

Análisis de la eficacia extintora de los retardantes a largo plazo usados en incendios forestales

Miguel Guerrero, Vicente Mans Fibla
miguel.guerrero@barricadebrs.com , vicens100@gmail.com

1— Características generales de los aditivos retardantes

Cuando se habla de retardantes se entiende que son aquellos productos que mediante mecanismos físico-químicos pueden retardar el avance del fuego o dependiendo de la intensidad de este, incluso llegar a pararlo.

Estos mecanismos también son utilizados en la ignifugación de materiales de construcción celulósicos, o, por ejemplo, en pinturas intumescentes, para el recubrimiento de diferentes materiales como acero o madera, plásticos que deban alcanzar una resistencia al fuego, etc., los aditivos retardantes son usados en multitud de aplicaciones, pero siempre persiguen un objetivo principal, modificar el comportamiento al fuego de los materiales, retardando la ignición del elemento ignifugado.

2— Uso de aditivos retardantes de largo plazo en incendios forestales. Antecedentes

El inicio del uso de retardantes de largo plazo (RLP) en incendios forestales (IIF) se dio en Estados Unidos en la década de los 60 (primeras versiones de aditivos mezcladas con el agua de extinción), pero no sería hasta

principios de los años 80 cuando se comenzaron a utilizar por primera vez en España, fue en la base de ICONA del Tiétar (Ávila) tras un periodo de investigación entre la empresa privada y la administración que concluyen con la elaboración de unas especificaciones técnicas, caracterización del producto y tecnología de manejo (hidráulica de carga necesaria para cargar los medios aéreos) de un aditivo RLP destinado a su uso contra los incendios forestales.

3— Funcionamiento de los retardantes de largo plazo

El principio activo de los retardantes de largo plazo que ignifuga el material es el polifosfato amónico. Este producto, el polifosfato amónico, usado en la industria agrícola en aplicaciones fertilizantes como NPK, es aditivado para hacerlo idóneo al uso, es decir, poder ser aplicado con mayor eficacia y rendimiento comparado con el agua, cuando es usado desde medios aéreos y terrestres.

Cuando se utiliza agua para luchar contra un incendio el objetivo buscado consiste en robar más energía de la



Figura 1: Descarga de RLP MAK 1.

que es capaz de generar un incendio, la energía que puede absorber el agua viene dada por la suma de su calor sensible y calor latente de vaporización, siendo en total 609 kcal/kg de agua (Cengel 2019).

Con el uso de RLP la forma de extinción es completamente diferente, ya que se está modificando el proceso de combustión de la materia vegetal (combustible). Se trata de un mecanismo químico mediante el cual, el ingrediente activo (polifosfato amónico) libera gas amoníaco que diluye la concentración de oxígeno en superficie, y el ácido polifosfórico formado, deshidrata los grupos hidroxilo de la celulosa, generando una estructura carbonosa de tipo grafitico no inflamable, según la siguiente reacción:

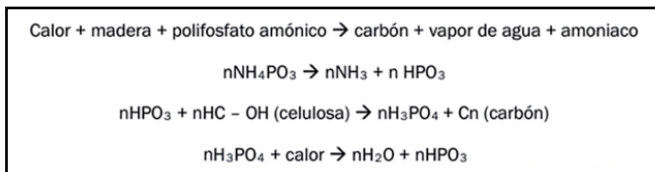


Figura 2: Reacción de funcionamiento para un retardante de largo plazo.

4— Poder calorífico de diferentes combustibles y cálculo de la liberación de energía en incendios forestales

La energía que emite el incendio está directamente relacionada con el tipo de vegetación que se está quemando. A continuación, se muestra la clasificación de especies según su poder calorífico superior (Hernando y Elvira 1989).

Tabla 1: Poderes caloríficos de diferentes sustancias vegetales.

PC Alto (>5000 kcal/kg)	PC Medio (4500-5000 kcal/kg)	PC Bajo (<4500 kcal/kg)
<i>Arbutus unedo</i>	<i>Cistus ladanifer</i>	<i>Anthyllis cytisoides</i>
<i>Calluna vulgaris</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Atriplex halimus</i>
<i>Erica arborea</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Pteridium aquilinum</i>
<i>Erica australis</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Rubia peregrina</i>
<i>Erica multiflora</i>	<i>Quercus pyrenaica</i>	<i>Rubus sp.</i>
<i>Pinus halepensis</i>	<i>Quercus suber</i>	<i>Populus sp.</i>
<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus pinea</i>	<i>Salix sp.</i>
<i>Rosmarinus officinalis</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Anthyllis cytisoides</i>

La masa vegetativa también es un factor que influye directamente en la energía del incendio. Rothermel (1972) estableció 13 modelos de combustibles forestales que responden a la mayoría de las situaciones en incendios, distribuyéndose estos modelos en cuatro grupos (Pastos, matorral, hojarasca bajo arbolado y restos de operaciones silvícolas) simulando valores de una carga de combustible seco entre 1 a 150 toneladas por hectárea.

Por otro lado, se puede estimar un cálculo matemático de la intensidad generada por un incendio utilizando la ecuación de Byram (1959).

$$I = H * W * r * a$$

Siendo:

- I Intensidad lineal de frente kcal/m.
- H Calor de combustión del vegetal kcal/kg.
- W Masa vegetativa kg/m².
- a Superficie en llamas por cada metro lineal de frente m²/m
- r Velocidad de avance del incendio m/min.

Debido a que se quiere comparar la eficacia del retardante de largo plazo frente al agua, se van a suponer dos escenarios diferentes para la aplicación de este modelo, uno en el que se utiliza agua para apagar el incendio y otro en el que se utiliza retardante de largo plazo.

Para ambos se considera una vegetación con un calor de combustión de 5000 kcal/kg, se va a considerar un valor de 25 toneladas por hectárea (2,5 kg/m²) de carga de combustible, una anchura del frente de llamas de 2 metros y una longitud de frente de llama de 200 metros. En función de la velocidad de avance de propagación se obtienen los siguientes valores de intensidad del incendio para las condiciones anteriormente nombradas.

Tabla 2: Energía emitida por un incendio en función de su velocidad de propagación.

Intensidad (kcal)	Velocidad de propagación(m/min)
5.000.000	1
15.000.000	3
25.000.000	5
35.000.000	7

a— Necesidades de aplicación agua para extinguir el modelo propuesto

En el escenario en el que solo se aplica agua, como se ha dicho anteriormente el objetivo es reducir la energía emitida por el incendio mediante el efecto endotérmico de evaporación del agua. Por tanto, si se divide la intensidad entre la energía de absorción de agua de 609 kcal/kg se obtiene la siguiente demanda de agua, que asimilándolo al medio de ala fija más cercano se obtienen los siguientes datos.

Tabla 3: Volumen de agua necesario en función de la velocidad de propagación del incendio.

Volumen agua (l/min)	Velocidad de propagación(m/min)
8.197 (3 AT)	1
24.590 (4 CL415)	3
40.984 (Inviabile)	5
57.377 (Inviabile)	7

Como se observa para una velocidad de propagación de 1 m/min se podría hacer frente al incendio con la descarga de una formación de tres Air Tractor (capacidad 3000 l) o de 4 descargas Canadair CL415 (capacidad

6137 l), algo que se considera viable en un plan de operaciones de extinción forestal, sin embargo, para el caso de una velocidad de propagación de 5 y 7 m/min es prácticamente inviable cubrir el suministro de una demanda de agua tan elevada.

b— Necesidades de aplicación de RLP para extinguir un incendio forestal

En el caso de que se utilice un RLP lo primero que se debe de saber es como mejora su eficacia con respecto al agua. Para ello, se ha utilizado un ensayo de eficacia realizado en el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA) de acuerdo con la norma [UNE 23530 \(Octubre 2023\)](#) para incendios forestales, procedimientos para calificación y control de calidad de los materiales. El RLP ensayado es de la marca MAK 1 suministrado por la empresa Barricade BRS.

Tabla 4: Resultado ensayo eficacia.

Ensayo de eficacia INIA				
Tratamiento	Dosis	Dilución	Perdido de peso del combustible	
			Retardante	Agua
15 min goteo + 30 min estufa (42°C)	1 l/m2	1:4	0 (10%)	4 (91%)
15 min goteo + 90 min estufa (42°C)	1 l/m2	1:4	0 (18%)	4 (94%)

En este ensayo se muestra la pérdida de masa que se tiene al quemar cierto combustible tratado con agua y con retardante en diferentes condiciones, pudiendo ver que la pérdida de peso en el combustible tratado con retardantes es siete veces menor que con agua, por tanto, este va a ser el factor de eficacia para relacionar el agua con el retardante.

Tabla 5: Volumen de retardante necesario en función de la velocidad de propagación.

Volumen agua (l/min)	Volumen retardante (l/m)	Velocidad de propagación (m/min)
8.197	1.171	1 (1/2 AT)
24.590	3.513	3 (1 AT)
40.984	5.855	5 (2 AT)
57.377	8.197	7 (3 AT)

Así pues, en el caso de que se utilice RLP en la extinción de un incendio con una velocidad de 1 m/min se podría hacer frente mediante la descarga de un air tractor e incluso sería viable suministrar el volumen de RLP requerido para velocidades de avance de 7 m/min, con descargas de tres Air Tractor en formación en el escenario contemplado; longitud de frente de 200 metros, ancho de frente de llamas de 2 metros y carga de combustible de 2,5 kg/m2.

5— Rendimiento de RLP en las descargas desde medios aéreos de ala fija.

Existen diferentes factores que afectan al rendimiento de las descargas desde medios aéreos, por ejemplo, el viento (derivas), la topografía, la velocidad del avión, altura de la descarga o la cubierta vegetal, entre otros.

Cuando se usa agua como elemento extintor, factores como vientos laterales, disminuyen el rendimiento en la descarga, generando una mayor dispersión y haciendo que gran parte de la masa de agua no llegue al suelo de manera homogénea (distribución en l/m2), perdiendo así gran parte de su capacidad extintora al no aportar suficiente volumen de agua en incendios de media-alta intensidad.

Sin embargo, los RLP, además de mejorar la eficacia extintora, están formulados con aditivos reológicos que mejoran el rendimiento de la huella de descarga, por un lado, evitan la dispersión (consiguen una mejor distribución en la huella de descarga) y por otro, los pilotos obtienen una mejor “puntería” sobre el lugar deseado gracias a una mayor densidad y viscosidad de la mezcla final.

Estos aditivos viscosantes nombrados anteriormente también le aportan al retardante cierta pegajosidad, que le ayuda a adherirse en las superficies verticales, aportándole así una mayor cobertura y por lo tanto ignifugabilidad a zonas de combustible en las que con agua es más difícil de aportar la cantidad necesaria.

La [UNE 23530 \(Octubre 2023\)](#) para retardantes de largo plazo indica que estos pueden demostrar su adherencia sobre superficies lignocelulósicas verticales y mejorarlas respecto al agua en más del 100% de masa retenida.

En la siguiente tabla se muestra el resultado obtenido al ensayar el producto MAK 1 de la empresa Barricade BRS.

Tabla 6: Resultado ensayo superficies verticales

Muestra	AV(g/cm2)	RR(%)
1	0.069	163
2	0.071	169

Siendo:
AV masa de retardante ganada por la superficie vertical de combustible
RR relación de retención de retardante con respecto al agua.

Con este ensayo se compara la masa de agua que se puede llegar a retener en una superficie vertical realizando una operativa con RLP frente a la masa que se retendría si la operativa fuese solamente con agua, siendo en este caso un 165% más de masa en la descarga RLP frente a la descarga de agua. Demostrando de esta forma el gran poder de retención de masa de agua que tienen los RLP, aparte del poder ignifugante que presenta por la presencia de fósforo explicado anteriormente.

6— Ejemplos de aumento de capacidad extintora

A continuación, se exponen diferentes estrategias usadas en un primer ataque a un incendio forestal con las mismas condiciones de progresión y prácticamente en la misma zona. Dos incendios en la misma zona de la Sierra de Lujar como se puede ver por la referencia marcada en las próximas imágenes. El primero en el año 2000 y el segundo en el 2002, ambos en el mes de agosto y similares condiciones atmosféricas.

Incendio año 2000 Sierra Lujar, Granada: contundencia menor de la necesaria.

En 25 minutos después de aviso llega un ACT 802 con 3000 litros de agua. A los 30 minutos después de aviso llega de un helicóptero Bell 205.

El resultado fue de 2500 hectáreas quemadas y tres días de trabajo en el que se emplearon más de 10 medios aéreos.

Incendio año 2002, Sierra Lujar, Granada. Similares características en cuanto a progresión, pero la estrategia usada aporta una contundencia por encima de la necesaria.

En 25 minutos después de aviso llega un avión AT 802 con carga de retardante desde la Resinera (Granada). Tras él un helicóptero Bell 205 30 minutos des-



Aquí mostramos ejemplos de aumento de capacidad extintora en operaciones de extinción (con los RLP)

pués de aviso. Vuelve a llegar un AT 802 desde Almería con retardante y un helicóptero con helitransportada y bambi de 1200 litros.

El resultado fue de un incendio controlado en 50 minutos y no más de 2 hectáreas quemadas.

En las siguientes imágenes podemos observar la evolución de los dos incendios con dos años de diferencia entre ambos. En el primero, se acudió con una contundencia inferior a la necesaria y después se utilizó un gran despliegue de medios, cuando el incendio tiene mucha más energía. En el segundo, con una estrategia impecable se acudió con una contundencia superior a la necesaria, cuando aún se es muy superior al incendio.



Figura 3: Fotografías e información cedidas por Juan Carlos Gomez Verdugo. Comparativa evolución IF Sierra Lujar 2000 (izq.) frente a IF Sierra Lujar 2002 (derecha).

Miguel Guerrero Pérez. Ingeniero Químico. Responsable de producto **Barricade Retardants & Services** Zaragoza, España.



Vicente Mans Fibla. Ingeniero Químico (EITIB Barcelona). Consultor independiente sobre incendios, España.

