

R 6853



Miguel Angel Piñuela de Pablos

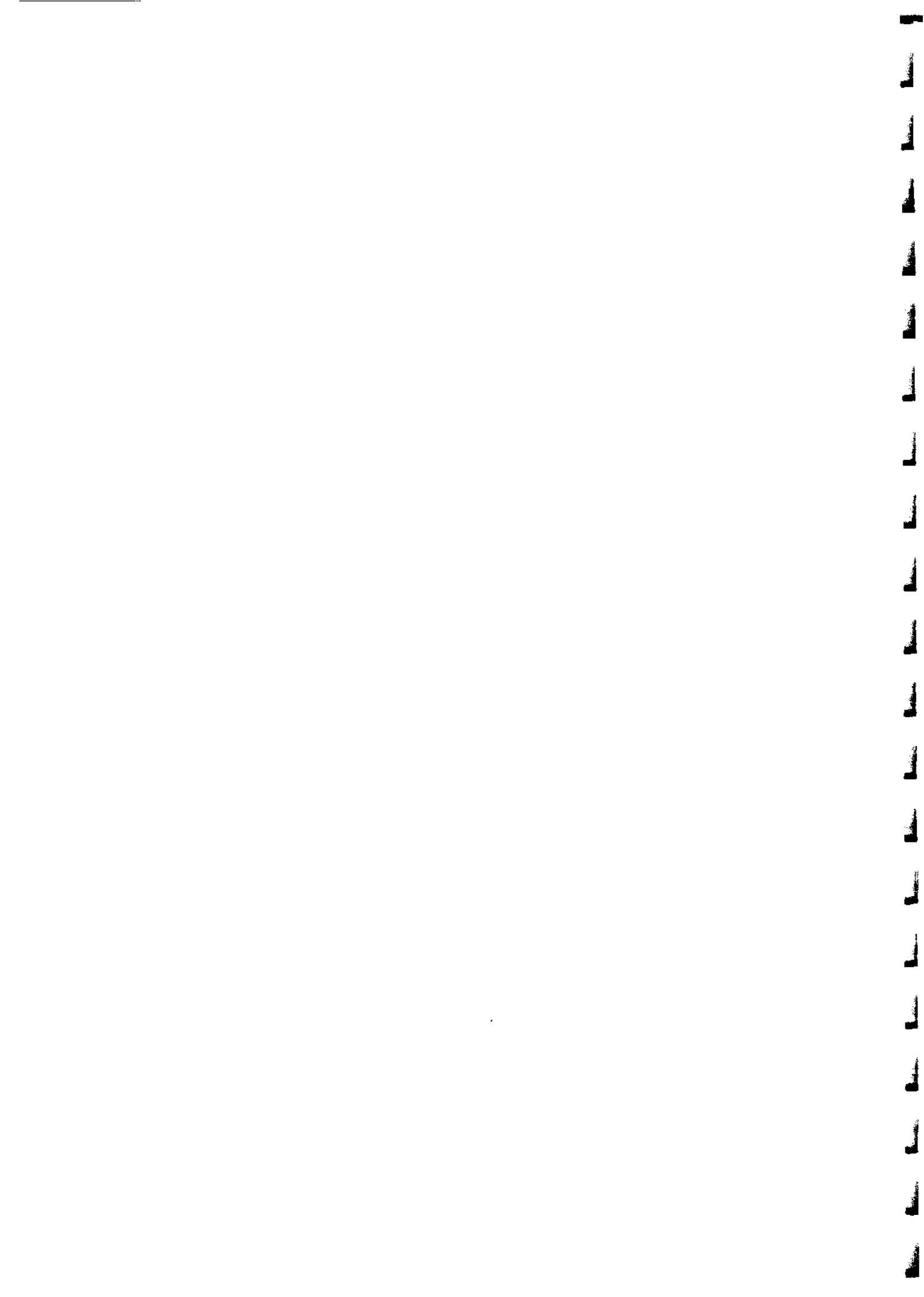
***ESTUDIO DE LA EFICIENCIA
Y PROPIEDADES
DE LOS AGENTES EXTINTORES***

Avila, diciembre de 1985



fundación
MAPFRE

ITSEMAP FUEGO, S.A.
Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE



La realización de este trabajo es consecuencia de la concesión de una beca de la FUNDACION MAPFRE. Ha sido desarrollado en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE - ITSEMAP. Asimismo, sirve como fundamento de un Proyecto Fin de Carrera en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid.

Deseo expresar mi agradecimiento a la Cátedra de Construcciones Industriales de la E.T.S.I.I., así como al personal de los distintos departamentos del Centro Tecnológico del Fuego de ITSEMAP, por su apoyo y valiosas aportaciones.

Agradezco, del mismo modo, la colaboración que me han prestado las siguientes empresas:

- * ALCA
- * ATOCHEM ESPAÑA, S.A.
- * AUXQUIMIA, S.A.
- * EXTIMUR, S.A.
- * KALI-CHEMIE IBERIA, S.A.
- * S.A. ROBAMA
- * SOLVAY, S.A.
- * 3 M



I N D I C E

	<u>Página</u>
1. <u>FUNDAMENTOS DEL ESTUDIO</u>	
1.1. INTRODUCCION	1
1.2. AGENTES EXTINTORES	4
1.3. DESARROLLO DEL ESTUDIO	10
1.4. PRODUCTOS UTILIZADOS	13
1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	13
1.6. NORMATIVA ESPECIFICA	14
2. <u>METODOLOGIA DEL ESTUDIO</u>	
2.1. ENSAYOS EN LABORATORIO	17
2.2. ENSAYOS FISICOS	17
2.3. ENSAYOS DE FUEGO	25
2.4. PARAMETROS DE SELECCION	32
2.5. SELECCION DE AGENTES	33
3. <u>RESULTADOS OBTENIDOS</u>	
3.1. POLVO EXTINTOR BC	35
3.2. POLVO EXTINTOR ABC	41
3.3. ESPUMOGENO	45
3.4. AFFF	47
3.5. HALON	52
4. <u>ESTUDIO DE SELECCION DE ALTERNATIVAS</u>	
4.1. INTRODUCCION	55
4.2. METODO DE LA SUMA PONDERADA	56
4.3. METODO ELECTRE	56

	<u>Página</u>
5. <u>APLICACION DE LOS MULTICRITERIOS A LOS RESULTADOS OBTENIDOS</u>	
5.1. APLICACION DE LA SUMA PONDERADA	61
5.2. APLICACION DEL METODO ELECTRE	65
6. <u>CONCLUSIONES DEL ESTUDIO</u>	
6.1. CONCLUSIONES GENERALES	77
6.2. CONCLUSIONES PARTICULARES	79
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	81

1. FUNDAMENTOS DEL ESTUDIO

1.1. INTRODUCCION

En el tema de la protección contra incendios deben distinguirse dos aspectos claramente diferenciados (Figura 1).

- * Prevención contra incendios: Trata de evitar que se den las circunstancias para que se produzca el incendio.
- * Lucha contra incendios: Trata de que los efectos causados por el incendio sean reducidos al mínimo.

En la lucha contra incendios es fundamental conocer la situación del fuego ,y, por tanto, es preciso tener presente:

a) Las distintas clases de fuegos

(Según Norma UNE 23.010 - EN 2) (Ver Anexo 1)

Clase A: Son los fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, donde la combustión se realiza normalmente con formación de brasas.

Clase B: Son los fuegos de líquidos o de sólidos licuables.

Clase C: Son los fuegos de gases.

Clase D: Son los fuegos de metales.

b) Los tipos de incendios

(según Norma UNE 23.011) (Ver Anexo 1)

De acuerdo con la distribución del combustible y forma geométrica del incendio, se clasifica según la Tabla 1.

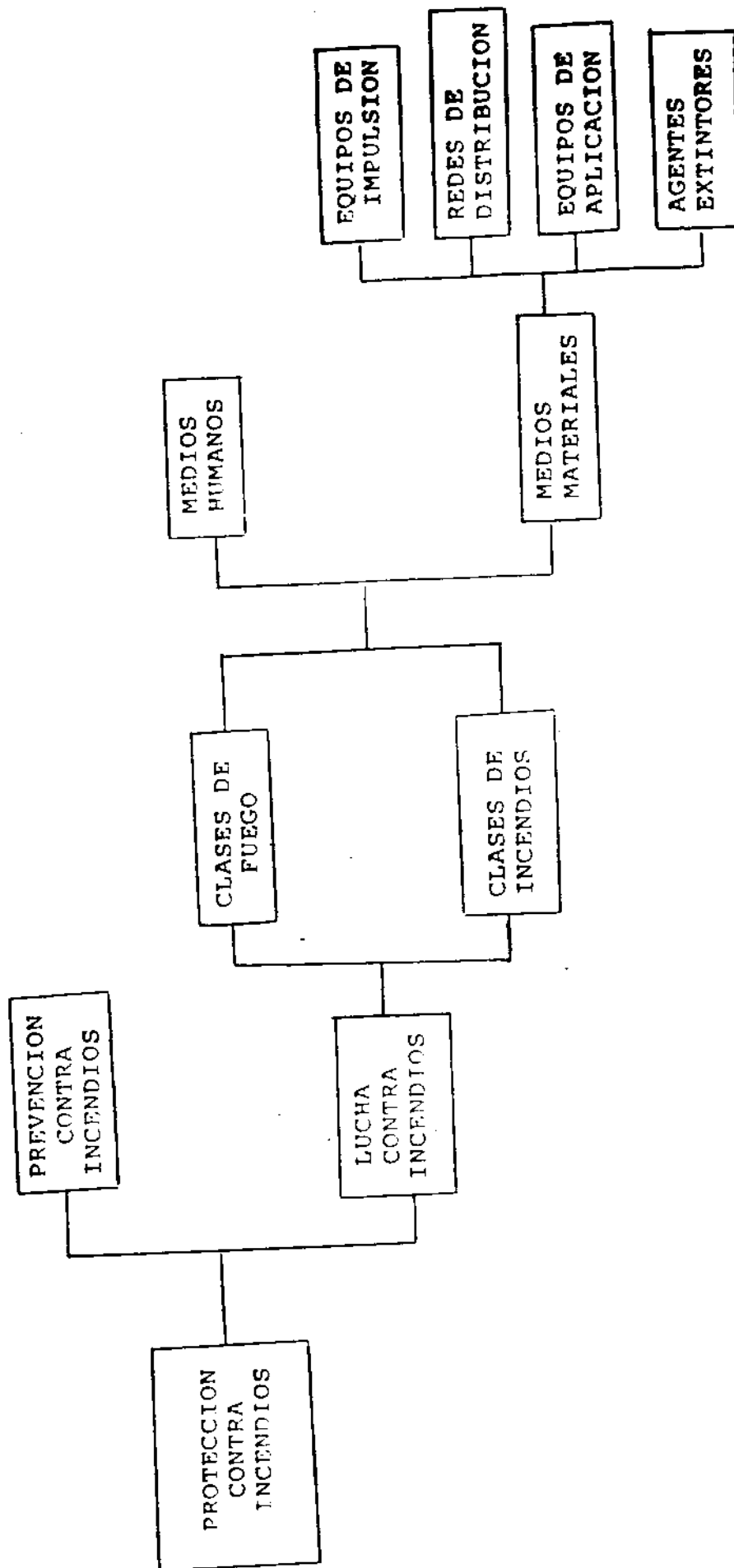


Figura 1.

DISTRIBUCION DEL COMBUSTIBLE	DISPOSICION GEOMETRICA DEL INCENDIO	INCENDIOS TIPICOS
EN UN PLANO (SUPERFICIAL)	Horizontal Vertical Inclinado	Charcas
		Rebosamiento de depósitos
		Rampas
EN VOLUMEN (ESPACIAL)	Exterior	Depósitos de combustibles líquidos
		Pilas de almacenamiento
	Interior	Foco interno
		Incendio latente en balas de algodón

Tabla 1.

De acuerdo con la movilidad del combustible, el incendio será:

- * Estático, si el combustible incendiado no se mueve.
- * Móvil, si el combustible se desplaza.

De acuerdo con el área de la superficie incendiada, pueden ser de mayor a menor tamaño.

En la lucha contra incendios, también hay que conocer la situación de los medios humanos y materiales.

c) Los medios humanos

- * Cuantitativamente
- * Cualitativamente

d) Los medios materiales

- * Cuantitativamente
- * Cualitativamente

De los distintos medios materiales que existen en la Lucha contra Incendios, hemos centrado nuestro estudio en los agentes extintores.

1.2. AGENTES EXTINTORES

En la actualidad, los agentes extintores más utilizados son los siguientes:

1.2.1. Agua

Es el principal agente extintor.

Posee un calor específico considerable, ya que el potencial instantáneo de enfriamiento del agua es cientos de veces más elevado que el poder calorífico de un combustible Clase A.

a) Propiedades extintoras del agua:

- * Extinción por enfriamiento. Consiste en reducir la temperatura del combustible para evitar la formación de vapores y absorber la energía de activación.
- * Extinción por sofocación. Consiste en el desplazamiento del oxígeno del aire mediante la generación de vapor.
- * Extinción por emulsión. Consiste en el enfriamiento de la superficie de determinados líquidos viscosos, impidiendo la emisión de vapores inflamables mediante la aplicación del agua.
- * Extinción por dilución. Consiste en diluir en agua materiales inflamables hidrosolubles.

b) Formas de utilización del agua:

- * Agua a chorro. Tiene mucho alcance y actúa enfriando el foco, lo que le hace muy eficaz en fuegos de Clase A. Para fuegos de Clase B no es eficaz porque, en la mayoría de los casos, el combustible líquido flota. Asimismo es ineficaz en fuegos de gases (Clase C) salvo al comienzo.
- * Agua pulverizada. El agente ataca el fuego en forma de multitud de gotitas. Tiene muy poco alcance, pero realiza un enfriamiento muy rápido, es eficaz en fuegos de Clase B y su conductividad eléctrica es baja.
- * Perfeccionamiento de los efectos del agua pulverizada:
 - . Los humectantes. Permiten un contacto más duradero, aumentando el poder de refrigeración. Mejoran la eficacia del agua pulverizada.
 - . Los emulsificantes. Incrementan la propiedad de dispersión y división en el seno de un líquido en partículas muy pequeñas.
 - . Los espesantes. Su misión es hacer el agua más viscosa para que puede adherirse a las superficies.

- . Los opacificantes. Su misión es impedir el paso de los rayos infrarrojos para aumentar su poder refrigerador.

1.2.2. Espumas

Las espumas contra incendios consisten en una masa de burbujas rellenas de gas que se forman a partir de soluciones acuosas de agentes espumantes de distintas fórmulas.

a) Forma de extinción de las espumas

- * Por sofocación. La espuma se extiende sobre la superficie de un hidrocarburo inflamado, formando una verdadera manta.
- * Por enfriamiento. El agua de la espuma absorbe energía calorífica.

b) Tipos de espuma

- * Agentes espumantes formadores de películas acuosas (AFFF).

Las espumas de aire generadas por las soluciones de AFFF poseen baja viscosidad, rápida extensión y nivelación y actúan como barreras superficiales para impedir el contacto del combustible con el aire y detener su vaporización, enfriando igual que lo hacen las otras espumas.

- * Agentes espumantes proteínicos.

Consisten en concentrados líquidos acuosos y agua en las proporciones adecuadas. En general, producen espumas densas y viscosas de alta estabilidad y elevada resistencia al calor, así como mejor resistencia a su propia combustión.

- * Agentes espumantes fluoroproteínicos.

Composición similar a los de proteína, pero, además de los polímeros proteínicos, contienen en la superficie agentes

fluorados activos que les confieren la propiedad de no adherirse al combustible, lo que les hace especialmente eficaces para luchar contra fuegos en que la espuma se aplica sumergida o cubierta por el combustible.

* Agentes espumantes de alta expansión.

Sirven para dominar y extinguir fuegos de Clase A o de Clase B y son especialmente aptos para producir inundación en espacios cerrados.

* Agentes espumantes tensoactivos de hidrocarburos sintéticos.

Generalmente son menos estables que otros tipos de espumas contra incendios. Debido a la baja tensión superficial y propiedades humectantes de las soluciones acuosas de estas espumas, también pueden emplearse como agentes extintores contra fuegos de Clase A.

* Agentes espumantes de baja temperatura.

Este tipo de concentraciones espumantes son similares a los agentes proteínicos, excepto que están protegidos para su almacenamiento a bajas temperaturas por la inclusión en la mezcla de un reductor del punto de congelación, que, a su vez, no es inflamable.

* Espumas de tipo antialcohol.

Las espumas que generan los agentes ordinarios están expuestas a la disolución rápida y pérdida de efectividad cuando se emplean en fuegos de líquidos combustibles hidrosolubles, hidromiscibles o de tipo de disolvente polar.

Por lo tanto, se han creado concentrados, de diferente composición, de mayor estabilidad en alcohol y disolventes de tipo polar.

1.2.3. Polvos químicos

El polvo químico está compuesto por una mezcla de sales metálicas finamente pulverizadas. Este producto extintor, en

estado pulverulento, va adicionado con un agente de tipo hidrófugo que impide el apelmazamiento del polvo por humedad ambiental.

a) Propiedades extintoras de los polvos químicos

- * Acción sofocante. Las pruebas han desmentido la creencia de que los gases de anhídrido carbónico sean un factor fundamental.
- * Acción enfriadora. No se puede demostrar que la acción enfriadora de los polvos secos sea una razón importante que explique su capacidad para extinguir rápidamente los fuegos, aunque la energía calorífica requerida para descomponer los polvos secos juega un papel primordial en la extinción.
- * Apantallamiento de la radiación. La descarga del polvo seco produce una nube de polvo que separa el combustible de una parte del calor radiado por la llama.
- * Inhibición química de la llama. Consiste en la desactivación de los elementos portadores de cadena en las reacciones que originan la llama.

El inhibidor impide que los elementos activos cumplan su papel de portadores, ya que cataliza, mediante la disociación térmica, la unión y consiguiente inertización de dichos elementos activos.

b) Variedades de polvos extintores.

- * Polvo químico seco. Normalmente el elemento base es un bicarbonato. Actúa principalmente por inhibición química de las llamas, pero no humedece ni apaga las brasas, por lo que es ineficaz en fuegos de Clase A.
- * Polvo antibrasa o polivalente. Normalmente son fosfatos. El más importante es el monofosfato de amonio, que se descompone en radical amonio (NH_4^+) y radical fosfato (H_2PO_4^-). Al absorber el segundo radical activo H^+ (acción inhibidora de llama), se forma en ácido ortofos-

fórico que se deshidrata y se convierte en ácido metafosfórico. Este ácido es una sustancia vítrea, infusible, muy adhesiva, e imparte características ignífugas al combustible que se encuentra incendiado.

1.2.4. Anhídrido carbónico

Extingue eficazmente los fuegos de líquidos inflamables, gases, aparatos eléctricos bajo tensión, y, en menor medida, fuegos de combustibles sólidos.

a) Propiedades extintoras

* Extinción por sofocación.

En un fuego, el calor se genera por la rápida oxidación del material combustible. Parte de este calor se emplea para que el combustible sin quemar alcance su temperatura de ignición, mientras que una parte importante, se pierde por radiación y convección, sobre todo en el caso de fuegos superficiales. Si la atmósfera que suministra oxígeno al fuego está diluida con vapores de CO_2 , la velocidad de generación de calor se reduce hasta que sea menor que la velocidad de disipación. El fuego se extingue cuando el combustible se enfría por debajo de su temperatura de ignición.

* Extinción por enfriamiento.

El CO_2 sale en estado líquido por la boquilla y rápidamente pasa a gas absorbiendo energía calorífica del combustible. Este efecto refrigerante es limitado y superficial.

1.2.5. Hidrocarburos halogenados (Halones)

La sustitución en la molécula de un hidrocarburo saturado de uno o varios átomos de hidrógeno por el número correspondiente de átomos de halógenos dará un nuevo producto, no sólo ininflamable sino también dotado de propiedades extintoras.

a) Identificación de los productos

Debido al gran número de combinaciones que existen, se utilizan cifras para la identificación de halones. La primera cifra representa los átomos de C, la segunda los de F, la tercera los de Cl, la cuarta los de Br, y la quinta los de I. Así, por ejemplo, el Tribromofluorometano (FBr_3) es conocido como halón 1103.

En sistemas de inundación total, la efectividad de los agentes halogenados sobre fuegos de líquidos y vapores inflamables es impresionante.

Los halones más desarrollados a escala mundial son el 1301 y el 1211.

1.2.6. Agentes especiales

Existen varios metales combustibles, algunos arden al calentarse a altas temperaturas por fricción o por exposición a un calor externo, otros arden al humedecerse o por reacción con otros metales.

Los riesgos durante el control o la extinción completa de los fuegos de metales incluyen las temperaturas extremadamente altas, las explosiones de vapor, los productos tóxicos de la combustión, la reacción explosiva con algunos agentes extintores comunes, la descomposición de algunos agentes extintores con la liberación de gases combustibles o de productos tóxicos de la combustión, y la radiación peligrosa en caso de ciertos materiales radiactivos. Por lo tanto, los agentes y métodos empleados en la extinción deben escogerse cuidadosamente según una aplicación específica.

1.3. DESARROLLO DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de este trabajo se han realizado las siguientes actividades (Figura 2):

PERIODO DE FORMACION:
* BILINGÜE
* CURSO GRAL.

ENVIAR CAPTAS
A FABRICANTES

ESTUDIO DE LA
NORMATIVA:
* PROPIEDADES
* ENSAYOS

DEFINICION DE
LOS ENSAYOS

REALIZACION DE
LOS ENSAYOS

OPCION DE
LA LEY

INTERPRETACION
DE LA LEY

UTILIZADA
DE
MULTIPLIERS

MANUAL DE
OPERACIONES
DE LOS
MATERIALES

DE

1.3.1. Período de formación

Este período comprende la asistencia a dos cursos:

- * Curso General de Prevención y Protección contra Incendios.
- * Curso de Diseño y Verificación de Redes de Agua y Rociadores Automáticos.

Por otra parte, se ha realizado un estudio de la Normativa referente a los ensayos y propiedades de los agentes extintores. Como resultado de este estudio se ha seleccionado una serie de Normas, fundamentalmente Normas UNE, contrastándolas con las Normas de Underwriters Laboratories (UL) y la Norma Militar Norteamericana (MIL), principalmente. Asimismo, se ha utilizado bibliografía especializada, cuya relación se incluye en el Apartado 7.

1.3.2. Contactos con empresas fabricantes y comercializadoras de agentes extintores.

Para la obtención de los productos a ensayar, se ha contactado con las empresas que se dedican a la fabricación o comercialización de los agentes extintores en nuestro país. Para ello se han dado los siguientes pasos:

a) Selección de empresas.

Se eligieron las 15 empresas más importantes del país en este campo.

b) Cartas.

Se contactó por escrito con las empresas seleccionadas con fecha del 4 de febrero de 1985, con el fin de informarles del inicio de esta investigación y solicitarles el material a analizar.

La respuesta de las empresas ha sido satisfactoria y se ha dispuesto de una cantidad de productos suficiente para la realización de este estudio.

1.3.3. Ensayos

Teniendo en cuenta la Normativa estudiada se seleccionó una serie de ensayos que permiten determinar las propiedades físicas de los agentes extintores y su relación con la eficiencia que poseen.

La mayor parte de los ensayos se han realizado en las instalaciones de ITSEMAP, para lo que se preparó el equipo necesario. En el caso de determinados ensayos para los que se precisaba un equipo excesivamente costoso, se recurrió a entidades que ya disponían de él.

La metodología de estos ensayos se detalla en apartados posteriores.

1.3.4. Multicriterio

Con el fin de conseguir una interpretación global y práctica del estudio, se ha diseñado un MULTICRITERIO capaz de relacionar los distintos factores que permiten determinar cuál es el agente extintor óptimo para cada necesidad.

1.4. PRODUCTOS UTILIZADOS

De los contactos con las empresas fabricantes y comercializadoras de agentes extintores se ha obtenido una cantidad de productos suficiente para la realización de los ensayos previstos.

Se han recibido:

	CANTIDAD TOTAL
* Polvo extintor BC (6 agentes)	165 kg
* Polvo extintor ABC (4 agentes)	95 kg
* Espumógeno (5 agentes)	105 l
* Agente humectante (1 agente)	25 l
* AFFF (5 agentes)	105 l
* Halón 1211 (2 agentes)	35 kg
* Halón 1301 (2 agentes)	40 kg

1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

En la actualidad no existe un criterio claro que determine qué agente extintor es el más adecuado para cada necesidad de protección contra incendios. La finalidad de este estudio es obtener datos reales que permitan dictaminar el agente apropiado a cada necesidad.

Con este objeto, se han realizado los ENSAYOS DE EFICIENCIA y se ha estudiado cuál es la influencia de las características físicas y químicas en la eficiencia frente al fuego de un agente extintor.

El último paso es el diseño de un MULTICRITERIO capaz de contrastar las distintas características de los agentes extintores.

- * Propiedades y eficiencia
- * Peso y volumen necesarios
- * Compatibilidad con otros productos
- * Precio
- * Velocidad de actuación
- * Disponibilidad
- * Efectos secundarios
- * Mantenimiento

Estas características, junto a otros factores, determinarán qué agente extintor es el óptimo para cada necesidad.

1.6. NORMATIVA ESPECIFICA

Para la determinación de las propiedades físicas de los agentes extintores se ha utilizado la normativa española con pequeñas variaciones.

Sin embargo, si lo que se pretende es establecer un método que determine la eficiencia de un agente extintor, no exige ninguna normativa, y se llega a la conclusión de que lo idóneo sería ensayar los agentes sobre fuegos reales o normalizar los conjuntos constituidos por el dispositivo más el agente.

En este estudio se han seleccionado una serie de ensayos normalizados que, con algunas modificaciones, nos sirven como patrón comparativo.

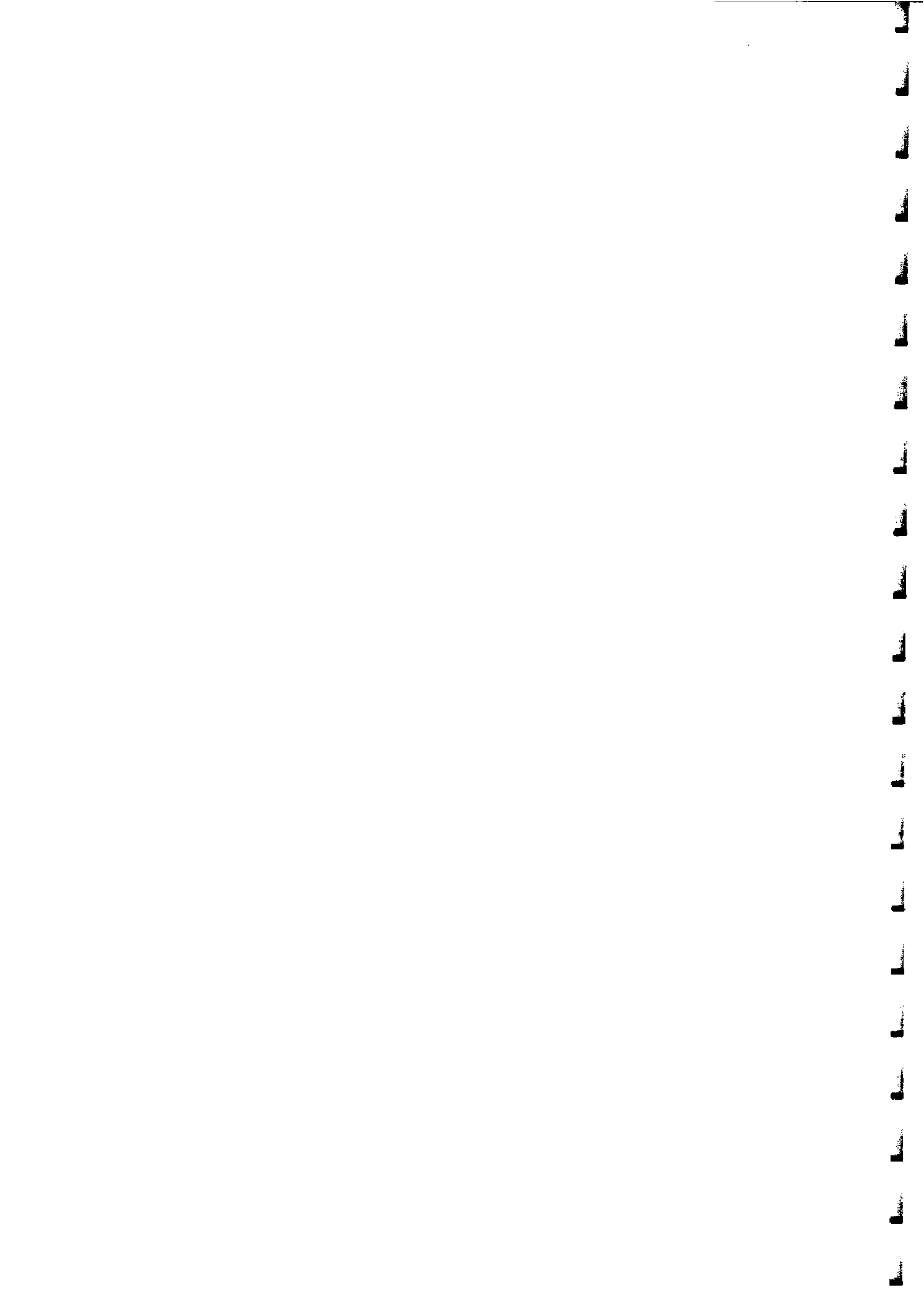
La normativa que se ha utilizado como base para los ensayos es la siguiente: (Ver Anexo 2)

* NORMA ESPAÑOLA

- UNE 23-110-75. Lucha contra incendios. Extintores portátiles de incendios.
- UNE 23-601-79. Polvos químicos extintores. Generalidades.
- UNE 23-602-81. Polvo exterior. Características físicas y métodos de ensayo.
- UNE 23-603-83. Seguridad contra incendios. Espuma física extintora. Generalidades.
- UNE 23-604. Ensayos de propiedades físicas de espuma proteínica de baja expansión.
- UNE 23-607-83. Agentes de extinción de incendios. Hidrocarburos halogenados. Especificaciones.
- NM P-877 EMA. Polvo químico seco para extintores.

* NORMA EXTRANJERA

- NOM S-31-1983. Productos de seguridad. Extintores polvo químico seco tipo ABC, a base de fosfato monoamónico.
- NOM S-32-1983. Productos de seguridad. Extintores y agentes extinguidores. Efectividad. Método de prueba.
- UL 162-1983. Standard for Foam equipment and liquid concentrates.
- MIL-F24385C-1981. Military specification fire extinguishing agent liquid film-forming foam (AFFF). Liquid concentrate, for fresh and sea water.
- S 60-201-1979. Lutte Contre l'incendie. Liquides émulseurs pour mousse physique.



2. METODOLOGIA DEL ESTUDIO

2.1. ENSAYOS EN LABORATORIO

Los ensayos en laboratorio no consideran todas las variables que influyen en un incendio, y por lo tanto tampoco su total interrelación. Por otra parte, factores como la propagación de calor en ensayos a pequeña escala son distintos que en incendios reales.

Como consecuencia los resultados obtenidos están limitados por las condiciones del ensayo aunque nos serán válidos para realizar un estudio comparativo de los distintos agentes extintores.

2.2. ENSAYOS FISICOS

La mayor parte de los ensayos se han realizado en las instalaciones de ITSEMAP siguiendo las directrices que marca la Norma UNE. En el caso de determinados ensayos, para los que se precisa un equipo especial, se ha recurrido a entidades que ya disponían de él.

Para la determinación de las propiedades físicas de los agentes extintores se han realizado los siguientes ensayos:

2.2.1. Polvos extintores BC y ABC

a) Superficie específica

(Ver Anexo 3).

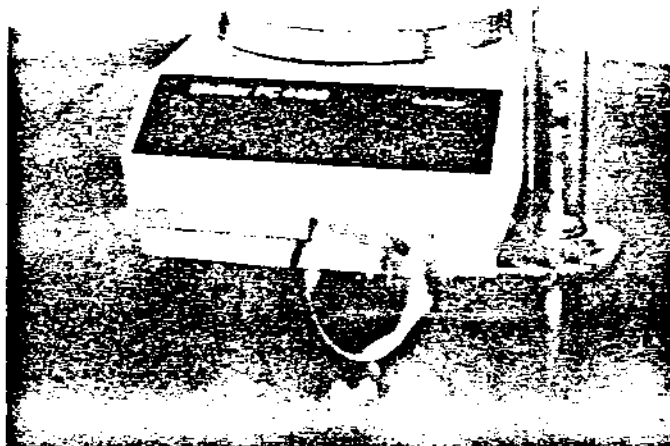
b) Densidad

(Ver Anexo 3).

c) Peso específico

- * **Peso específico aparente.** Se determina introduciendo polvo en una probeta de 100 cm³ a través de un embudo colocado en su parte superior y girándola sobre su eje longitudinal, sin golpear, hasta alcanzar la señal de enrase. El peso de polvo, expresado en gramos dividido por 100 da el peso específico buscado.

- * **Peso específico por golpeo.** Se determina introduciendo polvo en una probeta de 100 cm³, hasta la señal de enrase, dando después 250 golpes sobre una base amortiguadora. El peso del polvo, expresado en gramos dividido por el volumen ocupado por éste da el peso específico buscado.



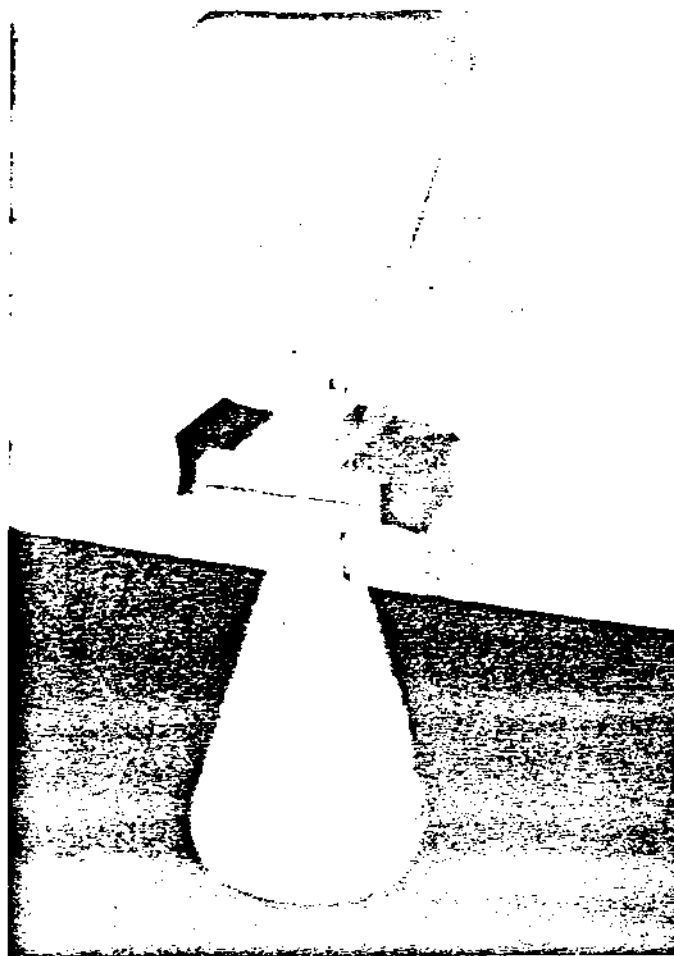
Fotografía Número 1.

d) Movilidad

Se determina utilizando un reloj de arena formado por dos Erlenmeyer de 750 cm³, colocando entre ambos un diafragma de 26 mm de diámetro interior y 1 mm de espesor.

Se introducen en uno de los Erlenmeyer 500 g del polvo a ensayar, procediendo a sucesivas inversiones durante 1 ó 2 minutos para airear bien el polvo, efectuándose a continuación diez inversiones ininterrumpidas, poniendo en marcha un cronómetro al iniciar la primera de ellas y parándolo cuando termine el flujo de polvo en la décima inversión.

Se considera como resultado de la prueba el caudal medio de esas diez operaciones, que es el cociente de dividir 500 g por la décima parte del tiempo medido.



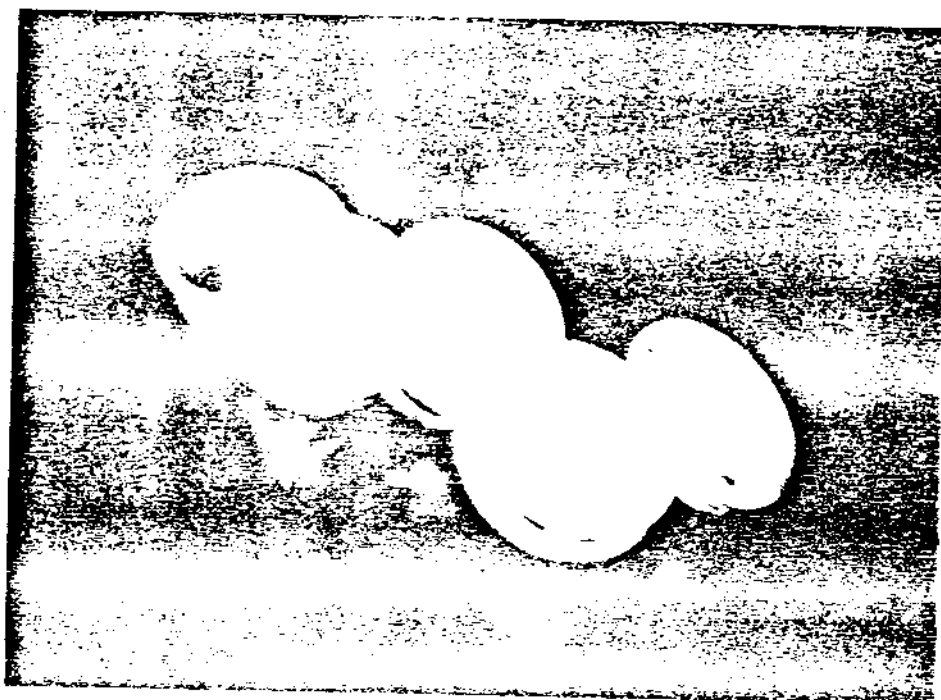
Fotografía Número 2.

e) Granulometría

Se toman 100 g de polvo y se les hace pasar por los tamices 0,50 ; 0,16 y 0,08 de la serie UNE 7-050 de forma que la cantidad tamizada en el de 0,50 pase al de 0,16 y la tamización en éste pasa al de 0,08.

Para realizar este ensayo se ha utilizado una mesa vibratoria con las siguientes características:

Amplitud 2,5 mm
Frecuencia 2,8 ciclos/segundo
Número ciclos 1.000



Fotografía Número 3.

f) Humedad

En un vidrio de reloj, desecado y tarado, se pesan 5 g de polvo, manteniéndolo en una estufa de desecación hasta peso constante (aproximadamente 4 h) a una temperatura de $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C. A continuación, se coloca en un desecador, y una vez frío, se pesa.

La diferencia entre este peso y el primitivo, referida a 100 g da la humedad, expresada en tanto por ciento.

g) Higroscopicidad

En un vidrio de reloj de unos 100 mm de diámetro, se pesan 20 g de polvo, extendiéndolos sobre la superficie del vidrio, introduciéndolo en un desecador en el que se ha sustituido la sustancia desecadora por agua, y se mantiene a una temperatura de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$ C durante 24 h, pesándose después.

La diferencia entre este peso y el primitivo, referido a 100 g da la absorción de humedad, expresada en tanto por ciento.

h) Estabilidad bajo presión de gas

Se determina sometiendo en un recipiente adecuado de 1 dm³ 500 gramos de polvo extintor a una presión de 7 daN/cm², conseguida con aire comprimido durante 24 h y tras haberlo agitado. A continuación, se pesa la cantidad de polvo retenida en el tamiz de 0,50 mm de la serie UNE 7-050.

2.2.2. Espumógeno y AFFF

a) Determinación de la expansión

El valor de la expansión se define como la relación entre el volumen final de la espuma y el volumen original del espumante. Su valor numérico coincide con el inverso de la densidad de la espuma.

Se determina utilizando 2 colectores de 1400 ml aproximadamente cada uno, de 50 mm de profundidad y 190 mm de diámetro. Para facilitar la rápida toma de muestras, se utilizará un tablero inclinado de 45° al que pueden acoplarse los colectores. El colector dispondrá en su fondo de una purga situada junto al borde y de 6,5 mm de diámetro interior. Se colocará en ella un tubo de goma con una pinza de presión para permitir la salida del espumante.

Cada muestra de espuma se pesa con la exactitud de 1 g y la expansión se calcula con la expresión siguiente:

$$\text{Expansión} = \frac{1420}{\text{peso total} - \text{peso en vacío}}$$

Todos los pesos deben expresarse en gramos

b) Determinación del tiempo de drenaje del 25%

Se denomina velocidad de drenaje a la de decantación del espumante al separarse de la masa de espuma, y es una indicación específica de la capacidad de retención del agua y de la fluidez de la espuma. El tiempo de drenaje del 25% es un valor utilizado para expresar las velocidades de drenaje de las diferentes espumas. Es el tiempo, en minutos, que necesita una espuma para que decante el 25% del espumante contenido en el colector toma-muestras

Este ensayo se realiza con la misma muestra utilizada en la determinación de la expansión. El colector toma-muestras debe colocarse sobre el banco soporte; a espacios regulares de tiempo, el espumante acumulado en el fondo del colector se purga a la probeta graduada. Los intervalos de tiempo, en los que se purga el espumante acumulado, dependen de la expansión de la espuma. Para espumas cuya expansión es de 4 a 10, los intervalos deben ser de 30 s, y para espumas cuya expansión sea igual o mayor de 10, deben emplearse intervalos de 2 min, debido a la velocidad de drenaje más lenta de este tipo de espumas. De esta forma, se obtiene una relación tiempo de drenaje volumen de espumante, y na vez sobrepasado el 25% del volumen, el tiempo de drenaje del 25% se obtiene por interpolación entre estos datos.

c) Determinación de la concentración

En este estudio de concentración se ha fijado a priori y se han realizado los distintos ensayos para cada concentración.

d) Determinación de la densidad

La densidad se ha determinado utilizando agua destilada como patrón.

La densidad se calculó con la expresión siguiente:

Temperatura agua destilada = 21°C

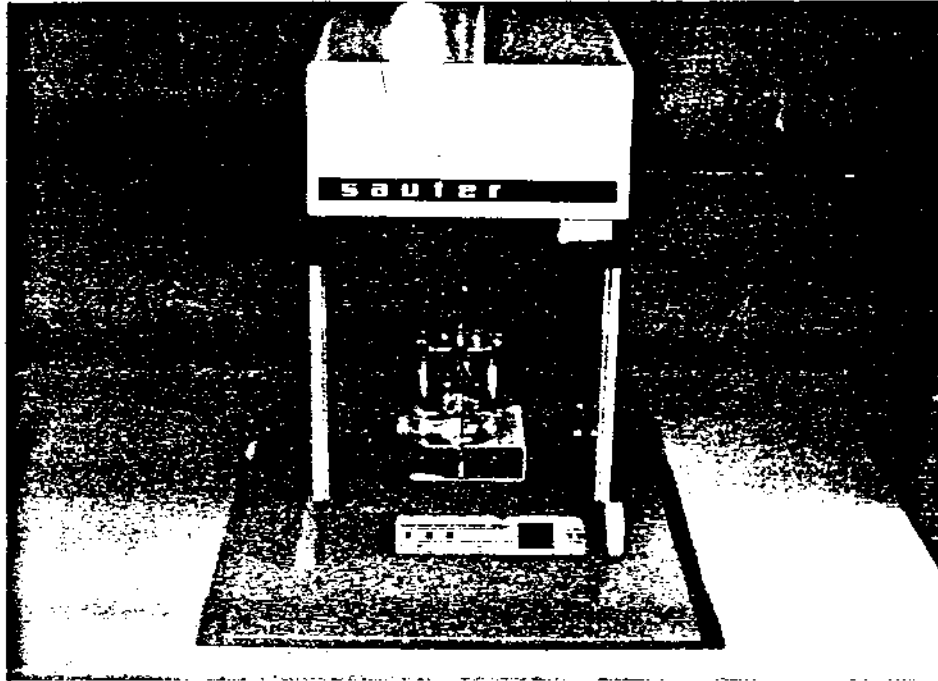
$$\text{H}_2\text{O} (21^\circ\text{C}) = 0,998 \text{ gr/cm}^3$$

$$m = m_{\text{pesa}} - m_{\text{sumergida}} = 56,3512 - 46,3694 = 9,9818$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\Delta m_2}{\Delta m_1} \implies \rho_2 = \frac{\Delta m_2}{\Delta m_1} = \rho_1$$

$$\rho_2 = \frac{\Delta m_2 \cdot 0,998}{9,9818}$$

$$\rho_2 = \Delta m_2 \cdot 0,09998$$



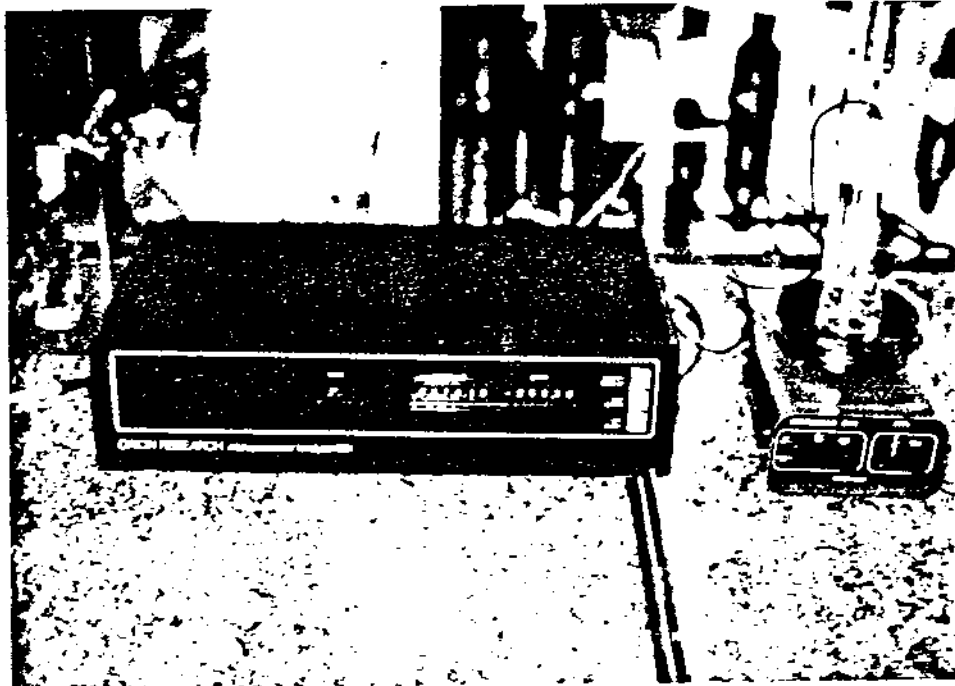
Fotografía Número 4.

e) Determinación del peso específico

Para la determinación del peso específico se ha utilizado un matraz aforado de 100 c.c.

f) Determinación del pH

Para determinar el pH se ha utilizado un medidor de pH digital ORION/901, utilizando un electrodo de vidrio y como solución de relleno KCl 2M saturada de Ag.



Fotografía Número 5.

El resto de las propiedades físicas se han obtenido por otras fuentes (bibliografía, datos técnicos de fabricantes).

2.3. ENSAYOS DE FUEGO

La realización de estos ensayos se basa en la NORMA UNE 23-110-75, parte 1. El operador se vestirá con la ropa normal de trabajo sin ninguna protección especial contra el fuego.

2.3.1. Hogares-tipo para fuegos de la Clase A*

a) Características

Los hogares-tipo para fuegos de la Clase A están constituidos por un apilamiento de vigas de madera sobre un pedestal metálico de 250 mm de altura, 900 mm de anchura y de longitud igual al del hogar-tipo. El pedestal de acero (Figuras 3 y 4) está construido con angular de 50 mm x 50 mm conforme a la recomendación ISO/R 657-1.

Para los fuegos superiores a 8 A el pedestal especificado puede obtenerse utilizando como máximo dos pedestales más pequeños.

Las vigas de madera será de *Pinus Silvestris* que contengan entre el 10 y el 15% de humedad. Tendrán una sección cuadrada de lado 4 cm 0,15 cm.

El apilamiento de las vigas de madera se efectuará según las Figuras 1 y 2, disponiendo las 14 capas sobre el pedestal metálico.

Cada capa está compuesta de vigas de madera espaciadas una distancia de 6 cm. Las vigas dispuestas en el sentido de la anchura del hogar (capas 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14) tendrán una longitud fija de 50 cm 1 cm.

Las vigas dispuestas según la longitud del hogar (capas 1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13) tendrán longitudes variables según la medida del hogar como se especifica en la Tabla 1, la tolerancia sobre su longitud será, igualmente, de 1 cm.

Cada hogar se designa por un número seguido de la letra A. Este número característico del hogar representa:

- * La longitud del hogar en decímetros, es decir, la longitud de las vigas de madera dispuestas según la longitud del hogar.
- * El número de vigas de madera de 50 cm para cada capa dispuestas según la anchura del hogar.

b) Condiciones para la realización y extinción

El hogar debe disponerse en el interior, al abrigo de toda corriente de aire. El local de ensayo no debe impedir el desenvolvimiento normal del fuego, ni su combate. Antes del ensayo, el extintor será colocado a 5 m del centro del hogar.

El recipiente de encendido, de longitud igual a la del hogar más 100 mm, de 600 mm de anchura y 100 mm de profundidad, será dispuesto bajo el apilamiento que forma el hogar A y en su eje.

Se rellena de agua el recipiente hasta una altura de 3 cm. Sobre el agua se echa una cantidad de gasolina idéntica a la utilizada por los hogares B (véase apartado 2.3.2.) tal que su altura por encima del agua sea alrededor de 0,5 cm.

Designación del hogar-tipo	Número de vigas de 50 cm por capa	Longitud del hogar cm
3 A	3	30
5 A	5	50
8 A	8	80
13 A	13	130
21 A	21	210
34 A	34	340
55 A	55	550

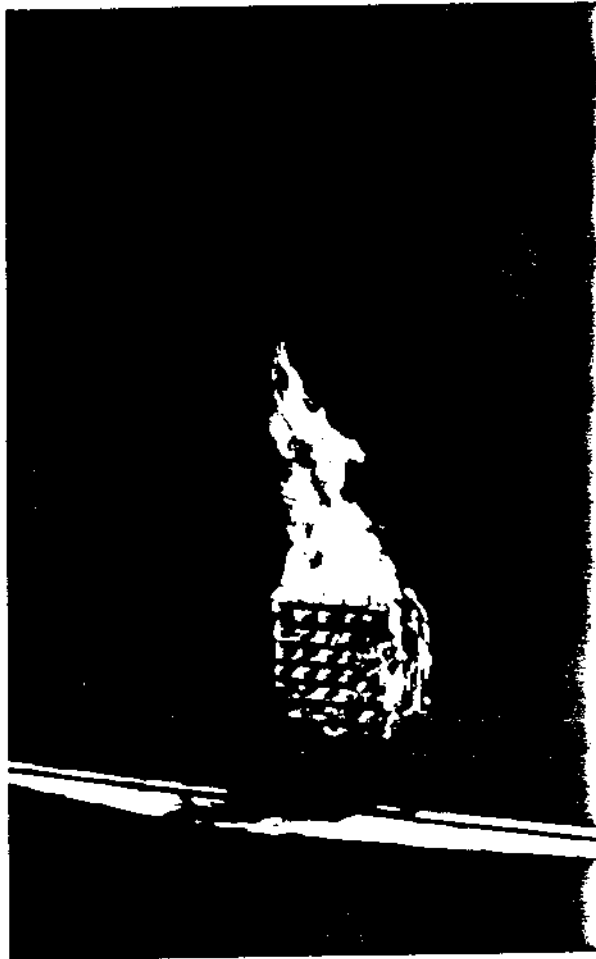
Tabla 2.

La gasolina se enciende. Después de 2 min de combustión, se retira el recipiente de debajo del apilamiento de madera.

Se deja arder la madera 6 minutos más, haciendo un total de 8 min, después de los cuales se considera que el hogar-tipo se ha realizado y que se debe efectuar la extinción.

El operador, tomando el extintor en este momento, dirige el chorro sobre el hogar moviéndolo a discreción para obtener el mejor resultado. El extintor puede ser descargado de una sola vez o por proyecciones sucesivas.

Se considera extinción total, cuando no aparece ninguna llama durante los 3 minutos siguientes a la descarga del extintor.



Fotografía Número 6.

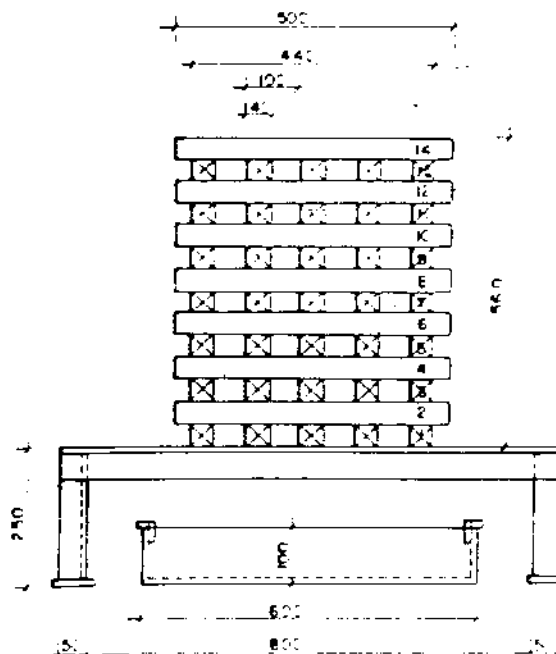


Figura 3.

Vista frontal (idéntica para todos los hogares)

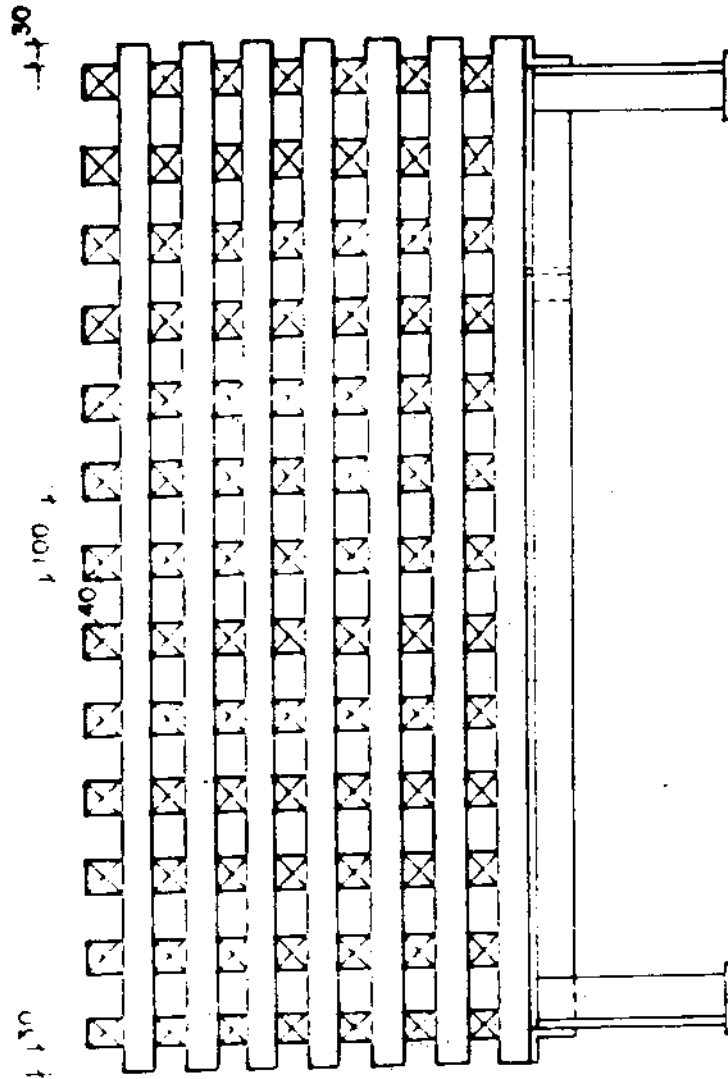


Figura 4.

Vista lateral (variable para cada hogar)
Ejemplo de un hogar-tipo de la Clase A - Hogar 13 A.
Medidas en milímetros.

2.3.2. Hogares-tipo para fuegos de la Clase B

a) Características

Los hogares-tipo para fuegos de la Clase B se realizan en una serie de recipientes cilíndricos en chapa de acero soldada cuyas dimensiones se indican en la Tabla 4.

Estos hogares se designan por un número seguido de la letra B; este número representa el volumen de gasolina, en litros, que contiene el recipiente.

La superficie del recipiente, expresada en decímetros cuadrados, es por convenio igual a éste número multiplicado por .

La cantidad de líquido contenido es tal que la altura de combustible en los recipientes es sensiblemente igual a 3 cm.

Las características de los hogares-tipo para fuegos de la Clase B están indicadas en la Tabla 3.

DESIGNACION DEL HOGAR-TIPO	VOLUMEN DEL COMBUSTIBLE	DIMENSIONES DEL RECIPIENTE			
		Diámetro aprox. mm	Profundidad mm	espesor de las paredes mm	Superficie dm ²
6 B	6	560	100	2,0	25,10
13 B	13	720	150	2,5	40,80
21 B	21	910	150	2,0	69,40
34 B	34	1200	150	2,5	106,70
55 B	55	1500	150	2,5	172,70
89 B	89	1900	200	2,5	279,40
144 B	144	2400	200	2,5	450,00
233 B	233	3000	200	2,5	731,60

Tabla 3.

Para el desarrollo de este trabajo se han utilizado, sobre todo, variaciones sobre los hogares B. denominados B*. Sus características son semejantes a los de los hogares B correspondientes, pero el líquido contenido en el recipiente está repartido en un 50% entre la gasolina y agua, hasta un volumen total, expresado en litros, igual al número de referencia del hogar.

b) Condiciones y realización

La velocidad del aire no debe ser superior a 3 m/s.

El combustible será gasolina normal.

El ensayo debe comenzar después de que el hogar haya sido encendido y haya ardido libremente durante 60 s.



Fotografía Número 7.

2.3.3. Los extintores utilizados para la realización de los ensayos de fuego han sido los siguientes:

- * Polvo extintor BC : Extintor portátil de presión adosada de 5 kg.
- * Polvo extintor ABC : Extintor portátil de presión adosada de 5 kg.
- * Espumógeno : Hidrante exterior con:
Lanza media expansión 89 B
Extintor 5 kg con lanza MIL ... 8 B
- * APFF : Extintor 5 kg con lanza MIL ... 8 B
- * Halón 1211 : Extintor 6 kg 8 A
Extintor 3 kg 5 A
21 - 34 B
Extintor 2 kg 3 A
13 B

2.4. PARAMETROS DE MEDIDA.

Para realizar la selección del agente extintor óptimo para cada tipo de fuego se han considerado los siguientes parámetros:

- a) Propiedades físicas - químicas
- b) Ensayos de fuego
 - * Peso necesario
 - * Volumen necesario
- c) Precio
- d) Disponibilidad
- e) Efectos secundarios
- f) Velocidad de actuación

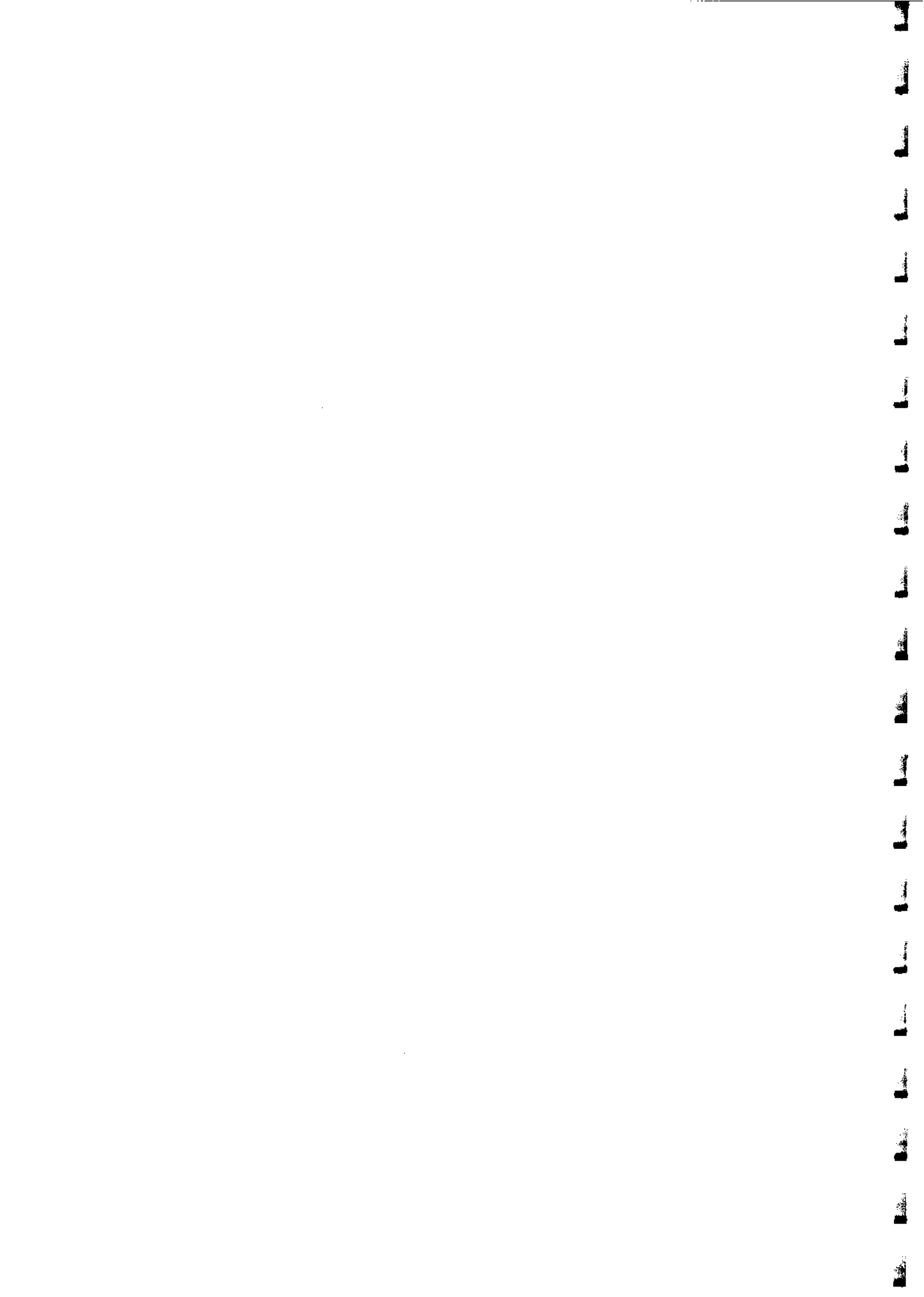
2.5. SELECCION DE AGENTES

El agente extintor es el conjunto del o de los productos contenidos en el extintor y cuya acción provoca la extinción.

En el momento actual se distinguen los siguientes:

- * Agua
- * Espuma
- * Polvo
- * Anhídrido carbónico
- * Hidrocarburos halogenados

Para la realización de este estudio se han elegido distintos productos de espuma, polvo e hidrocarburos halogenados en el tratamiento y variación de sus propiedades.



3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. POLVO EXTINTOR BC

Muestra N1

Propiedades físicas

* Superficie específica	2913 cm ² /gr
* Densidad	2,16 gr/cm ³
* Peso específico aparente	1,05 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,37 gr/cm ³
* Movilidad	43,5 gr/seg
* Granulometría	99,7 %/24,6 %/17 %
* Humedad	0,45 %
* Higroscopicidad	4,45 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,8 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL
3 A	2,88 kg	NO
21 B*	1,49 kg	SI
55 B*	3,3 kg	SI

Precio 55 pts/kg

POLVO EXTINTOR BC

Muestra N2

Propiedades físicas

* Superficie específica	3403 cm ² /gr
* Densidad	2,21 gr/cm ³
* Peso específico aparente	1,01 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,22 gr/cm ³
* Movilidad	64,9 gr/seg
* Granulometría	99,9 %/97 %/25 %
* Humedad	0,06 %
* Higroscopicidad	0,95 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,9 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL
3 A	3,85 kg	NO
21 B*	1,85 kg	SI
55 B*	2,7 kg	SI

Precio 65 pts/kg

POLVO EXTINTOR BC

Muestra N3

Propiedades físicas

* Superficie específica	3847 cm ² /gr
* Densidad	2,25 gr/cm ³
* Peso específico aparente	1,09 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,3 gr/cm ³
* Movilidad	68 gr/seg
* Granulometría	99,9%/21,2%/6,8%
* Humedad	0,026 %
* Higroscopicidad	3,05%
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,9 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL
3 A	4,25 kg	NO
21 B*	1,65 kg	SI
55 B*	5,9 kg	NO

Precio 60 pts/kg

POLVO EXTINTOR BC

Muestra N4

Propiedades físicas

* Superficie específica	3666 cm ² /gr
* Densidad	2,2 gr/cm ³
* Peso específico aparente	1,19 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,52 gr/cm ³
* Movilidad	17,7 gr/seg
* Granulometría	99,9%/71,8%/6,54%
* Humedad	0,02 %
* Higroscopicidad	1,2 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,8 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL
3 A	5,6 kg	NO
21 B*	1,3 kg	SI
55 B*	3,5 kg	SI

Precio 73 pts/kg

POLVO EXTINTOR BC

Muestra N5

Propiedades físicas

* Superficie específica	3712 cm ² /gr
* Densidad	2,46 gr/cm ³
* Peso específico aparente	1,22 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,44 gr/cm ³
* Movilidad	83,3 gr/seg
* Granulometría	99,9%/39,3%/10,3%
* Humedad	0,01 %
* Higroscopicidad	0,45 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	98,7 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL
3 A	3,96 kg	NO
21 B*	2,47 kg	SI
55 B*	5,8 kg	NO

Precio 60 pts/kg

POLVO EXTINTOR BC

Muestra N6

Propiedades físicas

* Superficie específica	3119 cm ² /gr
* Densidad	2,19 gr/cm ³
* Peso específico aparente	1,13 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,45 gr/cm ³
* Movilidad	29 gr/seg
* Granulometría	99,9%/53,9%/8,4 %
* Humedad	0,13 %
* Higroscopicidad	3,1 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,6 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL
3 A	2,72 kg	NO
21 B*	2,43 kg	SI
55 B*	3,1 kg	SI

Precio 60 pts/kg

3.2. POLVO EXTINTOR ABC

Muestra Pl

Propiedades físicas

* Superficie específica	4125 cm ² /gr
* Densidad	1,8 gr/cm ³
* Peso específico aparente	0,92 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,11 gr/cm ³
* Movilidad	60,5 gr/seg
* Granulometría	99,8%/20,8%/10 %
* Humedad	1,18 %
* Higroscopicidad	10,15 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,6 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
5 A	2,38 kg	SI	8+3 seg
13 B*	1,16 kg	SI	

Precio 85 pts/kg

POLVO EXTINTOR ABC

Muestra P2

Propiedades físicas

* Superficie específica	3598 cm ² /gr
* Densidad	1,81 gr/cm ³
* Peso específico aparente	0,91 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,22 gr/cm ³
* Movilidad	29,9 gr/seg
* Granulometría	99,7%/24,6%/7,7 %
* Humedad	0,27 %
* Higroscopicidad	7,6 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,7 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
5 A	4,1 kg	SI	12 seg
13 B*	0,6 kg	SI	

Precio 110 pts/kg

POLVO EXTINTOR ABC

Muestra P3

Propiedades físicas

* Superficie específica	3476 cm ² /gr
* Densidad	1,81 gr/cm ³
* Peso específico aparente	0,84 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,06 gr/cm ³
* Movilidad	28,7 gr/seg.
* Granulometría	99,7%/90,7%/31,1%
* Humedad	0,32 %
* Higroscopicidad	6,85 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,7 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
5 A	2,7 kg	SI	15 seg
13 B*	1,4 kg	SI	

Precio 85 pts/kg

POLVO EXTINTOR ABC

Muestra P4

Propiedades físicas

* Superficie específica	3062 cm ² /gr
* Densidad	1,98 gr/cm ³
* Peso específico aparente	0,93 gr/cm ³
* Peso específico por golpeo	1,2 gr/cm ³
* Movilidad	31,6 gr/seg
* Granulometría	99,9%/44,3%/11 %
* Humedad:	0,9 %
* Higroscopicidad	4,9 %
* Estabilidad bajo presión de gas .	99,9 %

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
5 A	2,45 kg	NO	---
13 B*	1,3 kg	SI	

Precio 90 pts/kg

3.3. ESPUMOGENO

Muestra E1

Propiedades físicas

* Concentración	3 %
* Densidad	1,01
* pH	7,7
* Viscosidad	(20°C) 13,4 cPo
* Expansión	1260
* Tiempo drenaje (25 %)	9 min.

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
89 B*	FUEGO	DEBAJO DE LA ESPUMA	

Precio 275 pts/l

ESPUMOGENO

Muestra E2

Propiedades físicas

* Concentración	3 %
* Densidad	1,02
* pH	7,72
* Viscosidad	(20°C) 14,5 cPo
* Expansión	1170
* Tiempo drenaje (25 %)	6 min.

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
89 B*	FUEGO	DEBAJO DE LA ESPUMA	

Precio 300 pts/1

3.4. AFFF

Muestra Al

Propiedades físicas

* Concentración	6 %
* Densidad	1,008
* pH	7,9
* Viscosidad	(20°C) 6 cPo
* Tensión superficial	15 dinas/cm
* Tensión interfacial	2,5 dinas/cm

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
89 B*	6,3 kg	SI	10 seg

Precio 420 pts/l

AFFF

Muestra A2

Propiedades físicas

* Concentración	3 %
* Densidad	1,015
* pH	8
* Viscosidad	1200 cP
* Tensión superficial	21,5 dinas/cm
* Tensión interfacial	1,7 dinas/cm

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
89 B*	3,1 kg	SI	10 seg

Precio 780 pts/l

AFFF

Muestra A3

Propiedades físicas

* Concentración	6 %
* Densidad	1,01
* pH	8,1
* Viscosidad	(20 ^o C) 2 cPo
* Tensión superficial	17 dinas/cm
* Tensión interfacial	5 dinas/cm

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
89 B*	9,7 kg	SI	8 seg

Precio 467 pts/l

FFFF

Muestra A4

Propiedades físicas

* Concentración	3 %
* Densidad	1,02
* pH	8,3
* Viscosidad	(20°C) 4 cPo
* Tensión superficial	16,7 dinas/cm
* Tensión interfacial	5 dinas/cm

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCIÓN TOTAL	TIEMPO
89 B*	3 kg	SI	10 seg

Precio 890 pts/l

AFFF

Muestra A5

Propiedades físicas

* Concentración	3 %
* Densidad	1,01
* pH	8,3
* Viscosidad	2290 cP
* Tensión superficial	17 dinas/cm
* Tensión interfacial	5 dinas/cm

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
89 B*	2,8 kg	SI	8 seg

Precio 807 pts/l

3.5 HALON

Halón 1211

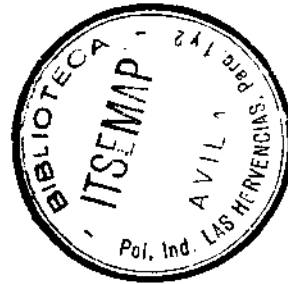
Propiedad

* Masa molecular relativa	165,38
* Punto de ebullición a 1,013 bar. °C	- 4,0
* Punto de congelación, °C	- 160,5
* Temperatura crítica, °C	153,8
* Presión crítica, bar	42,06
* Volumen crítico, m ³ /kg	0,001 41
* Masa volumétrica crítica, kg/m ³ ..	713
* Tensión de vapor	
a 20°C, bar	2,53
a 60°C, bar	7,20
* Masa volumétrica del líquido a 20°C, kg/m ³	1830
* Masa volumétrica del vapor saturado a 20°C, kg/m ³	17,4
* Volumen específico del vapor sobrecalentado a 1,013 bar y 20°C, m ³ /kg	0,145

Ensayos de fuego

TIPO	CANTIDAD	EXTINCION TOTAL	TIEMPO
8 A	5 kg	SI	---
5 A	3 kg	SI	9,6 seg
3 A	2,4 kg	SI	7,6 seg
55 B	5 kg	SI	---
34 B	3 kg	SI	9,6 seg
13 B	2,4 kg	SI	7,6 seg

Precio 465 pts/kg



3.5 HALON

Halón 1301

Propiedad

* Masa molecular relativa	148,93
* Punto de ebullición a 1,013 bar. °C	- 57,8
* Punto de congelación, °C	- 168,0
* Temperatura crítica, °C	67,0
* Presión crítica, bar	39,6
* Volumen crítico, m ³ /kg	0,001 34
* Masa volumétrica crítica, kg/m ³ ..	745
* Tensión de vapor	
a 20°C, bar	14,63
a 60°C, bar	34,58
* Masa volumétrica del líquido a 20°C, kg/m ³	1575
* Masa volumétrica del vapor saturado a 20°C, kg/m ³	115,6
* Volumen específico del vapor sobrecalentado a 1,013 bar y 20°C, m ³ /kg	0,159

Precio 775 pts/kg

4. ESTUDIO DE SELECCION DE ALTERNATIVAS

4.1. INTRODUCCION

Para comprender cual es el objetivo de este estudio, hay que tener presente la diferencia que existe entre EFICACIA Y EFICIENCIA:

* Eficacia es el logro de los objetivos.

* Eficiencia es la relación entre la eficacia y el consumo de recursos que requiere.

La finalidad de este trabajo es determinar qué agente extintor es el óptimo para cada necesidad de protección contra incendios. Debido a la complejidad de los distintos puntos de vista que influyen en esta elección, se han utilizado los métodos multicriterio que nos faciliten este trabajo.

Los métodos multicriterio tienen su fundamento en dos premisas básicas:

- a) Se está en presencia de un conjunto de productos previamente definido y reunido, para la selección de uno entre todos ellos.
- b) Se desea que esta selección sea de manera tal, que revele el objetivo más satisfactorio desde la mayoría de los puntos de vista, criterios o factores, no reducibles a uno solo de importancia diferente, sabiendo que, por cada uno de estos factores, se puede juzgar, apreciar y distinguir cada objeto.

El problema fundamental que surge en la aplicación de un multicriterio, es la autoridad de puntos de vista que una evaluación incluye, y la dificultad de manejarlos adecuadamente, aun en el supuesto de su correcta evaluación y ponderación.

Asimismo, hay que interpretar la aparición de máximos y mínimos que en la mayoría de los casos habrá que desestimar por no ser representativos.

4.2. METODO DE LA SUMA PONDERADA

Cuando se pretendan evaluar distintos productos desde unos mismos puntos de vista, el método de la suma ponderada permitirá determinar el óptimo de forma clara y sencilla.

* Metodología a seguir

Consiste en asignar una cierta nota o codificación a cada producto, desde cada punto de vista. Como todos los puntos de vista no tienen la misma importancia, se asigna a cada uno de ellos un cierto peso, que lo califique y eventualmente lo distinga de los demás.

Para seleccionar la mejor alternativa se realiza la suma de los productos de cada nota por el peso del punto de vista respectivo. Aquel objeto cuya suma ponderada alcance mayor valor, será el seleccionado.

4.3. METODO ELECTRE

Al determinar qué agente es el óptimo para un determinado incendio, son muchos y de naturaleza muy diferenciada, los factores que inciden en la elección, por lo que se necesita un auténtico multicriterio que nos posibilite seleccionar el mejor agente para cada tipo de incendio. Actualmente el método multicriterio más completo que existe, es el método ELECTRE que se describe a continuación.

El nombre elegido para su manejo, ELECTRE, no tiene nada que ver con la metodología que le es propia y se escogió únicamente como abreviatura de "Elimination et choix traduisant la réalité", ya que está formado por las letras iniciales de las distintas palabras y por la final de la última de ellas. La traducción literal "Eliminación y afección traduciendo la realidad", refleja claramente los fundamentos del método.

El ELECTRE parte del postulado elemental de que un objeto es el mejor, dentro de un conjunto, cuando es superior a todos los demás desde todos los puntos de vista, y es bueno cuando es superior a los demás desde el mayor número de puntos de vista.

Es evidente que si dentro de un conjunto un objeto es superior a los demás, desde todos los puntos de vista, no tiene sentido aplicar ningún método para seleccionar el mejor, puesto que ya estaríamos en presencia de él.

Por otro lado una comparación global entre todos los objetos del conjunto es imposible, por la complejidad que ello supone. Sin embargo, es claro que la comparación se facilita mucho, sin la posibilidad de incurrir en errores, si la establecemos entre cada dos objetos del conjunto.

Efectivamente, al comparar dos objetos A y B, desde distintos puntos de vista, encontraremos que difícilmente sucederá que A sea superior a B desde todos los puntos de vista. Habitualmente A será superior a B desde algunos puntos de vista, A será equivalente a B desde otros y A será inferior a B respecto de un tercer grupo de puntos de vista.

En estas condiciones diremos que A domina a B, cuando A sea, al menos, tan bueno como B respecto de muchos puntos de vista y no sea muy malo respecto de B desde los restantes.

* Procedimiento

A partir de estas precisiones estaremos en condiciones de fijar el procedimiento a seguir, recordando que la importancia de todos los puntos de vista difícilmente será igual, por lo que habrá que asignar a cada uno un determinado peso, una valoración de acuerdo con esa importancia.

Por otro lado, se procederá a la valoración de cada objeto desde cada uno de los puntos de vista, asignándoles también a cada uno la correspondiente nota o calificación.

Una particularidad del método ELECTRE es que las escalas utilizadas para valorar las notas no tienen por qué ser únicas para todos los puntos de vista, pudiendo adaptarse para cada uno de ellos, la que se considere más conveniente, sin menoscabo del método.

En estas condiciones, el funcionamiento del método se basa en el establecimiento de dos índices: el de concordancia y el de discordancia.

INDICE DE CONCORDANCIA

Para considerar el caso en que un agente tenga un caso respecto a algún punto de vista, se ha utilizado un nuevo índice de concordancia igual a:

$$\frac{\sum \text{Pesos donde A domina a B} + \sum \text{Pesos donde B tiene un cero} - \sum \text{Pesos donde A tiene un cero}}{\sum \text{Pesos} + \sum \text{Pesos donde B tiene un cero}}$$

Definiremos como índice de concordancia, en la hipótesis de que A domine a B, el resultado de dividir la suma de los pesos correspondientes a los puntos de vista que verifican que efectivamente A domina a B, por la suma de los pesos correspondientes a todos los puntos de vista. Así se obtienen siempre cantidades entre 0 y 1, cómodas de utilizar y que materializan este índice.

La utilización de los pesos en el establecimiento del índice de concordancia suponen incluir la lógica ponderación de los distintos puntos de vista en la evaluación.

La obtención de todos los índices de concordancia, comparando dos a dos todos los objetos, permite formar una matriz en la que, tanto filas como columnas, están encabezadas por los objetos del conjunto, y los respectivos índices de concordancia aparecen en cada intersección. Lógicamente la diagonal principal de esta matriz aparecerá en blanco.

INDICES DE DISCORDANCIA

La discordancia se pondrá de manifiesto en todos aquellos casos en que, fijada la hipótesis A domina B, ésta no se cumpla desde algunos puntos de vista.

El índice de discordancia vendrá dado por el resultado de dividir la máxima diferencia entre las notas correspondientes a los puntos de vista que no cumplen la hipótesis, por el máximo valor de la escala utilizada para dichas notas. Así obtendremos un primer índice de discordancia.

Si efectuamos la misma operación con el siguiente valor de la diferencia, más próximo al máximo anterior, podemos obtener un segundo índice de discordancia. Y de la misma forma podríamos obtener un tercero, cuarto índice, etc.

Utilizando nuevamente los objetos como cabecera de filas y columnas, podemos formar distintas matrices de discordancia, para el primer índice, para el segundo, etc ($s = 1, 2$ etc).

La comparación de los n objetos de conjunto, dos a dos, permite establecer $n-1$ relaciones y, en consecuencia, $2(n-1)$ índices de comparación que son los que se pueden recoger en cada matriz.

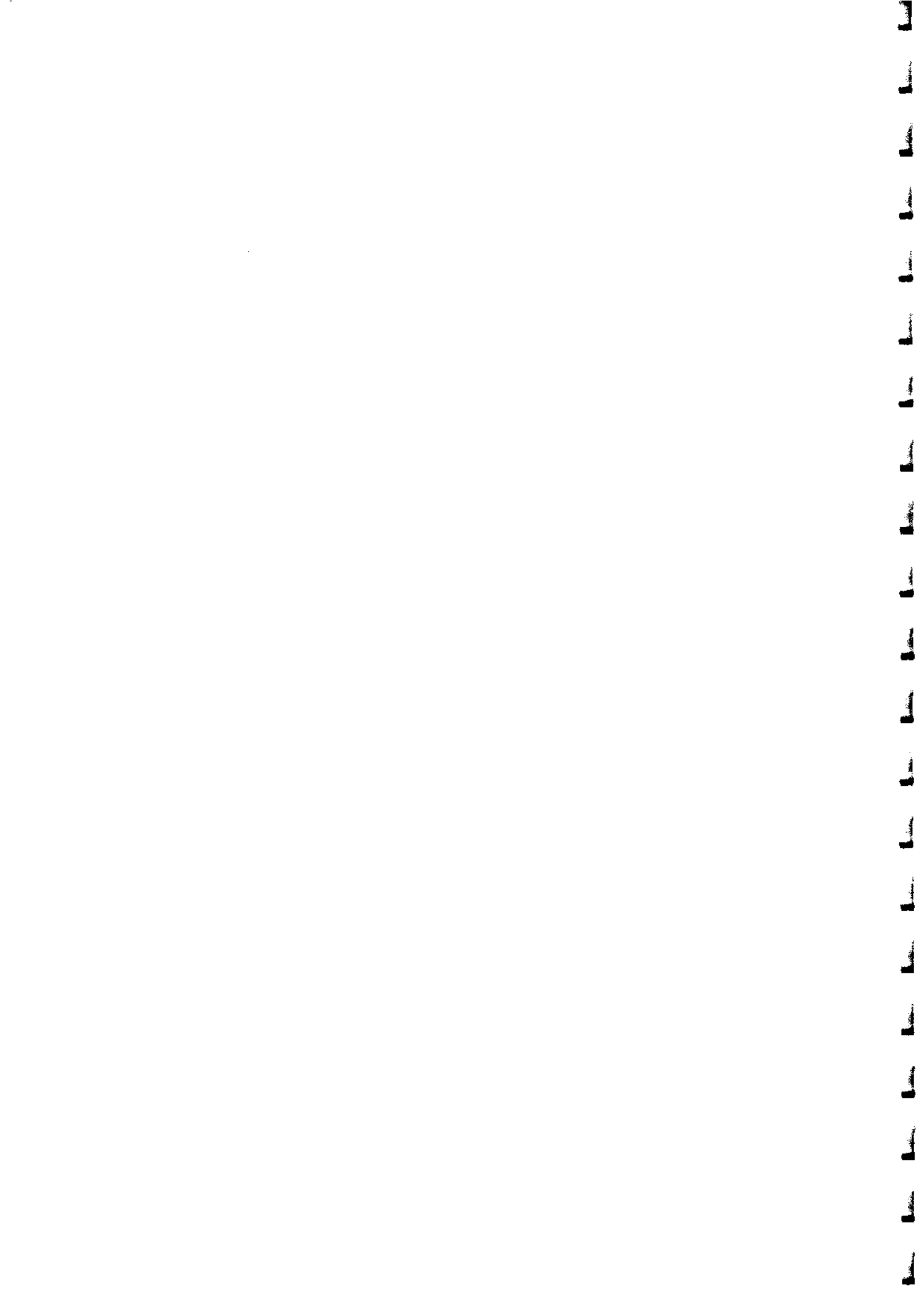
UMBRALES DE CONCORDANCIA Y DISCORDANCIA

Definidos los índices de concordancia y de discordancia y establecidas las matrices correspondientes, hay que fijar los que se denominan umbrales de concordancia y discordancia, representados habitualmente por las letras p y q .

Fijados unos valores para p y q , se decidirá que la hipótesis A domina a B es verdadera y aceptable, si el índice de concordancia correspondiente es superior a p , y el de discordancia inferior a q . Con ello se verificará que A es superior o igual a B respecto muchos puntos de vista, e inferior en pocos.

Variando los valores asignados a p y q , y comparando cada matriz de concordancia con las de discordancia, es posible seleccionar aquellos índices de concordancia superiores al umbral p fijado, y los de discordancia inferiores al umbral q . Aquellas relaciones entre cada dos objetos cuyos índices, tanto de concordancia como de discordancia, cumplan la doble condición de ser superiores a p e inferiores a q permitirán establecer distintos circuitos de conexión entre los objetos, de los que se deduce la situación real de cada uno de ellos con respecto a los demás.

Cuando el número de objetos y de puntos de vista no es elevado, todo este proceso es fácil de realizar y posible de desarrollar manualmente. Si el número de puntos de vista aumenta, la complejidad del proceso crece y es necesario establecer un programa que permita procesar el método con el auxilio de un ordenador.



5. APLICACION DE LOS MULTICRITERIOS A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. APLICACION DE LA SUMA PONDERADA

El método de la suma ponderada se ha utilizado para determinar qué producto es óptimo, dentro de un mismo tipo de agente extintor.

En el caso que hemos estudiado los resultados son poco diferenciados, esto es debido a que todos los productos que se han ensayado son de buena calidad.

Si los ensayos se realizaran con agentes elegidos de forma aleatoria en el mercado, se obtendrían diferencias mayores y se podrían deducir nuevos puntos de vista que faciliten la elección.

Por otra parte, el peso de algunos factores como el precio, puede variar mucho en los casos reales.

En este trabajo se han supuesto unos criterios generales que nos han servido para realizar las siguientes selecciones:

5.1.1. Polvo Extintor BC

AGENTES PUNTOS DE VISTA	A	B	C	D	E	F	PESOS
PRECIO	6	3	5	1	5	5	4
ENSAYO 21E	5	2	4	6	1	1	2
ENSAYO 21F	4	4	6	3	2	5	5
MOVILIDAD Y SUP. ESPEC.	7	4	3	9	2	6	3
HIDROSCOPICIDAD	1	4	2	3	5	2	1
OPACIDAD	7	7	1	7	1	5	2
Σ (puntos de vista)	30	31	24	37	20	35	

AGENTES

- A: MUESTRA N° 1
- B: MUESTRA N° 2
- C: MUESTRA N° 3
- D: MUESTRA N° 4
- E: MUESTRA N° 5
- F: MUESTRA N° 6

El agente elegido ha sido el F, pero existe una mínima diferencia con los agentes A, B y D, esto indica que todos ellos son de buena calidad.

5.1.2. Polvo Extintor ABC

PUNTOS DE VISTA \ AGENTES	AGENTES				PESOS
	A	B	C	D	
PRECIO	5	1	5	4	4
ENSAYO 5A	3	2	4	6	5
ENSAYO 13B	4	6	3	4	5
SUP. ESP.	5	4	4	3	2
GRANULOMETRIA	2	2	6	3	2
HUMEDAD x MOVILIDAD x PESO COLECTIVO	3	2	2	3	1
Σ PUNTAJES	24	18	24	21	

AGENTES

A: MUESTRA P1

B: MUESTRA P2

C: MUESTRA P3

D: MUESTRA P4

El agente elegido ha sido el C, pero ocurre lo mismo que en el caso anterior resultando aceptables otros productos.

5.1.3. Espumógeno AFFF

AGENTES PUNTOS DE VISTA	A	B	C	D	E	PESOS
	PRECIO	7	3	6	2	3
ENSAYO 89B	5	8	2	8	8	5
TENSION SUPERFICIAL	6	8	7	7	7	2
TENSION INTERF.	5	4	6	6	6	1
DIS. POLARES	0	1	0	0	1	2
Σ PONDERADA	70	74	64	68	74	

5.2. APLICACION DEL METODO ELECTRE

Se ha utilizado el Método Electre para determinar el agente extintor óptimo para combatir cualquier tipo de fuego. Para aplicar este multicriterio se ha partido de las siguientes hipótesis:

a) Puntos de vista

Los puntos de vista elegidos, por tratarse de un caso general y ficticio, pueden ser cambiados para cada caso particular.

Estos puntos de vista son:

* Tipos de fuego

- Clase A volumétrico
- Clase A superficial
- Clase B recipiente
- Clase B abierto
- Clase C o B volumétrico
- Recintos confinados superficial
- Recintos confinados volumétrico

* Precio medio del agente

* Almacenamiento. Considerando el coste y el espacio necesario.

* Valor añadido del material protegido.

* Método de calificación

Para calificar los distintos agentes extintores desde cada punto de vista, se ha considerado para todos los productos un mismo precio al que corresponden distintas cantidades de agente.

* Precio de los agentes

A. Polvo extintor BC	60 pts/kg
B. Polvo extintor ABC	90 pts/kg
C. Espumógeno de media -alta expansión	300 pts/l
D. Espumógeno AFFF	800 pts/l
E. Halón 1211	50 pts/kg
F. Halón 1301	800 pts/kg

Si el precio de algún agente extintor cambia, sólomente es necesario cambiar la calificación de ese agente respecto al precio sin tener que modificar el resto de la matriz. Este cambio se realizará con una simple regla de tres.

* Pesos

Los pesos se han determinado con carácter general. En los casos particulares en que se utilice este método multicriterio habrá que ajustar los nuevos pesos que reflejen la situación estudiada.

Hemos supuesto que todos los agentes se encuentran en las mismas condiciones de disponibilidad.

Así, fijados los pasos de los distintos puntos de vista y adoptadas las escalas para calificar los objetos desde cada uno de ellos, puede formarse la siguiente matriz:

	A	B	C	D	E	F		
	P.E. BC	P.E. ABC	ESP. M-A	ESP. APFF	H. 1711	H. 1701	PESOS	ESCALAS
CLASE A - VOLUMETRICO	0	0	10	9	9	1	1	0-10
CLASE A - SUPERFICIAL	9	9	10	9	9	2	2	0-10
CLASE B - RECIPIENTE	9	8	0	9	1	2	1	0-10
CLASE B - ASEPTIC	9	8	0	9	1	1	1	0-10
CLASE C - E VOLUMETRICO	9	8	0	0	1	1	0	0-10
RECINTOS CONFINADOS SUPERFICIAL	8	6	7	1	1	2	1	1-10
RECINTOS CONFINADOS VOLUMETRICO	0	9	9	1	1	1	1	1-10
PRECIO AGENTE	10	11	10	10	10	10	9	8-10
ADMINISTRACION	7	7	7					0-1
VALOR ANADICION	4	5	5	7	10	10	4	0-10

A partir de ella determinaremos los índices de concordancia y discordancia, estableciendo sus respectivas matrices.

Compararemos dos a dos los objetos y estableceremos la matriz de concordancia.

M A T R I Z D E C O N C O R D A N C I A

	A	B	C	D	E	F
A	1,00	0,65	0,37	0,62	0,63	0,65
B	0,35	1,00	0,27	0,37	0,35	0,32
C	0,63	0,73	1,00	0,74	0,74	0,74
D	0,38	0,37	0,26	1,00	0,53	0,6
E	0,37	0,37	0,37	0,57	1,00	0,6
F	0,37	0,77	0,37	0,57	0,63	1,00

A continuación volveremos a efectuar la comparación para establecer ahora los índices de discordancia y sus matrices correspondientes.

MATRICES DE DISCORDANCIA

le	A	B	C	D	E	F
A		0,2	0,9	0,9	0,8	0,8
B	0,9		0,8	0,8	0,9	0,9
C	0,9	0,8		0,6	0,6	0,8
D	0,8	0,8	0,6		0,8	0,7
E	0,8	0,9	0,6	0,8		0,8
F	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	

le	A	B	C	D	E	F
A		0,2	0,9	0,9	0,7	0,8
B	0,9		0,8	0,8	0,9	0,9
C	0,9	0,8		0,6	0,6	0,8
D	0,8	0,8	0,6		0,8	0,7
E	0,8	0,9	0,6	0,8		0,8
F	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	

3a	A	B	C	D	E	F
A		0,1	0,9	0,3	0,7	0,8
B	0,1		0,8	0,7	0,6	0,7
C	0,3	0,1		0,1	0,5	0,6
D	0,2	0	0,2		0,4	0,5
E	0,1	0	0,2	0,3		0,1
F	0,2	0	0,1	0,3	0	

3b	A	B	C	D	E	F
A		0,1	0,8	0,8	0,8	0,7
B	0		0,8	0,4	0,8	0,7
C	0,1	0		0,1	0,8	0,4
D	0	0	0		0,4	0,8
E	0	0	0,2	0,1		0,1
F	0	0	0,1	0,1	0	

5a	A	B	C	D	E	F
A		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6
B	0		0,3	0,2	0,5	0,7
C	0	0		0	0	0
D	0	0	0		0,2	0,2
E	0	0	0,1	0		0,1
F	0	0	0,1	0	0	

5b	A	B	C	D	E	F
A		0	0	0	0	0
B	0		0,1	0,2	0,4	0,7
C	0	0		0	0	0
D	0	0	0		0	0
E	0	0	0	0		0
F	0	0	0	0	0	

7a	A	B	C	D	F	F
A		0	0	0	0	0
B	0		0	0	0,4	0,5
C	0	0		0	0	0
D	0	0	0		0	0
E	0	0	0	0		0
F	0	0	0	0	0	

Ahora estamos ya en condiciones de establecer los criterios de relación entre los objetos, fijando los umbrales de concordancia y discordancia y variando sus valores.

Si fijamos:

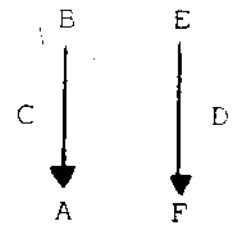
$$p = 0,65$$

$$q = 0,2$$

marcaremos en la matriz con un (*) los índices iguales o superiores a 0,65 y con un (.) los iguales o inferiores a 0,2, obteniendo así una serie de relaciones entre los distintos objetos cuyos índices son, a la vez, mayores o iguales que el umbral de concordancia e iguales o menores que el umbral de discordancia.

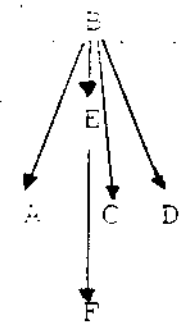
$p=0,65$
 $q=0,2$
 $s=1$

	A	B	C	D	E	F
A		*			*	*
B						
C		*		*	*	*
D		*				
E		*				
F		*			*	



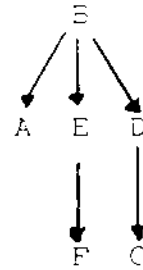
$p=0,65$
 $q=0,2$
 $s=2$

	A	B	C	D	E	F
A		*			*	*
B						
C		*		*	*	*
D		*				
E		*				
F	.	*			*	



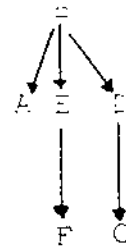
$p=0,65$
 $q=0,2$
 $s=3$

	A	B	C	D	E	F
A		*			*	*
B	*					
C		*		*	*	*
D	.	*	.			
E	.	*	.			.
F	.	*	.	.	*	.



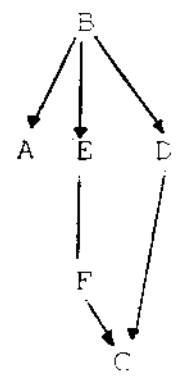
$p=0,65$
 $q=0,2$
 $s=4$

	A	B	C	D	E	F
A		*			*	*
B	.					
C	.	*		*	*	*
D	.	*	.			
E	.	*	.	.		.
F	.	*	.	.	*	.



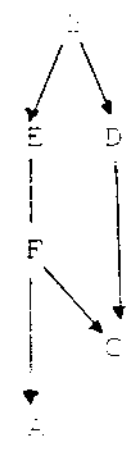
$p=0,65$
 $q=0,2$
 $s=5$

	A	B	C	D	E	F
A		*	.		*	*
B	.			.		
C	.	*	.	*	*	*
D	.	*	.		.	.
E	.	*	.	.		.
F	.	*	.	.	*	.



$p=0,65$
 $q=0,2$
 $s=6$

	A	B	C	D	E	F
A		*	.	.	*	*
B	.		.	.		
C	.	*	.	*	*	*
D	.	*	.		.	.
E	.	*	.	.		.
F	.	*	.	.	*	.



$p=0,65$
 $q=0,2$
 $s=7$

	A	B	C	D	E	F
A		*	.	.	*	*
B	.		.	.		
C	.	*		*	*	*
D	.	*	.		.	.
E	.	*	.	.		.
F	.	*	.	.	*	.



Y podemos establecer como resultado de todas las relaciones obtenidas en los distintos circuitos que el Agente B (polvo extintor ABC) será el seleccionado desde la mayoría de los puntos de vista.

En cualquier caso hay que considerar que este caso estudiado es particular y que en otros casos reales cambiarán los pesos de los distintos puntos de vista, lo que puede dar como resultado otro agente extintor distinto.

6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Del estudio realizado se han obtenido dos tipos de conclusiones, unas de carácter general y otras particulares de los agentes estudiados.

6.1. CONCLUSIONES GENERALES

- * El desarrollo de este trabajo exige el estudio de una Normativa que se presenta todavía incompleta, confusa y sin actualizar en algunos casos.

Así, para el ensayo de superficie específica, la Norma UNE 23-602-81 hace referencia a B.O.E. número 206 de 28-8-1975, esta documentación se consultó en el INCE (Avila) llegando a la conclusión de que la referencia incluida en la Norma no es correcta.

Del mismo modo en el estudio de las propiedades físicas de espumas, la norma UNE se centra en la espuma proteínica sin atender aún a otros tipos de espuma con mayor actualidad y de mejores características, como es el caso de la espuma AFFF.

- * Por otra parte, este estudio se ha realizado con productos extintores de buena calidad; esto ha supuesto una ventaja en el análisis comparativo de los distintos tipos de agentes extintores (Método ELECTRE). Sin embargo, para la determinación del agente óptimo entre los de un mismo tipo se han obtenido unas diferencias muy pequeñas que difícilmente reflejan una elección única, lo que, por otra parte, se asemeja a la realidad existente en el mercado de los buenos productos.
- * La determinación del agente más eficiente se ha realizado basando los ensayos de fuego en los Tipo A y Tipo B (que contempla la Norma UNE) y B* específico del estudio.

Para obtener unos resultados más significativos se pueden realizar otros ensayos con fuego que reflejen las particularidades de tipos reales de incendio, pero siempre tendremos las restricciones de un ensayo de laboratorio comentados en el apartado 2.1.

- * El estudio realizado en laboratorio ha permitido, además de confirmar propiedades ya conocidas de los agentes extintores, establecer unos criterios de presunción del comportamiento de cada uno de ellos, según sus características, creando unos "ratios" resultantes de productos o cocientes de valores de las magnitudes físicas de los agentes extintores, que representan a su vez propiedades no establecidas normalmente, pero que tienen una influencia importante en la efectividad.

Dichos "ratios" pueden resultar más significativos que las propiedades físicas aisladas, que en muchos casos presentan simplemente un intervalo de aceptabilidad, dentro del cual tendrán un comportamiento suficientemente bueno, pero cuya adecuación a un fuego de un tipo concreto dependerá de otras propiedades. Este puede ser el caso de la superficie específica del polvo, en la que se obtendrán valores muy similares para un agente de alta densidad y grano fino y para otro de baja densidad y grano grueso.

- * Con un adecuado tratamiento de dichos "ratios" se puede llegar a la determinación de una relación causa - efecto acertada para la presunción del comportamiento del agente en un fuego concreto.

* Multicriterios utilizados

En los multicriterios utilizados se ha distinguido claramente entre un método sencillo de aplicación y con un sistema adecuado a comparar distintos agentes del mismo tipo, y un método algo más complicado (Método ELECTRE) que posibilita el comparar agentes muy distintos frente a gran variedad de puntos de vista.

En cualquiera de los dos casos el éxito de la elección radica en la base que se posea para realizar la valoración y el peso adecuado. Ello depende, por una parte, del número y tipo de los ensayos efectuados, y por otra, de una eficaz segregación de los efectos o cualidades buscados.

* Continuidad del estudio

No se ha pretendido realizar un estudio del mercado, labor de gran envergadura y alto coste, sino un doble objetivo que puede ser completado en cada una de sus vertientes.

- Por una parte, la elaboración de una metodología de ensayos y análisis para poder juzgar de una forma amplia la influencia de las diversas propiedades en el comportamiento de los agentes extintores frente a fuegos de diverso tipo. Esta labor puede completarse mediante el análisis de mayor cantidad de agentes de diversas calidades que permita establecer un criterio estadístico fundamentado, que supere la observación de laboratorio.
- Por otra parte, la obtención de unos resultados que nos permitan clasificar una serie de agentes extintores de buena calidad, en función de unos requisitos que juzgamos como generales en la extinción de incendios. A su vez puede completarse con una valoración que interprete un caso específico de protección contra incendios.

6.2. CONCLUSIONES PARTICULARES

El estudio permite obtener una serie de conclusiones que corroboran, como era de esperar, las expectativas de utilización de los distintos agentes y las preferencias de unos agentes que poseen ciertas propiedades frente a otros que no las tienen.

Además, se desprenden otras conclusiones no tan evidentes, y que en cierto sentido, pueden corresponder a una valoración específica originada por una orientación considerada como la más general.

* Preferencia de agentes

El Método ELECTRE nos muestra una preferencia generalizada pero débil del polvo polivalente (ABC) sobre el polvo seco (BC), fundamentada en un índice de concordancia justo en el límite que hemos propuesto (preferencia débil), pero con índices de discordancia prácticamente nulos (preferencia generalizada).

De la misma manera nos encontramos una preferencia fuerte y generalizada del Halón 1211 sobre el Halón 1301, basada sobre todo en el coste, y que en la realidad se articula en la utilización básica del Halón 1301 en sistemas fijos.

Desde gran parte de puntos de vista (índices de orden 2) nos vamos a encontrar una preferencia del Polvo Polivalente (ABC) sobre los halones, por un lado, y las espumas, por otro, dominando en éstas la AFFF, pero sin establecer preferencias entre espumas y halones, salvo desde puntos de vista muy reducidos (índices de orden 5).

* Polvo Extintor BC

Dos de las muestras ensayadas tienen un comportamiento frente al fuego bastante inferior a los demás, coincidiendo con los menores valores del ratio "movilidad x superficie específica". Uno de ellos tuvo un comportamiento especialmente deficiente, y corresponde al valor de mínima higroscopicidad, que se ha valorado de forma positiva de cara a su almacenamiento, pero que puede ser inconveniente en una extinción.

* Polvo Extintor ABC

El comportamiento más deficiente ha coincidido con la superficie específica más baja, y de nuevo con la higroscopicidad más baja. Parece pues, indicado establecer un ratio que no prime la baja higroscopicidad, sino que la relacione con la movilidad y la propia humedad de la muestra con la que se ha realizado el ensayo de movilidad.

* Espuma de media y alta expansión

Se utiliza básicamente en sistemas de inundación. Sus propiedades básicas son su estabilidad (tiempo de drenaje alto) y la estabilidad física y química del espumógeno que la origina.

* Espuma AFFF

La tensión superficial, que originará el sellado de la superficie del combustible líquido, es la propiedad básica de estas espumas. Asimismo es fundamental la correcta dosificación del espumógeno con el agua.

7. BIBLIOGRAFIA

- * PASCUAL PONS, Manuel. Tecnología del fuego.
Barcelona, Ed. Pascual Pons, 1977.

- * TWE, Richard L.; Principles of Fire Protection Chemistry.
Boston, N.F.P.A., 1979.

- * N.F.P.A.: Manual de Protección contra Incendios.
Madrid, Ed. Mapfre, 1980.

- * CURSOS DE CEPREVEN:
 - A) Medios de Protección y Lucha contra Incendios.
Sr. D. José de la Gándara.

 - B) Instalaciones fijas de Polvo, CO2 y Halón.
Sr. D. Ramón Lara Gómez.

 - C) Normalización. Normativa Nacional e Internacional en el Campo del Fuego.
Sr. D. Tomás de la Rosa.

- * Catálogos y hojas de características de distintos agentes extintores proporcionados por empresas fabricantes y comercializadoras.

