

Diseño y validación de una clasificadora mecánica para residuos orgánicos municipales

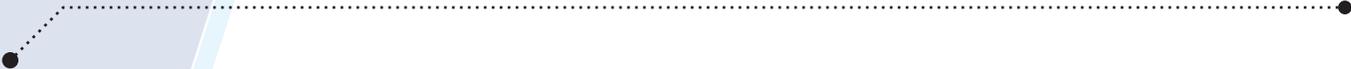
Design and validation of a mechanical
sorter for municipal organic wastes

Concepção e validação de um classificador
mecânico para resíduos orgânicos urbanos

Torres-Payoma Freddy^a
Vega-Velásquez Brayan^a
Ramírez-Alvarado Rafael^a
Hernández-Aldana Fayardo^b
García-Guarín Julián.

^a Escuela de Ciencias Básicas, tecnología e
Ingeniería - ECBTI, Grupo de Investigación BIOTICS,
Universidad Nacional Abierta y a Distancia-
UNAD, E- mail: freddy.torres@unad.edu.co

^b Servicio Nacional de aprendizaje –
SENA- Tecnoparque Nodo Cazuca.

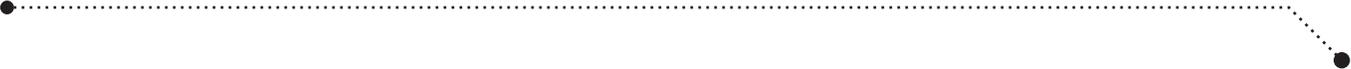


Resumen— El incremento poblacional ha ocasionado un aumento en la emisión de metano y dióxido de carbono, siendo gases causantes del impacto negativo del efecto invernadero, en mayor volumen en comparación con otro tipo de emisiones contaminantes. El aumento de residuos orgánicos ha ocasionado un detrimento en el ambiente al ser los causantes en gran medida de las emisiones de gas metano. Por otra parte, uno de los grandes retos de la ingeniería actual consiste en generar energías limpias que suplan las diferentes necesidades de la demanda de fuentes no renovables de origen fósil, resaltando el uso de biogás producido por la descomposición anaeróbica bacteriana. Es por ello que, el presente trabajo evidencia la segunda fase de investigación, el cual consiste en crear un dispositivo mecánico de clasificación de residuos orgánicos para mitigar el impacto ambiental en el municipio de Sopó Cundinamarca, para ello se utilizan tres momentos de recolección de materia orgánica a través de una filtración inicial, una banda transportadora que servirá como puente conector de una máquina de clasificación de residuos orgánicos a escala usando redes neuronales y técnicas de reconocimiento de imágenes a un selector de materia orgánica e inorgánica que localizará las partículas en lugares diferentes.

Palabras clave— residuos orgánicos, clasificación, descomposición anaeróbica, máquina de clasificación.

Abstract— The population increase has caused an increase in the emission of methane and carbon dioxide, being gases that cause the negative impact of the greenhouse effect, in greater volume compared to other types of polluting emissions. The increase in organic waste has been detrimental to the environment as it is the main cause of methane gas emissions. On the other hand, one of the great challenges of current engineering is to generate clean energies that meet the different needs of the demand of non-renewable sources of fossil origin, highlighting the use of biogas produced by bacterial anaerobic decomposition. That is why, the present work evidences the second phase of research, which consists of creating a mechanical device for organic waste classification to mitigate the environmental impact in the municipality of Sopó Cundinamarca, for this purpose three moments of organic matter collection are used through an initial filtration, a conveyor belt that will serve as a connecting bridge of an organic waste classification machine at scale using neural networks and image recognition techniques to a selector of organic and inorganic matter that will locate the particles in different places.

Keywords— organic waste, sorting, anaerobic decomposition, sorting machine.



Resumo— O aumento populacional provocou um aumento na emissão de metano e dióxido de carbono, sendo os gases que causam o impacto negativo do efeito de estufa, em maior volume em comparação com outros tipos de emissões poluentes. O aumento dos resíduos orgânicos tem sido prejudicial ao ambiente, uma vez que é a principal causa das emissões de gás metano. Por outro lado, um dos grandes desafios da engenharia actual é gerar energias limpas que satisfaçam as diferentes necessidades da procura de fontes não renováveis de origem fóssil, destacando a utilização de biogás produzido por decomposição anaeróbica bacteriana. É por isso que o presente trabalho evidencia a segunda fase de investigação, que consiste em criar um dispositivo mecânico de classificação de resíduos orgânicos para mitigar o impacto ambiental no município de Sopó Cundinamarca, para este fim são utilizados três momentos de recolha de matéria orgânica através de uma filtragem inicial, uma correia transportadora que servirá de ponte de ligação de uma máquina de classificação de resíduos orgânicos à escala utilizando redes neuronais e técnicas de reconhecimento de imagem a um selector de matéria orgânica e inorgânica que localizará as partículas em diferentes locais.

Palavras chave— resíduos orgânicos, triagem, decomposição anaeróbica, máquina de triagem.

I. INTRODUCCION

El incremento de la población ha repercutido directamente en el desarrollo urbano e industrial, esta situación a su vez a generando un aumento del volumen de materia y productos que se consideran como basura o residuos municipales. Estos residuos deben ser reducidos, ciclados o recirculados con el fin de disminuir su impacto en los diferentes ecosistemas con el fin de evitar una mayor afectación al ambiente [1]. Por otra parte, a nivel mundial, se definió la necesidad de aumentar las fuentes energéticas renovables y disminuir el uso de combustibles fósiles extinguidos, contaminantes y algunos de ellos, de uso ineficiente [2], entre tanto, es relevante mencionar cómo la gestión eficiente de residuos ha dado origen a la creación de políticas públicas a escala mundial, debido a que se los residuos se han considerado como un problema ingenieril que se debe resolver con el fin de evitar efectos negativos en la economía [3]. En este caso el problema de estudio se focalizo en la producción de residuos orgánicos municipales (ROM) y su aumento acelerado ocasionado procesos antrópicos que se viene desarrollado de forma no sostenible. De esta forma consideramos que la identificación de residuos con alto potencial energético y los métodos para incrementar la eficiencia en la obtención de su poder calorífico corresponden a una alternativa fundamental para la sostenibilidad de los sistemas productivos humanos.

En contexto, en el caso de Latinoamérica, la generación de basura por día se encuentra en el orden de 541.000 Toneladas (aproximadamente el 10% del total en el planeta) [4]. En la atmósfera, los principales gases de efecto invernadero son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), considerando que, la forma de reducir el impacto ambiental es disminuir considerablemente su emisión [5].

Con el objetivo de disminuir el impacto ambiental generado por las emisiones de CH₄ y CO₂, se pueden generar procesos de revalorización de la materia orgánica, no obstante, el proceso de clasificarse jugara un papel fundamental para la identificación de las fracciones que pueden reutilizarse y/o que definitivamente deben culminar en ciclos de compostaje.

Una de las formas más investigadas es la producción de biogás en la descomposición anaeróbica de materia y su aprovechamiento como energía de uso final [6] de hecho se ha identificado el alto potencial para la consecución de hidrogeno verde a partir del gas metano originado en el proceso [7] [8], [9] [10] y [11], para lograr este objetivo, es indispensable contar con un sistema de clasificación de residuos, pues, en la recolección suelen existir fragmentos de materia inorgánica u otros elementos no aprovechables en el proceso de materia orgánica.

El proyecto de investigación en el cual se vincula la propuesta de investigación consiste en la creación de un sistema

de clasificación de residuos orgánicos mediante el uso de redes neuronales y aprendizaje automático en el municipio de Sopó Cundinamarca, en convenio con la Alcaldía Municipal de Sopó y la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Actualmente, existen diversos procesos de clasificación de residuos orgánicos, el lector si desea podrá investigar a profundidad las investigaciones de [12] [13] [14] [15] y [16] que suplen como antecedente del mecanismo que se presenta en esta investigación. Para cumplir el objetivo final, es necesario diseñar un prototipo mecánico funcional que supla las necesidades electrónicas para el reconocimiento de imágenes, en el capítulo II, se presentan los avances de la investigación en el proceso de ensamble mecánico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del experimento se realizó en la unidad tecnológicas del SENA Tecnoparque, Nodo Cazucá Soacha-Cundinamarca. El montaje experimental fue modelado en CAD SolidWorks, por su parte el prototipo se desarrolló en tres fases y cuenta con cuatro componentes esenciales para el proceso de separación de residuos orgánicos, cada componente dispone de una distribución electrónica para los procesos de recepción, reconocimiento y separación de los residuos orgánicos e inorgánicos. El objetivo del desarrollo, construcción y validación del sistema para el prototipo fue separar los residuos considerados como “*de interés y/o de potencial uso*”

provenientes de una muestra de residuos orgánicos municipales convencional.

A continuación, se describen las fases y componentes del sistema:

A) Fase 1. Conceptualización y Diseño:

Durante el desarrollo de esta fase, se construyó una revisión sistemática titulada “PRISMA systematic review of solid waste classification by machine Learning”, publicación actualmente sometida en la primera revista creada desde una secretaria de ciencia, tecnología e innovación regional en Cundinamarca Rev. INNOVEST. Este proceso permitió definir los mejores componentes y estructura básica funcional para el posterior diseño en la herramienta CAD SolidWorks.

B) Fase 2. Construcción física del prototipo

a) Primer componente

Corresponde a una banda transportadora de 23 cm x 95 cm, la cual se desplaza a una velocidad de 13 m.s-1 y la masa máxima que soporta la banda es de 3 kg.

b) Segundo componente

Es un cilíndrico hueco, con radio de 31,4 cm, y de 43 cm de longitud, que servirá como dispositivo de alineación y conducción de los residuos hacia la banda transportadora.

c) Tercer componente

Corresponde al sistema de separación de residuos por reconocimiento de imagen, el sistema está integrado a un motor de 110V monofásico de 600 rpm hasta los 1600 rpm a 0.65A, este motor tiene como funciones principales activar la banda transportadora de residuos y el motorreductor de 12V de 500 rpm a 1A.

d) Cuarto componente

Este componente es fundamental en el proceso, debido a que corresponde al sistema y programación para la identificación de los residuos mediante sensores espectrales

III. MATERIALES

Los materiales empleados para la construcción de la estructura del prototipo fueron:

- Acrílico
- Madera
- Tubos acerados
- Ejes de aluminio

Por su parte los materiales electrónicos seleccionados para el proceso fueron:

- Raspberry Pi 3 Modelo B
- Puente H L298N
- Módulo de Cámara
- Relay de estado Solido
- Control de Relay 5V

- Motor 4IK30GN-AF de 110V
- Motorreductor 2 wips 393 de 500 rpm
- Modulo cámara VGA Cmos de 5Mp + 1080p 720p

IV. RESULTADOS

Para el análisis de los resultados obtenidos se analizarán las 3 fases de construcción y los 4 componentes definidos en la metodología de la investigación planteada.

A) Resultados Fase 1. Conceptualización y Diseño

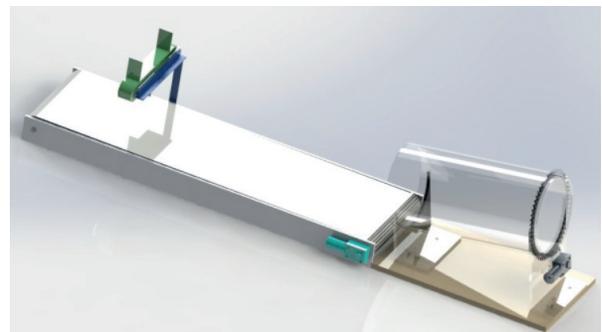


Fig. 1. Diseño del sistema mecánico de clasificación modelado den CAD SolidWorks. Fuente: autores.

B) Fase 2. Construcción física del prototipo

1) Resultados para el primer componente

Para el correcto funcionamiento de la clasificadora se realizó un proceso de planificación mediante diagrama de conexiones como se presenta en la Fig. 2. En el esquema se puede observar la configuración para cada uno de los componentes y el ajuste empleado para cada componente electrónico del sistema.

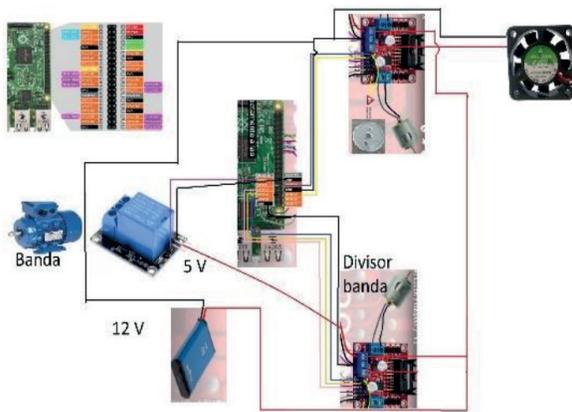


Fig. 2. Diagrama electrónico del prototipo de clasificadora, mecánica de residuos orgánicos municipales. Fuente: Autores.

2) Resultados para el segundo componente

Después de las validaciones del prototipo en el diseño del software, la pieza cilíndrica se ajusta sobre una base de madera de longitud conocida de 43 cm, realizando el empalme ergonómico sobre la pendiente estimada de 1,3 cm, como se aprecia en la Fig. 3.



Fig. 3. Tubo de acople para la alineación de los residuos.

3) Resultados para el tercer componente

Para el proceso de construcción de la banda, se determinó que la fuerza centrífuga relativa o fuerza g (RCF) necesaria para desplazar un gramo de materia sólida a lo largo del dispositivo equivale a 1600 rpm, por esta razón se seleccionó un motor de 110V a 0.65A de 1600 rpm (Fig. 4.).



Fig. 4. Banda transportadora. Fuente: autores.

Finalmente, la disposición para el sistema de separación mecánico de residuos orgánicos municipales se accionó mediante un motorreductor 2 wips 393 de 500 rpm (Fig. 5.).



Fig. 5. Sistema mecánico para la separación de residuos orgánicos municipales. Fuente: autores.

Es importante mencionar otras características esenciales para la operación del mecanismo de separación, como lo son: a) la inductancia de corriente mínima estimada en 160V, b) la inductancia máxima estimada de 240V, c) la fuerza de mínima de 5N y d) una máxima de 15N.

4) Resultados cuarto componente

El análisis de las imágenes se realizó mediante un acople por programación y el módulo de cámara de 5Mp + 1080p x 720p, el proceso se realizó mediante programación orientada a objetos por medio de identificación de formas y espectros, empleando como herramienta de aprendizaje de maquina la programación de inteligencia artificial, (Fig. 6.). Es importante mencionar que este sistema se actualizará en próximos estudios a una red neuronal convolucional que permitirá una detección específica de residuos con mayor precisión [12][13][15].

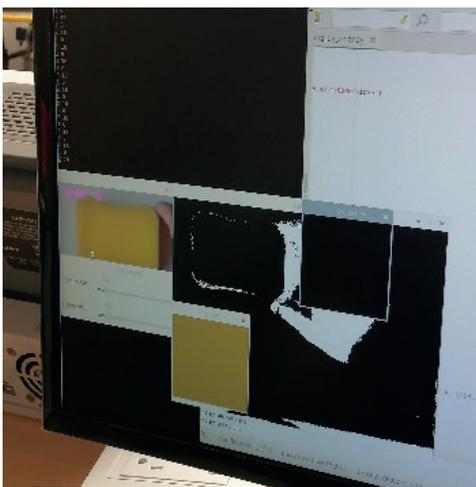


Fig. 6. Análisis de imagen del prototipo clasificadora por medio de color y formas.

El método empleado para la detección de los residuos utiliza la escala de colores RGB, esta escala permite la identificación de los objetos que son clasificados. El sistema toma como criterio de decisión si la variedad de desechos de residuos orgánicos es grande, automáticamente se amplía el rango de clasificación para identificar de forma correcta (Fig. 7.).

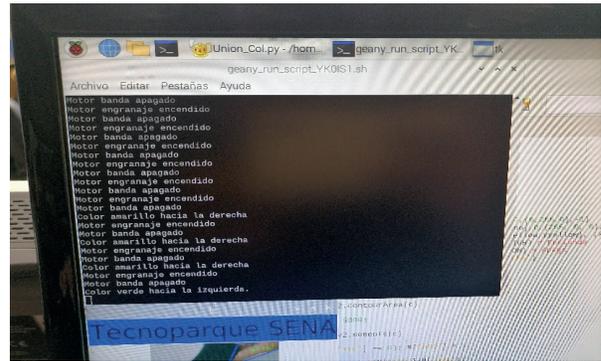


Fig. 7. Muestreo de datos capturados por el prototipo de clasificadora de residuos orgánicos.

V. DISCUSIÓN

La existencia de una megatendencia relacionada con el estudio y diseño de procesos automatizados a nivel industrial enfocado en la separación de residuos plásticos [17] a limitado el desarrollo de estudios y su aplicación para la separación de materiales orgánicos e inorgánicos diferentes a los convencionales para la industria. No obstante el impacto negativo sobre el ambiente ocasionado por los residuos orgánicos y su alto porcentaje en la composición de los residuos que llegan a los rellenos sanitarios, activa la necesidad de aportar alternativas que permitan mitigar la generación de estos residuos

no aprovechables y/o fomentar nuevos procesos que generen un cambio en la forma de actuar y pensar de la sociedad, de esta forma durante el desarrollo de nuestro sistema de clasificación de residuos orgánicos, se identificaron excelentes referentes del proceso como los desarrollados por [16] y [18], quienes desarrollaron respectivamente un sistema computacional para la separación de residuos orgánicos e inorgánicos con una precisión máxima del 94% y un modelado mixto para procesos de clasificación de residuos orgánicos para la posible recuperación de materiales de potencial uso, combinando procesos mecánicos y biológicos, que corresponden a un escenario complementario al presente estudio, lo anterior dada la importancia en la consecución de fuentes alternas de energía como lo son el biogás y el hidrogeno verde, estas dos últimas se pueden generar de forma eficiente mediante el compostaje de materia orgánica o la fermentación anaeróbica de la misma [10][11].

Un aspecto relevante para este estudio es la búsqueda de una fuente alternativa para la operativización del sistema, esta puede ser mediada por energía solar fotovoltaica como se propone en [19], de hecho, para etapas posteriores de la investigación se tratará de identificar un acople entre un sistema de cogeneración eléctrica y térmica que se viene desarrollando por [20] y el sistema de clasificación con el fin de lograr un sistema autónomo operado en un alto porcentaje por energías alternativas.

Se vislumbra de esta forma la posibilidad de prestar servicios ambientales relacionados con la clasificación de residuos orgánicos y normalización de materias primas recirculadas, esta actividad puede ser escalable a nivel nacional reduciendo los costos asociados a la importación de equipos de características similares que pueden no contar con la ventaja de ser personalizables o ajustables de acuerdo a las necesidades de la composición de los residuos orgánicos de cada región o según la necesidad establecida.

VI. CONCLUSIONES

El sistema diseñado opero de forma autónoma alimentado por corriente eléctrica de 110 V, durante el proceso de clasificación, siendo accionado de manera eficaz durante el periodo de tiempo de prueba transcurrido.

Este sistema funciona con una fuerza mínima de 5N por el movimiento generado de la banda transportadora del residuo para ser clasificado dentro del proceso, mediante el proceso inteligente de clasificación del residuo que inicialmente puede soportar un flujo de 3 kg por cada 5 segundos.

El prototipo de clasificadora de residuos orgánicos municipales, se ideó con la finalidad de crear procesos inteligentes y novedosos que permitan avanzar en el diseño de mecanismos que aporten al desarrollo sostenible.

El sistema se estructuró de forma tal que su funcionamiento es idóneo para realizar una clasificación automatizada que permita obtener residuos orgánicos ricos en potasio y otros minerales, considerándose como un sistema ejemplar para la obtención de materias primas a partir de residuos orgánicos municipales.

Este proyecto busca estimular la creación de nuevas herramientas mecánicas – automatizadas para la generación de materias primas para aportar posibles soluciones a las eventuales crisis energéticas este proceso adicionalmente permitió establecer nuevos conocimientos relacionados con programación, robótica aplicada y programación inteligente orientada a objetos.

VII. AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo agradece a la secretaria de Ciencia Tecnología e Innovación de la Alcaldía Municipal de Sopó, al Tecnoparaje – SENA nodo Cazuca y a la Universidad nacional Abierta y a Distancia por la cooperación y financiamiento del proceso de investigación mediante el proyecto PG 3102 ECBTI 2022.

REFERENCIAS

[1] Alvarino, C. R. (2005). Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36(1), 045-053.

[2] Rodríguez, D. (2011). *Gestión organizacional*. Ediciones UC.

[3] Barrena, M., Gamarra, O., Maicelo, J. «Producción de biogás en laboratorio a partir de residuos domésticos y ganaderos y su escalamiento». *Revista Aporte Santiaguino*, n.o 1, 2010, pp. 86-92.

[4] Villemain, C. (2018). *Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina*. Naciones Unidas. Recuperado de Naciones Unidas website: <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>.

[5] Martínez, A. L., Montecinos, C. C., Rasillo, L. C., & de Cortázar, A. L. G. CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DIFUSAS MEDIANTE CAMARA DE FLUJO EN UN VERTEDERO DE RESIDUOS URBANOS.

[6] Asís, H., Dopazo, F., & Gianoglio, P. (2006). Producción de energía a partir de biogás obtenido de residuos sólidos urbanos.

[7] Minutillo, M., Perna, A., & Sorce, A. (2020). Plantas de producción de hidrógeno verde mediante vapor de biogás y procesos de reformado autotérmico: análisis energético y exergético. *Energía Aplicada*, 277, 115452. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115452>

[8] Kim, J., Qi, M., Kim, M., Lee, J., Lee, I., & Moon, I. (2022). Biogas reforming integrated with PEM electrolysis via oxygen storage process for green

- hydrogen production: From design to robust optimization. *Energy Conversion and Management*, 251, 115021. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115021>
- [9] Kumar, R., Kumar, A., & Pal, A. (2022). Overview of hydrogen production from biogas reforming: Technological advancement. *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.059>
- [10] Cabello, A., Mendiara, T., Abad, A., Izquierdo, M. T., & García-Labiano, F. (2022). Production of hydrogen by chemical looping reforming of methane and biogas using a reactive and durable Cu-based oxygen carrier. *Fuel*, 322, 124250. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124250>
- [11] Vidal-Barrero, F., Baena-Moreno, F. M., Preciado-Cárdenas, C., Villanueva-Perales, Á, & Reina, T. R. (2022). Hydrogen production from landfill biogas: Profitability analysis of a real case study. *Fuel*, 324, 124438.
- [12] Nnamoko, N., Barrowclough, J., & Procter, J. (2022). Solid Waste Image Classification Using Deep Convolutional Neural Network. *Infrastructures*, 7(4), 47.
- [13] Altikat, A. A. A. G. S., Gulbe, A., & Altikat, S. (2022). Intelligent solid waste classification using deep convolutional neural networks. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(3), 1285-1292.
- [14] Castañeda-Torres, S., & Rodríguez-Miranda, J. P. (March 01, 2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad Y Salud*, 19, 1, 116-125.
- [15] Toğaçar, M., Ergen, B., & Cömert, Z. (2020). Waste classification using AutoEncoder network with integrated feature selection method in convolutional neural network models. *Measurement*, 153, 107459.
- [16] Vo, A. H., Vo, M. T., & Le, T. (2019). A novel framework for trash classification using deep transfer learning. *IEEE Access*, 7, 178631-178639.
- [17] Lubongo, C., & Alexandridis, P. (2022). Assessment of Performance and Challenges in Use of Commercial Automated Sorting Technology for Plastic Waste. *Recycling*, 7(2), 11. <https://doi.org/10.3390/recycling7020011>
- [18] Tanguay-Rioux, F., Spreutels, L., Héroux, M., & Legros, R. (2022). Mixed modeling approach for mechanical sorting processes based on physical properties of municipal solid waste. *Waste Management*, 144, 533-542. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.025>
- [19] Borole, A. S., & Phadke, A. R. (2022). A Review on the Development of Solar Power Automatic Biodegradable Waste Sorter and Composter. *Smart Technologies for Energy, Environment*