

Comportamiento al fuego del bambú, *Guadua angustifolia*

Alina Avellaneda^a, Joaquín Montón^a, Laia Haurie^a

^aEscuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona (EPSEB), Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Doctor Marañón 44, 08028 Barcelona
alina.avellaneda@upc.edu

Palabras clave: Bambú, Guadua, reacción al fuego, impregnación

Resumen

El bambú es un material con un gran futuro debido entre otras cosas a su rapidez de crecimiento, sus buenas prestaciones y que se trata de un recurso renovable. Este material es ampliamente utilizado en la construcción tradicional de los países de los que es originario. Actualmente existe la posibilidad de expandir su cultivo a otros países que pueden estar interesados en utilizarlo como material de construcción.

En este trabajo se ha estudiado el comportamiento al fuego de la especie *Guadua angustifolia* en función de diversos parámetros como el contenido de humedad, la microestructura o la presencia de retardante de llama en el bambú. Los resultados han permitido conocer mejor este material en cuanto a su comportamiento frente al fuego y estudiar posibles mejoras en sus prestaciones.

1. Introducción

Bambú es el nombre común que reciben las gramíneas leñosas que pertenecen a la subfamilia Bambusoideae. Las Bambusoideae se dividen en tres tribus, la Olyreae que contiene especies herbáceas, y las tribus Arundinarieae y Bambuseae que están formadas por especies leñosas. En todos los continentes a excepción de Europa y la Antártida existen especies de bambú endémicas (1). El bambú es un material con unas excelentes prestaciones mecánicas ampliamente utilizado en la arquitectura vernácula de muchos países asiáticos, africanos y latinoamericanos. El rápido crecimiento del bambú, cuyo cultivo puede dar rendimiento a partir de 5-6 años, y la facilidad de adaptar su cultivo a una gran variedad de climas hacen que el bambú sea un excelente candidato a tener en cuenta en la arquitectura sostenible (2). El desarrollo de las técnicas de encolado abre la puerta a los productos derivados del bambú, tanto estructurales como revestimientos (3) (4).

Uno de los aspectos a tener en cuenta a la hora de diseñar con bambú es su comportamiento al fuego. En este trabajo se pretende profundizar en el conocimiento del comportamiento al fuego de la especie *Guadua angustifolia* teniendo en cuenta variables como la humedad de la pieza o la influencia de la microestructura de la caña de bambú. Así mismo se ha caracterizado el comportamiento de piezas impregnadas con una sal de boro, octaborato de sodio tetrahidratado, de mayor solubilidad que el ácido bórico y el bórax, habitualmente utilizados en el tratamiento del bambú (5).

2. Materiales y metodología

Para los ensayos se han utilizado piezas de bambú *Guadua angustifolia* comercial, suministradas por Bamboo Import Europe. Se cortaron piezas de diferentes dimensiones

y secciones (Fig. 1), en función del tipo de ensayo. Un conjunto de piezas se acondicionó en cámara climática durante un mínimo de 24 horas, a una temperatura de 23°C y con una humedad relativa del 50%. El otro conjunto se dejó secar en la estufa a 50°C hasta el momento de los ensayos.

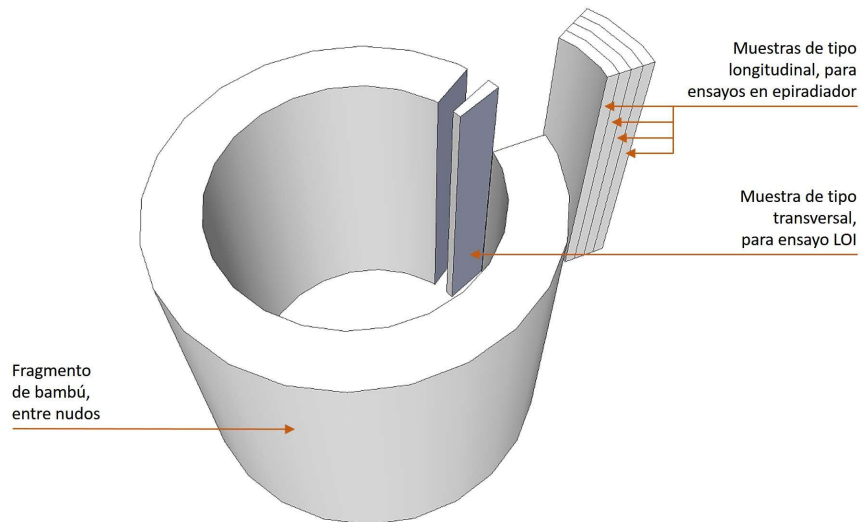


Figura 1. Tipos de muestras de bambú utilizadas

De este segundo conjunto, la mitad de las piezas se impregnaron en autoclave con una solución de borato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ octaborato de sodio tetrahidratado (DOT), Solubor®), disuelto en agua destilada y con una concentración del 20%, consiguiendo una absorción del 5%.

Los ensayos realizados se detallan a continuación:

- Microcalorímetro de pirólisis (PCFC): El objetivo del ensayo es analizar la velocidad de liberación de calor de las muestras de bambú en función de la sección de corte (exterior, centro e interior de la pieza) y de la humedad de las muestras. Para ello se utilizó un microcalorímetro de Fire Testing Technology que se compone de una cámara de pirólisis, donde las muestras se calientan hasta 750°C, a 1°C/s en una atmósfera de nitrógeno. Los gases liberados ascienden a una cámara de combustión que contiene oxígeno y, en función del consumo de oxígeno, se determina la velocidad de liberación de calor.
- Epiradiador: El objetivo del ensayo es evaluar la capacidad de autoextinción del material, sometido a un radiador configurado según la norma UNE 23725-90 (6) y con una potencia nominal de 500 W. Las muestras de bambú se depositan en una rejilla metálica sobre el portamuestras, que previamente se coloca a una distancia de 3 cm bajo el radiador.
El ensayo tiene una duración de 5 minutos, y a partir de él se obtiene el tiempo que transcurre hasta que sucede la primera ignición, el número total de igniciones y el valor promedio de la duración de las igniciones producidas durante ese período de tiempo.
- Índice de oxígeno límite (LOI): El objetivo del ensayo es determinar la concentración mínima de oxígeno, en una mezcla con nitrógeno, que permite la combustión de las muestras y se utilizan como referencia las indicaciones de la norma ISO UNE-EN 4589-

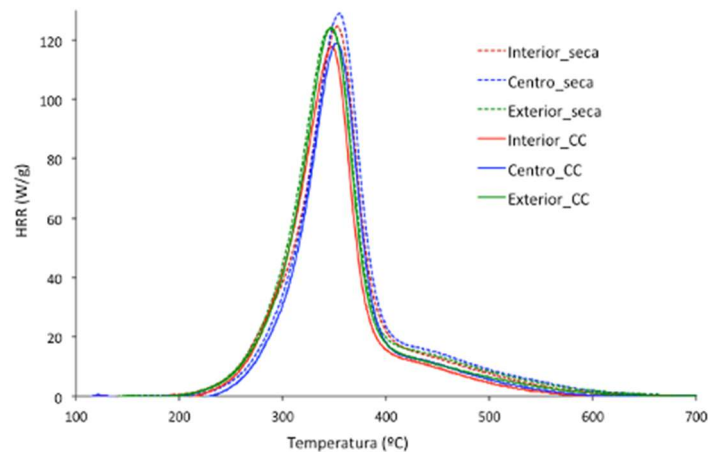


Figura 3. Curva de liberación del ritmo de calor frente a la temperatura obtenida en el ensayo PCFC.

Tabla 1. Resultados obtenidos con el microcalorímetro de pirolisis.

Procedencia	Acondicionamiento	pHRR (W/g)	TpHRR (°C)	THR (kJ/g)
Interior	Estufa	124	352	10,3
Centro	Estufa	129	354	10,3
Exterior	Estufa	124	346	10,4
Interior	Cámara climática	118	347	8,7
Centro	Cámara climática	119	352	8,6
Exterior	Cámara climática	124	347	9,6

Probablemente, el elevado contenido de silicio de las caras externas de la caña de guadua contribuye a incrementar el tiempo de ignición y la cantidad de residuo. El efecto del octaborato de sodio tetrahidratado se aprecia en la menor duración de las combustiones y la mayor cantidad de residuo al final del ensayo. Este tipo de retardante de llama actúa generalmente creando una capa vitrificada que aísla el material combustible y dificulta el acceso del oxígeno (9). La reducción del tiempo de ignición podría estar relacionada con la modificación del fenómeno de pirólisis del bambú mediante la catalización de la deshidratación de los materiales lignocelulósicos, que inicialmente reduce la estabilidad térmica, pero que promueve la formación de residuo carbonizado (10).

Tabla 2. Resultados de epiradiador, según la preparación y la procedencia de la muestra.

Preparación	Procedencia	t ₀ (s)	No	t _m (s)	% Pérdida masa _{final}
Cámara climática, sin impregnar	Exterior	100	3	52	46
	Centro	49	4	29	83
	Interior	49	6	21	71
Estufa, sin impregnar	Exterior	57	2	53	68
	Centro	47	3	30	97
	Interior	46	2	27	90
Estufa, con impregnación	Exterior	65	7	22	36
	Centro	32	5	7	61
	Interior	29	5	6	54

El ensayo de LOI realizado en cortes transversales para las muestras sin impregnar y tratadas con el retardante de llama da un porcentaje de oxígeno límite de 29 para la muestra no tratada y secada en estufa; y 32 para la acondicionada en cámara climática. Las muestras tratadas mejoran significativamente el resultado de LOI y aumentan hasta

47% de valor mínimo de oxígeno para mantener la combustión en las condiciones del ensayo.

4. Conclusiones

Se ha evaluado el comportamiento al fuego de varias piezas de bambú, de la especie *Guadua angustifolia*, cortadas de forma transversal y longitudinal, diferenciando su procedencia (exterior, centro e interior). La humedad de equilibrio dificulta la combustión de las piezas, pero no cambia significativamente la reacción al fuego del bambú. Las zonas exteriores ricas en silicio presentan una mayor resistencia a la combustión, pero al ser las zonas menos afectadas por las variaciones de humedad su comportamiento al fuego varía menos en función de las condiciones higroscópicas ambientes. La adición de un 5% octaborato de sodio tetrahidratado mejora el comportamiento al fuego del bambú, ya que reduce la duración de las combustiones en el caso de la aplicación de una fuente de radiación y aumenta significativamente el valor necesario para producir la combustión en el ensayo de LOI.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto BIA2017-88401-R (AEI/FEDER, UE).

Referencias

- (1) Lizarazu, M.A. Bambúes leñosos (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae) del Noreste argentino y regiones limítrofes: estudios taxonómicos, morfológicos, anatómicos y biogeográficos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2013.
- (2) Jayanetti, D. L.; Follett, P. R. Bamboo in construction. In Xiao, Y., Inoue, M.; Paudel, S. K. (Eds.) *Modern Bamboo Structures*. London: Taylor & Francis Group, 2008.
- (3) Wang, R.; Wei, S. Q.; Li, Z.; Xiao, Y. Performance of connection system used in lightweight glulam shear wall, *Construction and Building Materials*. 2019, 206, 419-431.
- (4) Xiao, Y.; Shan, B.; Chen, G.; Zhou, Q.; She, L.Y. Development of a new type Glulam—GluBam. In Xiao, Y., Inoue, M. & Paudel, S.K. (Eds.) *Modern Bamboo Structures*. London: Taylor & Francis Group, 2008.
- (5) Yu, L.; Cai, J.; Li, H.; Lu, F.; Qin, D.; Fei, B. Effects of boric acid and/or borax treatments on the fire resistance of bamboo filament. *BioResources*. 2017, 12, 3, 5296-5307.
- (6) Asociación Española de Normalización. UNE 23-725-90: Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Ensayo de goteo aplicable a los materiales fusibles. Ensayo Complementario. Madrid: AENOR, octubre 1990.
- (7) Asociación Española de Normalización. UNE-EN ISO 4589-2:2017: Determinación del comportamiento al fuego mediante el índice de oxígeno. Parte 2: Ensayo a temperatura ambiente. Madrid: AENOR, mayo 2017.
- (8) Ito, R.; Miyafuji, H.; Kasuya, N. Rhizome and root anatomy of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) observed with scanning electron microscopy. *Journal of Wood Science*. 2015, 61, 431-437.
- (9) Yu, L. L.; Lu, F.; Qin, D. C.; Ren, H. Q.; Fei, B. H. Combustibility of Boron-Containing Fire Retardant Treated Bamboo Filaments. *Wood Fiber Sci*. 2017, 49, 2, 125-133.
- (10) Jin, X.B.; Jiang, Z.H.; Wen, X.-W.; Zhang, R.; Qin, D.-C. Flame Retardant Properties of Laminated Bamboo Lumber Treated with Monoammonium Phosphate (MAP) and Boric acid/Borax (SBX) Compounds. *BioResources*. 2017, 12, 3, 5071-5085.