



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Empleo de la munición especial de artillería en  
la extinción de incendios forestales

Autor

CAC. D. José Antonio Pelegrina Calvente

Director/es

Dra. M<sup>a</sup> del Carmen Blanco Ortiz  
Capitán D. Alberto Arrizabalaga Pina

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar  
Año 2017



## Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi tutora la Dra. M<sup>a</sup> del Carmen Blanco Ortiz, por su dedicación y apoyo en la elaboración del presente trabajo. También quiero dar las gracias a mi tutor militar el Cap. D. Alberto Arrizabalaga Pina por su ayuda durante mi estancia en la unidad, tanto en mi integración en la misma, como resolviendo cualquier duda planteada por mi parte.

Asimismo, quiero agradecer también a todo el personal perteneciente al Grupo de Artillería de Campaña X, y en particular de la 1<sup>a</sup> Batería por hacerme sentir como un integrante más desde el primer momento. Ayudándome en todo lo posible, tanto referente a este trabajo como a mis prácticas externas.

También quiero agradecer a D. Jose Luiz Liz Graña, Director Técnico y Gerente de *Pyro Fire Extinction, S.L.*, por su efusiva colaboración y ayuda, las cuales han sido vitales en el desarrollo de esta memoria. Además, también quiero dar las gracias a Miguel Moreno Garrote, Jefe de Productos de Artillería de Campaña de *Expal, S.A.*, y a su departamento técnico por la colaboración aportada a este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer de forma efusiva a mis familiares, amigos y compañeros, por todo el apoyo recibido durante estos años. Especialmente quiero dar las gracias a mi padre el Subteniente D. José Antonio Pelegrina Romera, por su constante preocupación y dedicación a lo largos de estos años de formación, los cuales culminan en el presente trabajo.



## Resumen

El presente trabajo estudia el empleo de municiones especiales de artillería que permitan combatir los incendios forestales. Para ello, se ha realizado un estudio de las necesidades existentes en el área de la extinción de incendios forestales y se ha realizado un estudio cualitativo de las ventajas y desventajas del uso de proyectiles de artillería para este fin.

Tras estudiar el fenómeno de los incendios forestales, así como sus efectos y las variables que los modifican, se analizan los diversos métodos de extinción de incendios que se utilizan en la actualidad y también se estudian los diversos medios de extinción, tanto terrestres como aéreos. Todo esto servirá para poder definir las carencias de cada uno de estos medios.

Posteriormente se analiza de forma cualitativa el sistema balístico de extinción. Este estudio se centrará en las ventajas y desventajas que supone el uso de este tipo de munición. Además, se estudiará tanto su composición como diseño con el objetivo de esclarecer cuales serían los más idóneos. Finalmente se llevará a cabo un análisis que permita comprender la capacidad de transporte de agente químico de un sistema basado en proyectiles de artillería.

Todo lo analizado permite proponer el empleo de este tipo de munición debido a evidentes bondades que mejoran los medios empleados actualmente. No obstante, aún es necesario estudiar y mejorar ciertos aspectos, sobre todo en relación al diseño y materiales elegidos para su fabricación.

## Abstract

The present work studies the use of special artillery munitions to fight forest fires. For this purpose, a study of the existing needs in the area of forest fire extinction has been carried out and a qualitative study has been made of the advantages and disadvantages of the use of artillery shells for this purpose.

After studying the phenomenon of forest fires, as well as their effects and the variables that modify them, the different methods of extinguishing fires that are currently used are analyzed and the various means of extinction, both terrestrial and aerial, are also studied. All this will serve to define the shortcomings of each of these means.

Subsequently, the ballistic extinction system is analyzed qualitatively. This study will focus on the advantages and disadvantages of using this type of ammunition. In addition, its composition and design will be studied in order to clarify which would be the most suitable. Finally, an analysis will be carried out to understand the transport capacity of chemical agents in a system based on artillery shells.

Everything analyzed allows proposing the use of this type of ammunition due to obvious benefits that improve the means currently used. However, it is still necessary to study and improve certain aspects, especially in relation to the design and materials chosen for its manufacture.

## Índice

Agradecimientos .....	III
Resumen .....	V
Abstract.....	VI
Índice de figuras .....	IX
Índice de tablas .....	X
Listado de abreviaturas .....	X
Capítulo I: Introducción .....	1
1.1. Objetivos y alcance del proyecto .....	2
Capítulo II: El fuego y los incendios forestales.....	3
2.1. Origen del fuego .....	3
2.2. Productos de la combustión.....	4
2.3. Mecanismos de propagación del calor: .....	4
2.4. Los incendios forestales.....	5
2.4.1. Los combustibles forestales.....	6
2.4.2. La climatología .....	6
2.4.3. El terreno .....	7
Capítulo III: La extinción de los incendios forestales .....	8
3.1. Fases en la extinción de un incendio .....	8
3.2. Acciones básicas de extinción .....	8
3.3. Métodos de combate.....	9
3.3.1. Ataque directo.....	9
3.3.2. Ataque indirecto .....	10
3.4. Medios de extinción .....	11
3.4.1. Herramientas para la extinción .....	11
3.4.2. Extintor de explosión.....	12
3.4.3. Vehículos autobombas.....	12
3.4.4. Maquinaria.....	13
3.4.5. Medios aéreos .....	13
3.5. Problemas existentes en la extinción de incendios.....	14
Capítulo IV: Proyectil especial de extinción .....	16
4.1. Ventajas del uso de un sistema balístico de extinción.....	16
4.2. Agentes químicos retardantes .....	18
4.2.1. Retardantes a largo plazo.....	18
4.2.2 Retardantes a corto plazo.....	19
4.2.3. Retardante idóneo para proyectil de extinción .....	20

4.3. Diseño del proyectil.....	21
4.3.1. Proyectil convencional de artillería .....	22
4.3.2. Proyectil de dispersión de submuniciones .....	24
4.3.3. Diseño idóneo para el proyectil de extinción .....	26
4.4. Análisis cualitativo del sistema balístico de extinción .....	26
Conclusiones.....	28
Líneas futuras .....	29
Bibliografía.....	30
Anexo I: Datos estadísticos de incendios forestales.....	34
Anexo II: Herramientas manuales de extinción .....	35
Anexo III: Extintor de explosión .....	42
Anexo IV: Medios aéreos .....	43
Anexo V: Proyectiles extintores de incendios The Boeing Company.....	45
Anexo VI: Modelo de proyectil especial extintor de incendios .....	47
Anexo VII: Sistema balístico para el control y la extinción de incendios forestales .....	48
Anexo VIII: Proyectiles de artillería M1 y M107 .....	50
Anexo IX: Cuestionario a experto .....	51

## Índice de figuras

Figura 1. Registro de conatos e incendios en España.....	1
Figura 2. Registro de conatos e incendios de 1 de enero a 30 de septiembre.....	1
Figura 3. Triángulo del fuego .....	3
Figura 4. Tetraedro del fuego. ....	5
Figura 5. Comparativa entre aeronaves sobre su eficacia en función de la distancia al punto de carga.....	15
Figura 6. Comparación del flujo logístico entre medios aéreos y sistema de extinción balística.....	17
Figura 7. Comportamiento de los combustibles incendiados .....	18
Figura 8. Comportamiento de los retardantes a largo plazo .....	19
Figura 9. Reacción química de descomposición del DAP. ....	21
Figura 10. proyectil de artillería HE y proyectil químico de 1912.....	22
Figura 11. Acción del proyectil extintor sobre un incendio .....	23
Figura 12. Proyectil extintor de incendios (The Boeing Company) antes y después de su activación.....	23
Figura 13. Proyectil extintor de incendios de culote desprendible.....	24
Figura 14. Proceso de expulsión de submuniones de una ojiva M483.....	24
Figura 15. Secuencia de disparo del Sistema balístico para el control y extinción de incendios forestales en zonas inaccesibles .....	25
Figura 16. Capacidad de transporte de agente extintor de batería Light Gun y batería 155/52 SIAC .....	27
Figura 17. Extintor de explosión BEAEXTIN .....	42
Figura 18. CANADAIR CL-215T.....	43
Figura 19. Air Tractor 802.....	44
Figura 20. Helicóptero EC-135 .....	44
Figura 21. Proyectil extintor de explosión, vista exterior .....	45
Figura 22. Proyectil extintor de explosión, vista interior .....	45
Figura 23. Funcionamiento del proyectil extintor de explosión.....	45
Figura 24. Proyectil extintor de apertura delantera, vista exterior .....	46
Figura 25. Proyectil extintor de apertura delantera, vista interior .....	46
Figura 26. Funcionamiento del proyectil extintor de apertura delantera.....	46
Figura 27. Esquema de obús.....	48
Figura 28. Proyectil extintor y detalle de cápsula .....	48
Figura 29. Apertura del proyectil de extinción y despliegue de las cápsulas .....	49
Figura 30. Apertura de la cápsula mediante degradación térmica.....	49
Figura 31. Actuación del sistema balístico de extinción en ambiente diurno y nocturno .....	49
Figura 32. Proyectil 105 HE M1 y proyectil 155 HE M107 .....	50

## Índice de tablas

Tabla 1. Herramientas manuales y sus acciones. Fuente: Elaboración propia. ....	11
Tabla 2. Número de conatos < 1 ha e incendios $\geq$ 1 ha desde 1997 hasta 2017. Fuente: Elaboración propia. ....	34
Tabla 3. Número de conatos < 1 ha e incendios $\geq$ 1 ha desde 1 de enero hasta 30 de septiembre, desde el año 2007 hasta 2017. Fuente: Elaboración propia. ....	34

## Listado de abreviaturas

ACA	Artillería de campaña
DAP	Fosfato de diamonio
EC135	Euro Copter 135
HE	High Explosive
INIA	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
MAP	Fosfato de amonio
UME	Unidad Militar de Emergencias

## Capítulo I: Introducción

Los incendios forestales se han convertido en los últimos años en uno de los problemas medioambientales más importantes de España. Los efectos del cambio climático, que propicia cada año temperaturas más elevadas y la escasez de agua en las épocas estivales, sumados al gran número de incendios intencionados son culpables de miles de hectáreas que se incendian anualmente en nuestro país.[1]

A pesar de esto, los avances tecnológicos en combinación con mejoras de organización y coordinación de esfuerzos humanos, la creación en 2005 de la Unidad Militar de Emergencias (UME), y el endurecimiento de las penas por delitos de incendio forestal, han conseguido reducir el número de incendios anuales.[2]

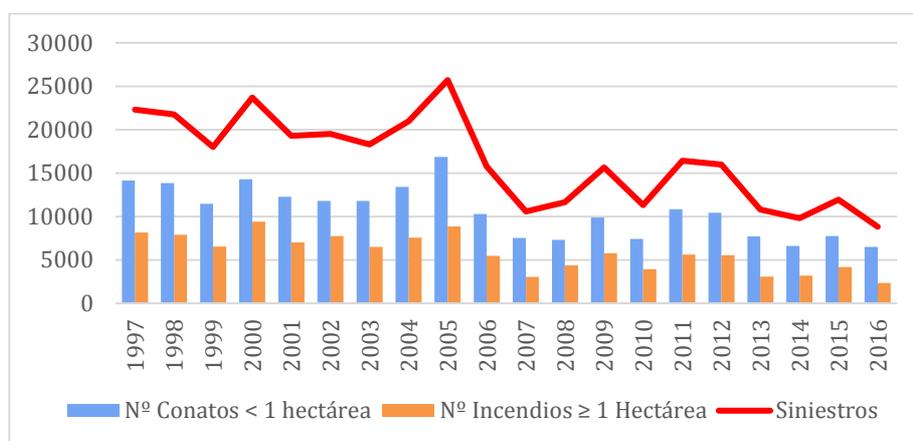


Figura 1. Registro de conatos e incendios en España. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar en la figura 1, a partir de 2005 el número de incendios se ha ido reduciendo con respecto a años anteriores, sin embargo, siguen produciéndose multitud de incendios anuales. Esta cantidad de incendios no solo se traduce en costes millonarios de prevención y extinción, sino conlleva grandes superficies arrasadas por el fuego. Además, la mayoría de las ocasiones estos incendios acaban llegando a núcleos de población afectando a sus habitantes.

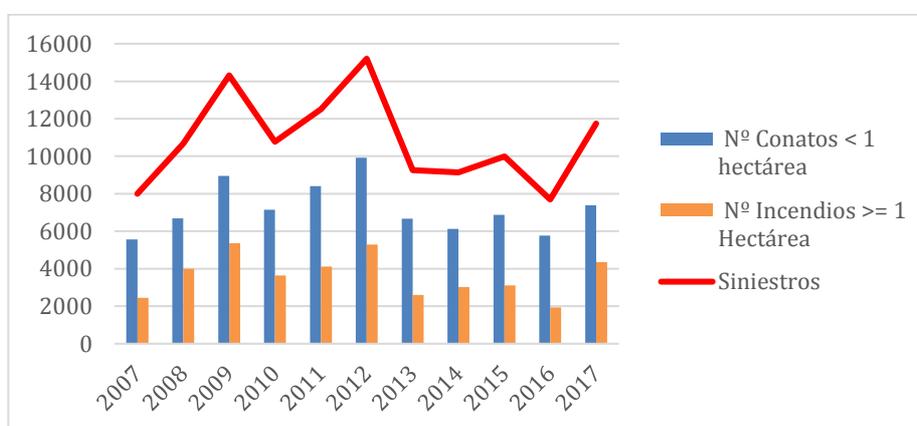


Figura 2. Registro de conatos e incendios de 1 de enero a 30 de septiembre. Fuente: Elaboración propia.

La figura 2 se ha realizado a través de los datos obtenidos del Ministerio de Medio Ambiente, e incluye la comparativa de 2017 con respecto a años anteriores<sup>1</sup>. Como se puede observar, a pesar de todas las mejoras que se mencionaron anteriormente, a finales de 2016 comenzó a aumentar el número de siniestros, este aumento se ha mantenido durante 2017, de tal manera que a principio de septiembre se han alcanzado cifras similares a las de final del año 2012.[3]

Durante el final de la época estival del año 2017 se han producido una gran cantidad de incendios forestales, especialmente en la zona de Galicia, donde más de 35.000 hectáreas ardieron durante los incendios de octubre del mismo año. El presidente de la Xunta de Galicia, Alberto Nuñez Feijóo, señaló que la superficie arrasada por el fuego suponía “el 45% de la masa forestal de España”. [4]

Es por esto que, a pesar del menor número de siniestros con respecto a años anteriores, los incendios son un grave problema y deben buscarse la mayor cantidad de soluciones posible para hacerles frente.

Uno de los campos que presenta mayor capacidad de acción para mejorar la extinción es el de los medios de extinción. Actualmente existen diversos métodos y medios para la actuación contra el fuego, cuyo principal esfuerzo se lleva a cabo por el personal de extinción a pie. Sin embargo, estos medios presentan una serie de carencias que se deben tener en cuenta, ya que una solución a estas deficiencias puede ser de gran ayuda para mejorar la eficacia de la extinción.

## 1.1. Objetivos y alcance del proyecto

Inicialmente los objetivos planteados para este trabajo fueron bastante ambiciosos, pues se pretendía obtener resultados cuantitativos a través de balances térmicos y análisis de dispersión para conocer los resultados reales que tendría un proyectil de extinción de incendios. Sin embargo, una vez se estudió toda la información recopilada en la bibliografía pudo comprobarse la falta de estudios cuantitativos, y la imposibilidad de hacer los mismos por la cantidad de variables a tener en cuenta, la necesidad de software especializado e incluso la necesidad de pruebas empíricas, que quedaban fuera del alcance de este trabajo.

Por ello, se planteó como alternativa realizar un estudio cualitativo, que abarcara los condicionantes de los incendios, y los medios y métodos actuales de extinción, con el objetivo de buscar sus deficiencias. Posteriormente se planteará la posibilidad de solventar algunas de las deficiencias encontradas con un sistema balístico de extinción, estudiando además qué composición debe tener el mismo, qué diseños puede presentar, y qué problemas puede entrañar también el uso de dicho sistema.

---

<sup>1</sup> Los datos utilizados han sido obtenidos de los informes anuales de incendios y del avance de 2017 del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente[22] y pueden consultarse en el Anexo I.

Para llevar a cabo el presente estudio se analizarán diferentes tipos de documentos referentes a la extinción de incendios, con el objetivo de comprobar la existencia de carencias en los métodos y medios de extinción actuales. Posteriormente se realizará un estudio de los proyectiles de extinción de incendios en base al análisis de patentes y la entrevista a un experto. Finalmente y en base a todo lo anterior se realizaran unas conclusiones, que sirvan como referentes para posibles estudios futuros.

El análisis llevado a cabo pretende servir como base para un estudio más profundo si se planteara abierta la posibilidad de aplicar el uso de este tipo de munición en la extinción de incendios forestales.

## Capítulo II: El fuego y los incendios forestales

### 2.1. Origen del fuego

Desde el descubrimiento del fuego, éste se ha convertido en un pilar fundamental en el proceso de evolución del ser humano, ya que su uso comprende desde actividades como la alimentación a los más complejos procesos industriales.

En esencia el fuego se trata de un proceso químico denominado combustión. La combustión consiste en una rápida reacción química en la que el oxígeno se combina con una sustancia combustible en presencia de calor.

Para que se produzca una combustión es necesaria la presencia de tres elementos: el combustible, el comburente y la energía de activación o calor. Estos elementos, los cuales forman el llamado “triángulo del fuego” deben encontrarse en las proporciones adecuadas para que se lleve a cabo la combustión.[5][6]



Figura 3. Triángulo del fuego. Fuente: Elaboración propia.

Un combustible es una sustancia (sólida, líquida o gaseosa), que en contacto con un comburente es capaz de arder, si se le proporciona la energía de activación necesaria.

Un comburente es la sustancia encargada de oxidar al combustible favoreciendo así la combustión. El más común es el oxígeno, ya que forma parte de la atmósfera en una concentración aproximada del 21% (v/v).

Se conoce como energía de activación a la energía inicial que es necesaria aportar al sistema para que el combustible y el comburente reaccionen. Normalmente se trata de calor, el cual se puede medir en calorías, siendo una caloría el aumento de calor requerido para que un gramo de agua aumente un grado centígrado su temperatura.

Una vez analizados los tres componentes del triángulo, es importante destacar que si para que se lleve a cabo el proceso de combustión se deben dar las condiciones anteriormente mencionadas, la eliminación de uno de los vértices del triángulo o la reducción de su proporción por debajo de los valores necesarios producirá la desaparición del fuego. De esta forma el objetivo de los procesos de extinción de incendios será el de eliminar o reducir uno de los vértices de dicho triángulo.

## 2.2. Productos de la combustión

Todo proceso de combustión tiene una serie de productos, que dependerán del tipo de combustible, la temperatura del propio fuego y de otros factores como el lugar donde ocurre.

Es necesario tener en cuenta estos productos por sus efectos tóxicos. Los principales productos de la combustión son:[5][7]

- Humos: Están compuestos por partículas sólidas suspendidas en el aire. Producen efectos irritantes sobre las mucosas y los ojos. Además, cuando se encuentran en grandes concentraciones dificultan el paso de luz añadiendo dificultad a las tareas de extinción o salvamento.
- Gases: La mayoría de los componentes que forman los combustibles producen compuestos gaseosos al arder, dependiendo estos de la naturaleza química del combustible. Representan uno de los principales riesgos para las personas y además pueden ser inflamables, contribuyendo así al mantenimiento del propio fuego.
- Llamas: Son gases incandescentes que pueden producir deslumbramientos impidiendo la correcta visualización del entorno.
- Calor: Es la energía que se genera en la combustión. Se transfiere al entorno aumentando la temperatura del mismo.

## 2.3. Mecanismos de propagación del calor:

El calor que se produce en una combustión se propaga a través del mismo aumentando la temperatura. Dicho aumento de temperatura puede provocar la aparición de nuevos focos, generando así un incendio de mayores magnitudes.

Los mecanismos de propagación del calor son:[6][8][9]

- **Conducción:** Es la transferencia de calor entre dos cuerpos por contacto entre ambos, siendo una característica importante para esto la conductividad térmica del material. Debido a la importancia de la conductividad térmica, la conducción no será el método de propagación principal en los combustibles forestales, ya que “la madera es un mal conductor del calor.”[8]
- **Convección:** Consiste en la transmisión de calor en fluidos de diferentes temperaturas. Un aumento de la temperatura del fluido produce que este aumente su volumen, de esta forma la densidad será menor. Gracias a este mecanismo los gases calientes ascienden mientras los fríos quedan en la capa inferior. “La convección tiene muchísima importancia en el desarrollo vertical de los incendios, y suele ser la causante de la propagación del incendio en la mayoría de los casos.”[3]
- **Radiación:** Consiste en la transmisión del calor a través del espacio por movimientos ondulatorios. Se emite continuamente y depende de la temperatura, por lo tanto, cuanto más caliente esté un cuerpo mayor será la cantidad de radiación que emite.
- **Pavesas:** Partículas que se desprenden de un cuerpo en combustión inflamada. Estas pueden avivar nuevos focos o puntos de fuego, convirtiéndose finalmente en cenizas. Pueden propagarse de dos formas:
  - **Pavesas volantes:** Pavesas que, debido a la convección, se trasladan por delante del frente del incendio.
  - **Pavesas rodantes:** Son aquellas que se desplazan rodando por el efecto de una pendiente.

## 2.4. Los incendios forestales

Se puede definir un incendio forestal como el desarrollo del fuego sin control en un área forestal, el cual afecta a vegetación que no estaba destinada a arder.

Los incendios forestales se rigen, al igual que otros por los principios del triángulo del fuego. Sin embargo, debido a sus particularidades, se añadirá la reacción en cadena como un factor adicional, convirtiéndose así el triángulo en el denominado “tetraedro del fuego”. [5][8][10][11]



Figura 4. Tetraedro del fuego. Fuente: Elaboración propia.

Esta reacción en cadena se produce debido a que la combustión, al ser una reacción exotérmica, genera cierta cantidad de calor de la cual una parte se disipa en el ambiente y la otra se emplea como energía de activación en los combustibles próximos.

La particularidad de los incendios forestales con respecto a otros se debe a los combustibles con los cuales se alimenta el fuego, los cuales dependiendo de sus características determinarán la entidad del incendio. Además de estos factores principales, los incendios forestales también se verán condicionados por otra serie de elementos como la climatología y el terreno. Un estudio de estos elementos permitirá comprender el comportamiento del incendio y su posible evolución, lo cual será esencial para la realización de las labores de supresión del fuego.

#### 2.4.1. Los combustibles forestales

En los espacios forestales existe una gran variedad de combustibles formados por la diversidad de la flora y sus restos, es decir, de toda aquella materia vegetal que puede arder.

Para añadir eficacia a la prevención y extinción de los incendios forestales es necesario conocer los factores que afectan a estos fuegos y que pueden llegar a convertir un pequeño foco en un gran incendio.

Los principales factores que afectan a los combustibles forestales son la inflamabilidad y la combustibilidad, cuyas definiciones se presentan a continuación:[8]

- **Inflamabilidad:** Según Trabaud (1976) es la propiedad que posee un vegetal para inflamarse desde que una fuente de calor entra en contacto con él. En este proceso influyen de manera significativa: la humedad, la composición química, el tamaño y la forma.
- **Combustibilidad:** Capacidad para que se mantenga la combustión y se propague a la materia próxima. Las características de los combustibles que afectan a la combustibilidad son: la cantidad, la compactación y la distribución espacial del combustible.

#### 2.4.2. La climatología

De los tres condicionantes mencionados anteriormente, el terreno y la vegetación son aspectos que se consideran constantes porque son propios de cada monte, lo que los hace más controlables. Sin embargo, esto no ocurre con el tiempo atmosférico.

La mayoría de los incendios ocurre en las épocas del año que registran mayores temperaturas y menores índices de precipitación. Todo esto señala al clima como uno de los aspectos más importantes y variables en un incendio, el cual se convertirá en el culpable de cambios repentinos en el comportamiento del mismo.

Sin embargo, el tiempo atmosférico es incontrolable, aunque es posible llevar a cabo una monitorización del mismo y de las características que lo rigen, consiguiendo así una predicción de su comportamiento.

De entre todas las variables que afectan a la climatología, las más significativas en el campo de los incendios forestales son:

- **Humedad relativa:** Indica la proporción de vapor de agua de una masa de aire con respecto al máximo que podría contener con dicha temperatura. Este factor afecta al comportamiento del fuego de dos formas, por un lado, al aumentar la humedad disminuye la proporción de oxígeno en el ambiente, por otro lado, afecta directamente al contenido en humedad de la materia combustible, aumentando así la cantidad de energía necesaria para el proceso de inflamación.
- **Precipitación:** Las precipitaciones modifican de forma sencilla el contenido en humedad del combustible y del entorno.
- **Viento:** Es un factor muy importante ya que participa en la evaporación de la humedad de la materia vegetal. Además, supone una corriente de aporte de oxígeno por recirculación, aumentando así el fuego y transportando las pavesas a la vegetación que aún no se encuentre ardiendo.
- **Temperatura:** Es la medida del efecto de la radiación solar, contribuye al aumento de la temperatura de los combustibles y por lo tanto a la reducción de su humedad. Es un factor estacional, siendo la temporada estival donde presenta sus valores máximos.

### 2.4.3. El terreno

El comportamiento del fuego sobre la vegetación forestal depende de la orografía del terreno, la cual no solo afecta a su comportamiento, sino que también puede condicionar a los factores mencionados anteriormente. Se pueden destacar tres rasgos topográficos que afectan significativamente a la evolución de un incendio.

En primer lugar, se encuentra el relieve, de éste dependerá el clima, condicionando así la intensidad y dirección de los vientos que ayudarán en la propagación del fuego.

El segundo rasgo topográfico a tener en cuenta es la exposición, ésta indica la posición de las laderas con respecto a la incidencia de los rayos solares. Debido a que los rayos solares inciden sobre la zona sur de las laderas, éstas se denominarán de solana, mientras que las que miran al norte se conocen con el nombre de umbrías. De esta forma las laderas de solana sufrirán mayores temperaturas y por lo tanto serán más propensas a la aparición y propagación de fuegos.

Finalmente, la pendiente será el tercer rasgo topográfico, siendo además el más importante de los tres. Los combustibles situados en la zona superior de una pendiente aumentan su

temperatura tanto por radiación como por convección, provocando así que la velocidad de propagación del fuego sea mayor en la dirección ascendente de la pendiente.

## Capítulo III: La extinción de los incendios forestales

La extinción de un incendio se basa en conseguir el cese del fuego. Para conseguir este objetivo los esfuerzos de extinción deberán enfocarse en romper o debilitar uno o más vértices del tetraedro del fuego (figura 4). Para ello, será necesario actuar sobre el fuego siguiendo los métodos de extinción y utilizando los medios que permitan realizar el ataque al fuego de la mejor forma posible.[5][8][10]

### 3.1. Fases en la extinción de un incendio

Desde la aparición de un fuego en el monte, su transición a incendio y la extinción del mismo, se pueden distinguir tres fases significativas por las que pasa todo incendio: activo, controlado y extinguido.

En respuesta a esto, las operaciones de extinción estarán enmarcadas en tres situaciones correspondientes a cada una de las fases mencionadas anteriormente.

En primer lugar, se encuentra el ataque. Las acciones de ataque se realizan sobre el fuego que acaba de comenzar y se mantienen mientras este continúe su avance por cualquiera de sus frentes.

Una vez se ha conseguido parar el avance del fuego, se pasará a la fase de control. Esta fase consiste en realizar un cerco al fuego mediante el uso de cortafuegos<sup>2</sup>. Cuando se dé por completado este cerco se podrá decir que el incendio se encuentra controlado.

Finalmente se encuentra la denominada fase de liquidación. Esta consiste en el apagado completo del fuego, y se realiza desde los bordes del mismo hasta su zona más interna.

Para llevar a cabo las tres fases anteriores se realizarán una serie de acciones básicas. Estas podrán seguir dos métodos de extinción, en función de si se actúa directamente o indirectamente sobre el fuego.

### 3.2. Acciones básicas de extinción

Según el elemento del tetraedro que quiera eliminarse, existen varios tipos de acciones que se pueden llevar a cabo sobre los fuegos.

---

<sup>2</sup> Cortafuegos: Faja que se realiza sobre el terreno, la cual está caracterizada por: la ausencia de combustible, dejar el suelo mineral al descubierto e impedir que el fuego se propague fuera del perímetro quemado, también se puede crear mediante el esparcido de productos químicos retardantes.[10]

En primer lugar, se encuentran las acciones que afectan al comburente. Estas se pueden desarrollar de varias formas:

- Desplazando de forma violenta el aire que se encuentra en contacto con el combustible mediante el uso de batefuegos<sup>3</sup>.
- Disminuir la proporción de oxígeno del aire aumentando, por ejemplo, la cantidad de vapor de agua presente a través de la pulverización de agua.

En segundo lugar, están las operaciones que se realizan sobre el combustible, las cuales se pueden llevar a cabo a través de tres métodos:

- Creación de fajas libres de combustible a vanguardia de la dirección de avance del incendio, con un ancho suficiente que impida la ignición del combustible al otro lado de las mismas.
- Aumentar el contenido en humedad del combustible vegetal humedeciéndolo con agua.
- Impedir la combustión cubriendo el combustible con agentes químicos o tierra.

La siguiente acción es la que se realiza sobre la energía de activación. Ésta debe realizarse a través de la reducción de la temperatura del combustible en llamas. En estas operaciones se suele utilizar agua debido a sus capacidades de enfriamiento, las cuales se ven aumentadas si ésta se combina con agentes químicos retardantes formando una disolución.

La última de las acciones que se puede realizar sobre el tetraedro del fuego consiste en la inhibición de la reacción en cadena. Esto se puede conseguir mediante el uso de sustancias químicas retardantes, los cuales aportan moléculas inhibitorias de la reacción de combustión.[11]

### 3.3. Métodos de combate

El comportamiento de un incendio y la evolución del mismo son condicionantes a la hora de realizar las acciones de las que se habló anteriormente. En función de esto se podrán realizar las tareas de extinción actuando de forma directa sobre las llamas, o bien se deberán afrontar indirectamente desde zonas que se encuentren alejadas de las mismas.

#### 3.3.1. Ataque directo

Consiste en realizar las intervenciones desde el mismo borde del incendio, actuando sobre las llamas y el combustible próximo a ellas. Se realiza siempre por personal de tierra, el cual puede ser apoyado por medios aéreos.

---

<sup>3</sup> Batefuegos: Herramienta manual de extinción de incendios, la cual se utiliza para golpear firmemente el combustible ardiendo con el objetivo de desplazar el oxígeno.[5]

Para realizar este ataque directo se llevarán a cabo algunas de las acciones mencionadas en el apartado anterior como:

- Empleo de bate fuegos: Los cuales se utilizan para golpear la base de las llamas y así dispersar el aire presente en la zona.
- Empleo de agua y retardantes: Como se mencionó con anterioridad, el agua es fundamental para la extinción de los fuegos, debido a su doble acción refrigerante y aislante del aire. Se suele llevar a cabo mediante el uso de extintores o mangueras. La limitación de este procedimiento está en la disponibilidad de agua, la cual no siempre abunda y cuyo transporte en ocasiones no es viable por dificultades de acceso con vehículos.
- Empleo de tierra: Consiste en lanzar tierra sobre el combustible en ignición con el objetivo de separarlo del aire. Para ello, la herramienta principal es la pala. Es importante el uso de tierra libre de material combustible.
- Dispersión del combustible: Este procedimiento se utiliza en la fase de liquidación del incendio y consiste en dispersar las brasas del combustible mediante el uso de rastrillos o azadas. Esta separación contribuye al enfriamiento y evita la ignición de nuevos focos.

### 3.3.2. Ataque indirecto

Este método tiene la finalidad de aislar el combustible ardiendo de la vegetación que no ha ardiendo aún mediante el uso de cortafuegos denominados “líneas de defensa”, a cierta distancia del borde del incendio, quemando el combustible intermedio o utilizando agua y retardantes químicos.

Estas líneas de defensa deben apoyarse en las barreras naturales o artificiales que puedan existir en el terreno, con el objetivo de aislar al mismo y facilitar las labores de ataque directo, control y liquidación.

El ataque indirecto aporta una mayor seguridad al personal que realiza la extinción a pie, ya que no se realiza desde el borde del incendio. Por otro lado, estas tareas de ataque indirecto prolongan más la duración del incendio y obligan a perder más vegetación.

Cabe destacar que el método indirecto se utilizará cuando el ataque directo no sea seguro para el personal de extinción. Esto se resume en: incendios con llamas de altura superior a 2 m, gran desprendimiento de calor y humos, incendios de copas, topografía complicada o siempre que pueda existir riesgo para los combatientes terrestres.

Se pueden diferenciar tres formas de llevar a cabo el ataque indirecto:

La primera de ellas se trata de la creación de líneas de defensa, ya sea mediante el uso de herramientas manuales, máquinas o herramientas mecánicas. Además del uso de herramientas y siempre que no conlleve el peligro de avivar nuevos fuegos, se podrá optar por la quema

controlada de combustible vegetal con el objetivo de ensanchar dichas fajas. De esta forma se construirá la línea de defensa, confinando así la zona en llamas dentro de la misma.

En segundo lugar, se encuentra la técnica del contrafuego, la cual consiste en el uso del fuego para eliminar el combustible vegetal existente entre una posición y el incendio. Este método aprovecha las corrientes de succión que se crean cuando el aire caliente proveniente de la quema asciende, esto crea zonas de vacío que redirigen el “fuego controlado” en dirección al incendio. Es muy importante tener en cuenta la seguridad del personal en las operaciones de contrafuego, pues un cambio en la dirección del viento u otros factores pueden hacer cambiar la dirección del fuego.

El último de los procedimientos indirectos consiste en el empleo de agua y/o retardantes químicos. Aunque se ahondará sobre los mismos más adelante, se puede decir que este método consiste en el uso de agua y/o sustancias químicas que tienen la propiedad de disminuir la capacidad de arder del combustible. De esta manera cuando el fuego alcance la zona impregnada con retardante perderá intensidad, llegando incluso a apagarse.

### 3.4. Medios de extinción

Para poder realizar las acciones anteriormente mencionadas es necesario que el personal se apoye en el uso de equipos, herramientas, maquinaria y vehículos. Es importante tener en cuenta que será la combinación eficiente de todos estos medios, con un uso seguro de los mismos, la que permitirá llevar a cabo una mejor labor de extinción.

#### 3.4.1. Herramientas para la extinción

Son aquellas herramientas con las que el personal a pie llevará a cabo las acciones de lucha contra el fuego, por lo tanto, serán herramientas manuales (ver Anexo II). Estas pueden ser iguales a las que se emplean en otras actividades forestales o pueden ser de uso exclusivo para las labores de extinción.

		Herramientas					
		Hacha-azada	Rastrillo-azada	Palín	Batefuegos	Extintor de mochila	Motosierra
Acciones	Cortar	X	X	X			X
	Raspar	X	X	X			
	Cavar	X		X			
	Sofocar (Desplazar el oxígeno)			X	X		
	Enfriar			X		X	

Tabla 1. Herramientas manuales y sus acciones. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se representan tanto las diversas herramientas manuales utilizadas por el personal de extinción a pie, como las acciones de extinción que pueden llevar a cabo. Debido a las limitaciones de peso que puede portar el personal, será muy importante el uso de herramientas polivalentes que permitan realizar diversas acciones con la misma herramienta. De esta forma, se puede comprobar como el palín se muestra como una herramienta bastante versátil, junto a otras como el hacha-azada. Sin embargo, otras como la motosierra o el extintor de mochila presentan una gran eficacia, pero solo permiten realizar una acción concreta.

A la problemática del peso y las dimensiones de estas herramientas se suman otras como la orografía del terreno, condiciones de visibilidad o grandes emisiones de humos, las cuales limitarán o incluso podrán impedir la actuación del personal a pie.

### 3.4.2. Extintor de explosión

Los extintores de explosión consisten en un recipiente plástico, que en su interior contiene una pequeña carga explosiva conectada con una o varias mechas y una mezcla de agua con retardante químico (ver Anexo III). Su uso consiste en dejar el extintor en una zona donde se prevé que se puede producir un incendio, o donde ya hay fuego, y una vez entren en contacto las llamas con las mechas del mismo éste se activará.

Este tipo de extintores se fundamentan en un doble efecto extintor. Por un lado, la explosión provoca un desplazamiento violento del aire. Por otro, la mezcla retardante será lanzada por la misma explosión apagando el fuego.

El uso de este sistema está aconsejado en fuegos incipientes que se puedan extinguir rápidamente, en la rotura de frentes de llamas cuya intensidad impida el trabajo con herramientas manuales, como refuerzo de líneas de defensa o como apoyo en los contrafuegos para apagar fuegos secundarios.

### 3.4.3. Vehículos autobombas

Como se comentó en apartados anteriores, el agua es uno de los principales agentes extintores, sin embargo, al coincidir las épocas de incendios con las de menor pluviosidad y mayores temperaturas, el agua se convierte en un bien escaso en los montes. Es por esto, que el agua deberá ser transportada desde el lugar donde se encuentra hasta el frente.

Con el objetivo de transportar el agua lo más cerca del incendio, poder lanzarla sobre este e incluso combinarla con otros agentes que potencien su efecto, se recurre al uso de vehículos autobombas. Estos cuentan con grandes depósitos para el agua, una bomba capaz de impulsarla, varias mangueras que permitan la conducción de ésta y unas lanzas para regular el caudal y poder dirigir el chorro hacia la base de las llamas.

Debido a la que los incendios tienen lugar en terrenos agrestes, alejados de carreteras y caminos, estos vehículos deberán tener capacidad todo-terreno, aunque a pesar de esta, debido a

sus dimensiones y peso su capacidad de movimiento estará limitada a zonas cuya orografía no sea demasiado compleja.

Los vehículos autobombas se clasifican según su capacidad en: ligeros (500 L – 1500 L), medios (2000 L – 5000 L) y pesados (capacidad superior a 5000 L).

#### 3.4.4. Maquinaria

La maquinaria forestal se utiliza normalmente para crear franjas de discontinuidad de combustible, eliminando así la vegetación existente. Las principales máquinas utilizadas en la extinción de incendios son: el tractor oruga, los skiders<sup>4</sup> y los tractores de ruedas.

Toda esta maquinaria presenta una serie de ventajas, tales como: poder realizar ataques directos en frentes de gran intensidad, muy buenos rendimientos en la creación de líneas de defensa, capacidad todoterreno, y la posibilidad de uso en ambiente nocturno.

A pesar de sus ventajas, este tipo de maquinaria presenta una serie de condicionantes para su uso como: desplazamientos complicados y lentos, necesidad de buen estado de las pistas (debido a su elevado peso y dimensiones), reducidos rendimientos en terrenos con pendiente, limitaciones de movimiento en terrenos rocosos y la imposibilidad de acceder a zonas interiores del incendio.

#### 3.4.5. Medios aéreos

Los medios aéreos constituyen uno de los pilares básicos de la extinción de incendios. Estos medios permiten combatir los fuegos intensos y controlar los posibles focos secundarios que se hayan podido producir.

La eficacia superior de los medios aéreos con respecto a los mencionados anteriormente se debe a las siguientes razones:[2]

- Versatilidad: pueden realizar diferentes misiones y trabajos.
- Rapidez: llegan rápidamente al incendio.
- Agilidad: poseen la capacidad de cambiar rápidamente su posición y adaptarse a las nuevas necesidades.
- Accesibilidad: pueden actuar en casi todas las partes del incendio.
- Buena visibilidad: observan desde una posición dominante la evolución del incendio, lo que les permite tener gran información de la situación del mismo.

Aún con todas las ventajas que presentan estos medios, a veces no es posible recurrir a los mismos debido a sus limitaciones. Por este motivo, será imprescindible la actuación de los medios

---

<sup>4</sup> Skider: Máquina empleada para el arrastre y saca de madera. Tienen una pala delantera y un escudo trasero en el que se apoya la madera.[8]

aéreos en combinación con los medios terrestres. Las principales limitaciones de los medios aéreos son:[12]

- No pueden operar durante la noche.
- Son sensibles a fuertes vientos y condiciones climatológicas adversas.
- Con longitudes de llama superiores a 3,5 m pierden su capacidad de extinción.
- El humo intenso limita su campo de visión.
- Necesitan infraestructuras terrestres.
- Emplean mayor tiempo en acciones de reabastecimiento que en la extinción.

Los medios aéreos se clasifican según su tipo de ala, de esta forma se puede diferenciar entre medios de ala fija y de ala rotatoria. Los más utilizados en la lucha contra los incendios forestales son (ver Anexo IV):

- Ala fija:
  - CANADAIR CL-215-T: Avión anfibia perteneciente al 43 grupo de Fuerzas Aéreas del Ejército del Aire y bajo mando operativo de la UME, capaz de cargar en embalses y con una capacidad de 5.500 L de agua o agua con espuma.
  - AIR TRACTOR 802: Avión de carga en tierra, capaz de lanzar 3.000 L de agua.
- Ala rotatoria:
  - EC-135: Helicóptero bimotor utilizado por la UME en sus labores de rescate y extinción de incendios, tiene un depósito con capacidad de 1.000 L.

### 3.5. Problemas existentes en la extinción de incendios

Las herramientas y medios mencionados anteriormente, permiten poder realizar las operaciones de ataque directo e indirecto, sin embargo, no siempre será posible recurrir a algunos de ellos debido a sus condicionantes y limitaciones.

Las operaciones que necesitan la actuación de personal a pie pueden verse comprometidas por terrenos con topografía abrupta. Además, en terrenos con pendiente, la emisión de pavesas puede originar focos secundarios que puedan encerrar a los combatientes.

Otros medios terrestres como las autobombas o la maquinaria pesada dependen de los accesos a la zona del incendio, debido a sus grandes pesos y dimensiones, lo cual limita en muchos casos su acción a zonas próximas a las vías de comunicación.

Por otro lado, los medios aéreos, que son vitales para una extinción rápida y eficiente, necesitan realizar vuelos de muy baja altura, en condiciones de luz diurna y que sea posible ver tanto el incendio como la orografía del terreno. También se debe tener en cuenta que estos medios realizan un ataque desde el cielo, con una eficacia limitada, ya que no ataca a la base de la llama. Las propias condiciones del incendio pueden obligar a los pilotos a realizar las descargas a

grandes alturas, disminuyendo la efectividad de las mismas conforme aumenta la altura; llegando al punto que “descargas realizadas a 50 metros o más de altura pueden calificarse como refrescantes, nunca como extintoras”. [9]

Además de esto, otro factor que se debe tener en cuenta es el tiempo que tarda un avión entre descargas. Según comenta D. José Luis Liz Graña en su artículo *Diseño de un sistema balístico para el control y extinción de incendios forestales*:

“Dependiendo del entorno geográfico y de las infraestructuras, se puede establecer que el tiempo medio que la aeronave o helicóptero tarda en volver a estar en disposición de realizar una nueva descarga, no es inferior a 15-8 minutos respectivamente.” [12]

Estos “tiempos muertos” en los que las aeronaves realizan viajes en vacío de repostaje son otro de los factores que disminuye la efectividad en la extinción, ya que no se consigue tener un flujo continuo de descargas. Esto produce una extinción más prolongada en el tiempo, con las consiguientes pérdidas en materia forestal y económica.

En la figura 5 (mostrada a continuación) se observa cómo la eficacia, la cual está representada como cantidad de litros que se descargan por hora, disminuye notablemente a medida que aumenta la distancia al punto de carga. Esto se traduce sobre el terreno en unos mayores tiempos entre descargas permiten que el fuego recobre su intensidad en zonas donde ya se había reducido.

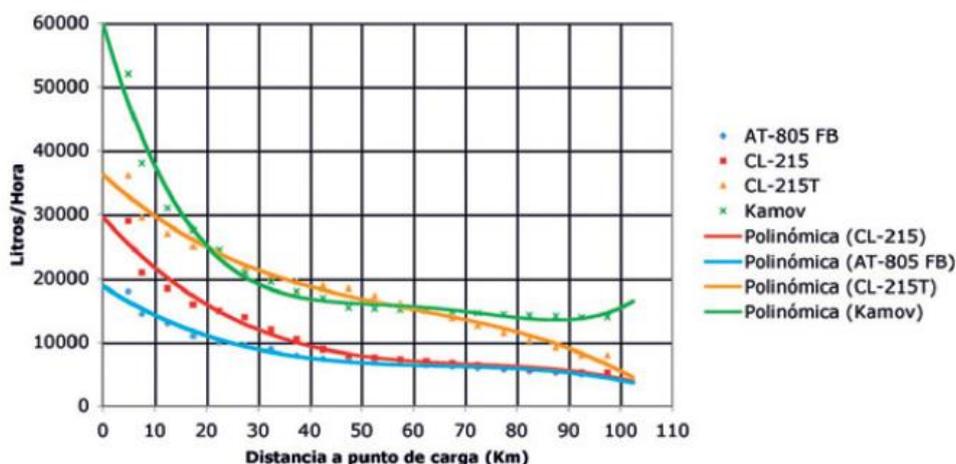


Figura 5. Comparativa entre aeronaves sobre su eficacia en función de la distancia al punto de carga. Fuente:[13]

Otro aspecto relacionado con lo anterior es la propia carga del avión. Como se mencionó en apartados anteriores, las mezclas de retardante químico tienen mayor eficacia que el agua en su estado natural. Solo los aviones de carga en tierra tendrán la posibilidad de cargar estas mezclas retardantes, mientras que los medios aéreos que realicen sus cargas en depósitos naturales no podrán.

En definitiva, como se ha comprobado anteriormente, los medios actuales de extinción presentan una serie de deficiencias bastante significativas: dependencia de la luz diurna y buena visibilidad, dificultad de actuación sobre zonas con orografía complicada, dependencia de las condiciones climatológicas y discontinuidad en la actuación.

## Capítulo IV: proyectil especial de extinción

El estudio que se realizará en este trabajo se limitará a proyectiles de artillería, excluyendo las municiones extintoras que puedan ser lanzadas desde medios aéreos debido a las limitaciones ya mencionadas de estos. Hasta el momento se han publicado patentes sobre este tipo de proyectiles, pero aún no se han creado prototipos.

En rasgos generales un proyectil extintor de incendios presenta las mismas características que un proyectil convencional de artillería. Esto quiere decir que podrá presentar varios diseños, en función de cómo se quiera diseminar su carga o diferentes calibres en función de la pieza con la que se vaya a realizar el tiro. Sin embargo, el rasgo que diferencia a un proyectil extintor con respecto al resto será su carga extintora.

El objetivo de este capítulo será el de realizar un estudio de las ventajas que ofrece el uso de un proyectil de artillería con carácter extintor. Además, se llevará a cabo un estudio de los agentes químicos utilizados en la extinción de incendios, indicando cual puede ser más ventajoso para usar en un sistema basado en proyectiles. Finalmente, se estudiarán diversos diseños que puede presentar un proyectil extintor, analizando las ventajas e inconvenientes que ofrecen.

### 4.1. Ventajas del uso de un sistema balístico de extinción

El uso de proyectiles de artillería de carácter extintor puede ser una herramienta bastante útil en las operaciones de extinción de incendios. En función de la composición del mismo se podrán conseguir distintos efectos, sin embargo, en este trabajo se abordarán las características que debería poseer para ser lo más completo posible.[14]

Uno de los objetivos que se pretende lograr con el uso de este tipo de munición consiste en disminuir el riesgo al que se expone el personal que realice labores de extinción a pie, actuando en situaciones que podrían entablar peligro para dicho personal. Con respecto al resto de ventajas, estos proyectiles se pueden considerar de doble acción, ya que en función de la carga extintora que transporte, tendrán la capacidad de utilizarse tanto para acciones de ataque directo como para la creación de líneas de defensa. Debido las características intrínsecas de la artillería, su uso en el ámbito de la extinción de incendios permitiría el transporte de cargas extintoras desde grandes distancias, consiguiendo atacar al incendio en puntos donde el personal terrestre tenga dificultades de acceso. Además, al situar el agente extintor sobre la base de las llamas la extinción resulta más eficaz. También supone una clara mejora la posibilidad de actuación tanto en el marco diurno como en el nocturno e independientemente de las condiciones climatológicas. A todo ello se une

el uso de los sistemas de teledetección forestales que combinados con las aplicaciones de software de tiro de artillería permitiría gran precisión.

Otra de las características que presenta el uso de proyectiles especiales de extinción es la solución al problema logístico de los medios aéreo, la cual se puede ver en el siguiente diagrama.



Figura 6. Comparación del flujo logístico entre medios aéreos y sistema de extinción balística. Fuente: Elaboración propia.

En el XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, D. José Luis Liz Graña en su artículo “Diseño de un sistema balístico para el control y extinción de incendios forestales” realiza una comparación del flujo logístico entre los medios aéreos y un posible sistema de extinción balística. La figura 6, basada en el diagrama incluido en dicho artículo, muestra cómo un sistema de extinción balístico permite combatir el fuego de forma continua. Ya que una vez las piezas<sup>5</sup> se sitúan en el asentamiento y entran en posición<sup>6</sup>, podrán batir<sup>7</sup> la zona incendiada sin cesar el ataque durante largos periodos de tiempo. Esto se debe a que el abastecimiento de munición podrá realizarse desde puntos de apoyo logístico hasta el asentamiento a través de vehículos auxiliares ajenos a las propias piezas de artillería. De esta forma se puede comprobar cómo el sistema balístico proporciona una clara ventaja con respecto a los medios aéreos, los cuales deberán realizar viajes de ida y vuelta a los puntos de carga, reduciendo su eficacia como se demostró en el apartado anterior. Además, también deberán realizar viajes de repostaje de combustible, aumentando así los lapsos de tiempo entre descargas.

<sup>5</sup> Pieza de artillería: Toda boca de fuego que conste de un tubo metálico de ánima rallada de determinado calibre y longitud, y un armazón donde se apoya, denominado cureña o afuste.

<sup>6</sup> Entrada en posición: Maniobra de artillería a través de la cual una o varias piezas son emplazadas en un asentamiento y dispuestas para realizar acciones de fuego.

<sup>7</sup> Batir: Atacar con la artillería una zona.

## 4.2. Agentes químicos retardantes

El agua es el elemento natural contrario al fuego, ya que actúa sobre los tres componentes del triángulo del fuego. Sin embargo, existen una serie de sustancias químicas que, mezcladas con agua, permiten mejorar este triple efecto extintor. Estas sustancias químicas reciben el nombre de retardantes, y su efecto principal es atenuar la intensidad del frente de llamas. Cuando este frente llega al material combustible tratado con retardante, la altura de las llamas disminuye significativamente; si el combustible está mojado con la dosis conveniente podrá incluso llegar a extinguirse la llama completamente.[9]

En función del tiempo que pueden permanecer las sustancias retardantes en el terreno, se pueden diferenciar dos tipos. Por un lado, se encuentran los agentes retardantes a largo plazo, los cuales presentan una mayor persistencia. Por otro, se encuentran los retardantes a corto plazo, los cuales se consumen de una manera más rápida.

### 4.2.1. Retardantes a largo plazo

Estos retardantes se denominan de largo plazo debido a que mantienen sus efectos una vez se ha evaporado el agua. Normalmente se constituyen por sales amónicas de sulfatos, fosfatos o polifosfatos.

En la figura 7 se muestran los rangos de temperaturas de los incendios forestales para los combustibles vegetales que existen a diversas alturas.

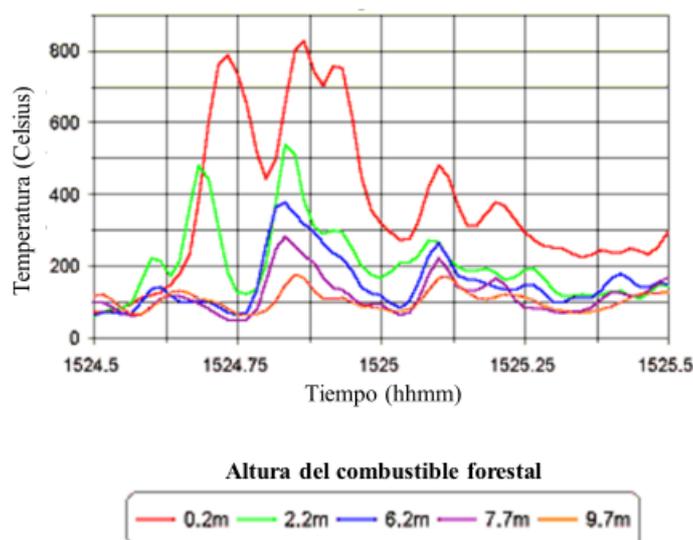


Figura 7. Comportamiento de los combustibles incendiados. Fuente:[15]

De esta gráfica se puede extraer que las temperaturas de combustión del combustible forestal varían según las especies, de 100 a 800 °C aproximadamente. Esto hace conveniente el uso de retardantes que no se consuman rápidamente y soporten altas temperaturas.

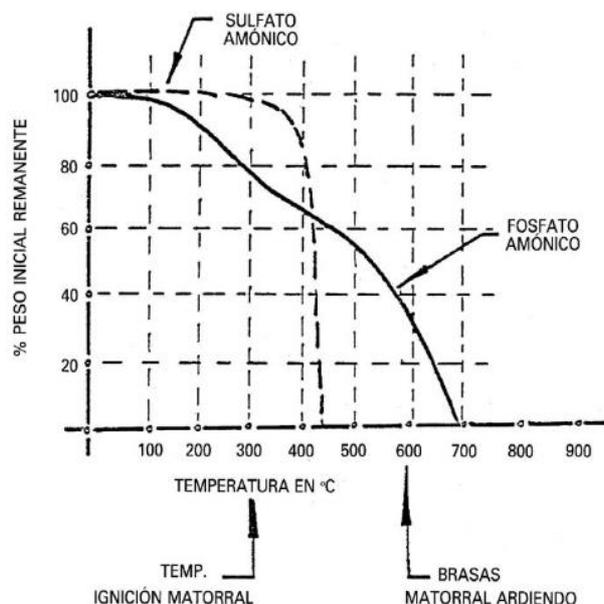


Figura 8. Comportamiento de los retardantes a largo plazo. Fuente: [9]

En la figura 8 se puede comprobar de forma clara como el sulfato amónico se consume rápidamente a partir de 300°C, sin embargo, el fosfato amónico continúa su actuación hasta los 700°C. Esto resulta muy significativo, pues en los incendios forestales el principal combustible es el matorral<sup>8</sup>, el cual presenta límites de combustibilidad soportados perfectamente por el fosfato amónico. Como se mencionó anteriormente, el uso de estos retardantes se lleva a cabo mezclando el concentrado con agua; en el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), el cual se encarga de realizar análisis de los retardantes y su eficacia, estipula que en el “caso de los polifosfatos la relación de la mezcla necesaria no será superior al 20% (4 partes de agua y 1 de concentrado)”. [9]

En cuanto a su efectividad según las pruebas realizadas en el INIA, la efectividad de los retardantes amónicos puede ser  $e \geq 3$ . Esta efectividad se calcula como comparación entre las descargas de agua y de retardante necesarias para apagar un determinado fuego y se representa en la siguiente fórmula:

$$e = \frac{\text{Número de descargas con agua}}{\text{Número de descargas con retardante}}$$

Este nivel de efectividad se traduce en que “con retardantes ahorramos hasta un tercio del transporte con agua sola, lo que repercute ventajosamente en la economía de la extinción”. [9]

#### 4.2.2 Retardantes a corto plazo

Se consideran retardantes a corto plazo aquellos cuyos efectos duran hasta que el agua se evapora. Existen varios tipos, pero en el ámbito forestal se utilizarán principalmente las espumas

<sup>8</sup> Matorral: Vegetación leñosa de porte arbustivo.

de tipo detergente; según distintos fabricantes la permanencia de la espuma sobre el combustible forestal dura de media a una hora. Estas espumas forman un agregado estable de burbujas, que al fluir sobre la vegetación forma una capa que aísla del aire e impide la salida a la atmósfera de gases volátiles combustibles.

Una ventaja que presentan este tipo de sustancias químicas es su reducido precio en comparación a los retardantes a largo plazo. Mientras que el litro de mezcla de retardante amónico tiene un precio de 0,28 €/L, los espumantes a corto plazo se pueden encontrar en el mercado por un precio de 0,012 €/L el litro de mezcla.

En cuanto a su efectividad, el efecto extintor que produce la espuma es doble, por un lado, se encuentra el efecto aislante y mencionado anteriormente, por otro lado, aumenta la humedad de la vegetación. Este efecto se consigue gracias a la capacidad tensoactiva<sup>9</sup> de la espuma, la cual penetra mejor por los poros de los tallos y hojas. Un aumento de la humedad se considera un claro punto a favor, pues como se comentó en el segundo capítulo, se necesitará mayor aporte de energía en forma de calor cuanto mayor sea la humedad. En cuanto a las pruebas de efectividad realizadas en el INIA, se estima que  $2 < e < 3$  (aplicándose la misma fórmula de efectividad que en el punto 4.2.1.)

#### 4.2.3. Retardante idóneo para proyectil de extinción

Tanto las espumas como los retardantes a largo plazo presentan buenos resultados en la extinción, sin embargo, los retardantes a largo plazo debido a sus características propias ofrecen una gran ventaja. Con el uso de un retardante a largo plazo, se puede considerar que el proyectil posea un carácter polivalente, ya que sería posible tanto su uso para acciones de ataque directo como para la creación de líneas de defensa.

Según se pudo comprobar anteriormente, los fosfatos amónicos permiten actuar a altas temperaturas, situándose así como los más recomendables en el ámbito de los incendios forestales. Dentro de este grupo, el fosfato de diamonio (DAP) presenta una serie de características que resultan ideales para ser dispersado a través de un proyectil: no presenta problemas de corrosión en los envases que lo contienen, no es tóxico para las personas, puede perdurar en el terreno meses después de haberse evaporado el agua y, según el experto consultado (ver Anexo IX), incrementa la capacidad de extinción del agua en un 60%. Además, el DAP es utilizado como fertilizante por lo que además supone un abonado del terreno debido a su alto contenido en nutrientes.

El mecanismo de acción del agente extintor es bastante sencillo. En un primer momento, éste se encontrará mezclado con agua, por lo que su primer efecto será el de enfriar con el agua la zona en llamas. Una vez se haya evaporado el agua, comenzará a trabajar propiamente el agente

---

<sup>9</sup> Tensoactivo: Sustancia que influye por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases.



existentes para este tipo de proyectiles, indicando las ventajas y desventajas que ofrecen cada uno de ellos.

Según la información recopilada sobre tipos de dispersión que podría tener el agente extintor se pueden diferenciar principalmente dos. Por un lado, se encuentra el diseño de proyectil convencional de artillería. Por otro, se destaca un diseño basado en la dispersión de submuniciones.

#### 4.3.1. Proyectil convencional de artillería

Este diseño está basado en el que presentan los proyectiles actuales utilizados en artillería de campaña (ACA). Se caracteriza por un cuerpo cilíndrico el cual presenta una forma ojival<sup>10</sup> en su parte delantera, además consta de unas bandas de forzamiento en la zona inferior del mismo que permiten que éste encaje en el tronco cono de unión<sup>11</sup>. Este tipo de diseño se utiliza en multitud de proyectiles como pueden ser: de alto explosivo (HE), incendiarios, fumígenos..., cuya principal diferencia es el contenido del proyectil (en función de los cometidos del mismo). En el caso del proyectil extintor, su contenido sería el agente retardante tal y como se trató en el apartado anterior.[17][18]

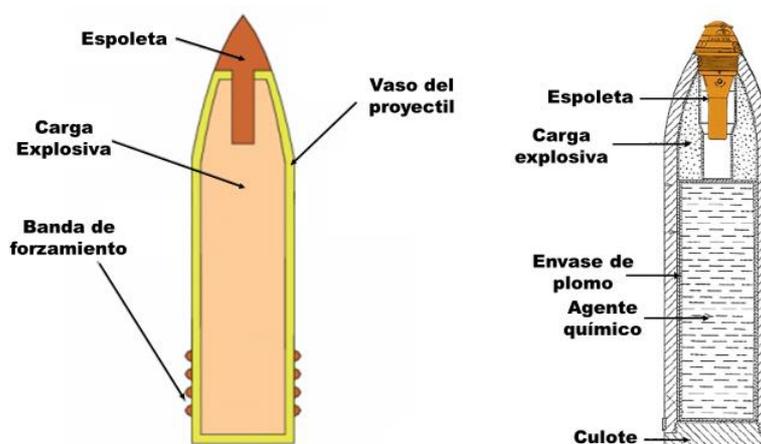


Figura 10. Proyectil de artillería HE y proyectil químico de 1912. Fuente: Elaboración propia.

La figura 10 muestra dos ejemplos de proyectiles de artillería que presentan el mismo diseño exterior, pero que como se mencionaba anteriormente, se diferencian su interior. El proyectil de la izquierda se denomina HE, y su principal cometido es el de crear el mayor daño posible mediante la fragmentación del vaso. Por otro lado, el proyectil que se presenta a la derecha se trata de un “arma química” de mediados del siglo XX.

<sup>10</sup> Ojiva: Figura geométrica formada por dos arcos de circunferencia iguales que se cortan en un extremo y presentan concavidad enfrentada.

<sup>11</sup> Tronco cono de unión: Zona interna del tubo de un cañón que une el ánima (zona rallada) con la recámara.

El uso óptimo de este tipo de proyectiles estaría ligado al uso de una espoleta mecánica a tiempos<sup>12</sup>, de tal manera que se pudiese regular el tiempo en función de la altura a la que se desee extinguir el fuego. Una vez regulada la espoleta, y encontrándose el proyectil en vuelo, este se activaría por la misma expulsando el agente extintor según la configuración del proyectil.

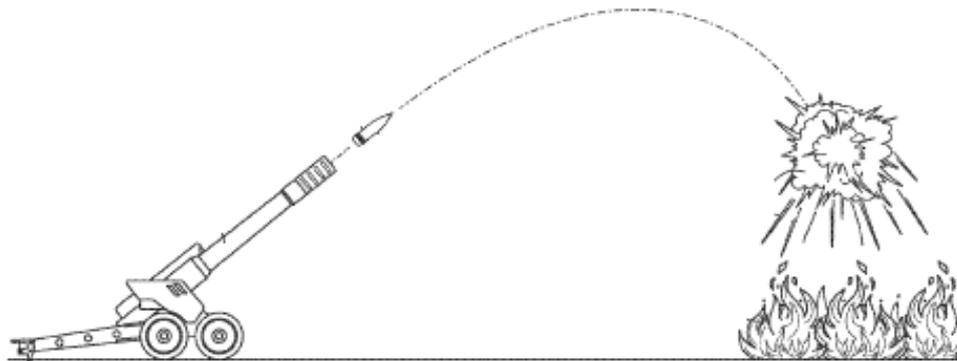


Figura 11. Acción del proyectil extintor sobre un incendio. Fuente:[17]

El proceso descrito anteriormente se puede ver reflejado en la figura 11, donde se puede apreciar como el proyectil dispersaría el agente extintor sobre las llamas, consiguiendo así la extinción de las mismas. Como se mencionó en el capítulo anterior también se podría utilizar el proyectil para crear líneas de defensa (debido a su polivalencia), en cuyo caso se dispararía sobre zonas que aún no hayan sido alcanzadas por el fuego.

En cuanto al modo de dispersión del agente, se destacan varias de las opciones que permiten este tipo de proyectiles:

En primer lugar, se encuentra la propuesta realizada por *The Boeing Company* en su patente titulada *Fire-retarding artillery Shell*, donde se proponen dos diseños de proyectil de extinción (ver Anexo V).

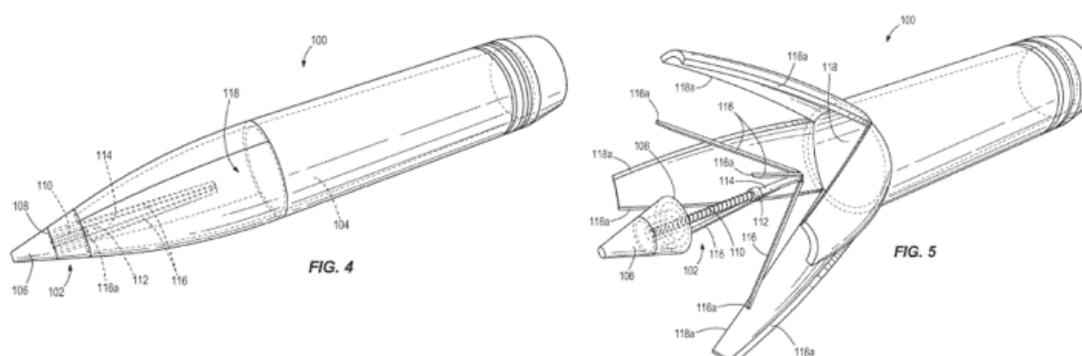


Figura 12. Proyectil extintor de incendios (*The Boeing Company*) antes y después de su activación. Fuente:[17]

<sup>12</sup> Espoleta mecánica a tiempos: Dispositivo graduable en tiempo, que se integra en un proyectil de artillería y que inicia la detonación de su carga al cumplirse el tiempo seleccionado.

El primero de estos proyectiles patentados por *The Boeing Company* seguiría el funcionamiento que se ha descrito de dispersión mediante detonación (figura 11). Por otro lado, el segundo (figura 12) utilizaría un tipo de espoleta especial (indicada en dicha patente), que se graduaría por tiempo y que una vez activada, se expandiría abriendo la cabeza del proyectil y permitiendo así la expulsión del agente extintor.

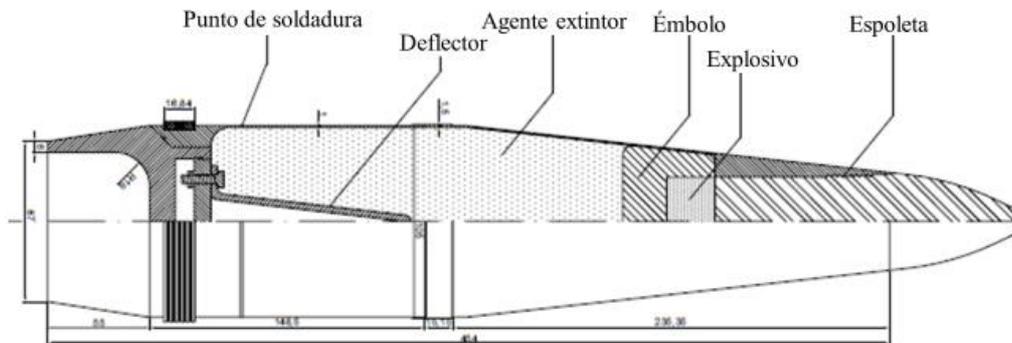


Figura 13. Proyectil extintor de incendios de culote desprendible. Fuente:[18]

Otro diseño que podría utilizarse sería el que se presenta en la figura 13 (ver Anexo VI para apreciar más detalle). La característica diferenciadora de este diseño radica en la dispersión del agente retardante. Al igual que los diseños anteriores, este proyectil utilizaría una espoleta mecánica a tiempos; una vez se activase dicha espoleta, ésta detonaría una pequeña cantidad de explosivo la cual ejercería suficiente potencia como para empujar el émbolo en dirección al culote. Esta acción comprimiría el agente extintor en la zona del culote, desprendiéndose por efecto de la presión. El deflector alojado en el interior del proyectil favorecería una dispersión circular y homogénea del agente extintor.

#### 4.3.2. Proyectil de dispersión de submuniciones

Un diseño alternativo que presenta buenas características en el campo de la extinción de incendios es el basado en la dispersión de submuniciones. Este tipo de dispersión se podría realizar al igual que una ojiva de fragmentación o “bomba de racimo”.

##### Ojiva de fragmentación M483

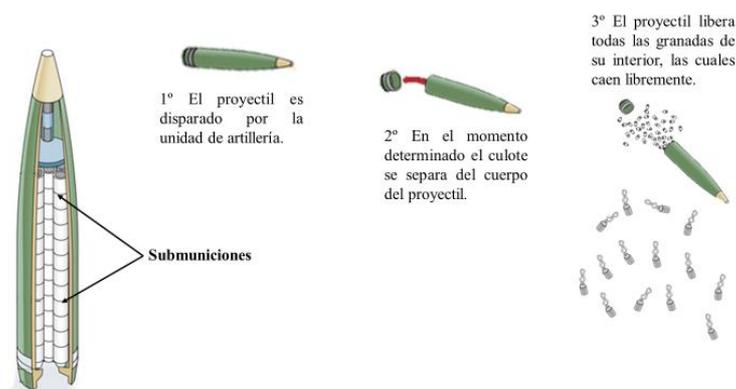


Figura 14. Proceso de expulsión de submuniciones de una ojiva M483. Fuente: Elaboración propia.

La figura 14, muestra tanto la estructura como el modo de actuación de un proyectil de fragmentación en situación bélica. Una munición de este tipo destinada a la extinción de incendios se basaría en el mismo principio de funcionamiento, con la particularidad de que se sustituirían las granadas explosivas por submuniciones que contengan agente extintor. La principal ventaja que aporta el uso de un proyectil de estas características con respecto a los mencionados en el apartado anterior es un área de extinción mayor. Sin embargo, presenta menor precisión, ya que no se puede tener totalmente controlado donde caen las submuniciones.

Las submuniciones extintoras que contenga el proyectil pueden ser de diversos tipos. Por ejemplo, sería posible el uso de pequeños extintores de explosión como los explicados en el apartado 3.4.2. De esta forma, una vez el proyectil se encontrase en vuelo, dispersaría los distintos extintores que se alojasen en su interior, los cuales una vez entrasen en contacto con el fuego se activarían extinguiendo el mismo. A pesar de su mayor área de extinción, el uso de este tipo de extintores como submuniciones conlleva la misma problemática que las propias granadas de una ojiva de fragmentación. No se puede controlar el lugar donde caen las municiones, por lo tanto, pueden caer cerca de personal a pie, o incluso pueden no explotar, manteniéndose entre la vegetación y pudiendo ser un peligro para cualquier persona que se encuentre a su alrededor.

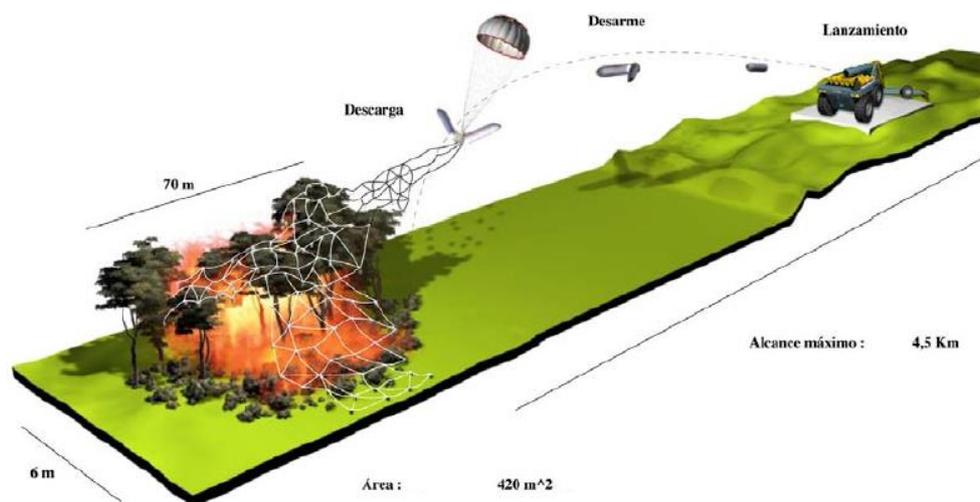


Figura 15. Secuencia de disparo del Sistema balístico para el control y extinción de incendios forestales en zonas inaccesibles. Fuente:[14]

Con el objetivo de crear una munición de estas características y que además no supusiese un peligro para las personas, D. Jose Luis Liz Graña desarrolló su patente titulada *Sistema balístico para el control y extinción de incendios forestales en zonas inaccesibles* [19]. En dicha patente se propone un proyectil de dispersión de submuniciones, basado en un sistema de cápsulas unidas mediante una malla. Una vez el proyectil se encuentre en vuelo, este expulsaría las municiones, las cuales, al estar formadas de un polímero termoestable, expulsarían la sustancia retardante al entrar la capsula en contacto con el calor del incendio (Ver Anexo VII). Este proyectil tiene la característica de tener todas sus cápsulas unidas mediante un mallado, esto permite un mayor control de las mismas y poder cubrir una superficie de  $540 m^2$ . También presenta un bajo nivel de contaminación ya que todos sus elementos son degradables por el fuego

a excepción de una pequeña anilla metálica por cápsula, y el cuerpo del proyectil, los cuales podrían ser recuperados en su mayoría. Por el contrario, la gran desventaja que presenta este sistema es la incompatibilidad de calibre con respecto a los sistemas de armas de Ejército de Tierra siendo necesario un cañón propio (también se incluye en la patente) para este tipo de proyectil.

#### 4.3.3. Diseño idóneo para el proyectil de extinción

Los dos diseños analizados presentan numerosas ventajas que permitirían su uso en el campo de la extinción de incendios. Por un lado, los proyectiles convencionales presentan una mayor capacidad de concentrar el agente químico, permiten actuar directamente sobre la base de las llamas y tienen un diseño sencillo, lo cual podría suponer un menor coste de fabricación. Por otro, los proyectiles de dispersión permiten combatir una zona de acción mayor, aunque no cubren la zona a la perfección (pueden quedar zonas entre cápsulas sin apagar) y presentan una mayor complejidad en su diseño (mayor coste).

Lo más importante a tener en cuenta de este apartado es la cantidad de agente extintor que se puede proyectar así como los materiales con los que se fabrica el proyectil. Por esto, la munición óptima debería:

- Albergar el mayor volumen posible de agente extintor.
- Suponer escasa contaminación y daño medioambiental mínimo.

El calibre de la munición también es importante, pues mayor calibre significa mayor cantidad de agente extintor transportado en cada disparo. Sin embargo, no es el factor esencial ya que esta munición podría ser diseñada para diversos calibres como sucede con otros tipos de proyectiles.

En su patente, *The Boeing Company*, propone el uso de materiales que sean biodegradables en menos de 10 años y que soporten altas temperaturas y presiones como acero con alto contenido de carbono o cerámicas con resistencia a esfuerzos del orden de 200 MP. Además, en función del calibre de la munición, sería recomendable emplear espesores de vaso entre 1 mm y 50 mm con el objetivo de albergar el mayor volumen posible de agente extintor.

#### 4.4. Análisis cualitativo del sistema balístico de extinción

Finalmente, se analizarán, de forma cualitativa, las ventajas que aporta el uso de este tipo de proyectiles, así como sus posibles inconvenientes.

El dato principal para conocer los efectos de un proyectil extintor sería el área de extinción que permite. Sin embargo, no existen estudios acerca de estos efectos y conseguirlos supondría realizar análisis de dispersión, estudios muy por encima del alcance de este trabajo.

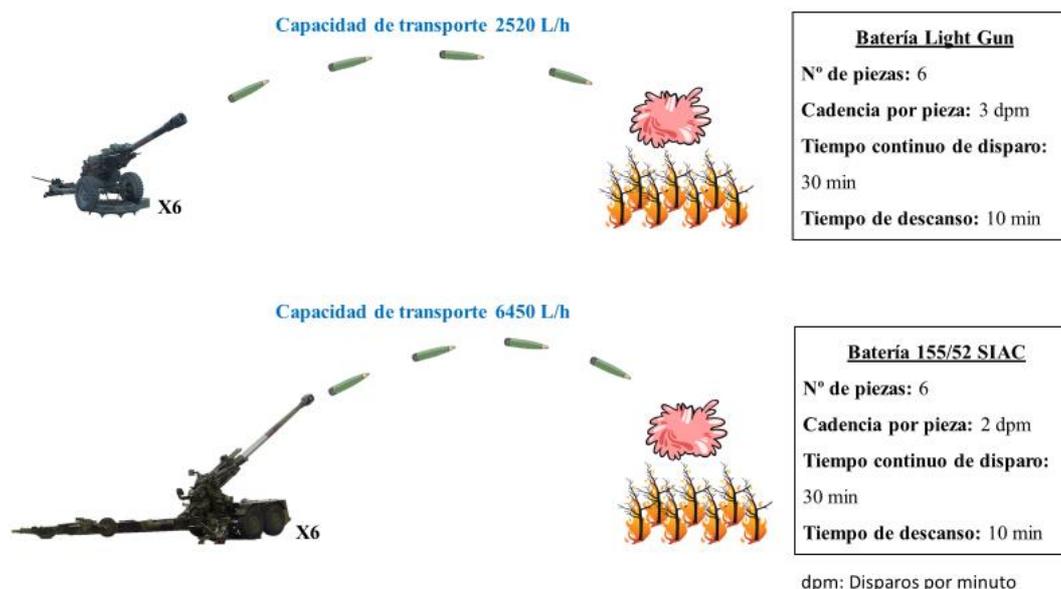


Figura 16. Capacidad de transporte de agente extintor de batería Light Gun y batería 155/52 SIAC. Fuente: Elaboración propia

Como alternativa ha decidido estudiar la acción del sistema balístico en función de la cantidad de agente químico (en litros) que es capaz de transportar en 1h.

En la figura 16, se muestra la capacidad de transporte de agente extintor para dos sistemas de armas de artillería de campaña. Para ello se consultó a un experto en este tipo de sistemas acerca de los tiempos máximos de disparo continuo y los descansos necesarios para poder disparar de nuevo. Dichos datos (figura 16) deben ser combinados con el volumen de agente extintor que puede portar cada proyectil. Para conseguir este volumen, debido a la inexistencia de diseños donde se indique el mismo, se consultó al departamento de ACA de *Expal*<sup>13</sup> el volumen de explosivo de los proyectiles 105 HE M1 y 155 HE M107 (ver Anexo VIII) para poder realizar estimaciones<sup>14</sup>.

Los datos aportados por el personal de *Expal* fueron:

- Proyectil 105 HE M1 (usado por el obús Light Gun): 1,2 L
- Proyectil 155 HE M107 (usado por el obús 155/52 SIAC): 4,1 L

Combinando estos datos con las cadencias de tiro y teniendo en cuenta los tiempos de descanso se consiguen las capacidades de transporte de agente extintor mostradas en la figura 16. Si se contrastan estos datos con los de la figura 5, se puede comprobar que el principal problema de los sistemas balísticos es la poca capacidad de transporte de agente extintor en comparación a otros medios. Además de esto, según la información aportada por el experto D. Jose Luis Liz

<sup>13</sup> Expal: Empresa que desarrolla, fabrica, integra y mantiene productos, sistemas y servicios para los sectores de defensa y seguridad.

<sup>14</sup> Como se indica en el texto, los datos aportados no son los reales que debería tener un proyectil extintor, sino unas estimaciones basadas en proyectiles de tipo HE y que solo ayudan a comparar un sistema balístico con otros medios como por ejemplo los aéreos.

Graña (ver Anexo IX), el uso de cargas explosivas en el interior de los proyectiles (para favorecer la dispersión del retardante) puede ser peligroso para el personal de extinción a pie.

Por otro lado, el experto consultado apunta a que la gran continuidad de fuego que permite el uso de artillería sigue siendo la gran ventaja del uso de estos sistemas. También señala que si se consiguiesen solucionar adecuadamente los problemas de poca carga de agente extintor, y uso de explosivos en la dispersión, se estaría ante un sistema más económico que el uso de medios aéreos.

## Conclusiones

Como se ha podido comprobar en este trabajo, los incendios forestales son un problema complejo de afrontar. A pesar de que el número de estos se ha visto reducido en los últimos años, los datos de 2017 muestran una crecida bastante significativa que hace retroceder a valores de finales de 2012. Con los incendios que se han producido durante 2017, y especialmente los ocurridos en Galicia durante el mes de octubre, se ha podido comprobar el peligro que supone este fenómeno que no solo afecta a la flora y fauna forestal, sino que pone en riesgo las vidas de miles de personas que habitan en zonas cercanas.

Al igual que el enemigo en el campo de batalla, el fuego se comporta de forma cambiante, aprovechando las ventajas que le aporta el terreno y avanzando sin cesar. De esta forma y al igual que en un combate convencional, debe ser la infantería, caracterizada en este caso por el personal de extinción a pie, quien realice el grueso de la labor de extinción, estando asistida por los apoyos necesarios en cada situación. A pesar de esto, los medios actuales tanto terrestres como aéreos presentan una serie de deficiencias bastante significativas. De todas ellas, se pueden destacar tres: la dificultad de trabajo en condiciones climatológicas adversas, imposibilidad de los medios aéreos para trabajar durante la noche y la poca continuidad de ataque al fuego, en especial de los medios aéreos.

Las ventajas que aporta el uso de un sistema balístico son numerosas y solventan los problemas anteriores. De entre todas sus características, la más destacable es la capacidad de acción nocturna, ya que actualmente son los medios terrestres los que trabajan durante la noche para intentar contener el fuego. Además, el uso de un agente químico como el DAP no solo aporta una eficacia superior en un 60% al agua, sino que también brinda una gran flexibilidad, ya que con el mismo proyectil se puede pasar de realizar acciones directas a indirectas de forma casi instantánea.

En cuanto al diseño del proyectil, cabe destacar que un diseño convencional sería la mejor opción para este tipo de proyectiles, ya que permiten una mayor concentración del agente químico y además permite actuar directamente sobre la base de las llamas, siendo éste el objetivo principal de la labor de extinción.

## Líneas futuras

A pesar de estas ventajas, este tipo de municiones necesitan aún mucho estudio para poder comprobar su viabilidad. En primer lugar, deben realizarse estudios en cuanto a su diseño, que permitan aprovechar el máximo volumen del proyectil, buscando además formas de dispersión que se alejen del uso de explosivos, aportando así mayor seguridad al personal de extinción a pie en el caso de proyectiles que no llegasen a activarse y que de contener explosivos podrían causar accidentes.

También debería tenerse en cuenta el uso de materiales alternativos a los que se utilizan actualmente en artillería, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental. Siendo necesaria la sustitución de las aleaciones metálicas que se utilizan en la actualidad por otros materiales que produzcan menor impacto ambiental como cerámicas o algunos tipos de polímeros.

Adicionalmente, sería necesario la fabricación de prototipos y sus correspondientes análisis experimentales para obtener datos empíricos de la dispersión del agente retardante, a fin de conocer el área máxima de extinción de cada proyectil, y por tanto el número de proyectiles y tiempo necesario para sofocar el incendio de una determinada zona.

## Bibliografía

- [1] «Incendios forestales No podemos bajar la guardia», *Greenpeace España*, Madrid, ago-2011.
- [2] R. Navarrete, T. Oberhuber, y J. Reina, *Incendios Forestales. Manual práctico*, Primera Ed. Madrid: Fundación Biodiversidad, 2009.
- [3] J. E. Cubo María *et al.*, «Los incendios Forestales en España, Decenio 2001-2010», Madrid, 2012.
- [4] «Incendios en Galicia | Más de 35.000 hectáreas han ardido en Galicia en la ola de incendios», *RTVE.es*, 18-oct-2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.rtve.es/noticias/20171018/mas-35000-hectareas-han-ardido-galicia-ola-incendios/1628982.shtml>. [Accedido: 25-oct-2017].
- [5] D. M. Molina Terrén, J. Blanco Fernández, M. Galán Santano, E. Pous Andrés, J. B. García Egido, y D. García Marco, *Incendios Forestales: Fundamentos, Lecciones aprendidas y Retos de Futuro*, Primera Ed. Granada: Ediciones AIFEMA, 2009.
- [6] Confederación de empresarios de Jaén, «Naturaleza del Fuego», en *Convocatoria 2014 Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales*, Jaén: Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales, 2014, p. 138.
- [7] A. Liarte Segura, «Dinámica de fluidos computacional aplicada a la simulación de un sistema de extinción de incendios en una sala de ordenadores», Universidad Politécnica de Cataluña, 2008.
- [8] F. Aguirre Briones, *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas*, Segunda Ed. Gobierno de Aragón, 2001.
- [9] R. Vélez Muñoz, *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*, Segunda Ed. Madrid: McGraw-Hill, 2009.
- [10] R. Vélez Muñoz, «Manual de formación para la lucha contra incendios». p. 67, 1993.
- [11] M. Claros Wandosell, César J. Sánchez Juárez, *Bomberos. Temario General*, Primera ed. Sevilla: Ediciones Rodio, 2015.
- [12] J. L. Liz Graña y P. Ferrer Gisbert, «Diseño de un sistema balístico para el control y extinción de incendios forestales», *XI Congr. Int. Ing. Proy.*, p. 11, 2007.
- [13] J. L. Liz Graña y P. Ferrer Gisbert, «Sistema balístico para el control y extinción de incendios forestales en zonas inaccesibles», *Rev. DYNA*, vol. 83, n.º 5, pp. 257-264, 2008.
- [14] J. L. Liz Graña y P. Ferrer Gisbert, *Vehículo terrestre para el control y extinción de incendios forestales en zonas inaccesibles*. Ávila: Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2009.
- [15] M. Hartmann y D. Yap, «Suppression Extinguishment Mechanisms», *Wildfire Suppression Pty Ltd*, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://wildfiresuppression.com.au/index.php/how-it-works/>. [Accedido: 27-sep-2017].

- [16] K. Kuang, X. Huang, y G. Liao, «A comparison between superfine magnesium hydroxide powders and commercial dry powders on fire suppression effectiveness», *ELSEVIER*, vol. 86, n.º 3, pp. 182-188, 2008.
- [17] T. Erickson *et al.*, «Fire-retarding artillery shell», US 2016/0216091 A1, 2016.
- [18] R. Cisneros Camuñas, «Estudio cualitativo de la aplicación de Sustancias Alucinógenas en Projectiles de Artillería», Academia de Artillería, 2017.
- [19] J. L. Liz Graña y P. Ferrer Gisbert, «Sistema balístico para el control y la extinción de incendios forestales», ES2326013A1, 2007.
- [20] B. Ahijado, «Air Tractor 802, El avión que lucha contra el fuego», *Fly News*, vol. 74, 2017.
- [21] «Unidad Militar de Emergencias- Aeronaves», *Ministerio de Defensa*. [En línea]. Disponible en:  
[http://www.ume.mde.es/LA\\_UME\\_POR\\_DENTRO/medios/aereos/index.html](http://www.ume.mde.es/LA_UME_POR_DENTRO/medios/aereos/index.html).  
[Accedido: 29-oct-2017].
- [22] «Estadísticas de Incendios Forestales», *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*, 2017. [En línea]. Disponible en:  
[http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios\\_default.aspx](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios_default.aspx).  
[Accedido: 25-oct-2017].
- [23] «Ejército del aire. CANADAIR CL-215 T (UD.13T)», *Ministerio de Defensa*. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.ejercitodelaire.mde.es/ea/pag?idDoc=6BC5129212C16A38C12570D7004638D8&idRef=6086D41ED3D7C245C125745000327690>. [Accedido: 29-oct-2017].



# ANEXOS

## Anexo I: Datos estadísticos de incendios forestales<sup>15</sup>

Año	Nº Conatos < 1 ha	Nº Incendios ≥ 1 ha	Siniestros
1997	14136	8163	22299
1998	13854	7899	21753
1999	11473	6531	18004
2000	14272	9417	23689
2001	12281	7020	19301
2002	11780	7745	19525
2003	11801	6489	18290
2004	13424	7565	20989
2005	16876	8831	25707
2006	10276	5482	15758
2007	7523	3049	10572
2008	7301	4355	11656
2009	9866	5776	15642
2010	7398	3910	11308
2011	10815	5599	16414
2012	10438	5540	15978
2013	7708	3089	10797
2014	6610	3196	9806
2015	7755	4173	11928
2016	6479	2338	8817

Tabla 2. Número de conatos < 1 ha e incendios ≥ 1 ha desde 1997 hasta 2017. Fuente: Elaboración propia.

Año	Nº Conatos < 1 ha	Nº Incendios ≥ 1 ha	Siniestros
2007	5561	2445	8006
2008	6679	3995	10674
2009	8952	5367	14319
2010	7139	3644	10783
2011	8405	4113	12518
2012	9916	5289	15205
2013	6671	2592	9263
2014	6121	3018	9139
2015	6875	3116	9991
2016	5767	1928	7695
2017	7382	4360	11742

Tabla 3. Número de conatos < 1 ha e incendios ≥ 1 ha desde 1 de enero hasta 30 de septiembre, desde el año 2007 hasta 2017. Fuente: Elaboración propia.

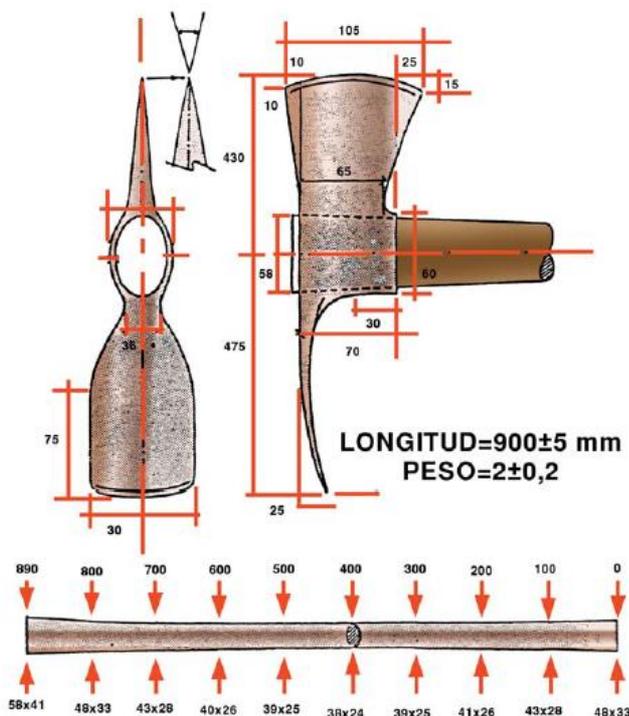
<sup>15</sup> Los datos utilizados para realizar estas tablas han sido obtenidos de los informes anuales de incendios y del avance de 2017 del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.[22]

## Anexo II: Herramientas manuales de extinción<sup>16</sup>

### Hacha-azada (Pulaski):

Es una herramienta compuesta por una pieza de acero forjado, con dos filos opuestos, en planos perpendiculares, y con un ojo central para encajar un astil de madera.

Es importante prestar atención a los dos filos, ya que uno de ellos es en doble bisel, dilo del hacha, y el otro es un pico de flauta, el correspondiente a la parte de azada.



Paulaski. Dimensiones y peso.

Utilización: Es una herramienta de corte, cavado y raspado, por lo que se usa en:

- Ataque directo:
  - Cavando y preparando tierra para ser lanzada sobre las llamas con un palín (trabajo combinado), es decir, realizar una sofocación.
  - Cavar y extender tierra sobre las brasas en la liquidación (enfriamiento más sofocación).
  - Cavar y mezclar brasas con tierra y/o agua en la liquidación (enfriamiento más sofocación).

<sup>16</sup> El presente anexo es un extracto del *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas*, por lo tanto, las figuras no serán numeradas.

- Cortando, cavando y raspando la vegetación en la construcción de líneas perimetrales.
- Ataque indirecto:
  - Cortar matorral, cavar el suelo húmico y raspar el suelo mineral para la construcción de una línea de defensa.

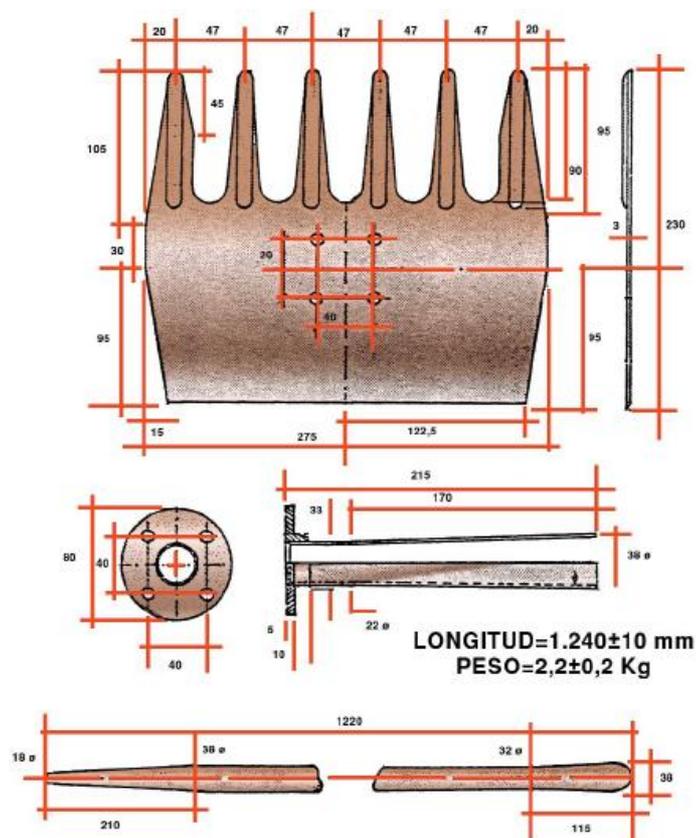
### Rastrillo-azada (Macleod)

Es una herramienta compuesta por una pieza de acero laminado con un borde con filo (parte de azada) y el borde opuesto con dientes. Estos dientes tienen nervaduras para dotarles de mayor resistencia a la deformación por tracción.

La lámina de acero tiene un casquillo central en el que se inserta perpendicularmente un mango de madera.

Utilización: Es una herramienta de corte y raspado. Cavar lo hace muy mal, aunque se puede emplear en suelos muy blandos, en los que su rendimiento es bueno por la anchura del filo.

- Ataque directo:
  - Dispersar las brasas o combustibles ligeros con llamas en el borde del incendio.



Rastrillo Macleod. Dimensiones y peso.



- Cubriendo el combustible o las brasas con tierra, realizando una acción de enfriamiento.
- Corte, cavado, raspado, etc., del combustible ligero ardiendo, o esparcir brasas en el borde del incendio.
- Trabajo combinado con otras herramientas, o sola, en la construcción de una línea perimetral.
- Mezclar combustible y/o brasas con tierra y/o agua, suministrada con extintores de mochila o de punta de lanza de algún vehículo.
- Ataque indirecto:
  - Raspado del suelo en la construcción de una línea de defensa.
  - En la construcción de esta línea puede realizar corte de matorral, tronchado del mismo, cavado del suelo, arrastrado de matorral, etc.

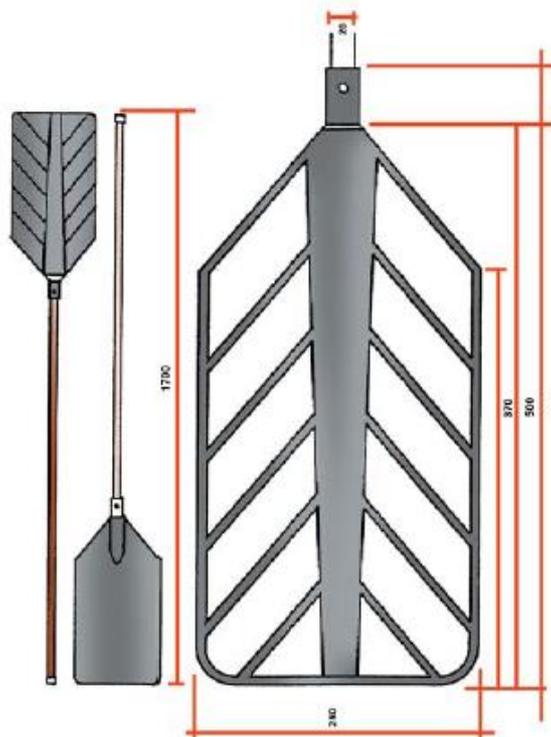
## Batefuego

Herramienta compuesta por una pala elástica de goma, con un fleje interno metálico o una nervadura, embutida en un mango metálico.

El fleje o la nervadura central le proporciona la rigidez suficiente para poder golpear sobre el combustible en la base de las llamas y poder recuperar la posición inicial.

Utilización: Es una herramienta específica que realiza una única acción, que es la sofocación, sin embargo, su acción es muy eficaz sobre combustibles susceptibles de ser disgregados.

- Ataque directo:
  - Sobre frentes de baja o mediana intensidad, con combustibles ligeros.
  - Trabajo combinado con otras herramientas, fundamentalmente con extintores de mochila.
- Ataque indirecto:
  - En labores de apoyo y vigilancia de la construcción de la línea de defensa, contrafuegos, supresión de focos secundarios, etc.



Batefuego: Dimensiones.

## Extintor de mochila

Es un aparato aplicador de agua en chorro lleno o pulverización, que consta de un depósito de transporte dorsal, latiguillo de conexión y bomba (lanza) de accionamiento manual.

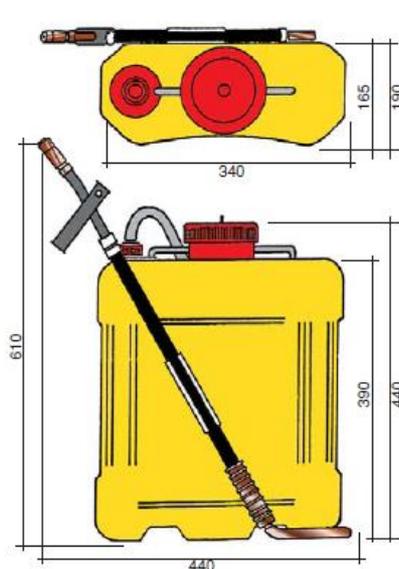
### Utilización:

Es una herramienta que trabaja fundamentalmente sobre el lado del calor, enfriando el combustible que se está quemando. Para ello es necesario dirigir el agua a la base de la llama, al combustible que se está quemando (recordemos que el combustible se calienta y produce gases inflamables que son los que arden), y adquiere la temperatura de ignición. Se trata de enfriar a ese combustible por debajo de esa temperatura.

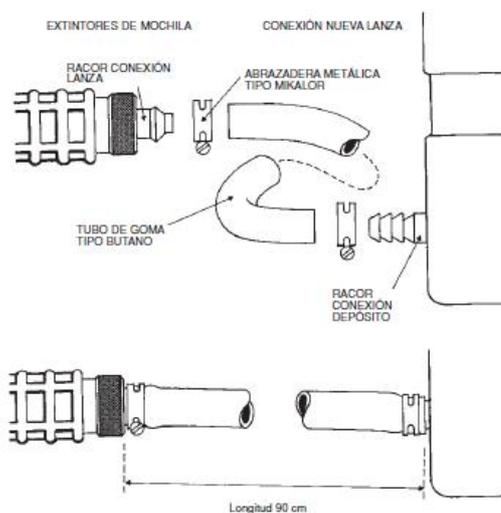
También tiene la acción complementaria de humedecer el combustible que es susceptible de ser quemado, aumentando su resistencia a arder, acción que se ve potenciada si el agua va acompañada de aditivos retardantes y humectantes, espumantes, etc.

- Ataque directo:
  - Sobre fuegos débiles, incipientes o de combustibles ligeros y matorral de tipo medio.

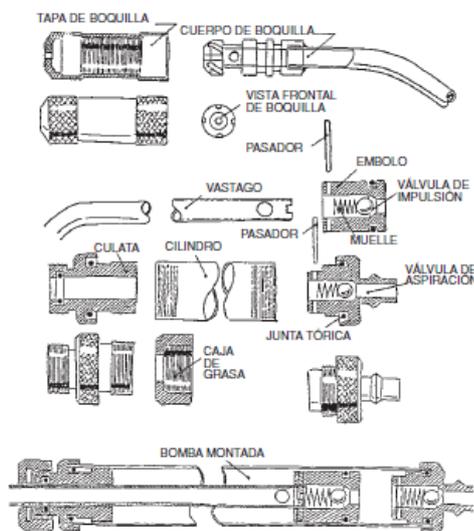
- Su acción se combina muy bien con la acción de los batefuegos, donde el agua baja la intensidad del frente y el batefuego, por sofocación, termina de desequilibrar definitivamente el balance del triángulo del fuego, impidiendo que se recupere y vuelva a producirse la llama.
- También se puede combinar con la extracción del combustible enfriado con herramientas de corte, cavado y raspado.
- Ataque indirecto:
  - En operaciones de apoyo a apertura de línea de defensa, contrafuegos, extinción de focos secundarios, etc.



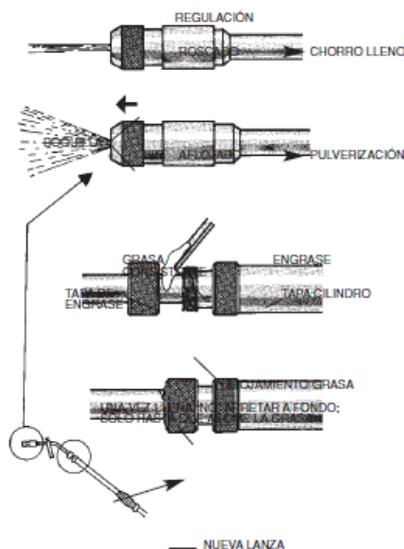
Depósito.



Conversiones latiguillo.



Lanza (Bomba).



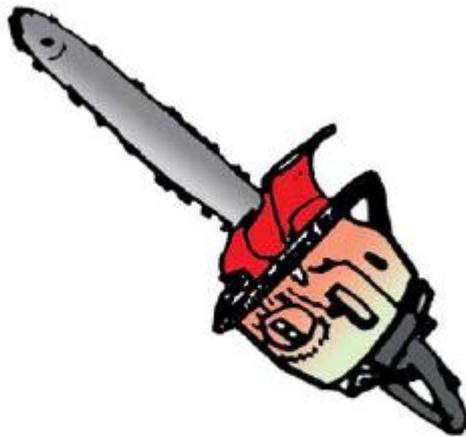
Boquilla y engrase.

## Motosierra

Es una máquina compuesta por un conjunto de elementos, que tiene como misión cortar el combustible.

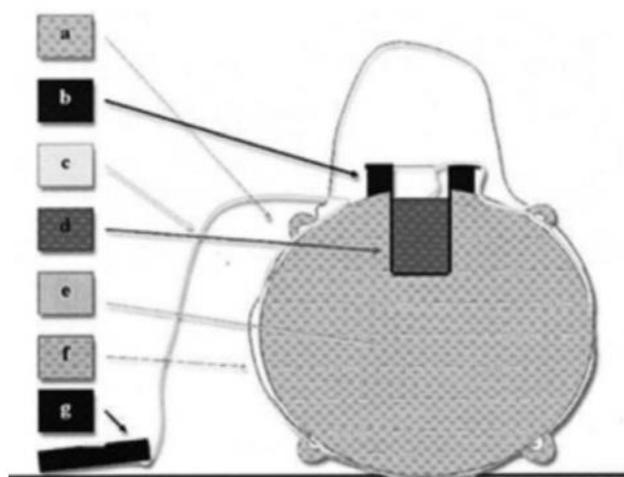
Está compuesta por un motor que, a través de un sistema, transmite el movimiento a una cadena que se desliza sobre una guía o espada. La cadena es el elemento cortante.

Es una herramienta común a otras actividades forestales, por lo que hay una gran variedad de máquinas, con potencias diferentes y con distintos largos de espadas, en función del diámetro del elemento a cortar.



Motosierra.

### Anexo III: Extintor de explosión



- a) Recipiente plástico de color naranja y forma cilíndrica.
- b) Cilindro plástico que desde el exterior se introduce en el recipiente albergando el explosivo.
- c) Mecha rápida recubierta de una funda plástica.
- d) Explosivo de 40 gramos de pólvora.
- e) Fluido retardante (retardante químico y agua) que llena el recipiente.
- f) Cordón de sujeción que facilita su transporte.
- g) Tapón plástico, que unido a la mecha por el extremo la mantiene en el interior del cilindro junto con el cartucho.

Figura 17. Extintor de explosión BEAEXTIN. Fuente:[9]





Figura 19. Air Tractor 802. Fuente:[20]

### Helicóptero EC-135

Esta aeronave pertenece al Batallón de Helicópteros de Emergencias II (BHELEME II) de las Fuerzas Aeromóviles del Ejército de Tierra, y está bajo mando operativo de la Unidad Militar de Emergencias.



VELOCIDAD DE CRUCERO	222 km/h
MÁXIMO ALCANCE	666 km
PESO MÁXIMO AL DESPEGUE	2910 kg
TRIPULACIÓN	2 pilotos
PASAJEROS	4/5 personas

Figura 20. Helicóptero EC-135. Fuente:[21]

## Anexo V: Projectiles extintores de incendios *The Boeing Company*

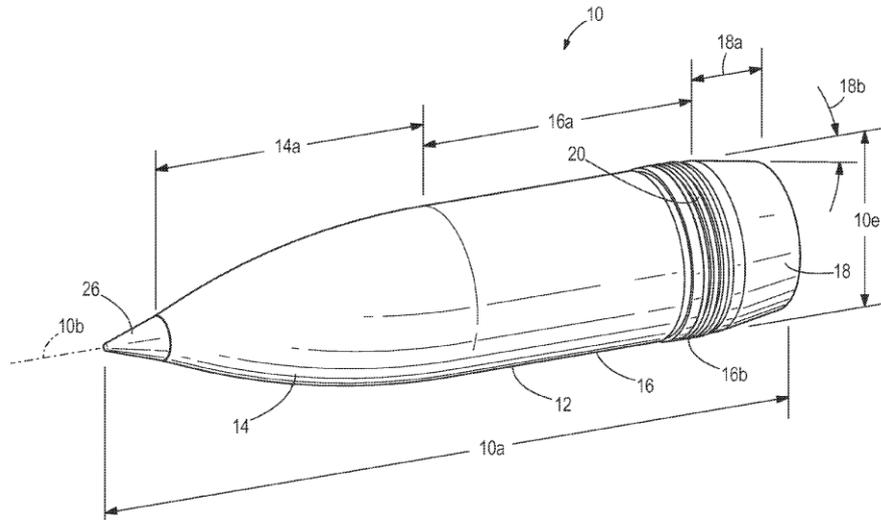


Figura 21. Projectil extintor de explosión, vista exterior. Fuente:[17]

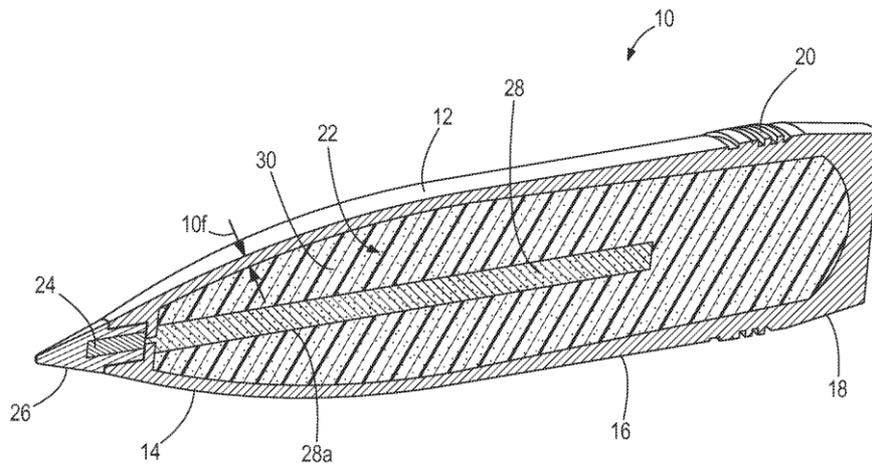


Figura 22. Projectil extintor de explosión, vista interior. Fuente:[17]

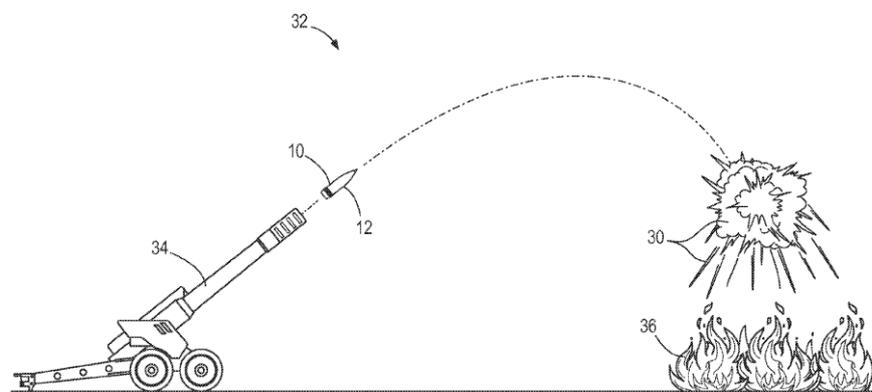


Figura 23. Funcionamiento del proyectil extintor de explosión. Fuente:[17]

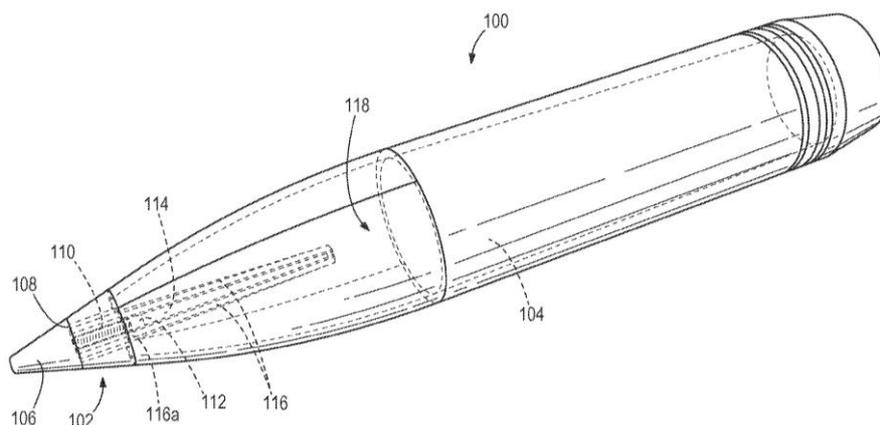


Figura 24. Proyectil extintor de apertura delantera, vista exterior. Fuente:[17]

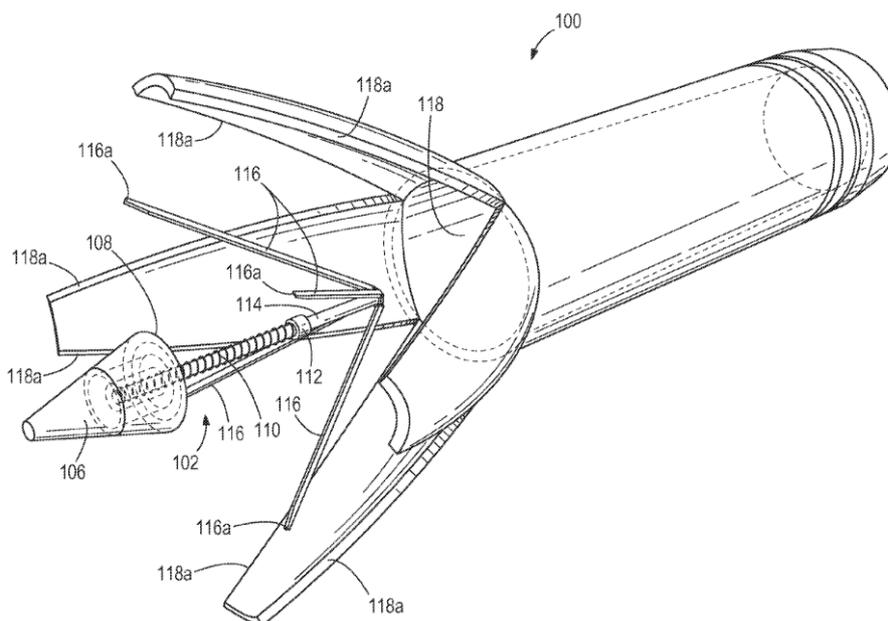


Figura 25. Proyectil extintor de apertura delantera, vista interior. Fuente:[17]

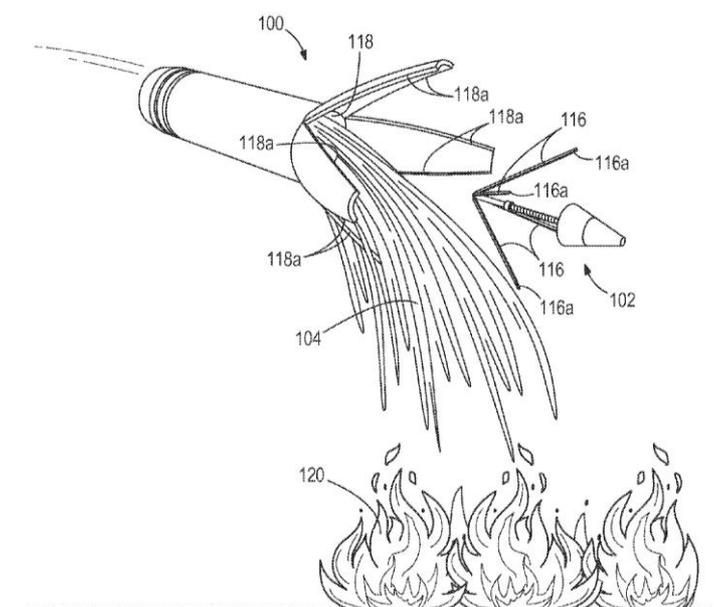
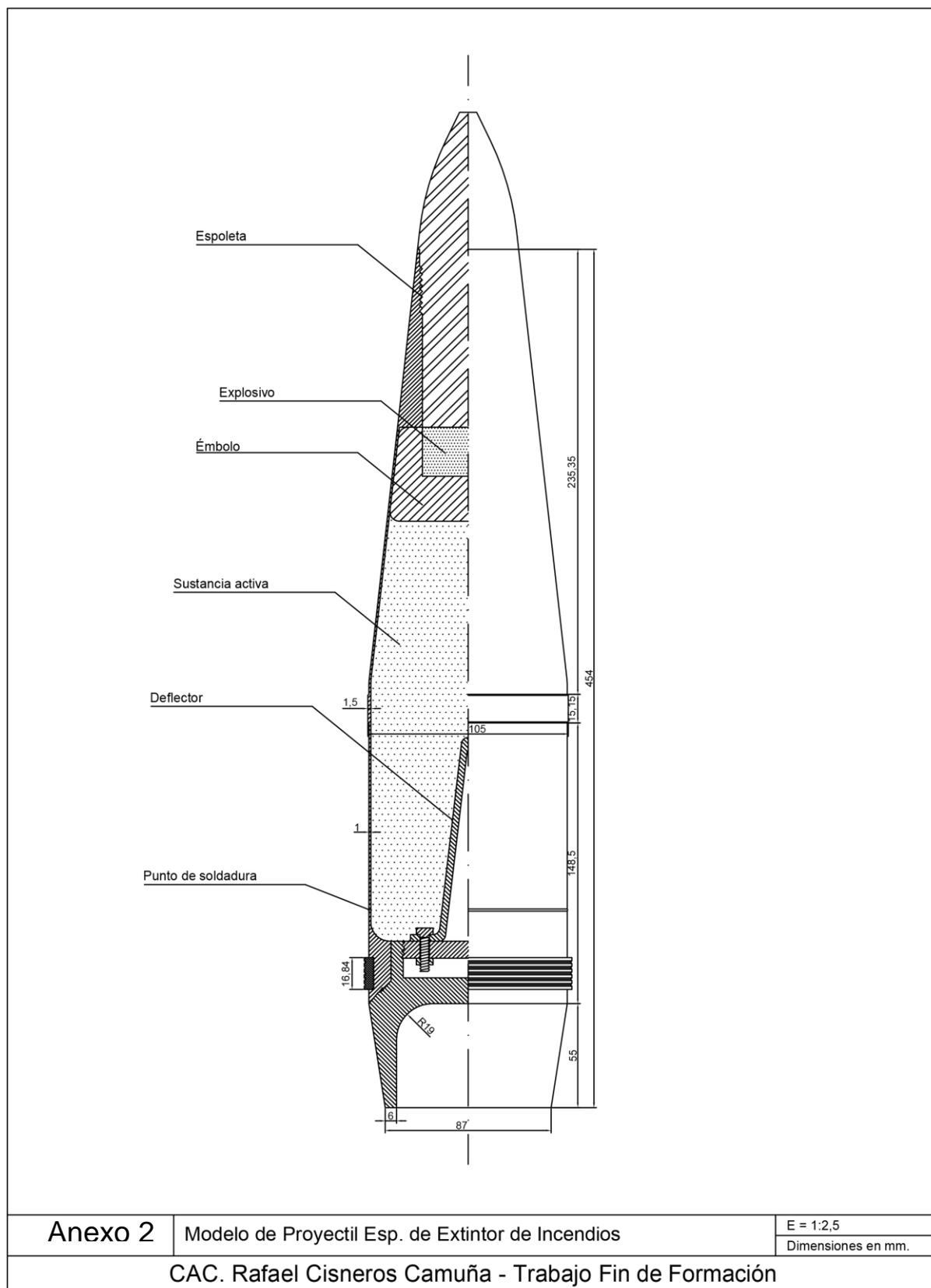


Figura 26. Funcionamiento del proyectil extintor de apertura delantera. Fuente:[17]

## Anexo VI: Modelo de proyectil especial extintor de incendios<sup>17</sup>



<sup>17</sup> La imagen mostrada presenta una proporción del 80% con respecto a la original. Fuente:[18]

## Anexo VII: Sistema balístico para el control y la extinción de incendios forestales

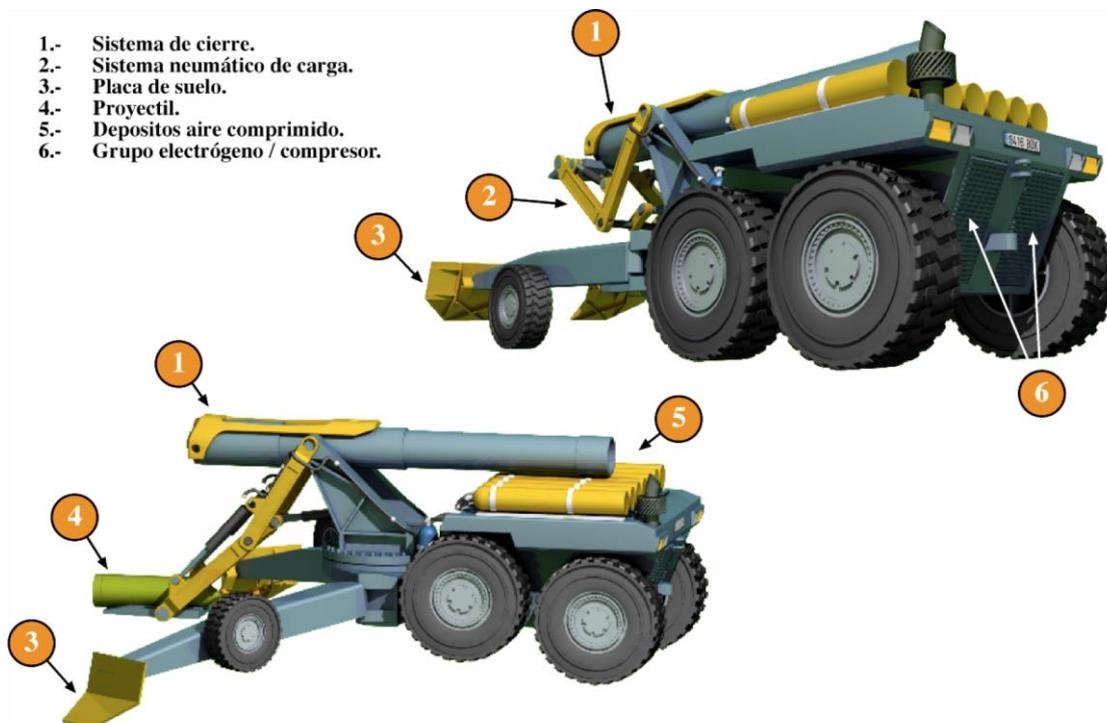


Figura 27. Esquema de obús. Fuente:[14]

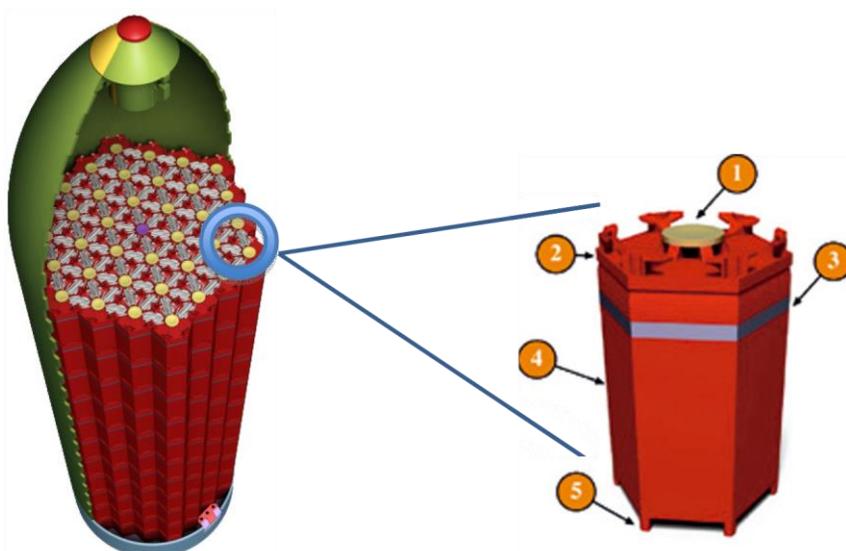


Figura 28. Proyectil extintor y detalle de cápsula. Fuente:[13]

1. **Tapón:** Mantiene anclada la cápsula a la malla.
2. **Tapa:** Cierra la cápsula. Gracias a su forma, permite el empaquetado de la malla, impidiendo que se enrede, además permite apilar las cápsulas.
3. **Anillo metálico:** Permite la entrada de calor y la rotura de la cápsula por degradación térmica.
4. **Cuerpo.**
5. **Patas:** Permite el apilado de unas cápsulas sobre otras.

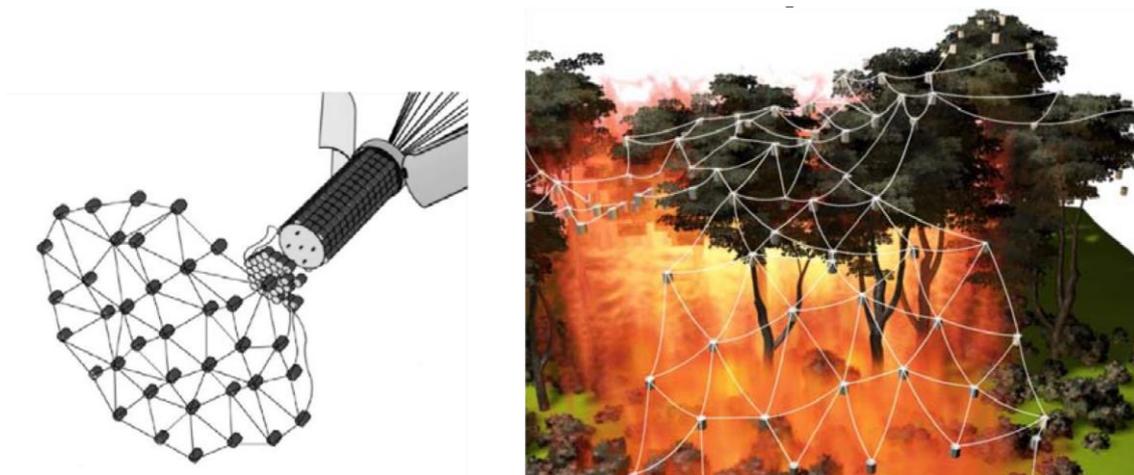


Figura 29. Apertura del proyectil de extinción y despliegue de las cápsulas. Fuente:[14]

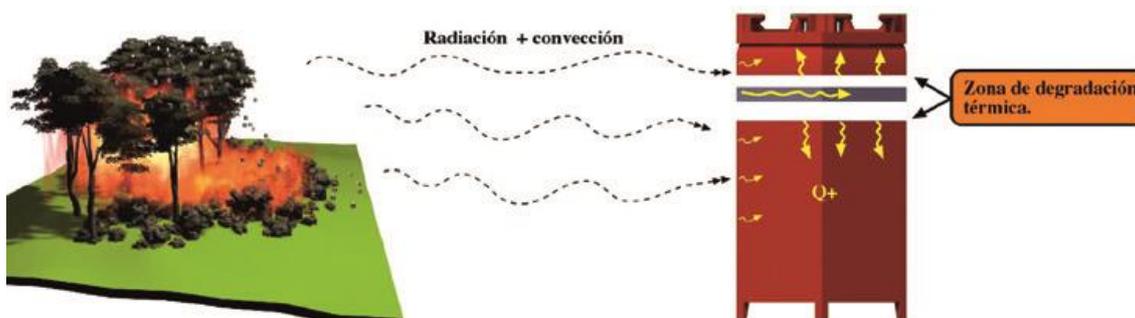


Figura 30. Apertura de la cápsula mediante degradación térmica. Fuente:[14]

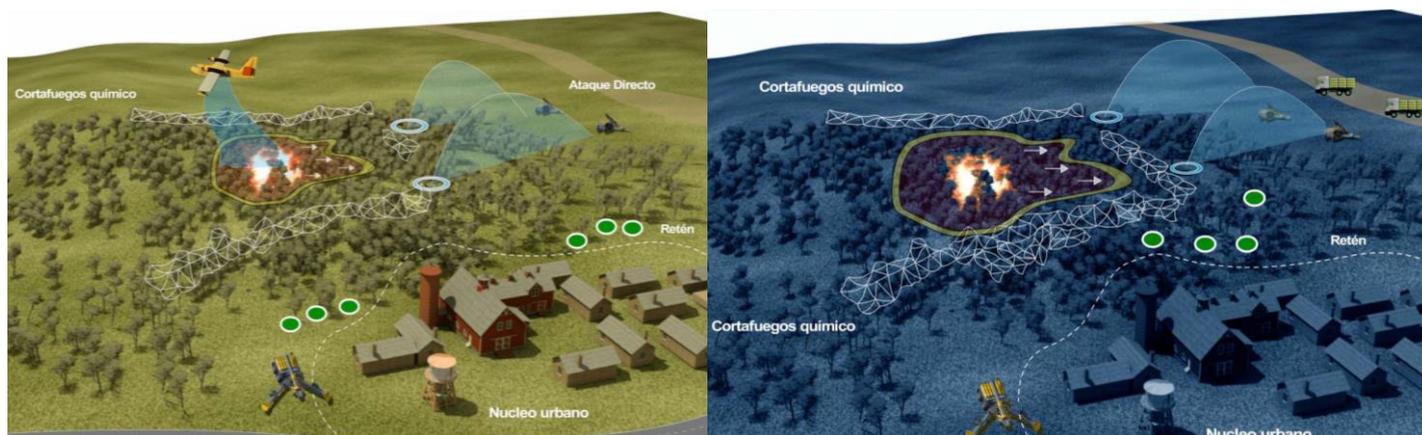


Figura 31. Actuación del sistema balístico de extinción en ambiente diurno y nocturno. Fuente:[14]

## Anexo VIII: Projectiles de artillería M1 y M107



Figura 32. Projectil 105 HE M1 y proyectil 155 HE M107. Fuente: INERT PRODUCTS, LLC.

## **Anexo IX: Cuestionario a experto**

Con el objetivo de obtener información adicional a la encontrada en la bibliografía se ha realizado un cuestionario a un experto en la materia. D. Jose Luis Liz Graña, Ingeniero Superior Industrial, es el actual Director Técnico y Gerente de *Pyro Fire Extinction, S.L.* (empresa especializada en el diseño y fabricación de sistemas de prevención y extinción de incendios forestales). Además, el experto ha publicado varios artículos referentes a los incendios forestales y ha patentado un sistema balístico de extinción.

**La encuesta realizada al experto se encuentra en la página siguiente**

## **Encuesta sobre Sistema balístico de extinción de incendios**

La siguiente encuesta será utilizada como medio de recopilación de información procedente de expertos para el Trabajo de Fin de Grado titulado “Empleo de la munición especial de artillería en la extinción de incendios forestales” del Caballero Alférez Cadete José Antonio Pelegrina Calvente.

### **- Introducción:**

La actual problemática causada por los incendios forestales necesita de nuevos medios de extinción que complementen los actuales. En este trabajo se pretende estudiar el uso de un sistema balístico de extinción de incendios basado en proyectiles de 105mm y 155mm con el objetivo de que pueda ser usado por los materiales de artillería de campaña del Ejército de Tierra.

### **- Información sobre el encuestado:**

**Nombre y apellidos:**

**Nivel de estudios:**

**Ocupación actual:**

**Relación que tiene con el ámbito forestal y en concreto de los incendios forestales:**

### **- Encuesta:**

1º ¿Cree usted que el uso de un sistema balístico de extinción tiene puntos negativos o puede presentar problemas? ¿Cuales?

2º ¿Cree usted que es rentable el uso de un sistema extintor balístico en la relación “posible coste/eficacia”?

3º En sus artículos usted hace referencia al uso del DAP como agente extintor, ¿Qué ventajas o inconvenientes presenta este frente a otros?

4º Usted ha realizado estudios y patentes relacionadas con este campo. ¿hacia dónde piensa usted que se deberían dirigir las investigaciones en el campo de los sistemas de extinción balísticos?

5º ¿Qué líneas futuras piensa usted que se podrían alcanzar con la investigación en este tipo de sistemas?

Muchas gracias por su colaboración.