

# ESTUDIO COMPARATIVO DEL PUNTO DE IGNICIÓN Y AVANCE DE LLAMA EN MADERA DE PINO RADIATA VERSUS UN COMPUESTO DE MADERA-RESINA TERMOPLÁSTICA

León, A.(2), Carmona, R.(2)

(2)Departamento de Ingeniería de la Madera. Fac. de Cs. Forestales. U.de Chile. Casilla 9206. Santiago. Chile. [adleon@uchile.cl](mailto:adleon@uchile.cl) ; [recarmon@uchile.cl](mailto:recarmon@uchile.cl)

## INTRODUCCIÓN

La combustión, es una reacción fuertemente exotérmica. De la energía desprendida, parte es disipada en el ambiente produciendo los efectos térmicos del fuego y parte calienta a más reactivos. Cuando esta energía es igual o superior a la necesaria, el proceso continúa mientras existan reactivos. Se dice entonces que hay reacción en cadena.

De acuerdo con la velocidad a la que ocurre el proceso, las combustiones pueden clasificarse de las siguientes formas:

- Combustión lenta: Caracterizada por la poca producción de calor. Propiamente se trata de una oxidación.
- Combustión rápida: Es la que se presenta acompañada de luz, y con gran generación de calor; es decir fuego.
- Combustión instantánea: Como su nombre lo indica se realiza en fracciones de segundo, generando un intenso calor y desplazando gran cantidad de gases a alta presión. Si la velocidad de propagación es superior a la velocidad del sonido se denomina detonación o explosión (5)

Para que el fuego se inicie tienen que existir tres factores: combustible, comburente y temperatura de ignición, los cuales conforman el conocido "triángulo del fuego"; y para que progrese, la energía desprendida en el proceso tiene que ser suficiente para que se produzca la reacción en cadena. Estos cuatro factores forman lo que se denomina el "tetraedro del fuego".

Mientras exista energía suficiente, combustible y oxígeno en las proporciones necesarias, el fuego continuará, solamente se extinguirá cuando se consuma uno de los tres componentes, sus parámetros estén fuera de los valores necesarios o intencionalmente se elimine uno de ellos.

El calor, como energía en tránsito entre cuerpos a diferente temperatura, se transmite en las siguientes formas: Conducción, convección y radiación.(7)

- Conducción: Se produce cuando un objeto está en contacto directo con otro. Pasando el calor del objeto más caliente hacia el más frío.
- Convección natural: En los fluidos (aire, agua, etc.) las ondas de calor se transmiten hacia arriba, el aire caliente sube y en los espejos de agua las capas superiores tienen mayor temperatura que las inferiores.

Radiación: El calor del fuego se siente a cierta distancia, debido a que se transmite por medio de ondas

calóricas invisibles (infrarojas). Por lo tanto, no es necesario que un objeto toque el fuego para que entre en combustión, el calor puede transmitirse de un objeto en llamas a otro sin que estén en contacto.

### **Temperatura de ignición**

Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos pero ninguno de ellos podrá llegar a arder si no ha rebasado la temperatura de inflamación o temperatura de ignición, llamado también "punto de ebullición" que es aquella temperatura a la que un combustible sólido o líquido desprende vapores, que inflamarán en presencia de una llama o chispa.

#### **Combustibles Sólidos:**

Cuando existe combustión en un combustible sólido, el elemento que está formando parte de la reacción no es en sí el material sólido sino los gases combustibles que este genera a determinada temperatura. Su grado de fragmentación es fundamental ya que a mayor división se precisa de menor energía (en intensidad y duración) para iniciar la combustión. El calor recibido por un cuerpo sólido aumenta su temperatura en las capas exteriores y por contacto entre sus partículas se transmite hacia el centro del mismo. Parte del calor recibido se pierde al ser transferido al interior. Cuanto mayor sea el volumen del cuerpo más tiempo tardará en unificar la temperatura de todo el volumen. Esta es la razón por la cual es mucho más sencillo comenzar el fuego con una astilla que con el tronco de un árbol. La madera y el papel como combustibles sólidos necesitan alrededor de 200°C para desprender vapores. En general para cada material sólido existe una temperatura de ignición:

#### **Combustibles Líquidos:**

En el caso de los combustibles líquidos será necesario que el calor supere la temperatura de inflamación para que se produzcan gases inflamables en la superficie. El caso de la nafta (gasolina) esta temperatura es de -40° C y el Gasoil libera gases combustibles a partir de los 45° C.

#### **Combustibles Gaseosos:**

Dado que se encuentran en el estado gaseoso no es necesario que estén expuestos a determinada temperatura, en estos casos el factor que entra en juego para que exista fuego es la relación combustible-aire.

### **Temperatura de auto-ignición o ignición no piloteada**

Es la menor temperatura a la cual una mezcla de un gas inflamable y aire, se enciende debido a que ha llegado a una temperatura en la que no son necesarios chispa o llama para provocar fuego.

### **Temperatura de ignición o ignición piloteada**

Es temperatura a la cual un gas inflamable, o una mezcla de un gas inflamable y aire, se enciende debido a la presencia de un llama o chispa.

La temperatura de ignición piloteada de los productos de madera es generalmente del orden de los 200°C. La madera expuesta a un calor constante durante cierto período de tiempo puede experimentar cambios químicos que produzcan una temperatura de ignición mucho más baja y una posibilidad mucho mayor de auto ignición o ignición no piloteada.

Diversos investigadores han estudiado la ignición pilotada y no pilotada en madera. Vytenis Babrauskas (1) ha realizado una revisión exhaustiva del estado del arte en lo relativo a la ignición en madera.

Dentro de este contexto, la investigación propuesta analiza en forma separada el punto de ignición no pilotado en madera de Pino radiata y un compuesto de madera y resina termoplástica. Paralelamente se estudia experimentalmente el avance de llama en estos dos materiales en el túnel Vandersall.

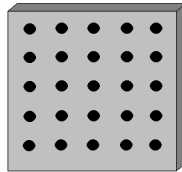
El objetivo de esta investigación fue evaluar el desempeño de ambos materiales a través de un análisis comparativo del punto de ignición no pilotado y el avance de llama.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Estudio comparativo de la temperatura de ignición no pilotada**

Para el estudio del punto de ignición no pilotado se confeccionaron probetas rectangulares de 10 x 10 x 1,2 cm, tanto para la madera de pino como para el material compuesto. Para la madera se seleccionaron probetas en corte floreado.

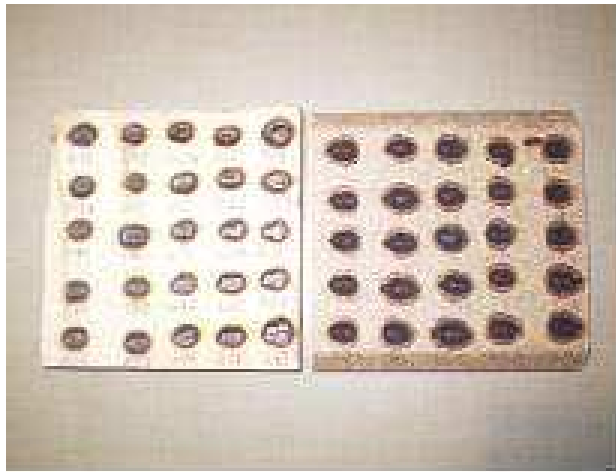
Se usaron 15 probetas de cada material y sobre cada una se ensayaron veinticinco puntos de distribuidos uniformemente en la forma indicada en la figura indicada a continuación.



Se aplicó calor a temperatura variable, mediante resistencia eléctrica con termocupla digital adosado al interior de la misma, ubicándose este conjunto sobre cada punto y en contacto directo con el mismo. La forma de operar en cada ensayo, fue regular la corriente a través de la resistencia mediante un reostato, y tomando la lectura indicada en la termocupla en el instante en que se produce la llama.

Se ensayaron previamente diferentes resistencias de nicrom de potencias caloríficas diferentes de modo de seleccionar aquella que proporcionara un tiempo de aplicación de calor razonable hasta el punto de ignición.

De modo de llevar un registro ordenado de la información recopilada, se procedió a marcar bajo cada punto la temperatura de ignición, tanto para madera como para el material compuesto como se puede apreciar en la fotografía siguiente:



### **Estudio comparativo del avance de llama en los mismos materiales.**

Este ensayo se realizó en el túnel de Vandersall, el cual corresponde a un ingenio en el cual se instala, en un plano inclinado, una probeta rectangular. Debajo de la probeta y en el extremo más bajo, se ubica un mechero de Bunsen con flujo de gas controlado, como se puede apreciar en las imágenes siguientes:



**Túnel de Vandersall**



**Flujometro de gas**

Se confeccionaron probetas rectangulares de ambos materiales, de dimensiones 60 x 9,5 x 1,2 cm.

Para el avance de llama en madera de pino se utilizaron siete probetas. Para el material compuesto se utilizaron cinco.

Para la uniformidad de los ensayos realizados se controlaron las variables flujo de gas y tiempo de exposición a la llama del mechero.

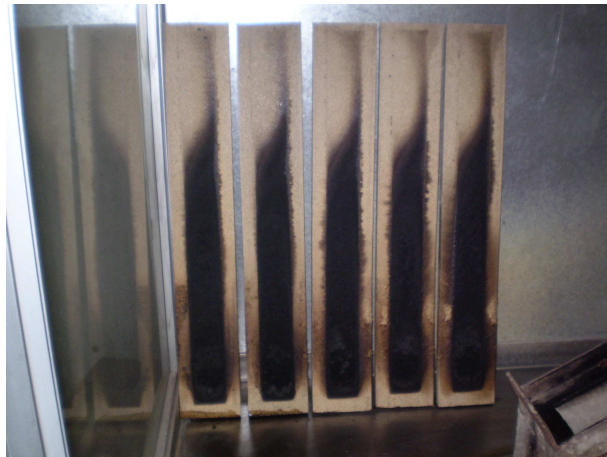
Se determinó previamente un tiempo ad-hoc de exposición a la flama del mechero puesto en el interior del túnel, el cual se fijo en quince minutos.

Puesto que el estudio realizado es de carácter comparativo, se repitieron las condiciones en ambos grupos de probetas.

Los resultados de avance de llama obtenidos se pueden apreciar en las siguientes imágenes:



Avance de llama en pino radiata



Avance en material compuesto

## RESULTADOS

A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos en la temperatura de ignición, en ambas determinaciones, como el promedio de 25 lecturas realizadas en cada probeta y los valores de dispersión respectivos.

### Temperatura de ignición en madera de pino radiata (Valores medios y desviaciones)

Probeta	Temperatura °C	$S_x$	$\sigma_x$
1	562	73	72
2	587	42	41
3	629	43	42
4	532	65	64
5	632	32	31

**Temperatura de ignición en compuesto de madera  
(Valores medios y desviaciones)**

Probeta	Temperatura °C	S <sub>x</sub>	σ <sub>x</sub>
1	570	86	83
2	608	51	50
3	609	138	136
4	567	29	28
5	654	72	70

**Resultados comparativos del punto de ignición de ambos materiales  
(Valores medios y desviaciones)**

Material	T°C	S <sub>x</sub>	σ <sub>x</sub>
Pino	584	44	39
Compuesto	602	35	32

Un test de valores medios de temperatura de ignición, con hipótesis nula de semejanza de comportamiento para los dos conjuntos, establece igualdad de temperaturas de ignición.

**Resultado del avance de llama en probetas de pino radiata  
(Tiempo de exposición de 15 minutos)**

N° de probeta	Avance (cm)
1	32
2	30
3	30
4	28
5	31
6	42
7	36

La significativa diferencia que se aprecia en las dos últimas probetas es explicada por la presencia, en estas, de médula y bolsillos de resina.

**Resultado del avance de llama en probetas de compuesto de madera y resina  
(Tiempo de exposición de 15 minutos)**

N° de probeta	Avance (cm)
1	42
2	42
3	42
4	42
5	42

**Resultados comparativos del avance de llama de ambos materiales  
(Valores medios y desviaciones)**

Material	Avance (cm)	$S_x$	$\sigma_x$
Pino	33	4,7	4.4
Compuesto	42	0	0

## DISCUSIÓN

En lo relativo a la temperatura de ignición no piloteada se observó que no hay diferencias significativas entre ambos materiales: madera de pino y material compuesto de madera-resina termoplástica. Esto puede deberse que en ambas situaciones, la liberación de vapores superficiales, el aire circundante y la temperatura proporcionada por la resistencia eléctrica, establecen las condiciones óptimas para que se produzca la combustión espontánea. No debe desestimarse que ambos materiales involucran madera. En un caso es madera sólida y en el otro es madera en forma de partículas. Los valores de temperatura de ignición son más altos que los reportados por la literatura consultada porque la metodología empleada en este análisis es ignición no piloteada: gran parte de los trabajos consultados (1), (7), (9), (10) consideran ignición piloteada.

El avance de llama en el túnel de Vandersall resultó ser mayor en un 27% en el material de madera-resina que en madera sólida. Esto puede deberse a la composición química de este material: la adición de una resina termoplástica aumenta sus propiedades de combustibilidad y más aún cuando es una ignición piloteada por un mechero de Bunsen. Otra diferencia que pudo apreciarse en los experimentos de avance de llama, fue la arqueadura mostrada por las probetas del compuesto madera resina. Esto indudablemente es debido al mayor coeficiente de conductividad térmica presentado por este material

en relación a la madera sólida: la plastificación se presenta primero en el material compuesto debido a una disminución de la viscosidad de la resina utilizada en su fabricación. La madera, en cambio, forma una capa superficial de carbón la cuál es de baja conductividad térmica no permitiendo el paso calor hacia las capas interiores y manteniendo la viscosidad de la lignina permitiendo que se mantengan sus propiedades mecánicas.



Probetas de madera sólida



Probetas de madera-resina

## CONCLUSIONES

De los análisis comparativos de temperatura de ignición de madera y compuesto de madera-resina, se concluye que no existen diferencias significativas entre ambos materiales.

El avance de llama analizado en el túnel de Vandersall mostró mejor progresión para el compuesto de madera resina que para madera sólida.

## LITERATURA CITADA

1. Atreya, A., Carpentier, C., and Harkleroad, M., Effect of Sample Orientation on Piloted Ignition and Flame Spread, pp. 97-109 in *Fire Safety Science — Proc. 1st Intl. Symp.*, Hemisphere, Washington (1986).
2. Babrauskas, V., Ignition of Wood: A Review of the State of the Art, pp. 71-88 in *Interflam 2001*, Interscience Communications Ltd., London (2001).



3. Fangrat, J., Hasemi, Y., Yoshida, M., and Hirata, T., Surface Temperature at Ignition of Wooden Based Slabs, *Fire Safety J.* **27**, 249-259 (1996); **28**, 379-380 (1997).
4. Janssens, M. L., Fundamental Thermophysical Characteristics of Wood and Their Role in Enclosure Fire Growth (Ph. D. dissertation), University of Gent, Belgium (1991).
5. Khitrin, L. N., Physics of Combustion and Explosion, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem (1962).
6. Melinek, S. J., Ignition Behaviour of Heated Wood Surfaces (FR Note 755), Fire Research Station, Borehamwood, UK (1969).
7. Mills, A. F., Heat Transfer © Richard D. Irwin, Inc., E.E.U.U.(1995)
8. Moghtaderi, B., Novozhilov, V., Fletcher, D. F., and Kent, J. H., A New Correlation for Bench-scale. Piloted Ignition Data of Wood, *Fire Safety J.* **29**, 41-59 (1997).
9. Ohlemiller, T. J., Smoldering Combustion Propagation on Solid Wood, pp. 565-574 in *Fire Safety Science—Proc. 3rd Intl. Symp.*, Elsevier, New York (1991)
10. Tsantaridis, L., CEN Ignitability Test Results for Wood Building Products (L-Rapport 9702010), Trätekt, Stockholm (1997).
11. Wesson, H. R., The Piloted Ignition of Wood by Radiant Heat (D.Eng. dissertation), Univ. Oklahoma,(1970).



UNIVERSIDAD DE  
TALCA

UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
4° CONGRESO CHILENO DE CIENCIAS FORESTALES



**Aceptación para publicación en plataforma virtual**

Señores  
Comisión Organizadora  
4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales  
Universidad de Talca, Chile.

Estimados Señores

Quien suscribe, autores de la ponencia: "Estudio comparativo del punto de ignición y avance de la llama en madera de pino radiata versus un compuesto de madera-resina termoplástica." autorizan a los organizadores del 4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales, a la publicación del texto completo en la plataforma virtual *Dspace* de la Biblioteca de la Universidad de Talca, permitiendo con ello a su acceso a través de la Internet.

El texto, que se envió en formato Word, será transformado a formato pdf para su publicación. Su difusión estará disponible hasta el mes de Octubre del 2010.

Atentamente,



Adolfo León



René Carmona

Talca, junio de 2009.