

# Diseño e implementación de máquina trituradora e instrumentación del ambiente controlado para generar vermicomposta

E. Vaquera-González<sup>1</sup>

**Resumen**— Este trabajo presenta el diseño e implementación de una máquina trituradora, así como la instrumentación del ambiente controlado para sensar las variables de temperatura y humedad al ser triturados los desechos orgánicos, la cual será utilizada en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como una solución viable en el tratamiento y uso de los residuos orgánicos como materia prima para producir vermicomposta. En esta investigación se especifican los antecedentes de esta tecnología, es decir lo que hay referente en el mercado sobre esta innovación, además se detalla también el diseño mecánico de la máquina, los planos para su construcción, un análisis de elementos finitos para validar la ingeniería, la manufactura de elementos mecánicos, el montaje y construcción, así como la parte de automatización y la puesta en marcha de la máquina.

**Palabras claves**— Ambiente controlado, Automatización, Desechos orgánicos, Diseño mecánico, Trituradora, Vermicomposta.

**Abstract**— This work presents the design and implementation of a crushing machine, as well as the instrumentation of the controlled environment to detect the temperature and humidity variables when the organic waste is crushed, which will be used in the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo as a viable solution in the treatment and use of organic waste as raw material to produce vermicomposta. In this investigation the background of this technology is specified, that is to say, what there is reference in the market about this innovation, In addition, the mechanical design of the machine is also detailed, the plans for your construction, an analysis of finite elements to validate the engineering, the manufacture of mechanical elements, the assembly and construction, as well as the automation part and the start-up of the machine.

**Keywords**— Controlled environment, Automation, Organic waste, Mechanical design, Crusher, Vermicompost.

## I. INTRODUCCIÓN

La sociedad de consumo en que se vive actualmente, se ha convertido en un importante problema para el medio ambiente, por lo cual es imprescindible un cambio en el paradigma de no sólo satisfacer las necesidades humanas, sino también tomar en cuenta el tratamiento que debe darse

a los residuos generados en las viviendas o en este caso, en una institución educativa.

Es necesario que los desperdicios originados a diario en la vida cotidiana se vean como una fuente de ahorro o de ingreso, ya que si se promueve el interés por el buen manejo de residuos se resolverían problemas de salubridad, espacios desaprovechados e incluso se podría pensar en un ingreso económico. Dicho de otra forma: que la “basura” como concepto desaparezca en el caso de los residuos orgánicos y cumpla con un ciclo aprendido de la naturaleza en el cual todo lo producido o creado se reintegre al medio ambiente y sea aprovechado de una forma u otra. Con base en lo anterior es importante que la tendencia actual sea reducir la cantidad de residuos que se producen y aunado a esto, promover tratamientos de reutilización y reciclaje de los mismos.

Un proceso eficaz en el tratamiento de residuos orgánicos (restos de frutas, verduras, cáscaras de huevo, basura de jardín, restos de café, estiércol animal, etc.), es el compostaje, que consiste en un proceso biológico de descomposición aerobia para la obtención de abono orgánico. En este proceso los organismos actúan en materia orgánica biodegradable, permitiendo obtener la composta, un abono orgánico excelente.

La materia orgánica que se use para originar la composta debe tener una adecuada relación de sólidos, agua y gases para permitir el constante intercambio de sustancias, por esta razón una de las principales recomendaciones en la fabricación de composta es reducir el tamaño de partículas que faciliten la acción de los microorganismos, aumentando la superficie de contacto y promoviendo una fermentación más rápida y homogénea. Bajo esta premisa de reducir y homogenizar el tamaño de la materia orgánica, se considera el diseño y fabricación de una trituradora que lleve a cabo esta actividad.

Mediante la construcción y uso de la máquina trituradora se logrará disminuir el tiempo de cortado de la materia orgánica, facilitando la descomposición de desechos orgánicos y aumentar la disponibilidad de composta.

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Subdirección. de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Av Tecnológico S/N Col Periférico, Cd. Lerdo, Dgo. CP 35150

<sup>1</sup> Efrain Vaquera González (Efrain.vg@itslerdo.edu.mx).

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Como metodología de trabajo para el diseño e implementación de una máquina trituradora e instrumentación del ambiente controlado para generar vermicomposta se llevaron a cabo diferentes actividades, todas conjugadas entre sí para obtener el resultado final el cual fue tener el mecanismo idóneo para triturar los desechos orgánicos y obtener un tamaño de partícula de alrededor de 5 cm, así como la instrumentación de ciertas variables como lo son temperatura y humedad, de igual forma el control automatizado del motor. Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Cálculos de transmisión para máquina trituradora.
- Alternativas de diseño.
- Diseñar la máquina en los aspectos mecánico y estructural.
- Diseñar y fabricar las cuchillas de corte para la máquina trituradora.
- Construir y montar la máquina trituradora de desechos orgánicos.
- Control de motor por medio de variador de frecuencia vectorial.
- Realizar instrumentación de ambiente controlado de las partículas trituradas.
- Monitorización de variables medidas.

A. Cálculo de transmisión para maquina trituradora

Para el cálculo de la transmisión de la máquina trituradora se ha tomado la fórmula que permite elegir un par de poleas para reducir las revoluciones que dará el motor a las necesarias para la máquina trituradora. Dado que el motor acoplado a un motorreductor ofrece un máximo de 30 revoluciones por minuto y que las revoluciones propuestas para la maquina son 10 revoluciones en un minuto, se hace uso de la siguiente relación.

$$\frac{N}{n} = \frac{d}{D} \tag{1}$$

Dónde:

- N: revoluciones en polea conductora
- n: revoluciones en polea conducida
- D: diámetro de polea conductora
- d: diámetro de polea conducida

Por lo tanto, se aplica la fórmula para obtener que el par de poleas necesarias necesitan una relación de 3:1

$$\frac{30}{10} = \frac{d}{D} = i \tag{2}$$

I: relación entre diámetros de poleas

$$i = \frac{3}{1} = 3:1 \tag{3}$$

Por ende, si la polea en el motor mide 2 pulgadas de diámetro, la polea en la transmisión deberá ser de 6 pulgadas.

Así mismo, dado que, en la banda cruzada, la cual se usa para transmitir el movimiento entre los dos ejes de la maquina debe mantener la velocidad entre los ejes igual. Por esto se debe optar por usar poleas con el mismo diámetro.

$$\frac{10}{10} = 1:1 = i \tag{4}$$

Para la selección de bandas se realizó el siguiente cálculo para determinar la longitud necesaria de la banda plana dado los diámetros de las poleas y la distancia entre los centros de estas. Se uso la formula

$$L = 2c + \frac{\pi}{2}(D+d) + \frac{(d-D)^2}{4c} \tag{5}$$

Donde

L: longitud de la banda en mm

C: distancia entre centros mm

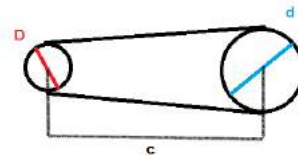


Figura 1. Nomenclatura de bandas

Por lo tanto, para los datos de la transmisión de fuerza principal (motor- transmisión) se tiene que:

$$L = 2 * 500\text{mm} + \frac{\pi}{2}(50.8\text{mm} + 152.4\text{mm}) + \frac{(152.4\text{mm} - 50.8\text{mm})^2}{4 * 500\text{mm}} \tag{6}$$

$$L = 1324.347\text{mm}$$

Con esto se sabe que la banda debe ser de aproximadamente 1.3 m.

Para la banda plana encargada de transmitir e invertir el sentido del giro de un eje al otro se usa la misma fórmula, pero con un pequeño cambio al final de la formula, además de usar las medidas de la sección donde se pondrán. (d=D= 3", c = 214.45mm)

$$L = 2 * 214.45\text{mm} + \frac{\pi}{2}(76.2\text{mm} + 76.2\text{mm}) + \frac{(76.2\text{mm} - 76.2\text{mm})^2}{4 * 214.45\text{mm}} \tag{7}$$

$$L = 695.365\text{mm}$$

Se necesitará una banda de 0.695 m en esta parte de la transmisión.

*B. Alternativas de diseño*

Propuesta 1: Esta propuesta consta de cuchillas móviles mediante dos ejes de rotación, en donde el giro de la primera se da por medio de un par de poleas y bandas, en cambio el giro de la segunda se da por medio de una banda cruzada para invertir el giro, de esta forma garantizar el giro contrario de ambas cuchillas y así propiciar la trituración. Esto se logra aprecias en la figura 2.

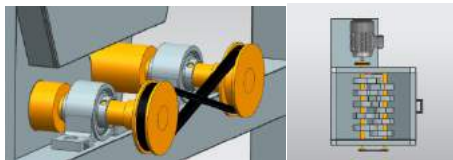


Figura 2. Propuesta 1

Propuesta 2: En esta propuesta se quitó un eje de rotación, dejando solamente el que es transmitido por medio del motor y las poleas de entrada. Para sustituir el segundo eje de rotación se decidió colocar chuchillas fijas, las cuales se soldarán y harán que se de el choche entre las cuchillas móviles con las fijas para asegurar el triturado de los desechos orgánicos.

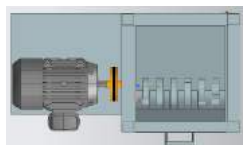


Figura 3. Propuesta 2

*C. Diseño de maquina en aspecto mecánico y estructural*

Con el fin de evaluar si la estructura definida es la correcta para soportar las cargas a las cuales estará sometida, se realizaron una serie de análisis estructurales o de esfuerzos en el software NX 10.0 de Siemens en su apartado de análisis de elementos finitos. El primer análisis realizado fue en la parte superior, donde va colocada la tolva, esto para indicar si la estructura será capaz de soportar el peso de la tolva. Se malló a 0.545 in. Se aplico una fuerza de 72.1373N correspondiente a la tolva, la cual es dividida en 4 partes para que el peso de las cargas sea distribuido uniformemente en la estructura dando valor a las fuerzas de 18.034325N.



Figura 4. Análisis de estructura

De igual forma se realizó un análisis estructural a los cortadores, esto para validar que estas sean capaces de triturar los desechos orgánicos, por lo que se consideró realizar dicho análisis sobre un hueso de aguacate ya que será de los desechos que oponen una mayor resistencia a la trituración, esto tratándose de los RSU. Se aplico una fuerza de 438.3Lbf debido a que es la carga que opone un hueso de aguacate con respecto a la herramienta de corte según investigación. Dicha carga se aplicó en la punta del cortador como se muestra en la imagen, ya que es ahí donde se genera el contacto entre la herramienta de corte y el hueso del aguacate. También se colocó una restricción fija en la perforación del cortador, ya que ahí va soldada al eje que transmite movimiento giratorio.



Figura 5. Análisis de cortador

*D. Diseño y fabricación de cortadores para máquina trituradora*

Para el diseño y fabricación de herramientas de corte, se establecieron tres tipos de cortadores, las móviles y dos fijas (la frontal a la móvil y la que funge como separador), estas herramientas de corte fueron diseñadas en el software de NX de Siemens.



Figura 6. Diseño de cortadores

En cuanto a la fabricación de las herramientas de corte es importante mencionar que fueron maquinadas en una waterjet, por medio de la generación de un archivo dxf previamente elaborado en el software NX de siemens. De igual forma se les dio un galvanizado para prevenir oxidación por medio de variantes climáticas y propias de los desechos orgánicos.



Figura 7. Maquinado en waterjet



Figura 8. Cortadores maquinados y galvanizados



Figura 12. Base para motor

**E. Construcción y montaje de máquina trituradora**

En el siguiente apartado se describe el desarrollo de la parte de la estructura de la máquina trituradora de desechos orgánicos el cual se optó por utilizar material ptr. Se cortaron 4 tubos de ptr de 59” que fueron unidos mediante soldadura 6013 para realizar los empates de la base de la estructura.



Figura 9. Estructura general

Para la base de soporte se cortaron 2 tubos de ptr de 16” y 2 tubos de ptr de 14”.



Figura 10. Travesaños de soporte

Para la parte superior de la estructura se cortaron 2 tubos de ptr de 21” y 2 tubos de ptr de 16”.



Figura 11. Travesaños parte superior

Para la base del motor se cortaron 2 tubos de ptr 13”, 2 tubos de ptr de 16” y una lámina de 20” x 17 1/2”.

Se realizó la construcción del cajón depositario de desechos orgánicos, el cual se desarrolló de lámina calibre 20 y bajo las dimensiones que se muestran en el plano de construcción.

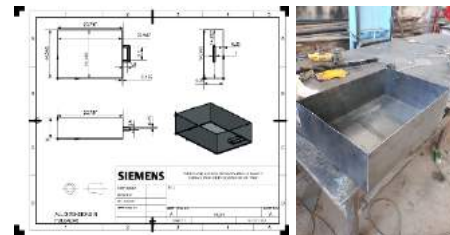


Figura 13. Fabricación de cajón

Para la construcción de la tolva, esta se realizó con material de lámina calibre 20, con el ángulo necesario para que empate con la caída de las cuchillas de corte y con las aperturas necesarias y dimensionadas correctamente, ya que será por ahí donde pase el giro de las cuchillas de corte. La tolva se mandó construir bajo el siguiente plano de taller.

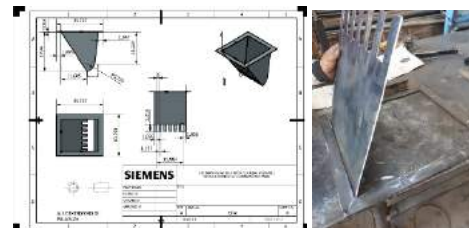


Figura 14. Fabricación de tolva

Se adquirieron diferentes dispositivos mecánicos, tales como flechas, bandas, poleas.

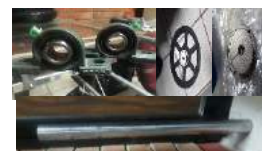


Figura 15. Elementos mecánicos

Se procedió al montaje.

*F. Control de motor por medio de variador de frecuencia vectorial*

Para variar la velocidad de giro del motor se compró un variador vectorial de 1Hp de 220VCA de la marca Omron, el cual se programó para efectuar el corte por medio de las cuchillas.



Figura 16. Variador de frecuencia

también se adquirió un gabinete metálico de 100X80X30 cm, esto para el acoplamiento de los elementos eléctricos que conformaran al sistema.



Figura 17. Gabinete con elementos eléctricos

*G. Instrumentación del ambiente controlado.*

Para la instrumentación del ambiente controlado se hizo uso de sensores de temperatura y humedad, los cuales fueron implementados en el cajón repositorio de desechos orgánicos, para que al momento de estar lleno el cajón con los desechos, estos manden retroalimentación a una pantalla táctil con la información correspondiente a las variables de temperatura y humedad que presentan los desechos orgánicos ya triturados. Es importante mencionar que la programación fue realizada en la plataforma Arduino.



Figura 18. Instrumentación

*H. Monitores de variables medidas.*

Para la monitorización de variables medidas se hizo uso de un microordenador raspberry Pi3 B+, así como una pantalla touch de 5 pulgadas y el enlace a un Arduino. Se genero una interfaz gráfica para estar monitoreando las variables arrojadas por los sensores.



Figura 19. Programación pantalla táctil

**III. RESULTADOS**

Los resultados obtenidos dentro de esta investigación se clasifican en: el diseño de la maquina trituradora de desechos orgánicos, la validación de ingeniería por medio de análisis de elementos finitos, donde se establece que la maquina es capaz de soportar las cargas a las cuales está sujeta, la construcción física de la maquina trituradora, la instrumentación del ambiente controlado y el monitoreo de las variables medidas.

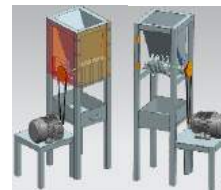


Figura 20. Diseño de máquina trituradora

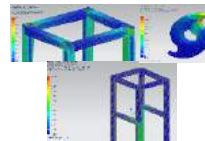


Figura 21. Validación de análisis de ingeniería



Figura 22. Construcción de máquina trituradora



Figura 23. Instrumentación

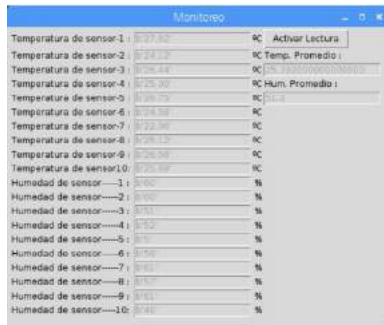


Figura 24. Monitoreo de variables

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El aprovechamiento de los residuos orgánicos en el ITSL se ha vuelto un tema fundamental para promover la sustentabilidad en cuanto al uso de la vermicomposta como fertilizante orgánico. El aprovechamiento de estos residuos se facilita con la existencia de una máquina trituradora que dé un tratamiento previo al alimento y que pueda ser aprovechado de manera más eficiente por las lombrices, evitando además la presencia de plagas que afecten la producción.

El diseño de la máquina resulta idóneo ya que se usaron los diseños de elementos de máquina adecuados, tales como bandas, poleas, inversores de giro y materiales acorde al tratamiento de materiales orgánicos, y se concluye que la posterior construcción y funcionamiento de la máquina resulta factible para que las partículas orgánicas sean trituradas mediante los discos de corte propuestos y diseñados en esta investigación. En cuanto al sistema de sensado este resulta ser de gran aporte puesto que triturados los desechos orgánicos presentaran la medición de ciertas variables como temperatura y humedad, teniendo cierto valor estas variables se puede tomar la decisión de aumentar o no la temperatura o humedad donde se está dando la descomposición de los desechos orgánicos con la ayuda de la lombriz californiana.

El tener un control automático con ayuda del variador de frecuencia fue de gran ayuda ya que se puede programar la velocidad del giro de las cuchillas dependiendo de lo que se quiera triturar.

Dentro de las recomendaciones que se hacen para trabajos posteriores, es pasar de una máquina de origen semi automático a una automatizada completamente que funcione por medio de bandas transportadoras que trasladen el material (desechos orgánicos) a la tolva.

#### V. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por proporcionar todos los recursos necesarios para la realización del presente trabajo, a través de la subdirección

de Investigación y Desarrollo Tecnológico del mismo instituto, al igual que a la División de Ingeniería En Sistemas Automotrices y a la división de posgrado.

#### VI. REFERENCIAS

[1] Ambus, P., Kure, L. K. and Jensen, E. S. 2002. Gross N transformation rates after application of household compost or domestic sewage sludge to agricultural soil. *Agronomie*, 22: 723- 730.

[2] Aquina Fajardo, L. (2011). *dialnet.uniroja.es*. Objeto de <https://dialnet.uniroja.es/descarga/articulo/5210328.pdf>

[3] Cegarra, J. Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del Compost., 1996. En *Memorias del curso master internacional de aprovechamiento de Residuos Orgánicos*. Palmira.

[4] Couto, I., Hernández, A., Sarabia, C., 2012. La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en Juárez: lecciones innovadoras para otros municipios. *Revista Pueblos y Fronteras digital*. 178-2019.

[5] Góngora, J.P., El reciclaje en México. 2018. *Comercio Exterior*., 64: 2-5

[6] Hernández Martínez, C., & Pinto Maquilon, E. 2007. *tangara.uis.edu.co*. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2007/122733.pdf>

[7] Hernández, J. Diseño de un prototipo de triturador de desechos orgánicos. 2015. Tesis para obtener título de Ingeniero Mecánico. UNAM.

[8] Industrias I. (2018) (1st ed., pp. 25-26). Buenos Aires. Retrieved from [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05\\_Apunte%20Trituracio n.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracio n.pdf)

[9] López, Piedad & A Valencia, Pady. 2018. Recuperación De Nutrientes En Fase Sólida A Traves Del Compostaje.

[10] Minería química. (2018) (1st ed., pp. 25-27). Madrir. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=29xW6aOhcXgC&pg=RA1PA25&dq=tipos+de+trituradoras&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjQkujo0qbZAhUX3GMKHapODaQQ6AEIKzAB#v=onepage&q&f=false>

[11] Moreno, H., Quintana, M, Rivas, R. 2015., Máquina trituradora de desperdicios domésticos y la preservación del medio ambiente en las viviendas familiares, Facultad de Tecnología. *Revista Científica Educación, Tecnología e Innovación*. 27-35.

[12] Niño, A. (2005). Tesis: “Compostación acelerada de la pollinaza mediante microorganismos aerobios para su utilización como abono orgánico”

#### VII. BIOGRAFÍA



**Vaquera González Efraín** nacido en Gómez Palacio Durango el 3 de octubre de 1989. Cuenta con un estudio de posgrado en Maestría en Ingeniería Mecatrónica realizado en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad Lerdo Durango, México. Así como una ingeniería en Tecnologías de manufactura Industrial.

El actualmente trabaja en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo localizado en la ciudad de Lerdo Durango, México como Docente e investigador, teniendo como temas de interés el diseño industrial, la automatización y la mecatrónica. Él Ing. Vaquera fue campeón nacional del campeonato de Vex Robotics en el área de programación autónoma celebrado en la ciudad de Tapachula, Chiapas,