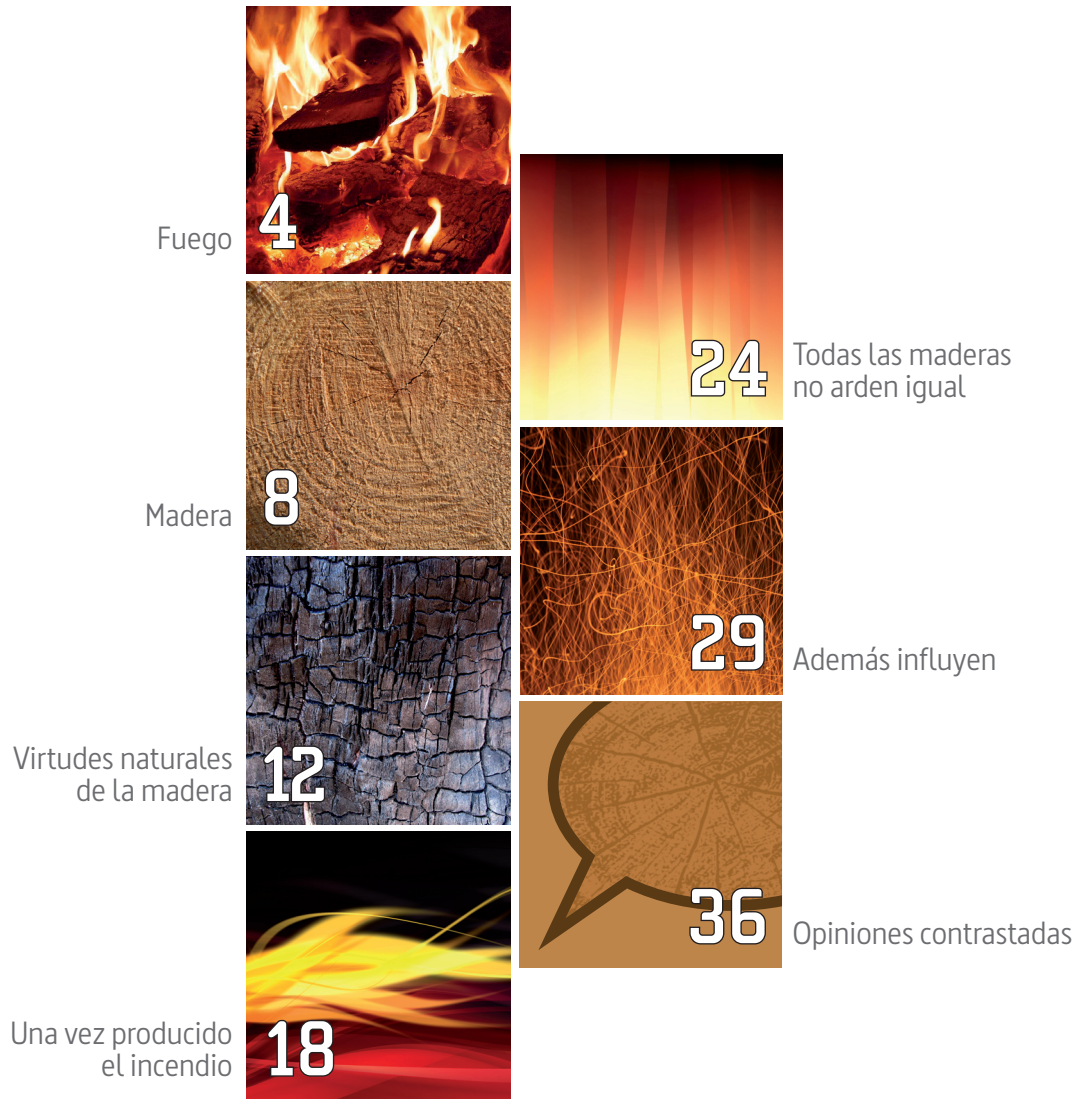


# Madera y Fuego





**La madera arde...  
pero resiste.**

**Lo peligroso es lo que  
no se ve.**

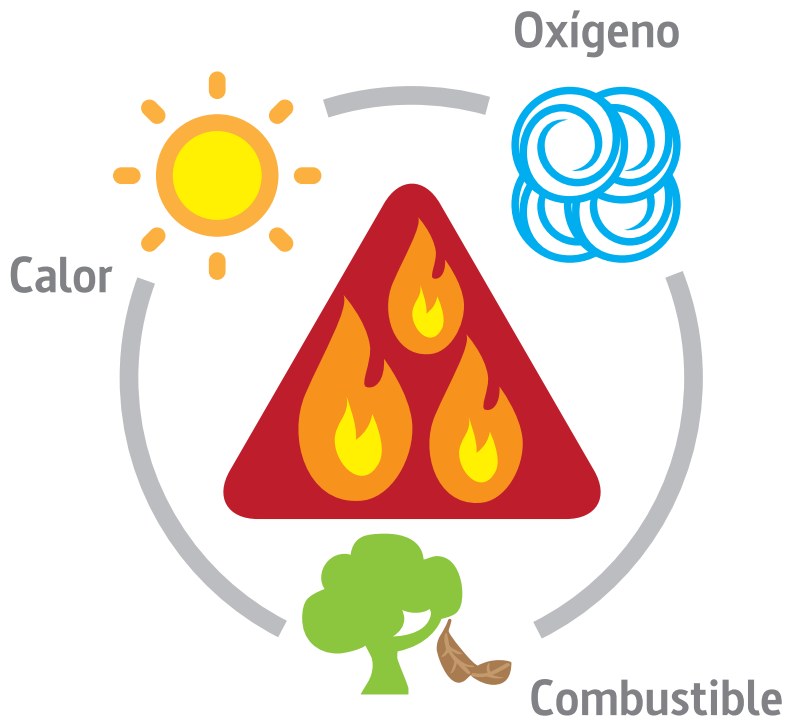


Fuego

# ¿Qué se necesita para que se produzca un fuego?

Deben existir simultáneamente una fuente calorífica, oxígeno y un material combustible.

Estos elementos forman el TRIÁNGULO DEL FUEGO.



## La fuente calorífica

En general, para que cualquier elemento de madera arda, la llama tendrá que ser lo suficientemente grande para calentar toda la pieza.



A temperaturas elevadas la combustión es más rápida y se generan más gases.

# El oxígeno

Una gran cantidad de oxígeno en la combustión favorece la propagación del fuego.

Cuando se cubre una cerilla ardiendo con un vaso, la llama se apaga cuando el oxígeno se consume.



## 1965 Sindicato Nacional de la Madera y el Corcho, Madrid

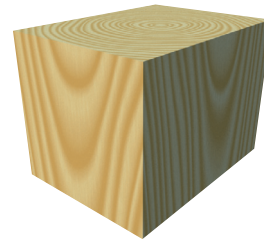
Se inició un fuego en una chimenea taponada por hollín y el calor desprendido se transmitió a la estructura de madera. Las partes cercanas a la chimenea se carbonizaron pero no se movieron, sin afectar a la estabilidad del edificio. Al estar las puertas y las ventanas cerradas y no haber aporte de oxígeno, el incendio no se propagó y los daños fueron mínimos.

# Madera

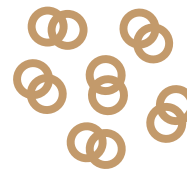
Si se suman



Calor



Combustible



O<sub>2</sub>

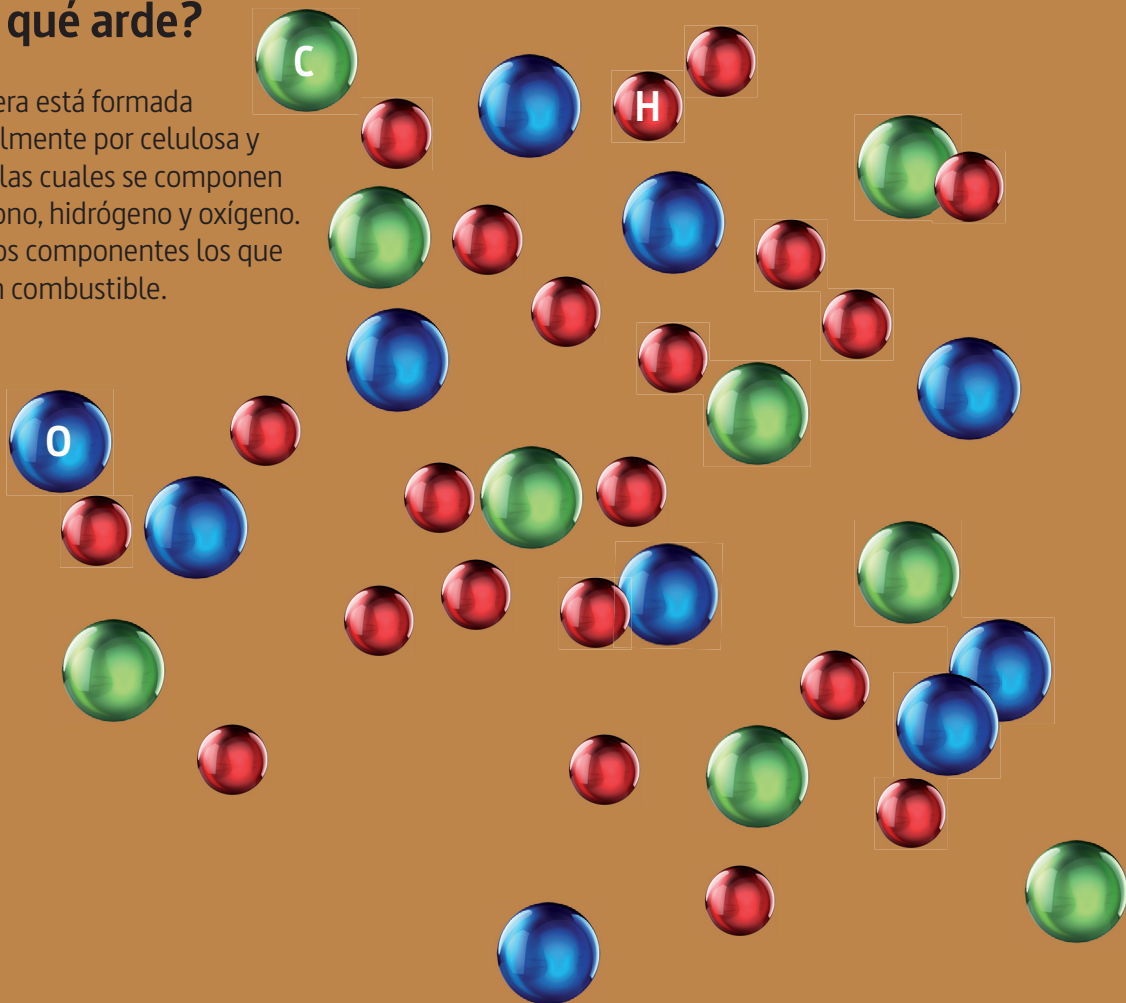


Existen posibilidades de arder,  
pero, ¿arde o no?



## ¿Por qué arde?

La madera está formada principalmente por celulosa y lignina, las cuales se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno. Son estos componentes los que la hacen combustible.



## La primera llama

Un incendio raramente se origina en la estructura. Lo habitual es que el fuego comience en los elementos decorativos, como cortinas y alfombras.



Cerilla + madera = NO ARDE



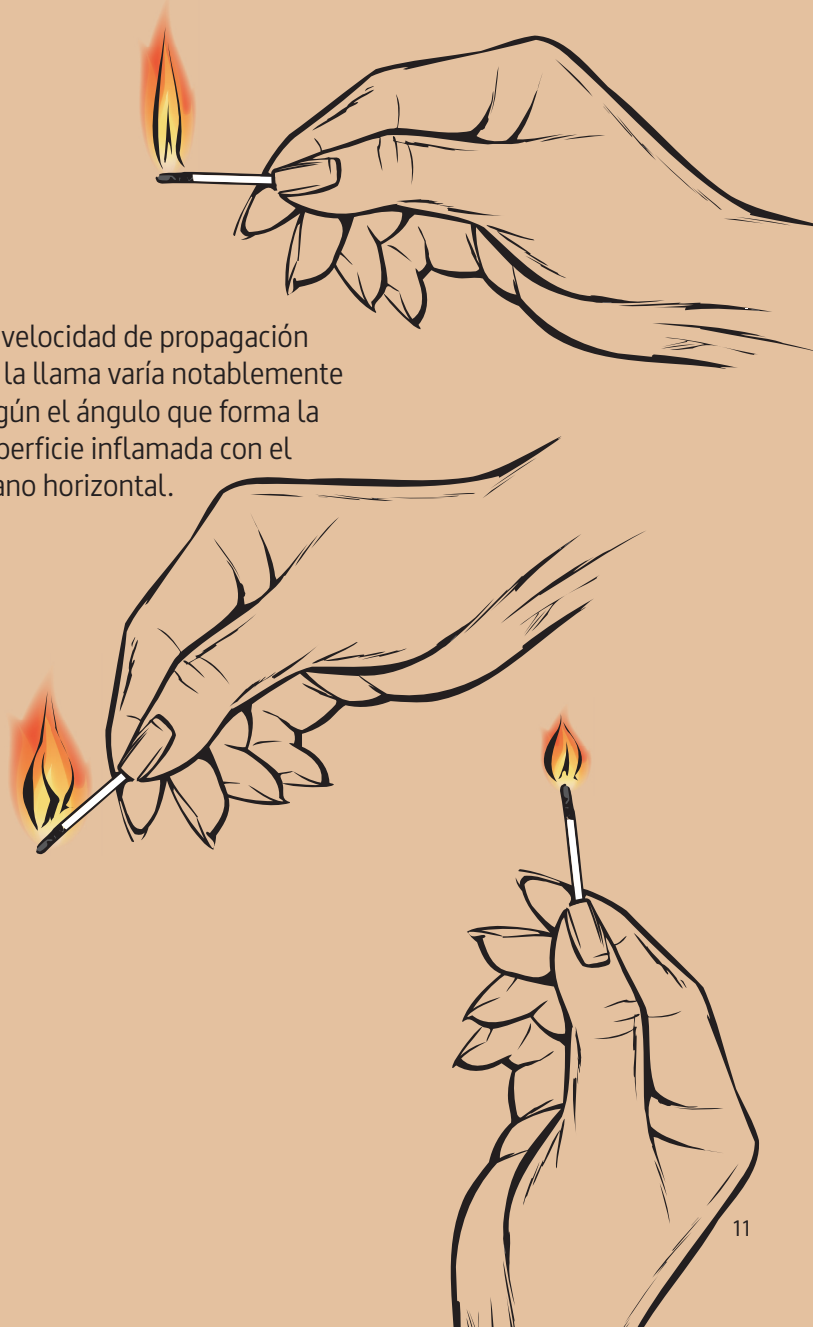
Cerilla + cortina = ARDE

## Propagación del fuego

Tras aumentar de tamaño, la fuente calorífica se puede propagar a los elementos constructivos de madera.



La velocidad de propagación de la llama varía notablemente según el ángulo que forma la superficie inflamada con el plano horizontal.



A close-up photograph of charred wood, showing a dark, cracked, and textured surface. The wood is heavily charred, with a deep black and dark brown color palette. The texture is highly irregular, with many small, jagged cracks and crevices. The lighting is dramatic, highlighting the rough, uneven surface of the charred wood.

# Virtudes naturales de la madera frente al fuego

## La madera aísla

La madera es mejor aislante térmico que otros materiales. Gracias a ello, en caso de incendio, el interior de las piezas se mantiene frío y con sus capacidades intactas frente al fuego.

**Con frecuencia  
usamos  
la madera  
para evitar  
quemaduras.**

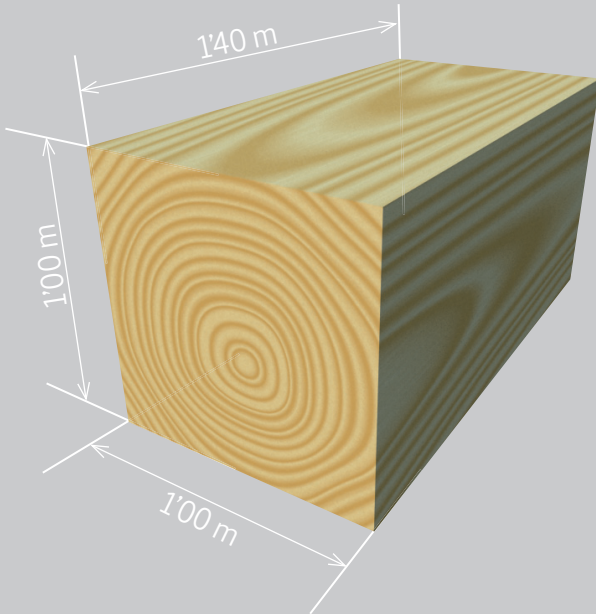


La madera con peores características es de 200 a 800 veces más aislante que el acero, 10 veces más que el hormigón e incluso más del doble que el yeso.

## Tiene agua en su composición

Entre el 8% y el 15% de la madera es agua. Esta agua tiene que evaporarse antes de que la madera entre en combustión, de manera que se retrasa el proceso.

Por ejemplo, para quemarse una tonelada de madera de roble se tienen que evaporar entre 80 y 150 kg de agua.



Densidad de la madera de roble:  $715 \text{ kg/m}^3$

$V = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1'40 \text{ m} = 1'40 \text{ m}^3$

$m = 1,40 \text{ m}^3 \times 715 \text{ kg/m}^3 = 1.000 \text{ kg}$

Si la humedad es del 8%:

8% de  $1.000 \text{ kg} = 80 \text{ kg}$  de agua

Si tiene una humedad del 15%:

15% de  $1.000 = 150 \text{ kg}$  de agua



Prueba tú mismo:  
quema un papel mojado  
y otro seco.



Por cada 1% de humedad perdida  
aumenta un 4% la resistencia a  
compresión y un 2% la resistencia  
a flexión. Esto compensa la  
disminución de sección  
producida al arder.



## Además existen tratamientos ignífugos

### Barnices y pinturas

Ante la acción del fuego forman una pantalla microporosa de muy baja conductividad térmica que retrasa la pirólisis. Duran entre 5 y 10 años.

### Sales ignífugas

Se disuelven en agua y se aplican mediante distintos procesos. Modifican las reacciones de combustión: la madera emite gases incombustibles que sofocan los vapores e impiden el acceso de oxígeno. Además, cuando se elimina la fuente de calor, deja de quemarse.



## Formas de aplicación de sales

Pueden aplicarse mediante pulverizado o inmersión. Estos métodos superficiales no son muy eficaces, pudiéndose producir el deslavado de las sales.

Otro proceso es el de vacío y presión en autoclave. Éste es un método mucho más eficaz porque las sales penetran en profundidad en la pieza.

Impregna S.A., en su planta en Navarra, aplica un tratamiento en autoclave para vigas de hasta 8 m de longitud.



Una vez  
producido  
el incendio...

## La madera avisa

Las llamas son lo que más miedo genera, sin embargo son la señal más clara de aviso.

En torno al 70-80% de las muertes producidas en los incendios son como consecuencia de la inhalación de humos (asfixia), no por las llamas.

Fuente: Escuela de seguridad pública del Ayuntamiento de Málaga.

Cuando se produce la combustión con llama se generan menos humos que sin llama, puesto que se logra una combustión completa de los productos liberados.

Londres, 2011



## La madera se autoprotege

La carbonización avanza a una velocidad conocida de aproximadamente 0,7 mm/min en dirección perpendicular a las fibras. Esta velocidad disminuye a medida que aumenta la capa carbonizada.



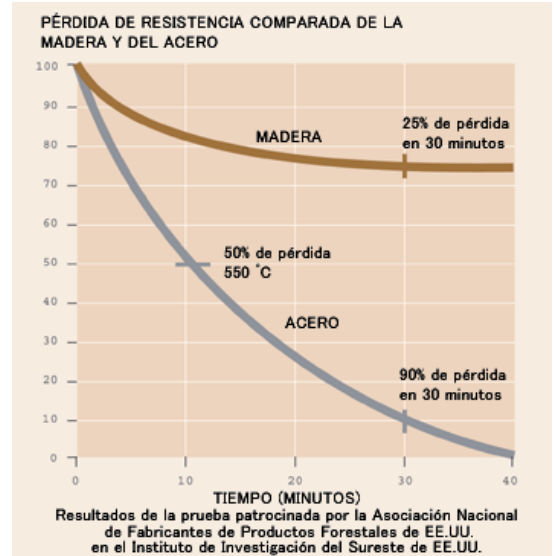
El aislamiento de esta capa carbonizada es seis veces mayor que el de la madera sin carbonizar. La resistencia mecánica de la zona carbonizada disminuye, pero el resto de la pieza sigue intacta.





Edificio Windsor, Madrid (2005)

A temperaturas superiores a 550°C el acero disminuye su resistencia en un 50%. Puede producirse un colapso repentino.



Fuente: American Institute of Timber Construction

El hormigón se empieza a cuartear a partir de los 155°C y se disgrega cuando, al penetrar el calor, el acero de su interior se dilata. A los 538°C pierde la mayor parte de su resistencia a compresión.



## Dilatación

Además de calentarse poco las estructuras de madera, en dirección paralela a las fibras, apenas dilatan cuatro micras con cada °C de aumento de temperatura, por tanto no existe riesgo de derrumbamiento debido a dilataciones térmicas.

Ésto facilita mucho las tareas de evacuación.



Pilar de acero y madera tras un incendio.

El acero alcanza mayores temperaturas y dilata doce micras por cada metro lineal al aumentar 1 °C la temperatura.

Fuente: Seguridad y protección de la madera frente al fuego y ataques bióticos.  
José Antonio Rodríguez Barreal

Almacén de carpintería,  
Sigüeiro (La Coruña)



## **1987 Incendio de Saldos Arias, Madrid**

Parte de la antigua estructura de madera del edificio se había sustituido por acero en anteriores reformas, dato que los bomberos desconocían. Debido a ello, diez bomberos que entraron en el edificio pensando que la inexistente estructura de madera iba a aguantar, murieron sepultados por el derrumbamiento del mismo.

El edificio contiguo, perteneciente también a Almacenes Arias, pero cuya estructura seguía siendo de madera resistió y no se desplomó bruscamente.



**Pero no todas  
las maderas son  
iguales...**



**... por tanto no  
arden de la misma  
manera**

## Especie y procedencia

Los gases y humos que desprende, la temperatura de inflamación y la cantidad de calor que emite la madera al arder varían según la especie.



Además, incluso dentro de la misma especie, el clima afecta a la madera modificando su proceso de crecimiento. En lugares donde el otoño es más largo se forman anillos oscuros (madera de otoño) más gruesos que en lugares donde los cambios de estaciones son más bruscos.

Pino silvestre finlandés



Pino silvestre español



Como la madera de otoño es más densa que la de los anillos más claros (de primavera), el resultado es una madera con mayor densidad total.

Así por ejemplo, en Finlandia la madera de pino silvestre es menos densa que en España.

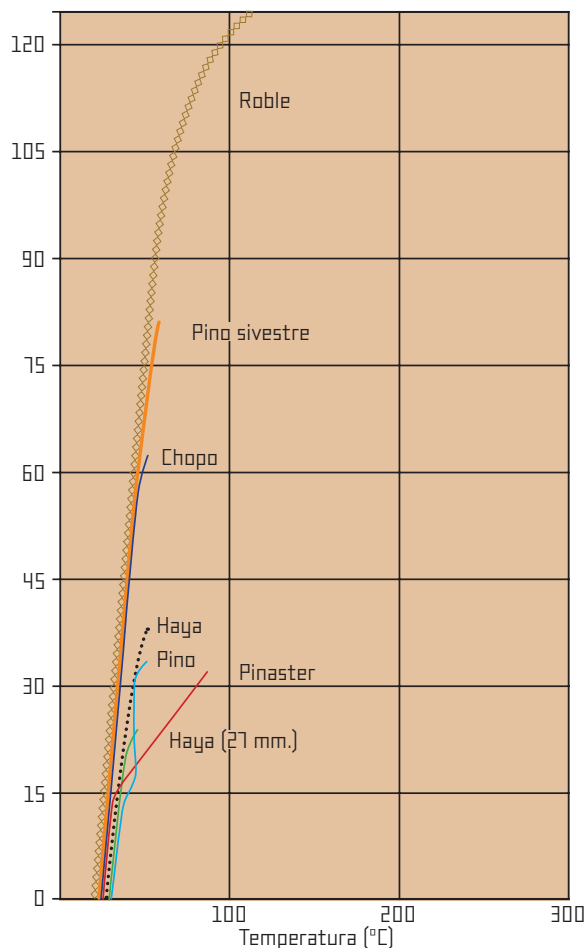
## Densidad

Las maderas más ligeras tienen un mayor volumen de poros. Por ello desprenden los gases con mayor rapidez y el comienzo de la combustión y la velocidad de propagación se producen más rápidamente que en las especies más densas.

Las maderas de frondosas de poros dispersos (como el haya), arden más rápidamente que las de poros en anillo (como el roble).

Fuente: Seguridad y protección de la madera frente al fuego y ataques bióticos.  
José Antonio Rodríguez Barreal.

Curvas temperatura-tiempo de diversas especies de madera sometidas a la acción del fuego.

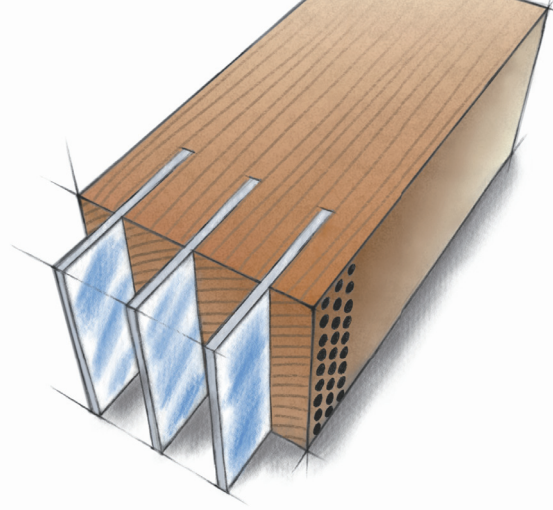




**Y además  
influyen...**

## Uniones mecánicas

Constituyen el punto más crítico de la estructura porque suponen una discontinuidad en el material.



El acero es el punto débil y por eso hay que protegerlo. Esto se hace utilizando pinturas intumescentes o protegiéndolo con la propia madera de la estructura mediante uniones ocultas.

## Adhesivos

Cuando se usa madera laminada su comportamiento depende también de la inflamabilidad de la cola utilizada. Por eso la mejor opción es usar adhesivos que conserven e incluso mejoren su resistencia bajo la acción del fuego. Ejemplos de adhesivos adecuados son las colas termoendurecibles y las de base fenólica.



## Relación entre superficie y volumen

A mayor superficie, con el mismo volumen, más fácil es la ignición y más rápida la propagación.



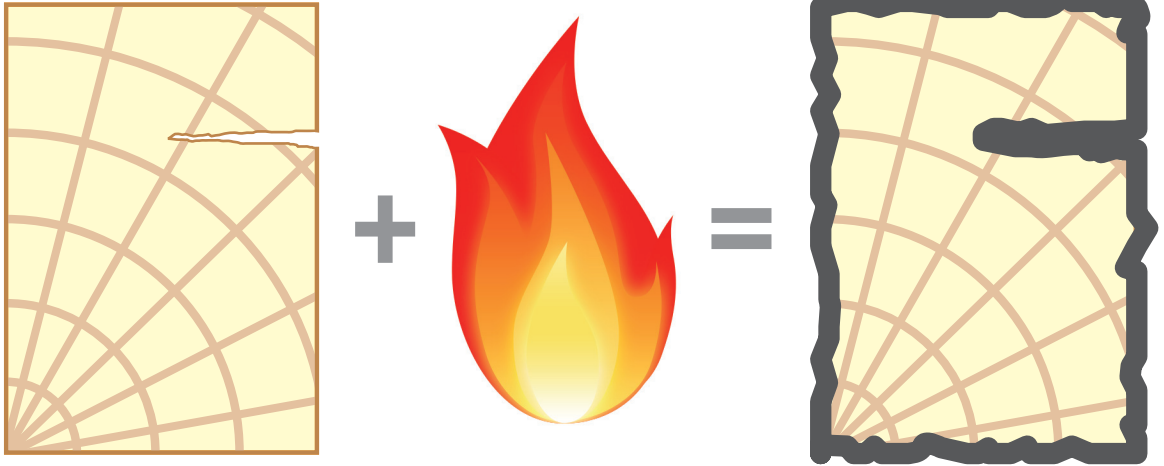
Además las piezas con mayor superficie influyen en la transmisión de calor: se calientan más y la salida de gases es más fácil.

Por eso las piezas de pequeñas escuadrías o con aristas vivas tienen un comportamiento al fuego menos favorable que las de mayores escuadrías.





Además, si existen fendas la superficie expuesta es mayor, y la carbonización se incrementa.



Según dónde se encuentre la fenda y el tipo de elemento estructural se sabrá si afecta o no a su capacidad resistente. En el caso de una viga, por ejemplo, afectaría más una fenda situada en la zona superior o en la inferior, no siendo tan importante la representada en el dibujo.

## ¿Y qué dicen las normas?

La normativa marca una serie de requerimientos funcionales que debe satisfacer un material: no prohíbe ningún tipo de construcción. La construcción en madera, adecuadamente diseñada, puede cumplirlos.

Las características de resistencia de los elementos constructivos frente al fuego se representan con el siguiente código:

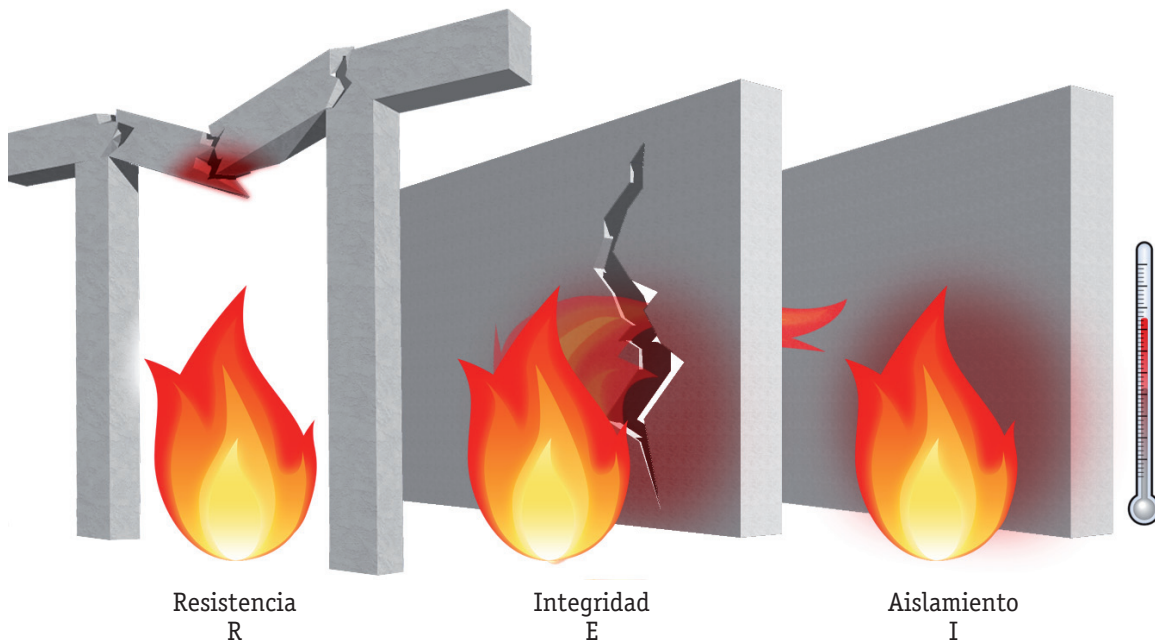
**R:** el elemento mantiene su capacidad portante.

**E:** impide el paso de las llamas y no emite gases calientes en la cara no expuesta.

**I:** cumple la función de aislante

térmico en la cara no expuesta. Un número (30, 60, 90 ó 120) indica los minutos que el elemento conserva dichas características.

Ejemplo: Un elemento REI 60 mantiene su resistencia mecánica, integridad y aislamiento durante 60 minutos.



Comparación de las exigencias entre España (Código Técnico de la Edificación y RD 2267/2004) y Reino Unido (BS 470).

Uso del edificio		Plantas sótano		Plantas sobre rasante					
		Profundidad bajo rasante (m)		Altura de evacuación del edificio (m)					
		h > 10	h ≤ 10	h ≤ 5	h ≤ 15	h ≤ 20	h ≤ 28	h > 28	h ≤ 30
Edificios industriales	RU	R120 (90)	R90 (60)	R60 (30)	R90 (60)		R120 (90)		X (R120)
	E	R90 - R180		R60 R120					
Viviendas unifamiliares	RU	X	R30	R30			X		X
	E	R30		R30		X		X	
Residencial vivienda	RU	R90	R60	R30	R60		R90		R120
	E	R120		R60		R90		R120	
Residencial público	RU	R90	R60	R60			R90		R120
	E	R120		R60		R90		R120	
Comercial	RU	R90 (60)	R60 (60)	R60 (30)	R60 (60)		R90 (60)		X (R120)
	E	R120		R90		R120		R180	

E: España, RU: Reino Unido

Aunque habitualmente se habla de sobredimensionar la estructura de madera para cumplir los requerimientos de fuego, no siempre es necesario. En el ejemplo adjunto, la viga de 20x25 cm de escuadría, ajustada en su diseño estructural, cumple R30 y R60. Necesitará secciones superiores para requerimientos más exigentes, R90 y R120.

	Límite por Deformación (l/300)	R30	R60	R90	R120	Requerimiento
<b>Viga biapoyada de madera C24</b> Tres caras expuestas al fuego. Luz= 4m. Carga permanente= 5 kN/m. Sobrecarga= 3kn/m.	97%	42%	82%	95%	97%	Porcentaje de aprovechamiento (siendo 100% el límite permitido)
	20 x 25 cm (escuadría mínima requerida para el diseño estructural adecuado)			24 x 27 (+ 2 cm)	28,4 x 29,2 cm (+ 4,2 cm)	Dimensiones (ancho x canto)



# Opiniones sobre el tema

### Estudio del caso del museo del Smithsonian. Washinton D. C. (EEUU)

Este museo contiene ejemplares únicos e irremplazables y uno de los mayores peligros a los que están expuestos es el fuego. Tras varios estudios se llegó a la conclusión de que el material que reunía las mejores condiciones de seguridad y trabajabilidad era la madera tratada con ignífugos.

Fuente: La madera y su resistencia al fuego (AITIM)

### Neil Gibbins - Subjefe de bomberos de Devon y Somerset (Reino Unido)

La labor de rescate en un incendio no debe suponer un gran problema con el uso de madera en construcción. Sabemos como se va a comportar frente al fuego. Especificada para uso y una construcción apropiados, en las circunstancias adecuadas es un muy buen material de construcción.

Fuente: [www.woodforgood.com](http://www.woodforgood.com)

### Manifiesto de la industria de la madera (Reino Unido)

Las estadísticas anuales de incendios del Departamento de Comunidades y Gobierno Local muestran que sólo uno de cada ocho incendios se produjo en un edificio con estructura de madera.

Fuente: [www.woodforgood.com](http://www.woodforgood.com)

## Información de imágenes

### Portada

<http://www.flickr.com/photos/bbjunkie/2557587168/>

### Página 4

Foto: Archivo 20&02.

### Página 6

Foto: Mikel Goñi

### Página 7

"1965 Sindicato Nacional de la Madera y el Corcho, Madrid"  
<http://hemeroteca.abc.es/nav/Navigate.exe/hemeroteca/madrid/abc/1965/01/08/010.html> | Foto: Archivo 20&02.

### Página 10

Foto: Archivo 20&02.

### Página 12

Foto: Archivo 20&02.

### Página 13

Foto: Archivo 20&02.

### Página 15

Fotos: Cátedra Madera | Mikel Goñi

### Página 16

Foto: Archivo 20&02.

### Página 17

Autoclave ignifugación Impregna S.A.

### Página 19

Foto: Internet

### Página 20

Foto: Mikel Goñi

### Página 21

Windsor. <http://www.11-septiembre-2001.biz/imagenes/Torre esqueleto1> | Internet

### Página 22

Hemeroteca ABC | Almacen de carpintería, Sigüeiro (La Coruña) Fuente: [www.elcorreogallego.es](http://www.elcorreogallego.es)

### Página 23

Almacenes Arias

### Página 26

Foto: Archivo 20&02.

### Página 27

Foto: Archivo 20&02.

### Página 32

sarmientos. <http://www.flickr.com/photos/dcoetzee/3618949742/> | Internet

### Página 39

Foto: Archivo 20&02.

### Contraportada

Foto: Internet | Archivo 20&02



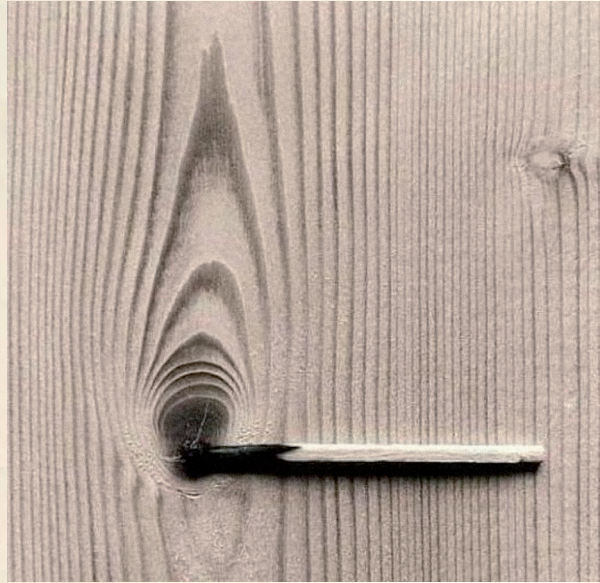
**Título:** Madera y fuego.

**Autores:** José Manuel Cabrero, Isabel Zabalza, Fermín Olabe, Yolanda Val.

**Diseño y maquetación:** 20&02 Otero & Olló Comunicación S.L.L.

**Impreso en:** ULZAMA GRÁFICAS.

**Depósito legal:** NA-966-2013



**La madera es uno de los materiales constructivos más seguros  
en caso de incendio.**

**Utiliza la madera conociendo sus características  
para sacar partido a su comportamiento.**

**El problema no es la madera.**

**CÁTEDRA  
MADERA**



**Gobierno  
de Navarra**



**Universidad  
de Navarra**



**ADEMAN**  
Asociación de Empresarios  
de la Madera de Navarra

