

SISTEMA BALÍSTICO PARA EL CONTROL Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN ZONAS INACCESIBLES

BALLISTIC SYSTEM TO CONTROL AND EXTINGUISH FOREST FIRES IN NON-ACCESSIBLE AREAS

Recibido: 12/02/08

Aceptado: 14/04/08



Jose Luis Liz Graña
Ingeniero Técnico Superior Industrial
Universidad Politécnica de
Valencia



Pablo Ferrer Gisbert
Dr Ingeniero Industrial
Universidad Politecnica de
Valencia

RESUMEN

El fenómeno de los incendios forestales se ha convertido en uno de los mayores problemas ecológicos a nivel mundial. La tendencia actual en el número de incendios y superficie quemada es creciente. Las innovaciones tecnológicas en este campo, se centran principalmente en técnicas de prevención, predicción y gestión de recursos en la lucha contra el fuego.

Con el desarrollo de un sistema balístico móvil, que posicione cargas de un determinado agente extintor a distancia, se pretende tener una capacidad de actuación rápida y segura, aumentar la eficacia de los medios actuales de extinción de incendios, reducir los riesgos del personal involucrado en su extinción y minimizar los efectos del fuego en los ecosistemas.

Contribuciones del proyecto:

- 1) permitir el ataque del incendio de forma continuada,
- 2) realizar una acción de extinción independientemente de las condiciones climatológicas,
- 3) realizar ataques "directos" sobre el incendio,
- 4) permite crear cortafuegos químicos,
- 5) permite realizar todas las descargas con agentes retardantes.

Palabras clave: extinción de incendios, sistema balístico, incendios forestales, cortafuegos químico.

ABSTRACT

The forest fire phenomenon has become one of the greatest ecological problems worldwide. The current tendency in the number of fires and sur-

face burned is increasing. Technological innovations in this field, are centered mainly on techniques of prevention, prediction and management of resources as regards fire fighting. With the development of a mobile ballistic system, with remote load allocations of a certain extinguishing agent, aims to have a safe rapid response action, thereby increasing the efficacy of current fire fighting means, reducing the risks of personnel involved in their extinction and minimise the impacts of fire on ecosystems.

Project contribution:

- 1) enables continuous fire fighting,
- 2) enables extinction regardless of weather conditions,
- 3) to attack fires directly
- 4) enables chemical firewall creation,

5) all actions can be performed using chemical agents.

Key words: forest fire extinction, ballistic system, forest fire, chemical firewall for forest fire.

INTRODUCCIÓN

El fuego, como elemento natural, es un factor más entre los que definen las estaciones y ha contribuido, desde siempre, a la reparación y selección de las especies, a la composición de las formaciones vegetales y a la estabilidad, alternancia o sucesión de sus etapas, hasta tal punto que, en muchos casos, es necesario para la multiplicación de ciertas especies y la regeneración de sus formaciones.

La incertidumbre que rodea la época de máximo peligro en cuanto a la intensidad, virulencia, número de incendios y daños que pudiera ocasionar, es un factor limitante que dificulta considerablemente la planificación y asignación de los presupuestos que van a ser necesarios. Tal circunstancia obliga tradicionalmente a las administraciones a prever de una contabilidad adicional para compensar en forma de gastos extraordinarios los imprevistos generados con la llegada de años de especial gravedad.

Con independencia de los riesgos inherentes al comportamiento antrópico, la influencia propiciada por el cambio climático acusa una agravada desorganización en los parámetros meteorológicos, generando considerables alteraciones en el comportamiento del fuego, intensificando la propagación, dificultando las operaciones de extinción y elevando considerablemente los costes de extinción, 315 millones de dólares en 1999 frente a 924 millones de dólares en el año 2000 sólo en **Estados Unidos**.

En el caso de **España** el presupuesto específico de extinción se puede considerar que viene a representar un 60%, restando el 40% restante para las partidas destinadas a pre-extinción. Como referencia la media del último quinquenio ha representado un presupuesto de 480 millones de euros, de los que 287 millones de euros han sido destinados a extinción y el resto a pre-extinción.

Los elevados costes derivados de los sistemas aéreos, hace que su adquisición suponga una importante parte de los enormes presupuestos destinados por los países a la extinción y control de incendios.

En el último decenio, ha aumentado de forma considerable el número de horas de vuelo de los medios aéreos (Tabla 1), sin que se haya seguido del consiguiente incremento en el número de efectivos. La sobre explotación de medios y tripulaciones es consecuencia del enorme esfuerzo inversor que suponen estas herramientas de control y extinción que pueden alcanzar costes entorno a los 3000 €/h (Canadair CL-215T) y varios millones de euros por unidad .

Existen además, deficiencias importantes en los medios de extinción actuales, que afectan fuertemente a las primeras etapas del fuego, como son; gran dependencia de las condiciones climáticas que imposibilitan su uso en determinadas condiciones, el complejo dispositivo que debe ponerse en funcionamiento para la puesta en marcha de los medios aéreos, la pérdida de efectividad a medida que la distancia desde el punto de abastecimiento se aleja del foco del incendio, etc.

No existen medios de extinción de flujo continuo, presentando los actuales una gran discontinuidad y un uso

poco eficiente del tiempo; viajes en vacío, abastecimiento de combustible, etc.

En cuanto al agua como agente extintor, se puede afirmar que en estado natural no es un medio muy efectivo para apagar un incendio debido a que hasta un alto porcentaje del ésta no participa en la extinción sino que al contrario resbala de los objetos candentes sin alcanzar siquiera la combustión primaria. Por éste motivo, el agua puede ser tratada con aditivos químicos que mejore sus propiedades, pero esto ha de realizarse en tierra y no cuando la recarga se realiza en depósitos naturales, limitando el uso de estas mejoras a aviones de carga en tierra, que consecuentemente ven reducido el número de descargas por hora que pueden realizar.

Con todo ello, encontramos un sector con grandes flujos de capital en todos los países, muy inmovilista en la innovación de nuevos medios y claras deficiencias en los actuales. Se trata de un escenario apropiado para la innovación, donde existe una gran sensibilidad social, alta implicación gubernamental, que además, puede aportar importantes reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, manteniendo y protegiendo los sumideros de CO₂, etc.

En definitiva, se trata de un problema a nivel mundial que hoy por hoy parece estar lejos de ser mitigado y donde los ingenieros deben desempeñar el papel que les corresponde ante la sociedad aportando soluciones.

2.- MEDIOS DE EXTINCIÓN ACTUALES

Actualmente, la extinción de incendios se realiza mediante vehículos aéreos, aviones (hidroaviones o terrestres) y helicópteros, además de vehículos terrestres; autobombas, motobombas,etc. que transportan agua hasta depositarla sobre el foco del incendio.

La operación de los medios aéreos ha de realizarse a muy baja altura y en condiciones de “vuelo visual”, es

Medio	Incremento Horas vuelo	Incremento unidades
Aviones anfibios	260%	169%
Helicópteros bombarderos	356,6%	200%

Tabla 1. Incrementos porcentuales en el decenio 1996-2006.

decir de día y a la vista del incendio y de la orografía circundante. Se puede hablar de una reducción de la eficacia en función de la altura de descarga, de tal modo que a partir de los 50m, la descarga puede considerarse como refrescante y nunca como extintora. Una vez realizado el lanzamiento del líquido sobre la zona del incendio, la aeronave ha de volver a recargar agua en un pantano, lago o mar cercano en el caso de hidroaviones y he-

turbulencia existente, así como la altura y precisión del lanzamiento que a su vez pueden depender del entorno orográfico y por supuesto de la cantidad de líquido que sea capaz de transportar la aeronave, ya que ésta puede variar desde 500 a 6.000 litros, llegando incluso a haber aviones con mayor capacidad, pero con el inconveniente de que debido a su gran tamaño tienen escasa maniobrabilidad, especialmente a muy baja altura.

3.- SISTEMA PROPUESTO

La estrategia seguida en los diseños de los actuales sistemas de extinción a lo largo del tiempo, consiste en: *“transportar agua donde quiera que se encuentre, hasta el foco del incendio, lo más rápidamente posible”*. Nos encontramos ante un problema logístico y por tanto debe tratarse como tal.

Los diversos sistemas de extinción asimilan las operaciones de car-

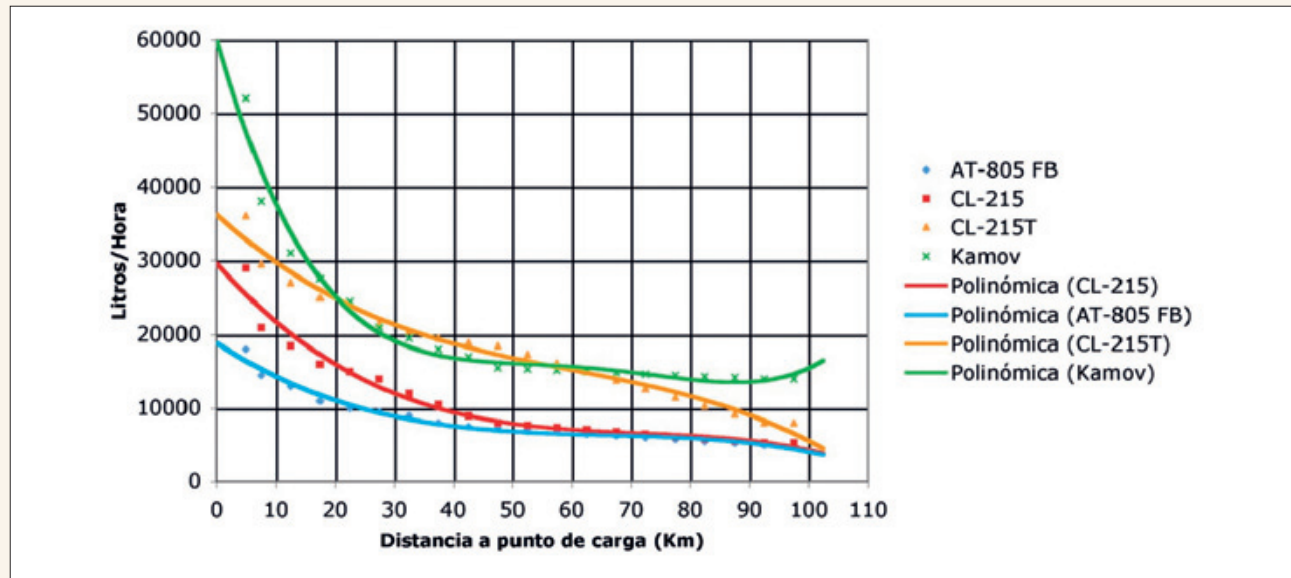


Figura 1. Comparativa entre aeronaves.

licópteros o en un aeropuerto, aeródromo o lugar habilitado al efecto, en el caso de acciones terrestres y aunque depende del entorno geográfico y de las infraestructuras en la zona del incendio, se puede establecer en no menos de 15 minutos el tiempo medio que la aeronave tardará en volver a estar en posición de lanzamiento.

En cuanto a la capacidad de carga, para distintas aeronaves, se muestra en la figura 1 su dependencia a medida que aumenta la distancia al punto de abastecimiento.

Respecto al área de extinción efectiva que es capaz de abarcar una aeronave, depende de variados y complejos factores difíciles de evaluar, como son el tipo, cantidad y estado de la vegetación que este ardiendo, el viento, el humo reinante y la

En cuanto a los medios terrestres, poseen una gran limitación en el acceso al incendio forestal y su acción se limita a las zonas próximas a vías de comunicación no siendo operativos en zonas inaccesibles.

2.1 TIEMPO DE RESPUESTA

La importancia de una rápida respuesta una vez detectado el foco del incendio es trascendental. Los sistemas actuales son lentos en estas primeras etapas del fuego.

Aproximadamente el 31.61% de los incendios tienen una extensión comprendida entre las 5 y 100 ha cuando la aeronave llega al foco. El gran dispositivo que ha de ponerse en marcha para la puesta en servicio de estos medios, imposibilita su rápida respuesta en gran medida.

ga, descarga y entrega en el mismo vehículo, añadiendo tiempos improductivos en la realización de su misión, reduciendo su eficacia.

Los sistemas actuales han de enfrentarse, entre otros, a problemas del tipo:

- Dependencia de las vías de comunicación.
- Viajes de retorno en vacío.
- Intermitencia.
- Saturación de la vía.
- Variación del punto de abastecimiento.
- etc.

La enorme cantidad de variables que condicionan el uso de los sistemas aéreos, no permite su puesta en servicio en condiciones determinadas, tales como ausencia de luz, baja visibilidad, etc. Por lo que en las con-

diciones citadas anteriormente, no existen otros medios capaces de llevar acabo acciones de lucha en zonas poco accesibles, situación en la cual ha de esperarse al cambio de las condiciones climatológicas que permitan la puesta en servicio de los medios

La incorporación de la aviación a la extinción de incendios forestales en los años cincuenta aportó nuevas e importantísimas capacidades a los medios terrestres ya que permitía salvar las dificultades del terreno, pudiendo atacar el fuego allí donde an-

máticas e incorpora elementos fabricados en grandes lotes, permite la gestión de almacenes, etc.
En la búsqueda de una mejora en las tareas de extinción y control, se diseñó un sistema balístico capaz de transportar un agente extintor a gran

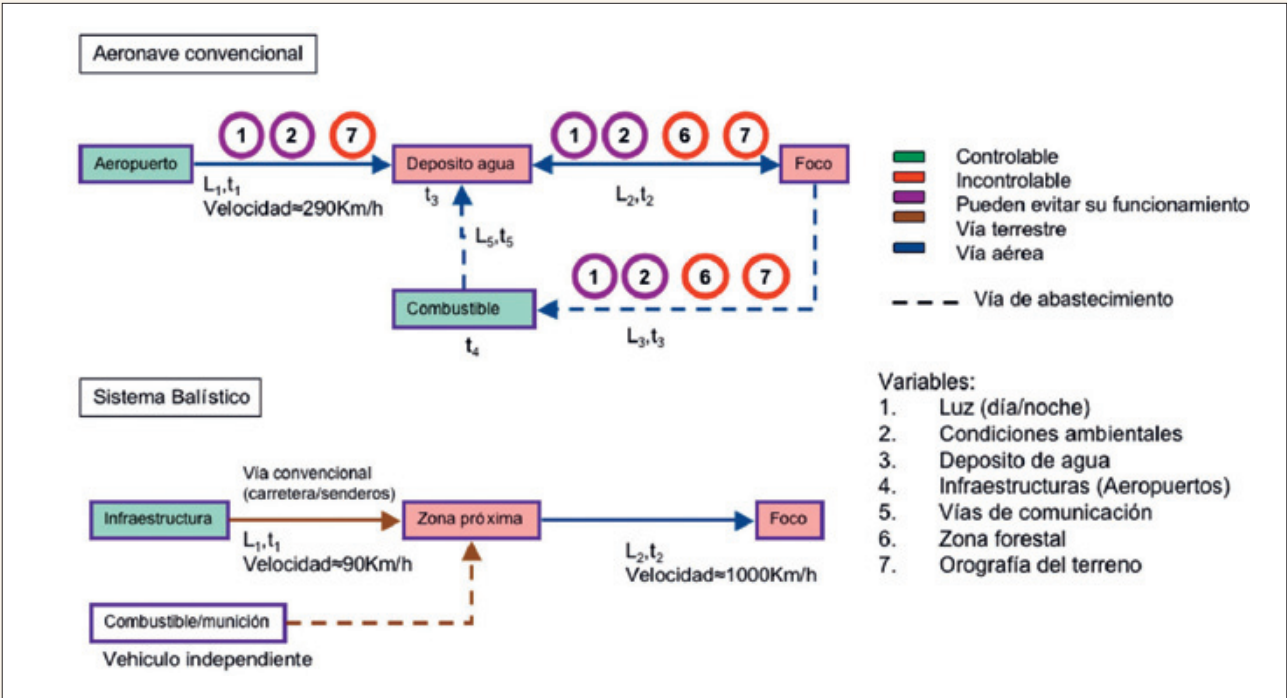


Figura 2. Diagrama de flujo logístico Sistema balístico vs Medios aéreos.

aéreos. Cuando se habla de la importancia de acciones rápidas en los primeros fases del fuego para su control, los avances en la pronta detección de los focos se torna inútil si no se acompañan de medios capaces de actuar en cualquier situación.
Por todo lo anterior, se plantea la disociación de estas funciones en diferentes vehículos, permitiendo realizar una acción más continuada sobre el fuego, delegando las tareas de abastecimiento a vehículos auxiliares.

3.1. JUSTIFICACIÓN

El uso de la aviación en toda acción “bélica” es fundamental cuando el dominio del suelo no está asegurado. Toda lucha tiene un enemigo, medios para combatirlo y un escenario donde se desarrollan las operaciones.

tes no era posible, pero no se ha incorporado a este campo el uso de la balística y de sus grandes ventajas. El dominio del terreno, refiriéndonos al control de las líneas de abastecimiento, permite el uso de la artillería, evitando o reduciendo el uso de la aviación, que supone un recurso con mayores costes asociados. En el caso de la lucha contra el fuego, las líneas de suministro están controladas por lo que no existe razón alguna para evitar el uso de sistemas balísticos que permitan transportar cargas hasta la zona del incendio reducido costes y manteniendo a los combatientes alejados de los frentes.
La artillería es un recurso de baja complejidad tecnológica en comparación con los medios aéreos, está menos afectada por las condiciones cli-

distancia, añadiendo nuevas capacidades en la lucha contra el fuego. Su esquema de funcionamiento es el siguiente:

3.2. DESCRIPCIÓN

La artillería de campaña usa la pólvora para la impulsión de los proyectiles, debido a dos factores principalmente: alta densidad de energía e instalación sencilla con pocas necesidades de mantenimiento. Un cañón básicamente es un tubo donde se localiza una reacción química rápida que produce gases a gran presión y temperatura, consiguiendo el lanzamiento de proyectiles a grandes distancias.
El modo de funcionamiento del sistema balístico es el siguiente:

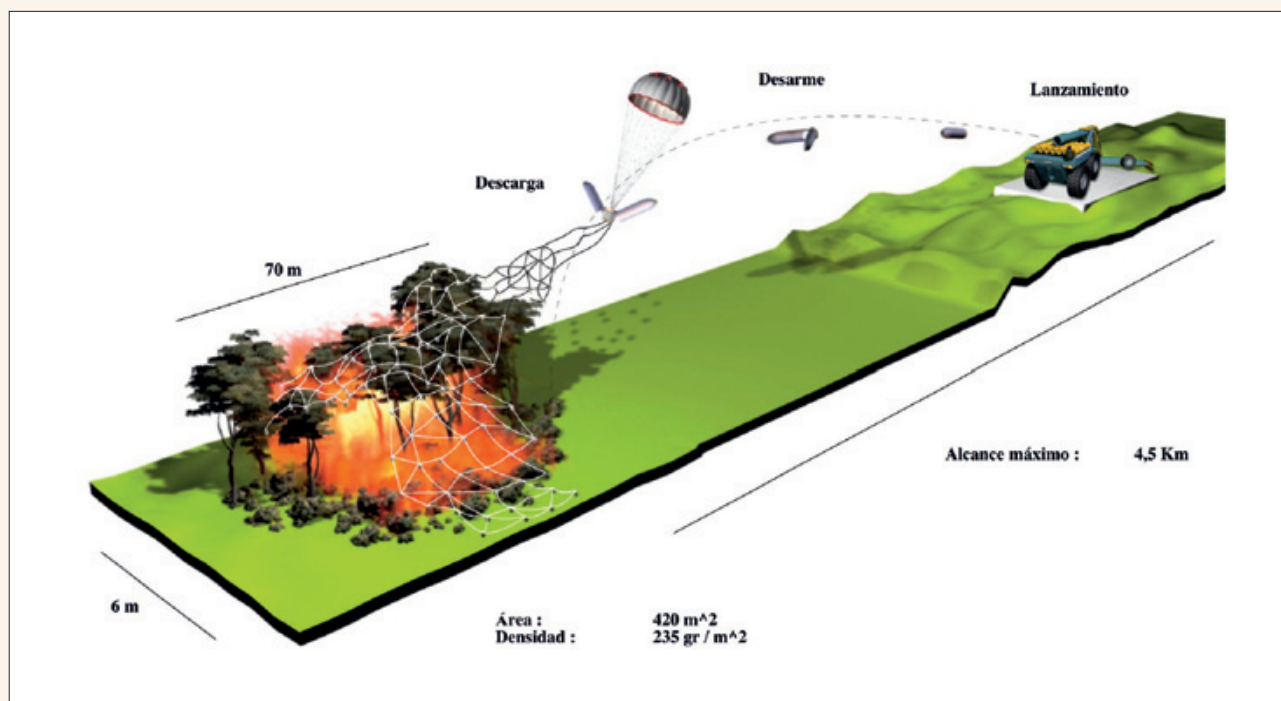
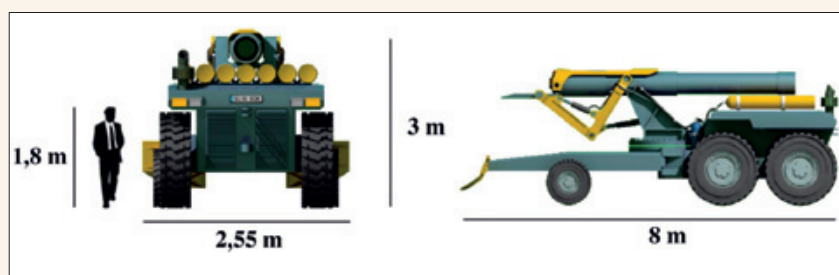


Figura 5. Esquema de funcionamiento.

3.3. VEHICULO CAÑÓN

El uso de aire comprimido en lu-

gar de pólvora trae implícito ciertas ventajas para un sistema balístico de



Dimensiones del vehículo.

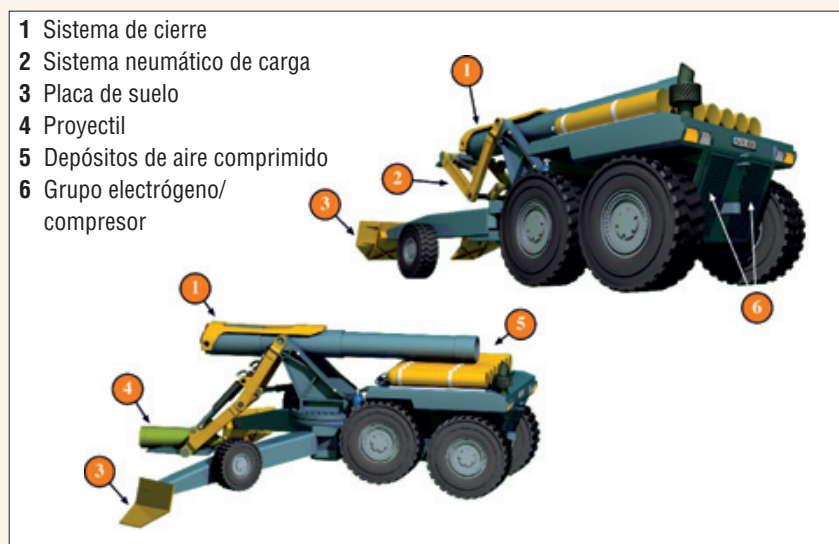


Ilustración 1. Esquema obús.

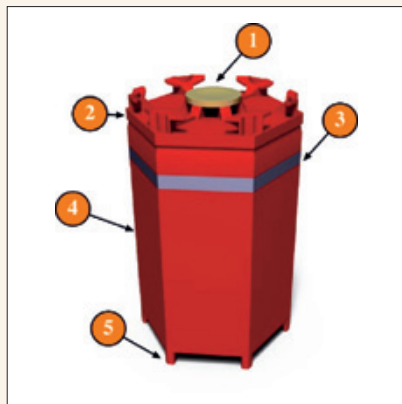
extinción de incendios. Se reducen los riesgos inherentes al uso de pólvora, tanto en su manipulación como en su transporte, el binomio pólvora y fuego no es muy recomendable en términos de seguridad. Por último, existen actualmente compresores industriales que permiten obtener rangos de presiones entorno a los 500 bar y caudales del orden de los 800l/min, suficiente para impulsar un proyectil a grandes distancias.

El conjunto, es remolcado por un vehículo hasta una zona dentro de su radio de acción. Una vez posicionado, la cabeza tractora queda libre y puede comenzar a realizar las tareas de abastecimiento, por lo que se crea una unidad funcional entre la cabeza tractora y el remolque, siendo estos los únicos vehículos necesarios para que todo el sistema funcione de forma independiente.

3.4. CÁPSULAS

Las cápsulas son las unidades funcionales básicas del sistema. Se encuentran alojadas en el interior del proyectil durante gran parte de la trayectoria, hasta que éste se desarma liberándolas.

Las cápsulas pueden contener en su interior cualquier agente extintor. Esto le permite adaptarse a innovaciones futuras en el campo de los agentes químicos retardantes.



1. Tapón: mantiene anclados los cables que conectan con otras cápsulas.

2. Tapa: cierra la cápsula. Gracias a su forma, permite el empaquetamiento de los cables impidiendo que se enreden, además de permitir la apilabilidad.

3. Anillo metálico: tiene la función de permitir la entrada de calor y localizar la rotura por degradación térmica de la cápsula.

4. Cuerpo.

5. Patas: permite el correcto asiendo entre cápsulas.

Al tratarse de un polímero resistente a la llama, la emisión de humos tóxicos se reduce considerablemente, así como los residuos carbonosos una vez ha sido afectado por el fuego. La proporción de residuos en el lugar del incendio se sitúa en un 0,66% de la masa transportada y corresponde al aluminio de los anillos, todos los demás elementos de la red se degradan térmicamente.

La proporción de peso útil transportado por cápsula y proyectil (Tabla

2), son muy superiores a los de cualquier medio aéreo.

3.5. PROYECTIL

El proyectil es el encargado de transportar el agente extintor y se le encomiendan las siguientes funciones: soportar los esfuerzos sufridos tanto en el disparo como en el vuelo, además de dispersar o situar el agente extintor de forma óptima.

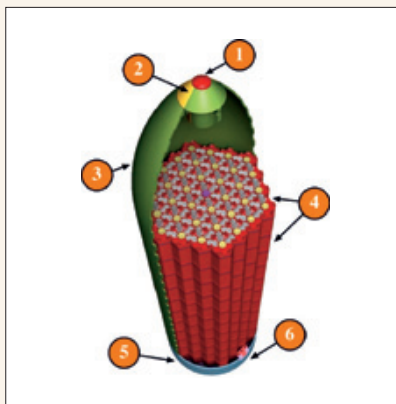


Ilustración 2. Elementos del proyectil.

1 Accionador.

2 Temporizador mecánico.

3 Cuerpo, formado por dos mitades simétricas.

4 Cápsulas agrupadas en niveles.

5 Base del proyectil.

6 Bisagra.

El proyectil aloja en su interior 11 niveles de 37 cápsulas cada uno, transportando un total de 90 litros de agente extintor, que suponen un 74% de peso útil transportado, en comparación con el 45% en el caso de medios aéreos (Canadair CL-215).

La unión de las cápsulas en cada nivel, permite crear configuraciones diferentes, permitiendo realizar dispersiones en línea o en red, según las necesidades:

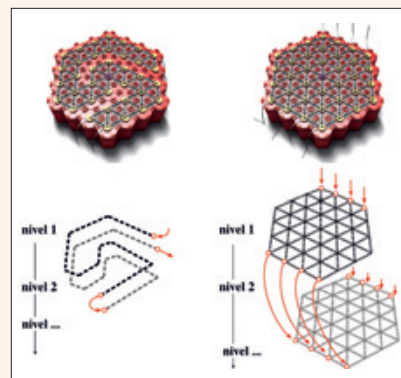
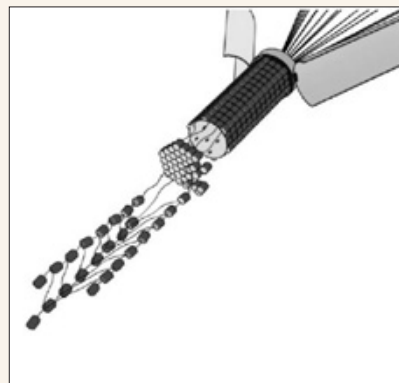
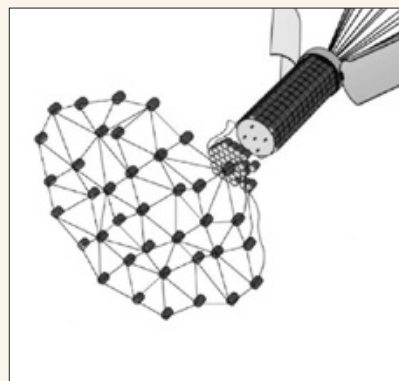


Ilustración 3. Diferentes configuraciones por proyectil.

Durante el desarme se despliega el paracaídas desde el culote del proyectil por acción del viento, a partir de este momento, las cápsulas comienzan una caída libre desplegándose. El cuerpo del proyectil puede ser recuperado, reduciendo los residuos en la zona.



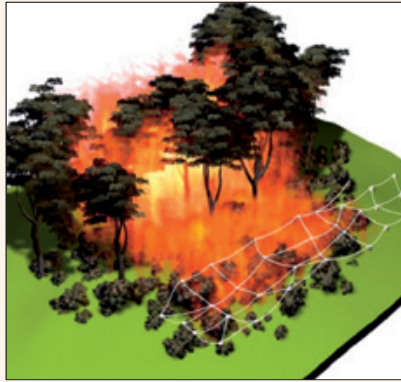
Según la configuración adoptada, se realizan cortafuegos o ataques directos sobre el fuego.

3.6. DISPERSIÓN

A partir de los 300° C comienza la emisión de gases inflamables acom-

	Peso [gr]	Porcentaje (Cápsula)	Porcentaje (total)
Polímero	25,4	11,18 %	9,39 %
Aluminio	1,5	0,66 %	0,55 %
Agente	200	88,1 %	74 %

Tabla 2. Reparto de pesos por cápsula y proyectil.



Configuración en línea; cortafuegos.



Configuración en red; ataque directo.

pañados de luz y calor de la masa forestal, momento en el cual la reacción de combustión se vuelve exotérmica y por tanto estable.

La activación de esta red, se realiza por temperatura (*sensible al fuego*). El anillo metálico permite una

dos de transmisión de calor que pueden actuar a distancia y suponen un 15% de la energía liberada en la combustión. La temperatura de degradación es próxima a los 200° C. Una vez alcanza dicha temperatura, la base de la cápsula se separa, dispersando so-

que asegura la apertura de la cápsula antes de que la vegetación comience a arder, dificultando el avance del fuego.

La dispersión se mejora con relación a los medios aéreos, ya que estos deben realizarla a mayor altura y no siempre de la forma más adecuada por motivos de seguridad del vuelo.

3.7. POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA

El transporte hasta el incendio se realizará por vías convencionales, caminos o senderos hasta un punto dentro del radio de acción del obús. Una vez posicionado, comienza el lanzamiento de proyectiles hacia el foco del incendio, con una cadencia de 1 disparo cada 20 seg, permitiendo transportar 14400Kg/hora. El abastecimiento se realiza con vehículos de transporte convencionales terrestres o aéreos adecuados, que no

La unión de las cápsulas en cada nivel, permite crear configuraciones diferentes, permitiendo realizar dispersiones en línea o en red, según las necesidades

entrada de flujo calorífico mayor que el resto del cuerpo de la cápsula por tratarse de un polímero (aislante). La convección y la radiación son los mo-

bre la vegetación el agente extintor por gravedad.

Se dispone de una rango de temperaturas ($200^{\circ}\text{C} < T_{\text{dispersión}} < 300^{\circ}\text{C}$)

realizan un papel activo en las tareas de extinción actualmente, permitiendo un uso óptimo de los recursos disponibles.

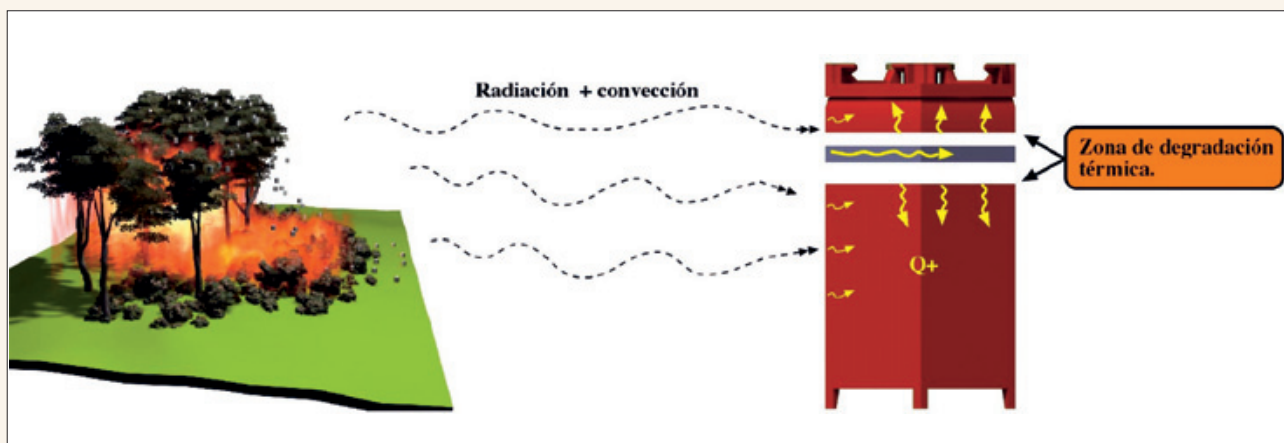


Ilustración 4. Activación de la capsula por temperatura.

La capacidad del sistema de transportar un agente extintor con un flujo de 14.400 Kg/hora, es superior a los sistemas aéreos convencionales cuando la distancia al punto de carga es > 20Km

El sistema también puede ser instalado de forma permanente en zonas sensibles, o de alto valor, tales como urbanizaciones, instalaciones civiles, militares, parques naturales, etc. Realizando a su vez una acción disuasoria.



Ilustración 5. Dispersión del agente extintor.



4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La importancia de la rapidez en la respuesta durante las primeras etapas de un incendio forestal, así como las limitaciones de los sistemas ac-

tuales, justifican el diseño de un nuevo sistema que sea capaz de actuar de forma continua, en periodos nocturnos, ante cualquier condición climática y que reduzca los riesgos para los combatientes. Permite también, el almacenamiento de agua como agente extintor durante todo el año, evitando el uso de depósitos naturales en las épocas de menor pluviosidad, mejorando la gestión de los recursos.

Permite el uso de retardantes en todas las acciones realizadas sobre el fuego, reduciendo el tiempo de extinción y por tanto los daños ocasionados por el incendio.

La capacidad del sistema de transportar un agente extintor con un flujo de 14.400 Kg/hora, es superior a los sistemas aéreos convencionales cuando la distancia al punto de carga

es > 20Km (Fig. 1). Dispone de una rápida capacidad de respuesta y puede ser mejorada si la zona a proteger se acondicionada con vías aptas para trasladar el sistema a puntos estratégicos desde los que atacar el fuego.

Puede actuarse indistintamente con ataque directo o indirecto, creando cortafuegos químicos sensibles al fuego.

Su combinación con sistemas modernos de detección de fuegos, permitiría aumentar las capacidades del sistema aquí presentado.

El presente trabajo ha quedado registrado como:

Expediente (P200701886 -.Oficina Española de Patentes y Marcas.- 4-07-2007).

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Vélez Muñoz, Ricardo. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. 1ª ed. Madrid: McGraw-Hill, 2000. 1015 p. ISBN: 84-481-2742-0.

- Hänert, Luis. Tratado de balística. 2ª ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1937. 523 p.

- Cucharero Pérez, Francisco. Balística exterior. 1ª ed. Madrid: Ministerio de Defensa, Secretaría Técnica, 1992. 487 p. ISBN: 84-7823-9.

- Arnaldos Viger, Josep. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. 1ª ed. Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 2004. 407 p. ISBN: 84-8476-120-7.

- Mérida Juan Carlos. "Las Bases de Datos de Incendios Forestales como herramienta de planificación: utilización en España por el Ministerio de Medio Ambiente". En: Actas de la 4ª Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales, (Sevilla 13-17 Mayo de 2007), 2007. P. 7-9. ■