

Evaluación del comportamiento al fuego de la madera de pino ponderosa impregnada con 8 soluciones potencialmente ignífugas (Laura Tonello, Gabriel Keil, Laura Maly, Guadalupe Canosa, Carlos Giudice - LIMAD, FCAyF-UNLP, CIDEPINT, CICPBA-CONICET)

El fuego es considerado uno de los principales agentes de destrucción de objetos fabricados parcial o totalmente con madera. La madera por ser un material combustible, crea siempre el “riesgo de incendio”. Esto constituye una de las limitaciones a su mayor uso en la construcción.

La protección de los materiales leñosos frente al fuego está limitada a un efecto retardante, ya que ninguna sustancia química puede transformar la madera en material incombustible dentro de los márgenes de tratamiento económico. La acción de los retardantes reduce en el tiempo la pérdida de peso que sufre la madera por carbonización de la masa leñosa, al mismo tiempo que puede limitar la tendencia a la permanencia de la llama y/o brasa que aparece en la madera encendida.

Ocho procesos de impregnación en probetas fueron ensayados aplicando el procedimiento Bethell o de “célula llena”:

- P100 = paraformaldehído al 100%
- P50 = paraformaldehído al 50%
- P25 = paraformaldehído al 25%
- B15 = mezcla de bórax, ácido bórico y amoníaco al 15%
- B10 = mezcla de bórax, ácido bórico y amoníaco al 10%
- FB8 = solución fosfato/borato al 8%
- CCA2 = arseniato de cobre cromatado al 2%
- Bio5 = biopreservante en desarrollo al 5% de concentración
- T = testigo

Inmediatamente posterior a la impregnación, el 20% de las probetas fueron cortadas por la mitad en su longitud a fin de corroborar la penetración del impregnante. Previa y posteriormente a la impregnación, se pesaron las probetas en balanza analítica de 0,01 g de precisión y se determinó el volumen con calibre micrométrico para determinar el valor de absorción. Luego se obtuvo el valor de la retención nominal, expresada en kg de preservante por m³ de madera y se determinó la retención real. Las formulaciones a base de boro se muestran en las tablas 13 y 14.

Tabla 13 Formulación ensayada de las soluciones a base de boro (B15 y B10).

Compuestos	Formulación	Porcentaje en peso sólido
Fosfato ácido de amonio	PO ₄ H(NH ₄) ₂	10
Sulfato de amonio	SO ₄ (NH ₄) ₂	60
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	20
Borato de sodio	Na ₂ B ₄ O ₇	10

La solución fue elaborada en el CIDEPINT.

Tabla 14 Formulación de fosfato monoamónico y decaborato de sodio (FB8).

Compuestos	Porcentaje en peso sólido
Fosfato monoamónico	6,8
Decaborato de sodio	1,2
Agua c.s.p.	100

La solución fue desarrollada por la Empresa Química Bosques S. A.



Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa

Se analizó la resistencia frente al fuego de las probetas impregnadas mediante el ensayo de Índice de Oxígeno (OI) y el Ensayo Intermitente. El Ensayo OI determina la mínima concentración de oxígeno en una mezcla con nitrógeno que puede mantener la combustión de un material en condiciones de equilibrio, como la combustión de una vela. El valor se expresa en porcentaje en volumen. La importancia de esta determinación no solo radica en medir la facilidad de combustión de los sustratos para comparar resultados, sino que un valor de OI mayor al 28% permite clasificar el sustrato como autoextinguible. Es importante mencionar que el ensayo OI no es representativo del comportamiento real del material en contacto con el fuego, pero es uno de los métodos preferidos en el desarrollo de tratamientos retardantes del fuego debido a que permite la obtención de valores numéricos reproducibles. Por otro lado, el ensayo Intermitente consiste en someter el frente inferior de la probeta a la acción intermitente de la llama de un mechero Bunsen, dispuesto en un ángulo de 45°. La llama se ajustará de manera de alcanzar 10 mm de altura del cono azul y el orificio de salida del mechero se colocará a 15 mm de la superficie en examen. La probeta se someterá a la acción de la llama durante 20 s, con períodos de descanso de 10 s. Se repetirá el ciclo de exposición fuego/reposo si la llama se autoextingue dentro de los 5 s de retirado el mechero y la zona carbonizada no excede los 8 cm². Las exigencias de este ensayo determinan que para soluciones o pinturas que se aplicarán en servicio sobre un sustrato combustible deberán presentar una calificación de Aprobado y clasificación Clase A.

Se observó una penetración total de la impregnación en toda la escuadría de la pieza de la probeta. Los valores de retención obtenidos fueron contrastados con los valores especificados en la norma IRAM 9600 para productos preservantes, ya que no existe en el país una normalización de este tipo para productos ignífugos. En la tabla 15 se sintetizan los valores OI para la madera testigo e impregnada con las 8 formulaciones ensayadas.

Tabla 15 Valores del ensayo de Índice de Oxígeno (OI).

Producto	Concentración (%)	OI (% de O ₂)	Intermitente
B10	10	>50	Clase A-Aprueba
B15	15	>50	Clase A-Aprueba
P50	50	24	Clase E-No aprueba
Bio5	5	24	Clase E-No aprueba
FB8	8	>45	Clase A-Aprueba
P25	25	26	Clase E-No aprueba
P100	100	24	Clase E-No aprueba
CCA2	2	22	Clase D-No aprueba
Testigo (sin impregnar)	-	25	Clase E-No aprueba

Los valores OI e Intermitente obtenidos para las soluciones de paraformaldehído no fueron aceptables, comportándose igual o peor que el testigo. El uso del paraformaldehído no provocó retardancia de llama en los ensayos, lo cual de haber resultado positivo, hubiera agregado al paraformaldehído una propiedad a la ya reconocida eficiencia en su capacidad biocida (Rams & Martínez, 2007). Las soluciones que contienen mezcla a base de boro al 15% y al 10% proporcionaron a las muestras una capacidad ignífuga adecuada, calificándolo como un material autoextinguible (Giudice, 2010). Valores menores de OI (37-50%) fueron encontrados por Pereyra & Giudice (2008) en madera de araucaria angustifolia. Las soluciones que contienen fosfato monoamónico y decaborato de sodio



Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa

proporcionaron buenas propiedades retardantes de llama sobre las probetas de madera. La solución biopreservante y el CCA no proporcionaron propiedades retardantes de llama.



Figura 9 Ensayos de Comportamiento al Fuego (OI) (figura superior) e Intermitente (figura inferior).

Podemos ratificar que la penetración fue total en toda la pieza de madera y los valores de absorción y retención real logrados en la impregnación profunda de pino ponderosa fueron mayores a los obtenidos en otras especies de pinos y con otros preservantes hidrosolubles. Las soluciones a base de boro, al 15% y al 10% y el fosfato monoamónico y decaborato de sodio, proporcionaron a las muestras una capacidad ignífuga eficiente, de acuerdo a los ensayos realizados.

Sería interesante continuar estos estudios ensayando soluciones en bajas concentraciones para evaluar su capacidad ignífuga, manteniendo la efectividad del tratamiento y reduciendo aún más su costo. Las soluciones con paraformaldehdo en las 3 concentraciones, el biopreservante y el CCA no proporcionaron propiedades retardantes de llama sobre la madera. El estudio presentado condujo al desarrollo de nuevas formulaciones de soluciones impregnantes con poderes retardantes del fuego, con la intención de realizar ensayos experimentales conducentes a clasificar aquellas que otorguen una mayor seguridad a las personas y a los bienes materiales.