

Fabricación de briquetas con aserrín y papel reciclado. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico*

Daimarelis Vivanco Roque

vivanco.daimarelis@gmail.com

Yanier Sánchez Hechavarría

rysan@uo.edu.cu

Maritza Mariño Cala

mmarino@uo.edu.cu

Universidad de Oriente

Resumen: Se informa las primeras experiencias llevadas a cabo en el Grupo de Investigación de Recuperación de Energía y materiales REM-UO de la Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial sobre el aprovechamiento energético de briquetas fabricadas con aserrín y papel de desecho como aglomerante. Se moldearon 24 briquetas de 10 cm de largo cada una aproximadamente. Se realizó el análisis inmediato de las muestras, obteniéndose valores bajos en cenizas y humedad lo que evita la generación de polvo y el retraso en el encendido del carbón. También se hizo la medición de su poder calorífico con la bomba de Mahler y luego se verificó este valor con fórmula de regresión lineal dado por bibliografía científica, lográndose valores muy próximos. Los excelentes resultados obtenidos en esta primera etapa alientan a la continuidad de los ensayos para optimizar la producción en la medida de lograr un producto de calidad, contribuir al cuidado del medio ambiente y brindar solución energética a equipos que funcionan con combustibles sólidos.

Palabras clave: briquetas; poder calorífico; aserrín; residuos; análisis inmediato; papel de desecho.

* Recibido: 30 marzo 2021/ Aceptado: 17 agosto 2021.

Manufacture of briquettes with sawdust and recycled paper. Immediate analysis and obtaining its calorific value

Abstract: The first experiences carried out in the REM-UO Energy and Materials Recovery Research Group of the Faculty of Mechanical and Industrial Engineering on the energy use of briquettes made with sawdust and waste paper as a binder are reported. 24 briquettes, each approximately 10 cm long, were molded. Immediate analysis of the samples was carried out, obtaining low values in ash and humidity, which avoids the generation of dust and the delay in the ignition of the coal. Its calorific power was also measured with the Mahler pump and then this value was verified with the linear regression formula given by scientific literature, obtaining very close values. The excellent results obtained in this first stage encourage the continuity of the tests to optimize production in order to achieve a quality product, contribute to the care of the environment and provide an energy solution to equipment that works with solid fuels.

Keywords: briquettes; calorific power; sawdust; waste; immediate analysis; waste paper.

Introducción

Los métodos industriales de briqueteado datan de la segunda parte del siglo XIX. Desde entonces el uso de las briquetas ha estado ligado a períodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la II Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera y otros desperdicios se encontraba muy extendida en Europa y América. Tras la guerra las briquetas fueron apartadas del mercado por los hidrocarburos baratos. De nuevo durante los períodos de alto precio de la energía, como los años 70 y principios de los 80, el uso de briquetas se revitaliza, principalmente en Escandinavia, los EEUU y Canadá. Actualmente la tendencia es producir briquetas de combustible de bajo coste económico, a partir de residuos no utilizados para otros usos de mayor valor (Sari & Trihadiningrum, 2019).

En la actualidad la utilización de los subproductos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, viruta, despuntes, entre otros, se almacena en grandes espacios físicos o se quema en calderas, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor. Una de las vías para utilizar los residuos madereros es convirtiéndolos en pellets o briquetas, conocidos también como biocombustibles sólidos densificados. Al fabricar y comercializar este tipo de combustibles, se disminuye considerablemente la cantidad de residuos, se reduce el volumen transportado, así como también se logra una combustión más limpia y eficiente. Las briquetas o bloques sólidos son combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas.

Es un producto 100 % ecológico y renovable, ya que están hechas de desperdicios forestales tales como el aserrín, viruta, chips, ramas, restos de poda, raleo fino, etc., catalogada como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas: poder calorífico similar, fácil y rápido encendido, baja humedad, alta densidad, ocupa menos espacio, homogéneas, fácil manipulación, sin olores, humos ni chispas y menor porcentajes de cenizas. Se han estudiado los aprovechamientos de residuos forestales y su valoración energética en el empleo de procesos termoquímicos, combustión, gasificación y pirólisis (Hernández *et al.*, 2015; Anggono *et al.*, 2018; Pandey, 2019).

Márquez *et al.* (2001) denotan las posibilidades de aprovechamiento energético de diversos residuos forestales, carbonizados de aserrín preparados a escala de

laboratorio y carbones vegetales preparados en horno de parva (*Pinus caribaea Morelet var*), mientras que Soto y Núñez (2008), experimentaron la fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de *Pinus radiata* como material aglomerante, consiguiéndose una combinación óptima de los componentes y friabilidad que permite obtener una ganancia energética de 24,25 %, con respecto a un pellet de 100 % de aserrín.

La provincia de Santiago de Cuba ha sido siempre una zona muy rica en recursos forestales. Su gran extensión y su suelo propicio le han permitido desarrollar en el transcurso de los siglos una gran superficie de bosques, con una gran profusión de especies. Entre estas especies, se pueden destacar el algarrobo, la majagua, la casuarina, el pino blanco, el cedro, el caguairán, el ébano, el marabú, etc. Todas estas maderas, de gran valor comercial, se han utilizado desde el comienzo de la colonización para su uso en muebles, tirantes, durmientes (ferrocarril), pisos, paredes, aberturas, madera para la construcción, entre otros. También debe destacarse la utilización de algunos tipos de madera como el marabú, el aroma y el guatapaná para la fabricación de carbón vegetal.

En la industria del mueble, en la que se procesa el tronco tal como viene desde el monte hasta que se transforma en tablas o en muebles, se producen grandes cantidades de aserrín, virutas, costaneros, desechos pequeños, etc., que forman notables volúmenes que generalmente se queman, entierran, se depositan libremente al medio ambiente o en micro vertederos. Estos amontonamientos de madera reseca, tienen el peligro permanente de producir incendios, así como también de ser refugio para insectos dañinos, roedores, depósitos de basuras y enfermedades etc. Si se tiene en cuenta que en toda la provincia de Santiago de Cuba existen innumerables aserraderos, carpinterías estatales y particulares, mueblerías, carbonerías, el volumen de residuos producidos alcanza cifras de gran magnitud. Debido a lo anterior, surgió la iniciativa de utilizar estos residuos madereros para lograr, una fuente de energía económica, no contaminante y fácil de usar.

El trabajo se enmarca dentro del Proyecto Investigación Combustibles alternativos a partir de los residuos Sólidos Municipales en el municipio de Santiago de Cuba: biogás, combustibles a partir de la pirólisis y briquetas. Por todo lo anterior se planteó como objetivo de esta investigación, fabricar briquetas de aserrín aglomeradas con papel y determinar su poder calorífico.

Materiales y métodos

Las briquetas fueron preparadas usando aserrín de madera de partícula fina recogido en una carpintería particular del poblado de El Cobre. Este aserrín se molió hasta para reducir el tamaño de las partículas grandes y homogenizar la granulometría y luego se tamizó, utilizando un tamiz de 0,5 mm. La pulpa de papel utilizada como aglomerante se preparó utilizando papel de desecho de diferentes tipos. La proporción en volumen de los ingredientes para la fabricación de las briquetas se determinó usando una probeta graduada con capacidad de hasta 1000 ml. En la Tabla 1 se muestran las proporciones de materiales utilizadas en la fabricación de las briquetas.

Tabla 1. Composición de las briquetas

Composición	Componentes	
	Pulpa de papel (ml)	Aserrín (ml)
Briqueta 1	300	500
Briqueta2	400	400
Briqueta 3	500	300

Los ingredientes fueron depositados en un molde fabricado a partir de una lata de acero de 50,8 mm de diámetro y 300 mm de longitud. Para la compresión de las probetas se diseñó una prensa manual de palanca (Figura 1), con el objetivo de garantizar un correcto presado de las mismas.



Figura 1. Prensa de palanca utilizada para la fabricación de las probetas.

El proceso de secado de las probetas se realizó de forma natural al sol durante 72 h, como se muestra en la Figura 2. Para el pesado de las probetas se utilizó una balanza de precisión marca SARTORIUS BCE224I-1S ENTRIS II de 0,01 gr de apreciación y

capacidad de 12 000 gr (Figura 3) perteneciente al Centro de Estudios de Energía y Refrigeración.



Figura 2. Secado natural de las briquetas al sol.



Figura 3. balanza de precisión marca SARTORIUS.

Para predecir el comportamiento de las briquetas como material combustible se realizó un análisis inmediato, el cual permite de forma simple la separación de los compuestos volátiles en función de sus diferentes volatilidades, proporcionando de esta forma los contenidos en peso de las fracciones de cenizas, materias volátiles y carbono fijo. Se consultaron las normas ASTM D3172, ASTM D3173 ASTM D3174, ISO 1171 y ISO 562 que establecen los métodos para determinación de humedad, carbones y coque, determinación de materiales volátiles carbones y coque y determinación de cenizas.

Para determinar la humedad de las probetas, después de desmoldadas fueron pesadas para obtener su peso inicial con todo el contenido de humedad. Luego se procedió a

realizar el proceso de secado solar durante 72 horas para obtener su peso libre de agua y se efectuó un segundo pesado. Con estos valores se calculó el contenido de humedad de la muestra con la fórmula de diferencia de peso (1).

$$CH = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

CH: contenido de humedad de la muestra

Peso inicial: peso húmedo de la muestra

Peso seco: peso final después de 72 horas de secado al sol.

Para determinar el porcentaje de materias volátiles (MV) se siguieron los procedimientos establecidos en la norma ASTM 3175. Estas materias volátiles están constituidas por hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, sulfuros de hidrógeno, metano, amoníaco, benceno, naftaleno, tolueno y vapores alquitranes. Se seleccionaron tres briquetas, una de cada tipo y se llevaron a una mufla eléctrica a 550 °C (p550) hasta peso constante y luego calcinación a 780 °C (p780). Como regla general se puede afirmar que carbones con alto contenido de volátiles combustionan más fácilmente y con llama larga.

Las cenizas, si la combustión ha sido completa, son exclusivamente inorgánicas. Su determinación es importante ya que forma depósito en las paredes de los hornos y normalmente cuando están en gran cantidad se deben extraer del carbón. El porcentaje de cenizas (CEN) indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. Las cenizas reducen el poder calorífico del combustible y el rendimiento térmico de un horno por interferir en la transferencia de calor; además, su eliminación de los hogares de combustión supone un encarecimiento del proceso. En este estudio las muestras secas, luego de haber pasado por la mufla a 550 °C, se dejaron enfriar en desecador, y luego se registró el peso (cenizas). En este ensayo también se determina el valor del carbono fijo, que es la parte que no es volátil y que quema en estado sólido.

Para determinar los sólidos secos (SS) que se encuentran en el residuo de coque que queda en el crisol luego de determinadas las materias volátiles se utilizó la ecuación 2. El porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo, sino por diferencia una

vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles. Este valor es importante para calcular la eficiencia en equipos de combustión.

$$CF + CEN + MV = SS \quad (2)$$

Para determinar el poder calorífico de las briquetas se utilizó una bomba calorimétrica de Malher con protocolos según normas ASTM D2015 y UNE-EN 1860-2 perteneciente a la Facultad de Ingeniería Química y Agronómica. El proceso en ella se realizó con la quema del combustible a volumen constante. Este proceso establece la introducción de la muestra a analizar y la cantidad de oxígeno necesario para la combustión, que se inicia mediante ignición por medio de un conductor eléctrico en cortocircuito. La energía liberada se determina teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas del agua del calorímetro, la masa del combustible, la masa de la bomba calorimétrica, y aplicando factores de corrección.



Figura 4. Bomba calorimétrica de Malher utilizada para hallar el poder calorífico de las muestras de briquetas.

De la bibliografía consultada (Akpenpuun *et al.*, 2020), se consideró la aplicación de una ecuación que relaciona el poder calorífico de diversas biomásas con sus contenidos en materia volátil y carbono fijo, a través de un análisis de regresión lineal múltiple. La ecuación 2 se aplica para residuos agroforestales húmedos, secos o carbonizados, por lo que se considera válida su aplicación a aserrines obtenidos a partir de biomasa forestal.

$$HV = 0,3563 \cdot CF + 0,1755 \cdot MV$$

Donde:

HV: Poder calorífico (kJ/g).

CF: porcentaje en carbono fijo.

MV: material volátil, ambos sobre base seca.

Esta ecuación surge de la regresión lineal múltiple de los datos de poder calorífico experimental frente a contenido en volátiles y contenido en carbono fijo. La validez de la regresión está dada por el valor $R^2 = 0.999$ y el elevado porcentaje en que la regresión es válida y la ecuación reproduce francamente bien los valores de los poderes caloríficos experimentales.

Resultados

En la Tabla 2 aparecen los valores de contenido de humedad de la muestra (CH), materias volátiles (MV) y el porcentaje de cenizas (CEN) de las muestras de los tres tipos de briquetas elaborados.

Tabla 2. Resultados del análisis inmediato

Muestras	CH (%)	MV (%)	CEN (%)	CF (%)	ST
Briqueta 1	12,3	60,89	1,91	37,2	87,7
Briqueta2	14,6	61,36	1,84	36,8	85,4
Briqueta 3	16,1	61,92	1,78	36,3	83,9

En la Tabla 3 se muestran los valores del poder calorífico calculado mediante la ecuación 3 y el valor del poder calorífico determinado a partir de los ensayos experimentales realizados con la bomba Malher.

Tabla 3. Resultados del cálculo y determinación experimental del poder calorífico

Composición	Poder calorífico (kcal/kg)		Desviación (%)
	Experimental	Calculado	
Briqueta 1	5 349,61	5 721,79	6,504
Briqueta2	5 316,70	5 707,44	6,846
Briqueta 3	5 979,52	5 688,36	5,429

Discusión

Como se puede observar en la Tabla 2, las probetas con mayores contenidos de aserrín tienen un menor porcentaje de humedad y mayor contenido de materias volátiles, la disminución del contenido de aserrín en las briquetas produce una disminución del porcentaje de cenizas, del carbono fijo, pero produce un aumento de las materias

volátiles en las probetas. Este resultado coincide con los obtenidos por Lubwama, Yiga & Lubwama (2020). Estos autores determinaron la influencia del contenido de biomasa forestal en las propiedades físicas y poder calorífico de briquetas de bagazo, cáscara de café y cáscara de arroz aglomeradas con resina natural. Akogun *et al.* (2020) determinaron un comportamiento similar durante el análisis inmediato de briquetas de desechos de la cosecha de maíz y aserrín aglomeradas mediante la acción del calor y alta presión.

La investigación realizada por Akpenpuun *et al.* (2020) demostró que el porcentaje de humedad y de materias volátiles aumentan cuando se incrementa la cantidad de aglomerante en probetas de aserrín y cáscara de arroz, mientras que el contenido de cenizas disminuye. Según estos autores, esto se debe a que el material aglomerante generalmente produce menos cenizas que los aglomerados que son producidos a partir de biomasa forestal. Los resultados del estudio realizado coinciden con los expuestos anteriormente por Akpenpuun *et al.* (2020).

Ijah *et al.* (2020) realizaron un estudio para determinar el poder calorífico en probetas de aserrín de pino *Pinus caribae* y Eucalipto *citirodora* diferentes composiciones de aglomerante-aserrín 50:50, 60:40 y 70:30. Este estudio demostró que el poder calorífico de las briquetas tiende a disminuir con la disminución del contenido de aserrín. Estos autores plantean que, en las briquetas producidas con aserrín de las dos especies vegetales antes mencionadas, disminuye el poder calorífico, resultado que coincide con el obtenido en la presente investigación.

El estudio realizado aporta resultados acerca de la obtención de briquetas obtenidas a partir de desechos del proceso de mecanizado de la madera y del manejo sustentable de los desechos sólidos municipales. Dada la cantidad de ventajas de este producto es sumamente importante probar en laboratorio nuevos tipos de briquetas y diferentes aglomerantes. Este es el único modo de obtener y comparar los datos técnicos de las variadas opciones existentes en el municipio de Santiago de Cuba.

Conclusiones

La fabricación de briquetas a partir de residuos forestales procedente de carpinterías y aserraderos del municipio de Santiago de Cuba constituye una importante fuente energética y contribuye positivamente al cuidado del medio ambiente y desarrollo

sostenible de la región. Esta primera experiencia permite obtener briquetas con bajo contenido de cenizas y bajo de contenido de humedad, lo que evita la generación de polvo, evita el retraso en el encendido del carbón, y posibilita pensar en la continuidad de los ensayos para optimizar la producción y constituir una actividad rentable en la medida de lograr un producto de calidad.

La información requerida para la valoración energética de las briquetas fabricadas puede constatarse con la aplicación de una ecuación sencilla que permite calcular el poder calorífico a partir del análisis inmediato.

Considerando que la materia prima de este producto logrado tiene un contenido de humedad entre 8 % a 12 %, obteniendo una eficiencia energética de 4672,45 kcal/kg como poder calorífico superior, en consecuencia, la combustión de briquetas contribuye a disminuir las concentraciones de CO₂, SO_x y NO_x causantes del efecto invernadero y el cambio climático.

Referencias bibliográficas

AKOGUN, O. A.; WAHEED, M. A.; ISMAILAB, S. O. & DAIRO, O. U. 2020. Physical and Combustion Indices of Thermally Treated Cornhusk and Sawdust Briquettes for Heating Applications in Nigeria. *Journal of natural fibers* 2(1): 1-16.

AKPENPUUN, T. D.; SALAU, R. A.; ADEBAYO, A. O.; ADEBAYO, O. M.; SALAWU, J. & DUROTOYE, M. 2020. Physical and Combustible Properties of Briquettes Produced from a Combination of Groundnut Shell, Rice Husk, Sawdust and Wastepaper using Starch as a Binder. *Journal of Applied Science Environmental Manage* 24(1): 171-177.

ANGGONO, W.; SUTRISNO, S.; SUPRIANTO, EVANDER, J. & GOTAMA, G. 2018. Biomass Briquette Investigation from Pterocarpus Indicus Twigs Waste as an Alternative Renewable Energy. *International Journal of Renewable Energy* 8(3): 1-5.

ASTM D2015-1996: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter.

ASTM D3172-2002: Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke.

ASTM D3173-2003: Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke¹.

ASTM D3174-2000: Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal.

ASTM 3175-2002: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke.

HERNÁNDEZ, J.; BALLESTEROS, R.; BARBA, J. & GUILLÉN, J. 2015. Effect of the Addition of Biomass Gasification Gas on the PM Emission of a Diesel Engine. *SAE International Journal of Engines* (8): 14-19.

IJAH, A. A.; ABUBAKAR, S. A.; AFOLABI, A. O.; AYODELE, J. T.; AKANNI-JOHN, R.; OLAGUNJU, O. E.; SULEIMAN, R.; ZAKKA, E. J.; LIKITA, M. S. & OLUKOTUN, O. 2020. Determination of the Calorific Value of Briquettes Made from *Pinus caribae* and *Eucalyptus citriodora* Sawdust. *Journal of Materials Science Research and Reviews* 6(3): 46-50.

ISO 1171-2010: Solid mineral fuels — Determination of ash.

ISO 562-2010: Hard coal and coke — Determination of volatile matter.

LUBWAMA, M.; YIGA, V. A. & LUBWAMA, H. N. 2020. Effects and interactions of the agricultural waste residues and binder type on physical properties and calorific values of carbonized briquettes. *Biomass Conversion and Biorefinery* 4(1): 1-21.

MÁRQUEZ, F.; CORDERO, T.; RODRÍGUEZ, J. & RODRÍGUEZ, J. J. 2001. Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* (Pc) y *Pinustropicalis* Morelet (Pt); *Eucalyptus saligna* Smith (Es), *Eucalyptus citriodora* Hook (Ec) y *Eucalyptus*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(1): 83-89.

PANDEY, G. 2019. Biomass based bio-electro fuel cells based on carbon electrodes: an alternative source of renewable energy. *SN Applied Sciences* 1(408): 1-10.

SARI, G. L. & TRIHADININGRUM, Y. 2019. Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Crude Oil Contaminated Soil from Wonocolo Public Oilfields using Aerobic Composting with Yard Waste and Rumen Residue Amendments. *Journal of*

Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems 7(3): 482-492.

SOTO, G. & NÚÑEZ, M. 2008. Fabricación de Pellets de Carbonilla, usando aserrín de pinus radiata (D. Don), como Material aglomerante. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 10(2): 129-138.

UNE-EN 1860-2:2005. Appliances, solid fuels and firelighters for barbecuing - Part 2: Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes - Requirements and test methods.