

DESIGN OF BRIQUETTES AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO FIREWOOD IN SAN PEDRO SULA, HONDURAS 2023

David Andrés, Reyes Martínez¹ and Ada, S. Rodriguez¹

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula, Honduras, dreyes9781@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu.hn

Abstract - Briquettes were created as a sustainable and environmentally friendly alternative, since 70% was composed of recycled solid waste. Data were collected for calorific value, ash percentage, temperature and burning time for the briquette: log ratio. The results for egg carton (Type 1) and newspaper (Type 2) briquettes were compared with the ISO 17225-7 standard for briquettes of non-woody origin, which was useful as a reference since there are no standards in the country for this type of artisanal briquettes. Significant data were revealed in all stages: the applied pressure obtained a value of 21.8kN to 26.2kN in Type 1 briquettes and 5.5kN to 6.2kN in Type 2 briquettes. The density and moisture content of the 10x25cm briquettes is between 0.24-0.28 g/cm³ with 21%-24% for egg carton briquettes and 0.22-0.26 g/cm³ with 17%-19% for newspaper briquettes. The ash percentage for the dimensions 10x25cm ranged between 12.35%-14.33% for egg carton briquettes and 10.49%-12.48% for newspaper briquettes and for 10x15cm the values obtained were 6%-8% for egg carton briquettes and 5%-6% for newspaper briquettes. The calorific value obtained was 2.479 MJ/kg for egg carton briquettes and 2.47MJ/kg for newsprint briquettes.

Keywords-sustainable, briquettes, deforestation, firewood, environment.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

DISEÑO DE BRIQUETAS COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LA LEÑA EN SAN PEDRO SULA, HONDURAS 2023.

David Andrés, Reyes Martínez¹ and Ada, Sobeyda Rodríguez¹

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula, Honduras, dreyes9781@unitec.edu, adar@unitec.edu

Abstract - Briquettes were created as a sustainable and environmentally friendly alternative, since 70% was composed of recycled solid waste. Data were collected for calorific value, ash percentage, temperature and burning time for the briquette: log ratio. The results for egg carton (Type 1) and newspaper (Type 2) briquettes were compared with the ISO 17225-7 standard for briquettes of non-woody origin, which was useful as a reference since there are no standards in the country for this type of artisanal briquettes. Significant data were revealed in all stages: the applied pressure obtained a value of 21.8kN to 26.2kN in Type 1 briquettes and 5.5kN to 6.2kN in Type 2 briquettes. The density and moisture content of the 10x25cm briquettes is between 0.24-0.28 g/cm³ with 21%-24% for egg carton briquettes and 0.22-0.26 g/cm³ with 17%-19% for newspaper briquettes. The ash percentage for the dimensions 10x25cm ranged between 12.35%-14.33% for egg carton briquettes and 10.49%-12.48% for newspaper briquettes and for 10x15cm the values obtained were 6%-8% for egg carton briquettes and 5%-6% for newspaper briquettes. The calorific value obtained was 2.479 MJ/kg for egg carton briquettes and 2.47MJ/kg for newsprint briquettes.

Keywords-sustainable, briquettes, deforestation, firewood, environment.

Resumen Ejecutivo — Las briquetas se crearon como una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente, ya que el 70% se compuso de residuos sólidos reciclados. Se recopilaron datos de poder calorífico, porcentaje de ceniza, temperatura y tiempo de quema para la relación briqueta: leño. Los resultados de las briquetas de cartón de huevos (Tipo 1) y papel periódico (Tipo 2) fueron comparados con la norma ISO 17225-7 para briquetas de origen no leñosos, la cual fue útil como referencia ya que en el país no hay normas acerca de este tipo de briquetas artesanales. En todas las etapas se revelaron datos significativos: la presión aplicada obtuvo un valor de 21.8kN a 26.2kN en las briquetas Tipo 1 y 5.5kN a 6.2kN en las briquetas Tipo 2. La densidad y porcentaje de humedad de las briquetas 10x25cm está entre 0.24-0.28 g/cm³ con 21%-24% para briquetas de cartón de huevos y 0.22-0.26 g/cm³ con 17%-19% para briquetas de papel periódico. Las briquetas 10x15cm tienen como resultado 0.18-0.27g/cm³ con 28%-33% para briquetas de cartón de huevos y 0.21-0.26 g/cm³ con 17%-19% para briquetas de papel periódico. El porcentaje de cenizas para las dimensiones 10x25cm ronda entre 12.35%-14.33% para briquetas de cartón de huevos y 10.49%-12.48% para briquetas de papel periódico y de 10x15cm los valores obtenidos fueron de 6%-8% para briquetas de cartón

de huevos y 5%-6% para las briquetas de papel periódico. El poder calorífico obtuvo un valor final de 2.479 MJ/kg para briquetas de cartón de huevos y 2.47MJ/kg para briquetas de papel periódico.

Palabras Clave—alternativa sostenible, briquetas, deforestación, leña, medio ambiente, residuos sólidos

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación pretende abordar varias problemáticas actuales, tales como la generación de residuos sólidos y la utilización de la leña en la zona rural. El papel y cartón conforman el segundo grupo de residuos más comunes en los rellenos sanitarios y botaderos municipales, con un 18% [1]. Esta alta proporción de material compuesto por papel y cartón en los desechos sólidos revela la necesidad urgente de abordar estrategias de reducción, reutilización y reciclaje en la gestión de residuos.

El problema se acentúa en las zonas rurales, donde a menudo se carece de sistemas eficientes de manejo de residuos y las comunidades dependen en gran medida de la leña como fuente principal de combustible para cocinar y calefacción [2]. Esta dependencia de la leña tiene un impacto negativo en los bosques locales y la biodiversidad, además de contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero y la degradación del suelo. La implementación de rellenos sanitarios ha cambiado drásticamente la gestión de residuos sólidos, llevando un procedimiento adecuado en la caracterización, separación y disposición de los mismos, a diferencia de los botaderos a cielo abierto que no contienen ningún plan de gestión, provocando alteraciones en el suelo y el aire debido mal al manejo de los residuos sólidos. Esta investigación beneficiaría principalmente a las comunidades que viven en el área rural, seguidamente de la Municipalidad de San Pedro Sula debido a la reutilización de los residuos sólidos que se recolectan diariamente, con el objetivo de darles a conocer una solución para reducir la acumulación dentro de los rellenos sanitarios y/o botaderos a cielo abierto.

El objetivo de este estudio es presentar una posible solución a la reducción de leña y deforestación en la zona rural en San Pedro Sula, Cortes, identificando así mismo la composición ideal de una briqueta que tenga características similares a la leña y describiendo la metodología aplicada para la fabricación misma. Se realizarán pruebas con 2 tipos de briquetas para

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

determinar cuál es la más óptima entre ambas. Esto permitirá la reducción de residuos sólidos en el hogar y en los sitios de disposición final, debido a la reutilización de residuos comúnmente encontrados en ambos lugares.

II. METODOLOGÍA

A. Enfoque y Variable

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se estarán realizando pruebas con las briquetas para obtener datos de su poder calorífico y en cada una de las mismas se sacarán su porcentaje de humedad, cenizas y densidad.

Las variables independientes son la selección de materia orgánica, humedad, cenizas y densidad, poder calorífico y tiempo de quema. La variable dependiente es el diseño de briqueta con residuos orgánicos para su posterior elaboración.

B. Técnicas e Instrumentos

Moldes Cilíndricos: Moldes PVC utilizados para darle la forma deseada a la briqueta [3].

Taladro: Aplicado a las perforaciones de los moldes y manejo de la mezcla con broca especializada.

Broca Mezcladora: Implementado para brindar una mejor combinación de todos los materiales selectos.

Máquina de Compresión: Nos da los resultados de presión aplicada a la mezcla de ambos tipos de briquetas.

Tamiz: Utilizado para extraer cualquier grumo encontrado dentro de los materiales secundarios [4].

Termómetro: Utilizado para obtener datos de temperatura dentro del hornillo.

Microsoft Excel: Herramienta utilizada para almacenar datos numéricos.

C. Materiales

- Cartón de Huevos
- Papel de Periódico
- Aserrín
- Almidón de yuca
- Carbón vegetal
- Agua

D. Poblacion y Muestra

El estudio de la población es probabilístico, esto se debe a que la investigación se centra en la zona rural de San Pedro Sula, Honduras.



Fig. 1. Lugar de Estudio

En la investigación se mencionó la creación de 2 tipos de briquetas con diferentes materiales principales y de diferentes tamaños. Es importante mencionar que cada tipo y tamaño de briqueta consistirá en 4 repeticiones cada uno [5], el cual se determinó que sería ideal por conveniencia en función de los procesos o actividades realizadas. Ambos materiales son comunes dentro del sector doméstico [6] y en los rellenos sanitarios. A continuación, se mostrarán las dimensiones, cantidad de material utilizado y su porcentaje.

TABLA I
DISEÑO DE BRIQUETA DE CARTÓN DE HUEVOS

Briqueta 1	Briqueta 10x25cm		Briqueta 10x15cm	
Componentes	Composición (g)	%	Composición (g)	%
Cartón de Huevos	119	70.00	84	70.00
Carbón Vegetal	17	10.00	12	10.00
Almidón de Yuca	17	10.00	12	10.00
Aserrín	17	10.00	12	10.00
Subtotal	170	100	120	100
Agua	4L		2.5L	

TABLA II
DISEÑO DE BRIQUETA DE PAPEL PERIÓDICO

Briqueta 2	Briqueta 10x25cm		Briqueta 10x15cm	
Componentes	Composición (g)	%	Composición (g)	%
Periódico	119	70.00	84	70.00
Carbón Vegetal	17	10.00	12	10.00
Almidón de Yuca	17	10.00	12	10.00
Aserrín	17	10.00	12	10.00
Subtotal	170	100	120	100
Agua	4L		2.5L	

E. Reposo de Materiales

Las cubetas vacías fueron utilizadas para la colocación del cartón de huevos triturado y papel periódico. Estos materiales fueron colocados en agua y dejados a reposar por 2 horas cada uno. El motivo por el cual se dejó reposar por tanto tiempo, es para que los materiales pierdan su dureza durante el proceso de mezclado.

F. Mezclado de Componentes Secundarios

Luego de haber dejado reposar los materiales, se procedió a extraer el agua dentro de las muestras, una vez retirada el agua

por completo, se colocaron los componentes secundarios tomando en cuenta el peso de cada uno de estos materiales, encontrados en la Tabla 1 y 2. El proceso de mezclado consistió en 20 minutos para poder lograr una mejor descomposición de la materia prima y la misma vez, una mejor cohesión de todos los materiales.

G. Relleno de Moldes Cilíndricos

Se procedió a colocar la muestra dentro de 8 moldes cilíndricos PVC, con el objetivo de extraer el agua encontrada dentro de la mezcla, se perforaron 8 agujeros en los moldes de 10x25cm, 4 agujeros en los moldes de 10x15cm y 5 agujeros en los tapones. Los moldes cilíndricos y tapones utilizados son de 4".

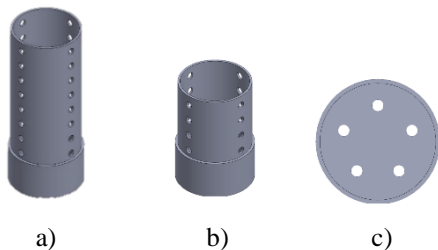


Fig. 2. Moldes Cilíndricos 10x25cm (a), 10x15cm (b) y tapón de 4'' (c).

III. ANALISIS Y RESULTADOS

En esta sección, se presentarán los resultados derivados de las fases de compactación y secado, abordando aspectos tales como la variación de altura entre ambas briquetas, el poder calorífico, la duración de la combustión, el porcentaje de ceniza y otros parámetros relevantes.

A. Proceso de Compactación y Secado

Utilizando la máquina de compactación [7], se aplicó una fuerza de 21.8kN a 26.2kN en las briquetas de cartón (Tipo 1) y 5.5kN a 6.2kN en las briquetas de papel periódico (Tipo 2). La diferencia de presión se debe a que las briquetas Tipo 2 presentaron mayores problemas en su compactación ocasionando que se estalle la mezcla por lo cual se continuo la compactación a mano y extrayendo el agua restante.



Fig. 3. Compactación de mezclas tipo 1 y 2.

Se colocaron en el horno las briquetas tipo 1 y 2, por 21 y 18 horas a 70°C [8], tomando datos cada 3 horas con el propósito de medir el nivel de humedad.



Fig. 4. Briquetas Tipo 1 en Horno



Fig. 5. Briquetas Tipo 2 en Horno

El nivel de humedad óptimo se sitúa por debajo del 20%. No obstante, las briquetas tipo 1 mantuvieron un nivel constante de humedad del 31% y 21% en las últimas tres mediciones, dado que ambos presentaron el mismo porcentaje de humedad. La norma ISO 17225-7 establece que el rango de humedad aceptable para las briquetas debe ser $\leq 15\%$. Los datos de la Tabla 3 y 4 indican claramente que ninguno de los resultados finales cumple con esta norma. [9].

TABLA III
DATOS DE BRIQUETAS TIPO 1.

Briqueta Tipo 1 10x25cm	Peso Antes (g)	Peso Después (g)	Humedad%
Briqueta #1	724	152.81	21.11
Briqueta #2	700	159.27	22.75
Briqueta #3	598	140.97	23.57
Briqueta #4	611	143.28	23.45
Briqueta Tipo 1 10x15cm	Peso Antes (g)	Peso Después (g)	Humedad%
Briqueta #5	206	64.27	31.20
Briqueta #6	225	74.81	33.25
Briqueta #7	212	66.54	31.39
Briqueta #8	244	70.19	28.77

TABLA IV
DATOS DE BRIQUETAS TIPO 2.

Briqueta Tipo 2 10x25cm	Peso Antes (g)	Peso Después (g)	Humedad%
Briqueta #1	936.33	164.22	17.53
Briqueta #2	878.55	173.56	19.76
Briqueta #3	910.13	181.88	19.98
Briqueta #4	884.08	156.16	17.66
Briqueta Tipo 2 10x15cm	Peso Antes (g)	Peso Después (g)	Humedad%
Briqueta #5	469.65	83.06	17.69
Briqueta #6	482.98	84.71	17.54
Briqueta #7	422.6	82.34	19.48
Briqueta #8	495.12	92.7	18.72

B. Perdida de Alturas en Briquetas

Durante 1 día de reposo al aire libre para ambos tipos de briquetas y mediante el proceso de compresión, se redujo considerablemente las briquetas las cuales se ven reflejadas en las figuras 6 y 7.

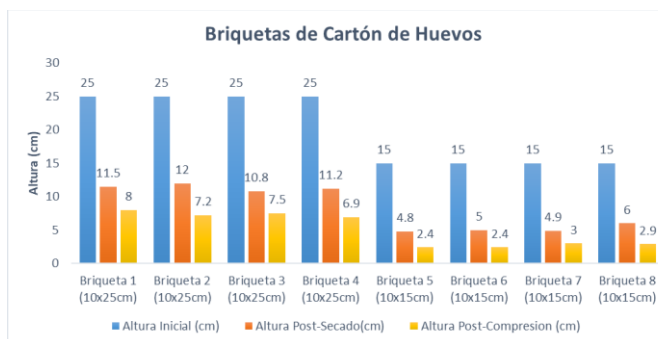


Fig. 6. Diferencia de Altura en Briquetas Tipo 1

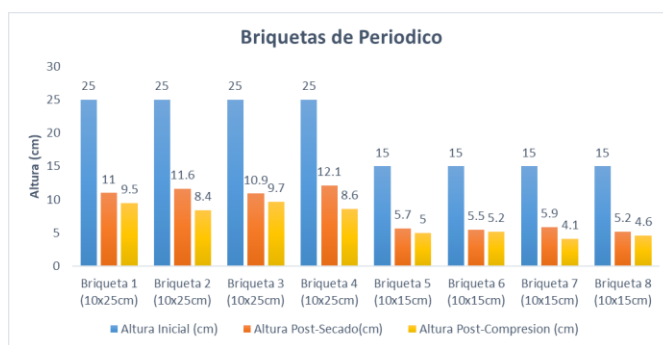


Fig. 7. Diferencia de Altura en Briquetas Tipo 2.

Las dimensiones iniciales de las briquetas se eligieron con la intención de que fueran adecuadas para su comercialización. Sin embargo, durante el proceso de fabricación, estas dimensiones se redujeron significativamente. En primer lugar, se produjo una disminución en el tamaño debido a la extracción de agua de la mezcla utilizada para crear las briquetas. Luego, en una etapa posterior del proceso, se aplicó una compresión adicional que disminuyó aún más las dimensiones para darles la forma final requerida antes de su introducción en el horno.

C. Porcentaje de Cenizas

Se recolectaron las cenizas que fueron liberadas después del proceso de incineración, las cuales fueron pesadas con el fin de obtener el porcentaje de ceniza que liberan ambas briquetas [10]. La norma ISO 17225-7 establece que, para briquetas no leñosas, con mezclas de biomasa el porcentaje de ceniza debe ser $\leq 10\%$ [9]. Los resultados demuestran que las briquetas con dimensiones 10x25cm no cumplen con esta norma, mientras que las briquetas 10x15cm si la cumplen. Al igual que las briquetas, se pesaron las cenizas generadas por la quema del tipo de leña utilizada dando como resultado un 9.3% de cenizas. Con estos resultados se logra observar que las briquetas 10x15cm generan menos ceniza que la leña.

La ecuación utilizada para medir el porcentaje de ceniza fue:

$$\text{Cenizas \%} = \left(\frac{\text{Peso de Cenizas Residuales}}{\text{Peso Inicial Briquetas}} \right) * 100$$

Eq. 1. Ceniza Generada

Luego de llevar a cabo el pesaje de todas las muestras recolectadas, se procedió a sacar el promedio del porcentaje de ceniza producido, tanto de las briquetas como de la leña.

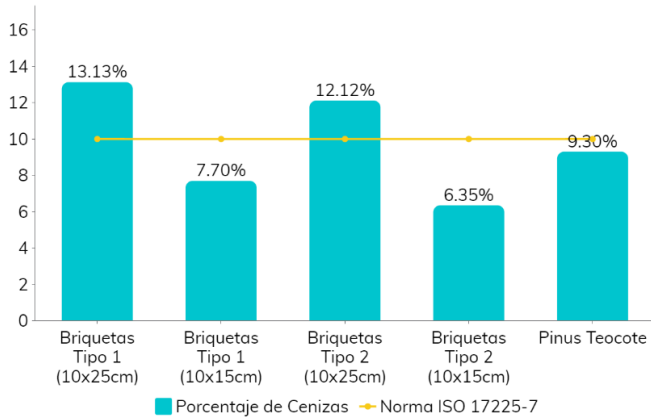


Fig. 8. Porcentaje de Cenizas para Leña y Briquetas Tipo 1 y 2.

D. Temperaturas de Comal y Llama

La toma de datos del comal y la temperatura máxima de las briquetas y la leña se realizó mediante el uso de un termómetro. Estos datos capturaron las variaciones térmicas a medida que se consumían las muestras, proporcionando información valiosa sobre los perfiles de temperatura y el comportamiento térmico de ambos combustibles.

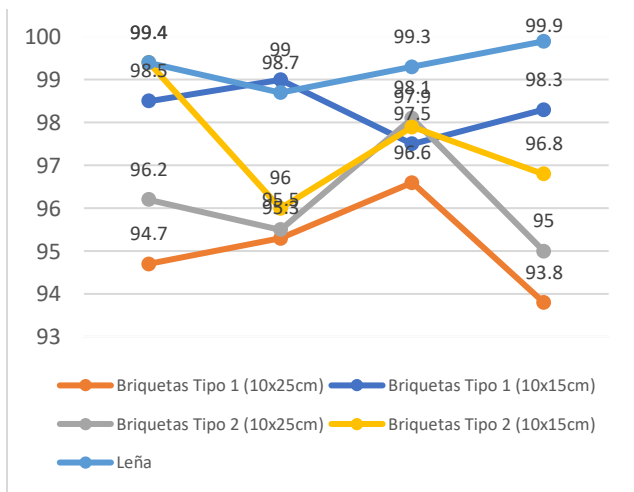


Fig. 9. Temperaturas máximas de leña y briquetas tipo 1 y 2.

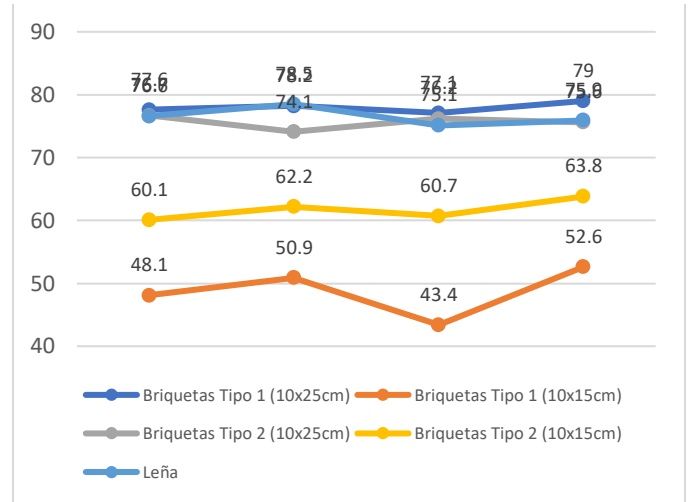


Fig. 10. Temperaturas de comal de leña y briquetas tipo 1 y 2.

En las figuras 9 y 10 se observan las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas con los métodos tradicionales. Esta diferencia se produce por varias razones. En primer lugar, las briquetas se fabrican a partir de materiales de biomasa comprimida, como aserrín, cartones de huevos [11] y papel de periódico [12], etc., que tienen un bajo contenido de humedad. Esto permite una liberación más controlada y eficiente del calor durante la combustión, lo que se traduce en una llama menos intensa y una temperatura más baja en el comal.

En segundo lugar, cuando se encienden, estas briquetas liberan calor de forma gradual y controlada, lo que da como resultado una llama más suave y uniforme [13]. Esta característica es fundamental para lograr una cocción uniforme y precisa de los alimentos sin necesidad de lidiar con temperaturas extremadamente altas que pueden hacer que los alimentos se quemen o se cocinen de forma desigual.

E. Poder Calorífico

El valor de poder calorífico se obtuvo mediante la utilización de un calorímetro [14], cuyo proceso consistió en elevar la temperatura del beaker pequeño dentro de un recipiente con agua que sirve como aislante, hasta su punto máximo en el cual se descompondrá totalmente la muestra. El rango establecido por la norma debe ser ≥ 15.4 MJ/kg, sin embargo, ambas pruebas se realizaron con una masa significativamente menor, por lo cual se observa una gran diferencia en ambos datos al compararlos con la norma ISO.

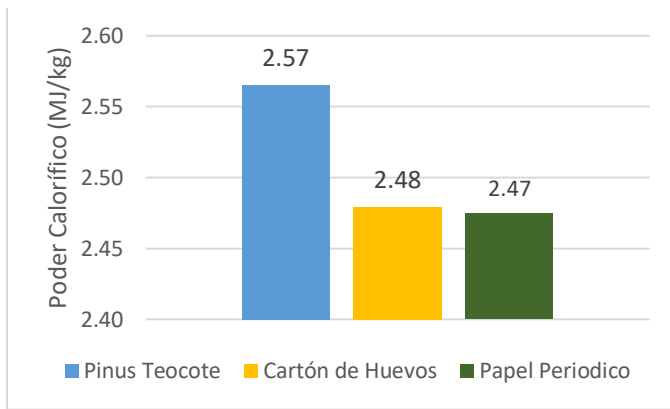


Fig. 11. Resultados de Poder Calorífico

F. Tiempo de Quema y Relacion Briqueta: Leño

Se tomaron datos de tiempo con la ayuda de un cronómetro, el cual permitió registrar los tiempos de incineración de varias briquetas de forma individual, así como la toma de datos para la leña. Los resultados muestran que las briquetas de 10x25 cm, tipo 1, tuvieron tiempos de incineración entre 43 y 47 minutos, mientras que las briquetas de 10x15 cm, tipo 1, presentaron tiempos de 23 a 28 minutos. Por otro lado, las briquetas de 10x25 cm, tipo 2, mostraron tiempos de incineración entre 41 y 44 minutos, mientras que las briquetas de 10x15 cm, tipo 2, tuvieron tiempos de 21 a 24 minutos.

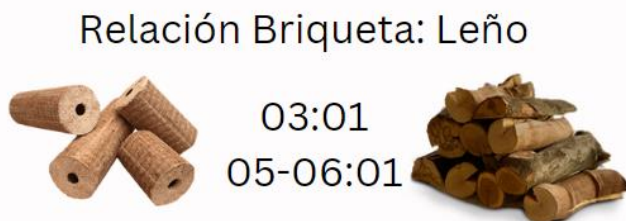


Fig. 12. Relación Briqueta: Leño

Después de medir los tiempos de incineración, se realizó un cálculo para determinar cuántas briquetas se necesitan para igualar el rendimiento de la leña. Los resultados se muestran en la Fig. 12, revelando que, en el caso de las briquetas de 10x25 cm, tanto tipo 1 como tipo 2, se necesitan 3 briquetas por cada unidad de leña. En cuanto a las briquetas de 10x15 cm, tipo 1, la equivalencia es de 5 briquetas por cada leño, mientras que para las briquetas de 10x15 cm, tipo 2, se requieren 6 briquetas por cada unidad de leña.

G. Cantidad de Desechos Reducidos

En la Ciudad Industrial, se generan 708 toneladas diarias de desperdicios, cuyo sitio de disposición final está ubicado en el relleno sanitario El Ocotillo [15]. Las briquetas ayudarían a reducir 0.812 kg de ambos residuos y tomando en cuenta ambas briquetas con sus dimensiones.

H. Tiempo de Elaboracion de Briquetas

El proceso de creación de 16 briquetas tuvo una duración de 3.72 días o 4 días, debido a que se llevaron a cabo estas actividades dentro de 9 horas hábiles.

IV. CONCLUSIONES

Los desechos sólidos de papel y cartón sirvieron como objeto de estudio debido a su amplia presencia en los hogares y su importancia en la problemática de la gestión de residuos. Estos materiales representan el segundo tipo de desperdicio más frecuente en los rellenos sanitarios y vertederos a cielo abierto a nivel nacional, constituyendo aproximadamente el 18% del volumen total de residuos sólidos desechados.

Las cantidades utilizadas de ambos tipos de residuos fueron de 0.812 kg por cada tipo de briqueta, tomando en cuenta las dimensiones escogidas y el número de replicaciones realizadas. Esta estrategia se adoptó con el objetivo de asegurar una utilización óptima de la materia prima disponible, lo que a su vez contribuyó a mejorar la eficiencia en el proceso de fabricación de las briquetas y minimizando al mismo tiempo cualquier posible desperdicio.

Al terminar la etapa de secado se obtiene que la densidad y porcentaje de humedad de las briquetas 10x25cm está entre 0.24-0.28 g/cm³ con 21%-24% para briquetas de cartón y 0.22-0.26 g/cm³ con 17%-19% para briquetas de papel periódico. Las briquetas 10x15cm tienen como resultado 0.18-0.27g/cm³ con 28%-33% para briquetas de cartón y 0.21-0.26 g/cm³ con 17%-19% para briquetas de papel periódico. El porcentaje de cenizas para las dimensiones 10x25cm ronda entre 12.35%-14.33% para briquetas de cartón y 10.49%-12.48% para briquetas de papel periódico y de 10x15cm los valores obtenidos fueron de 6%-8% para briquetas de cartón y 5%-6% para las briquetas de papel periódico.

Los resultados de poder calorífico de las briquetas están en un 3.5% por debajo de la leña, obteniendo 2.48 MJ/kg para briquetas y 2.57 MJ/kg para leña. A pesar de ello, es importante destacar que la disparidad en los resultados entre las briquetas y la leña no es tan significativa como se podría pensar inicialmente.

Los experimentos realizados en hornilla demuestran que se necesitan de tres veces o más briquetas para alcanzar un rendimiento equivalente al de la leña. Las dimensiones de las briquetas en estas pruebas son un factor importante a tener en cuenta, ya que influyen directamente en la duración de la combustión, el poder calorífico y la cantidad de ceniza producida.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística, «Gestión integral de los residuos sólidos en Honduras», Honduras, 15 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ine.gob.hn/v4/2022/12/15/gestion-integral-de-los-residuos-solidos-en-honduras/>
- [2] Agencia EFE S.A., «Honduras pierde al año 78.000 hectáreas de bosque y pide más responsabilidad», 22 de

- abril de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.swissinfo.ch/spa/d%C3%ADa-tierra-honduras_honduras-pierde-al-a%C3%B1o-78.000-hect%C3%A1reas-de-bosque-y-pide-m%C3%A1s-responsabilidad/46558392
- [3] E.J.S. Mitchell *et al.*, «The use of agricultural residues, wood briquettes and logs for small-scale domestic heating», ago. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106552>.
- [4] «Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves». <https://www.astm.org/e0011-22.html> (accedido 15 de septiembre de 2023).
- [5] I. H. Gado, S. K. Ouiminga, T. Daho, A. H. Yonli, M. Sougoti, y J. Koulidiati, «Characterization of Briquettes Coming From Compaction of Paper and Cardboard Waste at Low and Medium Pressures», vol. 5, pp. 725-731, dic. 2013, doi: 10.1007/s12649-013-9282-3.
- [6] T. Espinoza-Tellez *et al.*, «Agricultural, forestry, textile and food waste used in the manufacture of biomass briquettes: a review», *Sci. Agropecu.*, vol. 11, n.º 3, Art. n.º 3, ago. 2020, doi: 10.17268/sci.agropecu.2020.03.15.
- [7] B. Lela, M. Barišić, y S. Nižetić, «Cardboard/sawdust briquettes as biomass fuel: Physical–mechanical and thermal characteristics», vol. 47, pp. 236-245, ene. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.035>.
- [8] W. T. Tomen, B. S. Diboma, B. V. Bot, y J. G. Tamba, «Physical and Combustion properties investigation of hybrid briquettes from tropical Sawdust: Case study of Iroko (*Milicia excelsa*) and Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)», vol. 9, pp. 3177-3191, feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.02.006>.
- [9] G. Toscano, C. De Francesco, T. Gasperini, S. Fabrizi, D. Duca, y A. Ilari, «Quality Assessment and Classification of Feedstock for Bioenergy Applications Considering ISO 17225 Standard on Solid Biofuels», may 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/resources12060069>.
- [10] H. G. Ibrahim, S. K. Ouiminga, A. Yonli, O. Sanogo, T. Daho, y J. Koulidiati, «Study of Temperature Fields and Heavy Metal Content in the Ash and Flue Gas Produced by the Combustion of Briquettes Coming from Paper and Cardboard Waste», ago. 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/recycling3030032>.
- [11] M. Brožek, «Evaluation of selected properties of briquettes from recovered paper and board», vol. 61, n.º 2, pp. 66-71, jun. 2015, doi: 10.17221/61/2013-RAE.
- [12] Roxana Edith Silva Gómez, Jimmy Alberto Ruiz Montano, y Marvin Antonio Quiroz Herrera, «Elaboración de briquetas y análisis del poder calorífico para su utilización como combustible sólido en cocinas eco-barril y comparar su eficiencia con la leña del *Pithecellobium Arboreum* en los laboratorios de Leña de la F.T.I en la Universidad Nacional de Ingeniería. UNI-RUPAP», feb. 2019, [En línea]. Disponible en: <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNI3178>
- [13] F. Sotoudehnia, A. Baba Rabi, A. Alayat, y A. G. McDonald, «Characterization of bio-oil and biochar from pyrolysis of waste corrugated cardboard», vol. 145, ene. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104722>.
- [14] U. P. Onochie *et al.*, «Potentials of Biomass Waste Resources with Respect to their Calorific Value, Proximate and Ultimate Analysis for Energy Utilization», 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1178/1/012012.
- [15] Sulambiente, «Generación de Residuos Sólidos», 23 de julio de 2023.