

Transformando residuos vegetales en energía: desarrollo y automatización de un prototipo automatizado para la producción de briquetas

Transforming plant waste into energy: development and optimization of an automated briquette-producing prototype

PhD. Francisco Ernesto Moreno García¹, Ing. John Jairo Ramírez Mateus¹,
Ing. Fátima Alejandra Tello Sierra¹, Ing. Brandon Steven Carvajal Paredes¹

¹ Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación en Microelectrónica Aplicada y Control - GIDMAC, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Correspondencia: femgarcia@ufps.edu.co

Recibido: 15 octubre 2023. **Aceptado:** 17 diciembre 2023. **Publicado:** 27 abril 2024.

Cómo citar: F. E. Moreno García, J. J. Ramírez Mateus, F. A. Tello Sierra, y B. S. Carvajal Paredes, «Transformando residuos vegetales en energía: desarrollo y automatización de un prototipo automatizado para la producción de briquetas», RCTA, vol. 1, n.º 43, pp. 119–124, abr. 2024.

Recuperado de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/2872>

Derechos de autor 2024 Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA).
Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Resumen: El proyecto presenta un innovador prototipo electromecánico destinado a valorizar residuos vegetales mediante la producción automatizada de briquetas. El estudio optimiza parámetros de presión y temperatura, utilizando dispositivos de control como inversores de frecuencia y resistencias eléctricas. La integración de la infraestructura de comunicación Modbus RTU garantiza procesos eficientes y monitorizados. El empleo de un PLC Koyo CLICK y una HMI facilita la ejecución fluida, sentando las bases para futuras innovaciones en generación de energía. La investigación subraya la importancia de la sostenibilidad energética y la reducción de la huella de carbono global mediante la gestión y utilización de biomasa. Los hallazgos destacan la eficacia del prototipo en transformar residuos en energía, optimizando los procesos para aumentar la eficiencia. Las conclusiones del estudio enfatizan el potencial de adopción generalizada de tecnologías similares para abordar desafíos ambientales y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos y la producción de energía.

Palabras clave: Prototipo electromecánico, producción automatizada, sostenibilidad energética, valorización de residuos.

Abstract: The project introduces an innovative electromechanical prototype aimed at valorizing vegetable waste through automated briquette production. The study optimizes pressure and temperature parameters, utilizing control devices such as frequency inverters and electric resistors. Integration of Modbus RTU communication infrastructure ensures efficient and monitored processes. Employing a Koyo CLICK PLC and an HMI facilitates smooth execution, laying groundwork for future energy generation innovations. The research underscores the importance of energy sustainability and reducing the global carbon footprint through biomass management and utilization. Findings highlight the

prototype's effectiveness in transforming waste into energy, optimizing processes for increased efficiency. Study conclusions emphasize the potential for widespread adoption of similar technologies to address environmental challenges and promote sustainable practices in waste management and energy production.

Keywords: Electromechanical prototype, automated production, energy sustainability, waste valorization.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la tecnología de briquetado en Colombia enfrenta desafíos pendientes de optimización. Sin embargo, la urgencia de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y combatir el cambio climático ha generado interés en la biomasa como fuente sostenible de calor y energía [1]. Un problema concurrente es la acumulación de desechos agrícolas y forestales que, en lugar de ser reutilizados, contribuyen a la contaminación [2].

Dentro del espectro de las energías renovables, la biomasa destaca debido a su amplia disponibilidad y su capacidad para ofrecer beneficios ecológicos y socioeconómicos [3]. En particular, los residuos vegetales tienen un alto potencial energético, especialmente cuando se transforman en briquetas. Estas briquetas, al ser incineradas, liberan calor debido a sus propiedades térmicas adquiridas durante el proceso de compactación.

El briquetado, es una técnica que compacta residuos agrícolas, con o sin un agente aglutinante, produciendo estructuras sólidas y densas mediante la aplicación de presión. A pesar de los evidentes beneficios de las briquetas como sustitutos de la madera, limitaciones en la maquinaria y transferencia tecnológica en muchos países en desarrollo han obstaculizado su adopción a gran escala [4].

Ante este desafío, este estudio propone el desarrollo de un prototipo automatizado para el briquetado de residuos vegetales, empleando el protocolo Modbus RTU. El propósito de este estudio es establecer un punto de partida para investigaciones futuras sobre generación de energía mediante biocombustibles económicos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Residuos vegetales como fuente de energía

Según Romero [5] “Con el nombre de biomasa se designa a un conjunto heterogéneo de materias

orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza y composición, que puede emplearse para obtener energía”.

Por otro lado, los residuos vegetales, producto principal de las actividades agrícolas y forestales, han sido tradicionalmente subutilizados, a menudo siendo descartados o utilizados para compostaje [6]. Sin embargo, en la era contemporánea de la sostenibilidad, estos residuos han atraído la atención por su potencial como fuente de energía renovable. Por otro parte, se destaca que el aprovechamiento energético de estos desechos puede ser una respuesta viable a la creciente demanda de fuentes de energía sostenibles y reducción del impacto ambiental asociado con el uso de combustibles fósiles. [17][18]

2.2. Briquetas: compactación y potencial energético

Las briquetas representan una innovadora solución para convertir los residuos vegetales en combustible [7]. Este tipo de biomasa sólida es el resultado de un proceso de densificación y se compone principalmente de materia orgánica de origen vegetal, proveniente de diversas fuentes como la agricultura, residuos industriales, industrias de alimentos, entre otras, según indica Ramírez [8]. Su proceso de fabricación, que implica compactación y secado, otorga a las briquetas una densidad y eficiencia energética superiores en comparación con el material en su estado original. Este enfoque no solo ofrece una alternativa sostenible para el aprovechamiento de los residuos vegetales, sino que también contribuye significativamente a la mitigación de la contaminación ambiental y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles [19][20].

2.3. Proceso de briquetado y su relevancia

El briquetado representa el proceso crucial mediante el cual los residuos vegetales se convierten en briquetas, una etapa esencial dentro de la fabricación de estas. Como menciona en varios estudios [9], [10], [11] "El briquetado es la piedra

angular en el ciclo de producción de briquetas". Este procedimiento implica diversas fases, que van desde la preparación y tratamiento del material base hasta su compactación en formas específicas. La estandarización y optimización de este proceso resultan fundamentales para garantizar la calidad y eficiencia energética de las briquetas generadas.

2.4. Automatización en la producción de briquetas

El crecimiento de la demanda de briquetas como fuente de energía ha impulsado la necesidad de automatizar su fabricación [12][13]. Mediante la implementación de tecnologías avanzadas, es viable optimizar y estandarizar el proceso, lo que resulta en un aumento significativo de la productividad y asegura una consistencia en la calidad del producto final [14][15][16].

3. METODOLOGÍA

Dentro del contexto de este estudio, el proyecto se organiza en dos dimensiones fundamentales: la evolución del diseño y la completa automatización del proceso de briquetado. A continuación, se detallarán los componentes del prototipo a desarrollar junto con sus respectivas funciones operativas:

3.1. Unidad de Molienda

Esta sección se compone de varios elementos clave, entre ellos: una tolva, un motor equipado con una caja reductora que se encuentra vinculado a través de un acople de diseño tipo araña, complementado con un mecanismo de tornillo sin fin y una transmisión por correa (ver Fig.2).

3.1.1. Tolva:

Es un compartimento o contenedor de forma generalmente cónica o piramidal. Sirve para almacenar materiales en bruto (como granos, polvos, etc.) y guiarlos hacia el sistema de molienda gracias a la gravedad.

3.1.2. Motor con caja reductora:

Un motor convierte la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo que las partes móviles de la máquina funcionen. La caja reductora, por otro lado, es un mecanismo que se acopla al motor para disminuir la velocidad de rotación. Esto es útil en

aplicaciones donde se necesita un giro más lento, pero con mayor fuerza o torque.

3.1.3. Acople tipo araña:

Es un tipo de conexión entre dos ejes rotativos que permite la transmisión de movimiento. Se denomina "tipo araña" porque su diseño, que suele incluir elementos elásticos que se asemejan a patas, permite absorber vibraciones y desalineaciones entre los ejes conectados.

3.1.4. Tornillo sin fin:

Es un tipo de engranaje que consiste en un tornillo (que gira) y se engrana con otro engranaje, generalmente denominado rueda helicoidal. El tornillo sin fin permite una transmisión suave y puede cambiar la dirección de la rotación. Es común en sistemas donde se necesita reducir la velocidad y aumentar el torque.

3.1.5. Transmisión por correa:

La transmisión por correa funciona bajo el principio de que cuando una correa se enrolla alrededor de una polea motriz y se pone en movimiento, esta transfiere movimiento y potencia a una o más poleas conducidas por fricción.

3.2. Unidad de Compactación

Esta unidad integra un motor trifásico que, a través de un mecanismo de engranajes con cadena dentada, impulsa el cilindro de compactación. El cilindro está equipado con una rampa de acero diseñada para dirigir y facilitar el traslado del material previamente triturado hacia la compactadora, tal como se visualiza en la figura 2. Al aplicar una fuerza específica, se compacta dicho material, resultando en la producción de briquetas al final del proceso.

3.3. Unidad de Secado

En esta etapa, el material previamente compactado es sometido a un proceso térmico mediante resistencias eléctricas tipo abrazadera. Esta exposición a temperaturas elevadas durante un periodo determinado garantiza la eliminación de la humedad y optimiza las propiedades físicas de las briquetas.

3.4. Automatización del Proceso

Para la gestión automatizada, se ha incorporado un tablero de control avanzado (ver Fig. 3). Este integra una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), un variador de frecuencia, un Controlador Lógico Programable (PLC), sensores de final de carrera, y un botón de paro de emergencia. Además, se han añadido elementos de protección específicos. Esta configuración permite regular meticulosamente la presión de compactación, ajustando la velocidad del motor asociado a la compactadora. De igual manera, se controla la temperatura, facilitando la realización de pruebas experimentales como resultado visualizado de la figura 4.

4. RESULTADOS

Se ha desarrollado un prototipo electromecánico a escala que ha sido automatizado mediante una interfaz de control, utilizando el protocolo de comunicaciones Modbus RTU. Esta interfaz ha integrado un Controlador Lógico Programable (PLC), una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), un variador de frecuencia y dos motores, uno de los cuales es trifásico. Con el objetivo de verificar y documentar su funcionalidad óptima, se realizaron pruebas experimentales.

La Figura 1 muestra la etapa inicial del diseño del prototipo. Posteriormente, la Figura 2 exhibe el prototipo completamente ensamblado, mientras que la Figura 3 destaca la interfaz de control integrada en el sistema.

Estos resultados demuestran la viabilidad y eficacia del prototipo desarrollado, así como la funcionalidad adecuada de la interfaz de control implementada. Los hallazgos de las pruebas experimentales respaldan la eficiencia del sistema en la automatización del proceso de briqueteado, sentando así las bases para su posible implementación en aplicaciones industriales a mayor escala.



Fig. 1. Etapa inicial en la construcción del prototipo.
 Fuente: Autores.



Fig. 2. Prototipo ensamblado.
 Fuente: Autores.

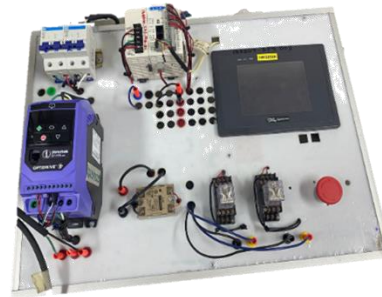


Fig. 3. Interfaz de control.
 Fuente: Autores.



Fig. 4. Prototipo terminado.
 Fuente: Autores.

5. CONCLUSIONES

Tras llevar a cabo pruebas operativas con una variedad de residuos vegetales, el sistema ha demostrado una preparación óptima, posicionándose como una herramienta prometedora para investigaciones experimentales subsecuentes.

La integración de una interfaz táctil al panel de control, con un diseño intuitivo y la inclusión de iconos claramente distinguibles, no solo mejora la

interacción del usuario, sino que también realza la eficiencia, productividad y confiabilidad del sistema.

Además, la configuración avanzada del prototipo garantiza un ajuste preciso de parámetros críticos como velocidad y temperatura, lo que se traduce en la producción de briquetas de excepcional calidad. Estas conclusiones respaldan la viabilidad y el potencial del sistema desarrollado para su aplicación en entornos industriales y de investigación, destacando su capacidad para contribuir significativamente a la optimización y eficiencia en la valorización de residuos vegetales mediante la producción automatizada de briquetas.

6. REFERENCIAS

- [1] W. Stelte, J. K. Holm, A. R. Sanadi, S. Barsberg, J. Ahrenfeldt, y U. B. Henriksen, «fuel pellets from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions», *fuel*, vol. 90, n.º 11, pp. 3285-3290, 2011, doi: 10.1016/j.fuel.2011.05.011.
- [2] C. Almache, «rediseño, construcción y automatización de una máquina para la fabricación de briquetas a partir de biomasa», riobamba, 2020. [en línea]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/14309>
- [3] M. Iftikhar, A. Asghar, N. Ramzan, B. Sajjadi, y W. Chen, *biomass densification : effect of cow dung on the physicochemical properties of wheat straw and rice husk based biomass pellets department of chemical engineering , university of engineering & technology , g . T . Road , lahore 54890 , pakistan department*. 2019.
- [4] O. F. Obi, r. Pecenka, y m. J. Clifford, «a review of biomass briquette binders and quality parameters», *energies*, vol. 15, n.º 7, pp. 1-22, 2022, doi: 10.3390/en15072426.
- [5] A. Romero salvador, «aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles», *cienc.exact.fis.nat. (esp)*, vol. 104, n.º 2, pp. 331-345, 2010, [en línea]. Disponible en: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- [6] J. L. Castillo tirado, M. A. Ospina alarcón, y p. A. Ortiz valencia, «horno cementero rotatorio: una revisión al control mediante sistemas expertos», *tecnológicas*, vol. 25, n.º 55, p. E2391, 2022, doi: 10.22430/22565337.2391.
- [7] E. J. Navarro y a. Pinzón, «fabricación de un combustible sólido de uso doméstico, mediante la compactación de residuos orgánicos, como prueba piloto para una posible alternativa de sustitución de la leña en la vereda cimarrona, municipio de guaduas - cundinamarca», cundinamarca, 2019. [en línea]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2820>
- [8] J. C. Paredes-rojas *et al.*, «design proposal of a prototype for sawdust pellet manufacturing through simulation», *adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2020, pp. 1-10, 2020, doi: 10.1155/2020/9565394.
- [9] A. Anukam, j. Berghel, g. Henrikson, s. Frodeson, y m. Ståhl, «a review of the mechanism of bonding in densified biomass pellets», *renew. Sustain. Energy rev.*, vol. 148, n.º may, p. 111249, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111249.
- [10] M. E. García alama, «diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín», piura, 2014. [en línea]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1829/ing_535.pdf?sequence=1
- [11] F. U. Silva, «optimización de la combustión de un horno de llama invertida con el diseño de un sistema de control», 2004.
- [12] M. V. Herrera García, "Diseño e Implementación de un Sistema para Automatización de Dos Hornos para Tratamiento Térmico pertenecientes al Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla del Departamento de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional", tesis de grado, Depto. Materiales, Esc. Politéc. Nac., Quito, Ecuador, 2015.
- [13] A. Lòpez, D. Santiago, & E. Hernández, (2018). *Diseño y construcción de un modelo de máquina para la fabricación de briquetas a partir de residuos de café (borra), para estudio de su poder calorífico como posible sustituto del carbón vegetal*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [14] R. A. Morales Araujo (2019). Diseño y cálculo de una máquina peletizadora para la producción de alimento animal. En *Progress in Retinal and Eye Research* (Vol. 561, Número 3). <https://repositorio.utp.edu.co/handle/11059/10504>

- [15] R. I. Muazu, & J. A. Stegemann, (2017). Biosolids and microalgae as alternative binders for biomass fuel briquetting. *Fuel*, 194, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.019>
- [16] E. J. Navarro, & A. Pinzón, (2019). *Fabricación de un combustible sólido de uso doméstico, mediante la compactación de residuos orgánicos, como prueba piloto para una posible alternativa de sustitución de la leña en la vereda Cimarrona, municipio de Guaduas - Cundinamarca.* <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2820>
- [17] O. Olugboji, M. Abolarin, M. Owolewa, & K. Ajani (2015). Design, Construction and Testing of a Poultry Feed Pellet Machine. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 22(4), 168-170. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v22p235>
- [18] O.A. Oyelaran, B. O. Bolaji, M. Waheed, & M. F. Adekunle, (2015). Performance evaluation of the effect of waste paper on groundnut shell briquette. *International Journal of Renewable Energy Development*, 4(2), 95-101. <https://doi.org/10.14710/ijred.4.2.95-101>
- [19] R. Huaman, M. M. Ramirez Sucño, & R. J. Surichaqui Unchupaico Cruz (2021). Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021. En *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10655#>.
- [20] F.A. Cruz, & J. S. Vargas,. (2020). *Diseño de una máquina para la fabricación de briquetas de posos de café.* <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7902>