo NUAIR.....	117
Figura 54. Recinto de conserva de materia orgánica.....	118

Figura 55. Recinto de conserva de materia orgánica.....118

Figura 56. Recinto de conserva de materia orgánica dimensiones exteriores
longitudes en [m].....119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Abonos verdes y su contenido nutricional.....	25
Tabla 2. Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca).....	26
Tabla 3. Análisis químico del compost.....	32
Tabla 4. Relación C/N de algunos materiales.....	48
Tabla 5. Parámetros durante la descomposición de la materia	50
Tabla 6. Propiedades mecánicas de algunas maderas.	53
Tabla 7. Condiciones del ensayo de dureza según densidad.	54
Tabla 8. Escala de dureza de la madera.	54
Tabla 9. Parámetros para la simulación de ensayo de dureza.	55
Tabla 10. Cálculo de áreas.	55
Tabla 11. Parámetros para el diseño de cuchillas	58
Tabla 12. Valores para el análisis de fuerzas.	60
Tabla 13. Fuerzas y reacciones en cada elemento.....	62
Tabla 14. Lugar de las fuerzas para el análisis del eje.	63
Tabla 15. Reacciones, fuerza cortante máxima y momento flector. (Plano Y-Z) ...	64
Tabla 16. Reacciones, cortante máximo y momento flector. (Plano X-Z)	66
Tabla 17. Valores obtenidos de la combinación de diagramas.	68
Tabla 18. Distintas clases de acero para dimensionar el eje.	69
Tabla 19. Cálculo del diámetro mínimo del eje conducido.....	69
Tabla 20. Lugar de las fuerzas para el análisis del eje conductor.....	70
Tabla 21. Reacciones, momento flector y fuerza cortante máxima. (Plano Y-Z) ...	71
Tabla 22. Valores obtenidos de la combinación de diagramas.	76
Tabla 23. Distintas clases de acero para dimensionar el eje.	76
Tabla 24. Cálculo del diámetro mínimo del eje conducido.....	77

Tabla 25. Condiciones de trabajo de los engranajes.	81
Tabla 26. Combinaciones de módulo y número de dientes.	82
Tabla 27. Factores para el cálculo de engranajes.	83
Tabla 28. Esfuerzo permisible del material utilizado.	84
Tabla 29. Parámetros durante la descomposición de la materia	84
Tabla 30. Propiedades del acero inoxidable ASTM A36 calibre 12	88
Tabla 31. Modelos de compostadores Volcomp	95
Tabla 32. Costos cortadora.....	120
Tabla 33. Costos compostadora.	121
Tabla 34. Costos secado y reposo de materia orgánica.	121
Tabla 35. Mano de obra.	121

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Planos de diseño del sistema

Anexo B. Manual de uso

Anexo C. Mantenimiento

Anexo D. Manual de construcción

Anexo E. Calculo de chavetas y motor de la cortadora

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y ANALISIS DE UN SISTEMA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO A TRAVÉS DE LA TRANSFORMACIÓN MECÁNICA DE LA BIOMASA EN UNA PARCELA EN LA MESA DE LOS SANTOS*.

AUTORES: GUY BLEY ZAMBRANO MORENO
RAUL ANTONIO GORDON JIMENEZ**.

En este trabajo de grado, se muestra el procedimiento seguido para el diseño y análisis de un sistema para la producción de biomasa en una parcela en la mesa de los santos, debido a la gran cantidad de residuos orgánico que se genera en este lugar, material que se puede reutilizar como fertilizante con un debido proceso. Se propuso el diseño un sistema de producción que se divide en secciones que son corte de biomasa, secado, compostaje y almacenaje de biomasa. La selección de los diversos componentes que componen las secciones fueron efectuadas aplicando técnicas y métodos de energía, resistencia de materiales, estática y dinámica, así como también se emplea el software de modelado y simulación estructural SolidWorks, se tomaron referencias de diversos proyectos que tenían como fin la producción de abono orgánico, para la adecuada toma de decisiones, se realizaron diversos cálculos para determinar los ejes de la trituradora y su sistema transmisión de potencia y la selección de rodamientos, así también se determinó la fuerza y filo de penetración de las cuchillas. El diseño y modelado de la compostadora y su sistema de transmisión de potencia, así como también selección de rodamientos entre otros componentes que hacen parte de las diversas secciones de la máquina.

Se desarrollo para el corte de biomasa, una trituradora de doble eje empleando técnicas de resistencia de materiales y fatiga, para el compostaje se diseñó una compostadora cilíndrica empleando herramientas CAD de SolidWorks y resistencia de materiales, para la sección de almacenaje se propuso el diseño de un contenedor especial de almacenaje, la sección de secado se diseñó basando en métodos tradicionales de secado que se encuentran en la agricultura y la industria.

* Proyecto de grado

** Facultad de ingenierías Fisicomecanicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Jorge Luis Chacón Velasco PhD. en Ingeniería Mecánica Codirector Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD. en Ingeniería Química

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND SIMULATION OF A SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZER THROUGH THE MECHANICAL TRANSFORMATION OF THE BIOMASS IN LA MESA DE LOS SANTOS*.

AUTHORS: GUY BLEY ZAMBRANO MORENO
RAÚL ANTONIO GORDON JIMÉNEZ**.

In this grade work, the procedure followed for the design and analysis of a system for the production of biomass in a plot on the table of the saints is shown, due to the large amount of organic waste generated in this place, material It can be reused as a fertilizer with due process. The design was proposed a production system that is divided into sections that are biomass cutting, drying, composting and biomass storage. The selection of the various components that make up the sections were made applying techniques and methods of energy, material resistance, static and dynamic, as well as the Solidwork structural modeling and simulation software, references were taken from various projects that had as In order to produce organic fertilizer, for proper decision making, various calculations were made to determine the crusher axes and its power transmission system and the selection of bearings, so also the force and cutting edge of the blades was determined . The design and modeling of the composter and its power transmission system, as well as selection of bearings among other components that are part of the various sections of the machine.

It was developed for the cutting of biomass, a double shaft crusher using materials resistance and fatigue techniques, for the composting a cylindrical composter was designed using Solidwork CAD tools and material resistance, for the storage section the design of A special storage container, the drying section was designed based on traditional drying methods found in agriculture and industry.

* Degree Work

** Facultad de ingenierías Fisicomecanicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Jorge Luis Chacón Velasco PhD. en Ingeniería Mecánica Codirector Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD. en Ingeniería Química

INTRODUCCIÓN

La aplicación y uso de materia orgánica en la agricultura se remonta a casi inicios de la humanidad, sin embargo, con el paso del tiempo fue experimentando un decrecimiento, debido a la introducción de fertilizantes químicos que provocan mayores cosechas en menor tiempo. En los últimos años se ha observado un interés creciente en la materia orgánica, debido a que su producción está directamente ligada con aprovechar residuos o desechos que desperdician su potencial por no tener un proceso de tratamiento más efectivo. Por lo tanto, el uso de abono orgánico en las cosechas ha aumentado mucho debido a la demanda de alimentos frescos y sanos para el consumo humano. El mantenimiento de la materia orgánica del suelo es un proceso clave relacionado con la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas, especialmente para los que están en suelo frágiles manejados por agricultores de pocos recursos.

Durante los últimos años muchas investigaciones intentan desarrollar tecnologías simples en el uso de la vegetación e insumos orgánicos para mejorar la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas. Estas tecnologías se enfocan en el uso de los residuos de los cultivos, abonos verdes, coberturas leguminosas, compost, entre otras. Se piensa que, en este sistema que usa residuos orgánicos, muchos de los beneficios derivados del uso de estos materiales son debido a su habilidad de mantener la materia orgánica y estructura física del suelo y promover el reciclaje de nutrientes. Por lo tanto, este proyecto está enfocado al campesino colombiano que cuenta con pocos recursos que le ayuden a optimizar y mejorar su producción.

En este proyecto podemos encontrar los procesos que se llevaron a cabo para el diseño y análisis de un sistema para producción de abono orgánico, dicho sistema cuenta con tres secciones que permiten el correcto procesamiento de residuos

orgánicos que se encuentran comúnmente en las fincas de los campesinos colombianos, las secciones propuestas que comprenden el sistema se analizaron y desarrollaron de tal manera que se tuvieron en cuenta el funcionamiento de diversos tipos de máquinas industriales del mercado, y se aplicaron técnicas de diseño de máquinas para la toma de decisiones sobre diseño y selección de los componentes de las secciones antes mencionadas que son una sección de corte, una de secado y mezclado de biomasa.

Por último, se dará un estimado del costo de máquina con un análisis de viabilidad técnica económica para implementar el sistema de producción de abono orgánico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El continuo desarrollo industrial y el aumento en la producción agrícola en Colombia ha obligado a las diferentes entidades agrícolas y campesinos del país hacer uso de diferentes métodos y procesos de cultivo, tales como, el uso de fertilizantes y abonos industriales. Estos, contienen grandes cantidades de agentes tóxicos y cancerígenos que generan grandes consecuencias ambientales como: la mutación de frutos y ecosistemas, infertilidad en los suelos, ocasionando así, problemas a nivel económico para el campesino debido a los altos costos de los insumos de fertilizantes y los diferentes aditivos necesarios para el proceso de cultivo.

Según la alcaldía de la mesa de los santos, esta zona cuenta con un área aproximada de 85 km² dedicados a la agricultura, dentro de los cuales se produce tabaco, café, legumbres, frutas, entre otros, y unos 29 Km² dedicados a la ganadería¹. Sin embargo, estos dos campos se ven afectados drásticamente. En la agricultura, el mal uso de fertilizantes y demás productos químicos durante el proceso de cultivo han generado pérdidas de numerosas cosechas. En cuanto a la ganadería, se evidencia el abismal desperdicio de material orgánico que se podría reutilizar para la producción de otros procesos o productos de tipo orgánico.

Es por esto, que se ve la necesidad de diseñar y construir un sistema capaz de reutilizar los desechos orgánicos y procesarlos, para así, poder obtener abono orgánico como alternativa viable que contribuya a una mejora en la calidad de los productos y que sea amigable con los cultivos y el ambiente, brindando así mayores resultados de calidad y cantidad.

¹ ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE LA MESA DE LOS SANTOS – SANTANDER [En línea] 2015. Disponible en: <http://lossantos-santander.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/Documento%20T%C3%A9cnico%20-%20Etapa%20de%20Formulaci%C3%B3n,%20Componente%20Rural%20Modelo%20Territorial,%20Municipio%20de%20Los%20Santos.pdf>

2. JUSTIFICACIÓN

La Mesa de los Santos cuenta con más de 4200 de hectáreas dedicadas a la producción agrícola y agropecuaria, de las cuales más del 50% de este terreno ha sufrido grandes repercusiones ambientales², debido a los fertilizantes, abonos y pesticidas que se usan en el suelo. Esto, ha ocasionado la resiembra de nuevos productos agrícolas, además de la implementación y uso de nuevos abonos y fertilizantes, generando grandes gastos económicos.

Por este motivo, la comunidad perteneciente a la Mesa de los Santos analiza las ventajas de producir su propio abono orgánico por medio de la mezcla de materiales obtenidos de la degradación y mineralización de residuos orgánicos de origen animal, vegetal y restos leñosos. Estos, se aplicarían a los suelos con el fin de mejorar sus características químicas, físicas y biológicas, aportando una cantidad elevada de nutrientes que les permita obtener alimentos frescos, libres de químicos y sanos para el consumo humano.

Lo anterior, deja clara la necesidad de producir abono orgánico como alternativa viable que contribuya a una mejora en la calidad de los productos, así como un aumento en la producción agrícola y a su vez una reducción de los desechos orgánicos generados por la comunidad. Lo anterior, se llevaría a cabo implementando un sistema capaz de triturar la biomasa y homogeneizarla teniendo en cuenta los niveles adecuados de temperatura, humedad, porosidad, oxígeno y pH, con el fin de obtener el abono orgánico con las características específicas y necesarias para las que se requiera.

² Ibid.

3. OBJETIVOS.

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y analizar de un sistema para la producción de abono orgánico a través de la transformación mecánica de la biomasa en una parcela en la mesa de los santos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los residuos lignocelulósicos y animales (Biomasa) que se usaran en el proceso, así como seleccionar un proceso de secado adecuado para la misma.
- Diseñar y analizar de un sistema mecánico encargado de cortar la biomasa que cumpla con los siguientes requerimientos:
 - 10Kg/h de flujo de biomasa.
 - Dimensiones de las partículas antes del proceso de entre 15 y 20 cm.
 - Dimensiones de partículas después del proceso de corte entre 15 y 20 mm máximo.
- Diseñar y analizar de un sistema para la elaboración y producción de composta que cumpla con los siguientes parámetros:
 - Al inicio del proceso: pH entre 4 - 5.5, humedad entre 60 – 75%, temperatura ambiente, relación Carbono/Nitrógeno variable.
 - Durante el proceso: pH de 6.5, humedad 50%, temperatura Max entre 60 y 65°C, relación Carbono/Nitrógeno 25/1.
 - Final del proceso: pH entre 7 - 8, humedad entre 20 – 30%, temperatura ambiente, relación Carbono/Nitrógeno 20/1.

- Elaborar los planos de construcción de todo el sistema mecánico de producción, así como un manual instructivo de operación y de mantenimiento del sistema.
- Realizar un análisis de viabilidad técnica económica para implementar el sistema de producción de abono orgánico.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ABONO ORGÁNICO

Los abonos orgánicos son residuos que están constituidos por desechos de origen animal, vegetal o mixto, los cuales sufren un proceso biológico aeróbico y se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estos pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos en verde; restos orgánicos de la explotación agropecuaria; restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas y desechos domésticos.

4.1.1 Origen de los abonos orgánicos. La procedencia de los abonos orgánicos son mayoritariamente desechos de origen animal, vegetal o mixto³.

Los abonos orgánicos son productos naturales que se obtienen de la descomposición de los desechos de las fincas y que aplicados correctamente al suelo mejoran las condiciones físicas, químicas y microbiológicas.

4.1.2 Influencia sobre las características físicas químicas y biológicas del suelo

- **Influencia sobre las características físicas del suelo:** Debido a la alta porosidad que posee la materia orgánica, es capaz de retener altas cantidades de agua equivalente a unas 20 veces a su peso. Mejorando la porosidad del suelo, lo cual facilita la circulación de agua y de aire a través de todo el suelo.

³ FARFÁN, C. Caracterización de Fuentes Orgánicas para uso en sistemas de la Agricultura Urbana, Curso de continuación de estudios “Agricultura orgánica y Gestión en agronegocios” [En línea] 2002. (Recuperado en 20 febrero 2019). La Habana – Cuba 2002 pp. 17 – 33

Mejora la estructura del suelo, dándole una mayor resistencia contra la erosión y una mejor permeabilidad, aireación y capacidad para almacenar y suministrar agua a las plantas. Da color oscuro al suelo aumentando la temperatura y las reacciones bioquímicas que allí se desarrollan⁴.

Incrementa la actividad biológica del suelo al mejorar su componente biótico. Aumenta la carga microbial que se encarga de la mineralización de los compuestos orgánicos y de la liberación de los nutrientes para las plantas. Es fuente de energía para la gran mayoría de los microorganismos del suelo⁵.

- **Influencia sobre las características químicas del suelo:** Incrementa la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo (C.I.C.) la cual se refleja en una mayor capacidad para retener y aportar nutrientes a las plantas elevando su estado nutricional, además contribuye a incrementar la fertilidad del suelo mediante la liberación de varios nutrientes esenciales para las plantas entre los cuales se destacan, Nitrógeno (N), Fósforo (P), Azufre (S) y otros en menos cantidades , como el Cobre (Cu) y el Boro (B), los cuales incrementan su habilidad para resistir cambios bruscos en el pH cuando se adicionan sustancias o productos ácidos⁶.

4.2 MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo, en pequeña porción, formada por los restos vegetales y animales que por la acción microbial del suelo son convertidos en reservas de nutrientes para las plantas, asegurando la

⁴ PEÑA GARCES, Rosa. Impacto de los residuos orgánicos sobre las propiedades del suelo. [En línea] Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/impactoresiduos-organicos-propiedades-suelo/impacto-residuosorganicos-propiedades-suelo2.shtml>

⁵ Ibíd.

⁶ Ibíd.

disponibilidad de macro y micronutrientes. Cuando son agregados restos orgánicos de origen vegetal o animal, los microorganismos del suelo transforman los compuestos de origen orgánico en nutrientes en minerales solubles para las plantas; este proceso es lento, por lo tanto, la materia orgánica no representa una fuente inmediata de nutrientes para las plantas, sino más bien una reserva de estos nutrientes para su liberación lenta en el suelo⁷.

Desde el punto de vista de su origen la materia orgánica puede ser de dos tipos:

- Materia orgánica vegetal del suelo.
- Materia orgánica animal.

- **Materia orgánica vegetal**

Residuos de cosecha: Son los desechos orgánicos que deja el cultivo en o sobre el suelo, en forma de hojas, tallos, raíces y otros. Tales residuos no deben en lo absoluto considerarse como despreciables, representan por término medio de 500 a 800 kg de humus al año, siendo mayores en régimen de cultivo muy esmerado, y menores en cultivos de bajo rendimiento⁸.

Residuos de cultivos de cereales: La incorporación al suelo o enterrado de pajas genera un aporte importante de materia orgánica al suelo y su posterior humificación, mejorando el balance de humus. Antes de su incorporación al suelo la paja debe ser picada o troceada mecánicamente, con lo que se favorecerá su posterior ataque microbiano y se facilitaran las labores del siguiente cultivo. La incorporación al suelo, para su compostaje en el suelo debe ser superficial⁹.

⁷ MOLINA J. Materia orgánica del suelo. [En línea] 2011. Recuperado 20 febrero 2019. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos87/materiaorganica-del-suelo/materia-organica-del-suelo.shtml>

⁸ MARTÍNEZ FARRÉ F. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya, Gestión y Tratamiento de Residuos Agrícolas (1ª parte) [en línea]. Recuperado 17 May 2012. Disponible en: http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm

⁹ Ibit

Abonos verdes: Los abonos verdes son plantas que, lejos del suelo, lo mejoran y le aportan elementos nutritivos para preparar el cultivo de hortalizas o plantas ornamentales. La siembra de abonos vegetales no es algo nuevo. Al contrario, esta práctica es sin duda tan antigua como la agricultura. Los abonos verdes forman un empajado vivo, una cubierta vegetal denso que desacelera la evaporación y eliminan la competencia de las malas hierbas y limpian el suelo. Por eso, se utilizan entre las tablas cultivadas y entre las hileras, pero también en suelos nuevos que empiezan a cultivarse¹⁰.

Tabla 1. Abonos verdes y su contenido nutricional.

ESPECIE	Contenido (%) de:				
	N	P	K	Ca	Mg
Cacahuete	1.72	0.15	1.38	1.23	0.49
Chícharo de vaca	3.10	0.35	2.26	1.40	0.45
Frijol terciopelo	2.49	0.13	1.40	1.17	0.27
Guaje	4.30	0.22	1.70	0.50	0.50
Kudzu	3.68	0.29	2.14	0.41	0.41
Despedaza	2.60	0.21	1.12	1.35	0.27
Trébol rojo	3.10	0.38	2.19	2.26	0.51
Veza	3.32	0.32	2.32	1.18	0.25

Fuente: SAGARPA [en línea] disponible en:
<http://www.sagarpa.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>

- **Materia orgánica animal**

Estiércoles: El estiércol lo forman excrementos y orina de animales de ganadería y en cuya composición también pueden aparecer restos de distintos materiales de sus camas, como la paja de cereales, etc. El estiércol suele ser de ganadería ovina,

¹⁰ HUERTO ECOLOGICO. Los Abonos Verdes. [En línea] 2009. Recuperado 25 febrero 2019. Disponible en: <http://www.vidaecologica.info/los-abonos-verdes/>

caprina, vacuno, de cerdos, caballos, mulas, etc. El estiércol de aves de corral como gallinas (gallinaza) y palomas (palomina) es de los más ricos en nitrógeno¹¹.

Tabla 2. Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca).

Nutriente	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica	48.9	45.3	52.8	63.9	54.1
Nitrógeno	1.27	1.36	1.55	1.94	2.38
Fosforo asimilable (P ₂ O ₅)	0,81	1.98	2.92	1.82	3.86
Potasio (K ₂ O)	0,84	0.66	0.74	0.95	1.39
Calcio (CaO)	2,03	2.72	3.2	2.36	3.63
Magnesio (MgO)	0,51	0.65	0.57	0.45	0.77

Gallinaza: La gallinaza está compuesta por las deyecciones de las aves de corral, junto con el material usado en las camas y cal en pequeñas proporciones en el caso que sea utilizada sobre el piso para mantener unas condiciones sanitarias permisibles en los corrales¹².

Guano: El guano, un abono natural creado a partir de excrementos de ciertos tipos de aves y murciélagos, constituye una alternativa ecológica a los fertilizantes químicos, e incluso una fuente de energía, puesto que puede utilizarse para producir biogás. El gran poder fertilizante del guano se debe a sus altos niveles de nitrógeno y fósforo, dos de los elementos químicos básicos para el metabolismo de las plantas, por lo que se trata de un abono ecológico de gran calidad para todos los

¹¹ MORALES MIÑANO A. J. El estiércol, ventajas y desventajas [en línea]. Recuperado 1 marzo 2019. Disponible en: <http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=2685>

¹² MURILLO T. Alternativas de uso para la Gallinaza, XI Congreso Nacional Agrónomo [En línea 2012]. Recuperado 10 de abril de 2019. Disponible en: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_427.pdf

tratamientos de cultivos de interior o exterior, tanto para usos domésticos como agrícolas¹³.

4.3 COMPOST.

El compost es un abono natural que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos bajo condiciones controladas. Este abono también se le conoce como "tierra vegetal" o "mantillo"¹⁴.

4.3.1 Compostación. La compostación es el proceso de descomposición de la materia orgánica proveniente de materiales que la contienen, por medio de una gran variedad de microorganismos en un medio húmedo y aireado para dar en su etapa final un material rico en humus, utilizado para el mejoramiento de suelos pocos fértiles. El material que constituye la materia prima del proceso de compostaje contiene diferentes tipos de microorganismos que realizan este proceso, comenzando el mismo cuando el nivel de oxígeno, la humedad y el contenido de alimentos es el adecuado para el crecimiento y reproducción de la población microbiana encargada de la descomposición.

Así, la materia orgánica se va biodegradando por un lado en compuestos gaseosos tales como CO₂ (dióxido de carbono), NH₃(amoníaco), NO₃⁻ (nitrato); PO₄⁻³(fosfato); SO₄^{=3D} (sulfato)(mineralización) y por otro se va transformando en elementos húmicos, que son bastante estables y resistentes a los microorganismos (humificación). El humus es el responsable de mejorar las propiedades físicas del

¹³ FERNANDEZ A. S. Guano, un abono natural de gran calidad, Es una alternativa ecológica a los fertilizantes químicos. [En línea] 2006). Recuperado en 10 marzo 2019. Disponible en: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2006/03/03/149877.php

¹⁴ ACUÑA, Héctor. Manual Agropecuario Biblioteca del campo, Tecnologías Orgánicas de la Granja Integral Autosuficiente . pp. 530 – 561. Quebecor Word Bogotá, S.A. Bogotá Colombia. 2002.

suelo, mejorar la porosidad, incrementar su capacidad de retención del agua, mejorar las propiedades químicas y biológicas, constituirse en fuente de elementos minerales para las plantas y contribuir así al crecimiento de vegetales y raíces. Existen varios procesos para llevar a cabo la transformación de los residuos en compost: que van desde los tratamientos diseñados y contruidos en casa, colocando los residuos en hileras con volteo manual para aporte de oxígeno y en pilas estáticas aireadas mecánicamente, hasta los procesos llevados a cabo en biorreactores que utilizan diseños y equipos patentados¹⁵.

Básicamente dichos procesos incluyen tres etapas:

- Pretratamiento de los residuos
- Descomposición biológica del material compostable
- Maduración, preparación y distribución del compost producido.

4.3.2 Agentes de descomposición. La construcción de pilas o silos para el compostaje tiene como objetivo la generación de un entorno apropiado para el ecosistema de descomposición. El entorno no solo mantiene a los agentes de la descomposición, sino también a otros que se alimentan de ellos. Los residuos de todos ellos pasan a formar parte del compost¹⁶.

- **Microscópicos:** Los agentes más efectivos de la descomposición son las bacterias. Son los organismos más pequeños, numerosos y los primeros en comenzar el trabajo, desempeñan el papel más destacado en la descomposición de la materia ya que poseen una amplia gama de enzimas capaces de romper químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos, además de producir

¹⁵ Ibíd.

¹⁶ COMPOSTADORES SOSTENIBILIDAD EN ESTADO PURO. Organismos que intervienen en el compostaje. [En línea 2019]. Recuperado en 10 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/biodiversidad-en-mi-compostador/12-organismos-que-intervienen-en-el-compostaje.html>

temperaturas favorables para un aprovechamiento de los componentes de la materia a compostar para optimizar el proceso de compostaje¹⁷.

También desempeñan un importante papel los hongos, protozoos y actino bacterias.

- **Macroscópicos:** A nivel macroscópico se encuentran las lombrices de tierra, hormigas, caracoles, babosas, milpiés, etc., que consumen y degradan la materia orgánica¹⁸.

4.4 ETAPAS DEL COMPOSTAJE

- **Descomposición Mesófila:** Al inicio del proceso, los residuos están a temperatura ambiente (menor de 40°C), por lo cual, los microorganismos (mesófilos) se multiplican rápidamente y generan una gran actividad metabólica (transformación de algunos compuestos como azúcares y aminoácidos), la temperatura comienza a subir y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH¹⁹.
- **Descomposición Termófila:** En esta fase, la temperatura supera los 40°C y sube hasta 60°-65°C. Microorganismos, llamados termófilos, transforman el Nitrógeno (N), en Amoníaco (NH₃), por lo cual el pH se hace alcalino. A los 60°-65°C, estos hongos termófilos desaparecen y dan paso a las bacterias las cuales descomponen las sustancias orgánicas²⁰

¹⁷ Ibíd.

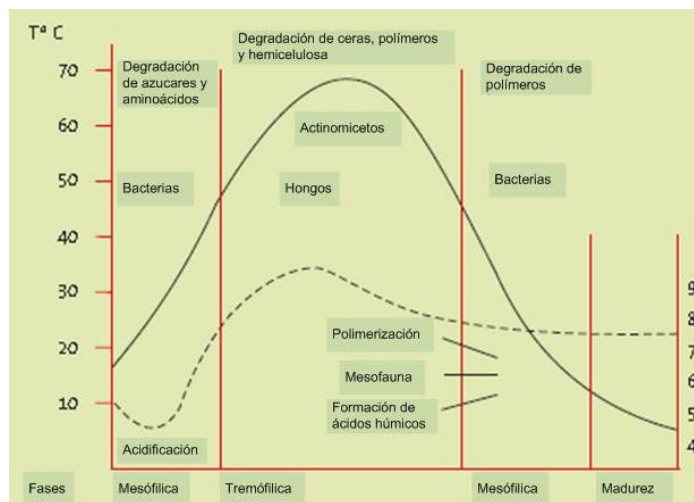
¹⁸ Ibíd.

¹⁹ ROMAN Pilar. Manual de compostaje del agricultor. [En línea 2013]. Recuperado en 12 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>

²⁰ Ibit

- **Descomposición Mesófila de Enfriamiento:** La temperatura comienza a descender por debajo de 60°C, y reaparecen los hongos termófilos que invaden la parte superior del residuo (mantillo) y logran descomponer compuestos, como la celulosa. Al bajar de 40°C, los mesófilos también reinician su actividad y el pH del residuo, desciende ligeramente²¹.
- **Maduración:** Requiere de 1 a 2 meses en promedio y se realiza exponiendo el compost a temperatura ambiente y protegido de la lluvia. Durante este período, se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus; desciende el consumo de oxígeno y la fitotoxicidad del compost debe estar controlada²².

Figura 1. Evolución de la temperatura y pH durante el proceso de maduración.



Fuente: PROYECTO3R Orgánicos [en línea] disponible en: <https://proyecto3r.webcindario.com/organicos.htm>

²¹ Ibíd.

²² Ibíd.

4.5 CARACTERÍSTICAS DEL COMPOST

Un residuo orgánico es transformado en una extraordinaria base fertilizadora, la cual actúa sobre los nutrientes macromoleculares, llevándolos a estados directamente asimilables por las plantas, manifestándose en grandes mejoras de las cualidades organolépticas de frutos y flores y mejor resistencia a los agentes patógenos. Al mejorar el estado general de las plantas aumenta su resistencia al ataque de plagas y patógenos y la resistencia a las heladas²³.

La acción microbiana del compost hace asimilable para las plantas materiales inertes como fósforo, calcio, potasio, magnesio, así como micro y oligoelementos.

Su riqueza en oligoelementos lo convierte en un fertilizante completo, ya que aporta a las plantas sustancias necesarias para su metabolismo. Se puede utilizar a altas dosis sin contraindicaciones, ya que no quema las plantas, ni siquiera las más delicadas²⁴.

El compost cumple un rol muy importante al corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas, biológicas de los suelos tales como:

- Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre.
- Incrementa la eficiencia de la fertilización.
- Estabiliza la reacción del suelo.
- Inactiva los residuos de plaguicidas.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.
- Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- Reduce la erosión del suelo.
- Incrementa la capacidad de retención de humedad.

²³ INFOGARNIC.COM. Santiago de Chile, El Bokashi o materia orgánica fermentadas. [En línea] 2003. Recuperado en 25 marzo 2019. Disponible en: <http://www.emison.com/5105.html>

²⁴ Ibíd.

- Genera un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica.
- Es fuente de energía la cual incentiva a la actividad microbiana.
- Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana²⁵.

4.6 COMPOSICION QUÍMICA DEL COMPOST

Estos valores son típicos, y pueden variar mucho en función del material empleado para hacer el compost. Por otra parte, al tratarse de un producto natural no tiene una composición química constante²⁶.

Tabla 3. Análisis químico del compost

Materia orgánica	65 – 70%	Zinc ppm (Zn)	235
Humedad	20 - 40%	Manganeso ppm (Mn)	265
Nitrógeno (N ₂)	1.5 – 2.1%	Hierro ppm (Fe)	3000
Fosforo (P ₂ O ₅)	1.1 – 2.5%	Relación C/N	12 – 20%
Potasio (K ₂ O)	1 – 1.6%	Ácidos húmicos	2.5 – 3.5%
Calcio (Ca)	2 – 8%	pH	6.8 – 8%
Magnesio (Mg)	0.6%	Carbono Orgánico	14 – 30%

Fuente: SSGARPA Abonos orgánicos [en línea] disponible en:
<http://www.sagarpa.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>

²⁵ Ibíd.

²⁶ INFOGARNIC.COM. Santiago de Chile. El Bokashi o materia orgánica fermentadas. [En línea 2003]. Recuperado en 19 de julio de 2019 Disponible en: <http://www.emison.com/5105.html>

4.7 MATERIAS PRIMAS DEL COMPOST.

Cualquier material biodegradable puede transformarse en composta una vez transcurrido el tiempo suficiente, debido a los diferentes tiempos de descomposición de estos. Otros materiales deben evitarse, debido a la producción de malos olores y plagas.

- **Materiales de rápida descomposición:** Hojas frescas, restos de pasto, estiércol de animales de corral, malezas jóvenes.
- **Material de descomposición lenta:** Pedazos de fruta y verdura, bolsa de infusiones y restos de café, paja y heno viejo, restos de plantas, estiércoles pajizos (caballos, burros y vacas), flores viejas y plantas de macetas, desbroces de setos jóvenes, malezas perennes, lechos de hámster, conejos y otros animales domésticos herbívoros.
- **Material de muy lenta descomposición:** Hojas de otoño, desbroces de setos duros, ramas podadas, aserrín y virutas de madera no tratadas, cáscaras de huevo y de frutos secos, lanas e hilos naturales, pelos y plumas, huesos de frutos.
- **Otros materiales que puedeos usar:** ceniza de madera, cartón, cartones de huevos, servilletas, bolsas y envases de papel, periódicos.
- **A evitar:** carne, pescado, productos derivados de la leche, productos que contengan levaduras o grasas.

- **No usar bajo ningún concepto:** ceniza de carbón y de coque, heces de perros y gatos, pañales desechables, revistas ilustradas, restos de aspiradora, filtros de cigarrillos, tejidos sintéticos²⁷.

4.8 PARÁMETROS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

- **Humedad:** Los microorganismos necesitan agua como medio para transportar nutrientes y otros elementos, además es determinante en el intercambio gaseoso. En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance niveles cercanos al 40-60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico (sin oxígeno), es decir, se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas²⁸.
- **Temperatura:** Es un parámetro útil que permite dar seguimiento al proceso de descomposición de la materia orgánica, cuando el material se está compostando pasa por un ciclo de temperaturas que es ocasionado por la actividad metabólica microbológica. El aumento de la actividad metabólica genera calor y como consecuencia aumenta la temperatura. La existencia de estos ciclos de temperaturas divide el proceso de compostaje en cuatro etapas: Mesófila (menor de 40 °C), termófila (de 40 a 60°C), fase de enfriamiento (menor de 40 °C) y fase de maduración (temperatura ambiente)²⁹.

²⁷ SUQUILANDA, Manuel. Agricultura orgánica. Alternativa Tecnológica del futuro Tercera edición, pp. 654. Abya - Yala. Quito. 2006

²⁸ BASTAN TECNOLOGIES & ISON 21. Compostaje industrial de residuos orgánicos. [En línea] 2015. Recuperado en 10 abril 2019. Disponible en: https://www.ison21.es/wp-content/uploads/2017/06/guia_de_compostaje.pdf

²⁹ Ibíd.

- **Relación Carbono/Nitrógeno:** En términos generales, los microorganismos absorben treinta partes de carbono por cada parte de nitrógeno. En forma práctica, la relación carbono/nitrógeno permite conocer la velocidad de descomposición y determinar el tiempo de compostaje, siempre y cuando las condiciones de humedad, aireación y temperatura sean las óptimas³⁰.
- **Acidez (pH):** El valor del pH, depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso compostaje. El pH inicial esta normalmente entre 5 y 7. En los primeros días de compostaje, el pH cae a 5 o menos, debido a la presencia de ácidos orgánicos simples, y la temperatura sube debido a la producción de organismos mesófilos. Después de aproximadamente 3 días, la temperatura llega a la etapa termófila y el pH comienza a subir hasta aproximadamente 8 a 8,5 debido a la conversión del amonio en amoniaco, alcalinizando el medio durante el resto del proceso aeróbico. En la fase de maduración, el valor del pH llega a un valor de entre 7 a 8 en el compost³¹.
- **Aireación:** El proceso de compostaje es un proceso aerobio, es decir, necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos, por lo tanto, la aireación es un factor importante en el proceso de compostaje ya que el oxígeno es esencial para el metabolismo y la respiración de los microorganismos que participan en él. La aireación tiene un doble objetivo, primero aportar el oxígeno suficiente a los microorganismos y, segundo, permitir al máximo la evacuación de CO₂ producido³².
- **Tamaño de partículas:** La actividad de los microorganismos ocurre generalmente en la superficie de las partículas, por lo tanto, el tamaño de éstas debe ser pequeño, a fin de aumentar la superficie y favorecer la actividad de los microorganismos y la tasa de descomposición. El tamaño ideal de partículas es

³⁰ Ibíd.

³¹ Ibit

³² Ibit

de 2 a 5 cm. Además, mientras menor sea el tamaño de las partículas, la pila se tiende a compactar lo que trae como consecuencia una menor aireación y por ende una menor actividad microbiana, retardando el proceso³³.

4.9 TÉCNICAS DE COMPOSTAJE.

- **Compostaje en pilas estáticas:** se forman pilas, en un bote o caja metálica grande (mínimo 1m³., máximo 1.5 m³.) con tapa, colocando una capa gruesa (aproximadamente 6cm.) de aserrín o tierra y se deja sin movimiento, se vierte ahí todos los desechos orgánicos y se cubren con otra capa de tierra, para que se mantenga la humedad se rocía con un poco de agua que resulta indispensable y se espolvorea con cal para evitar malos olores. Termina ventilándose naturalmente por un proceso de convección térmica natural. En este procedimiento no se tiene temperatura, los procesos son los naturales a temperatura ambiente³⁴.
- **Compostaje en pilas estáticas aireadas:** consiste en airear de manera forzada la materia que se está compostando. La pila se construye sobre una red de tuberías, donde se suministra o extrae aire frecuentemente para proporcionar un medio aeróbico. Esta técnica es conocida también como técnica activa o caliente: se controla la temperatura para permitir el desarrollo de las bacterias más activas, matar la mayoría de patógenos y gérmenes, y así producir compost útil de forma rápida³⁵.
- **Compostaje en pilas de volteo:** Este sistema de compostaje es el más utilizado, y se realiza mediante un volteo manual o mecánico. En este método

³³ Ibit

³⁴ ROMAN Pilar. Manual de compostaje del agricultor. [En línea 2013]. Recuperado en 12 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>

³⁵ Ibit

se amontona el material, se mezcla y voltea periódicamente, evitando así la compactación y entregando oxígeno al sistema³⁶.

- **Compostaje en vaso:** Este sistema consiste en un tambor rotatorio de acero cuyas dimensiones pueden variar tanto en su longitud, como en su diámetro. La entrada de desperdicios se produce a través de una tolva que transporta los residuos al interior del vaso. En la parte interna del vaso, se encuentra un sistema de cuchillas que ayudan a remover los materiales y a desmenuzarlos. En su interior mezcla los materiales y mantiene controladas todas las variables que afectan a la descomposición, temperatura, humedad, aireación y el mezclado mecánico de todos los materiales con el fin de acelerar el proceso de compostaje, obteniendo el producto final en aproximadamente 96 horas.

Este sistema de compostaje requiere de un menor espacio que el sistema tradicional de fabricación de compost al aire libre por medio de pilas o montones de compost. Se evitan los malos olores, la aparición de desechos lixiviados, la infestación de roedores e insectos evita que los cambios de climatología afecten al proceso de formación del compost y acelera notablemente la producción del compost³⁷.

³⁶ Ibit

³⁷ Ibit

5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para elaborar y desarrollar el proyecto se realiza una matriz de calidad la cual nos ayuda a seleccionar los factores más importantes que cumplan con los requerimientos necesarios de calidad y eficiencia al momento de seleccionar las alternativas.

#	Cliente / Diseño	Resistencia a la corrosión	Alta producción de torque	Bajo costo energético	Facilidad de montaje	Flujo de producción de composta.	Producción de compost durante todo el año	Excelentes propiedades físicas y químicas de los materiales	Excelentes propiedades químicas del compost	Fácil mantenimiento		
1	Bajo mantenimiento	4	4	1	9	1	1	9	9	9		
2	Garantía	1	4	4	4	4	9	1	4	1	CALIFICACION	
3	Bajo costo de montaje	1	4	9	4	9	4	4	4	1	ALTA	9
4	Bajo costo de operación	4	1	9	9	4	4	1	4	4	MEDIA	4
5	Evitar plagas	9	4		4	4	4	9	9	4	BAJA	1
6	Eliminación de olores	9	4	1	1	4	0	4	9	1	NULA	0
7	Resistencia	4	9	4	1	9	4	9	4	4		
8	Control del flujo de material	4	9	1	1	1	9	4	4	1		
9	Alta calidad de nutrientes	9	9	1	1	1	9	4	9	1		
TOTAL		265	288	123	115	176	248	227	285	101	1828	
		14,5	15,755	6,729	6,291	9,62801	13,5667	12,417943	15,5908	5,525	100	

Tabla1, Matriz de calidad

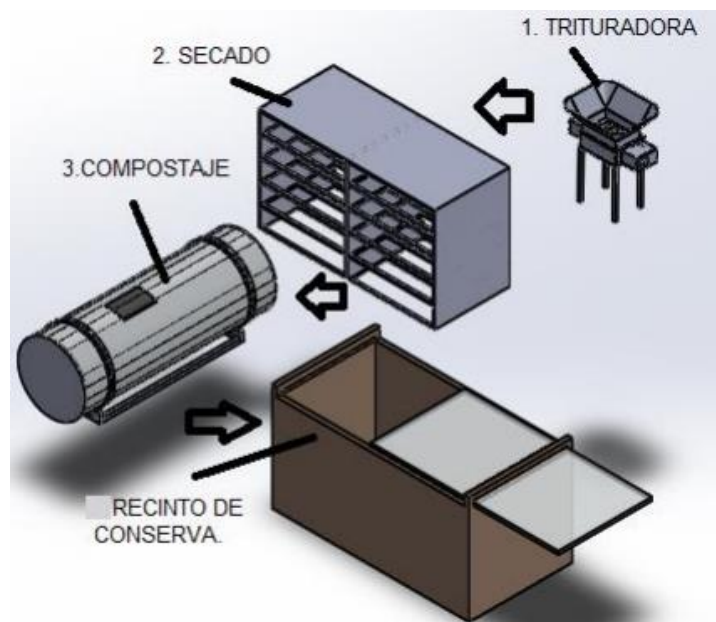
De los resultados obtenidos por la matriz de calidad observamos que los factores más indispensables o importantes a tener en cuenta a la hora de plantear y seleccionar alternativas que cumplan con el propósito del proyecto son: resistencia a la corrosión, alta producción de torque, producción de compost durante todo el

año, excelentes propiedades físicas y químicas de los materiales y excelentes propiedades químicas del compost.

5.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

- **Alternativa 1.** Basado en una máquina de granulación industrial. La máquina se compone de 4 secciones, que permiten realizar de forma consecutiva y mecánica procesos necesarios para obtención de compost. La primera etapa tiene como misión cortar la materia orgánica recolectada anteriormente, a través de una cortadora de rodillos dejándola con unas dimensiones adecuadas para poder asegurar un buen proceso de secado y compostado. La segunda etapa consiste en un proceso de reducción de humedad de la biomasa obtenida del proceso anterior, esto a través de una lámina perforada que se encontrará sobre un apoyo. La mezcladora o compostadora es la tercera etapa, y consiste en un tambor metálico, el cual, tiene en su interior un eje giratorio con hojas en forma de hélices “sin fin” que permiten no solo un buen mezclado.

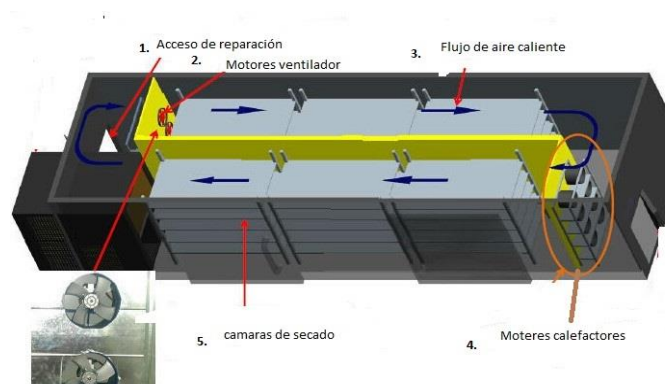
Figura 2. Alternativa 1



Características:

- Humedad media
 - Costo de producción medio
 - Manipulación: industrial
 - Tamaño de partículas de pequeño diámetro
 - Tiempo de producción alrededor de 5 semanas
 - Volumen fácil de manipular
 - Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier dosis sin riesgo de quemar las plantas.
 - El fertilizante final es forma de bola y son uniformes.
 - El contenido orgánico podría llegar al 100% y es un fertilizante orgánico puro.
-
- **Alternativa 2.** Máquina de granulación industrial con secado basado en una bomba de calor kinkai modelo JK03RD, consiste en una secadora tipo lote que transfiere calor por medio de refrigeradores, su tamaño proporciona un secado en condiciones controladas y permite mayor manejo de la biomasa.

Figura 3. Alternativa 2.



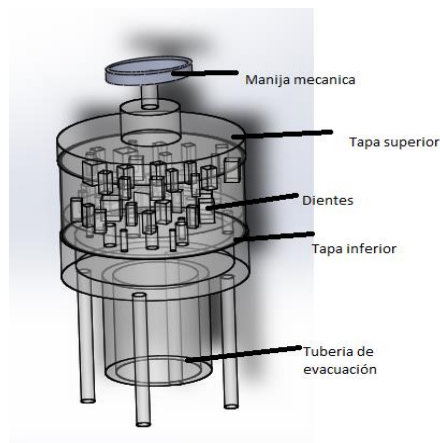
Fuente: HEAT-PUMP-DRYER Horizontal Blowing type [en línea] disponible en:
<http://www.heat-pump-dryer.com/Horizontal-blowing-type/56.html>

Características:

- Humedad baja
- Costo de producción alto
- Manipulación: industrial
- Cámara de secado 20 ~ 30m³
- Tiempo de secado 2-3 días
- Volumen fácil de manipular
- Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier dosis sin riesgo de quemar las plantas.
- Peso 420 kg.

- **Alternativa 3.** Máquina de granulación industrial basado con cortadora de triturador de pastillas y un granulador de tambor industrial. El triturador de pastillas emplea un funcionamiento y accionamiento mecánico el cual permite un menor costo. Lo conforman dos placas con dientes que coinciden verticalmente y trituran al quedar una placa fija y la otra móvil. sin embargo, el material a triturar queda adherido a los dientes, granulador convencional industrial permite la obtención del diámetro sugerido en la industria del compost.

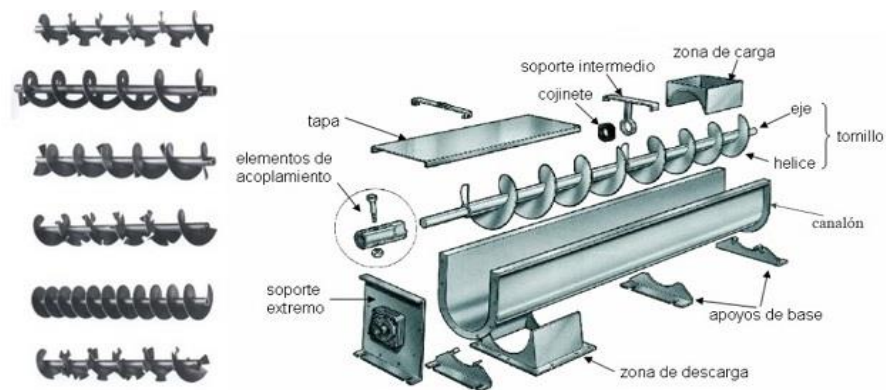
Figura 4. “Triturador de pastillas”. Alternativa 3



Características:

- Humedad media
 - Costo de producción bajo
 - Manipulación: manual-industrial
 - Tamaño de partículas de mediano diámetro
 - Tiempo de producción alrededor de 50 días
 - Volumen difícil de manipular
 - Accionamiento manual
 - El fertilizante final es forma de bola y son uniformes.
 - El contenido orgánico podría llegar al 100% y es un fertilizante orgánico puro.
-
- **Alternativa 4.** Máquina de granulación industrial con mezcladora de tornillo sin fin, para mayor homogeneidad, menor diámetro de partícula y velocidad de transporte. Básicamente, constituido por una hélice montada sobre un eje que se encuentra suspendido en un canal, generalmente en forma de "U", un grupo motor reductor situado en uno de los extremos del eje del tornillo hace girar la hélice que arrastra el producto a transportar.

Figura 5. Alternativa 4.



Fuente: INGEMECHANICA Tutorial [en línea] disponible en:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

Características:

- Humedad: media
- Manipulación: industrial
- Tamaño de partículas de pequeño diámetro
- Volumen fácil de manipular
- Sencillez de fabricación, con diseño compacto de fácil instalación
- Es un sistema de bajo costo
- Posibilidad de hacer fácilmente hermético el sistema, lo que evita la generación de polvos y posibles exhalaciones molestas

5.2 DESCRIPCION DE ALTERNATIVA SELECCIONADA

Para el diseño final de la compostadora que se escogió en la alternativa 1, se tuvieron que hacer diferentes cambios que permitieran el buen funcionamiento en el campo colombiano, ubicándonos exactamente en la en la MESA DE LOS SANTOS, debido a las condiciones a las que vive el campesino se cree conveniente rediseñar las secciones de la alternativa 1, de tal manera que el rendimiento en el entorno de trabajo al que se someterá sea el más satisfactorio para el usuario especificado anteriormente . Los cambios que sufrió la alternativa 1 fueron:

Se cree conveniente para la correcta elaboración de la receta orgánica, la adecuada preservación y homogenización de la mezcla, comenzar con el proceso de compostaje en la máquina, por la sección de corte esto se debe, a que la materia cuando conserva mayor volumen, mayor es la capacidad de retener humedad esto debido al área superficial, si empezamos por el corte reducimos área superficial haciendo más fácil la deshumidificación y optimizaremos en tiempo el proceso de secado. Por eso se decidió alterar el orden de las secciones quedando de la

siguiente manera, primero corte de la materia orgánica seguido de la sección de secado y finalizando con el mezclado.

En la sección de corte se tenía planeado usar una cortadora de rodillos, un sistema de molino de martillos, pero por la composición de la materia orgánica hacen al material viscoso, por lo cual se teme que este se filtre por las separaciones de los martillos, provocando la unión de estos martillos giratorios, causando fallas en el funcionamiento y el errado corte de la materia orgánica. Por esto se decide reemplazar por una cortadora de cilindros que utiliza cuchillas que van desgarrando progresivamente el material, y la separación de las cuchillas está diseñado de manera que el corte de la materia quede aproximadamente 15-20 [mm] de longitud la cual cumple con los requisitos y no corre riesgo de apelmazamiento de la materia entre las cuchillas.

Debido a las ventajas que ofrece la alteración de posiciones en la línea de proceso, de las secciones de corte de biomasa y secado, la cortadora está diseñada para dejar el tamaño de la biomasa en los parámetros aceptados para la elaboración de composta y la deshumidificación ayuda a la reducción de tamaño de partícula de la materia orgánica. La materia queda con un tamaño aceptado para el uso del cliente, se ahorra costos al eliminar una sección. Para uso del cliente se considera adecuado no usar la granuladora debidos costos y se tiene la percepción de sobre diseño en el proceso.

6. DISEÑO

6.1 SECCIÓN DE SELECCIÓN

Para la producción de abono orgánico por compostaje en la mesa de los santos se debe hacer uso de una materia prima, para la que se usan residuos lignocelulósicos como hojas y pasto seco, frutos cítricos como la naranja, limón, mandarina y aguacate, además de los residuos y corteza de árboles de eucalipto y de pino. También, residuos de animales. tales como el estiércol de vaca lechera y la gallinaza broiler, además de residuos de productos alimenticios generados en los hogares. Esta materia prima brinda al proceso de compostaje una baja relación de C/N, pero una gran cantidad, variedad y calidad de nutrientes al proceso.

Además de la materia prima, se usa una mezcla de agente seco como lo puede ser la paja o aserrín, que brinda al proceso una alta relación de C/N suministrando la energía necesaria para que los microorganismos que se generan en el proceso aeróbico puedan trabajar eficientemente.

Las proporciones usadas son desde un 70 a 75% de materia prima y de un 25 a 30% de agente seco. El porcentaje varía de acuerdo con la materia prima seleccionada, entre más alta sea la relación de C/N que tenga la materia prima, el porcentaje de agente seco disminuirá con el fin de mantener la relación C/N de la mezcla equilibrada.

6.1.1 Selección y características de las materias primas. De acuerdo con diversas investigaciones y encuestas realizadas a campesinos y familias en la Mesa de los santos se determinó que las materias orgánicas con mayor porcentaje de uso son:

- Estiércol de vacas lecheras

- Estiércol de caballo
- Gallinaza broiler
- Restos de frutas como: naranja, limón, mandarina, aguacate, entre otras.
- Madera de pino
- Residuos de productos alimenticios como verduras y legumbres

A continuación, se mostrarán las propiedades más importantes de las materias orgánicas mencionadas anteriormente

- **Estiércol de vacas lecheras**

Nitrógeno = 2,7% hasta 3,7%

Ratio C/N de 13 a 1 hasta 18 a 1

Humedad = 79% hasta un 83%

Densidad = hasta 650 Kg/m³.

De todos los productos de desecho que existen para producir un abono rico, orgánico y de calidad, el estiércol de vaca lechera es el que presenta una de las mejores combinaciones de nutrientes: fibra orgánica, carbono y un buen pH. Pero también presenta un problema, su alto nivel de humedad, es muy húmedo en la mayoría de los casos. La solución consiste en reducir su nivel de humedad hasta un 60% aproximadamente. Cuando se reduce el nivel de humedad el porcentaje de nutrientes aumenta.

Un sistema adecuado para reducir la humedad del estiércol de vaca sería depositarlo en un contenedor o dispositivo de deshidratación o secado. Con este sistema se mantiene el valor de nutrientes original del estiércol³⁸.

³⁸ BASTAN TECHNOLOGIES & ISON 21. Compostaje industrial de residuos orgánicos. [En línea] 2015. Recuperado en 10 abril 2019. Disponible en: https://www.ison21.es/wp-content/uploads/2017/06/guia_de_compostaje.pdf

- **Gallinaza de broiler**

Nitrógeno = 1,6% hasta 3,9%

Ratio C/ N de 12 a 1 hasta 15 a 1

Humedad = 22% hasta un 46%

Densidad = hasta 465 Kg/m³.

El estiércol de broiler es muy rico en nitrógeno y carbono. Esto es debido a la composición de la cama, estiércol mezclado con agente de secado rico en carbono. Hay varios aspectos a tener en cuenta a la hora de compostar estiércol de granjas de pollos de engorde, y esto va en función de la periodicidad en que se renueve la cama de la granja, que se realice después de cada lote de pollos criados³⁹.

- **Residuos de productos alimenticios**

Nitrógeno = 1,9% hasta 2,9%

Ratio C/ N de 14 a 1 hasta 16 a 1

Humedad = 70% hasta un 80%

Densidad = 500Kg/m³.

Así como en los productos anteriores se disponía de una gran homogeneidad en la composición de los materiales, en este caso lo que predomina es la variabilidad. Constantemente varia la composición de estos residuos, pueden ser muy húmedos, muy secos, más nitrogenados o menos carbonados; esta composición varía según la dieta alimenticia existente en la comunidad.

Por esto se debe vigilar constantemente el pH. Las frutas, verduras y hortalizas frescas tienen tendencia a fermentar, lo que genera una disminución del pH, convirtiendo el compost en un producto ácido, por lo que es recomendable usar una dosis de cal. En el caso de compostaje de esta materia prima es imprescindible disponer de un medidor o kit de pH⁴⁰.

³⁹ Ibíd.

⁴⁰ Ibíd.

Tabla 4. Relación C/N de algunos materiales

MATERIAL	RELACION C/N	MATERIAL	RELACION C/N
Estiércol de caballo fresco	18/1 - 25/1	Abono verde	10/1 - 15/1
Estiércol de caballo seco	60/1	Aguja de pino fresca	30/1
Estiércol vacuno	15/1 - 20/1	Aguja de pino seca	150/1
Estiércol vacuno con paja	20/1 - 30/1	Aserrín	200/1 - 600/1
Gallinaza con cama	18/1	Corteza de pino	723/1
Gallinaza pura	7/1 - 12/1	Desperdicios de cocina	15/1 - 25/1
Hierba fresca legumin	12/1	Frijoles	40/1
Hierba fresca	17/1	Heno	21/1
Hierba fresca legumin	12/1	Peladura de papa	25/1
Hojas de frijol	27/1	Restos de frutas	40/1 - 80/1
Poda de naranjo	27/1	Restos de hortalizas	37/1
Restos de podas	44/1	Restos de lechugas	14/1

En la tabla 4 se puede observar los diferentes tipos de materia orgánica que se encuentran en la Mesa de los Santos, así como la relación Carbono/Nitrógeno de cada uno de ellos, siendo una de las propiedades más importantes a conocer durante el proceso de compostaje.

6.1.2 Recetas de la materia orgánica. Teniendo la materia prima ya seleccionada se recomienda guardar la materia orgánica recolectada en un lugar el cual tenga un porcentaje de humedad bajo (que no exceda el 70%), además de una temperatura ambiente de 22°C o 23°C.

Para una producción de compost de alta calidad existen lo que se denominan recetas, estas recetas nos dan el tipo y porcentaje de materia orgánica a usar en el proceso, así como el porcentaje de agente seco y aditivos extra a usar.

Debido a las materias primas que se encuentran en la Mesa de los Santos se usara una receta mixta en la cual se mezclaran tanto la materia orgánica vegetal y animal.

- **Receta mixta.** Para la producción de compost con materia orgánica vegetal y animal se utiliza tanto material lignocelulósico, dentro del cual están los residuos de productos alimenticios de la cocina, restos de frutas, tubérculos, restos de podas y toda materia vegetal disponible, así como la materia orgánica animal como lo es el estiércol de vaca lechera y la gallinaza

Al tener la materia ya seleccionada, se inicia el proceso de corte, en el cual solo el material lignocelulósico se someterá a este proceso debido a los tamaños de partículas que poseen. El material cortado estará en un rango de tamaño de entre los 15 y 25 mm para lograr un buen proceso de secado, homogenización y compostaje. Luego de esto, tanto la materia lignocelulósica como la de animal, específicamente el estiércol de vaca lechera, se les reduce la humedad hasta un 60%. Esta reducción de humedad se realiza debido al gran porcentaje de agua que posee la materia prima, el cual está entre un 70 y 80% lo que ocasionaría la putrefacción en el proceso de compostaje. Se debe tener en cuenta que la gallinaza broiler tiene un porcentaje de humedad bajo, entre el 22 y 46%, por lo que se requiere aumentar este porcentaje añadiendo agua y dejándola con un porcentaje de humedad igual que el estiércol de vaca y los residuos de los productos alimenticios.

Teniendo la materia prima ya cortada y con el porcentaje de humedad requerido o deseado se procede a iniciar el proceso de compostaje, en el cual del 100% de la masa que se desea ingresar a la compostadora, el 70 o 75% será de la materia orgánica y el otro 25 o 30% será de agente seco (Aserrín). Este agente seco puede ser de cualquier tipo de madera que se encuentra en la Mesa de los santos o en su defecto en Bucaramanga. En el municipio de la mesa de los santos existe la particularidad de que predominan dos tipos de árboles el Eucalipto y el Pino,

desafortunadamente no son óptimos para el proceso de compostaje, ya que ocasionan una acidez muy alta, y por esta razón es recomendable usar este tipo de madera en pequeñas cantidades. Al adicionar el agente seco al proceso de compostaje se le brinda a los microorganismos encargados de la descomposición la energía necesaria para que ellos puedan iniciar, mantener y finalizar el proceso de descomposición (Mesófilo, Termófilo, Enfriamiento y Maduración) logrando la compostación de la materia. Esto, a través del control de los parámetros esenciales de este proceso, como lo es el pH, humedad y temperatura durante todo el proceso.

Tabla 5. Parámetros durante la descomposición de la materia

PARAMETRO	RANGO INICIAL	RANGO DURANTE EL PROCESO	RANGO FINAL
pH	4 – 5.5	6.5	7-8
Humedad	60 – 65%	50%	20-30%
Temperatura	Ambiente	Max 60°C	Ambiente
Tamaño de las partículas	1 – 5cm	1 – 2cm	Max 5mm
Relación C/N	Variable	25/1	20/1

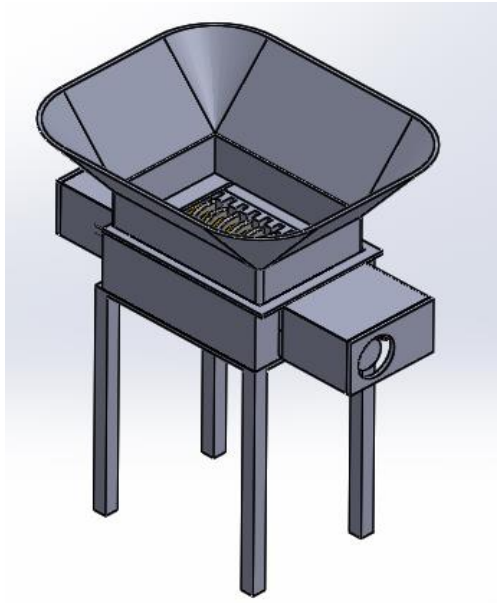
Fuente: Equipo de trabajo – Mesa sectorial de Producción Ecológica, 2013.

En la tabla anterior se observa los valores de cada uno de los parámetros esenciales para que la materia orgánica pueda realizar el proceso de descomposición satisfactoriamente para así obtener un compost de alta calidad y cumplir con las normas ambientales del país.

6.2 SECCION DE CORTE

Para esta sección de corte, se utilizará una cortadora de cilindros, la cual consiste en dos o cuatro ejes que van montados de forma paralela y unidos mediante un bastidor. Los ejes giran en sentido opuesto uno del otro y hacia el centro de la máquina, cada eje tiene una serie de cuchillas, las que, dependiendo de la aplicación, van en línea u orientadas para aprovechar el torque aplicado. Estas cuchillas penetran en el material, desgarrando pequeños trozos de manera constante, permitiendo así la destrucción del material.

Figura 6. Equipo triturador.



Mediante una caja de transmisión de engranajes se entregará fuerza a los ejes, a su vez esta caja de engranajes será alimentada mediante un motor eléctrico para la entrega de potencia.

Está contemplado utilizar una bandeja para la carga del material en la zona superior y en la parte inferior un receptor del material triturado.

Todo el sistema será montado en una pequeña estructura que dará soporte a la parte de proceso del equipo, los componentes del sistema eléctrico y de control no formarán parte de la máquina.

Para hacer el diseño del equipo triturador se debe, identificar las situaciones en las cuales actuará la máquina.

Como primera situación, se sabe que el equipo estará destinado a destruir madera, por lo tanto, se hace necesario identificar las propiedades mecánicas de este material. Como segunda situación, el equipo estará destinado a destruir la madera dentro de un área delimitada, esto implica predecir el comportamiento que tendrá el material al ser destruido, por ende, se debe definir un área y una tolva que permita recibir el material. Como tercera situación, al momento que el equipo este triturando, los ejes de la máquina podrían trabarse por una posible entrada de material hacia todo el sistema de cuchillas. Por lo tanto, se cree conveniente dotar al equipo de un sistema inversor de marcha que invierta el giro de los ejes cuando ocurra esta situación. Como cuarta situación, es indispensable instalar sobre la tolva un sistema de seguridad que evite la caída accidental de alguna herramienta o el ingreso de algún miembro del cuerpo humano.

6.2.1 Propiedades de la madera. La madera es un material anisotrópico que está compuesto por fibras de celulosa unida con lignina, lo que hace que su elasticidad sea distinta según la dirección en la que se deforma.

Las propiedades físicas de la madera varían de acuerdo con la especie de árbol que se estudie, la humedad juega un papel importante ya que dependiendo de este parámetro varían las propiedades físicas.

Es necesario conocer las propiedades mecánicas de la madera, por lo tanto, la tabla 6 presenta las propiedades mecánicas de algunos de los árboles utilizados para la obtención de la materia orgánica, todos estos datos están considerados a una

humedad seca al aire de 12 % a 15 %, el cual corresponde a la mayoría de las maderas que se disponen.

Tabla 6. Propiedades mecánicas de algunas maderas.

NOMBRE	ROBLE	ECALIPTUS	PINO	UNIDAD
DUREZA BRINELL	5,7	6,63	2,03	[Kp/mm ²]
DUREZA JANKA	16	19	4,1	[KN]
CIZALLAMIENTO	14	12	10,4	[N/mm ²]
RESISTENCIA AL IMPACTO	166	104	60	[KJ/M ²]
MODULO DE ELASTICIDAD	9.192	14.000	10.250	[N/mm ²]
RESISENCIA A LA FLEXION	118	107	65	[N/mm ²]
RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA	52	66	43	[N/mm ²]
DENSIDAD SECA AL AIRE	0,73	0,73	0,51	[g/cm ³]

Fuente: LIZANA Felipe. “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

6.2.2 Análisis de penetración. Como primera condición, se requiere determinar la fuerza mínima necesaria para poder penetrar la madera, para tener una idea de la magnitud de esta fuerza es necesario conocer la dureza de la madera.

Con la fórmula del ensayo de dureza Brinell se determinará la fuerza, en esta fórmula se relaciona la fuerza con la dureza, la fórmula se presenta a continuación:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot \emptyset^2} \left(\frac{1}{1 - \sqrt{1 - \frac{z^2}{\emptyset^2}}} \right)$$

Donde, cada parámetro señala lo siguiente:

- HB: dureza Brinell. (Kp/mm²)
- F: fuerza aplicada en el ensayo (Kp). Un (Kp) tiene una equivalencia de 9,807 (N).
- Db: diámetro de la bola, se utiliza una bola de 10 (mm) de diámetro.
- z: diámetro de la huella que provoca la fuerza aplicada. (mm)

Para realizar este ensayo en la madera, es necesario ciertas condiciones relacionadas con la densidad, la tabla 7, presenta las condiciones de carga que se aplican dependiendo de la densidad de la madera.

Tabla 7. Condiciones del ensayo de dureza según densidad.

DENSIDAD [g/cm]	CARGA DE ENSAYO [Kp]	CARGA DE ENSAYO [N]
Den<0,3	10	98,07
0,3<Den<0,7	50	490,35
Den>0,7	100	980,7

Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

Tabla 8. Escala de dureza de la madera.

CLASIFICACIÓN	DUREZA JANKA	DUREZA BRINNELL
MUY BLANDA	150	<1
BLANDA	150-350	01-feb
SEMIDURA	350-650	02-abr
DURA	650-900	04-ago
MUY DURA	>900	>8

Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

La tabla 8, extraída de la norma UNE- 56.534, clasifica a todas las clases de maderas existentes.

En la tabla 8 se recoge que valores superiores a 8 (kp/mm²) o 78,45 (N/mm²) corresponden a maderas muy duras, por otro lado, la tabla 7 muestra que para densidades superiores a 0,7 (g/cm³), se utilizan 980,7 (N) para realizar los ensayos.

Se realizará los cálculos utilizando una dureza de 10 (kp/mm²) o 98,1 (N/mm²) para asegurar la penetración de la cuchilla en la madera y se utilizará 980,7 (N) como parámetro de fuerza, la tabla.9, presenta los valores para la simulación del ensayo Brinell.

Tabla 9. Parámetros para la simulación de ensayo de dureza.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
DUREZA	98,1	[N/mm ²]
FUERZA	980,7	[N]
DIAMETRO	10	[mm]

Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

Utilizando la fórmula de ensayo de dureza Brinell y remplazando los parámetros para la simulación mostrados en la tabla 9 en la formula, podemos encontrar el valor de diámetro de la huella que provoca la fuerza aplicada de 980,7 (N) y un diámetro de 10 (mm). Utilizando la herramienta EES encontramos que este valor z según la fórmula empleada es de 3,511 (mm). Con este valor se puede conocer el área óptima para penetrar la madera.

Se tiene considerado utilizar cuchillas de largo $L=10$ (mm), para conocer el ancho del filo de la cuchilla, se utiliza el área que entrega la huella del ensayo Brinell que se mostrara a continuación en la tabla 10.

Tabla 10. Cálculo de áreas.

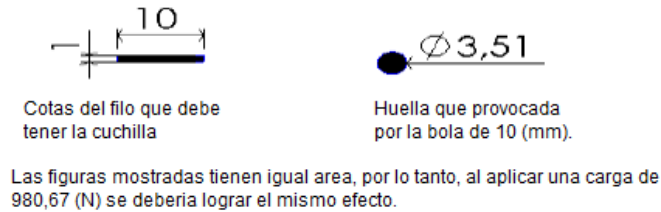
CALCULOS	FORMULA	AREA [mm ²]	VALOR 1(mm)	VALOR 2 (mm)
HUELLA DUREZA BRINELL	$A=\pi * r^2$	9,621	$Z=3,511$	$r=1,755$
CUCHILLA	$A=L*S$	9,621	$L=10$	$S=0,96 A 1$

Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

La tabla 10, el valor de “S”, corresponde al ancho que debe tener la cuchilla para lograr el mismo efecto de penetración que se logra aplicando una carga de 980,67 (N), con una bola de 10 (mm), como se realiza en el ensayo de dureza Brinell.

Figura 7. Comparación del filo de la cuchilla y dureza Brinell.

AREA DE LA CUCHILLA VS AREA DE HUELLA DEL ENSAYO BRINELL

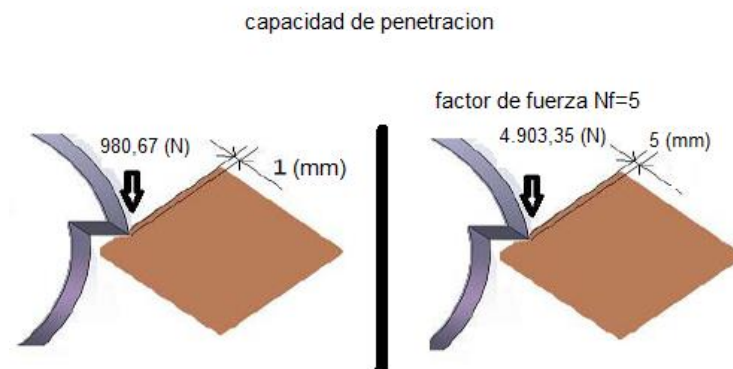


Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

6.2.3 Parámetro para el diseño de cuchillas. Analizando lo anterior se puede decir que con una fuerza de 980,67 (N) es posible penetrar en la madera, usando el filo de alguna cuchilla de largo $L = 10$ (mm), pero esta fuerza no permitirá desgarrar el material. Para solucionar este problema, se requiere aumentar la fuerza en el filo de la cuchilla, pero se desconoce la fuerza óptima para lograr este objetivo.

Como se desconoce la fuerza necesaria, se conviene aumentar la fuerza cinco veces, usando un coeficiente de seguridad para la fuerza de $N_f=5$, con este valor la fuerza que tendrá la cuchilla al cortar será de 4.903,35 (N).

Figura 8. Penetración de la cuchilla en la madera.



Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

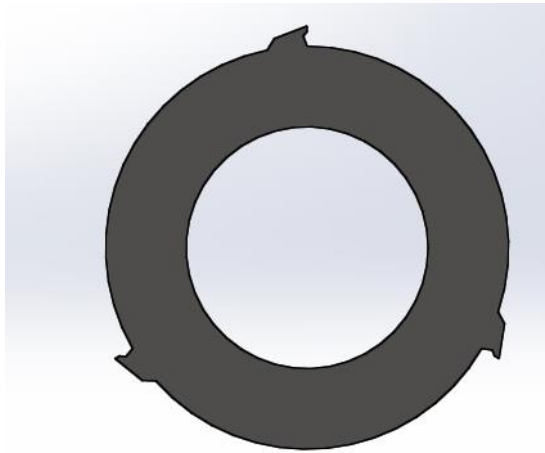
La figura 8, muestra el efecto que tendría al aplicar una fuerza de 980,67 (N) sobre la madera usando una cuchilla con un filo de 10 (mm) de longitud y espesor 1 (mm) la capacidad de penetración que se lograría sería de 1 (mm), según el ensayo practicado en el proyecto “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera” realizado por Felipe Lizana, si se utilizan 4.903,35 (N) de fuerza, la presión a la que estaría sometido el filo de la cuchilla sería de 490,3 (N/mm²) y el poder del corte aumentaría 5 veces y mostrado en la fórmula de dureza de brinell, lo cual, la capacidad de penetración que se lograría sería de aproximadamente de 5 (mm).

Hay diversos tipos de configuración para las cuchillas encargadas de realizar el corte en la figura 6 muestra los diferentes tipos de configuración normalmente usada en máquinas trituradoras de doble eje. La configuración se escogió basándose en las mejores máquinas de corte de la industria, podemos ver la configuración escogida en máquinas sometidas a cargas mayores como las trituradoras de llantas.

La selección del elemento de corte está relacionada principalmente por su resistencia al desgaste, por la agresividad a la que estará sometida por esto se seleccionó el acero AISI-D2.

Cada eje tendrá once cuchillas ajustadas de forma lineal, la máquina se diseñará para que trabajen seis filos de cuchillas de forma simultánea, para esto se instalan tres filos en cada cuchilla como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Cuchilla con tres filos.



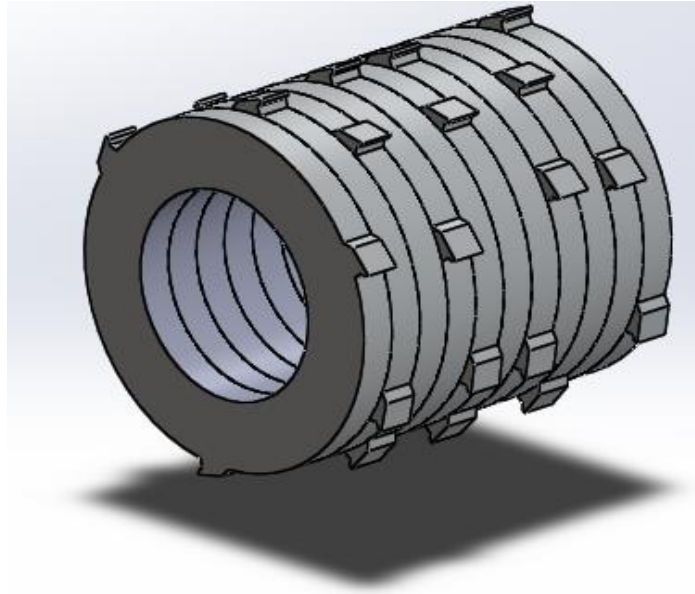
La tabla 11, presenta las condiciones que debería tener la cuchilla para trabajar en la máquina.

Tabla 11. Parámetros para el diseño de cuchillas

PARÁMETROS	VALOR	SIGLA	UNIDAD
NUMERO DE DIENTES	3	Y	-----
DIAMETRO DE LA CUCHILLA	100	----	mm
ESPESOR DEL DISCO	10	-----	mm
ANCHO DEL FILO	1	-----	mm
CARGA DE TRABAJO	4.903,35	Fco	(N)
MOMENTO DE EMPUJE	245,2	Mc	(N*m)
ACERO	ASIS-D2	-----	-----

La figura 10, muestra el número de dientes que trabajara simultáneamente en un eje completo.

Figura 10. Cuchillas que trabajan simultáneamente.



6.2.4 Área de trabajo de la máquina. La zona de trabajo de la máquina será de un largo de 25,4 (cm) y un ancho 16 (cm), lo que genera un área de trabajo de 406,4 (cm²), en esta área trabajarán veintidós cuchillas simultáneamente, divididas en dos ejes, que tendrán once cuchillas cada uno.

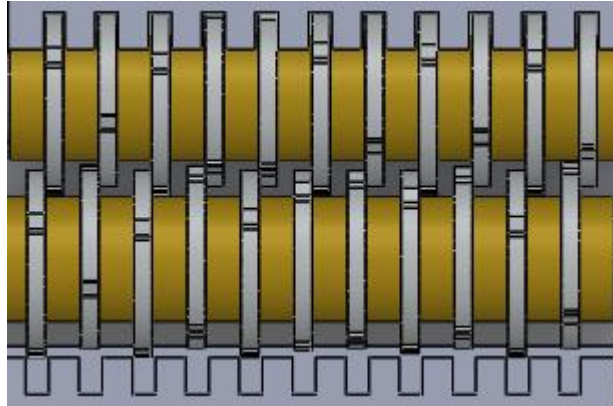
Para efectos de cálculo, se utilizará la mitad de la zona de trabajo completa de la máquina, debido a que la carga de trabajo nunca será completa y se prevé que esa área nunca estará completa mente cargada de material. En esta zona estarán trabajando:

- Seis cuchillas del eje conducto, trabajando simultáneamente.
- Seis cuchillas del eje conducido, trabajando simultáneamente.

Con todo lo anterior, el momento de trabajo en cada eje será de $M_c = 245,2 \text{ (N*m)}$
 $\times 6 \text{ cuchillas} = 1471 \text{ (N*m)}$ en cada eje.

La figura 11, presenta la zona de carga considerada para realizar el cálculo de trabajo de la máquina.

Figura 11. Zona de trabajo.



Los trozos de maderos a destruir deberán tener un largo máximo de 1 metro y una sección transversal como máximo de 100 x 100 (mm), para que puedan entrar sin dificultad a la zona de cuchillas.

6.2.5 Diseño de equipo

- **Análisis de fuerzas presentes en el sistema ideado.**

Para comenzar el análisis de fuerzas es necesario volver a mencionar una serie de valores, la tabla 12 presenta los valores más relevantes.

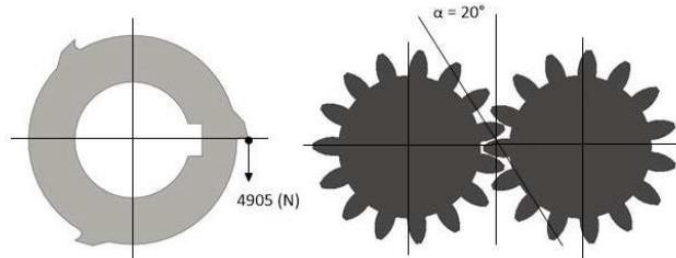
Tabla 12. Valores para el análisis de fuerzas.

NOMBRE	VALOR	SIGLA	UNIDAD
CARGA DE TRABAJO DE UNA CUCHILLA	4.903	Fco	[N]
MOMENTO DE EMPUJE DE UNA CUCHILLA	245,2	Mc	[N*m]
MOMENTO DE EMPUJE POR EJE	1.471,50	Mt	[N*m]

Con los valores mencionados anteriormente, se pueden realizar todos los análisis que se necesitan para la correcta configuración de todas las piezas que componen el equipo.

Los engranajes serán diseñados según las normas AGMA, con un ángulo de presión de 20° , la fuerza de la cuchilla entrara vertical como se representa en la figura 12.

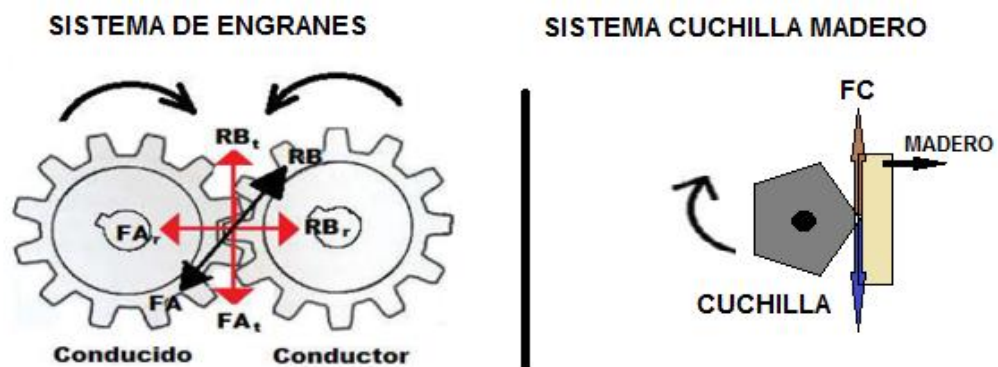
Figura 12. Fuerza de la cuchilla y ángulo de presión de los engranajes.



Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”.

Para determinar las fuerzas que se ejercen en los engranajes y en la cuchilla, se presenta la figura 13, en ella se exhibe el desglose del comportamiento que ocurrirá en cada caso.

Figura 13. Fuerzas presentes en cuchillas y engranajes.



Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

La tabla 13, muestra todos los parámetros para el cálculo de fuerzas y reacciones que ocurren en cada suceso.

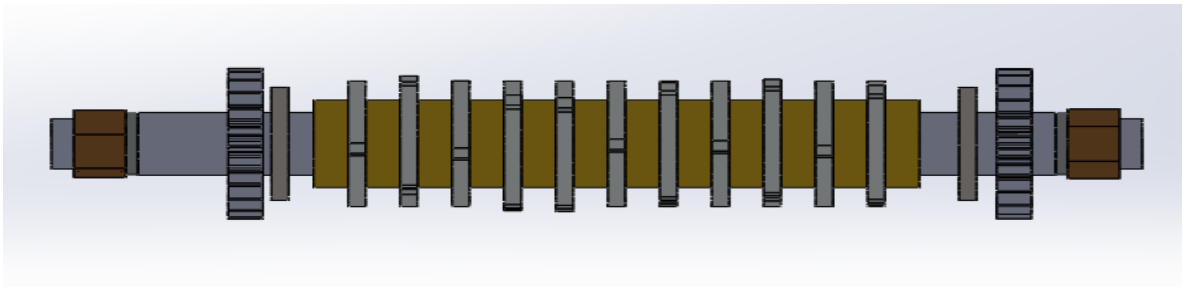
Tabla 13. Fuerzas y reacciones en cada elemento.

PARAMETROS	FORMULA	ENGRANAJE CONDUCTIDO	ENGRANAJE CONDUCTOR	UNIDAD
MOMENTO TORSOR	Mt	1.471	1.471	[N*m]
FUERZA TANGENTE	$F_{et}=Mt/re$	32,7	32,7	[KN]
FUERZA RADIAL	$F_{er}=F_{et}*\tan(\alpha)$	11,9	11,9	[KN]
ANGULO	α	20	20	grado
RADIO	$re=Dp/2$	0,045	0,045	[m]
FUERZA TOTAL	$F_e = \sqrt{F_{er}^2 + F_{et}^2}$	34,79	34,79	[Kn]

- **Diseño del eje conducido.**

La figura 14 muestra el eje conducido o (eje B), en ella se puede observar la gran mayoría de las piezas que componen el eje, se muestra la configuración general.

Figura 14. Eje conducido y sus componentes.

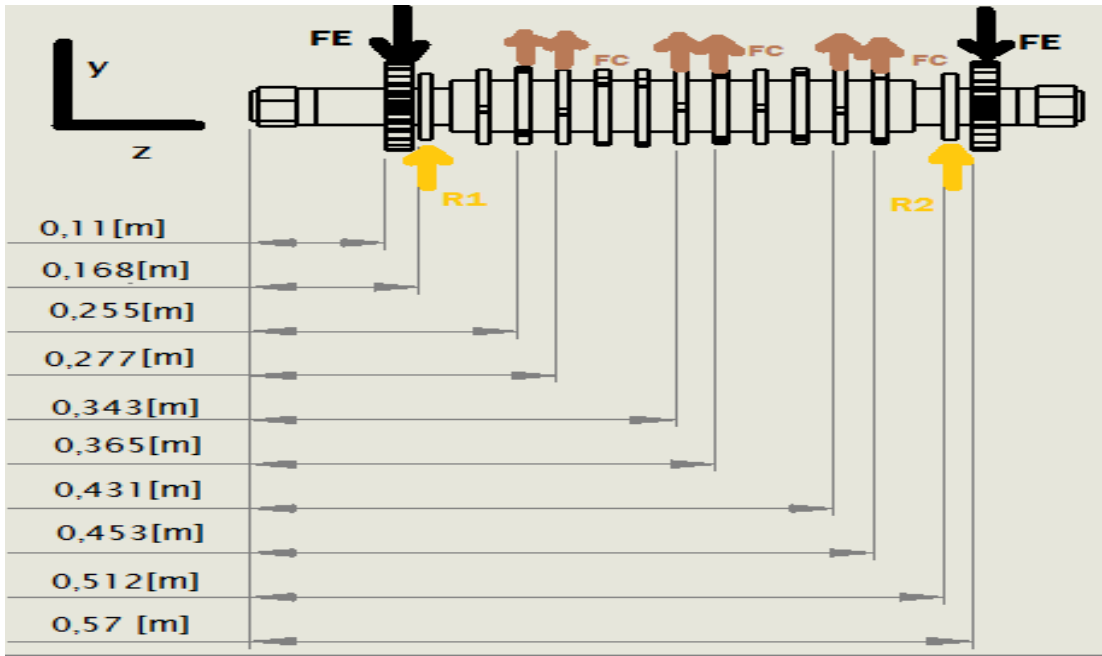


La tabla 14, exhibe las fuerzas que se consideraran para el análisis del eje como una viga simple en el plano coordinado Y-Z

Tabla 14. Lugar de las fuerzas para el análisis del eje.

Lugar	Sigla	Distancia [m]	Fuerza [N]
Egranaje	FE	0,11	16.350
Rodamiento	R1	0,168	R1
1 cuchilla	FC	0,255	4.905
2 cuchilla	FC	0,277	4.905
3 cuchilla	FC	0,343	4.905
4 cuchilla	FC	0,365	4.905
5 cuchilla	FC	0,431	4.905
6 cuchilla	FC	0,453	4.905
Rodamiento	R2	0,512	R2
Egranaje	FE	0,57	16.350

Figura 15. Diagrama de cuerpo libre eje conducido, (Plano Y-Z).



La figura 15 representa el diagrama de cuerpo libre del eje en plano (y-z), en ella se pueden apreciar las distancias y la dirección de cada una de las fuerzas que intervienen en análisis, este análisis no considera los pesos individuales de cada

uno de los componentes, ya que la magnitud de estas fuerzas es despreciable en comparación con las fuerzas de trabajo de la máquina.

La tabla 15, muestra los resultados de aplicar las ecuaciones de equilibrio estático al eje.

Tabla 15. Reacciones, fuerza cortante máxima y momento flector. (Plano Y-Z)

Elemento	lugar del eje	Valor	Unidad
Reacción 1	0,168	2.827	N
Reacción 2	0,512	431,7	N
Momento máximo	0,343	-2.558	Nm
Cortante máximo	0,11	16.350	N

La figura 16, exhibe el grafico con un diagrama de fuerza cortante de todo el eje, en el podemos ver el cortante máximo que es de 16.350 [N] y actúa en los engranes que sostiene el eje y la figura 17 presenta el grafico con el diagrama de momentos en el que podemos ver el momento máximo que es de 2.558 [N*m] y actúa a una distancia de 0,343 [m] del inicio del eje coordinado en donde se encuentra la cuchilla 3.

Figura 16. Diagrama de fuerza cortante. (Plano Y-Z)

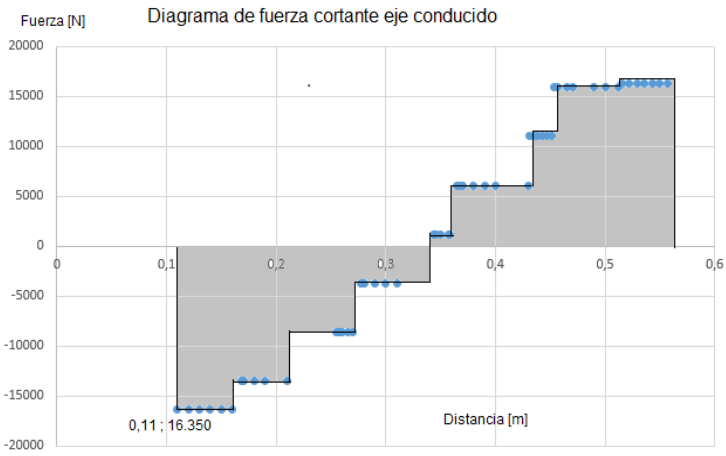


Figura 17. Diagrama de momento flector. (Plano Y-Z)

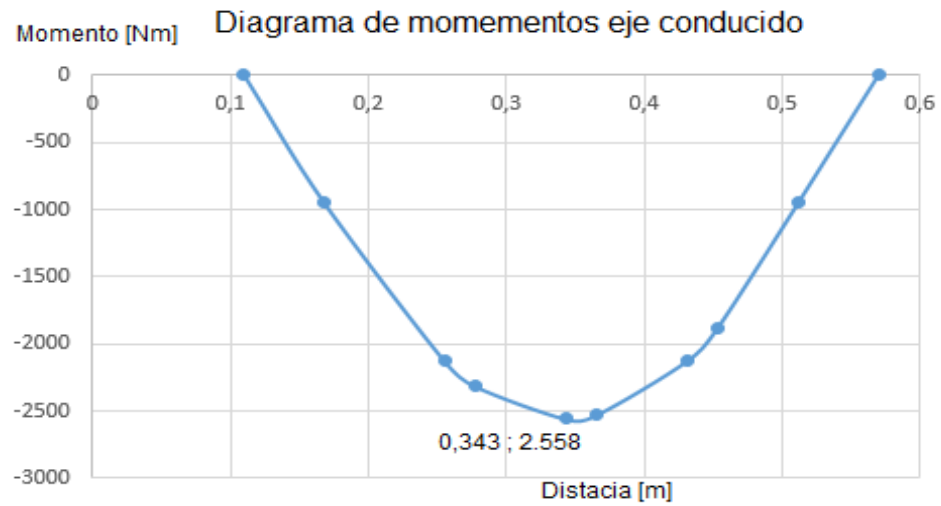
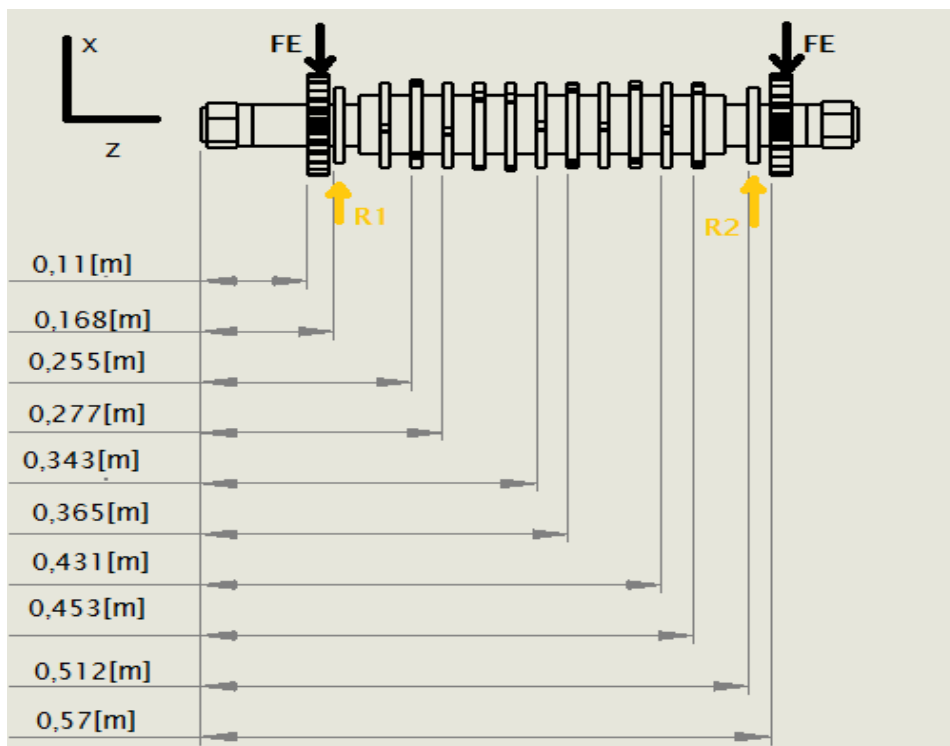


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre eje conducido. (Plano X-Z)



La figura 18 muestra el diagrama de cuerpo libre del eje conducido en plano coordenado X-Z, en este caso la fuerza “FE” es la fuerza radial del engranaje que

corresponde a 11,9 (KN) como se mostró antes en la tabla 13, como se están utilizando dos engranajes, la fuerza de giro hacia las cuchillas será dividida en partes iguales de 5,95 (KN).

La tabla 16, exhibe los resultados obtenidos del eje al analizarlos en el plano coordenado X-Z.

Tabla 16. Reacciones, cortante máximo y momento flector. (Plano X-Z)

Elemento	lugar del eje	Valor	Unidad
Reacción 1	0,168	5.950	N
Reacción 2	0,512	5.950	N
Momento máximo	0,343	-345	Nm
Cortante máximo	0,11	5.950	N

Finalmente, las figuras 19 muestra el gráfico con un diagrama de fuerza cortante, en el cual se puede ver el cortante máximo que actúa en el eje para este sistema coordenado (X-Z) tiene una magnitud de 5.950 [N] y está ubicada a una distancia de 0,11 [m] y 0,512 [m] de donde inicia el sistema de coordenado, en esta posición esta ubicados los engranes esta fuerza es contrarrestada por la reacción del rodamiento 1 y rodamiento 2. La figura 20 muestra el grafico con un diagrama de momento flector del eje en el plano coordenado X-Z, el cual muestra el momento flector máximo que actúa en este sistema coordenado, tiene una magnitud de 345,1 [N*m] y actúa 0,168 [m] hasta 0,512 [m].

Figura 19. Diagrama de fuerza cortante. (Plano X-Z)

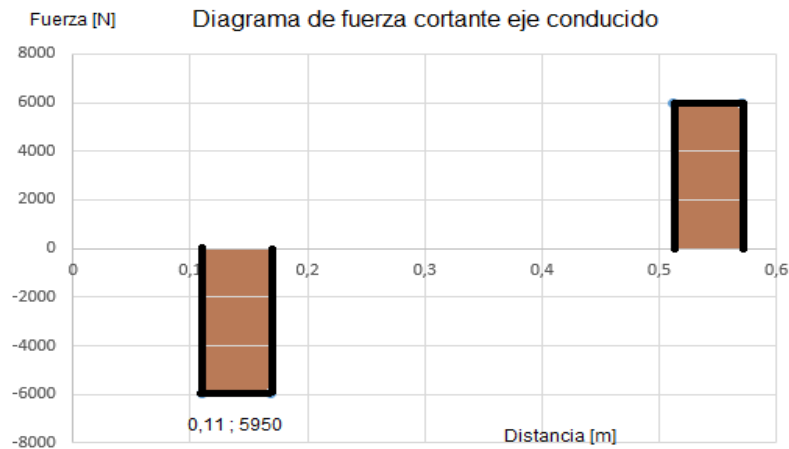
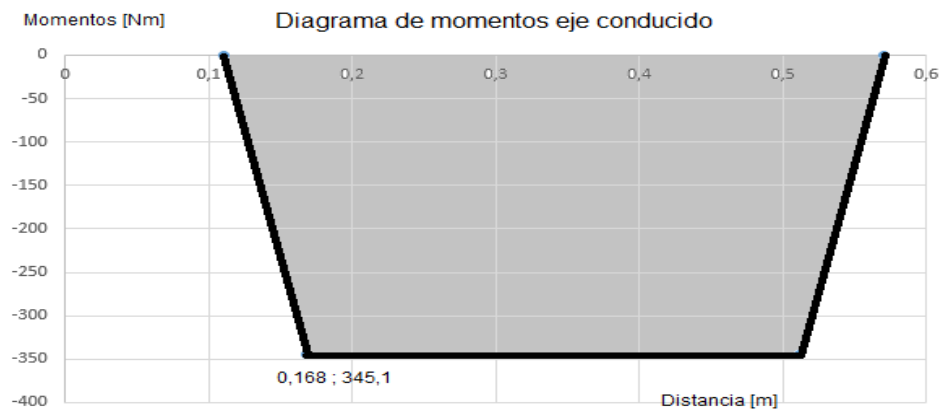
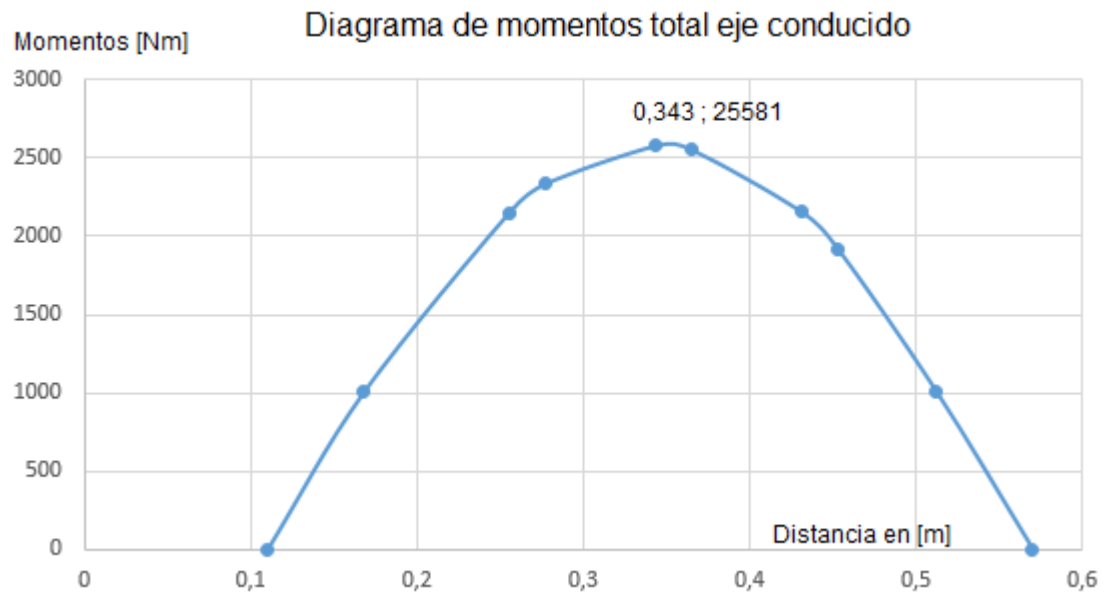


Figura 20. Diagrama de momento flector. (Plano X-Z)



La figura 21 muestra un gráfico con un diagrama de momento flector combinado del eje conducido, el punto de máximo momento ocurre en la longitud $L_a = 0,343$ [m] donde se encuentra ubicada la cuchilla 3 y tiene un momento máximo de $M_b = 2.581$ [N*m]. La tabla 17 presenta los parámetros que se necesitan para el cálculo del diámetro mínimo que debe tener el eje conducido y las reacciones donde se soportará el eje. Con la ecuación 1, se determinará el diámetro mínimo aceptable por el método de fatiga para que el eje cumpla su función y no sufra algún desperfecto.

Figura 21. Diagrama de momento flector combinado.



Ecuación 1

$$\frac{1}{N} = \frac{16}{\pi \cdot D_{\min}^3} \cdot \frac{1}{se_{\text{prima}}} \cdot \left[\sqrt{4 \cdot (K_f \cdot M_b)^2 + 3 \cdot (K_{fS} \cdot T_m)^2} \right]$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica Shigley.

Usando el método fatiga se utilizan un grupo de factores que permite reducir el esfuerzo ultimo de fluencia “se_prima”, para así determinar el diámetro mínimo del eje con usando parámetros conservadores y por temas de prudencia su usa un factor de seguridad N=2.

Tabla 17. Valores obtenidos de la combinación de diagramas.

Elemento	lugar del eje	Valor	Unidad
Reacción 1	0,168	6.587	N
Reacción 2	0,512	5.966	N
Momento máximo	0,343	25.581	Nm

La tabla 19, presenta los parámetros para resolver la ecuación 2, se analizaron varias clases de acero para diseñar el eje. La tabla 18, muestra las características técnicas de los aceros seleccionados.

Tabla 18. Distintas clases de acero para dimensionar el eje.

Tipo de Acero	Resistencia a la fluencia (S_y) (MPa)
AISI-1020	390
AISI-1045	530
AISI-4340	1.080

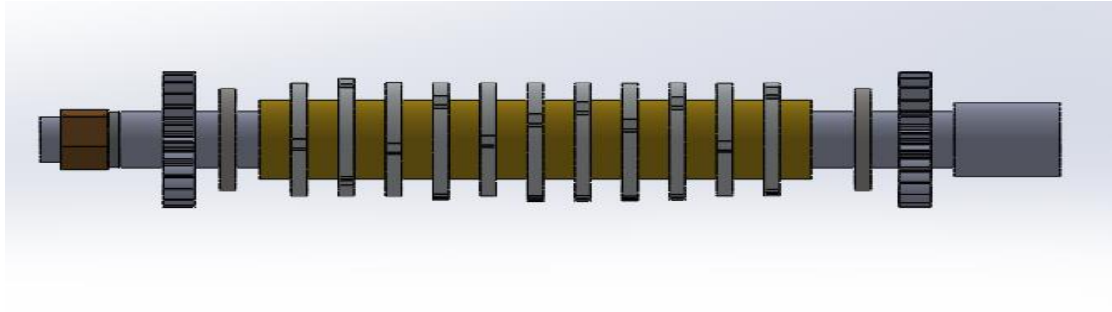
Tabla 19. Cálculo del diámetro mínimo del eje conducido.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Momento flector máximo	M_b	2.581	[Nm]
Momento de torsión máximo	T_m	1.472	[Nm]
Factor de choque y fatiga del momento flector	K_f	1,06	-
Factor de choque y fatiga del momento torsión	K_{fs}	1,12	-
Esfuerzo permisible $Se_prima=K_a*K_b*K_c*K_e$	Se_prima	439	Mpa
Diámetro mínimo del eje	D_{min}	50	mm
Diámetro mínimo seleccionado	D_s	50	mm

- **Diseño del eje conductor.**

La figura 22 muestra los componentes del eje conductor, en ella podemos ver cambios respecto del eje conducido, la principal diferencia entre los dos ejes es que el eje conductor deberá transmitir la fuerza a sus cuchillas y la fuerza a los engranajes del eje conducido.

Figura 22. Eje conductor y sus componentes.

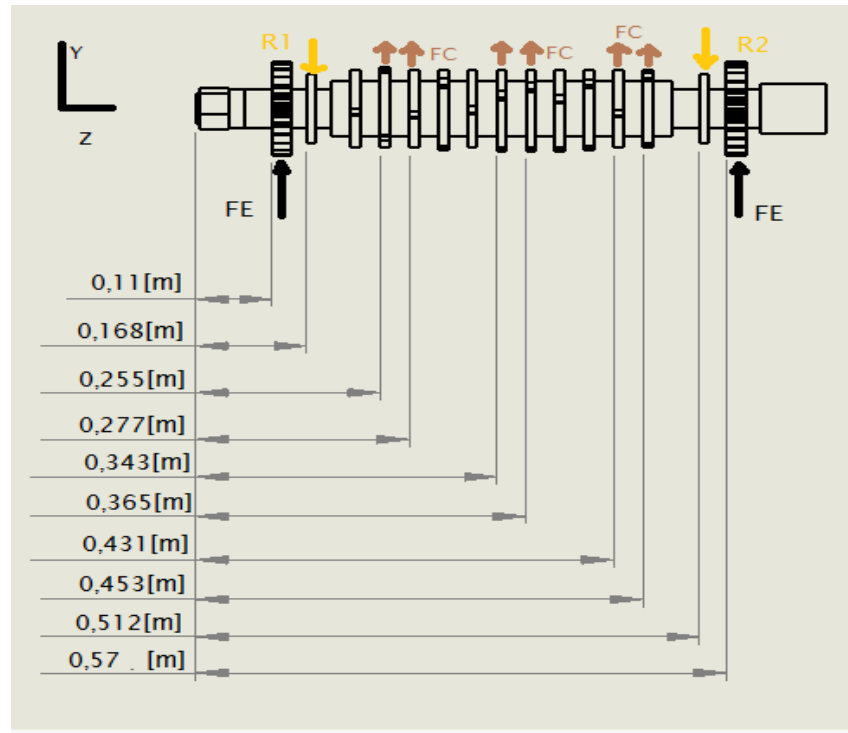


La tabla 20, presenta las fuerzas que se consideran para el análisis del eje como una viga simple en el plano coordinado Y-Z.

Tabla 20. Lugar de las fuerzas para el análisis del eje conductor.

ELEMENTO	DISTANCIA [m]	FUERZA [N]	SIGLA
ENGRANAJE 1	0,11	16.350	FE
RODAMIENTO 1	0,168	R1	R1
CUCHILLA 1	0,255	4.905	FC
CUCHILLA 2	0,277	4.905	FC
CUCHILLA 3	0,343	4.905	FC
CUCHILLA 4	0,365	4.905	FC
CUCHILLA 5	0,431	4.905	FC
CUCHILLA 6	0,453	4.905	FC
RODAMIENTO 2	0,512	R2	R2
ENGRANAJE 2	0,57	16.350	FE

Figura 23. Diagrama de cuerpo libre eje conductor. (Plano Y-Z)



La figura 23 expone las fuerzas presentes en el eje conductor, cabe destacar que este eje deberá:

- Transmitir la fuerza a las cuchillas.
- Transmitir la fuerza al eje conducido mediante el sistema de engranajes.
- Unirse mediante un acople a la caja de transmisión.

La tabla 21, muestra las reacciones obtenidas en los rodamientos, el momento flector máximo y la fuerza cortante máxima.

Tabla 21. Reacciones, momento flector y fuerza cortante máxima. (Plano Y-Z)

Elemento	lugar del eje	Valor	Unidad
Reacción 1	0,17	29.333	N
Reacción 2	0,51	32.798	N
Momento máximo	0,51	981	Nm
Cortante máximo	0,46	16.447	N

La figura 24 muestra al gráfico con un diagrama de fuerza cortante del eje en plano (Y-Z), en el podemos ver el cortante máximo que actúa sobre el eje tiene una magnitud de 16447 [N] y actúa a una distancia de 0,46 [m] del origen del eje coordenados, en esta posición se encuentra la cuchilla 6. En la figura 25 podemos ver el grafico que muestra al diagrama de fuerza cortante del eje conductor en el plano (Plano Y-Z), en el podemos ver el momento máximo y tiene una magnitud de 981 [N*m] actúa a una distancia de 0,51 [m] donde se inicia el origen del eje coordenado.

Figura 24. Diagrama de fuerza cortante del eje conductor. (Plano Y-Z)

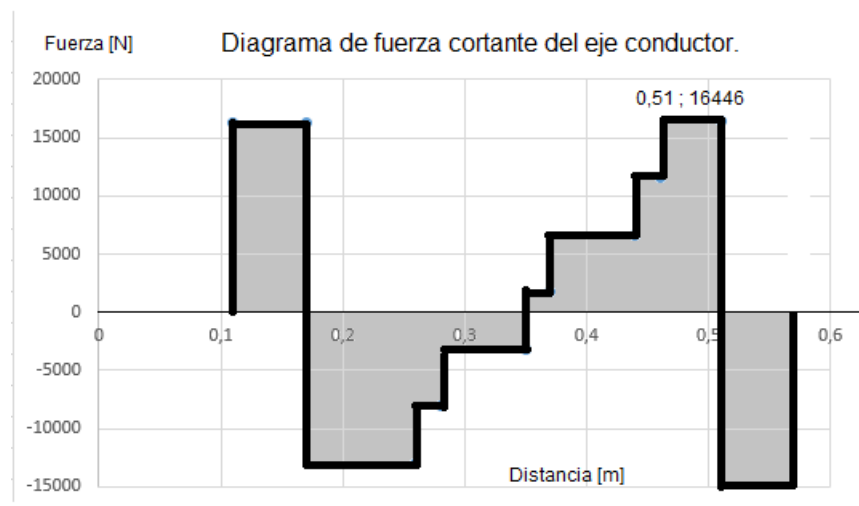


Figura 25. Diagrama momento flector del eje conductor. (Plano Y-Z)

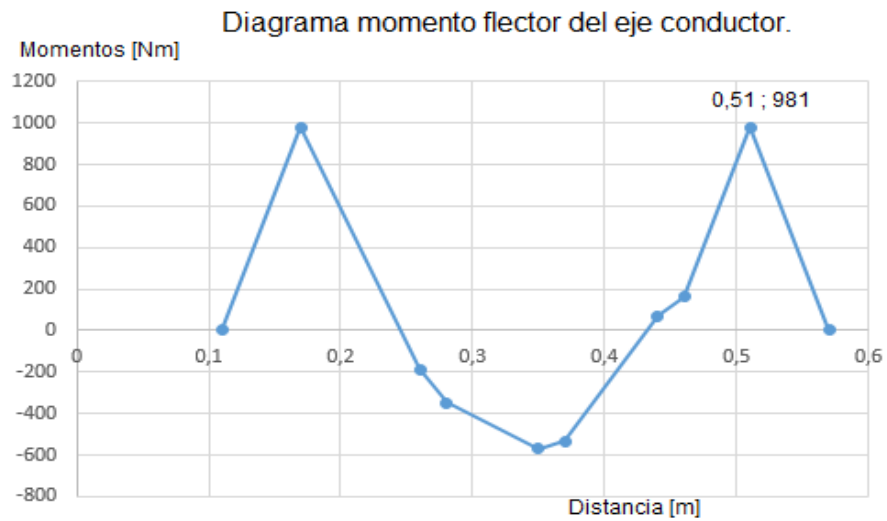
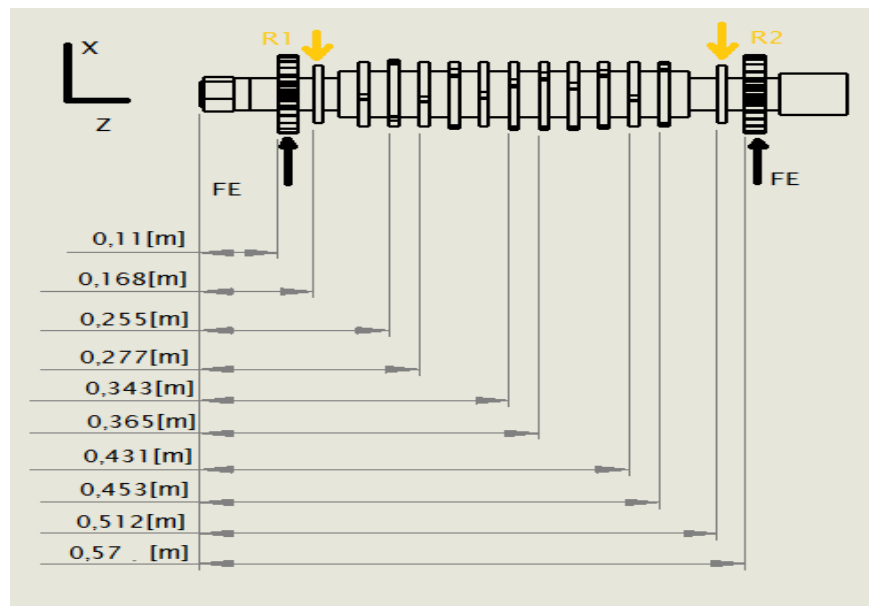


Figura 26. Diagrama de cuerpo libre eje conductor. (Plano X-Z)



La figura 26, muestra el diagrama de cuerpo libre del eje conductor en el plano coordenado X-Z, las únicas fuerzas de relevancia para el análisis son las fuerzas radiales creadas por los engranajes.

Figura 27. Reacciones en los apoyos, momento flector y fuerza cortante. (Plano X-Z)

Elemento	lugar del eje	Valor	Unidad
Reacción 1	0,168	5.950	N
Reacción 2	0,512	5.950	N
Momento máximo	0,343	-345	Nm
Cortante máximo	0,11	5.950	N

Las figuras 28 muestra el gráfico con un diagrama de fuerza cortante, en el cual se puede ver el cortante máximo que actúa en el eje para este sistema coordenado (X-Z) tiene una magnitud de 5.950 [N] y está ubicada a una distancia de 0,11 [m] y 0,512 [m] de donde inicia el sistema de coordenado, en esta posición esta ubicados los engranes esta fuerza es contrarrestada por la reacción del rodamiento 1 y rodamiento 2. La figura 29 muestra el grafico con un diagrama de momento flector del eje en el plano coordenado X-Z, el cual muestra el momento flector máximo que actúa en este sistema coordenado, tiene una magnitud de 345,1 [N*m] y actúa 0,168 [m] hasta 0,512 [m].

Figura 28. Diagrama del eje conductor. (Plano X-Z)

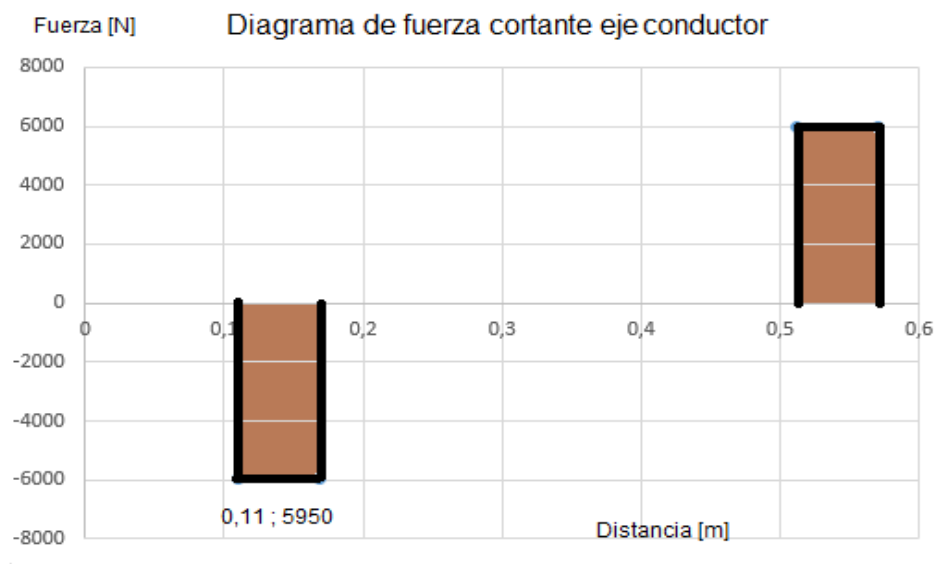


Figura 29. Diagrama momento flector del eje conductor. (Plano X-Z)

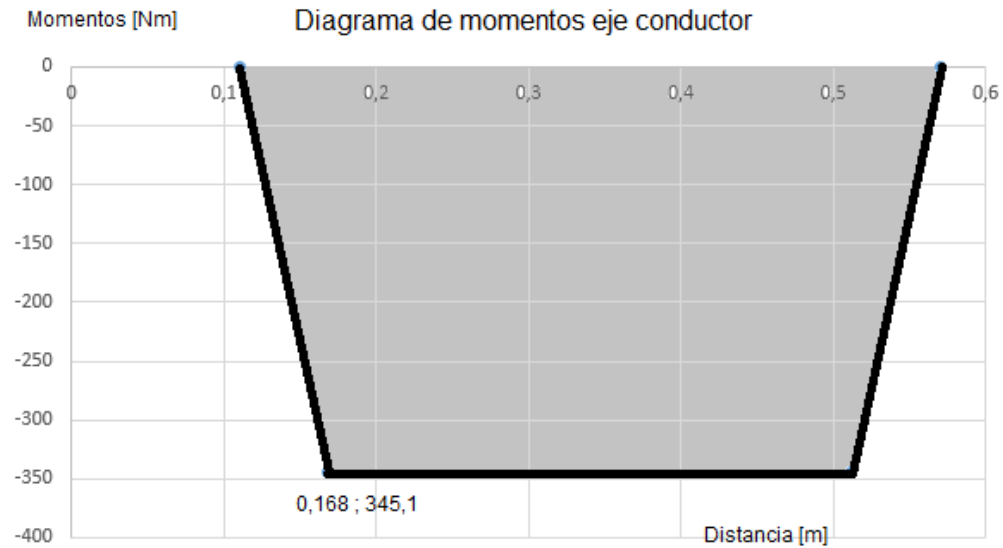
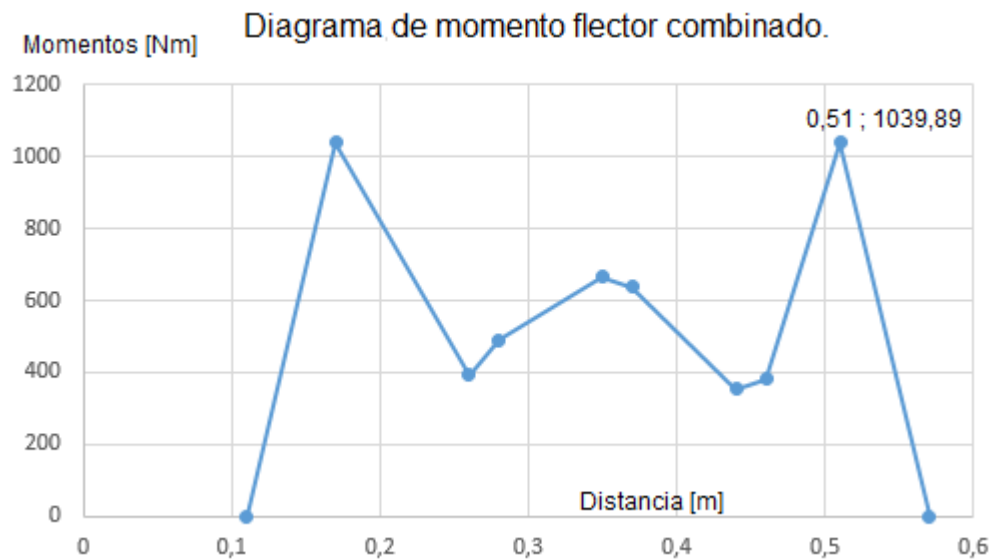


Figura 30. Diagrama de momento flector combinado.



La figura 30 muestra un gráfico con un diagrama de momento flector combinado del eje conducido, el punto de máximo momento ocurre en la longitud $L_a = 0,52$ [m] y donde se encuentra ubicado el rodamiento R2 y tiene un momento máximo de $M_b = 1.039$ [N*m].

La tabla 22 presenta los parámetros que se necesitan para el cálculo del diámetro mínimo que debe tener el eje conducido y las reacciones donde se soportará el eje. Con la ecuación 1, se determinará el diámetro mínimo aceptable por el método de fatiga para que el eje cumpla su función y no sufra algún desperfecto.

Tabla 22. Valores obtenidos de la combinación de diagramas.

Elemento	lugar del eje [m]	Valor	Unidad
Reacción 1	0,17	29.333	N
Reacción 2	0,51	32.798	N
Momento máximo	0,51	981	Nm

Nuevamente usando el método fatiga, en él se utilizan un grupo de factores que permite reducir el esfuerzo ultimo de fluencia “se_prima”, para así determinar el diámetro mínimo del eje con usando parámetros conservadores y por temas de prudencia su usa un factor de seguridad N=2.

Ecuación 1.

$$\frac{1}{N} = \frac{16}{\pi \cdot D_{\min}^3} \cdot \frac{1}{se_{prima}} \cdot \left[\sqrt{4 \cdot (K_f \cdot M_b)^2 + 3 \cdot (K_{fS} \cdot T_m)^2} \right]$$

La tabla 23, muestra las distintas clases de aceros que evaluaron para diseñar el eje y la tabla 24, presenta los parámetros necesarios y el desarrollo de la ecuación 1.

Tabla 23. Distintas clases de acero para dimensionar el eje.

Tipo de Acero	Resistencia a la fluencia (S _y) (MPa)
AISI-1020	390
AISI-1045	530
AISI-4340	1.080

Tabla 24. Cálculo del diámetro mínimo del eje conducido

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Momento flector máximo	Mb	1.040	[Nm]
Momento de torsion máximo	Tm	2.943	[Nm]
Factor de choque y fatiga del momento flector	Kf	1,06	-
Factor de choque y fatiga del momento torsión	Kfs	1,12	-
Esfuerzo permisible $Se_prima=K_a*K_b*K_c*K_e$	Se_prima	439	Mpa
Diametro minimo del eje	Dmin	50	mm
Diametro minimo seleccionado	Ds	50	mm

El acero utilizado en la fabricación del eje corresponde a un acero SAE-4340, igual que en el caso del eje conducido.

- **Selección de rodamientos.**

La máquina fue diseñada para operar a bajas velocidades de giro de eje, basándonos en velocidades de operación de otras máquinas trituradoras que se encuentran en el mercado, para cálculo y selección de la caja de engranes se escoge una velocidad de operación de $n=20$ [rpm], a continuación se presentan los cálculos realizados para obtener la velocidad mínima de corte de un trozo de madera de 1 [cm], tomando como referencia el proyecto “Diseño y montaje de una máquina trituradora de eje horizontal para centro comercial Catay” .

La ecuación 5 utilizada es el resultado de una serie de ecuaciones que tienen en cuenta la fuerza de corte, la longitud de los maderos a cortar, el diámetro de giro de las cuchillas, y el largo de viruta deseada.

$$V_z = \frac{z}{h} \cdot \sqrt{2 \cdot d \cdot \frac{F_c}{m}}$$

Ecuación 5: rodamiento de rodillos.

Fuente: Diseño y montaje de una máquina trituradora de eje horizontal para centro comercial Catay.

V_z = Velocidad mínima de corte.

Z =Tamaño deseado de corte madero.

H =longitud media medero.

D =Ancho madero.

F_c =fuerza de corte.

M =masa madero.

$$Z = 0.2m$$

$$h = 0.5m$$

$$F_c = 4903 N$$

Para los cálculos de la masa se utiliza la ecuación de densidad y se toma una magnitud de 510 [kg/m³] que pertenece al pino la madera más común y un volumen de 0,01 [m³].

Calculo de masa

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$\delta = 510 \frac{Kg}{m^3}$$

$$v = 0.01 m^3$$

$$d = 0.01 m^3$$

La siguiente ecuación nos permite obtener la velocidad de rad/s a rpm, se toma Rcg como el radio de giro de la cuchilla, w2 es la velocidad mínima de corte en rpm.

$$\omega = \frac{V_z}{R_{cg}}$$

$$R_{cg} = \frac{100}{2}$$

$$\omega_2 = \omega \cdot 9,5493$$

Remplazando obtenemos que: usando una fuerza de corte de 4903 [N] se requiere en teoría 0,017 [rpm] para corta un milímetro de madero.

c = 73,5	d = 0,01 [m]	Fc = 4903 [N]	h = 0,5 [m]
L1 = 1,700E+08	L10 = 21,38	L2 = 17819	m = 5,1
n = 20	$\omega = 0,03508$	$\omega_2 = 0,335$	p = 29,3
Rcg = 50	$\rho = 510 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$	v = 0,01 [m ³]	$V_z = 1,754$
z = 0,2 [m]			

$$V_z = 1,754 \text{ [m/s]}$$

$$W = 0,035 \text{ [rad/s]}$$

$$W_2 = 0,34 \text{ [rpm]}$$

Se puede notar que la w2 es muy pequeña, esto se debe a que la fuerza de corte es alta y que la viruta que se desea cortar es apenas de un centímetro, sin embargo, estos parámetros se consideran seguros para la futura fabricación y uso de la máquina.

Figura 31. Rodamiento de rodillos.



Fuente: LIZANA Felipe– “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera”

- **Cálculo rodamiento eje conducido**

Carga estática equivalente (P)= Fr; R1=6,58 [KN]; R2=5,96[KN].

Carga dinámica equivalente (Po)= Fr; R1=6,58 [KN]; R2=5,96[KN].

Capacidad de carga dinámica (C)=catálogo; R1=R2=46,8 [KN].

Capacidad de carga estática (Co)=catálogo; R1=R2=46,8 [KN].

Duración en revoluciones L10:
$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{3,33} = 567,4 \text{ millones de revoluciones.}$$

Duración en horas L10n:
$$L_{10n} = \frac{10^6}{60 * n} L_{10} = 4,7 \times 10^5 \text{ horas.}$$

Modelo rodamiento seleccionado rodamiento de rodillos SKF UN 1010 ECP:

Diámetro exterior= de catálogo. R1=80 [mm]; R2=80 [mm].

Largo= de catálogo. R1=16 [mm]; R2=16 [mm].

- **Cálculo rodamiento eje conductor.**

Carga estática equivalente (P)= Fr; R1=29,93 [KN]; R2=33,3[KN].

Carga dinámica equivalente (Po)= Fr; R1=29,93 [KN]; R2=33,3[KN].

Capacidad de carga dinámica (C)=catálogo; R1=R2=73,5 [KN].

Capacidad de carga estática (Co)=catálogo; R1=R2=69,9 [KN].

Duración en revoluciones L₁₀:
$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{3,33} = 21,38 \text{ millones de revoluciones.}$$

Duración en horas L_{10n}:
$$L_{10n} = \frac{10^6}{60 * n} L_{10} = 17.819 \text{ horas.}$$

Modelo rodamiento seleccionado rodamiento de rodillos SKF NUP 210 ECJ:

Diámetro exterior= de catálogo. R1=90 [mm]; R2=90 [mm].

Largo= de catálogo. R1=23 [mm]; R2=23 [mm].

- **Cálculo de engranajes.**

Los ejes calculados conducido y conductor, llevan un par de engranes necesarios para transmitir potencia, las condiciones de trabajo se presentan en la tabla 25.

Tabla 25. Condiciones de trabajo de los engranajes.

PARAMETROS	VALOR	UNIDAD	SIGLA
DIAMETRO PRIMITIVO	90	[mm]	Dp
VELOCIDAD TANGECIAL	0,094	[m/s]	Vt
VELOCIDAD	20	[rpm]	n
FUERZA TANGENCIAL	16.350	[N]	W
MOMENTO	1.471,50	[N*m]	Mt

La tabla 26 nos muestra las posibles combinaciones de engranes que logran un diámetro primitivo de 90 [mm], es importante tener este diámetro ya que este valor permite mantener la posición correcta de las cuchillas, también nos muestra el

esfuerzo al que estará sometido el diente del engranaje considerado la fuerza y el área formada por el módulo y la base del diente, así como el factor geométrico Y_j .

Tabla 26. Combinaciones de módulo y número de dientes.

MODULO	# DIENTES	PASO CIRCULAR [mm]	BASE [mm]	ESFUERZO [Mpa]	FACTOR GEOMETRICO (Y_j)
2	45	6,28	25,12	325,42	0,41
3	30	9,45	37,8	144,17	0,38
5	18	15,71	62,83	52	0,31
6	15	18,84	75,36	36,15	0,25
M	u	$P_c = \pi * M$	$B = 4 * P_c$		

Podemos ver que el engranaje que mejor desempeño tendrá es el de 15 dientes módulo 6.

Se expone las ecuaciones para calcular la flexión admisible y esfuerzos de contacto permisible.

$$\sigma = \frac{W}{B * M} * K_0 * K_v * K_s * \frac{K_H * K_L}{Y_j}$$

Esfuerzo de flexión:

$$S_f = \frac{(S_t * Y_n) / (K_j * K_r)}{\sigma}$$

Coeficiente de seguridad para flexión:

$$\sigma_c = Z_E \sqrt[3]{W} * K_0 * K_v * K_s * \frac{K_H}{d_p * B} * \frac{Z_r}{Z_i}$$

Esfuerzo de contacto:

$$S_H = \frac{(S_c * Z_n * C_h) / (K_j * K_r)}{\sigma_c}$$

Factor de seguridad de desgaste:

En la tabla 27 se presentan todos los factores necesarios para calcular las ecuaciones anteriormente mostradas.

Tabla 27. Factores para el cálculo de engranajes.

FACTOR	VALOR	SIGLA
FACTOR DE SOBRECARGA	Ko	1
FACTOR DINAMICO	Kv	1,04
FACTOR DE TAMAÑO	Ks	1
FACTOR DE DISTRIBUCION DE CARGA	Kh	1,36
FACTOR DE ESPESOR DEL ARO	KL	1
FACTOR GEOMETRICO DE RESISTENCIA A LA FLEXION	Yj	0,25
COEFICIENTE ELEASTICO	Ze	191
FACTOR DE CONDICION SUPERFICIAL	Zr	1
FACTOR GEOMETRICO DE RESISTENCIA A LA PICADURA	ZI	0,16
FACTOR E TEMPERATURA	Kj	1
FACTOR DE CONFIABILIDAD	Kr	0,85
FACTOR DE SICLOS DE CARGA (107 CICLOS)	Yn	1
FACTOR DE RELACION DE DUREZA	CH	1
FACTOR DE VIDA EN CICLOS DE ESFUERZO	Zn	1,1

Los resultados obtenidos de calcular los esfuerzos de flexión y esfuerzos de contacto.

Esfuerzo de flexión= 204,52 [Mpa]

Esfuerzo de contacto= 881,71 [Mpa]

Para la fabricación del engranaje se recomienda utilizar acero AISI-4340 grado 2, con una dureza de 325 HB. Los valores de flexión y contacto permisible para el acero AISI-4340 grado 2 se presentan en la tabla 28, estos valores se obtienen de gráficos de la norma AGMA, y relacionan la dureza con el número de flexión o contacto indicado.

Tabla 28. Esfuerzo permisible del material utilizado.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	SIMBOLO
NUMERO DE CONTACTO PERMISIBLE	1020,25	[Mpa]	St
NUMERO DE FLEXIÓN PERMISIBLE	353,43	[Mpa]	Sc
FACTOR DE SEGURIDAD DE DESGATE	1,5	[-]	Sf
COEFICIENTE PARA LA FLEXION	2	[-]	SH

Comparando los valores de ambos coeficientes del material $(Sf) < (SH)^2$ se concluye que los engranajes fallaran por desgaste.

6.3 SECCIÓN DE SECADO

Esta sección tiene como objetivo disminuir el porcentaje de humedad presente en la materia orgánica que se utilizará para el proceso de compostaje. Esta reducción se hace debido al exceso de humedad que se encuentra en la materia, el cual, sobrepasa los rangos de trabajo adecuados y que al utilizarse de ese modo genera no un proceso de descomposición de la materia si no la putrefacción de esta; esta putrefacción se genera por exceso de agua en la materia y a que la energía que obtienen los microorganismos durante el proceso del material seco que se le adiciona (Aserrín) no es la suficiente, por lo que los microorganismos paran de trabajar y la materia empieza a pudrirse.

El porcentaje de humedad requerido y óptimo para el proceso de compostación, de acuerdo con datos e información suministrada por el ICA debe ser:

Tabla 29. Parámetros durante la descomposición de la materia

PARAMETRO	RANGO INICIAL	RANGO DURANTE EL PROCESO	RANGO FINAL
Humedad	60 – 65%	50%	20-30%

Fuente: Equipo de trabajo – Mesa sectorial de Producción Ecológica, 2013.

De acuerdo con los datos obtenidos para la selección del material orgánico a trabajar en el proceso de compostaje se tiene que:

- Para el estiércol de vacas lecheras se debe reducir la humedad entre un 17 y 20%.
- Para los residuos de productos alimenticios entre un 10 y 15%.
- Para la Gallinaza Broiler un aumento en la humedad del 25 al 30%.

6.3.1 Descripción del modelo de secado. Para el proceso de secado se utilizará una lámina metálica de acero HR A36 con perforaciones a lo largo de ella, estas perforaciones tendrán un diámetro de 5mm que permitirán retener partículas con un tamaño o diámetro mayor a 15mm , que es el tamaño mínimo al cual sale la materia prima cortada.

La lamina tendrá como soporte en cada uno de sus lados una lámina más pequeña, la cual estará posicionada en forma perpendicular a la lámina grande; esta lamina tendrá una altura determinada que permite retener la materia.

La lamina y los soportes formaran un semi cajón metálico, ya que no tiene parte superior alguna. Este semi cajón se posicionará sobre un soporte cuadripode el cual brindará la estabilidad necesaria para un adecuado funcionamiento, además de permitir la extracción del semi cajón para ser remplazado e iniciar de nuevo el proceso de secado; Los semi cajones que se extraen del cuadripode serán almacenados en un estante, en el cual reposarán hasta alcanzar los niveles adecuados de humedad en la biomasa, para poder continuar con el proceso de compostaje.

A continuación, se muestra un bosquejo:

Figura 32. Semi cajón de secado

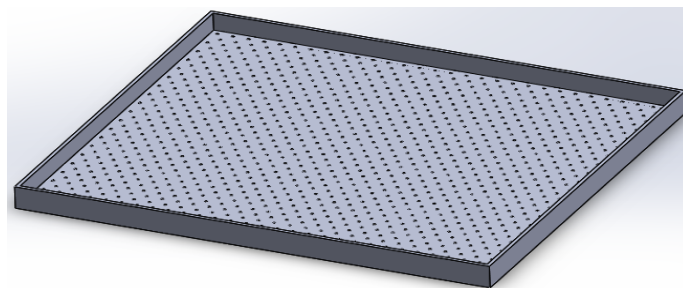


Figura 33. Soporte de secado

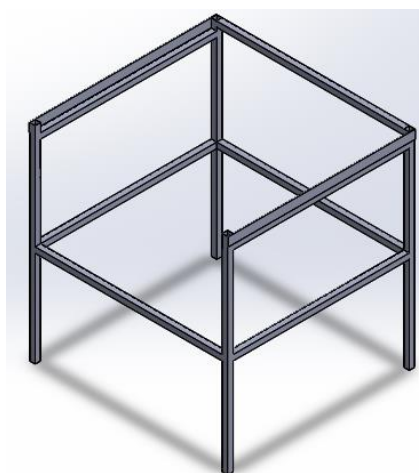


Figura 34. Ensamble de mesa de secado

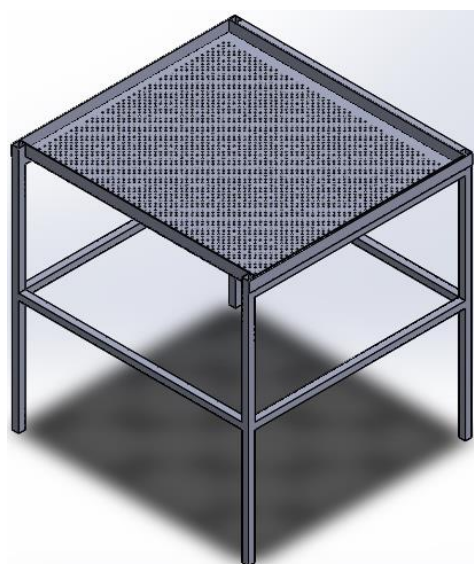
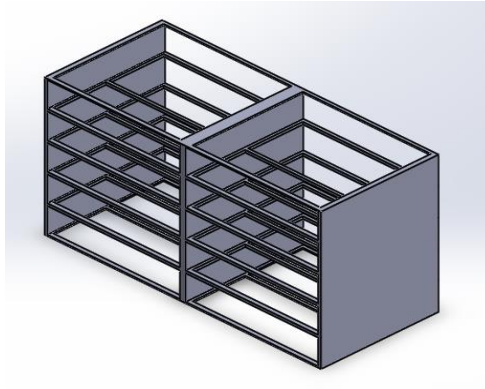


Figura 35. Soporte para cajones se secado



Con esto se desean lograr tres objetivos:

1. La durabilidad y estabilidad de la lámina sea la adecuada debido al esfuerzo manual al cual está expuesto durante el proceso, además de soportar altas cargas debido al peso de la materia.
2. Poder reducir el exceso de humedad presente en la biomasa a través de las perforaciones en la lámina, además de no desperdiciar materia prima durante el proceso, por esto se selecciona un diámetro de 5mm en las perforaciones las cuales filtran partículas de 15mm en adelante.
3. En la figura 29 se puede ver los estantes de secado, el cual cuenta con 10 soporte para cajones de secado, organizados de tal manera que hallan 5 en cada lado, el uso de estos estantes se considera practico para poder secar mayor cantidad de biomasa posible.

6.3.2 Diseño. Teniendo en cuenta los objetivos anteriores se selecciona como material la lámina de acero ASTM A36 calibre 12 (espesor de 2.5mm), el cual posee las siguientes propiedades:

Tabla 30. Propiedades de acero AST A36 calibre 12

ACERO ASTM A36	
Densidad (Kg/m ³)	7860
Resistencia a la tracción (Mpa)	400
Limite a la fluencia (Mpa)	250
Conductividad térmica a 23°C (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	16.3

Fuente: <http://www.aamsa.com/productos/placa/placa-a-36/>

Para el diseño de la mesa de secado se requiere saber el volumen máximo de materia que se desea secar por cajón, por lo que, con los datos obtenidos anteriormente de las tres materias primas a utilizar, calculamos cuál de estas ocupa el mayor volumen. Asumiendo una masa de 10Kg para cada una ellas y utilizando la densidad (valor proporcionado anteriormente en el inciso 6), tenemos que:

$$V(m^3) = \frac{m(kg)}{\delta\left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$\delta\left(\frac{kg}{m^3}\right)$: Estos valores se proporcionaron anteriormente en la sección de selección de materia orgánica

V1 = Volumen material lignocelulósico

$$V1 = \frac{10Kg}{500\left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$V1 = 0.02m^3 = 20000cm^3$$

V2 = Volumen de estiércol de vaca lechera

$$V2 = \frac{10Kg}{650\left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$V2 = 0.01538m^3 = 15380cm^3$$

V3 = Volumen de la gallinaza

$$V3 = \frac{10Kg}{465 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$V3 = 0.02150m^3 = 21505cm^3$$

Como observamos el volumen de la Gallinaza Broiler o Pollinaza es mayor a la de estiércol y al de la materia lignocelulósica, por lo que podemos usar el volumen 3 para calcular las dimensiones del semi cajón.

Teniendo este volumen (V3) de 21505cm³ procedemos a dimensionar la mesa de secado, tendremos:

$$V_{mesa} = Largo * Ancho * Alto$$

Asumiendo medidas tenemos:

$$V_{mesa} = 80cm * 90cm * 4cm$$

$$V_{mesa} = \mathbf{28800cm^3}$$

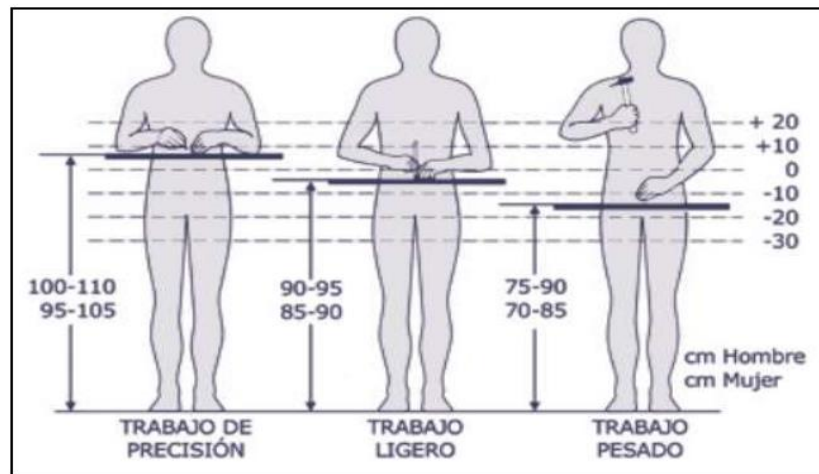
Como vemos el volumen del semi-cajon es mayor al volumen necesitado por la materia prima, esto con el fin de tener una fiabilidad en caso de que haya un imprevisto como un volumen extra de materia en el proceso, por lo que las dimensiones son las idóneas. Por lo que se garantiza que cada semi-cajon podrá secar 10Kg de materia prima.

Para la altura de la maquina se basó en el documento (ERGOMETAL. Manual de ergonomía para maquinas del sector metal). Donde se especifican recomendaciones de alturas de trabajo y expresa que “A la hora de definir la altura óptima para trabajar se debe tener en cuenta que esta depende del tipo de tarea

que se realice. Cuanto más baja es la altura del plano de trabajo, más debe inclinarse la espalda al trabajar y la tarea resulta más penosa”

La manera de relacionar la ergonomía para el operario se determinó por medio del montaje de los filtros en la máquina, donde se catalogó como trabajo ligero.

Figura 36. Alturas recomendadas para trabajar de pie



Fuente: UNIÓN DE MUTUAS [en línea] disponible en: <https://www.uniondemutuas.es/wp-content/uploads/2016/08/Manualergometal.Pdf>

Por lo cual la altura de la mesa queda con 90cm de altura, permitiendo un trabajo eficiente y ergonómica para el trabajador.

- **Humedad**

Para el proceso de reducción de humedad de la masa tanto lignocelulósica como la de animal usamos la siguiente formula: $\%h = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) * 100$, formula básica el cual relaciona la diferencia de masas de solidos después de un proceso de secado. Tenemos que:

$$\%h_{reducido} = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) * 100$$

$m_i = \text{masa seca} + \text{masa de agua inicial}$

$m_f = \text{masa seca} + \text{masa de agua final}$

- **Estiércol**

$$\%h_{inicial} = 83\%$$

$$\%h_{idoneo} = 63\%$$

$$\%h_{secar} = \%h_{inicial} - \%h_{idoneo}$$

$$\%h_{secar} = 20\%$$

Reemplazando los valores de la masa inicial de estiércol y el porcentaje de humedad a secar:

$$20\% = \left(\frac{10000gr - m_f}{7500gr} \right) * 100$$

Despejando la incógnita que en este caso es m_f , tenemos:

$$m_f = 100000 - (0.2 * 100000)$$

$m_f = 8000gr$, es la masa final de estiércol la cual tendría el porcentaje de humedad idóneo para el proceso de compostaje.

- **Residuos de alimentos**

$$\%h_{inicial} = 77\%$$

$$\%h_{idoneo} = 63\%$$

$$\%h_{secar} = \%h_{inicial} - \%h_{idoneo}$$

$$\%h_{secar} = 14\%$$

$$14\% = \left(\frac{10000gr - m_f}{10000gr} \right) * 100$$

$$m_f = 100000 - (0.14 * 100000)$$

$$m_f = 86000gr.$$

Para una mayor eficiencia y una reducción en elementos y materia a usar durante todo el proceso de secado, se almacena el agua que ha sido extraída tanto del estiércol como la de los residuos alimenticios, esto se debe a que en el proceso de secado de la gallinaza no se debe reducir la humedad si no aumentarla, debido a esto se le debe adicionar cierta cantidad de agua, por lo que se añadirá el agua extraída de los procesos de secado anteriormente y añadido al de la gallinaza.

- **Gallinaza**

$$\%h_{inicial} = 35\%$$

$$\%h_{idoneo} = 63\%$$

$$\%h_{secar} = \%h_{inicial} - \%h_{idoneo}$$

$$\%h_{secar} = -28\%$$

Este valor da negativo indicándonos que al proceso como se había mencionado anteriormente no se le reduce si no que se le aumenta la humedad.

Reemplazando los valores de la masa inicial de gallinaza y el porcentaje de humedad a aumentar:

$$-28\% = \left(\frac{10000gr - m_f}{10000gr} \right) * 100$$

$$m_f = 100000 + (0.28 * 100000)$$

$m_f = 12800gr$, es la masa final de gallinaza la cual tendría el porcentaje de humedad idóneo para el proceso de compostaje.

Para el cálculo del volumen de agua a añadir a la gallinaza, tenemos:

$$m_f = m_L + m_s, \quad \text{donde } m_L = \text{masa en liquido}$$
$$m_s = \text{masa en solido o masa inicial}$$

Reemplazando los valores

$$12800 = m_L + 10000$$

$$m_L = 2800gr \text{ de } H_2O$$

Utilizando la ecuación de densidad para hallar el volumen de agua a añadir tenemos:

$$\delta(H_2O) = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\delta(H_2O)}$$

$$v = \frac{2800gr}{1000gr/L}$$

$$v = 2.8 L \text{ de } H_2O \text{ o } 2800 ml \text{ de } H_2O$$

2.8L de agua se le añaden a los 10000gr de gallinaza para aumentar su humedad hasta niveles óptimos para el proceso de compostaje.

Al tener las tres materias orgánicas con el porcentaje de humedad requerido se procede a continuar con el siguiente proceso en el sistema.

6.4 PROCESO DE COMPOSTAJE

En el proceso de compostaje se utilizará un cilindro hueco totalmente tapado con un espesor determinado, en el cual la parte interna del cilindro tendrá soldada en toda su sección unas aspas metálicas que ayudarán al proceso de corte, amasado y homogenización de la composta, contando también con una entrada para la masa proveniente del proceso de secado, que estará en la parte externa del cilindro, así como una salida que se encontrará en la tapa que se encuentre más alejada de la entrada de biomasa, ambas tapas tanto la de entrada como la de salida estarán ajustadas.

En este proceso se tendrá controladas las variables de humedad, temperatura, pH las cuales definen la calidad de la composta, este control se hará a través de un termómetro, de un medidor de pH y de un flujo de aire controlado al interior del cilindro, lo que nos permite mantener la composta en los parámetros adecuados. La guía para el control de estos parámetros se encuentra plasmada en los anexos B.

Figura 37. Vista isométrica compostadora

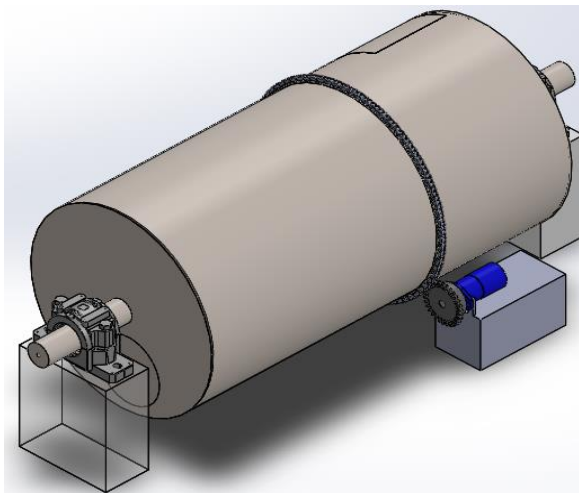
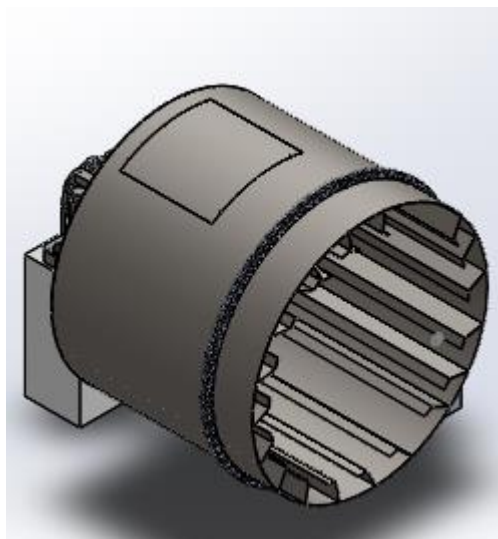


Figura 38. Corte longitudinal de compostadora.



6.4.1 Volumen de trabajo. Para el volumen de trabajo utilizamos como fuente el catálogo de compostadores por vaso de ISON21, donde el volumen de funcionamiento para una compostadora es del 60% del volumen máximo total de este, como se muestra a continuación:

Tabla 31. Modelos de compostadores Volcomp

MODELOS DE VOLCOMP (COMPOSTADOR INDUSTRIAL EN VASO)						
MODELO (según diámetro)	POTENCIA Motor eléctrico en vatios	TAMAÑO Diámetro x longitud (Cm)	PESO EQUIPO en Vacío en Tn	CAPACIDAD Máxima en m³	CAPACIDAD Media en Kgrs.	PRODUCCIÓN por proceso en m³
MODELOS 1 M						
Modelo 1030		100 x 300	1,12	1,41	848	0,47
Modelo 1060		100 x 600	1,94	2,83	1.696	0,94
MODELOS 1,6 M						
Modelo 1630		160 x 300	1,81	3,62	2.171	1,21
Modelo 1660		160 x 600	3,04	7,24	4.343	2,41
Modelo 1690		160 x 900	3,65	10,86	6.514	3,62

Fuente: <https://www.ison21.es/wp-content/uploads/2017/06/Catalogo-Volcomp-2016.pdf>

Debido al poco espacio que se tiene en la parcela en la Mesa de los Santos se utiliza un compostador con dimensiones más pequeñas a la suministrada por el catálogo, teniendo:

$$D_{interno} = 76.5cm$$

$$L = 150cm$$

Con estos dos valores procedemos a calcular el volumen máximo total de capacidad:

$$V = \pi * R^2 * L$$

Reemplazando

$$V = \pi * 0.3825^2 * 1.5$$

$$V = \mathbf{0.6895\ m^3}$$

Calculamos el volumen óptimo de trabajo máximo que es del 60%, por lo que tenemos:

$$V_{optimo\ maximo} = 0.6 * V$$

$$V_{optimo\ maximo} = \mathbf{0.4137m^3}$$

De acuerdo con el catálogo suministrado por ISON21, vemos que la capacidad en Kg de materia y teniendo en cuenta que la densidad promedio de salida del compost es de 601.4Kg/m³, tenemos que:

$$Capacidad\ en\ Kg = V_{optimo\ maximo} * \delta$$

$$Capacidad\ en\ Kg = 0.4137 * 601.4$$

$$Capacidad\ en\ Kg = \mathbf{248.8Kg}$$

Tras el proceso de compostación que dura 7 días la masa final es casi el 40% de la masa inicial, el otro 60% se pierde debido al proceso de descomposición de la materia, tenemos que:

$$m_{produccion} = 0.4 * Capacidad \text{ en Kg}$$

$m_{produccion} = 99.52\text{Kg}$ de composta producidos por cada proceso a su capacidad máxima optima.

6.4.2 Diseño. Para la construcción del cuerpo de la compostadora y para las tapas laterales se utilizará lamina de acero ASTM A36 calibre 12 (espesor de 2.5mm) al igual que para las aspas.

- **Diámetro de eje soporte**

Para determinar el diámetro del eje soporte de la compostadora lo solucionamos a través del método de resistencia en el cual se tiene en cuenta el material del cual está diseñado el eje, así como los esfuerzos que se le aplican, por lo que entonces tendríamos:

$S_y = \text{Resistencia a la fluencia del acero AISI 316L en psi}$

$S_{ut} = \text{Resistencia a la traccion}$

$M_{alt} = \text{Momento alterno producido por la fuerza de reaccion en los apoyos}$

$N = \text{factor de seguridad}$

$S_e = \text{Resistencia a la fatiga}$

$C_l = \text{Factor de carga}$

$C_s = \text{Factor de seguridad}$

$C_c = \text{Factor de tamaño}$

$C_{sup} = \text{Factor de superficie}$

$K_f = \text{Factor de concentracion de esfuerzos}$

$m = \text{masa en lb}$

$g = \text{gravedad en ft/s}^2$

$R = \text{radio de la compostadora en ft}$

$Er = \text{Energia de rotacion}$

$Ec = \text{Energia cinetica}$

$w = \text{velocidad radial}$

$WK^2 = \text{Momento de inercia}$

$Hp = \text{Potencia}$

$Torque_{Hp} = \text{Torque en lb/ft}^2$

$Torque = \text{Torque en lb/in}^2$

Entonces tenemos:

$S_y = 36000$

$S_{ut} = 58000$

Datos obtenidos de la página <http://www.aamsa.com/productos/placa/placa-a-36/>.

Para calcular el momento alterno al cual está sometido el eje, se calcula la reacción que ejerce la compostadora sobre él, estimando una fuerza máxima ejercida tanto por el peso de la compostadora como por el peso del compost en 1000Kg y sabiendo que los ejes soportes están separados la misma distancia, la fuerza de reacción en el eje es de 500Kg para cada uno.

$F_w = 10000N$

$F_r = 5000N$

Conociendo la longitud del eje que es de 16cm

$L = 16/2.54$

$L = 6.32"$

Para el cálculo del momento alterno

$$Malt = 500 * 2.2 * 6.32$$

$$Malt = 6952 \text{ lbf} * In$$

Utilizando el método de velocidades calculamos el torque ejercido por la compostadora y resolviendo en EES tenemos:

$$Er = 1,7 * 10 ** (-4) * WK ** 2 * rpm ** 2$$

$$Er = Ec$$

$$Ec = 0,5 * \left(\frac{m}{g}\right) * V^2$$

$$m = 1000 * 2.2$$

$$g = 32.2$$

$$V = \omega * R$$

$$R = 1,252$$

$$\omega = \frac{2 * \pi * rpm}{60}$$

$$rpm = 3$$

$$TorqueHp = \frac{WK^2 * rpm}{308 * t}$$

$$t = 1$$

$$Hp = \frac{Torque * rpm}{5250}$$

$$Torque = TorqueHp * 12$$

$$N = 3,5$$

$$Se = 0,5 * Sut * Cl * Cc * Csup * Cs$$

$$Cl = 1$$

$$Cs = 1$$

$$Cc = 0,897$$

$$Csup = 2,7 * \left(\frac{Sut}{1000}\right) ** (-0,265)$$

$$Kf = 1$$

$$D = \left(\left(\frac{32 * N}{pI} \right) * \left(\left(Kf * \frac{Malt}{Se} \right)^2 + 0,75 * \left(\frac{Torque}{Sy} \right)^2 \right)^{0.5} \right)^{0.33}$$

Resolviendo el sistema de ecuación en EES tenemos:

Cc = 0,897	Cl = 1	Cs = 1	Csup = 0,9206
D = 2,163	D _{Real} = 5,493	Ec = 5,285	Er = 5,285
Fr = 5000	Fw = 10000	g = 32,2	Hp = 0,01923
Kf = 1	m = 2200	Malt = 6952	N = 3,5
ω = 0,3142	R = 1,252	rpm = 3	Se = 23947
Sut = 58000	Sy = 36000	t = 1	Torque = 403,7
TorqueHp = 33,65	Torque _{Real} = 45,62	V = 0,3933	WK = 58,77

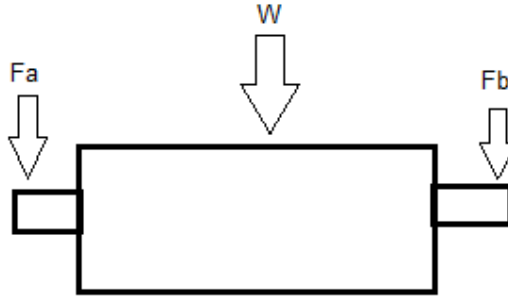
Dándonos como resultado un eje de diámetro igual a 2.18", D=2.18", con un torque de 304.1Nm y una potencia de 0.8545Hp.

Normalizando el diámetro, aumentando el factor de seguridad y teniendo en cuenta que este debe tener un hueco por toda su sección de 0.5", normalizamos el diámetro externo del eje en D=3.543" o D=9cm.

- **Selección de rodamientos**

Para la selección de los rodamientos se utilizan las fuerzas resultantes calculadas anteriormente en la sección del eje, teniendo:

Figura 39. Fuerzas en la compostadora



$$F_a = 5000N$$

$$F_b = 5000N$$

Parámetros:

$$\text{Diametro } (D) = 90mm$$

$$rpm \ (n) = 5$$

$$\text{Carga radial vertical} = F_a = 5000N$$

$$\text{Carga estatica equivalente } (P_o) = F_a$$

$$\text{Carga dinamica equivalente } (P) = F_a$$

Con estos datos buscamos en los catálogos de rodamientos de rodamientos de bolas a rotula de SKF, pagina 556 tenemos:

$$\text{Diametro externo } (D) = 160mm$$

$$\text{Anchura } (B) = 40mm$$

$$\text{Capacidad de carga basica dinamica } (C) = 70.2KN$$

$$\text{Capacidad de carga basica estatica } (C_o) = 28.5KN$$

Conociendo esto procedemos a calcular la vida útil del rodamiento

$$\text{Duracion en revoluciones} = L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^{3.33}$$

$L_{10} = 6618$ millones de revoluciones

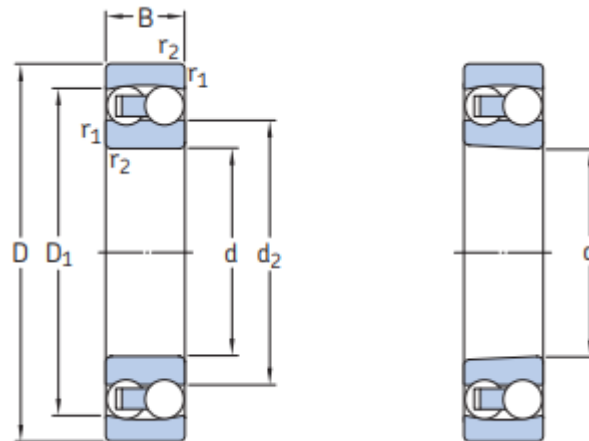
$$\text{Duracion en horas} = L_{10th} = \left(\frac{C}{P}\right)^{3.33} * \frac{10^6}{60 * n}$$

$$L_{10th} = 36.77 * 10^6 \text{ horas}$$

Vemos que el rodamiento soporta perfectamente las cargas por lo que se tiene:
Rodamiento de bolas a rotula SKF2218.

Se utiliza el mismo rodamiento tanto para el punto A como para el punto B.

Figura 40. Rodamientos de bolas a rotula



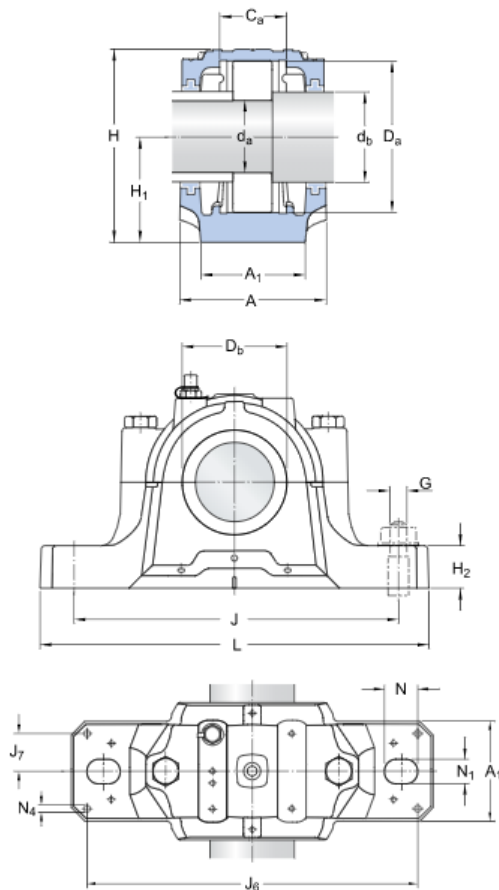
Fuente: https://www.skf.com/binary/87-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf

- **Soporte de rodamientos**

Para la selección de los soportes de los rodamientos utilizamos el catálogo de SKF de Soportes de pie de dos piezas, series SNL y SE para rodamientos montados sobre un asiento cilíndrico, con sellos estándares, tenemos:

De acuerdo con el diámetro del eje y utilizando el catálogo tenemos un soporte SNL 518-615, como se muestra a continuación con su descripción, así como los accesorios ya vienen seleccionados dentro del soporte.

Figura 41. Soporte de rodamiento SKF



d_a	90	mm
d_b	100	mm
C_a	65	mm
D_a	160	mm
D_b	102.5	mm
A	140	mm
A_1	100	mm
H	194	mm
H_1	100	mm
H_2	35	mm
J	290	mm
L	345	mm
N	28	mm
N_1	22	mm

Fijas de situación

J_6	317	mm
J_7	35	mm
N_4	max. 8	mm

Fuente: <https://www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/bearing-housings/split-plummer-block-housings-snl-2-3-5-6-series/snl-se-series-cylindrical-seat-with-standard-seals/index.html?designation=SNL%20518-615%20%2B%202218&unit=metricUnit>

- **Columna soportadora**

Para el diseño de la columna que soportara el soporte, los rodamientos y la compostadora, estimamos un peso total en 10000N el cual soportaran las dos columnas, además se tienen en cuenta las dimensiones del soporte del rodamiento definido anteriormente.

$$F = 5000N$$

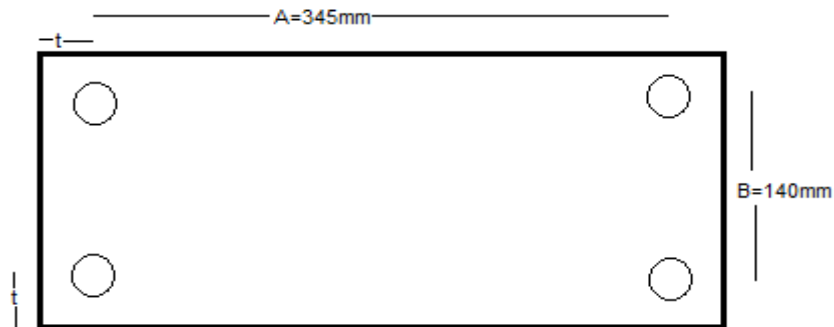
Dimensiones del soporte del rodamiento:

$$A = 140mm + 2t$$

$$B = 345mm + 2t$$

$$t = \text{Espacio libre}$$

$$t = 10mm$$



Para la longitud de la columna se estima una longitud de 40cm, dando el suficiente espacio para la instalación del sistema de transmisión de potencia.

$$R = 0.85 * f^c * Ag + As * fy$$

R = Resistencia de la columna de concreto

0.85 = Factor de seguridad

f^c = Resistencia del concreto

$A_g = \text{Area del concreto}$

$A_s = \text{Area de las varillas}$

$f_y = \text{Limite de fluencia del acero}$

$$f_c = 240 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$A_g = (A * B)$$

$$A_g = 16 * 36.5$$

$$A_g = 584 cm^2$$

Se usarán varillas y estribos de acero ADN 420 de diámetro 3/8", el cual tiene:

$$f_y = 4200 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$A_s = 6 * \pi * r^2$$

$$A_s = 6 * \pi * 1.03125$$

$$A_s = 19.44 cm^2$$

$$R = 0.85 * 240 * 584 + 19.44 * 4200$$

$$R = 200784 Kg \text{ o } 200.784 ton$$

Como vemos, la resistencia que soporta la columna con las dimensiones dadas es mucho más elevada que la necesaria, por lo cual la columna es idónea para poder soportar el sistema.

- **Sistema de transmisión de potencia compostadora**

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de transmisión de potencia que existen en la industria, se cree conveniente para esta sección usar una transmisión de cadena, estas mantienen una relación de velocidad constante, no produce resbalamientos y son las que mejor se ajusta a los problemas que hay con el espacio y la cargas alas que se someterá. Teniendo en cuenta el difícil proceso de lubricación que conlleva

usar este método, se aconseja al usuario mantener la sección de compostaje lo más alejada posible de ambientes que produzcan corrosión extrema tales como lluvia o extrema humedad. Sin embargo, en la sección mantenimiento se expresa el método seleccionado de lubricación aconsejado por los diseñadores.

Selección de cadena y piñón:

Teniendo en cuenta los siguientes datos

Potencia= 1 Hp

Torque= 304.1 Nm

Velocidad= 16 rpm

La velocidad del motor se estimó a través del CAD SOLIDWORKS, el cual con el piñón de transmisión ya seleccionado y la velocidad de rotación de la compostadora que es de 3rpm, se estimó una velocidad de giro para el motor de 16rpm.

Para cumplir los requerimientos de trabajo y romper el torque inercial de la compostadora en 1 segundo, se precisa del uso de un motor hidráulico debido a su gran capacidad de generar altos torques, a continuación, se dará detalles del sistema hidráulico diseñado.

Por lo que se seleccionó un motor de Modelo MGP320, Con los siguientes parámetros generales:

Cilindrada 320

Presión máxima de entrada= 175bar

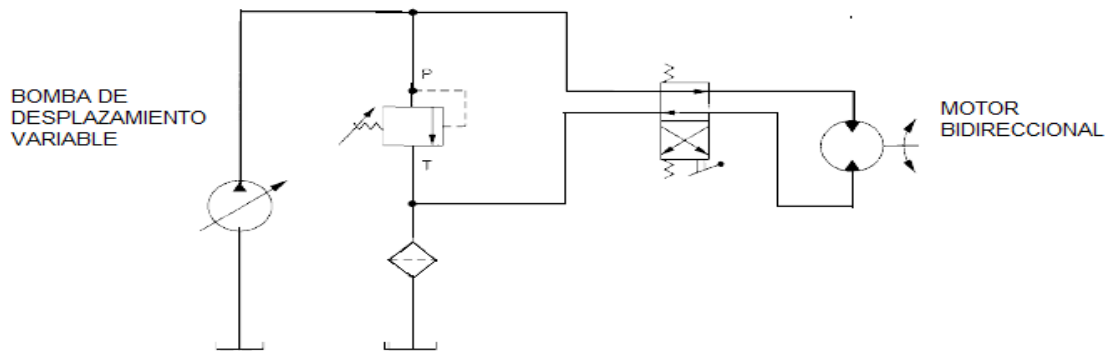
Velocidad máxima 178rpm

Para cumplir los requerimientos específicos de trabajo el motor debe trabajar con las siguientes especificaciones:, una presión de entrada de 83 bar y un caudal 7.6 L/min.

Bomba de desplazamiento variable PVA serie 30:

Medida nominal de la bomba 72, caudal nominal bomba 50 [L/min] a (1450 rpm), presión máxima 160 bar, campo de rotación [800-1800].

Figura 42. Circuito motor hidráulico



Ajustando la potencia con el factor de servicio la potencia nominal para la cadena es 1.5 Hp, empleando cadena de rodillos de (5/8 x 3/8) simple hilera con piñón de 19 dientes, obtenemos los dientes de la rueda gracias a la relación de velocidades de 104 que nos brinda el motor a 13 y al número de dientes del piñón, entonces $(5.2 \times 13) = 67.6$, podríamos decir que el número de dientes de la rueda es de 68.

Usando el catálogo de cadenas de SKF en la página 8, con los datos de paso que son 5/8 seleccionamos el número de cadena, el cual nos da:

- Numero de cadena ANSI 50-1
- Numero de cadena BS/ISO 10A-1

Figura 43. Catálogo de cadenas americanas SKF

Nº Cadena ANSI	Nº Cadena BS/ISO	Paso	Diámetro del rodillo	Distancia entre placas interiores	Diámetro del pasador	Longitud del pasador		Longitud del pasador con chaveta	Altura de la placa interior	Espesor de la placa	Paso transversal	Carga límite de rotura	Carga de rotura promedio	Peso por metro	Designación
–	–	P	d ₁ max	b ₁ max	d ₂ max	L max	L _c max	L _c max	h ₂ max	T max	Pt	Q min	Q ₀	q	–
15-1*	03C*	4,7625	2,48	2,38	1,62	6,10	6,90	–	4,30	0,60	–	1,8	2,0	0,08	PHC 15-1...
25-1*	04C-1*	6,350	3,30	3,18	2,31	7,90	8,40	–	6,00	0,80	–	3,5	4,6	0,15	PHC 25-1...
35-1*	06C-1*	9,525	5,08	4,77	3,58	12,40	13,17	–	9,00	1,30	–	7,9	10,8	0,33	PHC 35-1...
41-1	085-1	12,700	7,77	6,25	3,58	13,75	15,00	–	9,91	1,30	–	6,7	12,6	0,41	PHC 41-1...
40-1	08A-1	12,700	7,95	7,85	3,96	16,60	17,80	–	12,00	1,50	–	14,1	17,5	0,62	PHC 40-1...
50-1	10A-1	15,875	10,16	9,40	5,08	20,70	22,20	23,30	15,09	2,03	–	22,2	29,4	1,02	PHC 50-1...
60-1	12A-1	19,050	11,91	12,57	5,94	25,90	27,70	28,30	18,00	2,42	–	31,8	41,5	1,50	PHC 60-1...

Fuente: <https://www.skf.com/binary/87-133515/46.Chain>

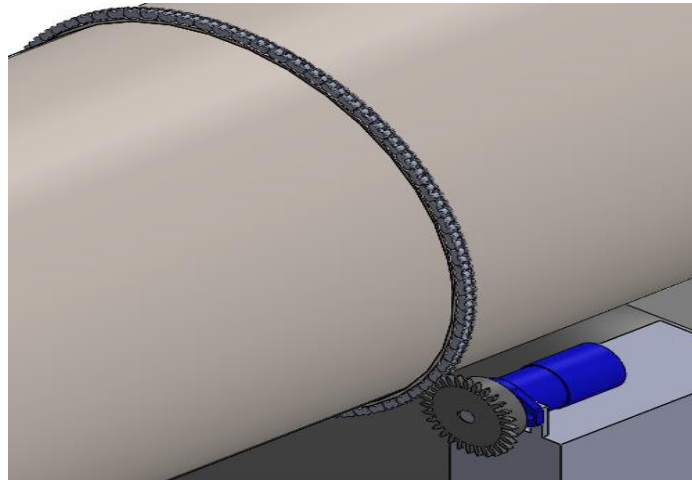
Datos para complementarios para el pedido de cadena:

Longitud de cadena: 1,68 [m] se aproxima 1,7 [m].

En el entorno de la industria es posible ver diversos sistemas empíricos que basan sus resultados en experiencia y conocimiento, para este caso, se cree conveniente recomendar al usuario en específico un sistema de transferencia híbrido del sistema de transferencia de cadena. Debido a que el sistema de potencia seleccionado cumple de manera excelente con los requerimientos de movimiento de la composta, se aconseja: eliminar la corona de 68 dientes y suplantarla por la cadena sujeta al vaso giratorio por medio de unos soportes, esta cumplirá una fusión de cremallera y el piñón motriz de 19 dientes no llevará cadena alrededor, sino que engrana con la cadena sujeta al vaso giratorio, y el sistema funcionará como un sistema piñón cremallera.

De esta manera se podrá ahorrar costos en longitud de cadena, además se suplantaría la rueda por la cadena sujeta al vaso, por lo que se ahorraría en fabricar la rueda que es uno del mecanismo más costosos y difíciles de mecanizar debido a sus dimensiones en la figura tales se puede ver este sistema híbrido tal como se diseñó, además se anexará en la bibliografía material que corrobora el funcionamiento de este sistema.

Figura 44. Sistema de transmisión de potencia

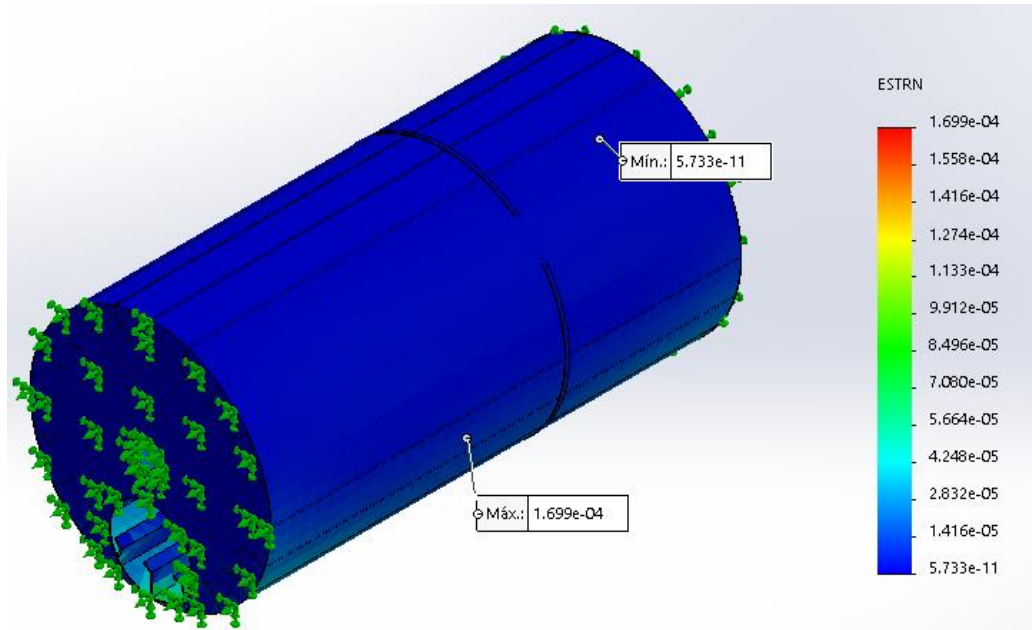


6.4.3 Análisis de esfuerzos. Para estudiar las partes críticas de la compostadora y comprobar que tanto los materiales usados, así como las dimensiones usadas son las correctas para el proceso; para esto se definen las partes críticas de la compostadora, las cuales son: la lámina del cilindro interno y los ejes a sus extremos de la compostadora los cuales soportaran la compostadora y permitirán el movimiento rotacional de esta, para el estudio se calcula la fuerza que se ejerce sobre la lámina de acero la cual es obtenida mediante la suma del peso de la compostadora y el peso que ejerce la composta; para el cálculo de la masa utilizamos como herramienta SolidWorks con el cual seleccionando el material de la lámina nos da el peso aproximado de la compostadora.

Ya habiendo calculado el peso total de la compostadora el cual nos dio 358.1Kg, lo normalizamos en 400Kg teniendo en cuenta los accesorios que este lleva como mangueras para el control de humedad y para seguridad, posterior a esto se procede a introducir los parámetros en Solidwork Simulation definiendo las partes fijas de la compostadora que en este caso serán las dos tapas, luego se crea una malla de elementos finitos para dar una solución correcta al programa y proceder a ejecutar.

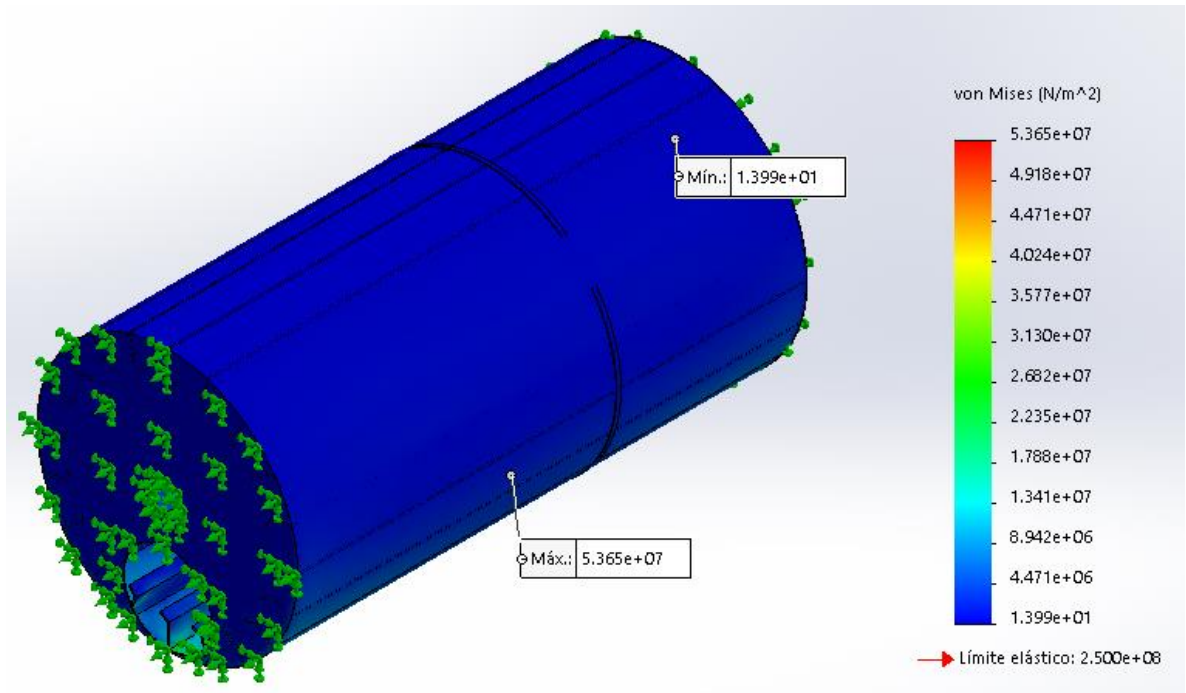
- Compostadora

Figura 45. Análisis de deformación



En la anterior figura observamos que la deformación unitaria equivalente (ESTRN) que es una relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual nos permite determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión axial al interior de este, nos muestra una estimación del desplazamiento, que tiene como valor máximo de 1.699×10^{-4} y como valor mínimo 5.733×10^{-11} , donde la deformación máxima está en la parte interna del cilindro interno, así como la mínima está en la parte externa del cilindro externo. A pesar de esta deformación observamos que el cilindro esta de color azul-verde, lo cual nos indica que la lámina soportara el peso, además de que el valor es muy pequeño 0.03111 .

Figura 46. Análisis de tensiones

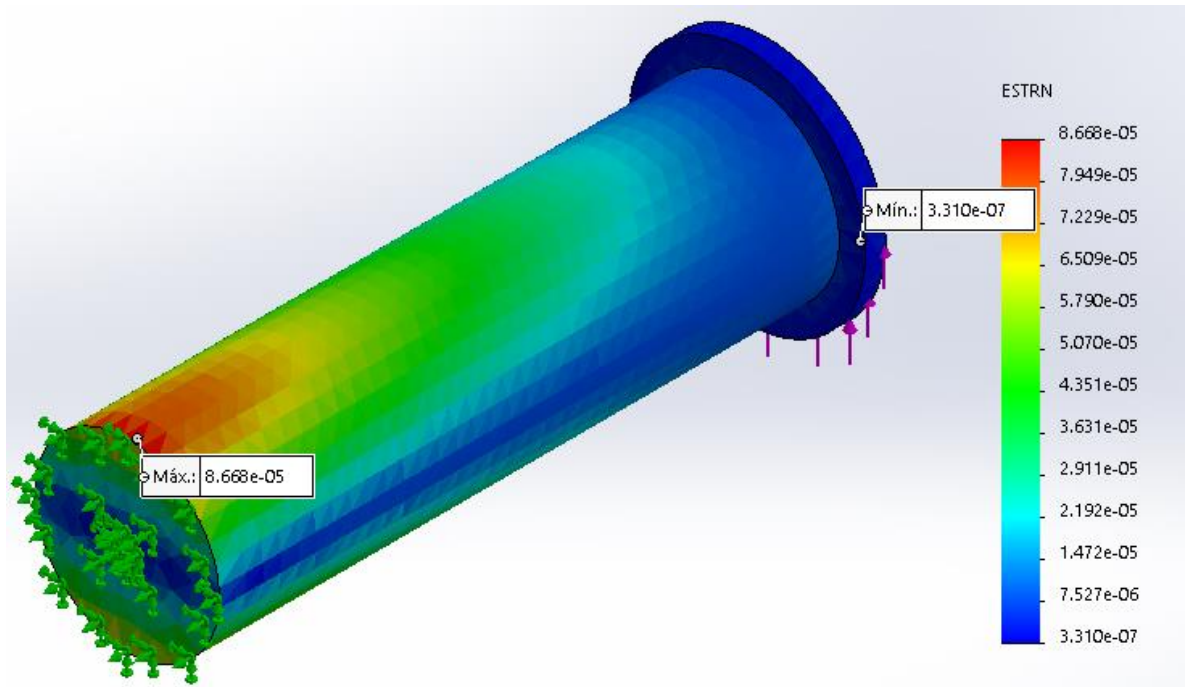


La parte interna del cilindro es lo más crítico de la compostadora pero como se observa en la figura en la escala de tensiones Von Mises, gran parte de la lámina se encuentra en color azul lo que nos indica que soporta la carga perfectamente.

- **Eje soporte**

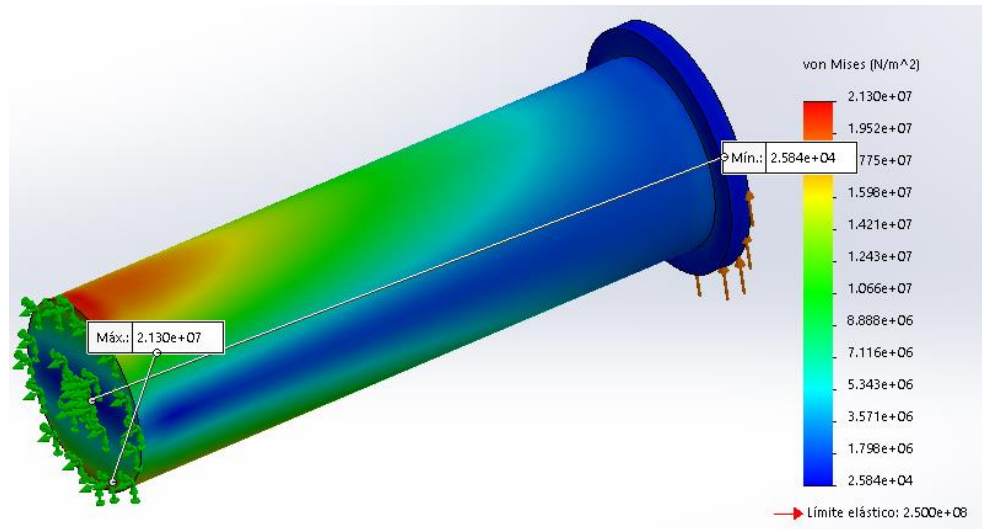
Para el análisis de esfuerzos en el eje se calcula la fuerza total que genera la compostadora en el que se incluye la masa de la compostadora y del compost, la cual se calculó anteriormente en el cual se aproximó a 1ton o aproximadamente 10000N, esta fuerza estará dividida en los dos ejes, por lo cual cada eje soportara 5000N y para estudio de diseño se ubica esta fuerza en un extremo del eje y el otro extremo se toma como fijo. Como se muestra a continuación:

Figura 47. Análisis de deformación del eje soportador



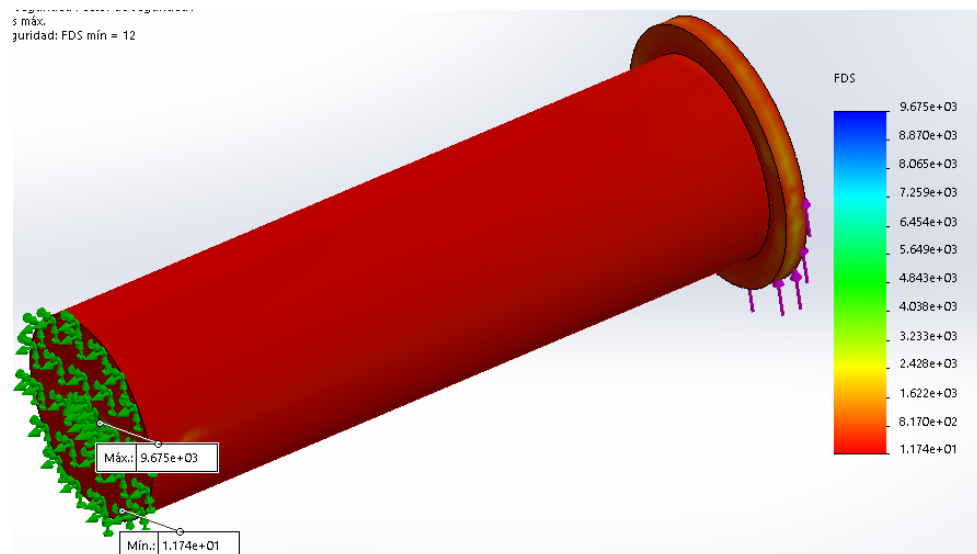
Como se observa en la imagen anterior la deformación unitaria equivalente (ESTRN) nos muestra una estimación del desplazamiento, que tiene como valor máximo de 8.668×10^{-5} y como valor mínimo 3.31×10^{-7} , a pesar de esto vemos que el eje soportador está en su totalidad azul y verde lo que nos indica que soporta la fuerza fácilmente sin llegar a deformarse.

Figura 48. Análisis de tensiones del eje soportador



Como se observa en la figura 48, vemos que en la escala de tensiones de Von Mises, el eje en su totalidad se encuentra de color verde y azul con valores de $2.584 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ como valor de mínimo y $2.13 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ como valor máximo; sabiendo que su límite elástico es de 1.7×10^8 se concluye que el eje soporta la carga perfectamente.

Figura 49. Análisis de factor de seguridad.



De acuerdo con los datos obtenidos en la figura 49, datos obtenidos con el CAD SolidWorks vemos que el mínimo valor de factor de seguridad de $1.174e^2 = 3.1912$ y como valor máximo $9.675 e^2 = 194.32$. El valor mínimo nos muestra el factor que tiene el eje en el punto más crítico del eje, el cual es buen factor de seguridad, teniendo en cuenta que lo promedio recomendado es del 3.5.

6.4.4 Control de variables

Para controlar las variables internas de la compostadora como lo es la humedad, temperatura y pH de las cuales depende la calidad de la composta y en el cual los rangos de trabajo son muy estrictos utilizaremos:

- **Temperatura:** Para controlar la temperatura de trabajo en la compostadora usaremos un termómetro para suelo marca TAYLOR el cual trabaja tanto en °C como en °F, así como en un rango de trabajo de 20 a 180°F y de 0 a 80°C, además de contar con una superficie extendida que permite medir la temperatura no solo superficial si no internamente permitiendo medir con exactitud la temperatura de trabajo a la cual se encuentre la composta.

Figura 50. Termómetro TAYLOR



Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-454771240-termometro-para-el-suelo-marca-taylor-en-c-y-f-_JM?quantity=1

- **pH:** Para controlar los niveles de pH en la composta se usará un Soil Survey Instrument, específicamente “4 in 1 soil survey instrument”, el cual es un instrumento que nos permite medir tanto la humedad, luminosidad, temperatura y pH, pero debido a los bajos rangos de medición que tiene respecto a luminosidad, humedad y temperatura, solo se usara para medir el pH en la composta.

Figura 51. 4 in 1 soil survey instrument



Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-466310943-medidor-ph-digital-suelo-humedad-tierra-luz-temperatura-4x1-_JM?quantity=1

Este instrumento cuenta con una sonda de medición de tiene una longitud de 200mm permitiendo poder tomar datos más confiables en la composta y no solo superficiales; la resolución en la pantalla led con la cual trabaja este instrumento es de 0.5pH, permitiendo medidas con un valor mínimo de pH de 3 a un máximo de 9.0, además cuenta con una fuente de alimentación de 9V.

- **Humedad:** Para controlar los niveles de humedad en el suelo utilizaremos un sensor PMS-714, este sensor tendrá una aleta extendida con la cual podremos medir la humedad del compost a cierta profundidad dándonos mayor certeza de

medición, este elemento tiene un rango de trabajo de al 50%, la cual nos sirve ya que al principio del proceso no se necesitara medir la humedad sino cuando el compost obtiene una humedad del 50%, en ese momento es que se debe controlar la humedad

Figura 52. Medidor PMS-714



Fuente: <https://www.viaindustrial.com/producto.asp?codigo=201625>

- **Aireación** : La aireación del compost es necesaria para el óptimo desarrollo de microorganismos en el compost ya que durante la fase bio-oxidativa el porcentaje inicial de oxígeno se reduce en un 20% y los niveles de CO₂ aumentan un 5%. Además, para los organismos, el oxígeno es necesario para muchas reacciones de oxidación de especies químicas orgánicas e inorgánicas presentes en las materias primas.

La mejor forma de conseguir el nivel óptimo de oxígeno es realizar una aireación por volteo, que además ayuda a la homogeneización del material, permitiendo así, además, que todo el material quede expuesto a las elevadas temperaturas interiores. Ya que al principio del proceso el volteo no afecta mucho a la temperatura de la pila, pero si lo hará en la fase termófila, que puede producir un fuerte descenso de las temperaturas que afectarían al proceso, por ello es necesario planificar el volteo. A parte, tras el volteo las zonas inferiores de la pila sufren un acusado descenso de la concentración de oxígeno, produciéndose condiciones anaerobias

durante 12 horas, debido al aumento de la actividad microbiana por la fragmentación de partículas de material orgánico que dejan una mayor superficie de contacto. Existe otra forma de mantener la concentración de oxígeno de manera más eficiente, esta es la introducción de aire mediante sistemas de aireación forzada (empleando ventiladores o compresores) ya sea por succión o por presión.

Para este caso utilizaremos un compresor de pistón de la marca NUAIR-Compresores y utilizando su catálogo se selecciona el compresor FC2/50 CM TECH Nuair por catálogo como se muestra a continuación:

Figura 53. Selección de compresor por catálogo NUAIR

Prestaciones		Potencia hp/kw	Caldera litros	Aire aspirado lts/min.	Volt/hz.	Lubricado	Cilindros	Presión max. bar	Dimensiones lxhxa	Peso kg.	
Nombre	Código										
FC2/24 CM TECH Nuair	FCCC404LEV516	2/1,5	24	222	230/MONO/50	SI	1	8	570x255x590	26	
FC2/50 CM TECH Nuair	FCDC404LEV553	2/1,5	50	222	230/MONO/50	SI	1	8	770x300x680	37	

Fuente: <http://www.catalogo.sitasa.com/familias/compresores/2.pdf>

Por último, la materia orgánica que sale de la compostadora se guarda en un recinto de concreto con un volumen interior de aproximadamente 2 [m³], y se deja allí por aproximadamente 5 días, pasados los días mencionados se podría decir que la materia esta óptima condición para el uso agrícola. En la figura 36 se puede ver el recinto diseñado y dimensiones externas. La lámina transparente solo se usará cuando el ambiente se torne demasiado húmedo o específicamente de lluvia y para el cuerpo del recinto se usará concreto, con varillas de acero de 3/8 para sus estribos.

Figura 54. Recinto de conserva de materia orgánica.

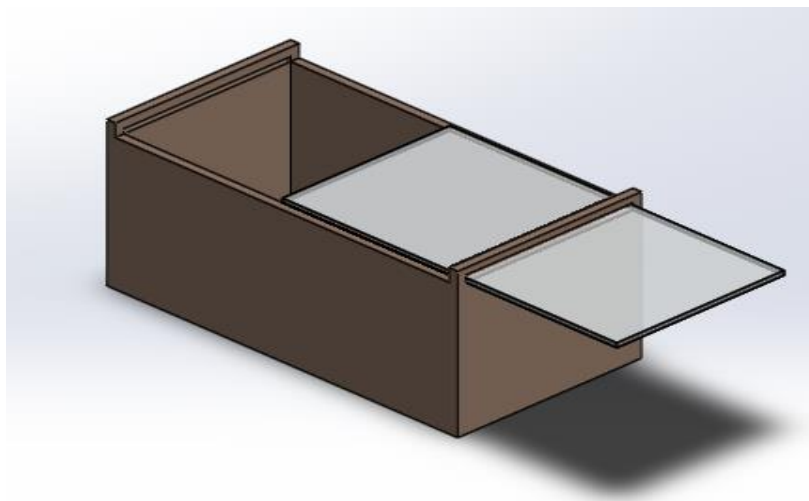


Figura 55. Recinto de conserva de materia orgánica.

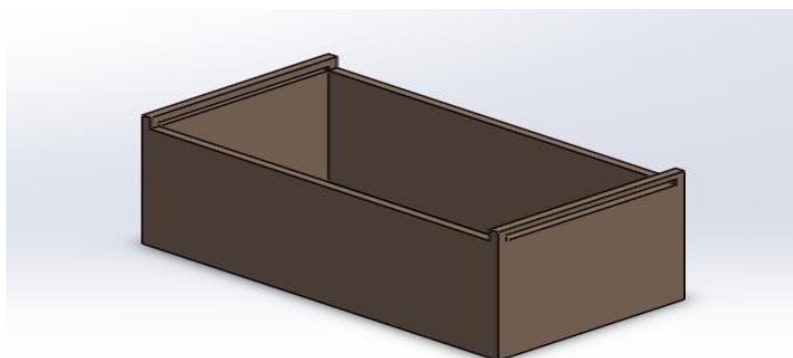
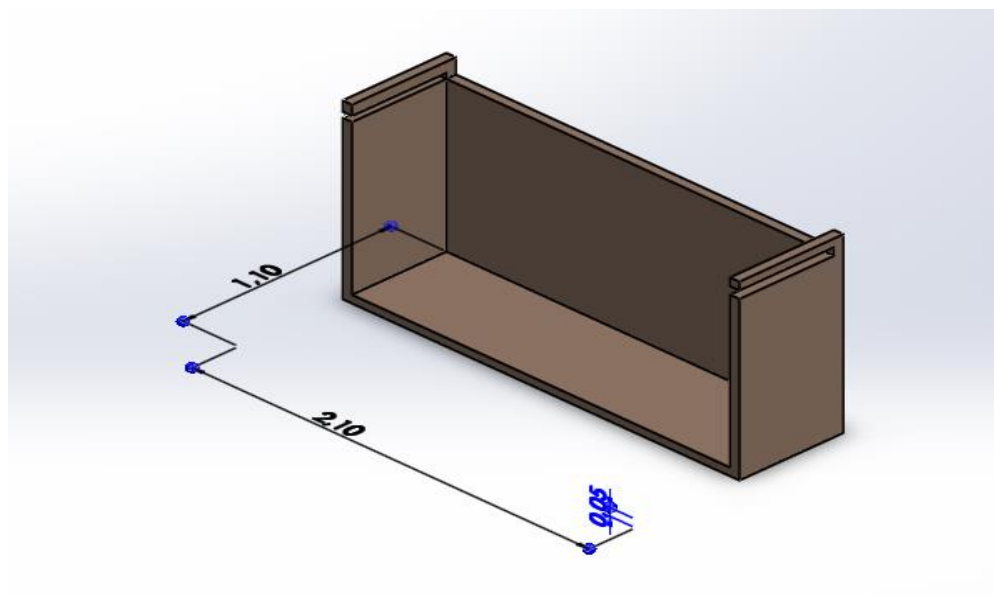


Figura 56. Recinto de conserva de materia orgánica dimensiones exteriores longitudes en [m].



7. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA

Las tablas 33, 34 y 35 nos muestra los precios para construir las diferentes secciones del proyecto.

Todos los pernos que van en el aparato, así como también, las golillas y tuercas, se considerará un 10 % del valor de la sección de corte para tenerlo presente por concepto de tornillería de toda la máquina.

Tabla 32. Costos cortadora.

COMPONENTE	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO
ANILLO	\$ 5.000	4	\$ 20.000
CHAVETAS CUCHILLAS	\$ 3.000	4	\$ 12.000
CHAVETAS ENGRANE	\$ 3.000	4	\$ 12.000
CUCHILLA TIPO A	\$ 30.000	22	\$ 660.000
SEPARADORES	\$ 25.000	2	\$ 50.000
EJE CONDUCTOR	\$ 320.000	1	\$ 320.000
ENGRANAJE	\$ 60.000	2	\$ 120.000
RODAMIENTO NUP210	\$ 45.000	2	\$ 90.000
TUERCA M30	\$ 1.000	4	\$ 4.000
BASE SUPERIOR	\$ 100.000	1	\$ 100.000
BASE INFERIOR	\$ 200.000	1	\$ 200.000
PLACA LATERAL	\$ 75.000	2	\$ 150.000
LIMPIADOR DE CUCHILLAS	\$ 15.000	11	\$ 165.000
CAJA ENGRANES	\$ 45.000	2	\$ 90.000
SOPORTE EJES	\$ 150.000	4	\$ 600.000
EJE CONDUCTO Y CONT.	\$ 500.000	2	\$ 1.000.000
RODAMIENTO NUP1010	\$ 30.000	2	\$ 60.000
SOPORTE PARA CUCHILLAS	\$ 200.000	1	\$ 200.000
SUB TOTAL			\$ 3.853.000

Tabla 33. Costos compostadora.

COMPONENTE	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO
EJE COMPOSTADORA	\$ 1.500.000	1	\$ 1.500.000
CUERPO COMPOSTADORA	\$ 180.000	4	\$ 720.000
RODAMIENTOS 2218	\$ 30.000	2	\$ 60.000
CADENA	\$ 50.000	2	\$ 100.000
PIÑON	\$ 40.000	1	\$ 40.000
COLMNAS SOPORTE CONCRETO	\$ 100.000	2	\$ 200.000
MOTOR HIDRAULICO	\$ 600.000	1	\$ 600.000
ACEITE	\$ 50.000	1	\$ 50.000
TERMOMETRO TAYLOR	\$ 134.000	1	\$ 134.000
SOIL SOURVEY	\$ 249.600	1	\$ 249.600
MEDIDOR PMS-714	\$ 800.000	1	\$ 800.000
BOMBA DE DESPLAZAMIENTO VARIABLE	\$ 1.200.000	1	\$ 1.200.000
COMPRESOR FC2/ TECHNAI	\$ 500.000	1	\$ 500.000
		SUB TOTAL	\$ 6.153.600

Tabla 34. Costos secado y reposo de materia orgánica.

COMPONENTE	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO
SEMI CAJON DE SECADO	\$ 180.000	1	\$ 180.000
SOPORTE CAJONES SECADO	\$ 80.000	5	\$ 400.000
RESINTO CONSERVA COMPOST. CONCRETO	\$ 100.000	1	\$ 100.000
TAPA RESINTO CONSERVA COMPOST.	\$ 5.000	1	\$ 5.000
		SUB TOTAL	\$ 685.000

Tabla 35. Mano de obra.

COMPONENTE	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO
SOLDADOR REGULAR	\$ 1.000.120	2	\$ 2.000.240
TECNICO ELECTRICO	\$ 1.200.000	1	\$ 1.200.000
ALBAÑIL	\$ 800.000	2	\$ 1.600.000
		SUB TOTAL	\$ 4.800.240

De acuerdo con el catálogo suministrado por ISON21, vemos que la capacidad en Kg de materia y teniendo en cuenta que la densidad promedio de salida del compost es de 601.4Kg/m³, tenemos que:

$$\text{Capacidad en Kg} = V_{\text{optimo maximo}} * \delta$$

$$\text{Capacidad en Kg} = 0.4137 * 601.4$$

$$\text{Capacidad en Kg} = 248.8\text{Kg}$$

Tras el proceso de compostación que dura 7 días la masa final es casi el 40% de la masa inicial

$$m_{\text{produccion}} = 0.4 * \text{Capacidad en Kg}$$

$m_{\text{produccion}} = 99.52\text{Kg}$ de composta producidos por cada proceso a su capacidad máxima optima.

Se tiene una estimación de la producción semanal de fertilizante de 55 kg, en el mercado colombiano se comercializa este tipo de fertilizante a un precio aproximado de \$ 5000, la ganancia mensual tendría un estimado de \$ 1'100.000 haciendo la proyección en el tiempo, podríamos decir que, en dos años, se podría recuperar la inversión en dinero físico. Gracias a su diseño, la producción es rápida y eficiente dando como resultado un producto de calidad, que beneficiara la agricultura colombiana.

8. CONCLUSIONES

- Se diseñó y analizó un sistema para la producción de abono orgánico a través de la transformación mecánica de la biomasa en una parcela de la mesa de los santos, empleando características principales de máquinas productoras de abono del mercado que operan a similares condiciones, con la intención de satisfacer la mayor cantidad de situaciones previstas.
- Se seleccionaron los residuos lignocelulósicos y animales (Biomasa) que se usara para el proceso, empleando materiales más comunes que se pueden encontrar en la Mesa de Santos. A sí mismos se opta para el proceso de secado un diseño básico “cajón de secado”, método cotidiano que cumple con las características de secado de la materia orgánica teniendo en cuenta parámetros de humedad adecuada de trabajo, se concluye en crear un estante con capacidad de 10 cajones de secado para tener mayor cantidad de biomasa “seca” disponible.
- Se diseñó y analizó un sistema de corte que toma como referencia una trituradora de doble eje con el poder necesario de cortar la madera de pino y dejar en tamaño de las muestras en los requerimientos establecidos de 15 a 20 [mm], se concluye que la maquina contara con un poder para triturar botellas pet y llantas, debido a los diferentes factores que se tomaron por seguridad.
- Se diseñó y analizó una compostadora mecánica cuya principal referencia fue la compostadora de vaso industrial VOLCOMP, cumpliendo con las indicaciones especificadas de humedad, pH, temperatura ambiente y relación Carbono/Nitrógeno, expuestas en la sección 6.4 de este trabajo, se concluye que por razones de espacio se opta por un diseño con dimensiones menores a los expuestos por la empresa VOLCOMP.

- Se elaboraron los planos de construcción de todo el sistema mecánico de producción, así como un manual instructivo de operación y de mantenimiento del sistema.
- Se realizó un análisis de viabilidad técnica económica para implementar el sistema de producción de abono orgánico para obtener un estimado de costos total de la máquina, en el cual se puede concluir que se recuperara la inversión hecha en un estimado de 2 años.

BIBLIOGRAFÍA

BASTAN TECNOLOGIES & ISON 21. Compostaje industrial de residuos orgánicos, Barcelona-España 2016. Disponible en: <http://www.bastan.es/renovables/reciclaersu/componentes/compostadores.htm>

BORRERO, Cesar Augusto. Abonos orgánicos. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos_guaviare.htm

CAJAMARCA V. Diego, Procedimiento para la elaboración de abonos orgánicos. Tolima 2017

ICA. Cartilla practica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica. Bogotá 2015

ISON 21. Compostaje industrial por sistema de vaso. Valencia – España 2019. Disponible en: https://www.ison21.es/wp-content/uploads/2017/06/guia_de_compostaje.pdf

RESTREPO FIDAR. José M. Utilización de los residuos orgánicos en la agricultura