

Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales

Carolina Giovanna Cadena*, Antonio José Bula Silvera**

Resumen

Ante la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan la utilización de elementos desechados en procesos productivos para aprovechar su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición, surge la oportunidad de aprovechar productos vegetales de desecho que permitan innovar en el área de los materiales de ingeniería, campo en el cual la cascarilla de arroz se perfila como un aislante térmico de alta efectividad, competitividad y de fácil obtención, lo cual contribuye al reemplazo de productos derivados del petróleo.

Este estudio se propone desarrollar nuevos materiales para aislamientos térmicos a partir de cascarilla de arroz y fibras vegetales, para lo cual se han realizado pruebas según la norma ASTM C-177, para la cuantificación de su capacidad conductiva de calor, lo cual ha puesto en evidencia su potencial aislante.

Palabras claves: Fibras vegetales, aislamientos térmicos, materiales compuestos, transferencia de calor, subproductos, recursos naturales.

Abstract

Because of the necessity to develop technological alternatives to reuse rejected elements from productive processes and reduce the environmental impact that such materials can generate by an inadequate disposition, an opportunity arises that takes advantage of vegetal products remaining. This opportunity allows to innovate in the material area of engineering, field in which the rice husk is outlined like a thermal insulator of high effectiveness, competitiveness and easily obtaining, contributing to the product replacement derived from petroleum.

This study looks forward to develop new materials for heat insulations from Rice Husk and vegetal fibers, for which tests have been carried out according to ASTM C-177 norm, for quantification of the heat conductive capacity, which evidence its insulating potential.

Key words: Natural fibres, heat transfer, thermal insulations, composites materials, by products, natural resources.

Fecha de recepción: 14 de febrero del 2002

* Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Norte. abula@uninorte.edu.co

** Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Norte. caro_cadena@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Dada la baja conductividad térmica de la cascarilla de arroz y de su amplia utilización en poblaciones rurales de Colombia como aislante térmico, surge la posibilidad de incursionar en el campo de los materiales con este subproducto agrícola.

Este estudio busca mostrar los resultados obtenidos de la elaboración, observación y medición de las propiedades térmicas de cuatro tipos diferentes de aglomerados a partir de la cascarilla de arroz con fibras y sustancias vegetales, productos naturales derivados de actividades económicas propias de las regiones tropicales. El aprovechamiento de estos recursos naturales permitirá disminuir el impacto ambiental que éstos originan al no utilizarlos, al tiempo que posibilita la sustitución a mediano plazo de materiales como el poliestireno expandido que repercuten negativamente en el equilibrio ecológico. En tal sentido, esta investigación puede llegar a significar un crecimiento no sólo tecnológico sino económico para la región ante la demanda generada en mano de obra, tanto especializada como no calificada, para el desarrollo de tecnologías propias.

Esta investigación parte del supuesto de que al aglomerar la cascarilla de arroz con elementos naturales conservará la potencialidad de sus propiedades físico-químicas, y presenta una capacidad aislante competitiva frente a la de los materiales derivados del petróleo. Para tal fin se procedió a la selección de las fibras y los adherentes que se iban a emplear, posteriormente se realizaron muestras de aglomerados para ser sometidos a la prueba de determinación del coeficiente conductivo.

2. FIBRAS NATURALES

Las fibras vegetales presentan ventajas productivas (disponibilidad, bajos costos de adquisición y facilidad de procesamiento), físicas (baja densidad, características de aislamiento y resistencia estructural, entre otras), bioquímicas (inocuidad, biodegradabilidad), entre otras. Las ventajas productivas, fisicotérmicas, ambientales y bioquímicas de las fibras naturales propician su utilización como una alternativa para impulsar el uso racional de los recursos naturales y la preservación ambiental. Las fibras consideradas en este estudio son justificadas a continuación.

2.1. Cascarilla de arroz: Es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión, su coeficiente de conductividad

térmica permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico, tal y como se puede apreciar en la tabla siguiente:

Tabla 1
Comparación de la conductividad térmica de la cascarilla de arroz y algunos aislantes comerciales

Material	K (W/m*k)
Lana mineral	0.0303
Poliestireno expandido	0.0330
Cascarilla de arroz	0.0360
Fibra de vidrio	0.0380
Corcho aglomerado	0.0450

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90 al 97% SiO). La transformación de las propiedades físico-químicas de la cáscara comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica. La industria arrocería colombiana produce 400'000 toneladas de arroz al año, de las cuales cerca de un 15% es aprovechado como combustible y otro tanto como elemento para esparcir en establos, lo que significa que una gran proporción de esta fibra es incinerada infructuosamente o arrojada a cursos de agua, lo cual repercute negativamente en el ecosistema, dadas las exigentes condiciones que requiere su combustión completa y su elevada resistencia al ataque biótico, respectivamente.

2.2. Fibras de banano y fique: Ambas son largas y de origen vegetal; a partir del vástago del banano se obtiene una fibra vegetal larga, de la cual es posible elaborar pulpa celulósica, por lo que puede contribuir a reducir la explotación maderera. La segunda se obtiene a partir de las hojas de una planta nativa de Colombia; según estudios realizados sobre el comportamiento del fique como barrera térmica, se ha podido determinar que presenta un desempeño que le permite competir en aplicaciones de aislamiento térmico estructural donde se utiliza comúnmente madera, dado su conductividad térmica.

3. AGLOMERADOS DE CASCARILLA DE ARROZ

Tabla 2

Características de las muestras de aglomerados atemperadas para la determinación del coeficiente conductivo

Número	Composición	Proceso de aglomeración	Densidad (Kg/m ³)	Masa (gr)
1	Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de fique y banano. Comprimido.	1	336.54	472.84
2	Cascarilla de arroz, PVA, fibra de banano.	2	203.02	280.98
3	Cascarilla de arroz, almidón y fibra de yuca, fibra de fique.	1	380.77	571.16
4	Cascarilla de arroz, almidón yuca, fibra de fique y banano. Sin comprimir.	2	194.96	267.88

La cascarilla de arroz es difícil de manejar, ya que se dispersa fácilmente, dada su densidad (650 Kg/m³) y tamaño, lo que le da cierta capacidad de fluir, por lo que sus aplicaciones en estas condiciones son limitadas; en tal sentido se ha procedido a su aglomeración. Las fibras ya mencionadas, así como el bagazo de yuca dulce (*Manihot esculenta*), fueron aglomeradas con engrudo de almidón de este mismo tubérculo, un adherente natural de fácil fabricación y obtención a nivel nacional y que además no representa el impacto negativo para el ecosistema propio que generan aglutinantes químicos utilizados comúnmente en la producción de aglomerados de partículas. Adicionalmente se empleó acrilato de polivinilo (PVA) como adherente artificial de bajo impacto ambiental, a fin de comparar propiedades térmicas. Se elaboraron cuatro muestras para realizar un análisis térmico encaminado a la determinación de las conductividades térmicas de cada aglomerado; las muestras analizadas presentaron las características que se reportan en la tabla 2.

Los procesos de aglomeración utilizados siguieron los principios de la producción de tableros de partículas aglomeradas (caso 1), mediante el cual se aglutinaron las fibras directamente con el adherente y posteriormente se moldearon con la aplicación de 50 Pa. El otro método utilizado siguió el proceso de fabricación de papel (caso 2), en el cual se utilizó una pulpa no maderera a partir de las fibras de banano, lo cual se incorporó al resto de los elementos, con la adición de agua, para un posterior moldeado con tamices de la forma y dimensiones requeridas. Finalmente, se procedió al secado de las láminas obtenidas por ambos métodos. Esta diferenciación responde a la búsqueda de procesos susceptibles de aplicar a gran escala y de ser automatizado.

Los aglomerados 1 y 4 presentan la misma composición pero difieren en el proceso de aglomeración, tal y como se explicó previamente. Esto responde al deseo de conocer la influencia de la aplicación de presión en el valor conductivo obtenido. Se incluyó el PVA como aglutinante a pesar de ser un elemento artificial, con el fin de tener un comparador de resistencia biótica para la selección del aglutinante natural. La apariencia de los materiales analizados se muestra en las figuras 1 a 4.

A fin de conocer y evaluar la capacidad térmica de los aglomerados se realizó el ensayo para la determinación de la conductividad térmica según la norma ASTM C-177 *Standard Method for Steady State Thermal Properties by means of the Guarded Hot Plate*, pruebas desarrolladas en el Centro de Investigación en Propiedades Mecánicas y Estructura de los Materiales –CIPEM– de la Universidad de los Andes en Bogotá con un analizador automático ANACON Model 88 Thermal Conductivity Analyzer. El ensayo consistió en someter individualmente las probetas a un gradiente térmico de 27.7 ± 0.2 °C mantenido entre sus dos caras paralelas y midiendo constantemente el flujo de calor requerido para mantener tal diferencia de temperatura en estado estable durante un tiempo promedio de 160 minutos. Las muestras de aglomerados empleadas en este ensayo fueron dimensionadas según lo especificado por la institución mencionada ($8 \times 8 \times 1$ pulgadas³); éstas fueron atemperadas durante más de 48 horas a 20°C y 50% de humedad relativa en el laboratorio del CIPEM. Estas pruebas fueron posibles gracias al apoyo recibido por parte de la Dirección de Investigación y Proyectos –DIP– de la Universidad del Norte, como un aporte al grupo UREMA y al Programa del Semillero de Investigadores.

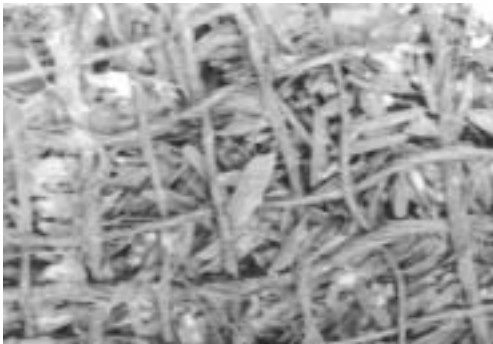


Figura 1. Detalle de la estructura del aglomerado 1, donde se distingue la cascarilla de arroz y el refuerzo de fique superpuesto.



Figura 2. Detalle del aglomerado 2. La estructura mostrada está conformada por cascarilla de arroz sin refuerzo; las fases oscuras son espacios vacíos.



Figura 3. Estructura externa del aglomerado número 3, donde se destaca la cascarilla de arroz y el refuerzo de fique; las fases más claras son partículas de polvo de almidón no hidrolizado.

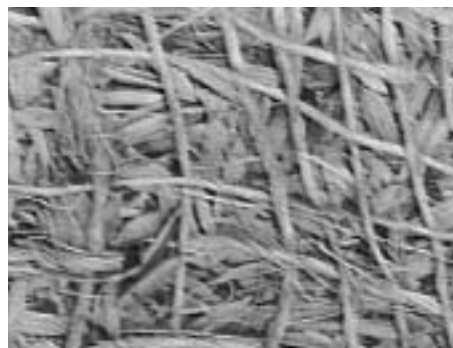


Figura 4. Detalle del aglomerado 4. Se distingue la cascarilla de arroz aglomerada y el refuerzo externo con malla de fique.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores conductivos que se obtuvieron para cada aglomerado se muestran en la tabla 3:

Tabla 3
Valores de conductividad térmica de las muestras de aglomerados analizados según norma ASTM C-177

Muestra /material	K (W/m*k)
1: Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de banano y fique	0.0965
2: Cascarilla de arroz, PVA, fibra de banano	0.2117
3: Cascarilla de arroz, almidón y fibra de yuca, fibra de fique	0.0901
4: Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de banano y fique	0.0653

La composición que arrojó mejor potencial de aislamiento fue la número 4 de cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de banano y de fique, ya que su valor conductivo fue el más bajo de los analizados, lo cual ocurrió a pesar de presentar la misma composición, no así el mismo proceso de producción. La aplicación de presión durante el conformado del aglomerado 1 puede representar una menor presencia de porosidades y, por ende, mayor densidad de materia por volumen, lo cual explica esta diferencia en capacidad de aislamiento.

Contrariamente a lo esperado, el aglomerado 2 presentó los mayores valores de conductividad térmica a pesar de haberse seguido un proceso de aglomeración tipo 2 y de contener un polímero artificial como aglutinante.

La presencia del bagazo de yuca en la composición 3 probablemente contribuyó a disminuir el nivel de porosidades y la densidad de la estructura, lo cual se ve incrementado por la aplicación de presión durante su conformado, aspectos que pueden ser la explicación del resultado obtenido.

Al comparar los resultados obtenidos con los valores de conductividad térmica del poliestireno expandido (ver tabla 1) es evidente que los aglomerados analizados, aún en esta etapa inicial de investigación, tienen un potencial aprovechable en el sector de los materiales aislantes.

Adicionalmente, los aglomerados estudiados conservan parte del comportamiento ignífugo de la cascarilla de arroz, aspecto que incrementa su competitividad frente a polímeros sintéticos que se deterioran a bajas temperaturas (100°C), lo cual permite pensar en múltiples aplicaciones que requieran de un aislante térmico estable, económico y ecológico.

CONCLUSIONES

Del anterior estudio se desprenden las siguientes conclusiones:

- Es posible obtener valores competitivos de conductividad térmica para aplicaciones en el área de los aislamientos por medio de la aglomeración de cascarilla de arroz con elementos naturales y subproductos agrícolas. Tales valores conductivos les permite competir con materiales de uso difundido en la ingeniería aplicada.
- La composición de aglomerados que obtuvo menor coeficiente conductivo fue el de cascarilla de arroz, almidón de yuca a partir de raíces sin procesar, fibra de banano y fique; su conformado se llevó a cabo sin la aplicación de presión, lo cual puede significar una mayor presencia de porosidades que en los demás materiales totalmente naturales.
- La incorporación de fibra de yuca en la estructura de los aglomerados aumentó el valor de conductividad, lo cual puede deberse a un mayor espacio ocupado por material y, en consecuencia, menor cantidad de espacios libres o poros que favorecen la resistencia térmica en virtud del aire contenido en sus espacios.

- El almidón de yuca se perfila como un adherente adecuado para la aglomeración de fibras naturales en virtud de su bajo costo, fácil elaboración, almacenamiento y accesibilidad en la región y adicionalmente por su resistencia biótica.
- El uso del acrilato de polivinilo (PVA) como aglutinante incrementa los costos del producto final y su participación en la estructura de los materiales no satisface los requerimientos de conductividad térmica esperados en relación con los aislantes comerciales.
- No se recomienda el uso de estos aglomerados en aplicaciones que impliquen contacto directo con agua debido a que los adherentes fallarán. Ya que en contacto directo de los aglomerados con el agua ocurre una pérdida de unidad, falla debida a un detrimento en la capacidad adherente de los aglomerantes, no así en la integridad de las fibras.
- Las características del producto final: capacidad ignífuga, baja conductividad térmica, resistencia biótica, bajo costo, amplia disponibilidad de materia prima y baja densidad, lo hacen competitivo según las últimas tendencias del consumo mundial que benefician los productos ecológicos.
- A pesar de que se incrementará la anisotropía del material, se sugiere la elaboración de aglomerados con fibras direccionadas, lo cual puede significar mayor tenacidad del producto final.
- Es posible que los aglomerados de cascarilla de arroz ofrezcan la posibilidad de aislar acústicamente recintos, ya que éste es una aplicación empírica que en los últimos años se le ha venido dando a dicha fibra.
- Es posible incrementar el potencial de los aglomerados de cascarilla de arroz como aislante térmico al aumentar el número de porosidades en su estructura.
- La aplicación de un revestimiento con adherente (incluso de origen natural como el almidón) proporciona protección al aglomerado por cuanto lo mantiene aislado de la interacción directa con el ambiente.
- Es necesario continuar ensayando subproductos industriales a fin de encontrar elementos aprovechables en la elaboración de nuevos materiales, con lo cual no sólo se estará logrando un desarrollo tecnológico sino también ambiental.
- Considerando los resultados obtenidos y la estabilidad de los elementos constitutivos, se propone la utilización de los materiales analizados como aislantes térmicos en sistemas de refrigeración, transporte de mercancía refrigerada,

empaques de productos congelados y construcciones civiles, bajo su forma de alma de materiales compuestos o bien como revestimiento de los materiales constitutivos.

- En aplicaciones de aislamientos de construcciones civiles, los materiales analizados pueden contribuir a disminuir la carga térmica de recintos acondicionados al actuar como barreras térmicas y a su vez como controladores en la prevención y difusión de incendios.
- Así mismo pueden implementarse en aislamiento de equipos térmicos que trabajen a temperaturas un poco mayores a las adecuadas para la utilización del poliestireno expandido (icopor).

Referencias

- CABRERA, Gerardo. Estudios exploratorios sobre potencialidades del fique como elemento estructural y como barrera térmica. En *Memorias del 3^{er} Congreso Internacional de Fibras Naturales*. Universidad Católica de Oriente. Río Negro, 1998, p. 126-139.
- ENCICLOPEDIA de Tecnología Química, tomos 1, 2, 3, 4, 10, 11, 13. México, Uthea, 1961.
- GAÑÁN ROJO, Piedad. Perspectivas de las fibras naturales en el reforzamiento de materiales poliméricos. En *Memorias del 3^{er} Congreso Intenacional de Fibras Naturales*. Universidad Católica de Oriente. Río Negro, 1998, p.59-68.
- INCROPERA, J.P.; DE WITT, D.P. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México, Prentice Hall, 1999.
- KUMAR, Satish. The Need For An Adaptive Thermal Comfort Standard In Tropical Environments. En *Basin News*, N° 18, noviembre, 1999, p. 9-10.
- MANSARAY, K.G; GHALY, A.E. Agglomeration Characteristics of Silica Sand-Rice Husk Ash Mixtures at Elevated Temperatures. En *Energy Sources*, Vol. 20, 1998, p 631-652. Nueva Escocia.
- MARTIRENA HERNÁNDEZ, J; BETANCOURT RODRÍGUEZ, S; GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, R. Biomasa For The Manufacture Of Building Materials: The Efficiency At Small Scale Of Production. En *Basin News*, N° 18, noviembre, 1999, p. 23-27.
- PESENCA. *Uso racional de energía en molinos de arroz en Colombia*. Barranquilla, Presencia, 1990.
- FORMOSOS PERMUY, Antonio. *Formoso, 2000 Procedimientos industriales al alcance de todos*, 13^{va} ed. Madrid, Selecciones Gráficas, 1975.
- SALVASTRANO, Holmer. Fibras vegetais para produçço de componentes construtivos no Brasil. En *Memorias del 2^{do} Congreso Internacional de Fibras Naturales*. Universidad Católica de Oriente. Río Negro, 1997, p. 78-84.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las siguientes personas y departamentos:

- Al Centro de Investigaciones de la Universidad del Norte por su apoyo incondicional para la realización de este estudio.
- Al ingeniero Néstor Durango por su orientación y ánimo emprendedor.