



Vol 17. N° 1
Enero - Marzo 2017

ISSN: 1317-2255 (IMPRESO)
Depósito Legal: pp 20002FA828
ISSN: 2477-9636 (ELECTRÓNICO)
Dep. legal ppi 201502ZU4642

Multiciencias

R M C_s

N_F LUZ

Universidad del Zulia
Revista Arbitrada Multidisciplinaria



LUZ Punto Fijo

Núcleo LUZ-Punto Fijo
Programa de Investigación y Postgrado
Falcón-Venezuela

MULTICIENCIAS, Vol.17, Nº 1, 2017 (90-99)

ISSN: 1317-2255 / Dep. legal: pp 200002FA828 (Versión Impresa)

ISSN: 2477-9636/ Dep. legal: ppi 201502ZU4642 (Versión Digital)

Diseño de una trituradora mecánica para el compostaje de los residuos orgánicos generados en la Universidad del Zulia. Núcleo Punto Fijo

Jhonathan Rosales, Yajaira Rosales y Yudith, Acosta

Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA).

Universidad del Zulia, Núcleo Punto Fijo. Punto Fijo, estado Falcón, Venezuela.

jhonathanrosales3@gmail.com, yajairaayarlem@gmail.com, yukitaluz@gmail.com

Resumen

Este trabajo consistió en diseñar una trituradora mecánica para el proceso de compostaje de residuos orgánicos de diferente naturaleza, provenientes mayormente del comedor de la Universidad del Zulia, Núcleo Punto Fijo. El diseño conceptual y detallado de la máquina, se elaboró utilizando tecnología con alta eficiencia operativa, además de establecer el proceso de su fabricación y ensamble. La trituradora se diseñó en base a los requerimientos de operación y los cálculos de sus elementos constitutivos se hicieron tomando en cuenta la disponibilidad para su construcción y garantizando su funcionamiento. Luego de obtener las dimensiones reales de la máquina y hacer los cálculos respectivos, se empleó un software de diseño asistido por computadora a fin de graficar cada una de las piezas que la conforman. Este equipo será de gran utilidad al disminuir en número la mano de obra empleada para realizar la trituración y su diseño satisface la necesidad de sustituir esta etapa en el proceso de compostaje, a través de un proceso mecánico; considerando la cantidad de residuos generados que necesitan ser procesados para incrementar la producción de compost para ser aplicado en el tratamiento y recuperación de los suelos del estado Falcón.

Palabras clave: trituración mecánica; residuos orgánicos; proceso de compostaje.

Design of Crushing Machine for the Composting Process of Organic Residues from Zulia University'S. Punto Fijo

Abstract

This work consisted of designing a mechanical crushing machine for composting process of organic residues of different nature, from at its most of the dining room of the Zulia University's, Punto Fijo, using technology with high operative efficiency. The crushing machine of organic residues was designed on the basis of the requirements of operation, in such a way that the constitutive elements of the same one were calculated bearing in mind the availability for the construction and guaranteeing the functioning of the machine. For the graphical obtaining of each one the pieces that shape the crushing machine, after obtaining the royal dimensions of the machine, doing the respective calculations, a software of computer aided design was used. This equipment ensues from great usefulness because that it facilitates the physical work, diminishing in number the workforce used to realize this work. The present design satisfies the need to replace the stage of crushing of organic residues in the compostaje across a mechanical process such a machinery expires with the requirements, considering the quantity of organic residues that need to be composted to propose of aplicated them on the soils of the Falcon state.

Key words: mecánica trituración; residuos orgánicos; proceso de compostaje.

Introducción

En la actualidad existe una tendencia a reutilizar los desechos orgánicos, y una de las formas de hacerlo es, mediante el compostaje de los mismos, producir bioabonos para ser empleados en la agricultura [10]. El compostaje es una técnica mediante la cual se crean las condiciones necesarias para que los microorganismos descomponedores degraden los residuos orgánicos y se obtenga como producto un abono de elevada calidad [2], [4], [14]. Esta es una técnica muy antigua que consiste en mezclar desechos de animales (estiércoles), vegetales, ceniza, y algunos elementos minerales, proporcionándoles niveles de humedad, aireación y temperatura para favorecer la actividad de ciertos microorganismos capaces de convertir esos materiales en compuestos orgánicos estabilizados [8].

La generación de desechos al año, supone varios millones de toneladas, que en muchas ocasiones, se acumulan en los vertederos a cielo abierto ocasionando graves efectos ambientales, al tiempo que se derrocha un recurso valioso susceptible de ser incorporado al ciclo del consumo mediante el compostaje [14]. Particularmente, en Venezuela se justifica el uso de enmiendas orgánicas en los suelos, especialmente si se trata de suelos de las zonas áridas y semiáridas del país, como lo son los de la Península de Paraguaná en el estado Falcón;

debido a la necesidad de mejorar el contenido de materia orgánica y nutrientes en los mismos y consecuentemente su fertilidad y productividad [1]. Los residuos sólidos vegetales de alimentos, son empleados en la producción de abonos orgánicos siendo ésta una alternativa sostenible para la solución del problema ambiental que supone la acumulación y disposición final de tales residuos. Es por ello que la aplicación de abonos orgánicos permitiría mejorar física, química y biológicamente la calidad de estos suelos, disminuyendo su degradación y cubriendo la necesidad de nutrientes al ser utilizados con fines agrícolas [5].

Atendiendo a esta situación, la Universidad del Zulia, Núcleo Punto Fijo, viene utilizando la técnica de compostaje desde hace alrededor de 15 años con el propósito de reciclar los residuos orgánicos generados en la región y en la propia comunidad universitaria; los cuales incluyen hojas de árboles, papel, algas marinas, lodos residuales del tratamiento de aguas servidas, estiércol de animales (vacuno, caprino, porcino, ovino o avícola) y residuos vegetales de alimentos domésticos (crudos) entre otros. La finalidad de elaborar composts para ser utilizados como abono orgánico, constituye una forma ecológica de contribuir con el mantenimiento de las áreas verdes, mejorar el rendimiento de los cultivos e intervenir en los procesos de recuperación, biorremediación y fitorremediación de suelos afectados por la contaminación.

En referencia, conviene indicar, que nada más en el comedor estudiantil de la Universidad del Zulia núcleo Punto Fijo se generan aproximadamente la cantidad de 400 a 500 kg de residuos por mes, los que son aprovechados para la obtención de compost, que hasta el momento es elaborado de forma manual; de forma que la institución ha considerado, desde los proyectos que surgen en el Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA), proponer el diseño de una máquina trituradora de residuos orgánicos para sustituir la actividad manual en esta etapa del proceso de compostaje.

El diseño mecánico es el proceso de selección de componentes mecánicos, para conjuntarlos y lograr una función deseada. Naturalmente los elementos en las máquinas deben ser compatibles, acoplarse bien entre si y funcionar de forma segura y eficiente [11]. Actualmente se han diseñado y fabricado distintos mecanismos manuales o automáticos que sirven de apoyo para instrumentos y máquinas que ejecutan una actividad [17]. En el proceso de compostaje, usualmente realizado manualmente, se cuenta con la participación aproximada de 10 a 15 personas, debido a que es una técnica que requiere de la separación, trituración y pesado de los residuos orgánicos que posteriormente deben ser apilados para ser volteados periódicamente, lo que implica mayor trabajo, esfuerzo y tiempo.

En la etapa inicial del proceso de compostaje, se realiza la separación donde se clasifican los residuos orgánicos: vegetales (cáscaras de verduras y frutas) por especies, evitando incluir semillas, cáscaras de huevos y cítricos (naranja, limón, piñas, entre otros); hojas secas, las cuales se separan del tallo; y los estiércoles, los cuales se adicionan por separado. Los residuos vegetales son picados con cuchillos o tijeras hasta obtener un tamaño adecuado (≤ 1 cm, aproximadamente) para propiciar una descomposición más rápida. Luego, los desechos, ya clasificados, son pesados para establecer la proporción adecuada de cada residuo en la mezcla que se va a compostar, basado en la relación del contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) (C/N) óptima para iniciar el proceso de degradación por los microorganismos encargados del proceso; considerando, además, el apropiado contenido de humedad. Una vez apilados, los residuos orgánicos se mezclan homogéneamente, con la ayuda de palas o escardillas.

Lo anterior, deja de manifiesto que se requiere de una máquina trituradora que sustituya de forma mecánica la etapa de corte y trituración en el proceso, disminuyendo el tamaño de las partículas en la materia prima a utilizar, facilitando su degradación secuencial y posterior transformación en un producto más adecuado para su uso y posible comercialización como abono orgánico (compost); aparte de que facilita el trabajo físico, disminuyendo en número la mano de obra empleada. El dise-

ño de este equipo innovador representa un nuevo modelo que demuestra la utilidad de compostar la fracción orgánica de los residuos sólidos de forma mecánica, con una trituración previa que facilite el proceso, a fin de obtener un compost de calidad, presentando bajos costos de instalación, mantenimiento con ahorro de energía, permitiendo cerrar el ciclo del reciclaje de los residuos, a la vez que resulta un instrumento de avance tecnológico que aportará un beneficio económico. Adicionalmente, resulta en un gran valor agregado relacionado con la sensibilización, concienciación y educación ambiental, en el sentido de que este equipo estará ubicado dentro de las instalaciones del núcleo universitario, propiciando el interés de toda la comunidad universitaria

Partiendo de lo expuesto, el objetivo de este trabajo consistió en diseñar una trituradora mecánica para residuos orgánicos de diferente naturaleza, a ser usada en el proceso de compostaje, utilizando tecnología con alta eficiencia operativa y garantizando la consecución de un producto final de calidad, capaz de satisfacer los requerimientos en nutrientes y materia orgánica de los suelos de la región.

Metodología

El diseño conceptual de la máquina contempla la descripción del proceso de producción de compost, la caracterización de diferentes máquinas trituradoras existentes en el mercado, lo relacionado con las consideraciones y criterios de diseño, la descripción de las alternativas de diseño, su evaluación y, posteriormente, la selección de las alternativas más óptimas.

Asimismo, se desarrollaron los cálculos de los componentes y dispositivos de cada uno de los sistemas que contempla la máquina. En esta fase, se obtuvieron las dimensiones reales, y se conformó la base para la selección definitiva de todos los componentes del diseño; con esto se establecieron claramente los distintos parámetros a considerar en el proceso de fabricación para el caso en particular. La trituradora de residuos orgánicos se diseñó en base a los requerimientos de operación, de tal manera que los elementos constitutivos de la misma fueron calculados tomando en cuenta la disponibilidad para la construcción y garantizando el funcionamiento de la máquina. Para la obtención gráfica de cada una las piezas que conforman la trituradora se empleó el software de diseño asistido por computadora Autodesk Inventor Professional 2014; basándose en las dimensiones reales de la máquina, obtenidas a partir de los cálculos respectivos

Resultados

En el diseño conceptual, se investigó sobre las alternativas existentes en el mercado internacional, las cuales son máquinas que tienen la misma funcionalidad de la diseñada, pero que en cierta medida son menos accesibles. Entre estas se encuentran: **1. Triturador de residuos orgánicos TR 2000:** Triturador de residuos orgánicos eléctrico diseñado por la empresa TRAPP y recomendado para triturar cercas del jardín como ramas de árboles, cerca vivas, follajes en general, tallos, restos de vegetales y frutas. **2. Trituradora de martillos SBM:** Trituradora de martillos diseñada por SBM se ajusta para producir productos de polvo grueso de 0-3 mm. Esta máquina adopta las teorías tradicionales de trituradoras y molinos. **3. Picadora de forraje Sertaneja Master:** Robusta y eficiente, del fabricante Nogueira, corta palma, yuca, batata, agave y demás forrajeras. Proporciona un total aprovechamiento de la forrajera, con excelente capacidad de producción y bajo consumo de potencia.

La máquina diseñada debe cumplir con ciertos parámetros y requerimientos establecidos, tales como procesar hasta 200 kg/h de materia prima, garantizar que las partículas de salida no tengan un tamaño mayor a 1 cm, operar de 2 a 3 horas diarias y cumplir con los parámetros de seguridad necesaria. De acuerdo a esto, se establecieron las alternativas de diseño en cada uno de los sistemas mecánicos, las cuales fueron evaluadas con el método de la matriz de ponderación para seleccionar una alternativa determinada. Los valores numéricos se asignaron a los criterios de diseño de cada alternativa en función de su importancia, mostrando el porcentaje que representa cada número asignado. Se efectuó la suma algebraica del producto, dividido entre el valor asignado con su porcentaje; al final se seleccionó la alternativa con mayor valor [12]. La Tablas 1, 2 y 3 muestran las alternativas en los diferentes sistemas y su respectiva evaluación, atendiendo los criterios de diseño.

Tabla 1. Evaluación para los sistemas: alimentación y trituración

Sistema ►	Alimentación			Trituración		
Alternativa ►	Recipiente con Dosificación	Banda transportadora	Tolva	Martillos	Cuchillas	Martillos/Cuchillas
Criterio de diseño ▼						
Economía (20%)	1	2	5	3	4	5
Funcionamiento (25%)	4	5	5	5	3	5
Seguridad (20%)	5	4	5	4	5	5
Confiabilidad (20%)	4	4	5	4	4	5
Mantenimiento (15%)	4	3	5	4	4	5
Total	3,6	3,7	5	4,05	3,95	5

Fuente: Propia (2017).

La denominación martillo/cuchillas, se debe a la configuración que tendrán los elementos de impacto en la trituración. Dependiendo del sentido de giro del mo-

tor, estos pueden actuar como martillos cuando es materia seca o cuchillas cuando se requiere triturar materia húmeda.

Tabla 2. Evaluación para los sistemas: motor y transmisión de potencia.

Sistema ►	Motor			Transmisión de Potencia	
Alternativa ►	Motor eléctrico	Motor reductor	Bandas	Trenes de engranes	Cadenas
Criterio ▼					
Economía (20%)	4	3	5	3	4
Funcionamiento (25%)	5	3	5	3	4
Seguridad (20%)	3	5	4	5	4
Confiabilidad (20%)	5	4	5	3	4
Mantenimiento (15%)	4	3	3	5	4
Total	4,25	3,6	4,5	3,7	4

Fuente: Propia (2017).

Tabla 3. Evaluación para el sistema estructural

Alternativa▶	Estructura de eslabonamiento	Armazón	Estructuras independientes
Economía (20%)	5	5	5
Funcionamiento (25%)	4	4	4
Seguridad (20%)	3	4	4
Confiabilidad (20%)	4	4	4
Mantenimiento (15%)	5	4	5
Total	4,15	3,28	4,35

Fuente: Propia (2017).

Después de haber analizado todos los dispositivos disponibles para cada sistema se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de las alternativas evaluadas en cada sistema mecánico

Sistemas	Resultados
Alimentación	Tolva
Trituración	Martillos/Cuchillas
Motor	Motor eléctrico
Transmisión de potencia	Bandas
Sistema estructural	Estructuras independientes

Fuente: Propia (2016).

Los cálculos y puntos más importantes en el diseño detallado de la trituradora, se presentan a continuación:

Conjunto carcasa: Está conformado por la tolva de alimentación, la carcasa, la criba y la canaleta de descarga cuyo material seleccionado para su fabricación son láminas de acero AISI 304 de 3 mm (Figura 1).

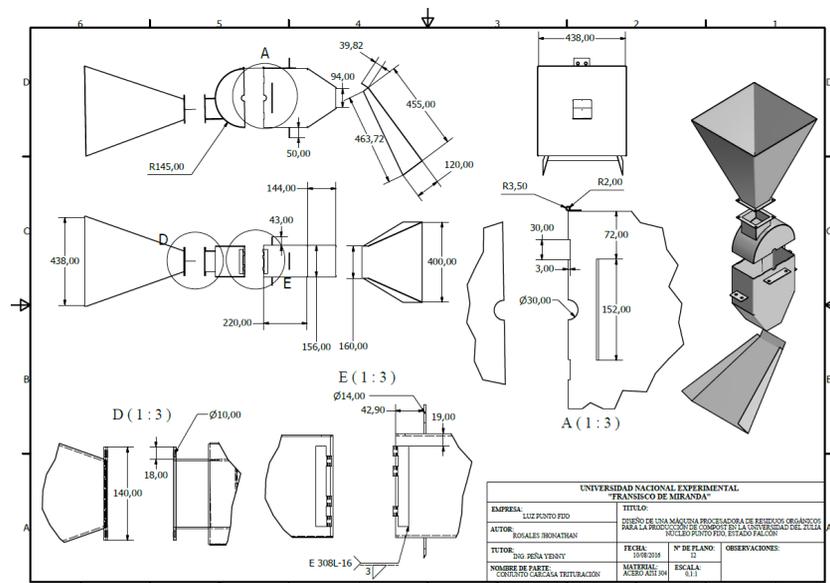


Figura 1. Conjunto Carcasa
Fuente: Propia (2017)

El dimensionamiento de este sistema es importante, por eso se calcula su masa total tomando en cuenta cada uno de los elementos ya mencionados. El cálculo de dicha masa es el producto entre el volumen de cada una de las láminas y la densidad del acero (7800 kg/m^3) [13] obteniendo así una masa total en todo el sistema de $30,2343 \text{ kg}$. El sistema de alimentación está conformado por la tolva y se escogió esta geometría por ser la más eficiente para este caso, además de ser la más sencilla para la construcción. El volumen de la tolva se calcula por medio de la ecuación 1:

$$V_{ct} = \frac{h}{3} (A_s + A_i + \sqrt{A_s * A_i}) \quad (1)$$

$$V_{ct} = \frac{h}{3} (A_s + A_i + \sqrt{A_s * A_i})$$

Dónde:

V_{ct} : Volumen de capacidad de la tolva (m^3).

A_s : Área superior de la tolva (m^2).

A_i : Área inferior de la tolva (m^2).

h : Altura de la tolva (m).

Área es el producto de la base y altura, por lo tanto se procede a calcular el área superior e inferior de la tolva las cuales fueron de $0,2025 \text{ m}^2$ y $0,01 \text{ m}^2$ respectivamente, sustituyendo en la ecuación el volumen de capacidad de la tolva de alimentación es de $0,1122 \text{ m}^3$. Para la determinación de la capacidad de la tolva de alimentación se toma como referencia la densidad de 250 kg/m^3 , que es la densidad de los residuos orgánicos a triturar [13]. Dicha capacidad es de $28,05 \text{ kg}$.

Sistema de trituración: Para el diseño detallado del sistema de trituración se abordó todo lo concerniente a trituración y molienda de sólidos teniendo en cuenta el tamaño promedio de los residuos orgánicos a triturar (Figura 2).

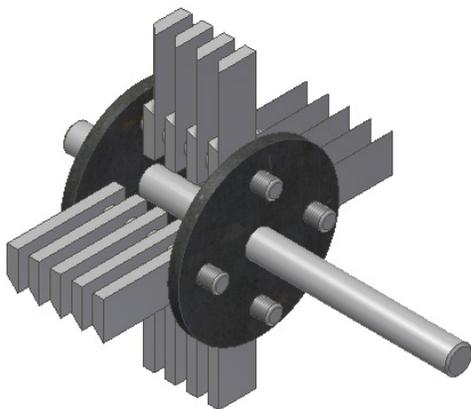


Figura 2. Sistema de trituración
Fuente: Propia (2017)

Cálculo de la potencia Requerida

Potencia de Molienda: Según la ley de Bond la potencia de trituración en una desintegradora (H_1) (2):

$$H_1 = 0,3162 * \dot{m} * W_i \left[\frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right] \quad (2)$$

$$H_1 = 0,3162 * \dot{m} * W_i \left[\frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right]$$

Dónde:

H_1 : Potencia consumida (kw).

\dot{m} : Flujo másico de alimentación (ton/h).

W_i : La energía total (kwh/ton de alimentación) que se necesita para reducir una alimentación muy grande hasta un tamaño tal que el 80% del producto pase a través de un tamiz de $100 \mu\text{m}$.

D_{pa} : Diámetro medio de las partículas de alimentación (mm).

D_{pp} : Diámetro medio de las partículas de salida (mm).

El tamaño promedio de los residuos orgánicos a triturar para el proceso de compostaje es de aproximadamente de 5 cm. El tamaño deseado de las partículas de salida es de 1 cm; sin embargo para el cálculo, se utiliza un diámetro medio de salida de 0,1 mm, lo establecido en la Ley de Bond. La capacidad del sistema de alimentación es de $28,05 \text{ kg}$, por ende, para un funcionamiento de 3 horas se tiene un flujo másico de $9,35 * 10^{-3} \text{ ton/h}$. Según Díaz y Rodríguez [3] el índice de trabajo para la madera es 2,4. Sustituyendo los valores en la ecuación, la potencia es de $0,0234 \text{ kw} = 0,0314 \text{ hp}$.

Potencia requerida para mover el mecanismo: En cuanto a la potencia para accionar el mecanismo en vacío se establece el principio de impulso y cantidad de movimiento (3).

$$H_2 = T * \omega \quad (3)$$

Dónde:

H_2 : Potencia requerida para la desintegración (kw).

T : Par externo aplicado (N-m).

ω : Velocidad angular (rad/s).

Para la velocidad angular (4) se tiene:

$$\omega = \frac{2\pi * n}{60} \quad (4); \quad \text{donde } n \text{ son las revoluciones por minuto (rpm).}$$

La velocidad en condiciones de diseño de un molino va desde los 600 rpm a 1800 rpm [3]; promediando ambos valores se obtiene una velocidad de 1200 rpm. Al sustituir los valores, la velocidad angular respectiva es de **125,6637 rad/s**. Para la obtención del par externo aplicado se tiene (5):

$$T = I * \omega T = I * \omega \quad (5)$$

I es el momento de inercia para el sistema eje cuchillas, y éste se calcula según 6:

$$I = m * k^2 I = m * k^2 \quad (6)$$

Dónde:

m : Masa cuantificada del sistema eje cuchillas (kg).

k : Radio de giro de los discos porta cuchillas (m).

Para el momento de inercia, como se puede observar, se necesita la masa del arreglo del sistema porta martillos o sistema de trituración. El arreglo está conformado por 4 pasadores o ejes porta martillos de acero AISI 4140, 2 discos de acero ASTM A36, 18 cuchillas o martillos de acero AISI 4140 y 18 separadores de acero AISI 4140 (Figura 3), obteniendo una masa total del sistema de **8,7203 kg**.

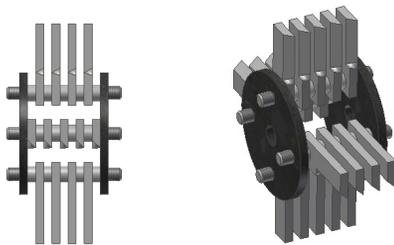


Figura 3. Arreglo del sistema porta martillos

Fuente: Propia (2017)

Sustituyendo en las ecuaciones, se tiene que el momento polar de inercia es de **0,1589 kg m²** y el torque **19,9680 Nm**, entonces, la potencia para accionar el mecanismo en vacío es de $H_1 = 2,5093 \text{ kw} = 3,3650 \text{ hp}$ y $H_2 = 2,5093 \text{ kw} = 3,3650 \text{ hp}$. La potencia total requerida será la sumatoria de la potencia de molienda y la requerida para mover el mecanismo en vacío, la cual es de **3,3964 hp**. Teniendo en cuenta tal potencia se seleccionó, del catálogo de motores SIEMENS [15], un motor eléctrico tipo jaula, de ardilla trifásica, con las especificaciones indicadas en la tabla 5. Descripción del motor eléctrico tipo jaula, de ardilla trifásica.

Características	Modelo GP10 de uso general A7B10000048091
Tensión a 60Hz en Volts	208-230/460
Potencia en HP	5
Velocidad en RPM	900
Tamaño de armazón	254T

Fuente: Catálogo de motores SIEMENS (2007).

Diseño del sistema de transmisión de potencia en la trituración: Se seleccionó un sistema de banda para que exista una separación considerable entre el motor eléctrico y donde se realizará el proceso de triturado (Figura 4).

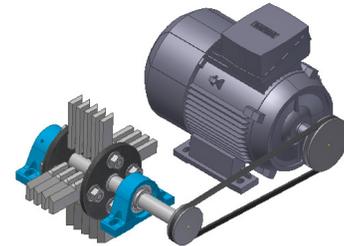


Figura 4. Sistema de transmisión de potencia de la trituración

Fuente: Propia (2017)

Los parámetros más importantes son los siguientes:

- La potencia de diseño, la cual es el producto entre la potencia del motor seleccionado y el factor de servicio de la tabla del catálogo Gates [7] para bandas en V, con un motor eléctrico y un eje de transmisión en operación de 3 a 5 horas; el cual es $K_s = 1,2$ y da una potencia de diseño de **6 hp**.

- El tipo de banda seleccionada del catálogo Gates [7] con 900 rpm de velocidad en la polea 1 y una potencia de diseño 6 hp resultó en la selección de bandas 3VX.

- El diámetro de paso de las poleas se obtiene siguiendo el procedimiento establecido en el catálogo de bandas Gates [7] e indicó los siguientes diámetros: $D_1 = 4,07 \text{ in}$ y $D_2 = 2,95 \text{ in}$.

- La longitud de la banda obtenida mediante los cálculos correspondientes se llevó a una longitud comercial, obtenida en la tabla de longitudes estándares para bandas 3VX del catálogo Gates [7], resultando la banda más cercana a la calculada 3VX400, siendo por lo tanto, la longitud de **40 in = 1015 mm**.

- El torque en las poleas está dado por el cociente entre la potencia de diseño y la velocidad angular, del cual se obtuvo una potencia de **47,4727 Nm** y **34,4105 Nm** para la polea 1 y 2 respectivamente.

- La tensión o fuerza en las correas está dada por (7):

$$T = (F_1 - F_2) * \frac{D}{2} = (F_1 - F_2) * \frac{D}{2} \quad (7)$$

Dónde:

F_1 : Fuerza del lado tenso de la banda.

F_2 : Fuerza del lado flojo de la banda.

Para bandas en V se asume una relación de fuerzas de 5, según el Diseño de Máquinas de Robert Norton [12]. Despejando y sustituyendo en las ecuaciones se obtuvo una fuerza de **1148,0368 N** para el lado tenso y flojo, respectivamente. De esta forma la tensión total ejercida por las bandas es de **1377,6441 N**.

Diseño del Eje de Transmisión en el sistema de trituración: El eje es de acero AISI 4140, normalizado, y se encuentra sometido a torsión y flexión transmitida por las fuerzas de la banda en las poleas y el peso del conjunto de martillos. El peso de los residuos orgánicos que abarca la extensión de los martillos, al momento de corte, es tan pequeño que se puede despreciar. Las cargas que actúan sobre el eje son el peso de la polea, las fuerzas producidas por la tensión de las bandas y el peso del conjunto del disco porta martillos. Realizando los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector, con ayuda de la herramienta computacional MD SOLID [9], se determinó el momento máximo en los planos XY y XZ.

Cálculo del diámetro del eje de transmisión: Se aplicó la ecuación ASME según Norton [12] para determinar los diámetros de las secciones del eje; asumiendo un factor de seguridad de 3 considerado en los estándares y normas establecidas en los códigos de la ASME. Sustituyendo en la ecuación (8):

$$d = \left\{ \frac{32 * f_s}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_{alt}}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (8)$$

$$\Rightarrow d = 0,0214m = 21,4369 \text{ mm}$$

Dónde:

d : Diámetro requerido.

f_s : Factor de seguridad.

K_f : Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga.

M_{alt} : Momento alternante.

S_e : Limite de resistencia a la fatiga.

T_m : Torque medio.

S_{ut} : Resistencia ultima.

$$M_{alt} = 175,0309 \text{ Nm}$$

$$T_m = 34,4105 \text{ Nm}$$

Para el eje del sistema se necesita un diámetro mínimo de 21,4369 mm y se asume un valor por exceso de 30 mm de disponibilidad comercial.

Cálculo del cordón de soldadura: Los discos porta ejes estarán sujetos al eje de transmisión por medio de un cordón de soldadura alrededor de toda su periferia, por tal motivo es muy importante su análisis, ya que el mismo debe soportar el torque producido por el motor y el efecto de reacción de los ejes porta martillos en el instante que se produce el golpeteo (Figura 5).

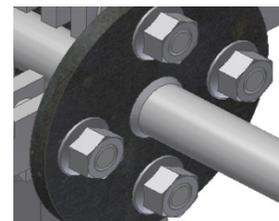


Figura 5. Cordón de soldadura del disco en el eje de transmisión
Fuente: Propia (2017)

La falla que se produce en la soldadura es por corte, debido a la torsión máxima. Según Shigleys [15] para calcular el esfuerzo cortante se usan las ecuaciones 9 y 10:

$$\tau_s = \frac{T_{polea2} * r_{eje}}{I} \quad (9)$$

$$I = 2\pi r_{eje}^3 * 0,707h \quad (10)$$

Dónde:

τ_s : Esfuerzo cortante producido.

T_{polea2} : Momento ttor en la polea 2.

r_{eje} : Radio del eje.

I : Momento polar de inercia de la junta.

El esfuerzo cortante producido es de **11,4759 Mpa**, obteniéndose un factor de seguridad en la soldadura, tomando en cuenta la resistencia de corte ($S_{\dots} = 0,577S_y = 201,95 \text{ Mpa}$) resultando en **17,5977 Mpa**; por tanto, el material de aporte y la altura del filete para el cordón de soldadura cumplen con los requerimientos establecidos.

Selección de chumaceras en el sistema de trituración: Para este tipo de mecanismos de trituración se requieren elementos que soporten muy bien las cargas a velocidades elevadas, con bajo rozamiento y que cuenten con la posibilidad de funcionar tanto en rodamientos fijos y libres. Evaluando lo antes expuesto, se concluye que los rodamientos rígidos de bolas, son los mejores que cumplen a cabalidad con estos requerimientos (Figura 6).

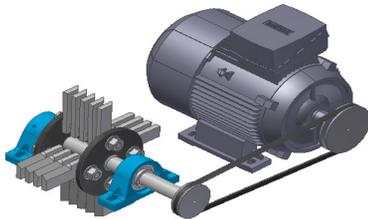


Figura 6. Chumacera en el sistema de trituración
Fuente: Propia (2017)

Para la selección de los rodamientos, es necesario determinar la capacidad de carga de estos elementos, los cuales deben contar con un agujero interno de 30 mm y una vida útil aproximada de 3600 horas (trabajo ligero de 3 horas diarias por 10 días al mes y 10 años de servicio), la velocidad de giro corresponde a 1300 rpm. Con estas condiciones se obtuvieron del catálogo rodamientos FAG [6] un factor de vida de **1,931,93** y un factor de velocidad de **0,2950,295**. La capacidad de carga dinámica (C_c) puede ser evaluada con la siguiente ecuación (11):

$$C_c = \frac{P * f_L}{f_n} C_c = \frac{P * f_L}{f_n} \quad (11)$$

Dónde:

f_L : Factor de vida.

PP : Carga dinámica equivalente a la que está sometido el rodamiento (KN).

f_n : Factor de velocidad de giro.

Donde la carga equivalente se puede evaluar por el apoyo más afectado, en este caso, el apoyo que está más cercano a la polea, cuya carga es de **2,1290 KN**; consecuentemente la capacidad de carga

corresponde es $C_c = 13,9287 \text{ KN}$. Para la capacidad de carga requerida se seleccionaron del catálogo SKF [18] un par de rodamientos de bolas tipo soporte de fundición gris SYK 506 y rodamiento E2.YAR 206-2F, el cual cuenta con una carga dinámica de 19,5 KN.

Luego de obtener las dimensiones reales de la máquina, al hacer los cálculos respectivos, se procedió a diseñar cada una de las piezas que la conforman en el software de diseño asistido por computadora Autodesk Inventor Professional 2014, ensamblando las piezas en el programa y realizando así la simulación de la máquina. Tomando en cuenta todos los esfuerzos a los cuales será sometida la máquina se comprobó que cada uno de sus elementos cumple con los parámetros de diseño, garantizando el buen funcionamiento y la vida útil de la misma. También se establecieron los diferentes planos de cada uno de los elementos, mostrando las diferentes cotas para que la futura construcción de la máquina se realice de forma correcta, tomando en cuenta los materiales y las medidas adecuadas en cada pieza.

Una vez establecidos todos los sistemas mecánicos que serán parte de la máquina y una vez evaluadas las alternativas en cada uno de ellos, se obtuvo una trituradora que cumple con todos los requerimientos, considerando la cantidad de residuos orgánicos generados; los cuales necesitan ser procesados por la misma, para finalmente ser compostados. Esta trituradora será anexada a una estructura con una mezcladora que suplantarán, de forma mecánica, otra etapa en el proceso del compostaje.

Resumen de funcionamiento de la trituradora mecánica en el compostaje

El primer sistema de la máquina es la alimentación de la trituradora que estará conformada por una tolva, permitiendo la introducción de los residuos orgánicos y dirigiéndolos a la etapa de trituración. La trituración se realizará a través de martillos/cuchillas las cuales girarán gracias a un sistema de transmisión de potencia por banda accionado por un motor eléctrico. Los martillos/cuchillas golpearán los residuos orgánicos triturándolos mediante una criba permitiendo el tamaño adecuado de trituración. Estos residuos saldrán de la criba y caerán directamente por una canaleta de salida. Por otra parte, el sistema estructural será el encargado de mantener firme cada componente, permitiendo la transmisión de potencia de manera correcta, soportando también todos los pesos, incluyendo el de la materia prima.

Conclusiones

El diseño de la máquina trituradora mecánica satisface la necesidad de sustituir la etapa de trituración de residuos orgánicos en el proceso de compostaje de los mismos, ya que cumple con los requerimientos, considerando la cantidad de residuos orgánicos generados en la Universidad del Zulia, Núcleo Punto Fijo y que necesitan ser compostados; mejorando la producción de compost, cuyo proceso es controlado de manera simple y eficiente.

Los elementos de la máquina fueron diseñados de acuerdo a criterios y parámetros de seguridad, aportando confiabilidad al diseño, estimando su seguridad y funcionamiento, a prueba de fallas; diseñada para trabajar de 2 a 3 horas diarias pudiendo procesar la cantidad de residuos considerada.

A pesar de sus dimensiones, la construcción y ensamble de la máquina es de una complejidad relativamente baja, ya que no se requiere máquinas y herramientas complejas para su manufactura, y el costo de su construcción está muy por debajo del que poseen actualmente las máquinas encontradas en el mercado internacional.

Referencias Bibliográficas

- ACOSTA, Yudith.; CAYAMA, Yoglenys.; GÓMEZ, Eudelys.; REYES, Nicolás.; ROJAS, Dixon.; GARCÍA, Hendrina. (2006). Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 3 (6). 220-227.
- ACOSTA, Yudith; ZÁRRAGA, Anghie; RODRÍGUEZ Lesdybeth; EL ZAUAHRE, Maziad. (2012). Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias*, 12 (Extraordinario): 18-24. ISSN 1317-2255 / Dep. legal pp. 200002FA828.
- DÍAZ, E.; RODRÍGUEZ, M. (2015). **Construcción de una máquina picadora de desechos de legumbres para alimento de ganado porcino para la finca Ojo de Agua**. Trabajo de grado no publicado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), Falcón.
- DIRCOMCIUDAD. (2016). **Fertilizante natural. Compost**. Ciudad de Santa Fe. [Documento en línea]. Disponible en: www.santafeciudad.gov.ar
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. (1998). **Analysis of Composting as an Environmental Remediation Technology**. Solid Waste and Emergency Response. [Documento en línea]. Consultado el 16 de enero de 2016 en <http://www.epa.gov>
- FAG (2007). **Catálogo de rodamientos (WL 41 520/3 SB)**.
- GATES (2012). **Catálogo de bandas de transmisión de potencia**.
- MOHEDO, J. (2002). **Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales**. [Tesis en línea]. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias. Disponible en <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/365/13207295.pdf?sequence=1>. [Consultado el 10 de febrero de 2016].
- MDSOLIDS 3.5. **Educational Software for Mechanics of Materials**. [Programa de computación].
- MONTERO, J. (2006). **Diseño de máquina volteadora de compost**. [Tesis en línea]. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcim778d/doc/bmfcim778d.pdf>.
- MOTT, R. (2006) **Diseño de Elementos de Máquinas**. (4^{ta} edición). México. Pearson Educación.
- NORTON, R. (2011). **Diseño de Maquinas Un enfoque Integrado**. (4^{ta} edición). México. Pearson Educación.
- PILAR, R.; MARTÍNEZ, M.; PANTOJA, A. (2013). **Manual de compostaje del agricultor experiencias en américa latina**, [documento en línea], Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. [Consultado el 21 de abril de 2016].
- RODRÍGUEZ, J. **Manual del Compostaje, (experiencias realizadas años 2004-2008)**, [documento en línea], Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Y Marino. España. Disponible en http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/pdf/manual_compostaje.pdf.
- SHIGLEY (2008). **Diseño en ingeniería mecánica de Shigley**. (8^{va} edición). México. McGraw-Hill Interamericana.
- SIEMENS (2007). **Catálogo general de motores eléctricos SDO3**.
- SILVA, S.; ZAVALA, H. (2014). **Construcción de un sistema mecánico de apoyo para el empaquetado de hielo de cubo producido por proveedor de servicios especiales Mendoza FP**. Trabajo de grado no publicado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), Falcón.
- SKF **Catálogo de rodamientos y unidades de rodamientos Y SKF**. Energéticamente eficientes.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

Multiciencias

Vol 17, N° 1

Edición por el Fondo Editorial Serbiluz.

Publicada en marzo de 2017.

Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

produccioncientifica.luz.edu.ve