XXV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
Santander, 10-13 junio 2025
UC Universidad de Cantabria
IFToMM

Desarrollo y fabricación de nuevos paneles de aislamiento empleando materiales ecológicos

Mariano Lázaro[1], Daniel Alvear[2], Isabel Rodríguez[3]

[1] *Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos, Universidad de Cantabria, lazarom@unican.es*

[2] *Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos, Universidad de Cantabria, alveard@unican.es*

[3] *Besarte Fibre Natural, Pesquera (Cantabria), besarte13@gmail.com*

La creciente demanda de materiales sostenibles y seguros en el sector de la construcción ha impulsado el desarrollo de soluciones basadas en principios de economía circular. En este contexto, el proyecto Ignis busca innovar en la fabricación de paneles de revestimiento ignífugos a partir de materiales regenerados, con un énfasis particular en el uso de fibra de saúco y otros recursos como lana, celulosa, papel kraft y residuos de biomasa. El objetivo es reducir la dependencia de recursos convencionales y minimizar la huella de carbono mediante la integración de materiales regenerativos que además contribuyan a valorizar los residuos.

Para evaluar la viabilidad de estos paneles, se estudiaron los requisitos que deben de cumplir tanto desde el punto de vista normativo (CTE - eficiencia energética y reacción al fuego) como desde el punto de vista de la toma de decisión del cliente final (resistencia a la compresión, precio, reciclabilidad, etc.), y los procesos de fabricación necesarios para obtener los paneles en configuración de uso final. Una vez analizados todos los factores, se fabricaron diferentes prototipos de muestras para realizar la caracterización de las propiedades ignífugas, y poder predecir su clasificación dentro del sistema Europeo armonizado de clasificación de la reacción al fuego de materiales (Euroclases).

Para ello, se realizaron ensayos de cono calorimétrico, técnica de calorimetría a pequeña escala que permite evaluar el comportamiento térmico y la reacción al fuego de distintas combinaciones de materiales, sobre prototipos realizados con base de lana de oveja, sauco y vaina de alubia. Estos ensayos aportaron datos cruciales sobre la estabilidad térmica y comportamiento de los prototipos de paneles, permitiendo ajustar sus formulaciones en función de los resultados obtenidos. Adicionalmente, se realizó un análisis comparativo con los resultados con los obtenidos ensayando muestras de dos clases de paneles comerciales que disponían de las correspondientes certificaciones.

Los resultados indican que los paneles basados en materiales regenerados ofrecen un rendimiento prometedor en cuanto a resistencia térmica, sobre todo en el caso del sauco y la vaina de alubia, cumpliendo con los requisitos normativos de clasificación de materiales de construcción (CPR) con clasificación estimada de B. Además, el análisis con diferentes formulaciones de aditivo permitió identificar las combinaciones con mejor desempeño, optimizando así la eficiencia de los paneles en condiciones de uso crítico.

1. Introducción

En los últimos años, la industria de la construcción ha experimentado una transformación significativa hacia el uso de materiales sostenibles, impulsada por la necesidad de reducir el impacto ambiental y fomentar la economía circular. La creciente preocupación por el agotamiento de los recursos naturales, la generación de residuos y las emisiones de gases de efecto invernadero ha llevado al desarrollo de soluciones constructivas basadas en materiales ecológicos y regenerativos [1]. En este contexto, los paneles de aislamiento térmico y acústico han sido objeto de especial interés, ya que representan una parte fundamental en la eficiencia energética de los edificios y pueden contribuir significativamente a la reducción del consumo energético y de la huella de carbono [2].

El uso de fibras naturales y residuos agroindustriales en la fabricación de materiales de construcción ha sido ampliamente estudiado como una alternativa viable a los productos convencionales derivados del petróleo o de alto impacto ambiental, como la lana de roca y el poliestireno expandido (EPS). Entre los materiales más investigados destacan la lana de oveja, el lino, el cáñamo, la celulosa reciclada y diversos residuos de biomasa, los cuales han demostrado poseer buenas propiedades térmicas y mecánicas, además de ser biodegradables y renovables [1].

Por ejemplo, estudios previos han analizado el desempeño de paneles fabricados con fibras naturales tratadas con retardantes de llama, mostrando mejoras en su resistencia al fuego y estabilidad térmica [3]. En particular, investigaciones sobre la incorporación de compuestos ignífugos basados en sales de boro, proteínas y nanocelulosa han evidenciado una reducción en la inflamabilidad sin comprometer las propiedades estructurales de los materiales [4].

A nivel normativo, el Reglamento de Productos de Construcción (CPR) y el Código Técnico de la Edificación (CTE) han establecido requisitos estrictos para la clasificación de los materiales de construcción en términos de eficiencia energética, comportamiento frente al fuego y sostenibilidad. Estos estándares han impulsado el desarrollo de nuevos materiales que no solo cumplen con los criterios de seguridad, sino que también favorecen la reducción del impacto ambiental y la optimización de los recursos naturales.

La producción de paneles aislantes a partir de materiales regenerativos se ha abordado desde diferentes enfoques tecnológicos. Entre las metodologías más empleadas se encuentran el moldeo por prensado en caliente, el moldeo por unión con radiación de microondas, y los procesos de compresión asistida por vacío [5]. Estas técnicas han demostrado ser eficaces para la fabricación de paneles con buena estabilidad estructural y una adecuada resistencia térmica y mecánica. Adicionalmente, estudios recientes han evaluado la viabilidad de utilizar residuos agrícolas y biomasa para fabricar paneles de aislamiento. Se han documentado ejemplos de paneles fabricados con pulpa kraft, hoja de palma de aceite, cáscara de arroz, médula de maíz, paja de cebada, fibras de lino y madera, los cuales han demostrado propiedades mecánicas y térmicas adecuadas para aplicaciones en construcción [6].

Para garantizar la seguridad y el rendimiento de los materiales de construcción, es fundamental realizar ensayos de caracterización que permitan evaluar su comportamiento térmico y su resistencia al fuego. En este sentido, la técnica de cono calorimétrico se ha consolidado como un método eficaz para analizar la inflamabilidad y estabilidad térmica de diferentes combinaciones de materiales [7]. Adicionalmente, el uso de microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis termogravimétrico (TGA) ha permitido obtener información detallada sobre la estructura y composición de los materiales, facilitando la optimización de sus formulaciones para mejorar su desempeño en aplicaciones constructivas [3].

El presente estudio se enmarca en esta tendencia de innovación en materiales de construcción, con el objetivo de desarrollar, fabricar y caracterizar paneles ignífugos fabricados a partir de materiales regenerados, con especial énfasis en la utilización de fibra de saúco, lana de oveja y vaina de alubia. Se pretende evaluar su rendimiento térmico y su clasificación dentro del sistema Euroclases, comparándolos con paneles comerciales ya certificados. A través de una combinación de ensayos de laboratorio y análisis comparativos, se busca validar la viabilidad técnica y comercial de estos paneles como una alternativa sostenible y eficiente para el sector de la construcción. La integración de materiales regenerativos no solo permite reducir la dependencia de recursos convencionales, sino que también contribuye a la valorización de residuos y a la reducción del impacto ambiental.

2. Metodología

El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de caracterizar el comportamiento frente al fuego de paneles de revestimiento fabricados con materiales regenerados, específicamente fibra de saúco, lana de oveja y vaina de alubia. Para ello, se realizaron ensayos a pequeña escala utilizando el cono calorimétrico, un método ampliamente utilizado para evaluar la reacción al fuego de materiales según la norma ISO 5660-1 [8].

El cono calorimétrico se compone de un quemador que irradia a la muestra de ensayo (100mm. x 100mm.) con un flujo de calor máximo de 100 kW/m^2. La forma tronco-cónica del quemador proporciona la principal ventaja de este equipo, ya que somete a la muestra estudiada a una exposición uniforme. La emisividad del quemador es 0.99

y el producto emisividad x factor de forma es 0.73 [10], por lo que el flujo de calor por radiación que se alcanza en la muestra es:

$$q_e'' = 0.73\sigma(T_h^4 - T_0^4)$$

Siendo, σ la constante de Stefan-Boltzmann, T_h la temperatura del quemador y T_o la temperatura ambiente (en ºK).

Los ensayos se dividieron en dos fases principales:

- Fase 1: Evaluación preliminar de muestras sin tratamiento y con distintas cantidades de retardante FLAM BLOCKER aplicado por pulverización (25, 50 y 75 pulverizaciones). Esta primera fase se realizó únicamente sobre muestras de material Sauco.
- Fase Final: Ensayos sobre muestras de sauco, lana y vaina con la aplicación de 75 pulverizaciones del retardante FLAM BLOCKER y comparación con materiales comerciales de referencia. Adicionalmente, cada muestra de sauco, lana y vaina fue analizado en su estado original y tras la aplicación del retardante, con el fin de determinar la influencia del tratamiento en su rendimiento frente al fuego.

Los datos obtenidos en los ensayos de la fase final se analizaron mediante comparaciones directas entre muestras tratadas y no tratadas, así como frente a materiales comerciales de referencia. Adicionalmente se realizaron estimaciones preliminares de la clasificación de reacción al fuego según la metodología SBI (Single Burning Item) [9], empleada en la clasificación de materiales dentro del sistema Euroclases [10-13].

Los criterios de evaluación incluyeron:

- Reducción del pico de Velocidad de Cesión de Calor (HRR) con la aplicación del retardante.
- Aumento del tiempo de ignición, indicando una mejora en la resistencia al fuego.
- Disminución de la pérdida de masa, reflejando una menor combustibilidad.
- Comparación con las normativas de clasificación de reacción al fuego.

3. Materiales

A fin de poder hacer una aproximación para determinar la dosis de retardante a emplear en el resto de las muestras durante los ensayos, se procedió a probar tres diferentes alternativas sobre unas muestras de Sauco: aplicación de 25, 50 y 75 pulverizaciones. El espesor promedio de las muestras ensayadas a un flujo de calor de 50 kW/m^2, fue de 1.8 cm, siendo la masa de las probetas de entre 60 y 68 g. El retardante denominado FLAM BLOCKER – fire retarding liquid de la empresa SDS STOP fuego es un retardante del fuego a base de agua para fuego clase A, especialmente diseñado para proteger la mayoría de los materiales absorbentes (materiales de clase A) de manera efectiva contra la propagación de llamas y humo.

Para la fase final del trabajo, se fabricaron muestras de con sauco, lana de oveja y vaina de alubia sobre los que se había realizado un tratamiento previo en una Pila Holandesa y un proceso posterior de compresión con una prensa, y se emplearon adicionalmente dos lanas comerciales del distribuidor Ecomateriales Ultravioleta que se corresponden con una Manta de aislamiento térmico y acústico lana de oveja sin tratamiento y clasificación F de reacción al fuego según UNE-EN-ISO 11925-2, y un Granel de lana de oveja aislante con tratamiento contra el fuego y clasificación teórica B según la misma norma. Estos dos últimos materiales fueron adquiridos a modo de comparación. Adicionalmente, para las muestras de los materiales del proyecto (lana, sauco y vaina) se realizaron ensayos sobre tres muestras adicionales sobre las que se había aplicado el retardante FLAM BLOCKER.

En la Tabla 1 se muestran los datos de los materiales empleados durante la fase final y en la Figura 1 se observan unas fotografías representativas de dichas muestras debiéndose de tener en cuenta que se realizaron 3 ensayos por muestra de cara a obtener repetitividad en los resultados.

Tabla 1: Muestras empleadas durante la fase final.

Material	Estado	Masa inicial media (g)	Espesor promedio (cm)
Lana de Oveja	Sin tratamiento	38.4	2.1
	75 pulverizaciones	52.8	2.2
Fibra de Saúco	Sin tratamiento	31.2	2.4
	75 pulverizaciones	42.7	2.3
Vaina de Alubia	Sin tratamiento	37.8	2.2
	75 pulverizaciones	39.8	2.1
Manta de Lana	Comercial	15.1	4
Lana a Granel	Comercial	33.2	4.5

Muestra de Lana de oveja

Muestra de Sauco

Muestra de Vaina de alubia

Muestra de Manta de Lana de oveja

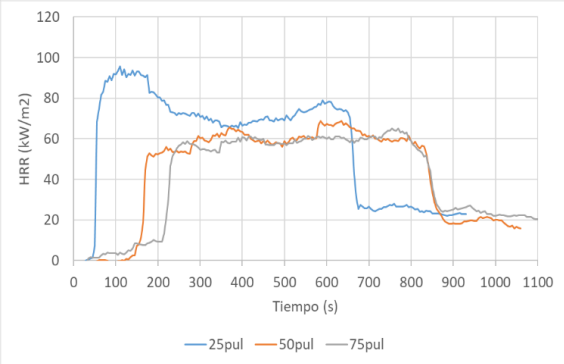
Muestra de Granel de lana de oveja

Figura 1: Vistas de las muestras preparadas para los ensayos finales.

4. Resultados y discusión

4.1. Ensayos de cono calorimétrico para determinar la dosis de retardante

En la Figura 2 se muestran los resultados de velocidad de cesión de calor por unidad de área (HRRPUA) y humo total producido (TSP) para los ensayos de cono calorimétrico a un flujo de calor del quemador de 50 kW/m^2 sobre muestras de Sauco aplicando 25, 50 y 75 pulverizaciones.



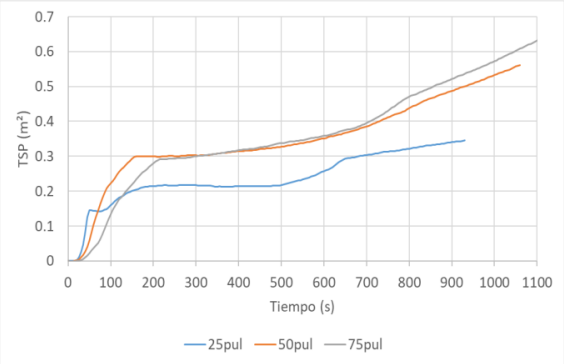


Figura 2: Resultados del Sauco durante los ensayos de Cono con diferentes pulverizaciones.

Adicionalmente, en la Tabla 2 se muestra una síntesis de los resultados obtenidos.

Tabla 2: Resumen de datos de ensayos de Cono Calorimétrico del Sauco con diferentes pulverizaciones.

Caso	Masa inicial (g)	Tiempo ignición (s)	Tiempo flameout (s)	Pico HRR (kW/m^2)	Calor combustión efectivo medio (MJ/kg)
25 pulverizaciones	59.6	44	812	95.5	10.59
50 pulverizaciones	68.5	158	954	68.7	9.16
75 pulverizaciones	65.4	214	1006	64.92	9.92

Se puede observar el efecto de la cantidad de retardante en los resultados, con un mayor retardo en la ignición, y menor pico de velocidad de cesión de calor y energía liberada para el caso de 75 pulverizaciones. Al comparar los resultados de 50 y 75 pulverizaciones se observa que, aunque existe mejora esta es muy pequeña en relación con la comparación entre 25 y 50 o entre no disponer de aditivo e incluir 25 pulverizaciones.

4.2. Ensayos de cono calorimétrico fase final

A continuación, se van a mostrar los resultados obtenidos a través del método de ensayo de Cono Calorimétrico durante la fase final para las diferentes muestras, siendo necesario indicar que las muestras desarrolladas durante el proyecto tienen un espesor de entre 2.1 y 2.4 cm mientras que las muestras comerciales tuvieron espesores de 4 y 4.5 cm de media.

En primer lugar, la Tabla 3 muestra los principales resultados promedio alcanzados en los ensayos de las muestras.

Tabla 3: Resultados promedio de los diferentes materiales ensayados en la fase final.

Caso	Masa inicial (g)	Tiempo de ignición (s)	Tiempo de flameout (s)	pico HRR (kW/m²)	Calor total liberado, THR (MJ/m²)
Lana	38	6	552	200	57
Lana 75 Pulverizaciones	53	143	702	148	57
Sauco	30	8	487	116	32
Sauco 75 Pulverizaciones	43	185	592	82	25
Vaina	38	8	660	91	31
Vaina 75 Pulverizaciones	40	202	564	69	20
Manta De Lana Comercial	15	7	190	210	21
Lana Granel	33	6	427	179	46

Los tiempos de ignición muestran comportamientos semejantes entre los materiales de proyecto (lana, sauco y vaina) y los dos materiales comerciales (manta de lana y lana a granel), aumentando significativamente estos tiempos con la aplicación del retardante FLAM BLOCKER. Por otro lado, la menor masa de la manta y lana a granel se reflejan en un menor tiempo de apagado de la llama. En relación con el pico de velocidad de cesión de calor, la manta de lana comercial fue la que produjo unos valores más elevados seguido de la lana del proyecto y la lana a granel. La aplicación del retardante se vio reflejada en una reducción importante en el pico, con una reducción entre el 25 y 30 % respecto del material sin tratamiento. Finalmente, y en relación con la energía total liberada, la lana comercial junto con el sauco y la vaina con retardante proporcionaron los mejores resultados, encontrándose en el extremo opuesto la lana del proyecto tanto sin tratamiento como con él.

Adicionalmente, en las Figuras 3 y 4 se muestran las gráficas comparativas de los valores promedio de los tres ensayos para cada uno de los tipos de muestras, pudiéndose observar los valores de velocidad de cesión de calor (HRR) y humo total producido (TSP).

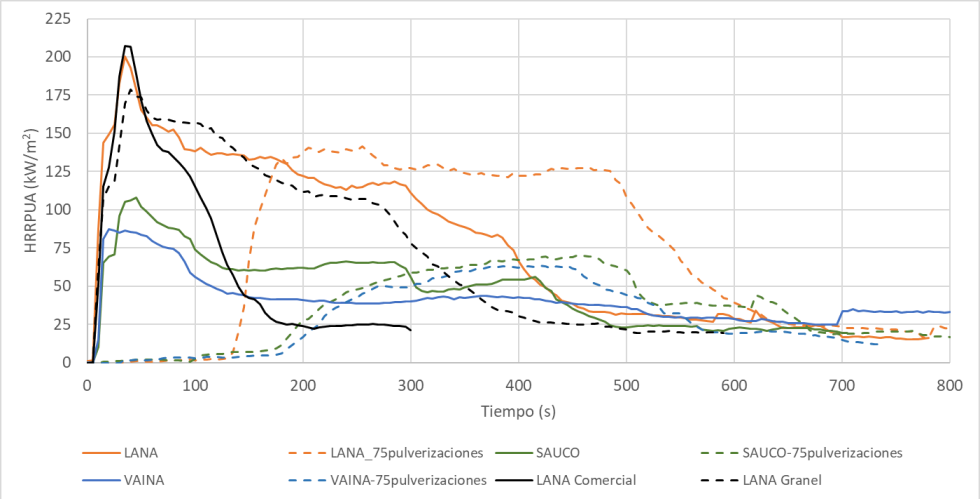


Figura 3: Resultados promedios de la velocidad de cesión de calor por unidad de área.

Se observa como las lanas muestran un comportamiento muy próximo entre sí, sobre todo para el caso de la fabricada en el proyecto frente a la manta de lana comercial, con un pico casi idéntico de velocidad de cesión de calor y un decaimiento de la curva muy parecido. La lana a granel coincidió en el valor de pico con las dos lanas indicadas previamente, pero la fase de decaimiento después de alcanzar el pico fue mucho más pronunciada. Estos comportamientos parejos también se observan en las curvas de humo generado durante el ensayo. Se puede observar además para todos los casos el efecto del retardante en las muestras, y fundamentalmente para el caso del sauco y la vaina de alubia donde se retrasa significativamente la ignición y se ve ampliamente reducido el valor de pico de energía liberada. Adicionalmente, las muestras de sauco y la vaina de alubia, tanto con retardante como sin retardante, son las que generan una menor cantidad de humos con valores en todos los casos por debajo de 0.5 m^2.

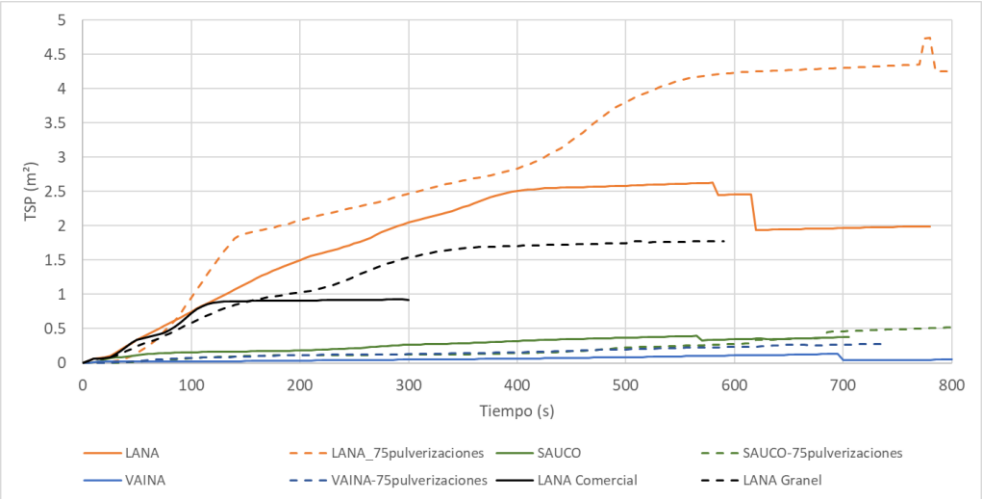


Figura 4: Resultados promedios de la producción de humo.

4.3. Estimaciones preliminares de resultados de SBI

El ensayo de media escala SBI es un método fundamental dentro del sistema europeo armonizado de clasificación de la reacción al fuego de materiales (Euroclases). El SBI se emplea para evaluar tanto la velocidad de cesión de calor, la producción de humos y la producción de gotas incandescentes. Como se ha indicado anteriormente, existen trabajos previos que permiten estimar con carácter predictivo los valores de SBI basado en los datos de pequeña escala y particularmente en Cono Calorimétrico.

En primer lugar, para el análisis de la clasificación en función de la cantidad total de humos producida se partió de los valores medios de la producción total de humo durante el periodo de tiempo que dura la ignición, tomándose para cada uno de los materiales el valor medio de los tres ensayos (Tabla 4). Adicionalmente, del estudio de los resultados de diversos ensayos de SBI se ha estimado un valor del área máxima al que están expuestas por la llama las muestras durante los test [14]. Aunque el área de la superficie de la cara expuesta de la muestra es 2.25 m^2, para aquellos productos en los que no se alcanza una altura de llama sostenida de 1.5 m (la altura total de la muestra en SBI) se estima que el área es 0.35 m^2, mientras que para aquellos que exceden esa altura se considera un valor de 0.60 m^2. Por el contrario, si las llamas se propagaran hasta la zona superior en la totalidad de la anchura del quemador, el área alcanzaría un valor de 0.87 m^2.

Considerando un valor conservador de exposición de la llama A_{expSBI} de 0.87 m^2, y teniendo en cuenta que la superficie en cono calorimétrico A_{CC} es de 0.01 m^2, se podría hacer la siguiente estimación de la producción total en el ensayo SBI:

$$TSP_{estimadoSBI} = TSP_{CC} \cdot \left(A_{expSBI}/A_{CC}\right)$$

En la Tabla 4 se muestran los valores calculados para cada uno de los materiales.

Tabla 4: Estimación de la clasificación de humos.

Caso	TSP_{CC} (m^2)	$TSP_{estimadoSBI}$ (m^2)		Estimación de clasificación con superficie 2.25 m^2
		Superficie 0.85 m^2	Superficie 2.25 m^2	
Lana	1.84	160	414	S3
Lana 75 Pulverizaciones	3.46	301	778	S3
Sauco	0.27	23	61	S2
Sauco 75 Pulverizaciones	0.25	22	56	S2
Vaina	0.06	5	13	S1
Vaina 75 Pulverizaciones	0.19	17	43	S1
Manta De Lana Comercial	0.71	62	160	S2
Lana Granel	1.25	109	281	S3

Los resultados anteriores muestran que el mejor comportamiento se produce para el caso de la vaina de alubia, tanto con retardante como sin él, seguido del sauco y la manta de lana comercial. Por otro lado, indicar que los resultados del análisis son coherentes con la clasificación del producto lana a granel que según sus fichas características es s3 y por lo tanto coincide con los valores alcanzados en la estimación.

Adicionalmente, y para el caso de la energía, se realizó una aproximación sencilla que establece una correlación directa para materiales de madera analizando los valores de la temperatura de ignición y el valor de pico de HRR según se muestra en la Tabla 5 [15], y mostrándose los resultados en la Tabla 6.

Tabla 5: Regla de asignación de límites para ensayos en Cono Calorimétrico a 50 kW/m^2 [15].

Euroclase	Tiempo de ignición (s)	Máxima Velocidad de Cesión de Calor (kW/m^2)
B	≥ 40	≤ 100
C	≥ 30	≤ 180
D	≥ 15	≤ 250

Tabla 6: Estimación de la clasificación de Euroclase.

Caso	t_{ig} (s)	$t_{flameout}$ (s)	HRR_{pico} (kW/m^2)	t_{pico} (s)	THR (MJ/m^2)	Estimación Euroclase
Lana	6	552	200	33	57	D*
Lana 75 Pulverizaciones	143	702	148	310	57	C
Sauco	8	487	116	45	32	D*
Sauco 75 Pulverizaciones	185	592	82	457	25	B
Vaina	8	660	91	25	31	D*
Vaina 75 Pulverizaciones	202	564	69	420	20	B
Manta De Lana Comercial	7	190	210	37	21	D*
Lana Granel	6	427	179	43	46	D*

**Clasificación D o mayor.*

Los resultados muestran que las mejores estimaciones de clasificación se producen para las muestras en las que se ha aplicado el retardante, sobre todo en los casos de sauco y vaina de alubia, llegándose a obtener una clasificación B en ambos casos y de C cuando se aplica el retardante en la muestra fabricada con lana. Por otro lado, la clasificación de la manta de lana comercial concuerda con la clasificación mostrada en las hojas características de F, pero no así sucede con la muestra de lana a granel donde las hojas características indican que se pudiera alcanzar una clasificación B pero la muestra se encuentra muy lejos de alcanzar dicho valor.

5. Conclusiones

El presente estudio ha demostrado el potencial de los paneles de aislamiento fabricados con materiales regenerados, específicamente fibra de saúco, lana de oveja y vaina de alubia, como una alternativa sostenible y eficaz en el sector de la construcción. Los ensayos realizados con cono calorimétrico han permitido evaluar la reacción al fuego de estos materiales, destacando la influencia del tratamiento con FLAM BLOCKER en la mejora de su comportamiento ignífugo.

Se pudo comprobar que la aplicación del retardante en concentraciones adecuadas (75 pulverizaciones) ha mejorado significativamente el tiempo de ignición en los materiales ensayados. Adicionalmente, se ha observado una disminución del pico de velocidad de cesión de calor en un rango del 25 al 30%, lo que indica una reducción en la intensidad del fuego en las muestras tratadas.

Por otro lado, los paneles fabricados con fibra de saúco y vaina de alubia con tratamiento retardante han alcanzado una clasificación estimada B en el sistema Euroclases, lo que sugiere su viabilidad para aplicaciones en construcción con exigencias de resistencia al fuego. La lana de oveja tratada ha logrado una clasificación C, mostrando mejoras respecto a su versión sin tratamiento, pero con una respuesta menos eficiente que la del saúco y la vaina. Los materiales sin tratamiento obtuvieron clasificaciones D o inferiores, indicando un mayor riesgo de inflamabilidad y una menor capacidad de retardancia al fuego. Adicionalmente, se ha evidenciado una reducción en la producción total de humos (TSP) en los materiales tratados, mejorando la visibilidad y reduciendo el impacto en entornos con riesgo de incendio.

Los paneles optimizados en este estudio han mostrado un desempeño competitivo frente a materiales comerciales con certificación ignífuga, destacando especialmente en reducción de humos y menor liberación de calor. La manta de lana comercial presentó el peor comportamiento en términos de HRR y producción de humo, mientras que la lana a granel con tratamiento mostró resultados similares a los paneles desarrollados en el estudio.

En conclusión, el desarrollo de paneles de aislamiento a partir de materiales regenerados representa una opción prometedora para la construcción sostenible, combinando eficiencia térmica, reducción de impacto ambiental y mejoras en seguridad contra incendios.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Besarte Fibra Natural por la financiación del proyecto ‘IGNIS - Desarrollo y fabricación de paneles de revestimiento ignífugos a partir de materiales regenerados’.

7. Referencias

[1] A. Karimah, M.R. Ridho, S.S. Munawar, D.S. Adi, Ismadi, R. Damayanti, B. Subiyanto, W. Fatriasari, A. Fudholi "A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite - characteristics, and utilizations", Journal of Materials Research and Technology, 13: 2442 - 2458 (2021).

[2] Y. Shireeshaa, G. Nandipatib, "State of Art Review on Natural Fibers", Materials Today: Proceedings 18, 15-24 (2019).

[3] J. Lazko, N. Landercy, F. Laoutid, L. Dangreau, M.H. Huguet, O. Talon, "Flame retardant treatments of insulating agro-materials from flax short fibres", Polymer Degradation and Stability, 98, 1043-1051 (2013).

[4] N. Yildirim, "Developing fire-retardant and water-repellent bio-structural panels using nanocellulose", Materials Research Society Communications, 8, 257–265 (2018).

[5] H. Binici, M. Eken, M. Dolaz, O. Aksogan, M. Kara, "An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres", Construction and Building Materials, 51, 24–33 (2014).

[6] P. Moreno, N. Villamizar, J. Perez, A. Bayona, J. Roman, N. Moreno, N.S. Medeiros Cardozo, "Fire-resistant cellulose boards from waste newspaper, boric acid salts, and protein binders", Clean Technologies and Environmental Policy, 23:1537–1546 (2021).

[7] C. Zheng, D. Li, M. Ek, "Improving fire retardancy of cellulosic thermal insulating materials by coating with bio-based fire retardants", Nordic Pulp & Paper Research Journal, 34(1), 96–106 (2019).

[8] ISO 5660-1:2015. Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement).

[9] EN 13823:2021 - Ensayos de reacción al fuego de productos de construcción. Productos de construcción.

[10] L. Tsantaridis, B. Ostman, "Cone Calorimeter Data, Comparisons for the SBI RR Products", Rapport I 9812090. Tratek: Stockholm, 1999.

[11] U. Wickström, U. Göransson, "Full-Scale/Bench-Scale Correlations of Wall and Ceiling linings", Journal of Fire and Materials, vol. 16, 1992.

[12] T. Hakkarainen, "Rate of heat release and ignitability indices in predicting SBI test results", Journal of Fire Sciences, 19:284–305, 2001.

[13] A.S. Hansen, "Prediction of heat release in the single burning item test", Fire and Materials, 26(2):87 – 97, 2002.

[14] P. Van Hees, T. Hertzberg, A.S. Hansen, "Development of a Screening Method for the SBI and Room Corner using the Cone Calorimeter", Nordtest project 1479-00 SP REPORT 2002:11.

[15] T. Tsantaridis, B. Östman, T. Trätek, T. Hakkarainen, "Euroclass predictions for developing wood based products with improved fire performance", Interflam, pp419-428, 2010.