



CEIS
GUADALAJARA

Manual de incendios

FORMACIÓN
PARA BOMBEROS



Manual de incendios



DIRECCIÓN GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
Y EMERGENCIAS



Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.



COORDINADORES DE LA COLECCIÓN

Agustín de la Herrán Souto, Oficial-Jefe de Servicio del CEIS Guadalajara, Master en Gestión de Emergencias.

José Carlos Martínez Collado, Tec. Sup. de la Subdirección de Internacional del Grupo Tragsa, Master en Gestión de Emergencias

Alejandro Cabrera Ayllón, Jefe de Departamento de Emergencias de Grupo Tragsa, Master en Gestión de Emergencias

AUTORES

Parte 1. Teoría del fuego

Pablo Andrés Hitado Escudero

Parte 2. Hidráulica

CEIS Guadalajara

Parte 3. Incendios de interior. Ventilación de incendios

Arturo Arnalich Castañeda

Colaborador: **Juan Luis Ayuso Blas**

Parte 4. Incendios en túneles

Juan Carlos Muñoz Matías

Parte 5. Incendios industriales

Rubén Barbero Cerrada

Parte 6. Incendios de vegetación

CEIS Guadalajara

Colaborador: **Javier Ruiz Duarte**

APOYO A LA COORDINACIÓN

César Izquierdo Hernando

José Alfonso Berzosa Roque

Arturo Arnalich Castañeda

Iván Espinosa García

FOTÓGRAFO DE LA COLECCIÓN

Luis Cerdeira Estirado

MAQUETADOR DE LA COLECCIÓN

Guillermo Velasco Navarro

TRATAMIENTO PEDAGÓGICO, DISEÑO Y PRODUCCIÓN

Griker Orgemer

Prólogo del Director General de Protección Civil y Emergencias

Esta colección de manuales para la formación de bomberos ve la luz el mismo año que se ha aprobado la Ley del Sistema Nacional de Protección Civil, que hace especial hincapié en el valor de la formación para conformar una auténtica respuesta integral y sistémica de la sociedad a las emergencias y catástrofes. Esta norma pretende establecer los pilares básicos de actuación para superar definitivamente viejos modelos de atención y socorro eventual de las calamidades. Uno de ellos es la adecuada capacitación de todos los componentes de los servicios públicos que intervienen en todas las fases de la emergencia, entre los que se reconoce el lugar principal que ocupan y han ocupado siempre los bomberos. La formación posibilita a medio y largo plazo que las intervenciones de los múltiples servicios que componen el complejo sistema de protección civil se hagan con la calidad y eficiencia que exigen las expectativas ciudadanas.

Es un trabajo ambicioso el que ahora se presenta, que se alinea con el objetivo legal antedicho. Es para mí una gran satisfacción reconocerlo y encomiarlo y por ello agradezco a TRAGSA y al CEIS Guadalajara la posibilidad que me dan para hacerlo en este prólogo.

Los incendios de todo tipo constituyen uno de los riesgos más lacerantes para la sociedad en todas las épocas, y, por supuesto, en la actual. La necesidad de mitigar sus efectos ha estado ligada al origen de las políticas públicas de protección ciudadana, que descansaron inicialmente en los cuerpos de bomberos como instrumento esencial para llevarlas a cabo. Han empleado desde hace dos siglos técnicas adaptadas al desarrollo de las Administraciones Públicas y de las empresas y se han apoyado en la tecnología disponible en cada momento. Su “talento profesional” es complejo y cambiante y exige cada vez más, por tanto, aportes de las ciencias y la tecnología y, esencialmente, una transferencia de conocimientos permanente de una a otras generaciones. Esta edición responde a esta ambición, que quiero señalar con estas breves palabras.

Los bomberos tienen en estos manuales una cuidada edición con contenidos que afectan a toda su profesión, incluidos los relativos a su mantenimiento físico y a la prevención de emergencias, tan necesarios en el ejercicio muchas veces arriesgado de sus funciones. Y la preparación de los mandos intermedios, tantas veces postergada, tiene en un manual específico una guía solvente para su formación. Técnica y didácticamente el nivel que despliegan estos manuales es muy destacable y van a contribuir, sin duda, a la convergencia de la formación de estos cuerpos, tan dispersa en el pasado. Este tipo de iniciativas contribuye a la consolidación del Sistema Nacional de Protección Civil.

Juan Antonio Díaz Cruz

Prólogo de los coordinadores de la colección

Hemos de reconocer que, cuando dimos comienzo a este trabajo, no teníamos una idea clara de la verdadera dimensión que llegaría a alcanzar. Ha sido a su finalización, un año después, cuando se ha puesto de manifiesto el gran empeño colectivo que ha supuesto su ejecución. Así, un trabajo que en su origen no anticipaba tal envergadura, ha terminado convirtiéndose en una importante colección de manuales que totaliza cerca de dos mil quinientas páginas compuestas por aproximadamente un millón y medio de palabras y siete mil recursos gráficos entre fotografías, esquemas e ilustraciones, donde se tratan gran parte de las materias que son de interés en la formación de un bombero.

Para poder acometer con éxito este empeño, ha sido necesaria la participación de un colectivo formado por más de sesenta profesionales repartidos principalmente entre la empresa Griker Orgemer, el Consorcio Provincial de Bomberos de Guadalajara (CEIS Guadalajara), la Gerencia de Emergencias del Servicio de Salud de Castilla La Mancha y TRAGSA. Es precisamente en este equipo multidisciplinar de profesionales en los que, en última instancia, reside la mayor parte del mérito de este trabajo; nuestro reconocimiento a todos y cada uno de ellos.

Nuestra esperanza es que este esfuerzo sea realmente de utilidad en la unificación de la profesión del bombero, contribuyendo de este modo - junto a otras iniciativas actuales y de ámbito nacional- a sentar las bases de sistemas de trabajo compartidos, esenciales en un colectivo tan atomizado como éste.

Es por lo anterior que este proyecto se planteó desde su inicio al margen de cualquier motivación económica, se explica así el tipo de licencia bajo el que quedan amparados los manuales y que, en la práctica, permite compartir libremente los materiales que constituyen la colección editada.

Creemos que esta libre difusión puede ayudar a lograr nuestro objetivo principal: que estos manuales sean, en realidad, el primer paso hacia un esfuerzo colectivo de creación y normalización, facilitando así el nacimiento de una obra viva, que tenga continuación a futuro con nuevas revisiones y contenidos. Es nuestro deseo que a este esfuerzo se puedan unir otros muchos profesionales ilusionados, como nosotros, en la creación de una obra de referencia en el ámbito del colectivo de bomberos.

Reconocemos y agradecemos el apoyo mostrado por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias a la difusión de esta obra, no nos cabe duda que esta iniciativa dota de mayor entidad a este esfuerzo colectivo y contribuye a la génesis de este tipo de proyectos.

Son muchas las personas que con su dedicación, conocimientos y experiencia han contribuido a hacer realidad esta obra. En particular, deseamos hacer mención a José Carlos Baeza y Julián Montero por el apoyo permanente que nos han brindado. Por último, y muy especialmente, deseamos expresar nuestro agradecimiento a Alfredo García Miravete, por crear los cimientos que han posibilitado este proyecto.

ÍNDICE

PARTE 1

TEORÍA DEL FUEGO

Capítulo 1. Caracterización

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Conceptos básicos | 20 |
| 1.1. | Composición de la materia | 20 |
| 1.2. | Reacciones | 21 |
| 2. | Teoría del fuego | 22 |
| 2.1. | Definición y normativa | 22 |
| 2.2. | Reacciones endotérmicas y exotérmicas | 23 |
| 2.3. | Reacción redox | 23 |
| 3. | Combustiones | 24 |
| 3.1. | Definición y normativa aplicada | 24 |
| 3.2. | Tipos de combustiones | 25 |
| 3.3. | Productos de la combustión | 25 |
| 4. | ¿Qué es un fuego y qué es un incendio? | 34 |
| 5. | Triángulo y tetraedro del Fuego | 34 |
| 5.1. | Combustible | 35 |
| 5.2. | Comburente | 37 |
| 5.3. | Energía de Activación. Calor | 37 |
| 5.4. | Reacción en cadena | 38 |
| 5.5. | Agentes Pasivos | 38 |
| 6. | Tipos de incendios | 39 |
| 6.1. | Según la naturaleza del combustible | 39 |
| 6.2. | Por la forma del foco de incendio | 40 |
| 6.3. | Por la superficie afectada | 40 |
| 6.4. | Por la forma en que se desarrollan | 41 |
| 6.5. | Según el lugar donde se desarrollan | 42 |
| 6.6. | Por magnitud | 43 |
| 7. | Evolución de los Incendios | 43 |
| 7.1. | Inicio | 43 |
| 7.2. | Desarrollo | 43 |
| 7.3. | Propagación | 43 |
| 7.4. | Extinción | 43 |
| 8. | Trasmisión de los incendios | 43 |
| 8.1. | Conducción | 44 |
| 8.2. | Convección | 44 |
| 8.3. | Radiación | 45 |

Capítulo 2. Técnicas

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Mecanismos de Extinción | 48 |
| 1.1. | Desalimentación o eliminación del combustible | 48 |
| 1.2. | Sofocación o eliminación del comburente | 48 |
| 1.3. | Enfriamiento | 48 |
| 1.4. | Inhibición o rotura de la reacción en cadena | 49 |
| 2. | Agentes Extintores | 49 |
| 2.1. | Definición y características | 49 |
| 2.2. | Agentes extintores líquidos | 49 |
| 2.3. | Agentes extintores sólidos (características y mecanismos de extinción) | 52 |
| 2.4. | Agentes extintores gaseosos (características y mecanismos de extinción) | 54 |
| 3. | Aplicaciones, usos, ventajas e inconvenientes de los Agentes Extintores | 55 |
| 3.1. | Agua | 55 |
| 3.2. | Espumas | 56 |
| 3.3. | Agentes extintores sólidos | 57 |
| 3.4. | Agentes extintores gaseosos | 57 |

Conviene recordar



PARTE 2

HIDRÁULICA

Capítulo 1. Caracterización

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Propiedades de los fluidos | 64 |
| 1.1. | Masa | 64 |
| 1.2. | Densidad | 64 |
| 1.3. | Peso específico | 64 |
| 1.4. | Densidad relativa y peso específico relativo | 64 |
| 1.5. | Viscosidad | 64 |
| 1.6. | Presión de vapor | 65 |
| 1.7. | Tensión superficial | 66 |
| 2. | Hidrostática..... | 66 |
| 2.1. | Presión..... | 66 |
| 2.2. | Ecuación fundamental de la hidrostática | 67 |
| 2.3. | Principio de Pascal..... | 68 |
| 2.4. | Principio de Arquímedes | 68 |
| 3. | Hidrodinámica..... | 69 |
| 3.1. | Régimen de fluido: régimen laminar y turbulento..... | 69 |
| 3.2. | Caudal..... | 69 |
| 3.3. | Ecuación de Continuidad | 70 |
| 3.4. | Ecuación de Bernoulli | 70 |
| 3.5. | Teorema de Torricelli | 70 |
| 3.6. | Efecto Venturi..... | 71 |
| 3.7. | Golpe de ariete..... | 71 |

Capítulo 2. Técnicas

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Bombas centrífugas..... | 74 |
| 1.1. | Curva característica de una bomba | 74 |
| 1.2. | Aspiración en bombas..... | 75 |
| 1.3. | Cebado de bomba..... | 75 |
| 1.4. | Cavitación | 76 |
| 1.5. | Acoplamiento de bombas..... | 76 |
| 2. | Instalación hidráulica | 77 |
| 2.1. | Pérdidas de carga en una instalación | 77 |
| 2.2. | Curva de una instalación..... | 78 |
| 2.3. | Punto de funcionamiento | 78 |
| 2.4. | Alcance de una instalación | 79 |
| 2.5. | Reacción en lanza..... | 79 |
| 2.6. | Minimización de golpe de ariete..... | 80 |

Conviene recordar

INCENDIOS DE INTERIOR. VENTILACIÓN DE INCENDIOS

Capítulo 1. Caracterización

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Desarrollo de incendios de interior | 87 |
| 1.1. | Desarrollo genérico de un incendio de interior..... | 87 |
| 1.2. | Incendios limitados por el combustible (ILC) | 90 |
| 1.3. | Incendios limitados por la ventilación (ILV) | 90 |
| 1.4. | Diferencias entre ILC e ILV | 91 |
| 1.5. | Flashover | 92 |
| 1.6. | Incendios infraventilados..... | 93 |
| 1.7. | Flashover inducido por la ventilación | 93 |
| 1.8. | Backdraft | 94 |
| 1.9. | Explosión de humo..... | 95 |
| 2. | Influencia del combustible | 95 |
| 2.1. | Poder calorífico | 96 |
| 2.2. | Carga de combustible | 96 |
| 2.3. | Otros factores ligados al combustible | 96 |
| 2.4. | Combustibles tradicionales vs. Combustibles modernos | 97 |
| 3. | Influencia del recinto..... | 98 |
| 3.1. | Incendios de contenido vs. Incendios de estructura | 98 |
| 3.2. | Superficie y altura del recinto | 98 |
| 3.3. | Geometría interna: confinamiento y compartimentación interior..... | 99 |
| 3.4. | Nivel de aislamiento, inercia térmica..... | 99 |
| 4. | Riesgos del trabajo en incendios de interior..... | 99 |
| 4.1. | Inflamabilidad y fenómenos de rápido desarrollo..... | 99 |

PARTE 3

PARTE

3

| | | |
|--|---|-----|
| 4.2. | Calor..... | 100 |
| 4.3. | Toxicidad | 101 |
| 4.4. | Visibilidad | 101 |
| 4.5. | Rango de supervivencia de víctimas | 101 |
| 5. | Influencia de la aplicación de agua sobre incendios | 101 |
| 5.1. | Efecto de enfriamiento | 102 |
| 5.2. | Efecto de dilución..... | 103 |
| 5.3. | Efectividad en la aplicación de agua..... | 103 |
| 5.4. | Tamaño de la gota..... | 104 |
| 6. | Influencia de la ventilación | 105 |
| 6.1. | Principio de Conservación de la Masa..... | 105 |
| 6.2. | Ecuación de Bernoulli | 106 |
| 6.3. | Causas de la movilidad de gases de incendio: flotabilidad y diferencias de presión..... | 107 |
| 6.4. | Identificación de flujos de gases | 107 |
| 6.5. | Flujos unidireccionales..... | 108 |
| 6.6. | Flujos bidireccionales..... | 108 |
| 6.7. | Patrones de ventilación..... | 108 |
| 7. | Influencia de la presurización de recintos | 110 |
| 7.1. | Presiones en el recinto de incendio | 110 |
| 7.2. | Efectos sobre la propagación del incendio | 112 |
| Capítulo 2. Técnicas de intervención | | |
| 1. | Aplicación de agua | 114 |
| 1.1. | Ataque Indirecto | 114 |
| 1.2. | Ataque Directo | 116 |
| 1.3. | Enfriamiento de Gases..... | 117 |
| 1.4. | Ataque defensivo contra la propagación..... | 121 |
| 1.5. | Ataque exterior ofensivo "ablandado" | 122 |
| 1.6. | Cuadro resumen de técnicas | 124 |
| 1.7. | Acceso a través de puerta | 125 |
| 1.8. | Elección del caudal apropiado: disponible, crítico y óptimo..... | 125 |
| 2 | Técnicas de control de la ventilación..... | 127 |
| 2.1. | Antiventilación o confinamiento de incendio | 127 |
| 2.2. | Ventilación natural..... | 128 |
| 2.3. | Ventilación forzada..... | 130 |
| 2.4. | Control de puerta de acceso..... | 145 |
| 3. | Trabajo en espacios sin visibilidad | 146 |
| 3.1. | Orientación en espacios sin visibilidad | 146 |
| 3.2. | Rastreo y búsqueda de víctimas en espacios sin visibilidad | 147 |
| Capítulo 3. Valoración de incendios de interior | | |
| 1. | Desarrollo de la valoración en el tiempo | 150 |
| 2. | Lectura del incendio | 151 |
| 2.1. | Edificios..... | 151 |
| 2.2. | Humo..... | 154 |
| 2.3. | Flujo de gases..... | 155 |
| 2.4. | Calor..... | 156 |
| 2.5. | Llamas..... | 156 |
| 3. | Identificación de acciones prioritarias | 157 |
| Capítulo 4. Tácticas de intervención | | |
| 1. | Planteamiento táctico | 160 |
| 1.1. | Fases de una intervención | 160 |
| 1.2. | Sectorización..... | 161 |
| 1.3. | Modo táctico: ofensivo o defensivo | 161 |
| 2. | Control exterior de propagación | 161 |
| 3. | Ataque exterior ofensivo..... | 162 |
| 4. | Ataque interior con antiventilación..... | 162 |
| 5. | Ataque interior con ventilación natural | 163 |
| 6. | Ataque en presión positiva para la extinción | 165 |
| 7. | Ataque en presión positiva para el rescate | 166 |
| 8. | Ataque en presión positiva para la progresión | 167 |
| 9. | Ataque en presión positiva contra la propagación..... | 168 |
| 10. | Ataque combinado (ataque exterior ofensivo + Enfriamiento de gases + APP) | 168 |



PARTE
4

Capítulo 5. Casos prácticos

| | |
|--|-----|
| 1. Incendio en unifamiliar..... | 172 |
| 2. Incendio en bloque de viviendas | 173 |
| 3. Incendio en local comercial | 173 |

Conviene recordar

INCENDIOS EN TÚNELES

Capítulo 1. Caracterización

| | |
|--|-----|
| 1. Valor pedagógico del estudio de los incendios en túneles | 178 |
| 2. Características de los túneles | 178 |
| 2.1. Partes de un túnel..... | 178 |
| 2.2. Tipos de túneles..... | 178 |
| 2.3. Instalaciones de seguridad y relacionadas con la intervención en incendios de túneles | 178 |
| 3. Características específicas de los incendios en túneles | |
| 3.1. La temperatura de los gases de incendio | 185 |
| 3.2. El nivel de radiación generada en un incendio | 185 |
| 3.3. Tamaño de fuego o la tasa de liberación en pico de calor..... | 186 |
| 3.4. Propagación del fuego | 187 |
| 3.5. El comportamiento de las personas que se encuentra dentro del túnel incendiado..... | 187 |

Capítulo 2. Técnicas de intervención

| | |
|--|-----|
| 1. Despliegue de tendidos para extinción..... | 190 |
| 1.1. Efectividad de la aplicación de agua. | 190 |
| 1.2. Distancia óptima de ataque. | 190 |
| 1.3. Equipos de respiración autónoma, control del aire..... | 191 |
| 2. Rescate y evacuación de víctimas | 192 |
| 2.1. Visibilidad | 192 |
| 2.2. Radiación | 192 |
| 3. Control de la ventilación | 192 |
| 3.1. Movimiento de los gases de incendio | 193 |
| 3.2. Principios del ataque en presión positiva aplicada a túneles..... | 193 |
| 4. Orientación y progresión en túneles..... | 194 |
| 4.1. Orientación sin elemento guía | 194 |
| 4.2. Rastreo con cuerda o elemento guía..... | 194 |
| 4.3. Orientación y progresión con tendido de manguera | 195 |
| 4.4. Orientación con cámara térmica | 195 |
| 4.5. Combinación de técnicas de orientación y progresión..... | 196 |

Capítulo 3. Valoración de incendios en túneles

| | |
|--|-----|
| 1. Aspectos generales | 198 |
| 2. Valoración antes de la intervención..... | 198 |
| 3. Valoración en el lugar del siniestro..... | 198 |
| 3.1. Valoración inicial | 200 |
| 3.2. Valoración exterior | 200 |
| 3.3. Valoración interior | 200 |
| 3.4. Valoración continua..... | 200 |
| 3.5. Valoración final..... | 200 |
| 4. Lectura del incendio | 201 |
| 4.1. Características del túnel..... | 201 |
| 4.2. Amenazas en el entorno | 201 |
| 4.3. El equipamiento | 201 |
| 4.4. Características del pavimento..... | 201 |
| 4.5. Características del tráfico..... | 202 |
| 4.6. Características del incendio | 202 |

Capítulo 4. Casos prácticos

| | |
|--|-----|
| 1. Incendio en un túnel con dos tubos comunicados | 204 |
| 2. Incendio en un túnel de un solo tubo con circulación bidireccional..... | 205 |

Conviene recordar

PARTE

5

INCENDIOS INDUSTRIALES

Capítulo 1: Caracterización

| | | |
|------|---|-----|
| 1. | Normativa vigente..... | 210 |
| 2. | Tipos de establecimientos industriales..... | 210 |
| 2.1. | La ubicación en relación con el entorno..... | 210 |
| 2.2. | El nivel de riesgo intrínseco | 211 |
| 3. | Niveles de protección | 212 |
| 3.1. | Estabilidad al fuego de elementos portantes | 213 |
| 3.2. | Estructuras de acero (M0)..... | 214 |
| 3.3. | Estructuras de hormigón armado (M0) | 214 |
| 3.4. | Estructuras de madera (M3) | 215 |
| 4. | Características de los incendios industriales..... | 215 |
| 4.1. | Incendios de maquinaria: eléctricos y aceites..... | 215 |
| 4.2. | Incendios de almacenamientos de sólidos | 216 |
| 4.3. | Incendios de almacenamientos de líquidos y gases..... | 216 |
| 4.4. | Incendios de materiales pulverulentos..... | 217 |
| 5. | Uso de espumas en incendios industriales | 218 |
| 5.1. | Formas de generación de espumas..... | 218 |
| 5.2. | Tipos de espuma..... | 219 |

Capítulo 2: Técnicas

| | | |
|------|--|-----|
| 1. | Ataque defensivo contra la propagación | 224 |
| 1.1. | Presurización de espacios | 224 |
| 1.2. | Refrigeración de superficies | 224 |
| 2. | Ataque directo con agua..... | 224 |
| 2.1. | Cálculo de los caudales críticos de extinción..... | 224 |
| 2.2. | Modo de aplicación del agua | 225 |
| 3. | Ataque indirecto con agua..... | 225 |
| 4. | Técnicas de extinción a base de espumas..... | 226 |
| 4.1. | Cubrición simple..... | 226 |
| 4.2. | Cubriciójn por rebote..... | 226 |
| 4.3. | Cálculo de la cantidad de espuma necesaria según extensión | 227 |
| 5. | Aplicación específica de las técnicas de ventilación en incendios industriales | |
| 5.1. | Ventilación horizontal natural | 227 |
| 5.2. | Ventilación vertical natural | 227 |
| 5.3. | Ventilación por presión positiva (VPP)..... | 227 |

Capítulo 3: Valoración de incendios industriales

| | | |
|------|---|-----|
| 1. | Lectura del incendio | 230 |
| 1.1. | Valoración genérica del desarrollo del incendio (según incendios de interior)..... | 230 |
| 1.2. | Identificación de acciones prioritarias | 230 |
| 1.3. | Capacidad de los recursos disponibles..... | 231 |
| 1.4. | Valoración dinámica durante la intervención..... | 232 |

Capítulo 4: Tácticas de intervención

| | | |
|------|---|-----|
| 1. | Elección del planteamiento táctico | 234 |
| 1.1. | Establecimiento de prioridades | 234 |
| 1.2. | Control exterior de propagación | 234 |
| 1.3. | Ataque directo exterior | 234 |
| 1.4. | Ataque directo interior | 235 |
| 1.5. | Ataque indirecto | 235 |
| 1.6. | Inundación en espuma..... | 235 |
| 1.7. | Cubrición con espuma..... | 235 |
| 1.8. | Ataque en Presión Positiva contra la Propagación..... | 235 |
| 1.9. | Ataque en Presión Positiva para la Progresión..... | 236 |

Capítulo 5: Caso práctico

| | | |
|----|--|-----|
| 1. | Incendio de una nave industrial que comparte estructura con otras cuatro anexas | 238 |
|----|--|-----|

Conviene recordar



PARTE

6

INCENDIOS DE VEGETACIÓN

Capítulo 1. Caracterización

| | |
|--|-----|
| 1. Incendios exclusivos de vegetación | 244 |
| 1.1. Incendios: concepto y clasificación | 244 |
| 1.2. Incendios de interfaz urbano forestal..... | 244 |
| 1.3. Clasificación de incendios..... | 245 |
| 1.4. Partes de un incendio | 246 |
| 1.5. Morfología del incendio según el patrón básico de propagación .. | 246 |
| 1.6. Formas de propagación de un incendio forestal..... | 246 |
| 1.7. Competencias y legislación aplicable en materia de incendios (caso de España)..... | 247 |
| 2. Transmisión del calor en los incendios forestales | 248 |
| 2.1. Conducción | 248 |
| 2.2. Radiación | 248 |
| 2.3. Convección | 248 |
| 2.4. Emisión de partículas en ignición..... | 248 |
| 3. Factores que determinan el comportamiento en un incendio forestal..... | 249 |
| 3.1. Topografía | 249 |
| 3.2. Climatología y tiempo atmosférico | 249 |
| 4. Combustibles forestales | 256 |
| 4.1. Tipos de combustibles | 256 |
| 4.2. Características del combustible | 256 |
| 4.3. Disponibilidad y distribución espacial del combustible..... | 256 |
| 4.4. Modelos de combustibles (Rothermel): descripción y comportamiento del fuego..... | 257 |
| 4.5. Clasificación de especies según su inflamabilidad | 258 |
| 5. Factores del propio incendio que determinan su comportamiento..... | 258 |
| 5.1. Longitud de llama..... | 258 |
| 5.2. Intensidad lineal del fuego | 258 |
| 5.3. Velocidad de propagación..... | 258 |
| 5.4. GIF y el ambiente del fuego | 259 |
| 6. Clasificación e identificación de alarma por el humo..... | 259 |
| 6.1. Según el origen | 259 |
| 6.2. Según el color | 259 |
| 6.3. Según el volumen | 259 |
| 6.4. Según el ángulo de elevación | 259 |

Capítulo 2. Valoración de intervenciones en incendios forestales

| | |
|---|-----|
| 1. El proceso de valoración | 262 |
| 2. Valoración preliminar | 262 |
| 2.1. Información sobre incendios anteriores en la zona | 262 |
| 2.2. Información de la situación actual..... | 262 |
| 2.3. Gestión de la información | 262 |
| 3. Evaluación sobre el terreno..... | 263 |
| 3.1. Topografía, materiales y estructuras | 263 |
| 3.2. Condiciones ambientales | 263 |
| 3.3. Perfil del incendio..... | 263 |
| 4. Triaje de estructuras | 264 |
| 4.1. ¿Qué es el triaje de estructuras? | 264 |
| 4.2. Tipos de triaje..... | 264 |
| 4.3. Tipos de estructuras | 264 |
| 4.4. Información necesaria para decidir sobre la defensa de una estructura | 264 |
| 5. Evaluación continua | 266 |
| 5.1. En el propio incendio | 266 |
| 5.2. En los medios disponibles..... | 266 |
| 5.3. En el diseño táctico | 267 |
| 6. Medidas de seguridad | 267 |
| 6.1. Situaciones de riesgo | 267 |
| 6.2. Principios básicos de seguridad | 267 |
| 7. La logística | 268 |

PARTE

6

APÉNDICES

Capítulo 3. Técnicas de intervención en incendios de interfaz urbano-forestal

| | | |
|------|---|-----|
| 1. | Ataque directo | 270 |
| 1.1. | Uso de vehículos de extinción | 270 |
| 1.2. | Asignación de funciones | 271 |
| 1.3. | Desplegando el tendido | 271 |
| 1.4. | Uso racional del agua | 272 |
| 1.5. | Liquidación de perímetros..... | 272 |
| 1.6. | Recogiendo el tendido | 273 |
| 2. | Ataque indirecto | 275 |
| 2.1. | Líneas de control | 275 |
| 2.2. | Protección de estructuras | 275 |
| 2.3. | Uso del fuego..... | 276 |
| 2.4. | Maniobra de autoprotección | 276 |
| 3. | Otros medios y técnicas de extinción de incendios | 277 |
| 3.1. | Medios aéreos | 277 |
| 3.2. | Maquinaria pesada..... | 278 |
| 3.3. | Retardantes..... | 278 |

Capítulo 4. Tácticas de intervención

| | | |
|------|---|-----|
| 1. | Objetivos, estrategias y tácticas | 282 |
| 1.1. | Objetivos | 282 |
| 1.2. | Estrategia | 282 |
| 1.3. | Tácticas | 282 |

Capítulo 5. Casos prácticos y ejemplos

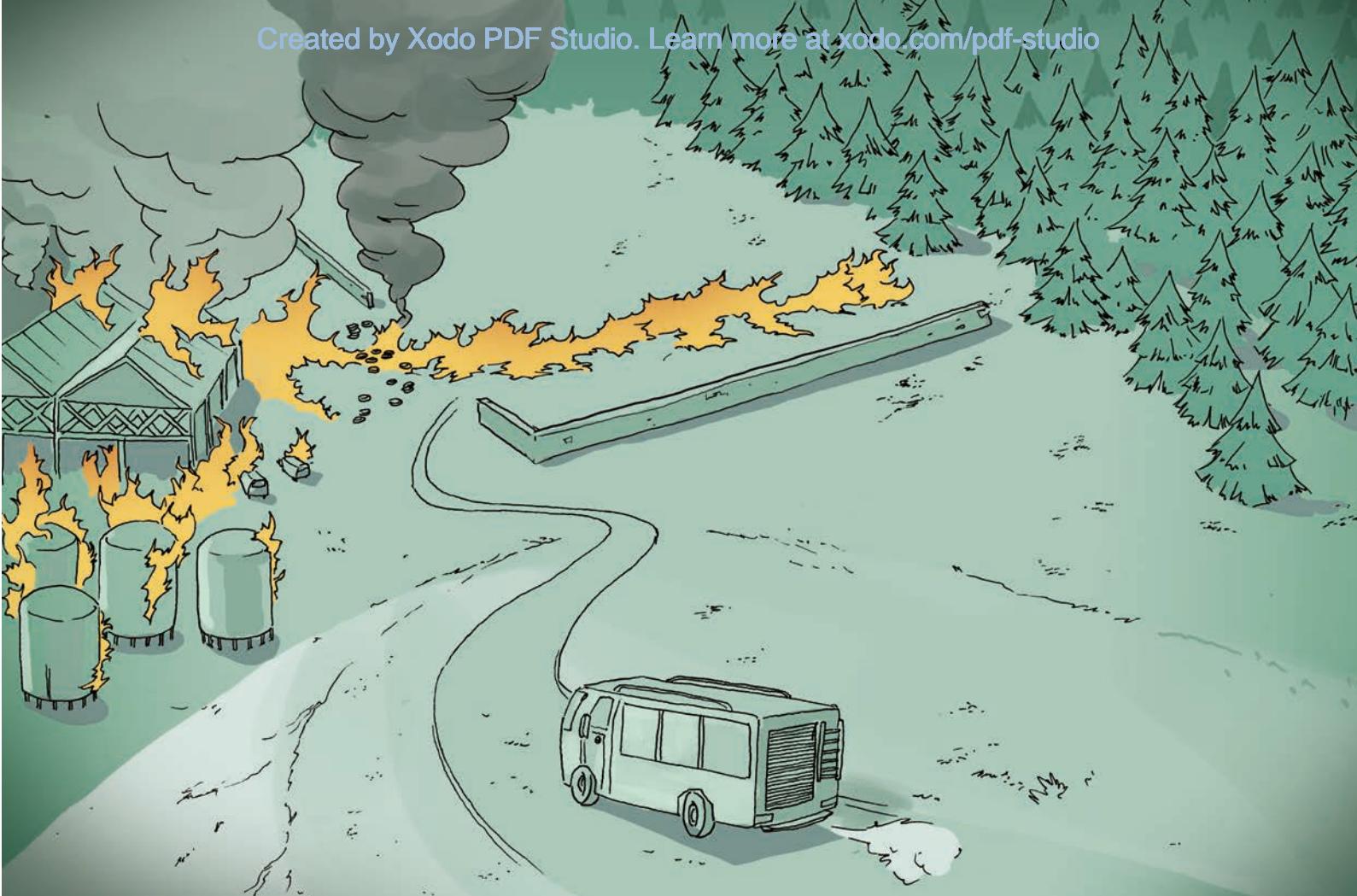
| | | |
|----|--|-----|
| 1. | Incendio de pasto bajo en una zona sin desnivel pronunciado | 286 |
| 2. | Protección de núcleo urbano en incendio de interfaz..... | 286 |
| 3. | Protección de enclave aislado..... | 286 |
| 4. | Incendio de subsuelo causado por un rayo..... | 287 |
| 5. | Incendio en media ladera | 287 |
| 6. | Ejemplo 1. Ficha para el triaje de estructuras en un incendio de interfaz (Duce 2013)..... | 289 |
| 7. | Ejemplo 2. Lista de información en un triaje de estructuras (Duce, 2013).... | 290 |
| 8. | Ejemplo 3. Protocolo N.º 2.4 de incendios de vegetación. Movilización de medios basándose en una clasificación según la gravedad del siniestro (CEIS Guadalajara)..... | 291 |

Conviene recordar

| | |
|-----------------------|-----|
| GLOSARIO | 296 |
|-----------------------|-----|

| | |
|--------------------------|-----|
| BIBLIOGRAFÍA..... | 298 |
|--------------------------|-----|

| | |
|-----------------------|-----|
| IMÁGENES | 302 |
|-----------------------|-----|



Pablo Andrés Hitado Escudero

PARTE 1

Manual de incendios

TEORÍA DEL FUEGO

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción





CAPÍTULO

1

Caracterización



1. CONCEPTOS BÁSICOS

El descubrimiento del fuego ha sido de gran utilidad para la evolución de la humanidad, con contribuciones tan positivas para el ser humano como la mejora en la calidad de vida o el desarrollo tecnológico. Sin embargo, su pérdida de control como ocurre en los incendios, puede tener consecuencias fatales. Para dominar y controlar el fuego, para evitar que el incendio se produzca y para extinguirlo en el caso de que llegue a suceder, es necesario conocer qué es el fuego.

1.1. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA

Para conocer cualquier tipo de combustión en profundidad es importante estudiar la atmósfera. La atmósfera está compuesta por una mezcla de gases: oxígeno (21 %), nitrógeno (79 %) y otros gases (0,02 %) como el dióxido de carbono, neón, criptón, xenón, etc.

Los gases inertes son gases no reactivos bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Los más comunes son el nitrógeno y los gases nobles, que poseen una configuración eléctrica totalmente estable, por lo que no reaccionan con ningún otro elemento.

1.1.1. MOLÉCULAS Y ÁTOMOS

La materia está constituida por moléculas, formadas a su vez por átomos, que asimismo están integrados por neutrones, protones y electrones. Este conjunto de elementos conforma la materia de la que están hechos los cuerpos.

Una molécula es la combinación de un grupo de átomos. Cuando se agrupan dos o más clases de átomos, se denominan compuestos.

- **Átomo.** De dimensiones sumamente reducidas, son las partículas fundamentales de la composición química de la materia. Están formados por un núcleo compacto, compuesto por protones y neutrones, alrededor del cual se mueven los electrones.
- **Electrón.** Es una partícula subatómica con una carga eléctrica elemental negativa. Se representa habitualmente con el símbolo e^- .

- **Protón.** Es una partícula con carga positiva. El número de protones incluidos en el núcleo es el que determina el número atómico de un elemento, tal y como se expresa en la tabla periódica de los elementos.

- **Neutrón.** Es una partícula subatómica contenida en el núcleo atómico. Carece de carga eléctrica (imágenes 1 y 2).

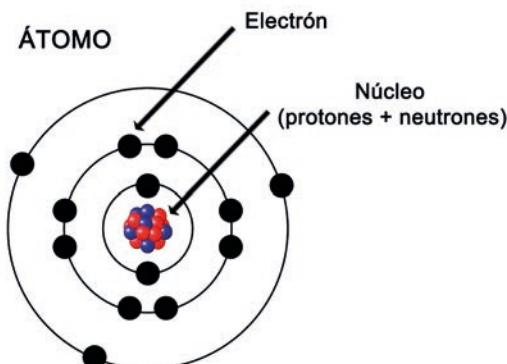


Imagen 1. Átomo

1.1.2. SUSTANCIAS Y FÓRMULAS QUÍMICAS BÁSICAS

Se denomina sustancia a cualquier variedad de materia que posea unas características definidas y reconocibles y cuya composición química sea invariable. Existen dos tipos de sustancias:

- Simples o elementos químicos
- Compuestas o compuestos químicos

Por ejemplo, la molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno (2) y uno de oxígeno (1). Su fórmula química es H_2O ($H+H+O$). (Imagen 3)

Una fórmula química expresa el número de átomos de los distintos elementos en la molécula, pero no siempre indica su distribución.

Por ejemplo, la fórmula química del butano es C_4H_{10} . Es decir, contiene cuatro átomos de carbono y diez átomos de hidrógeno, como se aprecia en la siguiente ilustración (Imagen 4).

Enlace covalente de carbono e hidrógeno

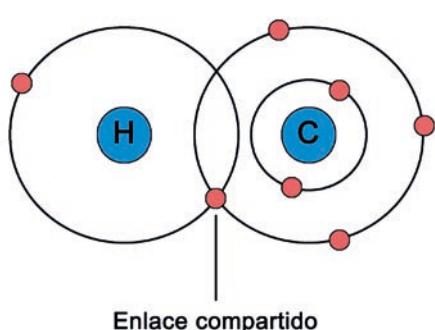


Imagen 2. Enlace covalente

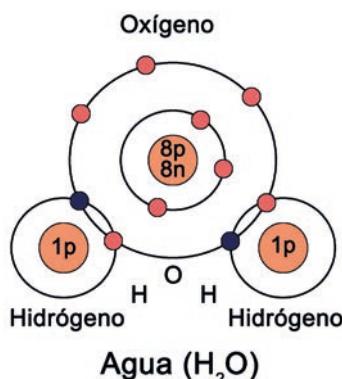


Imagen 3. Agua

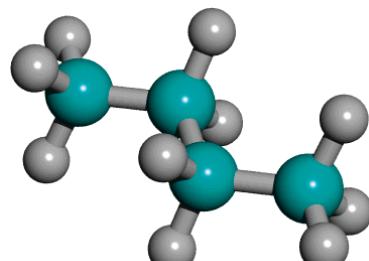


Imagen 4. Estructura del butano

1.2. REACCIONES

Una reacción es el cambio que experimenta un elemento o compuesto, como por ejemplo los combustibles en el proceso de la combustión. Pueden ser de tres tipos: físicas, químicas o nucleares.

1.2.1. REACCIONES FÍSICAS

Una reacción física se produce cuando cambia el estado de la materia.

Por ejemplo, el agua al evaporarse y cambiar de líquido a gas cambia de estado; es decir, los cambios físicos modifican las propiedades de la materia, pero no forman una nueva.

Las moléculas que forman los reactivos (elementos originales de partida) son iguales a las moléculas que forman los productos (elementos resultantes).

Por ejemplo:

Hielo (H_2O) - Vapor de agua (H_2O)

1.2.2. REACCIONES QUÍMICAS

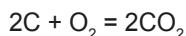
Una reacción química se produce cuando cambia la composición química del elemento.

Por ejemplo, en la descomposición de una naranja se modifica su estructura química. Los cambios químicos provocan la modificación profunda de todas las propiedades de un cuerpo y lo transforman en una nueva sustancia.

Una reacción química es un proceso por el cual una o más sustancias (reactivos), se transforman en otras sustancias con propiedades diferentes (productos de la reacción).

Por ejemplo, el oxígeno del aire reacciona con el hierro y produce óxido de hierro.

Los elementos que forman las moléculas, tanto en los reactivos como en los productos, se conservan en la nueva sustancia. En el ejemplo siguiente se puede ver que las sustancias que forman los reactivos no son iguales a las sustancias que forman los productos, aunque conserve sus elementos. Dos átomos de carbono reaccionan con un átomo de oxígeno para formar una sustancia nueva, el dióxido de carbono.



1.2.3. REACCIONES NUCLEARES

Una reacción nuclear es un proceso de combinación y transformación de las partículas y núcleos atómicos. Puede ser endotérmica o exotérmica, en función de si precisa energía para producirse o si la desprende.

Cuando un átomo radiactivo se desintegra, las partículas que están en su interior (neutrón, protón y electrón) originan otras partículas. Las partículas alfa y beta y la radiación gamma son las más características en un fenómeno de radiación nuclear.

El decaimiento de un átomo radiactivo se expresa como una reacción química y se indica el número atómico y el número másico de cada una de las especies de la reacción.



${}_{7}^{14}\text{N}$ (14 es el número másico y 7 es el número atómico)

Estas reacciones se llaman reacciones nucleares y tienen características distintas de las reacciones químicas comunes, tal y como se detalla en la siguiente tabla (tabla 1) (cf. Educarchile, 2014):

Tabla 1. Características de las reacciones

| Reacciones químicas | Reacciones nucleares |
|---|--|
| Los átomos se reordenan por la ruptura y formación de enlaces químicos. | Los elementos o los isótopos de un elemento generan otro elemento al cambiar la constitución del núcleo del átomo. |
| En la ruptura y formación de los enlaces solo participan los electrones. | En las reacciones pueden participar protones, neutrones, electrones y otras partículas elementales. |
| Las reacciones van acompañadas por la absorción o liberación de cantidades de energía relativamente pequeñas. $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 200 \text{ kcal}$ | Las reacciones van acompañadas por la absorción o liberación de enormes cantidades de energía. ${}_3^7\text{Li} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + 23000000 \text{ kcal}$ |
| La temperatura, presión y concentración de los reactantes y catalizadores son factores que determinan la velocidad de una reacción. | Las velocidades de reacción generalmente no se ven afectadas por la temperatura, la presión o los catalizadores. |



En una reacción nuclear los **elementos** que forman los **productos** son **diferentes** a los elementos originales de partida (**reactivos**).

Las **partículas con carga eléctrica** se pueden acelerar con campos eléctricos y magnéticos (aceleradores de partículas) con el objeto de **facilitar el choque** y la reacción al impactar a gran velocidad con el blanco. Los **neutrones**, así como otras partículas neutras, **no se pueden acelerar** dado su carácter neutro.

Existen dos tipos de reacciones nucleares: fusión nuclear y fisión nuclear.

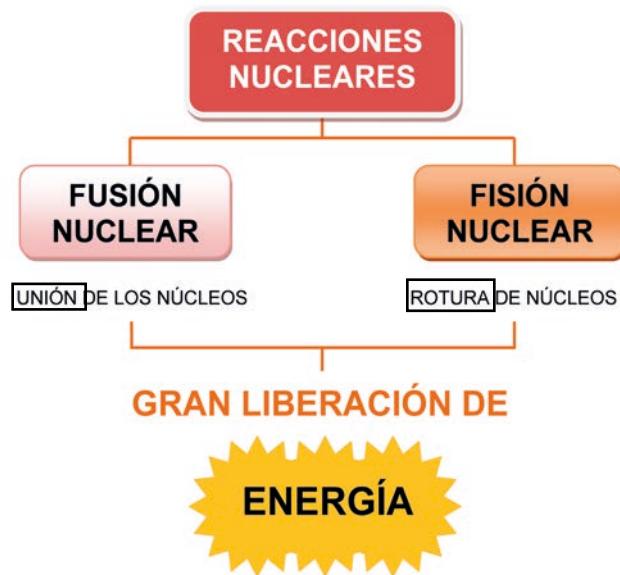


Imagen 5. Reacciones nucleares

a) Fisión nuclear

La **fisión nuclear** es una reacción en la que un **núcleo pesado**, al ser bombardeado con **neutrones**, se convierte en **inestable** y se descompone en dos **núcleos de un tamaño del mismo orden de magnitud**, con **gran desprendimiento de energía** y la emisión de dos o tres neutrones.

Estos neutrones, a su vez, pueden **ocasionar más fisones** al **interaccionar con nuevos núcleos fisionables**, que emitirán nuevos neutrones y así sucesivamente. Este efecto multiplicador se conoce con el nombre de **reacción en cadena**.

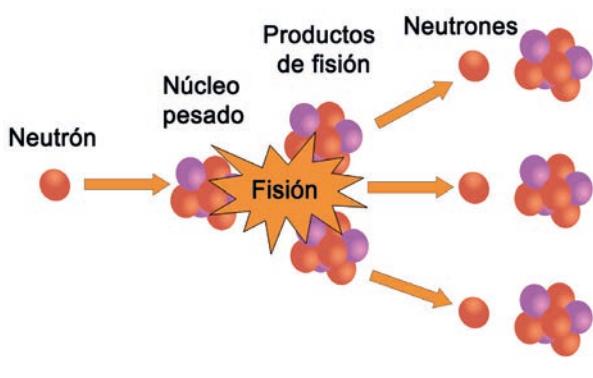


Imagen 6. Fisión nuclear

dena. En una fracción de segundo, el número de núcleos que se han fisionado libera una energía **un millón de veces mayor** que la obtenida **al quemar un bloque de carbón o explotar un bloque de dinamita** de la misma masa.

Debido a la rapidez con la que tiene lugar la reacción nuclear, la energía se desprende mucho más rápido que en una reacción química.

b) Fusión nuclear

La **fusión nuclear** es una reacción en la que dos **núcleos de átomos ligeros** se **unen** para **formar** otro **núcleo más pesado**. Generalmente esta unión va acompañada de la emisión de partículas. Esta reacción nuclear **libera o absorbe gran cantidad de energía** en forma de **rayos gamma** y también de **energía cinética** de las partículas emitidas.

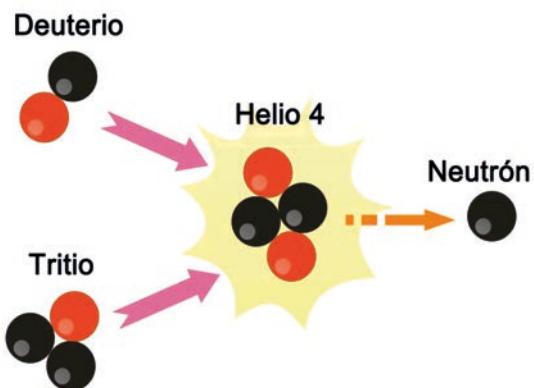


Imagen 7. Fusión nuclear

2. TEORÍA DEL FUEGO

2.1. DEFINICIÓN Y NORMATIVA

La norma **UNE 23026** es una norma española que define el **fuego** como una combustión caracterizada por la emisión de calor, humo y llamas. La misma norma define la **combustión** como una reacción química exotérmica de oxidación en la que se combina un elemento que arde (**combustible**) y otro que produce la combustión (**comburente**) –generalmente el oxígeno en forma de O_2 gaseoso– y en la que se desprende calor (exotérmica), luz, humo y gases.

La norma **UNE 23026**, aunque antigua, se sigue aplicando en España con respecto a la definición de fuego pero existen otras normativas vigentes, como la **UNE-EN ISO 13943:2001**, aplicada en **Europa** y que anula la norma, o la **NFPA**, aplicada en **Estados Unidos** y empleada como referencia en varios **países latinoamericanos**: Argentina, Colombia, México, Puerto Rico, República Dominicana, Venezuela y Perú.

El **fuego** es una **combustión**, y lo que aplica al fuego aplica también al incendio. Una **combustión** es un **proceso químico-físico** que se manifiesta cuando un cuerpo se une al

oxígeno y desprende calor. La velocidad del proceso determina si se trata de una simple oxidación o una violenta explosión.

El fuego no es más que una reacción de oxidación-reducción fuertemente exotérmica.

2.2. REACCIONES ENDOTÉRMICAS Y EXOTÉRMICAS

En las reacciones químicas la energía se conserva. En una reacción se consideran dos fases diferenciadas: primero los enlaces químicos de los reactivos se rompen, después se reordenan para formar nuevos enlaces. Esta operación requiere cierta cantidad de energía, que será liberada si el enlace roto vuelve a formarse.

Los enlaces químicos con alta energía se conocen como enlaces fuertes, pues precisan un esfuerzo mayor para romperse. Si en el producto se forman enlaces más fuertes que los que se rompen en el reactivo, se libera energía en forma de calor, lo que se denomina reacción exotérmica. Se produce con desprendimiento de calor porque las sus-

tancias resultantes de la reacción tienen menos energía que las que dieron lugar a la misma. Esa energía sobrante se manifiesta en forma de calor. En caso contrario, la energía es absorbida y la reacción se denomina endotérmica.

Debido a que los enlaces fuertes se crean con más facilidad que los débiles, son más frecuentes las reacciones exotérmicas espontáneas.

Un ejemplo de ello es la combustión de los compuestos del carbono en el aire para producir CO_2 y H_2O , que tienen enlaces fuertes. Pero también se producen reacciones endotérmicas espontáneas, como la disolución de la sal en el agua.



En resumen:

- Si en la reacción química aumenta la energía interna del sistema, significa que ha absorbido energía, lo que se denomina reacción endotérmica.
- Si en la reacción química disminuye la energía interna del sistema, significa que se ha liberado energía, lo que se denomina reacción exotérmica.

2.3. REACCIÓN REDOX

Las reacciones redox o reacciones de óxido-reducción son aquellas en las que hay movimiento de electrones desde una sustancia que cede electrones (reductor) a una sustancia que capta electrones (oxidante). La sustancia que cede electrones se oxida, la que los gana se reduce.

La oxidación es el proceso mediante el cual un determinado elemento químico cede electrones, lo que se traduce en un aumento de su índice de oxidación. La reducción es el proceso mediante el cual un determinado elemento químico capta electrones, lo que se traduce en una disminución de su índice de oxidación.

Que la sustancia que se oxida pierda electrones y que la sustancia que se reduce gane electrones puede inducir a confusión, ya que reducir implica perder algo, no ganarlo. Pero precisamente lo que se está ganando son electrones, que tienen carga negativa.

La sustancia, molécula o ión que, al reaccionar, se oxida reduce a la sustancia con la que reacciona porque le cede electrones, y se denomina agente reductor. La sustancia, molécula o ión que, al reaccionar, se reduce oxida a la sustancia con la que reacciona porque le quita electrones, y se denomina agente oxidante.

El fuego es una combustión en la que intervienen un oxidante y un reductor; el oxidante es el comburente y el reductor es el combustible. La reacción química que se produce entre dos elementos, sustancias o cuerpos en la que uno se oxida a costa del otro que se reduce es fuertemente exotérmica.

Los procesos de oxidación y reducción siempre van unidos, ya que para que uno se oxide (gana oxígeno) el otro debe reducirse (pierde oxígeno). La oxidación que se produce en el combustible significa pérdida de electrones, la reducción que se produce en el comburente es un proceso de ganancia de electrones.

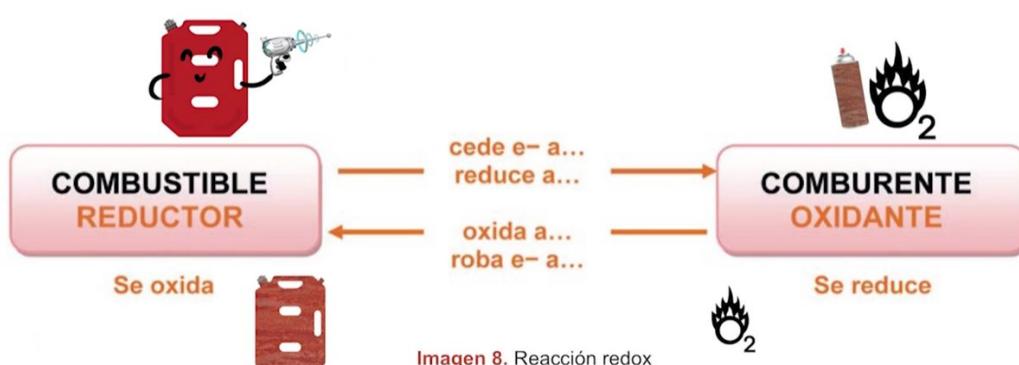


Imagen 8. Reacción redox



3. COMBUSTIONES

3.1. DEFINICIÓN Y NORMATIVA APLICADA

La **combustión** es una **reacción química de oxidación**, en la cual generalmente se **desprende** una gran cantidad de **puntos en forma de calor y luz**, que se manifiesta visualmente por el **fuego**.

Como ya se ha comentado, la norma **UNE 23026** define combustión como una reacción exotérmica de una sustancia combustible con un oxidante, fenómeno generalmente acompañado de una emisión lumínica en forma de llamas o de incandescencia con desprendimiento de humos y de productos volátiles.

Existen otras definiciones de combustión. Por ejemplo, la norma sobre calidad y gestión de la calidad **ISO 13943** define la combustión como una **reacción exotérmica** de una sustancia con la **participación de un oxidante**, que generalmente **emite efluentes acompañados de llamas y/o luz visible**.

Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno.

En una **reacción completa** todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos

que se forman son el **díóxido de carbono (CO₂)**, el **agua**, el **díóxido de azufre (SO₂)** (sólo si el combustible contiene azufre) y, en ocasiones, **óxidos de nitrógeno (NO_x)**, **en función de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo, la presión**.

En la **combustión incompleta**, debido a que el **comburente** y el **combustible no** están en la **proporción adecuada**, los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación y dar como resultado compuestos como el **monóxido de carbono (CO)**. Además, puede generarse **carbón**.

Las principales **características de la combustión** son las siguientes:

- Es un **proceso químico de oxidación-reducción** (reactivos → productos).
- Generalmente de **cinética rápida**.
- De **carácter fuertemente exotérmico**.
- La **velocidad de la reacción determina** la cantidad de **calor producida**.
- Se trata de una **reacción autoalimentada** (cuando hay reacción en cadena).
- Los **reactivos** se llaman **combustible** y **comburente**.

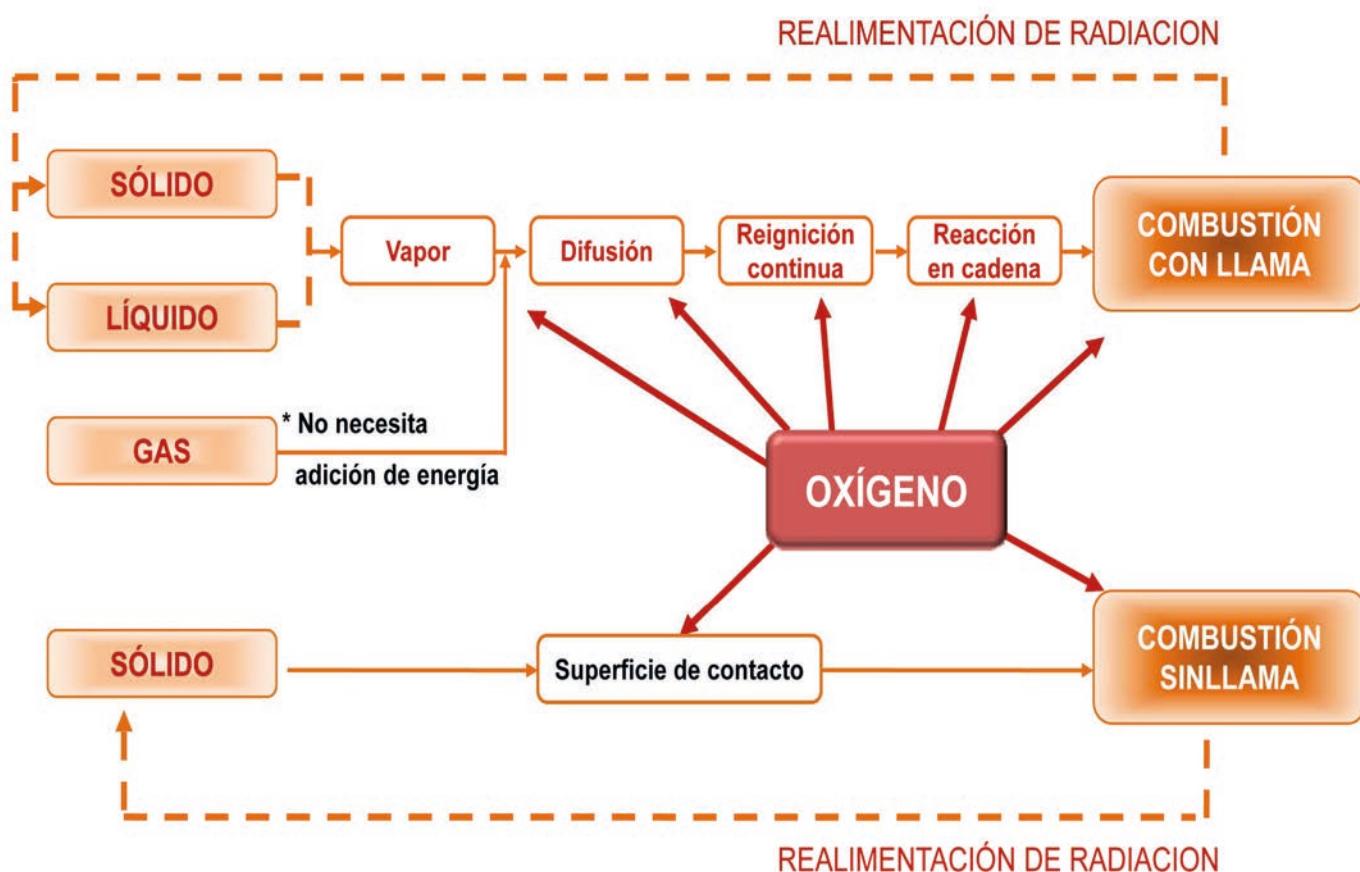


Imagen 9. Esquema combustión

- Los **productos** obtenidos son **calor, humo, gases de combustión y radiación luminosa** (no tiene por qué haber llamas).
- El **comburente (oxidante)** suele ser **oxígeno atmosférico**.
- El **combustible (reductor)** puede estar en fase **sólida, líquida y/o gaseosa**.
- La **combustión en fase sólida** generalmente produce **incandescencia**.
- La **combustión en fase líquida o gaseosa** generalmente produce una **llama visible**.
- Los **dos modos de combustión** (con y sin llama) pueden tener lugar **separada o conjuntamente**.

3.2. TIPOS DE COMBUSTIONES

Existen dos tipos principales de combustiones:

- Combustiones **de aportación**
- Combustiones **de propagación**

3.2.1. COMBUSTIONES DE APORTACIÓN

Las combustiones de aportación son aquellas en las que la **masa reactiva se va incorporando al frente de reacción**. Se dividen en:

- Combustión **con llama**
- Combustión **latente**
- Combustión **incandescente**
- Combustión **espontánea**

a) Combustión con llama

Es una combustión que se desarrolla íntegramente en **fase gaseosa** y que produce **calor, luz y gases**.

La combustión con llama se representa con un **tetraedro** en el que **cada uno de sus lados corresponde a cada uno de los cuatro requisitos básicos**. Se describe en detalle en el apartado "Triángulo y tetraedro del fuego".

b) Combustión latente

Es una **reacción exotérmica de oxidación lenta** en la que **no se aprecia luz** y generalmente se revela por un **aumento de la temperatura o por humo**. Produce calor, no tiene llama y se propaga en combustibles porosos.

La norma **ISO 13943** la define como aquella **combustión de un material sin presencia de llama o luz visible**.

Muchos materiales pueden sufrir una combustión latente, como por ejemplo el **carbón, la celulosa, la madera, el algodón, el tabaco, la turba, el humus, los jabones sintéticos, los polímeros carbonizados** (incluida la espuma de poliuretano) y algunos tipos de polvo.

c) Combustión incandescente

Es una combustión **sin llama** con **emisión de luz visible** y que produce **calor y luz**. Tiene **manifestación visible** en forma de ascuas.

La norma **ISO 13493** la define como una combustión de un **material en fase sólida, sin llama pero con emisión de luz** desde la zona de combustión.

d) Combustión espontánea

Es aquella combustión que se inicia **sin aporte de calor externo**.

3.2.2. COMBUSTIONES DE PROPAGACIÓN

Son aquellas combustiones también denominadas de **premezcla**.

En las **combustiones** la **velocidad de reacción** puede ser distinta y por eso se habla de distintos tipos de combustión. En función de las velocidades de combustión es posible definir tres **tipos**:

- Combustión Lenta.** Menos centímetros por segundo. Se da cuando el combustible tiene poco aporte de oxígeno.
- Combustión Viva o Normal.** Más centímetros por segundo. Se da cuando el combustible tiene buen aporte de oxígeno.
- Combustión Instantánea.** Dependiendo de la velocidad, puede ser:
 - Rápida.** Más metros por segundo. Deflagraciones.
 - Muy Rápida.** Más kilómetros por segundo. Detonaciones.

Una **explosión** es una **súbita liberación** (lo suficientemente rápida para que la energía se disipe mediante una **onda de choque**) de **gas** a **alta presión** (superior a la de la atmósfera circundante en el momento de la liberación) **en el ambiente**. Un proceso rápido de **oxidación o reacción de descomposición** puede generar una **explosión de origen químico** que puede ser:

- Una **deflagración**: onda de combustión cuyo frente avanza a **velocidad subsónica**.
- Una **detonación**: onda de combustión cuyo frente avanza a **velocidad sónica o supersónica** y lleva asociada, por tanto, una **onda de choque**.

3.3. PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Cuando se produce una **reacción química exotérmica** con la **suficiente velocidad de reacción** para que se pueda identificar **como un incendio o un fuego**, se establece una ecuación con unos **elementos que reaccionan y cambian sus características químicas** para dar lugar a unos **productos o elementos diferentes**.

Ninguno de los **elementos** **iniciales** se **destruye**, sino que todos **son transformados** en mayor o menor medida. Aun cuando se encuentren dispersos, los **productos** de la **combustión** son **iguales en peso y volumen** a los **elementos** del **combustible de la combustión**.

En definitiva, se puede decir que se cumple el famoso principio de la ciencia que asevera que "**la materia ni se crea ni se destruye, tan sólo se transforma**".



3.3.1. Humo

El humo está constituido por partículas físicas sólidas y líquidas en suspensión en el aire (principalmente vapor de agua) de diferente tamaño y color, incompletamente quemadas, que son arrastradas por corrientes de convección de aire (el aire caliente asciende). A la adecuada proporción de calor y oxígeno el humo es inflamable.

Las partículas, polvo rico en carbono de tamaños comprendidos entre 0.005 y 0.01 milímicras y denominado hollín, se producen cuando arde la mayoría de los materiales orgánicos en condiciones de combustión incompletas. La producción de estas sustancias carbonosas es acusada en la combustión de prácticamente todos los derivados del petróleo. Dentro del humo también se encuentran otras partículas además del hollín, como las cenizas (residuos inorgánicos en polvo), resultado de una combustión completa o las escorias (aglomerado sólido de residuos provenientes de una combustión total o parcial y que puede ser una fusión parcial o completa de material o de residuos).

El humo es el principal factor de riesgo en el desarrollo de un incendio. Tiene efectos irritantes sobre las mucosas y provoca lagrimeo en los ojos, lo que dificulta la visión. A su vez evita el paso de la luz, lo que complica las tareas de extinción y salvamento así como las de evacuación de las personas afectadas. Además puede llegar a ser inflamable y/o explosivo cuando se dan las condiciones adecuadas.

En igualdad de condiciones, unos materiales emiten más humo que otros. Los líquidos inflamables emiten, por lo general, un denso humo negro.

Es muy difícil saber qué está ardiendo por el color del humo, ya que la percepción luminosa depende de múltiples factores externos ajenos al proceso de combustión.

a) Humo blanco

El color blanco indica que los combustibles arden libremente, con gran presencia de O₂, y que el humo está compuesto principalmente de vapor de agua.

Su origen puede ser productos vegetales, forrajes, fósforos, algunos piensos, etc.



Imagen 10. Humo blanco

b) Humo negro

El color negro indica fuegos de gran carga térmica, normalmente con poco aporte de oxígeno, generado por fibras sintéticas, polímeros, cauchos o productos derivados del petróleo.

Su origen puede ser fibras artificiales, cauchos, poliéster, gasóleo, gasolina, petróleo, plásticos, etc.



Imagen 11. Humo negro

c) Humo de color

- a) **Amarillo:** su origen puede ser sustancias químicas que contienen azufre, con formación de ácidos clorhídricos.
- b) **Amarillo verdoso:** su origen puede ser sustancias químicas que contienen cloro.
- c) **Violeta:** su origen puede ser sustancias químicas que contienen yodo.
- d) **Azul:** este color está asociado a hidrocarburos.

3.3.2. Llamas

La llama es un gas incandescente cuya temperatura es variable y depende de factores como el tipo de combustible y la concentración de comburente.

La norma ISO 13943 define la llama como la zona de combustión en fase gaseosa, usualmente con emisión de luz. La llama es un fenómeno propio de la combustión, que se manifiesta como fenómeno luminoso acompañado de una producción de calor. El grado de luminosidad o intensidad de la llama dependerá de la naturaleza del combustible y de la aportación del comburente.

Los combustibles gaseosos y líquidos (y la mayoría de los sólidos) arden siempre con llama. Los combustibles sólidos se descomponen mediante la pirólisis, emitiendo gases inflamables que son los que realmente arden. Las llamas se producen siempre en la fase gaseosa.

El color de la llama depende de la composición química del combustible y de la cantidad de oxígeno presente. Si la proporción de oxígeno es elevada, las llamas son de color amarillo luminoso y son oxidantes. Si la proporción de oxígeno es baja, las llamas son de color azul, reductoras y más energéticas.

En las **combustiones sin llama**, la radiación luminosa emitida se conoce como **incandescencia o ascuas**. Esta radiación es de mayor longitud de onda y, por tanto, de menor energía.

En la **mayoría** de los **incendios** se producen **llamas**, aunque **hay excepciones**; por ejemplo, la **combustión del coque**.

Las llamas provocan principalmente reacciones de **histeria y nerviosismo** en las víctimas. En ocasiones producen **deslumbramientos** en el trabajo propio del bombero, lo que al igual que el humo **impide** la correcta percepción del entorno del fuego.

Las zonas de la llama son:

- Zona Interna.** Zona fría y oscura, no hay combustión por falta de oxígeno.
- Zona Media.** Zona muy luminosa, la falta de oxígeno hace que la **combustión sea incompleta**.
- Zona Externa.** Zona poco luminosa, en la que las temperaturas alcanzan sus valores máximos. La



Imagen 12. Llama

combustión tiene lugar en esta parte, al estar plenamente en **contacto el combustible con el combustible** y producir una **combustión completa**.

Las **temperaturas de la llama** dependen de la naturaleza del combustible que arde y de los **productos resultantes de la combustión**. En la práctica las temperaturas de la llama alcanzan **de 1800° C a 2200° C**. Sólo la **llama oxiacetilénica** supera estas temperaturas.

3.3.3. CALOR

Los **incendios** son **reacciones químicas exotérmicas** que **desprenden calor**.

No hay que confundir calor con temperatura, ni tampoco con el "sentido de calor" que pueda percibir una persona en un momento dado. Los condicionantes ambientales, los del propio trabajo y, sobre todo, los personales distorsionan mucho ese sentido.

La **temperatura** es una **manifestación de la energía (calor)** que poseen todos los **cuerpos** y depende del **movimiento de las moléculas** (a mayor movimiento, excitación, agitación o velocidad de traslación de los electrones, mayor temperatura adquiere el cuerpo).

Los **cuerpos** **no tienen calor**, sino **temperatura**. La energía existe en varias formas. El **calor** es el **proceso mediante el cual la energía se transfiere de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura**.

a) Calor y temperatura

El **calor** es consecuencia de los **movimientos** fluidos de las moléculas que, en el seno de la materia, entrecodian constantemente. Cuanto mayor es la **energía cinética** de las moléculas, mayor es la **violencia de los choques** y mayor el **calor que se desprende**. Esto se debe a que los cuerpos tienden a adoptar la forma de **menor energía** y ceden el exceso al ambiente que los rodea.

Es posible **medir el calor**, ya que los **cambios de estado** **calorífico** de los cuerpos se manifiestan por su **temperatura** o por su **estado físico**.

- **Calor de combustión**

Se llama **calor de combustión** de una sustancia al calor que se desprende cuando **reacciona con el oxígeno a volumen y presión constante**. Es el proceso más importante por el cual se genera energía calorífica.

El calor de combustión de un material es la cantidad de calor liberado por unidad de volumen y masa cuando se quema por completo. Su unidad es la **calorímetro** según se hable de **energía térmica** o **energía mecánica**.

El **calor** es la **suma de la energía cinética de todas las moléculas de un cuerpo**.

Las cinco categorías de la energía calorífica son: **eléctrica, mecánica, química, nuclear y solar**.

La **conductividad calorífica** es la propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el **calor** a través de ellos. Las principales fuentes de calor son el **sol** y los **combustibles** (sólidos, líquidos y gaseosos).

- **Temperatura**

La **temperatura** es una **propiedad física** del **estado de los cuerpos**. A medida que **aumenta la energía cinética** de un sistema, se observa que **aumenta su grado térmico**, es decir, que **su temperatura es mayor**.



Al poder determinarse como una sensación térmica, palpable por el sentido del tacto, se puede apreciar cuándo un cuerpo está más caliente que otro, e incluso medir al determinar el paso de calor de un cuerpo a otro.

Para poder **medir la temperatura** se utilizan los **termómetros**. Existen en la actualidad diferentes escalas termométricas (centígrada, Réaumur, Fahrenheit, Kelvin, etc.).

*las escalas se ven mas adelante

• Diferencia entre calor y temperatura

Podemos decir que el **calor** es una energía producida por la interacción de las moléculas de la materia, mientras que la **temperatura** es la manifestación del grado de calor que alcanzan los cuerpos (estado térmico de los cuerpos). Cuando se aplica calor a un material, el principal efecto que se observa es un **cambio de temperatura**.

El **calor** de un **cuerpo** es la suma de la **energía cinética** (en movimiento) de todas sus moléculas. La **temperatura** de un **cuerpo** es la **energía cinética media** de sus moléculas.

b) Unidades de calor

El **calor** se mide en **calorías**.

La **caloría** es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un gramo de agua y es variable de unas sustancias a otras (dato tomado con el agua entre 14,5° y 15,5° de temperatura a una presión atmosférica normal).

Como la caloría es muy pequeña habitualmente se utilizan otras unidades, como la **kilocaloría** (1.000 calorías) o la **megacaloría** (1.000.000 calorías o 1.000 kilocalorías).

Por ejemplo, ¿qué cantidad de calor se necesita para llevar un litro de agua de 20° de temperatura a 100° de temperatura?

Un litro de agua pesa aproximadamente un kilogramo y para llegar a los 100 grados hay un salto de 80° C. $1 \text{ cal/gr} \times 1000 \text{ gr} \times 80^\circ \text{ C} = 80.000 \text{ calorías} = 80 \text{ kilocalorías}$. Un litro de agua a 20° de temperatura le roba 80 kilocalorías al fuego sobre el que se arroja para convertirse en vapor de agua.

La **caloría**, basada en el **calor específico** del agua, es una unidad de energía del sistema técnico de unidades ya en desuso. En el uso científico **actual la unidad de energía es el julio**.

1 caloría (cal) equivale exactamente a 4,1868 julios (J)

El **julio** es la unidad de calor en el **Sistema Internacional** y se define como "la energía o trabajo realizado por una unidad de fuerza (1 newton) al mover un cuerpo un metro de longitud".

1 julio = 0,24 calorías

1 caloría = 4,185 julios

El **Watio** es una medida de potencia o flujo de energía. La cantidad de calor liberada en un incendio se puede expresar en Kilowatios o Megawatios.

1 W = 1 J/s

c) Calor específico

El calor específico es la **capacidad de una sustancia para tomar energía** en forma de calor, y se define como la **cantidad de calor necesario para elevar 1° C la temperatura de un cuerpo de [un gramo]**. El calor específico es distinto para cada sustancia y varía ligeramente con la temperatura. Cuanto mayor calor específico tenga un cuerpo, **mayor** será su **efecto refrigerante**.

Tabla 2. Calor específico

| Sustancia | c [J/(g°C)] | c [cal/(g°C)] |
|---------------|-------------|---------------|
| Agua | 4,182 | 1,0 |
| Aire seco | 1,009 | 0,241 |
| Aluminio | 0,896 | 0,214 |
| Bronce | 0,385 | 0,092 |
| Cobre | 0,385 | 0,092 |
| Concreto | 0,92 | 0,22 |
| Hielo (a 0°C) | 2,09 | 0,5 |
| Plomo | 0,13 | 0,031 |
| Vidrio | 0,779 | 0,186 |
| Zinc | 0,389 | 0,093 |

d) Capacidad calorífica

La **capacidad calorífica** de un cuerpo se define como la **cantidad de calor necesario para elevar 1° C la temperatura de dicho cuerpo**. Se representa con **C**. Se puede calcular en función de la masa y el calor específico del cuerpo con la fórmula:

$$C = \text{Masa} \cdot \text{Calor específico}$$

e) Escalas de temperatura

La **unidad de temperatura** es el **grado**, pero existen varias escalas. Todas se basan en **dos puntos fijos: fusión del hielo y ebullición del agua**.

Los termómetros son los aparatos que miden la temperatura. Pueden construirse con un tubo adherido a un bulbo con cierto líquido (suele ser mercurio) cuya variación de volumen por la temperatura es conocida. Por aumento o disminución de temperatura, el líquido sube o baja por el tubo de vidrio transparente, convenientemente graduado.

Gases, líquidos y sólidos se dilatan con el calor. Los gases también se dilatan por la presión, y los sólidos son poco sensibles a la temperatura. Por ese motivo se emplean preferentemente líquidos para la confección de termómetros, excepto para medir fríos extremos.

Tipos de escalas

- a) Celsius o centígrada: 0° - 100° C
- b) Réamur: 0° - 80° RC
- c) Fahrenheit: 32° - 212° F
- d) Absoluta o Kelvin: 273° - 373° K

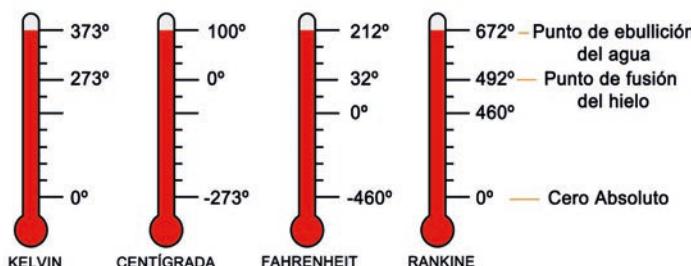


Imagen 13. Tipos de escala

La escala Fahrenheit sólo se usa en países de habla inglesa, y la escala Réamur ya no se utiliza. La escala absoluta o Kelvin coincide con el llamado cero absoluto (equivale en la escala Centígrada a 273° negativos o bajo cero). Es una temperatura tan baja que en ella un gas cualquiera deja de ejercer presión y sus moléculas quedan completamente inmóviles (energía cinética nula).

$$\begin{array}{l} a^{\circ}\text{F}: \\ *1,8+32 \end{array}$$

$$\text{Para convertir de } ^\circ\text{C a } ^\circ\text{F: } ^\circ\text{F} = ^\circ\text{C} \cdot 1,8 + 32$$

$$\text{Para convertir de } ^\circ\text{F a } ^\circ\text{C: } ^\circ\text{C} = (^^\circ\text{F}-32) \div 1,8$$

$$\begin{array}{l} \text{Multiplicar } 5/9 \\ = \\ \text{Dividir } 1,8 \end{array}$$

$$\text{Para convertir de K a } ^\circ\text{C: } ^\circ\text{C} = K - 273,15$$

$$\text{Para convertir de } ^\circ\text{C a K: } K = ^\circ\text{C} + 273,15$$

$$\text{Para convertir de } ^\circ\text{F a K: } K = \frac{5}{9}(^\circ\text{F} - 32) + 273,15$$

$$\text{Para convertir de K a } ^\circ\text{F: } ^\circ\text{F} = 1,8(K - 273,15) + 32$$

Otra forma de relacionar las escalas es realizar igualdades entre ellas y luego simplificarlas:

| Centígrada | Réamur | K-273 | Kelvin |
|------------|--------|-------|--------|
| C-0 | R-0 | F-32 | K-273 |
| 100 | 80 | 180 | 100 |
| C | R | F-32 | K-273 |
| 100 | 80 | 180 | 100 |
| C | R | F-32 | K-273 |
| 5 | 4 | 9 | 5 |

Se han dividido los intervalos que existen en cada escala entre ebullición y fusión por un número común para simplificarlo (en este caso la división se ha hecho por 20). De esta manera quedan cuatro fórmulas o igualdades que permiten pasar de unas a otras fácilmente.

**¿Cuántos grados Fahrenheit son 27°C?**

$$F = C \cdot 1,8 + 32$$

$$\text{Ejemplo: } F = 27 \cdot 1,8 + 32 = 80,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

f) Efectos del calor sobre los cuerpos

El calor produce sobre los cuerpos dos efectos importantes: **dilatación** y **cambios de estado**.

- Dilatación

La dilatación es el aumento de volumen que experimentan los cuerpos al ser calentados, en cualquier estado en que se hallen. Los gases tienen mayor poder de dilatación.

Hay excepciones, y la más importante es el agua, que al descender la temperatura de la misma de 4° C a 0° C se dilata. En el resto de intervalos se comporta normalmente.

La dilatación puede producir grandes fuerzas o modificaciones, y es tenida muy en cuenta al construir puentes, edificios, etc., sobre todo si son de estructura metálica.

Al estudiar la dilatación se encuentran tres fenómenos:

- Dilatación lineal
- Dilatación superficial
- Dilatación cúbica

Dilatación lineal

Es el aumento de longitud de un cuerpo al ser calentado. Su fórmula es: $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$

La dilatación es directamente proporcional a la variación de temperatura.

20 °C



$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$



80 °C

$$L - L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

ΔL: Dilatación Lineal o Variación de Largo

L₀: Largo Inicial

L: Largo Final.

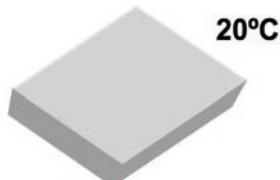
α: Coeficiente de Dilatación lineal.

Δt: Variación de Temperatura.

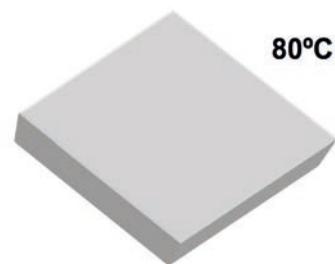


Dilatación superficial

Es el **aumento de [superficie]** de un cuerpo **al ser calentado**. En ella predomina la **variación en dos dimensiones** de un cuerpo; es decir: **el largo y el ancho**.



$$\Delta S = S_o \cdot \beta \cdot \Delta t$$

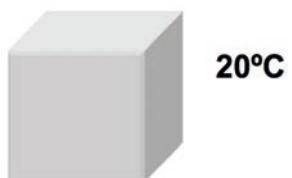


$$S - S_o = S_o \cdot \beta \cdot \Delta t$$

$$S - S_o = S_o \cdot 2\beta \cdot \Delta t$$

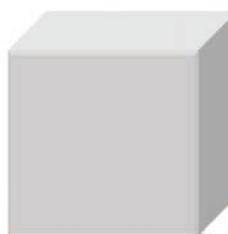
Dilatación cúbica o volumétrica

Es el **aumento de [volumen]** de un cuerpo **al ser calentado**. Se da en aquellos sólidos que tienen **tres dimensiones** (alto, ancho, profundo), por ejemplo **esferas, prismas y cubos**.



20°C

$$\Delta V = S_o \cdot \gamma \cdot \Delta t$$



80°C

$$V - V_o = S_o \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

$$V - V_o = V_o \cdot 3\gamma \cdot \Delta t$$

ΔS: Dilatación Superficie o Variación de Superficie (área)

S_o: Superficie Inicial

S: Superficie Final.

β: Coeficiente de Dilatación superficial.

Δt: Variación de Temperatura.

ΔV: Dilatación Volumétrica o Variación de Volumen

V_o: Volumen Inicial

V: Volumen Final.

γ: Coeficiente de Dilatación volumétrica.

Δt: Variación de Temperatura.

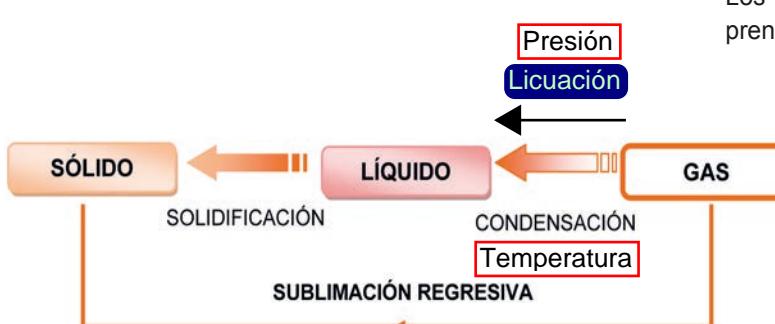
Cambios de estado



Los cambios de estado pueden ser **progresivos** o **regresivos**.

Los progresivos son aquellos en los que el cuerpo absorbe calor y se denominan:

- Fusión. Paso de sólido a líquido (ejemplo: hielo-agua).
- Vaporización. Paso de líquido a gas (ejemplo: agua-vapor-gas).
- Sublimación. Paso de sólido a gas (ejemplo: nieve-polvo-gas)



Los regresivos son aquellos en los que el cuerpo desprende calor, y se denominan:

- Solidificación. Paso de líquido a sólido (ejemplo: agua-hielo).
- Condensación (también llamada liquefacción). Paso de gas a líquido (ejemplo: gases licuados del petróleo)
- Sublimación regresiva. Paso de gas o vapor a sólido.



Monóxido de carbono(CO)



Dioxido de carbono(CO₂)



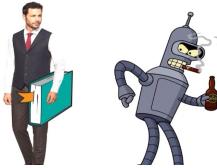
Cianuro de hidrógeno(HCN)



Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico(H₂S)



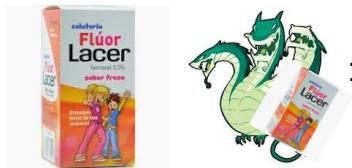
Amoniaco(NH₃)



Formaldehido o metanal(H₂C=O)



Cloro y clorados(Cl)



Fluor(F)o ácido fluorhídrico(HF)



Dióxio de azufre o anhídrido sulfuroso(SO₂)



Cloruro de carboncillo o fosgeno(COCL₂)



Aldehído acrílico o acroleína(C₃H₄O)

3.3.4. GASES

Gran parte de los elementos que constituyen el combustible en una combustión forman compuestos gaseosos cuando arden. La cantidad de gases que se producen en los incendios depende de los materiales presentes en la combustión.

Comb. completa: CO₂
Comb. incompleta: CO

La mayor parte de los materiales combustibles contiene carbono, que forma dióxido de carbono (CO₂) al quemarse si la concentración de aire es suficiente y la combustión es completa; puede producirse monóxido de carbono (CO) si dicha concentración es baja.

Estos dos gases, junto al vapor de agua, son los gases de combustión más abundantes en los incendios, pero también se produce amoniaco (NH₃), dióxido de azufre (SO₂), ácido cianhídrico (HCN), óxidos de nitrógeno (NO_x), ácido clorhídrico (HCl), fosgeno, etc.

Estos gases pueden ser tóxicos y producir en las personas que lo respiran incapacidad física, pérdida de coordinación, desorientación, envenenamiento e incluso la muerte.



b) Dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO₂)

El dióxido de carbono —también denominado óxido de carbono (IV), gas carbónico y anhídrido carbónico— es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula molecular es CO₂.

Es un gas no inflamable, soluble en agua, incoloro e inodoro, pero con pequeña molestia picante. Es más pesado que el aire y oxidante al contacto con el agua. No es tóxico pero sí asfixiante.

- **Vías de ingreso en el organismo y patología**
 - **Ingestión:** puede causar irritación, vómitos, náuseas y hemorragias en el tracto digestivo.
 - **Inhalación:** produce asfixia y causa hiperventilación. La exposición a largo plazo es peligrosa. Es asfixiante en grandes concentraciones.
 - **Piel y ojos:** en contacto directo puede producir congelación.

Datos Importantes

Punto de fusión: - 78 °C *agentes extintores - 79 °C

Punto de ebullición: - 57 °C

Densidad relativa: (aire=1): 1,52 (una vez y media más pesado que el aire).



c) Cianuro de hidrógeno (HCN)



Se designa como cianuros (CN) al ácido cianhídrico, a sus sales y a los cianuros de sodio, potasio y calcio, que son los más usados en el medio laboral.

El cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico (HCN) también se conoce como ácido prúsico o ácido hidrociánico. En estado gaseoso es un gas incoloro más pesado que el aire, en estado líquido es un líquido blanco azulado de olor característico a almendras amargas. Es explosivo en mezclas de 5% a 40% con el aire.

- **Cianuro de sodio** (NaCN), sólido blanco cristalino a temperatura normal.
- **Cianuro de potasio** (KCN), sólido blanco cristalino, débilmente fluorescente.
- **Cianuro de calcio** (Ca(CN)₂), terralcalino, llamado cianuro negro.

Estos tres cianuros producen HCN por acción del agua y los ácidos.

- **Vías de ingreso en el organismo** (exposiciones a gases, líquidos y aerosoles líquidos)
 - **Respiratoria:** importante, especialmente para el HCN.
 - **Digestiva:** ocasional o accidental.
 - **Cutánea:** importante, especialmente con las sales.

a) Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro, más ligero que el aire, que arde con llama azul. Es inflamable y explosivo en mezclas con el aire de 12.5% a 74.2%.

Se forma en la combustión incompleta de los materiales orgánicos carbonáceos, como la madera, carbón de madera o minera, petróleo y sus fracciones, gas natural y artificial o subproducto de explosivos. En toda combustión que haya déficit de oxígeno aumentará la producción de CO.

• Vías de ingreso en el organismo

Respiratoria, por inhalación del gas.

• Patología

El CO se combina con la hemoglobina (Hb) para formar carboxihemoglobina (COHb), unión que hace que la sangre pierda su capacidad transportadora de O₂, lo que provoca una hipoxia que puede derivar en anoxia. El CO se combina con la Hb para llegar a un estado de equilibrio según la concentración en el aire. Esta reacción será tanto más rápida cuanto más alto sea el nivel de CO atmosférico. El CO tiene mayor afinidad (260 veces mayor) por la Hb que el O₂.

La COHb es una reacción reversible y los glóbulos rojos aparentemente no son dañados. Cuando cesa la exposición el O₂ suplanta al CO en la sangre y se forma nuevamente Ohb.

La cantidad de CO unida a la Hb en forma de COHb se expresa en % de saturación sanguínea.



- Patología

Los cianuros producen por acción local irritación de las mucosas respiratorias y de la piel de grado mínimo a intenso (úlcera, corrosión, etc.).

La acción general es la más importante del HCN y los cianuros, que tienen gran capacidad y rapidez para formar complejos con los iones metálicos. Entre ellos está el Fe, que actúa como cofactor con la citocromooxidasa a nivel de la respiración celular. El CN se une con el ión del Fe e inhibe la enzima, lo que provoca una anoxia química por falta de entrega de O₂ a los tejidos; es decir, produce una alteración del mecanismo aeróbico.

Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico (H₂S)

El ácido sulfhídrico (H₂S) es un gas inflamable (en mezclas con el aire del 4.5% al 45%), incoloro, tóxico y soluble en agua. Se le llama comúnmente ácido hidrosulfúrico o gas de alcantarilla. Es uno de los compuestos destacados como causantes de molestias por malos olores. A pesar de ello, en el organismo humano desempeña funciones esenciales.

Emaná un olor característico a huevos podridos que proviene de la descomposición bacteriana de proteínas que contienen azufre. Este olor es perceptible en contenidos muy bajos, por debajo de 30 ppm (partes por millón). Desprende un olor dulce a concentraciones más altas y paralizante del olfato a nivel de 100 ppm o más. El nivel mínimo de percepción olfatoria estaría entre 0.003-0.02 ppm.

También se conoce como hidrógeno sulfurado, sulfuro de hidrógeno o hidruro de azufre.

En la industria se usa una forma líquida bajo presión.

- Vías de ingreso en el organismo

- **Inhalación:** el sulfuro de hidrógeno es más pesado que el aire y puede causar asfixia en espacios poco ventilados, situados a niveles bajos o cerrados.

- **Contacto con la piel:** el contacto directo con sulfuro de hidrógeno, líquido o gas, sobre la piel mojada o húmeda puede causar irritación.

- **Contacto con los ojos:** puede causar enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves.

- Patología

El ácido sulfhídrico es extremadamente nocivo para la salud. Bastan 20-50 ppm en el aire para causar un malestar agudo que lleva a la asfixia y a la muerte por sobreexposición. Por su grado de toxicidad se localiza directamente debajo del ácido cianhídrico (HCN).

- Datos Importantes

Punto de ebullición: -60 °C

Punto de fusión: -86 °C

e) Amoniaco (NH₃)



El amoniaco es un compuesto químico cuya molécula está formada por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H), de acuerdo con la fórmula NH₃.

También se denomina trihidruro de nitrógeno, hidruro de nitrógeno (III), azano, espíritu de Hartshorn, nitro-sil, vaporole, gas de amonio o AM-FOL.

Es un gas inflamable (16% - 25% con el aire). A temperatura ambiente el amoniaco es un gas incoloro de olor muy penetrante y nauseabundo. Se produce naturalmente por descomposición de la materia orgánica y también se fabrica de forma industrial. Es fácilmente soluble y se evapora con rapidez. Generalmente se vende en forma líquida.

f) Formaldehído o metanal (H₂C=O)



Es un compuesto químico, más específicamente un aldehído (el más simple de ellos), altamente volátil y muy inflamable, de fórmula H₂C=O. Se obtiene por oxidación catalítica del alcohol metílico. Es fungicida, germicida y desinfectante.

A temperatura normal es un gas incoloro de un olor penetrante, muy soluble en agua y en ésteres. Las disoluciones acuosas al 40 % se conocen con el nombre de formal, que es un líquido incoloro de olor penetrante y sofocante. Estas disoluciones pueden contener alcohol metílico como estabilizante. Puede ser comprimido hasta el estado líquido y su punto de ebullición es -21 °C.

g) Cloro y clorados (Cl)



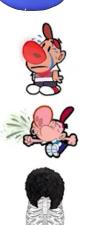
El cloro es un elemento químico de número atómico 17, situado en el grupo de los halógenos (grupo VII A) de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cl.

En condiciones normales y en estado puro forma dicloro, un gas tóxico no inflamable de color amarillo-verdoso formado por moléculas diatómicas (Cl₂), unas 2,5 veces más pesado que el aire, de olor desagradable y picante. Es un elemento abundante en la naturaleza y se trata de un elemento químico esencial para muchas formas de vida.

El cloro forma mezclas inflamables y explosivas con el hidrógeno y con algunos compuestos orgánicos, como hidrocarburos, alcoholes y éteres.

- Vías de ingreso en el organismo y patología

- **Inhalación:** el cloro irrita las mucosas oculares, las de la nariz y las de la garganta. La irritación va en aumento hasta producir dolor agudo y quemante. Esta irritación aparece también en el aparato respiratorio y en el pecho, desencadena una tos refleja que puede ser intensa y, a menudo, va asociada con dolor retroesternal que puede llegar a provocar vómito con sangre según las lesiones de las mucosas. Otros síntomas frecuentes son dolores de cabeza, malestar general, ansiedad y sensación de sofocación.



El cloro reacciona con los líquidos orgánicos formando ácidos y, en altas concentraciones, actúa como asfixiante al provocar espasmos en los músculos de la laringe y tumefacción de las mucosas.

- **Contacto con la piel:** entre los individuos expuestos durante mucho tiempo a bajas concentraciones de cloro es frecuente el acné. Es conocido comúnmente como cloracné. Puede llegar a dañar el esmalte dentario.
- **Contacto con los ojos:** puede causar enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves.

- Datos Importantes

Punto de ebullición: -34,7 °C

Punto de fusión: -101,0 °C

h) Flúor (F) o ácido fluorhídrico (HF)

El flúor es un gas a temperatura ambiente, de color amarillo pálido, formado por moléculas diatómicas F₂. Es el más electronegativo y reactivo de todos los elementos.

El ácido fluorhídrico (HF) es una disolución de fluoruro de hidrógeno en agua. Es un ácido débil, pero mucho más peligroso que ácidos fuertes como el clorhídrico o el sulfúrico. De los ácidos de uso corriente en los laboratorios es el más temido. Se utiliza para limpiar metales.

Las soluciones de HF son transparentes e incoloras, con una densidad similar a la del agua. La propiedad más conocida del HF es la de atacar al vidrio. También ataca esmaltes, cemento, caucho, cuero, metales (especialmente al hierro) y compuestos orgánicos.

- Vías de ingreso en el organismo y patología
 - **Inhalación:** en estado gaseoso el ácido fluorhídrico produce irritación respiratoria grave, sofocación y tos transitoria. Tras un periodo sintomático, que dura desde varias horas hasta uno o dos días, puede aparecer fiebre, tos, disnea, cianosis y edema pulmonar. Las exposiciones repetidas a concentraciones excesivas originan con los años fluorosis minusvalidante, debida al depósito de fluoruro en los huesos.
 - **Contacto con la piel:** en forma pura es altamente peligroso y causa graves quemaduras químicas al contacto con la piel. Atraviesa la piel, destruye los tejidos y huesos y es tóxico en cualquier concentración. Además provoca hipocalcemia. El HF anhídrido es extraordinariamente corrosivo.
 - **Contacto con los ojos:** puede causar quemaduras profundas graves.
- Datos Importantes

Punto de ebullición: -188 °C

Punto de fusión: -220 °C

i) Dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso (SO₂)

Es un gas incoloro con un característico olor asfixiante. Se trata de una sustancia reductora que con el tiempo, el contacto con el aire y la humedad, se convierte en trióxido de azufre. En condiciones normales la velocidad de esta reacción es baja.

Forma una disolución ácida al disolverse en el agua.

- Vías de ingreso en el organismo y patología
 - **Inhalación:** se delata inmediatamente al ser irritante para los ojos y el sistema respiratorio. Esto lo convierte en un "gas amigo". Es un gas incoloro. Cuando se combina con la humedad del tracto respiratorio se convierte en corrosivo, causando edemas a determinadas concentraciones. Puede provocar asfixia, tos, falta de respiración, dolor de garganta, estornudos, ronquera, dificultad en la respiración, disnea, cianosis, dolor de pecho, tráqueitis, bronquitis, náuseas, fatiga, vómitos, broncoconstricción, neumonitis, edema en la laringe/glotis, edema en las vías respiratorias superiores u obstrucción e incremento de la resistencia de la circulación del aire. Puede causar la muerte por edema pulmonar, acidosis sistémica o paro respiratorio. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas, y se agravan por el esfuerzo físico.
 - **Contacto con la piel:** el dióxido de azufre es un irritante corrosivo de la piel. En estado líquido puede provocar lesiones o quemaduras por congelación.
 - **Contacto con los ojos:** el dióxido de azufre es un irritante corrosivo de los ojos, aunque es poco común que en estado gaseoso produzca lesiones. Puede causar escozor en los ojos, lagrimeo, irritación conjuntival, enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves. En estado líquido puede provocar lesiones o quemaduras por congelación. También opacidad corneal, erosión, necrosis y finalmente ceguera.

j) Cloruro de carboncillo o fosgeno (COCl₂)

Se produce por el contacto de las llamas sobre los productos clorados (PVC), los aislamientos de cables de instalaciones eléctricas, materiales refrigerantes como el freón, etc. Es muy tóxico.

Es un importante componente químico industrial utilizado para hacer plásticos y pesticidas. A temperatura ambiente (21 °C) el fosgeno es un gas venenoso. Si es enfriado y presurizado se convierte en líquido y así puede ser transportado y almacenado. Cuando se libera fosgeno líquido se transforma rápidamente en gas, que permanece cerca del suelo y se propaga con rapidez. Al fosgeno también se le conoce por su denominación militar: CG.



El gas de fosgeno puede ser incoloro o puede verse como una nube que varía de blanca a amarilla pálida. En bajas concentraciones tiene un olor agradable, como a heno recién cortado o maíz verde, pero es posible que no todas las personas expuestas lo adviertan. En altas concentraciones el olor puede ser fuerte y desagradable.

El fosgeno por sí mismo no es inflamable (no se enciende ni se quema con facilidad), pero es un comburente (puede causar que prendan las sustancias inflamables que hay a su alrededor).

- Vías de ingreso en el organismo y patología
 - **Inhalación:** el principal efecto del fosgeno se da en los pulmones. Cuando se inhala y alcanza los espacios alveolares se convierte en cloruro de hidrógeno, y después en ácido clorhídrico y monóxido de carbono cuando llega a los pulmones. Produce sensación de quemazón, opresión torácica, dolor de garganta, tos, dificultad respiratoria y jadeo.
 - **Contacto con la piel:** en estado líquido provoca lesiones y quemaduras por congelación.
 - **Contacto con los ojos:** produce enrojecimiento, dolor y visión borrosa.
- Datos importantes

Punto de ebullición: 8 °C

Punto de fusión: -118 °C

k) Aldehído acrílico o acroleína

Es un líquido incoloro o amarillo, de olor desagradable. Se disuelve fácilmente en agua y se evapora rápidamente cuando se calienta. También se inflama con facilidad. Se pueden formar pequeñas cantidades de acroleína y dispersarse por el aire.

- Vías de ingreso en el organismo y patología
 - **Inhalación:** la exposición a la acroleína ocurre principalmente al respirarla. El humo de cigarrillo y los gases del tubo de escape de los automóviles contienen acroleína. La información disponible indica que inhalar grandes cantidades daña los pulmones y puede producir la muerte. La inhalación de cantidades más bajas puede producir lagrimeo de los ojos, ardor de la nariz y la garganta y reducción del ritmo respiratorio.
 - **Contacto con los ojos:** produce enrojecimiento, dolor y lagrimeo.
- Datos Importantes

Punto de ebullición: 52,5° C

Punto de fusión: - 87,7° C

4. ¿QUÉ ES UN FUEGO Y QUÉ ES UN INCENDIO?

El **DRAE** (Diccionario de la Real Academia Española) define el fuego como calor y luz producidos por la combustión.

El **DRAE** define el incendio como un fuego grande que destruye lo que no debería quemarse.

FUEGO + SERIE DE CARACTERÍSTICAS = INCENDIO

La norma **UNE 23026** define el fuego como una combustión caracterizada por una emisión de calor, humo y llama

La norma **ISO 13943** define el **fuego** como una **combustión** autosostenida que ha sido deliberadamente puesta en marcha para beneficiarse de sus efectos y que está **controlada** en su duración y su extensión espacial.

La misma norma **ISO 13943** define el **incendio** como una **combustión** que se propaga incontroladamente en el tiempo y en el espacio, una combustión de aportación **incontrolada**.

5. TRIÁNGULO Y TETRAEDRO DEL FUEGO

Los **incendios** se producen cuando coinciden un producto inflamable (**combustible**), un producto que favorece la combustión (**comburente**) y una fuente con suficiente energía de activación (**calor, chispa, llama**).

Cuando se dispone de estos tres factores en las proporciones correctas ocurre la combustión. Estos tres factores (combustible, comburente y calor) se representan a menudo mediante un triángulo, el **triángulo del fuego**. La supresión de uno de los lados del triángulo (un factor) hace imposible que se produzca un incendio (o lo extingue si ya existe).

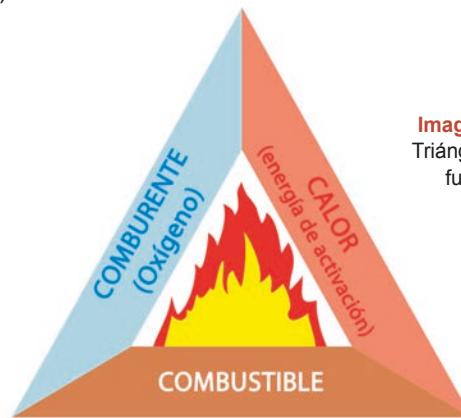


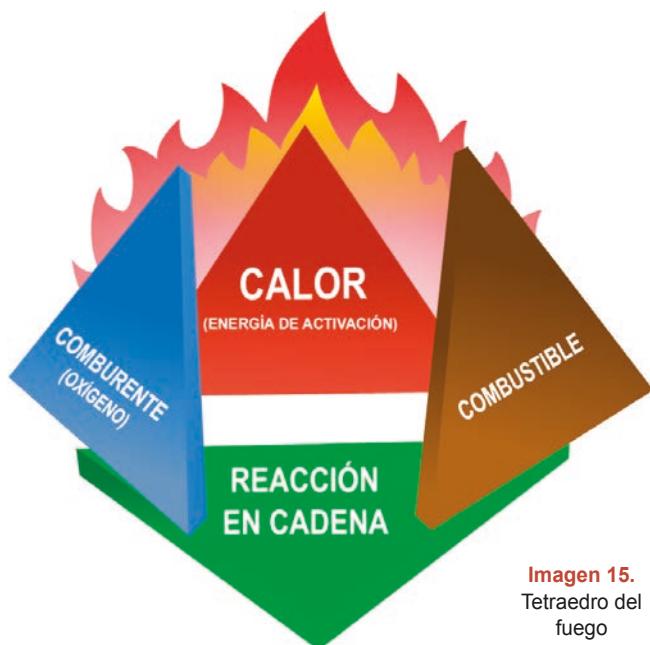
Imagen 14.
Triángulo del
fuego

El triángulo de fuego (combustible, comburente y calor) fue una representación aceptada durante mucho tiempo. Sin embargo, una observación más precisa del fenómeno del fuego hizo necesaria la inclusión de un cuarto factor, de una cuarta variable, que por estar íntimamente relacionada con todas las anteriores dio lugar al denominado **tetraedro del fuego**: las **reacciones en cadena**.

La reacción de combustión, como se ha visto anteriormente, genera unos productos de combustión (humos, gases, residuos sólidos) y mucho más calor que el precisado inicialmente. Cuando este calor generado se reinvierte en promover el desarrollo de nuevas reacciones químicas en cadena el proceso de combustión se vuelve incontrolable, y si no se elimina alguno de los tres factores concurrentes que determinan la posibilidad del incendio este no se extingue.

Es por ello que la posibilidad de estas reacciones en cadena constituye un cuarto factor, junto a los tres citados anteriormente, que permite el fenómeno de la progresión espontánea del incendio y su propagación en el espacio y en el tiempo y que forma, como se ha indicado, el llamado **tetraedro del fuego** (un tetraedro y no un cuadrado para expresar la relación inherente de cada lado con los demás). Las acciones capaces de impedir las reacciones en cadena son eficaces para limitar la propagación del incendio y facilitar su extinción.

Con este esquema sólo se quiere indicar que de la misma forma que si se retira una cara el poliedro desaparece, al suprimir uno de los factores el fuego se extingue.



5.1. COMBUSTIBLE

Se define como combustible cualquier sustancia capaz de arder en presencia de una energía de activación; es decir, cualquier sustancia capaz de combinarse con un comburente en una reacción rápida y exotérmica.

El grado de inflamabilidad de los combustibles condiciona la fuente de inflamación necesaria para que se produzca un incendio. Las sustancias inflamables y las fácilmente inflamables pueden llegar a inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin necesidad de una fuente de inflamación o tras un breve contacto con una de ellas.



Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos, aunque independientemente de su estado inicial siempre entran en combustión en estado gaseoso (pirólisis, pirogenación). Cuando el combustible es sólido o líquido, es necesario un aporte previo de energía para llevarlo al estado gaseoso.

La ignición de un combustible, y por tanto la peligrosidad del mismo, depende de varios factores que se pueden analizar por medio de unas constantes físicas propias de cada combustible que se detallan a continuación.

5.1.1. TEMPERATURA MÍNIMA A LA QUE EMITE VAPORES INFLAMABLES

a) Punto de inflamación (*Flash Point*)

Es la temperatura mínima a la que un combustible emite suficientes vapores susceptibles de inflamarse si entran en contacto con una fuente de ignición. Si no hay fuente de ignición no arderá.

También se define como la mínima temperatura en °C a 760 mm de Hg a la que una sustancia combustible en contacto con el aire desprende la suficiente cantidad de vapor para que la mezcla vapor-aire sea susceptible de inflamarse, mediante el aporte a la misma de una energía de activación externa.

b) Punto de ignición o de incendio (*Ignition Point*)

Es la temperatura mínima a la cual un combustible emite suficientes vapores susceptibles de inflamarse y de mantener la inflamación (sigue ardiendo aunque se retire la fuente) si entran en contacto con una fuente de ignición. Suele estar unos grados por encima del punto de inflamación.

c) Punto de autoinflamación

Es la temperatura mínima a la cual los vapores emitidos empiezan a arder sin necesidad de aporte de fuente de ignición (en condiciones normales).

También se define como la mínima temperatura en °C a 760 mm de Hg a la que una sustancia sólida, líquida o gaseosa en contacto con el aire arde espontáneamente sin necesidad de ningún aporte energético a la mezcla.

d) Punto de autoignición (*Autoignition Point*)

Es la temperatura mínima a la que debe calentarse un combustible en presencia de oxígeno para que se produzca su inflamación y se sostenga la combustión sin el aporte de una energía de activación o un foco de ignición externos.



5.1.2. CONCENTRACIÓN DE VAPORES

COMBUSTIBLE/COMBURENTE

No todas las mezclas combustible/comburente son susceptibles de entrar en combustión. Existen unos límites de inflamabilidad que se detallan a continuación:

- Límite superior de inflamabilidad (LSI). Es la máxima concentración de vapores combustibles mezclados en el aire capaz de entrar en combustión. Por encima del LSI no se produce la combustión por falta de comburente.

- Límite inferior de inflamabilidad (LII). Es la mínima concentración de vapores combustibles mezclados en el aire capaz de entrar en combustión. Por debajo del LII no se produce la combustión por falta de combustible.

El intervalo entre ambos límites se denomina rango de inflamabilidad. En él existen dos puntos de gran importancia:

- Punto ideal de combustión (PIC). Es el punto en el que la combustión se produce en las mejores condiciones.
- Punto estequiométrico (PE). Es el punto en el que se genera una explosión si la reacción se produce (la velocidad de reacción es máxima).



Imagen 16. Inflamabilidad

Tabla 3. Rangos de inflamabilidad

| SUSTANCIA | L.I.I. | L.S.I. |
|---------------------|--------|--------|
| AMONIACO | 16 | 25 |
| MONÓXIDO DE CARBONO | 15,5 | 74 |
| METANO | 5 | 15 |
| ALCOHOL ETÍLICO | 4,3 | 7,1 |
| CLORURO DE VINILO | 3,6 | 33 |
| ETANO | 3 | 14,4 |
| ACETILENO | 2,5 | 81 |
| ACETONA | 2,5 | 19,3 |
| PROPILENO | 2,4 | 11 |
| PROPANO | 2,2 | 9,5 |
| BUTANO | 1,8 | 8,4 |
| PENTANO | 1,5 | 7,8 |
| GASOLINA | 1,5 | 7,6 |
| BENCENO | 1,4 | 7,1 |
| AGUARRÁS | 1,1 | 6 |
| GASOIL | 0,6 | 6,5 |

Tabla 4. Temperaturas de inflamación y autoinflamación

| COMBUSTIBLE | TEMPERATURA | TEMPERATURA |
|-----------------|-------------|-----------------|
| | INFLAMACIÓN | AUTOINFLAMACIÓN |
| Poliamida | 420 °C | 425 °C |
| Polietileno | 345 °C | 490 °C |
| Aceite | 232 °C | 343 °C |
| Madera | 225 °C | 280 °C |
| Glicerina | 160 °C | 370 °C |
| Gasoil | 60 °C | 330 °C |
| Alcohol etílico | 18 °C | 425 °C |
| Acetona | -18 °C | 540 °C |
| Gasolina | -39 °C | 285 °C |
| Butano | -60 °C | 287 °C |
| Propano | -104 °C | 450 °C |
| Gas natural | -180 °C | 482 °C |
| Metano | -188 °C | 537 °C |
| Hidrógeno | -259 °C | 580 °C |

5.2. COMBURENTE

Aunque un comburente es cualquier agente oxidante capaz de oxidar un combustible, en una reacción rápida y exotérmica este término se suele aplicar a mezclas de gases en las cuales el oxígeno esté en proporción suficiente para que en su seno se inicie y desarrolle la combustión, ya que el oxígeno molecular (O_2) es el agente oxidante más común.



El oxígeno, contenido aproximadamente en un 21% en volumen (23% si se considera en peso) en el aire, es el comburente más común en todos los fuegos e incendios.

Por otro lado, algunos compuestos tales como la nitrócelulosa, al contener en su composición ambos agentes oxidante y reductor, pueden sufrir combustión sin más aporte externo que la energía de activación. Para que se desarrolle la combustión habitualmente es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno en el ambiente (por debajo del 15% generalmente el fuego se apaga). Esta proporción mínima se determina por medio del ensayo del índice crítico de oxígeno.

En contacto con materias orgánicas ciertos ácidos fuertes oxidantes (por ejemplo, ácido sulfúrico o nítrico) pueden causar combustiones y provocar incendios sin necesidad de una fuente de ignición adicional. Cuando se encuentra directamente afectada por el fuego la materia comburente libera oxígeno y da como resultado una combustión auto-sostenida, incluso en una atmósfera sin oxígeno.

La existencia de un comburente no es peligrosa por sí misma, pero en un incendio aumenta el peligro y la virulencia del mismo.

Tabla 5. Comburente

| Composición del aire (Comburente) | | | | |
|-----------------------------------|--------------|---------------|--------------|-----------|
| Aire | % en volumen | | % en peso | |
| | Real | Uso | Real | Uso |
| Nitrógeno | 78,03 | 79 | 75,45 | 76,8 |
| Oxígeno | 20,99 | 21 | 23,2 | 23,2 |
| Argón | 0,94 | 0 | 1,3 | 0 |
| CO ₂ | 0,03 | 0 | 0,05 | 0 |
| Otros | 0,01 | 0 | despreciable | 0 |
| Peso molecular (kg/kmol) | | 28,967 | | 29 |

5.3. ENERGÍA DE ACTIVACIÓN. CALOR

Para que un fuego se inicie es necesario que los reactivos (comburente y combustible) se encuentren en unas condiciones favorables en las que pueda producirse la reacción.

La energía de activación aportada por los focos de ignición tiene diversos orígenes:



La energía mínima necesaria para que la reacción se inicie se denomina energía de activación, y la proporcionan las fuentes de ignición, que pueden ser las llamas abiertas, superficies calientes, chispas eléctricas, brasas (cigarrillos), etc.

- Origen químico (cualquier reacción exotérmica provoca calor, que puede ser el origen de un incendio).
- Origen mecánico (los choques o roces entre metales generan calor y chispas, que pueden aportar la energía necesaria para iniciar un incendio).
- Origen eléctrico (el paso de una corriente eléctrica provoca calor, causa de numerosos incendios).
- Origen térmico o directo.
- Origen biológico, como por ejemplo el calor que desprende la fermentación.
- Origen natural o atmosférico (como por ejemplo los rayos)

Un foco puede provocar la ignición si la magnitud e intensidad de su energía es suficiente para aumentar la temperatura del combustible por encima de su punto de ignición.

El aporte energético se efectúa fundamentalmente de las siguientes formas:

- **Llamas.** Las llamas son una fuente segura de ignición para la mezcla de vapor inflamable y aire que se encuentre dentro de su margen de inflamabilidad. Para ello, las llamas deben ser capaces de calentar el vapor hasta su temperatura de ignición en presencia de aire. En algunos líquidos y sólidos será necesario que la llama permanezca durante un tiempo y a una temperatura suficiente para volatilizar el material combustible e inflamar los vapores emitidos. Una vez iniciada la ignición, el calor radiado por los vapores perpetúa el proceso de combustión.
- **Chispas eléctricas, estáticas y de fricción.** Las chispas deben tener suficiente energía para poner en ignición la mezcla de vapor inflamable y aire. Las chispas producidas por instalaciones eléctricas comerciales tienen una temperatura superior a la de las llamas y generalmente son capaces de producir la ignición de las mezclas inflamables.
- **Superficies calientes.** Las superficies calientes pueden convertirse en fuentes de ignición siempre y cuando tengan dimensión y temperatura suficientes.
- **Brasas.** Las brasas, una vez apagadas las llamas, en los momentos finales de la combustión de la madera, producen calor por radiación.



5.4. REACCIONES EN CADENA (REC)

Los procesos mediante los cuales progresa la reacción en el seno de la mezcla comburente/combustible suelen transcurrir mediante reacciones en cadena (REC), reacciones químicas complejas que sólo aparecen cuando hay combustión con llama. La reacción en cadena está asegurada y es inherente a la mayoría de los combustibles siempre que el aporte energético sea suficiente y exista mezcla comburente/combustible.



La reacción en cadena consiste en el automantenimiento de la combustión por la eliminación de los radicales libres (hidroxilos). Una vez puesta en marcha progresará por sí misma y proporciona una energía mayor que la inicial, lo que provoca un número creciente de roturas de enlaces de carbono (C) y oxígeno (O₂).

En muchos casos una mezcla de productos reactivos no reacciona si no se aporta una energía de activación o si no se induce una disminución de la energía necesaria para que tenga lugar la reacción.

La reacción en cadena está asegurada a nivel molecular cuando la energía desprendida por la reacción de un número de moléculas es suficiente para activar un número igual o mayor de ellas.

A partir del momento en que el proceso es capaz de aportarse a sí mismo la suficiente cantidad de energía como para mantener una emisión de gases constantes (radicales libres), el proceso se entenderá como automantenido. Cuando se alcanza este estadio se conoce comúnmente como tetraedro del fuego.

La velocidad de reacción en cadena se duplica con una elevación de 10 °C y se puede multiplicar por un millón o más ante un aumento de 200°C. Para que esto ocurra deben existir grandes cantidades de combustible y de oxígeno.

5.5. AGENTES PASIVOS

Para que la combustión ocurra deben estar presentes el combustible, el calor y el oxígeno (triángulo de fuego) y, adicionalmente, la reacción en cadena (tetraedro de fuego). Sin embargo existe un factor añadido que afecta tanto al triángulo como al tetraedro, denominado agentes pasivos. Los agentes pasivos o pasivos, como comúnmente se los denomina, están presentes en cualquier proceso de combustión y no toman parte en la reacción química de combustión. Pero el hecho de que absorban o roben la energía (calor) afecta al comportamiento del fuego.

Ejemplos de agentes pasivos:

- Gases no inflamables: dióxido de carbono y vapor de agua.

- Hollín: partículas de carbón.
- Agua: temperatura y humedad.
- Nitrógeno: un componente del aire (un 79% del mismo en volumen, aproximadamente) que permanece inerte a través de la combustión.

Sustancias combustibles e inflamables

Para entender la diferencia entre sustancias combustibles e inflamables primero es necesario explicar el proceso de **pirólisis**.

Se define la **pirólisis** como la **descomposición** de una sustancia por el **calor**. Todas las sustancias, si se les aplica calor, se descompondrán desde su estado sólido o líquido al estado vapor. Se debe al efecto que provoca el calor cuando se aplica sobre las moléculas: estas lo absorben y pierden estabilidad de forma progresiva a medida que se descomponen a través de los diferentes estados de la materia. Pero en función de las características físico-químicas de la sustancia, cambian las condiciones de entorno; esto es, la cantidad de calor o energía que hay que proporcionar a la sustancia para que se descomponga y, por lo tanto, comience su proceso de pirólisis.

Existe una **temperatura mínima** a partir de la cual la sustancia emite los suficientes vapores como para **encenderse** (la sustancia no se quema por sí sola, en realidad es el vapor lo que se quema cuando existe la combinación adecuada con oxígeno). Esta temperatura es el punto de ignición o encendido, la temperatura a la cual un combustible líquido produce vapores suficientes como para mantener la combustión una vez iniciada.

El **punto de ignición** suele estar unos pocos grados por encima del **punto de inflamación** (temperatura a la cual un combustible líquido emana vapores suficientes como para formar una mezcla inflamable con el aire alrededor de la superficie).

Sustancias combustibles e inflamables son aquellas que se pueden quemar. Es en función del punto de ignición o del punto de inflamación, generalmente, por lo que diferenciamos una sustancia combustible de otra inflamable.

De forma genérica puede decirse que:

- Una sustancia combustible es aquella que tiene un punto de ignición bajo y es capaz de mantener el fuego.
- Una sustancia inflamable es aquella sustancia combustible que tiene facilidad para emitir gases que arden (inflamables). Esto sucede en función de:
 - El flujo de calor que recibe el material.
 - La constitución del material (la posibilidad de que los gases puedan salir al exterior).
 - El punto de inflamación del material.

6. TIPOS DE LOS INCENDIOS

Los incendios pueden clasificarse en función de multitud de parámetros.

La norma que regula la clasificación de los incendios es la EN 2 (antigua norma derogada UNE- 23010), y los clasifica:

- Según la naturaleza del combustible.
- Por la forma del foco.
- Por la superficie afectada.
- Por la situación o forma de manifestarse.

6.1. SEGÚN LA NATURALEZA DEL COMBUSTIBLE

6.1.1. FUEGOS CLASE A

Son fuegos originados por combustibles sólidos que tienen un alto punto de fusión. Producen brasas y normalmente tienen origen orgánico, compuesto entre otros por carbono e hidrógeno (madera, carbón, paja, tejidos y, en general, materiales carbonáceos).

Estos fuegos retienen el oxígeno en su interior y forman brasa. Se denominan fuegos profundos.

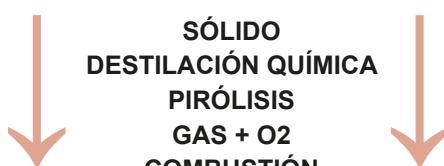
- **Pirólisis**

¿Arden los combustibles sólidos?

Los combustibles sólidos no arden. La llama es un fenómeno visible de la combustión en fase gaseosa; es decir, arden los vapores que se originan como consecuencia de la descomposición por el calor de los combustibles sólidos.

La pirólisis es una descomposición química de una materia producida por una elevación de la temperatura, sin reacción con el oxígeno.

En la pirólisis no interviene el oxígeno, ya que no hay todavía combustión. Al reaccionar los vapores que provienen de la pirólisis del combustible sólido con el oxígeno es cuando se produce la oxidación; es decir, la combustión.



La norma ISO 13943 define la pirólisis como aquella parte del proceso de descomposición química irreversible causado por el incremento de la temperatura. La pirólisis puede estar acompañada por descomposición debida a otras acciones, por ejemplo ataques químicos.

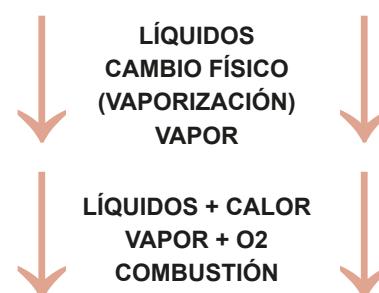
6.1.2. FUEGOS CLASE B

Provocados por combustibles líquidos o sólidos con bajo punto de fusión. Previamente debe tener lugar la evaporación. Se consideran líquidos también aquellos combustibles que, aun siendo sólidos, se licuan antes de alcanzar su temperatura de ignición (algunos plásticos). No producen brasas.

- **Vaporización**

¿Arden los combustibles líquidos?

Los combustibles líquidos no arden. La llama es un fenómeno visible de la combustión en fase gaseosa; es decir, arden los vapores generados por acción del calor.



6.1.3. FUEGOS CLASE C

Son los fuegos de gases; es decir, combustibles en fase gaseosa (no las combustiones de los gases producidos en la evaporación de los combustibles sólidos o líquidos). Producidos o generados por sustancias gaseosas, tales como propano, butano, metano, hexano, gas ciudad, gas de hulla, etc.

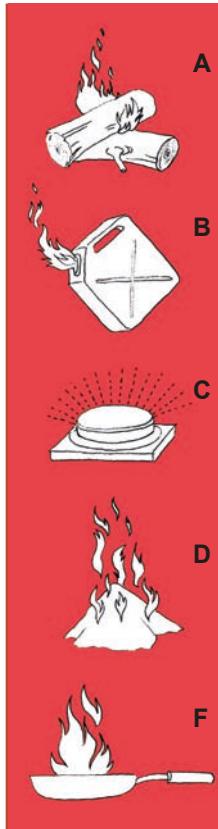
6.1.4. FUEGOS CLASE D

Son fuegos originados por metales. Es un tipo de fuego muy especial y de muy difícil y peligrosa extinción. Da lugar a reacciones químicas complejas y normalmente el fuego de este tipo de metales es capaz de desplazar el hidrógeno del agua, lo que provoca explosiones por combustión de este gas. Su extinción necesita agentes extintores específicos, ya que el uso del agua está prohibido en casi todos los casos. En algunas clasificaciones vienen denominados por la letra M.

6.1.5. FUEGOS CLASE F

Corresponde con la denominación Americana Clase K. Son fuegos originados por aceites de cocina y grasas.

Resumen de la “Clasificación de los fuegos” según la Normativa Europea de clasificación de incendios en función del combustible (EN 2: 1992):



CLASES DE FUEGO

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

Ejemplo: madera, carbón, tela, papel, cartón, paja, plástico, caucho, etc.

Clase B: son los fuegos de líquido o de sólidos licuables.

Ejemplo: gasolina, petróleo, alcohol, gasóleo, alquitrán, grasas, ceras, parafinas, etc.

Clase C: son los fuegos de gases.

Ejemplo: acetileno, butano, metano, propano, gas natural, gas ciudad, hidrógeno, propileno, etc.

Clase D: son los fuegos de metales.

Ejemplo: aluminio en polvo, potasio, sodio, magnesio, etc.

Clase F: son los fuegos derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en los aparatos de cocina.

Se extingue la antigua clase E (fuegos eléctricos), no reconocida por la normativa vigente debido a que la electricidad no es un combustible. En este grupo quedaba incluido cualquier combustible que arda en presencia de cables o equipos eléctricos bajo tensión. Si esta no existiera (o se hubiera cortado la corriente), el combustible definiría la clase de fuego (generalmente pasa a ser de clase A).

6.2. POR LA FORMA DEL FOCO DE INCENDIO

Por la forma del foco o según la distribución de la materia, los incendios se pueden clasificar en:

- Foco plano.
- Foco vertical.
- Foco alimentado.

6.2.1. FOCO PLANO

Cuando el incendio se manifiesta sobre el plano horizontal con predominio dimensional sobre el vértice y la disposición del producto que arde no queda oculta a la observación directa del incendio desde cualquier punto (incendios de combustibles líquidos, charcas o sólidos dispersos y próximos).

6.2.2. FOCO VERTICAL

Cuando el incendio se manifiesta en varios planos horizontales o inclinados y verticales, o cuando varias zonas en combustión quedan ocultas a la observación (pacas de paja, apilamientos, etc.).

6.2.3. FOCO ALIMENTADO

Cuando el incendio plano o vertical es mantenido por la aportación de combustibles procedentes de depósitos no afectados, aljibes, pozos, tuberías, etc. (escapes de gas).

6.3. POR LA SUPERFICIE AFECTADA

Esta clasificación sólo es de utilidad en los incendios forestales. Se pueden especificar las siguientes clasificaciones:

Tabla 6. Clasificación por superficie afectada

| GRADO | DENOMINACIÓN | SUPERFICIE EN LLAMAS |
|-------|---|----------------------|
| I | Hasta 4 m ² | Pequeño |
| II | De 4 a 10 m ² | Mediano |
| III | De 10 a 100 m ² | Grande |
| IV | De 100 a 1.000 m ² | De envergadura |
| V | De 1.000 a 5.000 m ² | De envergadura |
| VI | De 5.000 a 10.000 m ² (1 Ha) | De envergadura |
| VII | De 1 a 25 Ha | De envergadura |
| VIII | De 12 a 100 Ha | De envergadura |
| IX | De 100 a 500 Ha | De envergadura |
| X | Más de 5.000 Ha | De envergadura |

A partir de 100 m² se considera de envergadura si la altura de las llamas es superior a la diagonal media de la superficie horizontal afectada. Si no se cumple esto último, el fuego se considera grande, aunque la superficie activa de llamas sea superior a 100 m².

6.4. POR LA FORMA EN QUE SE DESARROLLAN

6.4.1. EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

La velocidad de reacción es la cantidad de reactivos transformados en productos por unidad de tiempo. La velocidad de propagación de una llama es la velocidad de avance del frente de reacción; es decir, la velocidad lineal que separa la zona no destruida de los productos de reacción. Para el butano la velocidad de propagación es de 0,9 m/s y para el acetileno 14 m/s. En base a este parámetro las reacciones de oxidación-reducción se clasifican en:

- **Combustión lenta y muy lenta:** se conoce con el nombre de oxidación. La energía que desprende es muy pequeña y se disipa en el ambiente sin producir un aumento local de temperatura (no existe reacción en cadena). No hay emisión de luz y muy poca emisión de calor. Por ejemplo el amarilleado del papel sometido al calor, la oxidación del hierro, etc.
- **Combustión simple, normal o rápida:** en algunas bibliografías consideran rápida como instantánea o muy rápida. Son oxidaciones moderadamente rápidas, cuya velocidad del frente de reacción es apreciable visualmente y se mantiene inferior a 1 m/s. La energía desprendida es apreciable. Hay desprendimiento de calor, luz y llamas (fuego): una parte se disipa en el ambiente y otra se emplea en mantener la reacción en cadena y activar la mezcla comburente-combustible. Los incendios normales siguen esta combustión.
- **Combustión instantánea o muy rápida:** el caso más típico es la explosión. El término explosión se aplica de una forma genérica a aquellos fenómenos que conllevan la aparición de ondas de presión; es decir, cuando una combustión produce "sobrepresiones". Suelen causar fenómenos destructivos, pero no es condición indispensable para que se trate de explosión. Los especialistas en explosiones por reacción química denominan explosiones a las combustiones que por su velocidad de propagación ($> 1\text{m/s}$) producen aumentos de presión, provoquen o no fenómenos destructivos. Las deflagraciones y detonaciones son por tanto consideradas explosiones. Generalmente las explosiones surgen si se permite que el combustible y el oxidante lleguen a mezclarse íntimamente antes de la ignición (existe una mezcla previa). En consecuencia, la reacción de la combustión avanza rápidamente porque no hay necesidad de poner en contacto previamente al combustible y al oxidante.

Explosiones

Las explosiones pueden ser deflagraciones o detonaciones.

a) Deflagraciones o combustiones deflagrantes

Son aquellas combustiones en las que la velocidad del frente de reacción es superior a 1 m/s, pero inferior a la velocidad del sonido ($< 340\text{ m/s}$ o subsónica) en el

medio en que se producen. Ya aparecen fenómenos de sobrepresiones como consecuencia de la generación de gases y de las temperaturas en la reacción. La onda de presión suele estar comprendida entre cinco y diez veces la presión original. Estas ondas se mantienen paralelas entre sí, sin discontinuidades, generando efectos sonoros.

Hay que tener en cuenta que estas presiones son sólo diez veces superiores a la inicial. Si el recinto estuviera cerrado y no se permitiera la liberación de sobrepresión, la deflagración podría convertirse en una detonación de consecuencias mucho más graves. Normalmente todas las explosiones que se producen son de tipo deflagración, porque siempre se rompe algún cristal, tabique, etc., que permite la evacuación de la presión de forma natural. Son ejemplos de deflagraciones los vapores de líquidos inflamables, las mechas lentas, etc.

b) Detonaciones o combustiones detonantes

Son combustiones muy rápidas o instantáneas en las que la velocidad de propagación del frente de reacción es superior a la velocidad del sonido en el medio ($> 340\text{ m/s}$ o supersónica). Las sobrepresiones que se originan están comprendidas entre veinte y cuarenta veces la inicial, incluso cien veces.

Aquí el frente de llamas acompaña y va a la misma velocidad que el frente de presiones. La detonación provoca efectos sonoros y destructivos muy superiores a la deflagración, y hay que tener en cuenta que en ambas se producen enormes elevaciones de temperatura, lo que provoca los incendios que normalmente acompañan a las explosiones. Son ejemplos de detonaciones las producidas por explosivos industriales detonantes y la combustión de mezclas aéreas de gases y vapores en especiales circunstancias.

6.4.2. EN FUNCIÓN DE LA PROPAGACIÓN DEL OXÍGENO

c) Combustión completa

La combustión es completa cuando el suministro de oxígeno es abundante (21%) y produce CO_2 y H_2O . El humo producido es blanco o gris pálido. El combustible se combina totalmente con el oxígeno sin dejar más productos residuales que anhídrido carbónico y vapor de agua.

d) Combustión incompleta

La combustión es incompleta cuando hay escasez de oxígeno (comburente) o existen partículas incombustibles y se produce CO y H_2O . El monóxido de carbono es ávido de oxígeno, lo que constituye una amenaza de explosión en caso de ventilación súbita del espacio. El humo producido es negro o muy oscuro y está muy caliente.



6.4.3. EN FUNCIÓN DE LA EMISIÓN O NO DE LLAMAS

La combustión con o sin llama está asociada a una determinada velocidad de reacción.

a) Combustión con llamas

Los líquidos y gases inflamables arden siempre con llama (la mayor parte de los plásticos sólidos pueden considerarse como líquidos inflamables solidificados, que como tales funden antes de su combustión). La llama está relacionada con velocidades de combustión relativamente altas.

Aproximadamente dos terceras partes del calor liberado del objeto quemado pasan al ambiente circundante en forma de calor, y una tercera parte en forma de radiación (que contribuye a la combustión). La energía liberada por el objeto y la temperatura del ambiente tienden a igualarse en función del tiempo. Si la temperatura ambiente es alta, el fuego aumenta, y si es baja, el fuego disminuye o se ralentiza.

b) Combustión sin llamas

Es el caso de algunos sólidos. El carbono puro y algunos metales fácilmente oxidables arden sin llama (magnesio, aluminio, zirconio, uranio, sodio, potasio, etc.) y con temperaturas característicamente altas que oscilan entre 1500 y 2000 ° C. Se llama también incandescencia. No se produce reacción en cadena, por lo que se puede representar con el triángulo de fuego.

6.5. SEGÚN EL LUGAR DONDE SE DESARROLLAN

c) Fuegos interiores

Tienen lugar en el interior de los edificios sin manifestarse al exterior. Sin aporte de oxígeno, consumen el del interior creando brasas y una elevada presión de gases tóxicos y combustibles.



Imagen 18. Fuego interior

a) Fuegos exteriores

Los que tienen manifestación visible al exterior del edificio. Son los que se producen en los materiales del exterior del edificio o los que se originan en el interior y se manifiestan con llamas al exterior por puertas o ventanas. Se alimentan por el oxígeno del aire exterior, por lo que se propagan rápidamente.



Imagen 19. Fuego exterior

b) Por la actividad desarrollada en el recinto

Se asocian generalmente al tipo de peligro relacionado con el uso. En función del mismo se podrían considerar, entre otros:

- Viviendas y oficinas
- Industrias
- Garajes y aparcamientos
- Hospitales y residencias de 3^a edad
- Locales de espectáculos y reunión
- Comercios
- Almacenes
- Vía pública (mobiliario urbano, etc.)
- Recintos de gran volumen



Imagen 20. Fuego exterior en industria

6.6. POR SU MAGNITUD

6.6.1. CONATO

Es un pequeño incendio que puede ser sofocado rápidamente con extintores estándar. Es conveniente conocer cómo usar un agente extintor y conocer los tipos de extintores. Así se podrá extinguir un conato y evitar que se convierta en un incendio mucho más destructivo.

6.6.2. INCENDIO PARCIAL

Estos fuegos abarcan parte de una instalación, casa o edificio. Este fuego es muy peligroso y podría extenderse y descontrolarse, lo que lo convertiría en un incendio total. En estos casos ya no sirve enfrentarse al fuego con extintores. Hay que salir a una zona segura y esperar a los equipos de emergencia especializados.

6.6.3. INCENDIO TOTAL

Es el incendio que se encuentra totalmente fuera de control y afecta completamente a una casa, edificio o instalación. Es casi imposible combatirlo y lo que intentarán los bomberos es que no se extienda a otros edificios colindantes.

7. EVOLUCIÓN DE LOS INCENDIOS

Dentro de la evolución de un incendio se definen cuatro fases:

- Inicio
- Desarrollo
- Propagación
- Extinción

7.1. INICIO

Para que el fuego se inicie son esenciales combustibles, un comburente y una energía de activación.

Con los tres factores del fuego comienza el incendio, que produce una liberación de energía en forma de calor que es suficiente para mantener la reacción en cadena.

7.2. DESARROLLO

El incendio se desarrolla libremente porque el contenido de oxígeno posibilita la combustión completa de los materiales involucrados. La temperatura ambiente sube y, por radiación y conducción, se inflaman otros elementos que no estaban afectados por el fuego. La temperatura ambiente sube de forma acelerada (por ejemplo, en el techo de un cuarto puede superar los 700°). En poco tiempo empieza a disminuir la concentración de oxígeno en el aire. Cada vez se genera más monóxido de carbono, gas inflamable y asfixiante, así como otros gases inflamables que no combustionan por falta de oxígeno.

Es lo que se denomina fase latente del incendio. Esta fase es muy peligrosa, ya que anticipa la combustión súbita generalizada (CSG). La sobrepresión hará que salten cristales u otros elementos, de forma que se facilita la entrada de aire fresco y la aportación de oxígeno, que es lo que necesita el fuego latente para que se produzca la combustión.

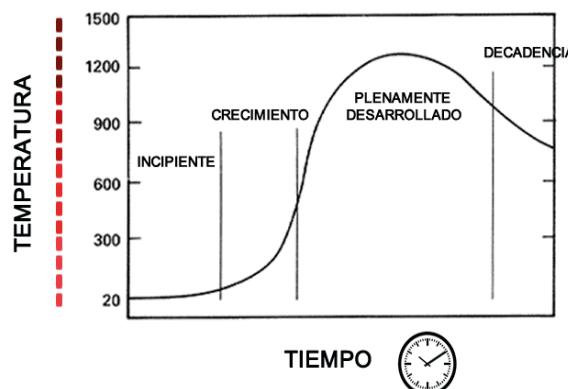


Imagen 21. Desarrollo incendio

7.3. PROPAGACIÓN

El incendio alcanza grandes dimensiones y en esta fase el calor se transmite por todos los medios. Por convección se generan corrientes de humo y gases calientes que buscan cualquier resquicio para continuar su camino. La radiación actúa de forma relevante en esta fase, ya que cuanto más calientes están los cuerpos más radiación se transmite.

7.4. EXTINCIÓN

Puede producirse de forma natural –si todo el combustible se agota porque ya se ha quemado, el incendio se apaga solo porque ya no hay nada que pueda arder–, aunque cuando se habla de extinción se hace referencia a la extinción provocada por la acción del hombre. En la actuación de los Bomberos se deben seguir unas pautas conocidas.

8. TRANSMISIÓN DE LOS INCENDIOS

Siempre que existe una diferencia de temperatura la energía (calor) se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. Esta transmisión se puede definir como el paso de calor de los cuerpos más calientes a los que lo están menos, con el fin de estabilizar el sistema energético y conseguir un equilibrio de temperaturas.

La transferencia de calor determina la ignición, combustión y extinción de la mayoría de los incendios. La magnitud de la transferencia térmica es, por lo tanto, la cantidad de calor por unidad de tiempo.

El calor se transmite por los tres métodos siguientes:

- Conducción.
- Convección.
- Radiación.



8.1. CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por contacto molecular directo entre dos cuerpos –fundamentalmente sólidos aunque también se manifiesta en líquidos y gases– se llama conducción. Por ejemplo, una tubería de vapor en contacto con una pieza de madera transfiere su calor a la madera por contacto directo; en este ejemplo, la cañería es el conductor.

LEY DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

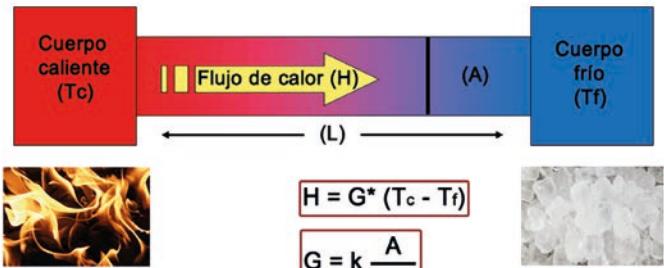


Imagen 22.

Transferencia de calor



Cuando un cuerpo se calienta las moléculas que reciben directamente el calor (energía) aumentan su vibración cuando chocan con las que la rodean, y transmiten energía cinética-calorífica a sus vecinas, y así sucesivamente a través del material. De esta forma la energía de la agitación térmica se transmite por el material de una partícula a otra aunque cada molécula permanezca en su posición inicial.

En el vacío absoluto no se transmite el calor por conducción, ya que es necesaria la existencia de materia para que haya conducción.

La conducción de calor a través del aire u otros gases es independiente de la presión, dentro del margen normal de presiones. Se acerca a cero solamente a presiones muy bajas.

Algunos de los factores que afectan a la conducción térmica son:

- La superficie (S) de contacto, que condiciona el contacto molecular entre dos materiales que se encuentran a diferente temperatura. A mayor superficie, mayor contacto molecular entre los cuerpos y mayor transferencia de calor del caliente al frío.
- La diferencia de temperaturas ($T_1 - T_2$), que implicará un mayor flujo de calor de un elemento a otro. La conducción del calor sólo tiene lugar cuando las distintas partes del cuerpo se encuentran a temperaturas diferentes.
- El espesor es un factor fundamental, ya que un mayor espesor de la materia fría supondrá una menor eficiencia del traspaso de calor por conducción.
- La relación superficie/volumen será mayor cuanto más fino esté dividido el combustible, y por lo tanto

sea mayor la posibilidad de paso del calor por conducción. Cuando hablamos de combustible forestal, por ejemplo, si el entramado de los arbustos y del resto de combustibles vegetales es muy cerrado, el traspaso de calor por convección o contacto molecular entre ellos será mayor, y mayor la eficiencia del paso de calor por conducción.

- La conductividad térmica (K), o capacidad de conducción del calor de una materia, es la medida del valor del flujo de calor a través de una unidad de superficie de material con un gradiente unidad de temperatura. Gradiente de temperatura, en unidades, significa que en la dirección del flujo de calor la temperatura cae un grado por unidad de distancia. La unidad típica de conductividad térmica es el $J / (cm \cdot seg. ^\circ C)$. La conductividad térmica es una propiedad física de cada sustancia y puede variar ligeramente en función de la temperatura y de las características particulares del material, como por ejemplo la humedad.
- Cuanto mayor es el grado de desgregación (menor densidad) de la materia, menor es la capacidad de conducción. El calor se transmite mejor en los sólidos que en los líquidos, y en los líquidos mejor que en los gases. Los mejores aislantes térmicos comerciales consisten en pequeñas partículas o fibras de sustancias sólidas cuyos intersticios están ocupados por aire.
- El calor específico de un material es la cantidad de calor que absorbe para elevar su temperatura un $^\circ C$. De forma que cuanto mayor sea el calor específico de la materia fría, más calor tendrá que suministrarle la materia caliente para alcanzar el equilibrio de temperaturas; o lo que es lo mismo, más se tardará en alcanzar ese equilibrio.

8.2. CONVECCIÓN

En un medio fluido circulante (gas o líquido) el calor se transmite por convección.



La convección es la forma en que se transmite el calor en los líquidos y en los gases cuando las masas calientes de aire ascienden y las frías descenden. Es decir, cuando un líquido o un gas se calienta se expande, y así se vuelve menos denso y tiende a subir de nivel y desplazar el volumen más frío (y con más oxígeno) hacia abajo.

Como en la conducción, debe existir materia para que sea posible la convección.

El fenómeno está regulado por la diferente densidad del fluido según su temperatura, y el resultado final es el equilibrio térmico de un sistema perfectamente aislado, en reposo. De este modo, si dos sólidos están envueltos por un fluido, tienden a igualar sus temperaturas por convección.

Así, el calor generado por una estufa es distribuido por una habitación calentando el aire inmediato por conduc-

ción. La circulación del aire caliente por toda la habitación lleva el calor, por convección hasta los puntos más distantes, y el calor del aire se transmite a los objetos por conducción (una estufa caliente por convección y conducción).

El aire caliente se expande y se eleva, y por esta razón la transferencia de calor por convección ocurre en sentido ascendente. En la mayoría de los casos el calor que se está transmitiendo por convección tendrá una dirección vertical. Es posible que el aire pueda llevarlo en cualquier otra dirección, y puede conseguirse que las corrientes de aire transfieran el calor por convección en muchas direcciones, por ejemplo utilizando un ventilador o soplante.

La convección convierte los combustibles aéreos en disponibles y es la responsable de que los incendios de superficie puedan transformarse en fuegos de copas en el caso forestal.

El aire caliente, al ascender, deja un vacío que es llenado por aire fresco, y realimenta con oxígeno el foco calorífico. Además, el aire caliente puede arrastrar partículas en ignición (pavesas o ascuas) y contribuir así a la propagación del fuego.

La expansión de un fuego por convección probablemente tiene más influencia que los otros métodos a la hora de definir la estrategia de intervención.

La transmisión del calor por convección tiene varias aplicaciones: se usa en calentadores de agua, chimeneas, ventiladores y extractores de aire, etc.

Los principales factores que afecta a la transmisión de calor por convección son:

- Las variaciones de la densidad del gas (aire) o fluido que experimenta con los cambios de temperatura.
- La pendiente. El efecto combinado de la convección y de la pendiente acelera la desecación y calentamiento de los combustibles situados por encima del foco calorífico, lo que favorece la propagación cuesta arriba del fuego. Por el contrario cuesta abajo la convección no funciona, y se transmite calor solamente por radiación. Debido a ello, el fuego progresó mucho más lento cuesta abajo.
- La compacidad de la capa de combustibles. En una capa muy compacta la convección no actúa, al haber muy poco aire interpuesto.

8.3. RADIACIÓN

La radiación es una forma de energía que se desplaza a través del espacio o de los materiales en forma de ondas electromagnéticas, como la luz, las ondas de radio o los rayos X.



La radiación es el proceso de transmisión del calor por medio de ondas electromagnéticas, que se propaga de un cuerpo a otro tanto en un medio material como en ausencia de este, como por ejemplo el calor del sol, que atraviesa el espacio y calienta la tierra.

Todas las formas de energía radiante se propagan en línea recta a la velocidad de la luz (en el vacío) y en dirección radial y sentido hacia el exterior considerando el foco de origen. Al tropezar con un cuerpo, son absorbidas, reflejadas o transmitidas.

TRANSMITIDA **REFLEJADA** **ABSORBIDA**

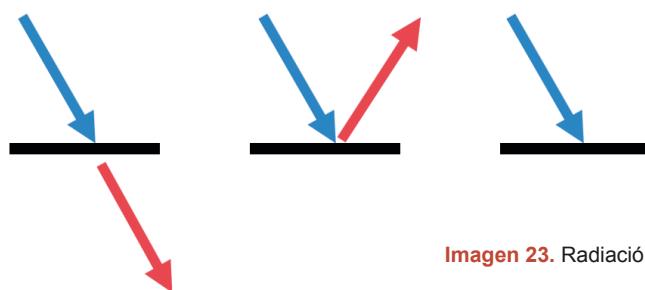


Imagen 23. Radiación

El calor radiado viaja por el espacio hasta ser absorbido por un cuerpo opaco.

Las emisiones resultantes de un proceso de combustión ocupan principalmente la región del infrarrojo (longitudes de onda superiores a la longitud de onda del rojo). Nuestros ojos ven solamente una fracción mínima emitida en la región visible.

Un ejemplo corriente de radiación es la llama de una vela. El aire calentado por la llama se eleva mientras el aire frío se mueve hacia abajo en dirección a la llama para alimentarla con oxígeno, lo que mantiene la combustión. Si se acerca la mano a la llama se experimenta una sensación de calor. Esta energía se denomina radiación o calor radiante.





CAPÍTULO

2

Técnicas



1. MECANISMOS DE EXTINCIÓN

Los mecanismos de extinción se basan en hacer desaparecer o disminuir los efectos de los factores del incendio que conforman el tetraedro de fuego: combustible, comburente, energía de activación (calor) y reacción en cadena.

1.1. DESALIMENTACIÓN O ELIMINACIÓN DEL COMBUSTIBLE

Consiste en la retirada parcial o total del combustible, siempre que la velocidad de retirada del mismo sea mayor que la velocidad de propagación del fuego. Cuando se logra disminuir la **concentración de combustible** para que los vapores generados queden por **debajo del LII** se denomina **dilución**. En este caso se rebaja la concentración de combustible y no de comburente.

Es posible desalimentar o eliminar el combustible de dos formas:

- Directa. Se separan físicamente los combustibles del foco del incendio (por ejemplo, se separa un palé de otro que está ardiendo) o se interrumpe el flujo de fluidos a través de tuberías cerrando las llaves de paso para evitar que la fuga permita la salida de gases o líquidos al exterior.
- Indirecta. Se dificulta la propagación del incendio refrigerando otros combustibles que se encuentran en el área de influencia del foco o interponiendo elementos incombustibles que dificulten que estos entren en combustión.

Dilución del combustible

Se lleva a cabo únicamente en combustibles **líquidos**. Para que se pueda hacer, el combustible que se va a diluir debe poderse **mezclar con el agua (polar)**. En caso contrario el líquido se propagará (y con él el fuego) hacia otros lugares hasta ese momento no afectados.

De esta forma, y ciñéndonos a la teoría del fuego, lo que se consigue es que los vapores que emanen del combustible calentado estén por debajo del límite inferior de inflamabilidad, y así desaparece el riesgo de incendio.

1.2. SOFOCACIÓN O ELIMINACIÓN DEL COMBURENTE

Consiste en eliminar o desplazar el **comburente**. También se puede separar el comburente de los productos en combustión o reducir la concentración del comburente (en el caso del oxígeno, por debajo del 15%).

Se trata de impedir que los vapores combustibles entren en contacto con el comburente, o bien que la concentración de este sea tan baja que no permita la combustión.

Este método de extinción se puede realizar de dos formas diferentes:

- Separación completa del comburente.
- Dilución del oxígeno.

1.2.1. SEPARACIÓN COMPLETA DEL COMBURENTE

Se realiza una separación completa del comburente u oxidante del combustible. Esto se consigue recubriendo el combustible que se encuentra ardiendo para impedir su contacto con el aire y lograr que no siga la reacción. En este caso se recubre el combustible con arena, espuma, polvos, o simplemente con la tapa de una sartén.

1.2.2. DILUCIÓN DEL OXÍGENO

Se realiza una dilución del oxígeno presente en la atmósfera que rodea al fuego. Un ejemplo claro de esto es cuando en una zona cerrada se aplica agua pulverizada, con lo que se logra no sólo que el litro de agua se enfrié, sino que este litro de agua en estado líquido se convierta en 1770 litros de vapor de agua. El volumen que ocupa ese vapor de agua se lo quita al oxígeno; o mejor dicho, desplaza al oxígeno del aire que alimentaba las llamas.

A este método de dilución del oxidante se le denomina también **inertización**. Se denomina así cuando para realizar este cometido se utilizan gases inertes como el dióxido de carbono, halones (actualmente en desuso), nitrógeno, etc. El objetivo en este método no es acabar por completo con el oxígeno, sino hacer que su proporción se reduzca por debajo de la concentración necesaria para que la combustión evolucione y se mantenga.

La inertización se logra disminuyendo e incluso eliminando la cantidad o concentración de comburente. Si durante la combustión hay producción de oxígeno, este método no es efectivo. Este sistema y el anterior están ligados y es de uso común denominar inertización a la acción preventiva consistente en la dilución del comburente previa a la iniciación del fuego. Se considera como inertización el mecanismo de extinción que genera una zona de comburente diluido y sofocación al que genera una zona sin renovación de comburente.

1.3. ENFRIAMIENTO

Consiste en eliminar el calor para reducir la temperatura del combustible por debajo de su punto de ignición (o de encendido), con lo que se evita que se desprendan gases inflamables.

Se consigue lanzando agua (es el agente que mayor enfriamiento produce, fundamentalmente en su paso de fase líquida a vapor, al absorber 540 calorías por cada gramo de agua) adecuadamente sobre las superficies calientes.

Es el método más empleado y suele ir acompañado de ventilación controlada, siempre y cuando el aporte de comburente sirva para rebajar la temperatura y eliminar humo y gases en la atmósfera, sobre todo en los niveles bajos, reduciendo el peligro de explosión por acumulación de vapores.

También tienen cierto efecto de refrigeración (aunque mucho menor que el agua) el CO₂, los halones y, en menor medida, el polvo antibrasa ABC.

1.4. INHIBICIÓN O ROTURA DE LA REACCIÓN EN CADENA

También llamada acción catalítica negativa, esta acción consiste en provocar la ruptura de la reacción en cadena mediante la desactivación de los radicales libres, que son los que originan la reacción en cadena. Se interrumpe la reacción en cadena de la combustión mediante la inyección de compuestos capaces de inhibir la producción de radicales libres durante su periodo de vida. De este modo se impide la transmisión de calor entre las moléculas.

En la combustión los radicales libres son ocupados por el oxígeno, que va oxidando todas las moléculas. Cuando se proyectan agentes como halones o polvo seco, estos ocupan el radical libre impidiendo que lo haga el oxígeno, lo que evita la oxidación y por tanto la reacción en cadena.

Se trata de un método muy eficaz, pero que no es aplicable a fuegos que no tienen llama (incandescentes o de brasas). Los elementos utilizados para este método son compuestos químicos que reaccionan con los distintos componentes de los vapores combustibles, neutralizándolos. Suelen utilizarse halones y polvo químico seco.

2. AGENTES EXTINTORES

2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Por agente extintor entendemos el producto que, aplicado sobre el fuego, provoca la extinción del incendio cuando actúa sobre uno o más de los componentes del tetraedro de fuego para eliminarlos.

No hay que confundir con el extintor, que no es más que el envase que contiene el agente. Hay que tener presente que en la extinción de un incendio inciden numerosos y variados factores, por lo que no se puede decir a priori cuál es la táctica y el agente adecuado. Será la experiencia y el estudio de todos esos factores lo que indicará los objetivos a perseguir.

Los agentes extintores se clasifican en tres grupos, en función del estado de agregación en que se encuentren en el momento de su utilización.

2.2. AGENTES EXTINTORES LÍQUIDOS

2.2.1. AGUA (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

Características y propiedades

- En estado natural es un líquido incoloro, inodoro e insípido, que hierve a 100° C desprendiendo vapor y se hiela a 0° C. Alcanza su máximo volumen a 4° C.
- Tiene un alto calor latente de vaporización (540 cal / gr), un calor latente de fusión de 80 cal / gr y un



Imagen 24. Agua

calor específico de 1 cal / ° C. Si por ejemplo se quiere vaporizar un litro de agua en estado líquido a 15° C, se deben suministrar 85 kilocalorías para que se encuentre a 100° C y en estado líquido; y para poder conseguir su evaporación total se debe suministrar 539 Kilocalorías más.

- Es muy pesada. Su densidad es de 1 Kg/litro = 1 gr/cm³.
- Cuando se evapora aumenta su volumen entre 1.500 y 1.700 veces (según algunas bibliografías un litro de agua produce 1880 litros de vapor de agua).
- Su gran capacidad como disolvente. El agua es capaz de disolver muchos productos de combustión (cenizas) de forma que puede alcanzar el núcleo de la combustión.
- La escasa variación de su viscosidad con la temperatura permite que pueda bombearse con facilidad y conducirse a través de mangueras y tuberías con un margen de temperatura desde 1° C hasta 99° C.
- Su elevada tensión superficial a temperatura ordinaria le permite comportarse como un chorro sólido o como gotas finas, llamadas también "niebla".
- Su densidad razonablemente elevada confiere una cierta masa a los chorros proyectados con boquillas, lo que consigue una gran penetración.
- Su alta estabilidad molecular evita la ruptura o disociación del agua hasta temperaturas de aproximadamente 1.650° C, temperaturas superiores a las que normalmente tiene la llama.
- Temperatura crítica: 374 ° C.



Es el agente extintor más conocido, más abundante, más empleado y más barato. Su uso es muy sencillo y se remonta a tiempos muy antiguos.

Mecanismos de extinción

- Enfriamiento: el agua actúa principalmente por enfriamiento, debido a su elevado calor latente de vaporización y a su calor específico. Por eso roba gran cantidad de calor a los incendios. A menor tamaño de gota e igualdad de volumen, mayor será la superficie de contacto de sus moléculas (una esfera de un volumen determinado tiene menor superficie que dos que sumen su mismo volumen), y por tanto su capacidad de enfriamiento, a la par que disminuirá su conductividad eléctrica. Cuanto más vaporizada se aplica más enfriará. Sólo es efectiva sobre líquidos inflamables cuyo punto de inflamación sea superior a 38° C.
- Sofocación: actúa por sofocación y logra desplazar el oxígeno que rodea al fuego debido al aumento de volumen que experimenta.
- Desalimentación: en el caso de combustibles líquidos hidrosolubles actúa



también por dilución del combustible o desalimentación, al reducir la concentración de combustible.

2.2.2. AGUA NEBULIZADA

Los sistemas de agua nebulizada optimizan la utilización del agua mediante su división en gotas de niebla. Con esto se consigue maximizar la superficie de intercambio de calor más aún que en el agua pulverizada, lo que facilita la refrigeración y la evaporación.

Para conseguir esta fina división se utilizan unas boquillas especialmente diseñadas y presiones de trabajo entre 4 y 200 bares.

2.2.3. AGUA CON ADITIVOS

Los aditivos (compuestos que se añaden al agua para mejorar sus propiedades físicas) que se emplean para mejorar la eficacia extintora se describen a continuación.

a) Humectantes o aligerantes

También llamados agua mojada, húmeda o pesada. Su principal misión es reducir la tensión superficial del agua para lograr mayor poder de penetración. Son muy eficaces en incendios sólidos, ya que aumentan la superficie de agua en contacto con el fuego y logran penetrar para rebajar su temperatura interior.

b) Espesantes o viscosantes

Consiguen aumentar la viscosidad del agua (se aumenta su tensión superficial), por lo que tarda más en escurrirse al disminuir su capacidad de fluir. Últimamente se están empleando estos productos en la lucha contra incendios forestales y para que el agua flote sobre líquidos inflamables insolubles. El agua con espesantes se adhiere y se fija más al material en ignición y forma una capa continua de mayor espesor sobre la superficie del combustible. Estos aditivos, que son tóxicos, pueden llegar a transformar el agua en un gel de elevada adherencia.

La fluidez de la mezcla del agua varía desde la propia de las gelatinas delgadas o los fluidos diluidos y espesos como jarabe hasta la de los fluidos fangosos.

c) Agua con boratos

Es una variedad del agua con espesantes o agua ligera, a base de boratos cárnicos y de sodio. Se denomina también lechada de agua y se utiliza principalmente en fuegos forestales.

Cuando se descarga en fuegos forestales, el agua se adhiere a todo aquello con lo que entra en contacto. Al calentarse el agua se evapora, tras lo cual los cristales de borato restantes pierden su agua de hidratación y se esponjan mientras se escapa el vapor. Al continuar calentándose

estos cristales se derriten y adquieren una forma vidriosa dura. Así retienen el agua y evitan que se escurra.

Los boratos poseen propiedades químicas de retardo de la llama, además de proporcionar un recubrimiento aislante térmico. No sólo extinguen los fuegos, sino que además evitan que se propaguen a través de una zona previamente inundada. Presentan el inconveniente de que asientan muy deprisa, por lo que es conveniente usarla rápidamente tras su elaboración.

d) Agua con modificadores de flujo

Son productos que disminuyen las pérdidas de presión por fricción que experimenta el agua durante su conducción a elevada velocidad a través de mangueras y tuberías.

Estas pérdidas de presión en las canalizaciones se deben principalmente a dos motivos:

- La fricción entre el agua y las paredes de la manguera (que supone un 10% de la pérdida total).
- El flujo turbulento en el interior de la manguera cuando el agua circula a elevadas velocidades (que supone aproximadamente el 90% de pérdida de presión total).

El aditivo que se utiliza es el óxido de polietileno, que hace que el agua fluya de una forma no turbulenta por el interior de un circuito, por ejemplo una manguera contra incendios.

Disolviendo cuatro litros de óxido de polietileno en 23000 litros de agua, se logra aproximadamente un 70% de incremento de flujo en una manguera. Además estos aditivos también duplican la presión final en la boquilla del extremo de la manguera.

A estos aditivos poliméricos del agua se les denomina también agua rápida. Existen diversos sistemas para inyectar estos aditivos al agua, ya sea en forma de pasta concentrada o mediante mecanismos automáticos que lo adicionan en relación de uno a 6000. Las soluciones de este compuesto facilitan la descarga de grandes cantidades de agua en un riesgo de incendio mediante mangueras con tamaños más pequeños y manejables, sin renunciar a las presiones de las boquillas y a las cantidades de agua.

e) Agua con modificadores de densidad

Existen dos formas de modificar la densidad del agua. Una de ellas supone la adición de aire al agua para formar una espuma aérea semiestable, más ligera que la mayoría de los líquidos combustibles e inflamables (espumas). La otra supone añadir al agua un agente emulsificante capaz de mezclarse con la capa superior del líquido en combustión para formar una emulsión de agua y combustible flotante no inflamable.

Cuando se añaden al agua cantidades pequeñas de detergentes sintéticos, la tensión superficial del agua desciende notablemente (como ocurre con los agentes humectantes). Cuando estas soluciones detergentes se pulverizan o se dirigen hacia combustibles inflamables, se mezclan rápidamente con el agua y la hacen más ligera que el combustible, lo que impide que se extinga el fuego.

mente con ellos para producir una suspensión del líquido en la disolución de detergente. Esto disminuye la presión de vapor del combustible hasta un punto en el que la cantidad de vapor desprendida es menor que el límite inferior de inflamabilidad, lo que detiene su combustión.

2.2.4. ESPUMA (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

Las normas que regulan las distintas espumas son:

UNE 23.603. Espumas físicas extintoras.

UNE 23.600. Agentes extintores de incendios. Clasificación.

UNE EN 1568. Agentes extintores. Concentrados de Espuma. (La más actual)

En este manual no se detallarán las espumas químicas ya que están en desuso.



Imagen 25. Espuma

a) Espumas físicas

Las espumas son masas de burbujas llenas de gas (aire) que se forman al combinar un espumógeno (estabilizador), agua y aire y cuya densidad relativa es menor a la del más ligero de los líquidos inflamables.

- **Espumógeno.** Agente emulsor. Concentrado líquido tensoactivo (que reduce la tensión superficial del líquido) que, disuelto en agua en la proporción adecuada, es capaz de producir soluciones espumantes generadoras de espuma mediante la incorporación de aire u otro gas de utilidad en la extinción de incendios.
- **Espumante.** Mezcla de espumógeno y agua. Emulsión o mezcla de dos líquidos insolubles entre sí de tal manera que uno de ellos se distribuye en pequeñas partículas en el otro.
- **Espuma.** Mezcla de espumante y aire. Es un agente extintor formado por un aglomerado estable de burbujas obtenido a partir del espumante por incorporación de aire u otro gas en un equipo apropiado.

Características y propiedades

- Cohesión o adherencia entre las diferentes burbujas para conseguir una capa resistente.
- Estabilidad o capacidad de retención del agua con el fin de conseguir el adecuado grado de enfriamiento. Se expresa mediante el tiempo de drenaje.
- Fluidez que le permite extinguir rápidamente un fuego al salvar cualquier elemento que obstaculice su extensión o desplazamiento.

- Resistencia al calor que le permite resistir los efectos del propio fuego o elementos calientes, como las paredes de un tanque, sin degradación importante de la capa.
- Resistencia a ser contaminada por el propio combustible, lo que podría llevar a la destrucción de la capa al arder el combustible captado.
- Resistencia a los combustibles polares en cuanto estos son capaces de extraer, por disolución, el agua presente en la espuma, destruyendo la capa formada. La mayoría de las espumas, excepto tipos especiales como la AFFF, se ven afectadas por los combustibles líquidos de tipo polar, al ser un producto cuya base principal es el agua. En todo caso presentan mayor resistencia a la acción de estos líquidos que el agua.
- Toxicidad nula o muy ligera. Determinados espumógenos pueden producir irritación que se suele eliminar por simple lavado con agua.
- Todas las espumas presentan una cierta conductividad eléctrica, normalmente mayor cuanto menor es su grado de expansión, por lo que no se deben utilizar en presencia de equipos con tensión, salvo determinadas aplicaciones especiales.
- Incompatibilidad con ciertos agentes (principalmente los polvos extintores), que pueden descomponerlas instantáneamente.
- No son compatibles con otros espumógenos de diferentes tipos (no se pueden mezclar), aunque sí pueden ser compatibles con las espumas obtenidas de ellos.



La espuma es el principal agente extintor para líquidos inflamables o combustibles B.

Mecanismos de extinción

- Sofocación: el principal efecto que consiguen las espumas es separar el combustible del oxígeno en la superficie del combustible. Por tanto, el método principal de actuación de las espumas es por sofocación, evitando además el desprendimiento de vapores inflamables y tóxicos procedentes del combustible. En el caso de las espumas de alta expansión el efecto de sofocación se consigue porque desplaza totalmente el aire, al ocupar la espuma todo el volumen del recinto.
- Enfriamiento: al ser agua uno de los componentes también actúa por enfriamiento, bajando la temperatura del combustible y de las superficies metálicas (por ser buenos conductores térmicos) que están en contacto con el mismo.

Si la espuma posee suficiente estabilidad (capacidad de retención del agua) evita que el combustible vuelva a encendiarse.

Las espumas se obtienen mezclando de forma mecánica un espumógeno, agua y aire.

Los espumógenos que forman las espumas físicas se pueden clasificar:



- Según su expansión.
- Según la naturaleza de los componentes.
- Según su función extintora.

1) Según su expansión

La relación entre el volumen final de espuma obtenida y el volumen original de espumante que la produce se llama coeficiente o radio de expansión (depende del espumógeno y del equipo utilizado en la producción de espuma). Su valor numérico coincide con la inversa de la densidad específica de la espuma.

Según la normativa **UNE EN 1568**, en función de su valor numérico o coeficiente de expansión las espumas pueden ser:

- Baja expansión (<20): bastante densas y con alto contenido en agua. Mismo alcance que el agua.
- Media expansión (20-200): se obtienen grandes volúmenes que llenan grandes superficies. Tiene un alcance menor que el agua (5 - 6 metros).
- Alta expansión (>200): espumas muy ligeras que llenan rápidamente grandes espacios.

La norma **UNE 23603** clasifica los espumógenos como:

- Baja expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 3 y 30.
- Media expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 30 y 250.
- Alta expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 250 y 1000.

La norma **UNE 23600** clasifica los espumógenos como:

- Baja expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 2 y 20.
- Media expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 20 y 200.
- Alta expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión es superior a 200.

2) Según la naturaleza de sus componentes

a) De base proteínica

- Proteínicas: se obtienen por hidrólisis de proteínas naturales de origen animal (cuernos, pezuñas, pelos, etc.) Generalmente son de baja expansión y en la actualidad están en desuso. No suelen ser compatibles con los polvos extintores, ni permiten combatir fuegos de combustibles polares.
- Fluoroproteicas (FFFP): suelen ser compatibles con los polvos extintores, pero no son aptas para combatir combustibles polares.

b) De base sintética

En ellos los tensoactivos (espumógenos) son de base sintética (detergentes).

- Sintéticos: capaces de retener el agua por más tiempo, dan mayor estabilidad frente al calor y en el contacto con hidrocarburos. Son espumógenos de alta expansión, como el B-330.
- Fluorosintéticos: sus tensoactivos son sintéticos fluorados. Son generalmente de baja expansión.
- Formadores de película acuosa (AFFF): contienen unos componentes fluorados de propiedades especiales que forman una delgada película acuosa sobre el hidrocarburo e impiden su contacto con el aire. Son de baja expansión (polivalentes) y se emplean con surtidores convencionales.

3) Según su función

- Para hidrocarburos.
- Para líquidos polares (líquidos con punto de ebullición muy bajo – antialcohol – no se disuelven en alcohol).
- Polivalentes para todo tipo de combustibles líquidos (polares y no polares).

b) Espumas hidrocarburos halogenados

Los hidrocarburos halógenos líquidos se comportan ante el fuego igual que sus equivalentes en fase gaseosa.

Diversos problemas, derivados sobre todo de la formación de productos tóxicos en la descomposición química de materias producidas por una elevación de la temperatura sin reacción con el oxígeno, han provocado que su uso esté prohibido en muchos países.

2.3. AGENTES EXTINTORES SÓLIDOS (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

Son aquellos que están compuestos por sustancias en estado sólido o pulverulento (sales inorgánicas finamente pulverizadas), y que cuando se proyectan sobre materiales en combustión pueden llevar a cabo su extinción a través de diferentes métodos.

El polvo extintor está formado generalmente por varias sales (metales alcalinos, bicarbonato sódico, bicarbonato potásico, bicarbonato de urea-potasio, cloruro potásico o fosfato amónico) a las que se les agrega aditivos como fosfato tricálcico o siliconas para mejorar sus características de almacenamiento, evitar que se apelmacen y mejorar su fluidez, además de permitir la formación de costras.

La mezcla de polvos que se emplea como agente extintor se aplica por medio de extintores portátiles, monitores, mangueras manuales o sistemas fijos.

Características y propiedades

- Los polvos extintores se aplican siempre en forma de polvo muy fino (25 a 30 micras/partícula), con lo que tienen grandes áreas superficiales específicas. Un extintor de polvo de 13,5 Kg. contiene un polvo con un área superficial global del orden de 4.500 m². Buscan la máxima fluidez y la máxima división en finas partículas de igual dimensión, sin que exista atracción electrostática entre las partículas ni bacteriológica entre los aditivos.
- Son dieléctricos a bajas tensiones
- Son estables a temperaturas inferiores a 50º C

Mecanismos de extinción

- Inhibición: actúan primariamente por inhibición o acción catalítica negativa (rotura de la reacción en cadena), combinándose con los radicales libres e impidiendo que estos continúen la combustión. Excepto en el caso de los de tipo D o especiales, que trabajan sólo por sofocación.
- Sofocación: actúan secundariamente por sofocación, al desplazar el oxígeno del aire de la zona de combustión y crear una costra de carbonato sódico que impide la aportación de O₂. Esto ocurre con relevancia en el caso del ABC y sobre todo en los extintores de tipo D o especiales.
- Enfriamiento: puede actuar por enfriamiento, pero el resultado es despreciable.

2.3.1. POLVOS CONVENCIONALES BC



También denominados polvos químicos secos o polvos BC. El principal método de extinción por el que actúan es el de inhibición, aunque también actúan sofocando cuando el bicarbonato sódico entra en contacto con el fuego (CO₂).

Principalmente se usan para extinguir fuegos de líquidos inflamables y de gases. Los polvos secos no producen atmósferas inertes duraderas por encima de la superficie de los líquidos inflamables. Por esta razón debe preverse que si persisten fuentes de ignición cercanas al combustible podría reiniciarse la combustión. Este es el caso de combustiones incandescentes o de brasas.

Los agentes extintores de este tipo están compuestos por carbonato potásico, bicarbonato potásico, bicarbonato sódico y cloruro potásico. Cada uno de ellos confiere al agente unas determinadas características, que son:

- Bicarbonato sódico y bicarbonato potásico: el polvo químico seco se encuentra constituido fundamentalmente por bicarbonato sódico o potásico, que se mezcla con diversos aditivos que lo hacen hidrófugo (impiden la absorción de humedad). Esta característica es fundamental para que puedan salir por las lanzas, evitando que el polvo se apelmace y forme grumos que obturarían las boquillas de impulsión. Se utiliza para fuegos clase B y C y fuegos con presencia de tensión eléctrica hasta una tensión de 1000 voltios. Su uso no es eficaz en fuegos de la clase A. Este agente extintor no se puede utilizar con espuma porque se inutilizaría al reaccionar químicamente.
- Carbonato Potásico: este polvo es más efectivo que el bicarbonato sódico y el bicarbonato potásico. Su efectividad procede de añadir al bicarbonato potásico la urea. Este compuesto genera una serie de reacciones más potentes y eficaces que el bicarbonato potásico por sí solo.

2.3.2. POLVOS POLIVALENTES ABC

También denominados antibrasa o polvos ABC. Como su propio nombre indica, son también efectivos en fuegos de la clase A, superficiales y profundos.

Este agente extintor está formado por fosfatos, sulfatos y sales amónicas. La diferencia de este polvo con el químico seco es la agregación del fosfato monoamónico (PO₄H₂NH₄). Esta sal o fosfato monoamónico se descompone por las altas temperaturas y queda como una capa pegajosa resistente sobre la superficie del material combustible, impidiendo que el oxígeno siga alimentando las llamas. Es una buena forma de actuar por sofocación.

El ácido metafosfórico es un residuo pegajoso resultante de la descomposición de materiales sólidos por el efecto del calor al usar el polvo polivalente ABC. Este residuo sella las brasas, aísla el material incandescente del oxígeno y consigue un efecto extintor que no logran otras clases de polvo.

2.3.3. POLVOS ESPECIALES

Es por todos conocidos la problemática que generan los fuegos de metales, sobre todo si se encuentran finamente divididos. Los fuegos de Clase D presentan muy diversas posibilidades de desarrollo (por ejemplo, la combustión del magnesio puede desarrollarse en atmósferas de dióxido de carbono (CO₂) o de nitrógeno (N₂) y hacen inútiles los agentes extintores convencionales para lograr su control o su extinción, incluso ofrece graves riesgos de empleo. Por ejemplo el uso de agua o halones es peligroso en la extinción de fuegos de magnesio.



Además las propiedades de los metales combustibles hacen que sean diferentes sus tipos de combustión, por lo que es preciso considerar de forma particular las características de cada combustión para extinguirla de la forma apropiada. Incluso un agente adecuado para ciertos fuegos Clase D puede resultar peligroso cuando se emplea sobre el fuego de otro metal.

Los polvos especiales son productos químicos (mezclas de sales) diseñados específicamente para extinguir fuegos de metales, pero cada uno es adecuado para un tipo de fuego. Están compuestos por grafito pulverizado y carbón mineral, en función del material a extinguir. Los polvos especiales más comunes son:

- Polvo G1 o pireno
- Metal Guard
- Met- L-X
- Na X
- Lith-X

2.4. AGENTES EXTINTORES GASEOSOS (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

Estos agentes se almacenan en estado líquido debido a la presión a la que se envasan, y cuando se utilizan pasan a estado gaseoso. Como todos los gases penetran en todos los lugares con gran facilidad, pero esta característica también puede ser contraproducente si se utilizan en el exterior o en zonas en las que haya una determinada presión ambiental. Los más habituales son el nitrógeno, el dióxido de carbono, los hidrocarburos halogenados y otro tipo de gases inertes.

2.4.1. NITRÓGENO N₂

Antes apenas se utilizaba, principalmente porque al extinguir los fuegos producía cianógeno y peróxido de nitrógeno, ambos muy tóxicos y que podían causar más víctimas. Hoy en día se utiliza con más frecuencia.

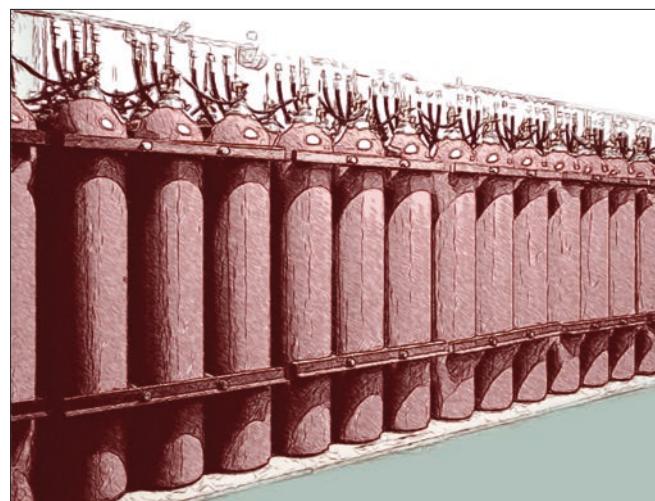


Imagen 27. Gas

Características y propiedades

- Es un gas incoloro, inodoro e insípido.
- Es muy estable a las altas temperaturas que se dan en los incendios (de 700 °C a 1.330 °C).
- No es tóxico pero sí asfixiante, pues desplaza el oxígeno atmosférico actuando por sofocación.

Mecanismos de extinción

El mecanismo primario es por sofocación, ya que desplaza el oxígeno y rebaja su concentración. El mecanismo secundario es por inhibición y enfriamiento.

2.4.2. DIÓXIDO DE CARBONO O ANHÍDRIDO CARBÓNICO CO₂

Es el agente extintor gaseoso más utilizado.

Características y propiedades

- Es un gas de bajo coste.
- A temperatura ambiente es incoloro, inodoro e insípido.
- Es fácilmente licuable (por compresión y enfriamiento) y se transporta y almacena en recipientes a presión (botellas por debajo de 31 °C).
- Al extraerlo de los recipientes se convierte en gas y absorbe gran cantidad de calor (se descarga a temperaturas inferiores a -40 °C). Al expandirse se convierte en nieve a -79 °C.
- Pesa 1,5 veces más que el aire (tiene un 50% más de densidad que el aire).
- Es dieléctrico.
- Utiliza su propia presión para conducirse por tuberías.
- A volumen constante, la presión varía con la temperatura.
- No es corrosivo.
- No deja residuos.

Mecanismo de extinción

- **Sofocación:** mecanismo primario, al desplazar el aire o al diluir el oxígeno a concentraciones bajas.
- **Enfriamiento:** de forma secundaria pero relevante, extingue por enfriamiento debido a la gran cantidad de calor que roba al incendio al convertirse en gas (-79 °C). De hecho a los extintores de CO₂ se les llama de nieve carbónica. Esta propiedad es más apreciable en fuegos superficiales.

2.4.3. HIDROCARBUROS HALOGENADOS. HALONES

Son hidrocarburos en los que los átomos de elementos halógenos sustituyen a los radicales hidrógenos. La identificación de un halón viene determinada por un número que indica la composición del agente. El primer dígito indica la cantidad de átomos de carbono de la molécula, el segundo

la de átomos de flúor, el tercero la cantidad de cloro, el cuarto la de bromo y el quinto, de existir, la de yodo.

Son gases producidos industrialmente a partir del metano (CH_4) y del etano (CH_3). La sustitución de un átomo de hidrógeno por otro elemento (cloro, flúor y bromo) da lugar a estos compuestos halogenados (pasan de gases inflamables a agentes extintores). Los más empleados son:

- Halón 1211 (Diflúor cloro bromo metano)
- Halón 1301 (Triflúor bromo metano)

Características y propiedades

- Alta densidad en estado líquido.
- No dejan residuos.
- Flúor: reduce el punto de ebullición, aumenta la estabilidad y las propiedades de inertización y disminuye la toxicidad del compuesto.
- Cloro: eleva el punto de ebullición, aumenta la eficacia extintora y la toxicidad y disminuye la estabilidad.
- Bromo: proporciona en mayor grado las mismas características que el cloro. Es tóxico, sobre todo cuando se descompone por efecto de las altas temperaturas del incendio.

Mecanismos de extinción

El mecanismo primario es inhibición, por acción catalítica negativa (rompe la reacción en cadena), y sofocación, por desplazamiento del oxígeno del aire. De forma secundaria extingue por enfriamiento.

Clasificación y tipología

- Halón 1211, bromoclorodifluorometano ($\text{C F}_2\text{Cl Br}$). En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso. Es incoloro y de olor dulce. Se utiliza fundamentalmente para medios manuales.
- Halón 1301, bromotrifluormetano ($\text{C F}_3\text{Br}$). Compuesto incoloro e inodoro, aunque al entrar en contacto con fuego y descomponerse desprende un olor picante característico. El nitrógeno N_2 es soluble en Halón 1301. Es menos tóxico que el Halón 1211.

2.4.4. SUSTITUTOS DE LOS HALONES Y GASES INERTES

Debido a la contaminación que producía el uso de los hidrocarburos halogenados, la industria química ha puesto en práctica una serie de nuevos agentes extintores que poseen las principales propiedades de los halones y no tienen su grado contaminante.

El resultado ha sido la aparición de nuevos compuestos químicos denominados agentes limpios (halocarbonados), mezclas de gases inertes o técnicas alternativas a los halones, que eviten dañar o inutilizar los equipos, tengan iguales propiedades de extinción, sean inocuos para las personas si deben usarse en áreas habitadas y respeten el medio ambiente.

Los sustitutos de los halones son conocidos como agentes extintores gaseosos limpios, que como su propio nombre indica no son corrosivos, no ensucian el lugar y no son conductores de la electricidad.

Se clasifican en:

- Inergen. Nombre comercial de una mezcla de Nitrógeno, Argón y CO_2 .
- Argonite. Nombre comercial de una mezcla al 50% de Nitrógeno y Argón.
- Argón. Utilizado al 100%.

Los gases inertes son mezclas de gases inertes como el nitrógeno, argón y el dióxido de carbono. Lo que se pretende conseguir con esta clase de gases, al utilizarlos como agentes extintores, es disminuir la concentración del oxígeno del aire del lugar donde se ha producido el fuego, con objeto de extinguir el mismo por sofocación.

Tabla 7. Agentes extintores gaseosos limpios

| AGENTE EXTINTOR | FÓRMULA | NOMBRE COMERCIAL |
|-----------------|--|---------------------------|
| IG-01 | 100% ARGÓN | ARGOTEC, ARGONFIRE, ARGÓN |
| IG-55 | 50% NITRÓGENO + 50% ARGÓN | ARGONITE |
| IG-541 | 52% NITRÓGENO + 40% ARGÓN + 8% CO_2 | INERGEN |

3. APLICACIONES, USOS, VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS AGENTES EXTINTORES

3.1. AGUA (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

El agua es muy efectiva en fuegos tipo A por su gran poder de enfriamiento y se utiliza en fuegos B y C para su control, no para su extinción.

Existen diferentes formas de uso del agua en función de cómo se arroja:

- **Chorro (compacto):** es el método más utilizado, aunque no el más eficaz. Tiene como ventaja su largo alcance, pero se supone que sólo entre un 10% y un 20% del agua participa realmente en la extinción. Se utiliza únicamente en fuegos de clase A, ya que en fuegos de clase B si el líquido no es soluble flotará, rebosará y propagará el fuego (excepto en líquidos miscibles en agua o que contengan disolventes que también lo sean). Igualmente es inadecuado para fuegos eléctricos y en presencia de metales combustibles (D y E). En algunos casos el chorro compacto al impactar sobre las llamas puede incluso cortarlas o separarlas del combustible.



- **Pulverizada o neblina:** es el modo más satisfactorio y eficaz de utilizar el agua. Se emplea en fuegos de tipo A y B y se puede utilizar en presencia de corriente eléctrica E (utilizando chorros intermitentes, aunque esta aplicación exige una técnica muy depurada y lanzas especiales) y para la dispersión de nubes de gas C, o refrigerar zonas expuestas al calor en las cercanías del incendio. En modo pulverizada es en el que más potencia tiene tanto su refrigeración como su sofocación.

Existen gran cantidad de tipos de lanzas para su aplicación. Su uso en instalaciones fijas se hace por medio de rociadores o sprinklers y en función del tipo de cabeza rociadora se logra más o menos pulverización.

Limitaciones

- Su mayor limitación es el hecho de ser conductora de la electricidad.
- Al ser más densa que la mayoría de combustibles líquidos, se deposita en el fondo de recipientes que contengan líquidos inflamables con peso específico inferior a ella (alcoholes, gasolina, aceites, etc.), lo que impide la extinción.
- El aumento de volumen que experimenta al evaporarse suele representar desventajas en la extinción si los líquidos no son solubles en agua, ya que se extiende más el incendio al flotar sobre ella el líquido que combustionó.
- Su reacción con algunas materias (Na, Al) puede producir gases o explosiones (en el panel Naranja, que clasifica el peligro e identifica las mercancías peligrosas que transporta un vehículo, aparecen marcados como X o XX + nº de peligro).
- A menos de 4 °C el agua se congela y aumenta su volumen, lo que puede causar roturas en conducciones e impedir su utilización en ese estado.
- A temperaturas muy altas (3222,2 °C), la molécula de agua se descompone en 2H₂, gas combustible, y O₂, gas comburente (2 H₂O → 2H₂ + O₂), lo que genera violentas explosiones.

Otra desventaja es su gran tensión superficial y su poca viscosidad, aunque esto se soluciona con aditivos especiales.

3.2. ESPUMAS (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Al margen del tipo de espumógeno hay que considerar también su índice de expansión que, junto al tipo, nos indicará su adecuación a cada caso. Aunque todas las espumas actúan en mayor o menor medida según los principios antes citados, cada una de ellas suele presentar unas características peculiares que las hacen más o menos adecuadas al tipo de fuego a combatir.

La espuma se puede aplicar de dos formas: directamente sobre el fuego (aplicación violenta) o indirectamente sobre el fuego (aplicación suave). Ambas son para fuegos

de tipo A y B. Sobre fuegos de hidrocarburos la espuma puede ser aplicada de las dos formas. Sobre fuegos de líquidos polares la espuma debe aplicarse indirectamente, para evitar la mezcla con el combustible y la destrucción de la espuma.

Las espumas se utilizan de forma variada. En la extinción de incendios pocas veces hay que cerrarse a posibilidades, por extrañas que parezcan, por lo que la espuma puede ser utilizada en incendios tan dispares como:

- Forestales, en forma de humectante.
- Sótanos de muy difícil acceso, inundándolos de espuma y extinguriendo el incendio por sofocación pura.
- Fuegos de hidrocarburos, que incluyen la cubrición preventiva de derrames.

Es el mejor agente extintor para almacenamientos de combustibles líquidos, en aeropuertos y en ciertas plantas químicas.

La diversificación del oficio de bombero implica observar la forma de actuar de algunos cuerpos especializados, como pueden ser los aeroportuarios, que utilizan la espuma como agente extintor básico e incluso la emplean sobre una pista de aterrizaje antes de que aterrice una aeronave en dificultades.

Es el agente más eficaz para fuegos de clase B. Es eficaz también en los de clase A, aunque por su precio es más conveniente la utilización del agua. En ocasiones se utiliza como medida de prevención en derrames de líquidos combustibles.

Los espumógenos para hacer espumas de media y alta expansión se suelen utilizar en porcentajes de mezcla del 1% al 3 %, los de baja y media suelen mezclarse entre el 3% y el 6%.

Hay que destacar la importancia de utilizar cada espumógeno en el porcentaje indicado por el fabricante. La utilización de espumógeno en un porcentaje mayor que el recomendado no sólo resulta antieconómico, sino que da lugar a espumas excesivamente espesas, con peor fluidez y con menor autonomía sin que mejoren sustancialmente el resto de las características.

Por otro lado, si la mezcla agua-espumógeno (espumante) resulta muy diluida se obtendrá una espuma menos estable y menos resistente al calor, con lo que se deteriorará más rápidamente, incluso sin formar una verdadera capa protectora.

Para mezclar el agua con espumas la temperatura ideal está entre 7 °C y 27 °C. La presión de punta de lanza ideal es de 3,5 bares a 10 bares, sin sobrepasar un máximo de 14 bares (7,5 bares en la bomba implican 3,5 bares en la lanza para un tendido normal; la manguera implica una pérdida de 4 bares aproximadamente).

La utilización de un espumógeno de media y alta expansión para generar espumas de baja expansión implica que la espuma resultante suele tener una pobre resistencia a la contaminación.

Como regla general de uso no se debe utilizar la espuma hasta que no se disponga del espumógeno necesario para neutralizar el siniestro. El mando intermedio debe calcular este dato y tomar las medidas oportunas.

Limitaciones

Como en su composición interviene el agua en más de un 95% las limitaciones son prácticamente las mismas que las del agua, sin importar en este caso la viscosidad.

Es de precio elevado y hay que prever gran cantidad en almacenamiento.

Métodos de utilización

Para la producción de espuma se necesitan equipos especiales, además de los del agua. Estos equipos son los proporcionadores, las lanzas de media y baja presión y los generadores de alta expansión. Se puede utilizar en instalaciones fijas.

3.3. AGENTES EXTINTORES SÓLIDOS (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Su utilización depende fundamentalmente de su tipología.

- La aplicación primaria es para fuegos clases B y C. Extinguen todo tipo de líquidos inflamables, incluso alcoholes y otros miscibles en agua, excepto el disulfuro de carbono.
- El polvo polivalente es además antibrasa, con lo que se puede utilizar con los de clase A aunque sea mejor el agua. El BC se puede utilizar para fuegos muy superficiales.
- El polvo especial está diseñado para actuar específicamente en fuegos clase D (metales).

Todos los polvos extintores son dieléctricos, por lo que se pueden emplear en fuegos en presencia de corriente eléctrica si se toma la precaución de que la tensión no sobrepase los 1.000 voltios (baja tensión).

Ventajas de su uso:

- Es muy rápido en su actuación.
- Es compatible con el empleo de otros agentes extintores (no con espumas).
- es dieléctrico.
- No es excesivamente caro y su mantenimiento no es complicado.

Normalmente se utilizan en extintores impulsados por gas. Se pueden usar en instalaciones fijas en sistemas automáticos, pero dada su composición atrancan fácilmente las boquillas de salida y pueden provocar muchos problemas.

Limitaciones

- Normalmente los polvos extintores no enfrian, por lo que el fuego puede reiniciarse con facilidad.

- Sólo sirven para fuegos limitados en volumen, por lo que son excelentes para el inicio de un incendio.
- No son tóxicos, pero sí abrasivos. Dejan residuos y se descomponen a altas temperaturas, por lo que no son recomendables para equipos delicados. En grandes cantidades pueden provocar trastornos respiratorios y dificultar la visibilidad.
- No se pueden utilizar con espumas porque reaccionan químicamente.

3.4. AGENTES EXTINTORES GASEOSOS

3.4.1. NITRÓGENO (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

El nitrógeno se ha empleado muy pocas veces como agente extintor. Por la experiencia en Kuwait puede deducirse que es práctico, con técnicas de aplicación muy especiales, para fuegos en los que estén involucrados productos derivados del petróleo y para el petróleo mismo.

Limitaciones

- Genera gases muy tóxicos al emplearlo para extinguir incendios.
- Es muy caro.

3.4.2. DIÓXIDO DE CARBONO O ANHÍDRIDO CARBÓNICO

CO₂ (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Es muy buen agente extintor para fuegos superficiales de clase A. También es efectivo para fuegos de tipo B y C. Puede utilizarse en presencia de corriente eléctrica de alto voltaje, pero no es adecuado cuando hay implicados equipos delicados. No es efectivo en materiales que desprenden O₂ (metales activos o híbridos). Utilizado en fuegos de tipo D se descompone en reactivos (sodio, magnesio, potasio, etc.) y reaviva la combustión.

Ventajas de uso:

- Limpio y sin residuos de polvo
- Se licua muy fácilmente, una gran ventaja para su transporte y almacenamiento.

Se aplica en sistemas de inundación total o parcial y en extintores portátiles.

También se utiliza en extintores de todos los tamaños y en grandes instalaciones automáticas con 3 o 4 toneladas de dióxido de carbono (en estos casos por inundación total del recinto).

Limitaciones

- Tiene poco poder de penetración y en el exterior se disipa muy rápidamente.
- Hay que tener cuidado con su uso en extintores ya que el frío que produce en la parte metálica puede causar graves quemaduras y congelaciones.
- Tiene peligro de reignición al disiparse el CO₂.



- Es irrespirable y puede producir asfixia por falta de oxígeno (aunque no es tóxico):
 - 2% efecto narcótico.
 - 5% puede servir como estimulante de la respiración.
 - 6% máxima concentración admisible para las personas.
 - 7-9% pérdida de conocimiento.
 - 20% causa la muerte en 20 – 30 minutos.
 - 22% concentración necesaria para la extinción de incendios (hay que evacuar antes de aplicar).

3.4.3. HIDROCARBUROS HALOGENADOS. HALONES (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Se puede utilizar con éxito para extinguir fuegos clases A, B y C. También se puede utilizar en presencia de corriente eléctrica siempre que esté garantizada la imposibilidad de creación de arcos eléctricos y tiene la gran ventaja de que no daña los equipos delicados.

Su aplicación principal es para fuegos eléctricos (E) y gases inflamables (C).

Ventajas de uso:

- Muy limpio y adecuado para protección de equipos delicados.

- Necesita poca concentración para extinguir (ahorra espacio con respecto al CO₂).
- Funcionan los sistemas automáticos de disparo incluso con personas dentro del recinto.
- Es rápido y no es preciso acercarse al fuego, lo que representa una gran ventaja en usos domésticos.

El Halón 1301 se emplea en las instalaciones por inundación de espacios cerrados. El Halón 1211 se usa en instalaciones de aplicación local y extintores domésticos. Se impulsan por N₂.

Este tipo de agente extintor tiene prohibida su fabricación por normativa europea, ya que es muy agresivo contra la capa de ozono de la atmósfera. Aún se pueden encontrar en algunas instalaciones contra incendios y en algún extintor portátil, ya que no está prohibido su uso hasta agotar existencias.

Limitaciones

Además de su precio la mayor limitación es que los halones perjudican gravemente la capa de ozono.

Pueden generar gases tóxicos si no consiguen extinguir el incendio en breve espacio de tiempo. Es necesario por tanto calibrar muy bien las instalaciones.

Al igual que el CO₂ tampoco es adecuado para fuegos profundos y se debe utilizar en interiores.





CONVIENE RECORDAR

- El descubrimiento del fuego ha sido de gran utilidad para la evolución de la humanidad.
- El **fuego** es una combustión caracterizada por la emisión de calor, humo y llamas.
- Una **combustión** es una reacción química exotérmica de oxidación en la que se combina un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente).
- El **oxígeno** es el comburente más común en todos los fuegos e incendios.
- Mientras el fuego es una combustión controlada en el tiempo y el espacio, el **incendio** se propaga incontroladamente.
- Los incendios se producen cuando coinciden un **producto inflamable** (combustible), un **producto que favorece la combustión** (comburente) y una **fuente con suficiente energía de activación** (calor, chispa, llama).
- Combustible, comburente y calor, junto a las reacciones en cadena, forman el **tetraedro del fuego**.
- Las **acciones** capaces de impedir las reacciones en cadena son eficaces para **limitar** la propagación del incendio y **facilitar** su extinción.
- Dentro de la evolución de un incendio se definen cuatro fases:
 - **Inicio**
 - **Desarrollo**
 - **Propagación**
 - **Extinción**
- La **transferencia de calor** determina la ignición, combustión y extinción de la mayoría de los incendios.
- El calor se transmite por **conducción, convección y radiación**.
- La **extinción de un incendio** puede producirse de forma natural, aunque cuando se habla de extinción se hace referencia a la extinción provocada por la acción del hombre.
- Los mecanismos de extinción se basan en hacer **desaparecer o disminuir los efectos de los factores del incendio** que conforman el tetraedro de fuego: combustible, comburente, energía de activación (calor) y reacción en cadena.
- Los principales **mecanismos de extinción** son: desalimentación o eliminación del combustible, sofocación o eliminación del comburente, enfriamiento e inhibición o rotura de la reacción en cadena.
- Por **agente extintor** entendemos el producto que, aplicado sobre el fuego, provoca la extinción del incendio cuando actúa sobre uno o más de los componentes del tetraedro de fuego para eliminarlos.
- El **agua** es el agente extintor más conocido, más abundante, más empleado y más barato.
- Las **espumas** son masas de burbujas llenas de gas (aire) que se forman al combinar un espumógeno (estabilizador), agua y aire y cuya densidad relativa es menor a la del más ligero de los líquidos inflamables.
- La **espuma** es el principal agente extintor para líquidos inflamables.
- Existen también **agentes extintores sólidos y gaseosos**.



CEIS Guadalajara

PARTE 2

HIDRÁULICA

Manual de incendios

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



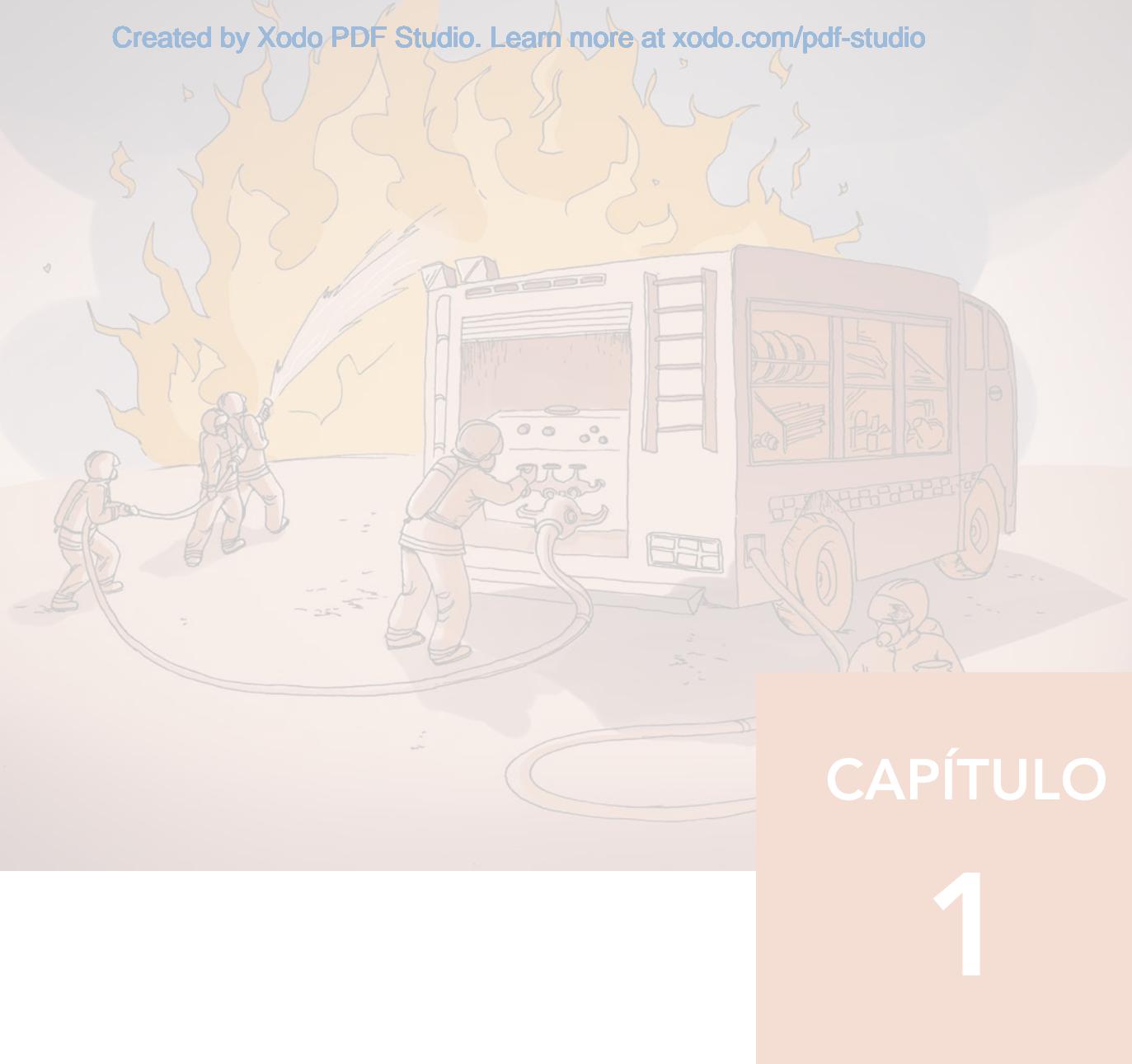
Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción





CAPÍTULO

1

Caracterización



1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Dentro de la mecánica, la **hidráulica** es una rama que estudia las **propiedades mecánicas** de los **fluidos** en función de sus propiedades específicas y de las fuerzas y las condiciones a las que pueden estar sometidos.

1.1. MASA

La **masa** es una magnitud física que indica la **cantidad de materia** que posee un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el **kilogramo** (kg). Aunque está relacionada con el peso, no es la misma medida ya que la masa es una magnitud escalar (se representa con un número) y el peso es una magnitud vectorial (se representa con un vector).

1.2. DENSIDAD

La **densidad** es una magnitud vectorial que expresa la **cantidad de masa** en un determinado **volumen** de una sustancia. Se representa con el símbolo ρ . La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

$$\text{Densidad } (\rho) = \frac{\text{masa } (m)}{\text{Volumen } (V)}$$

Unidades: [kg / m³]

1.3. PESO ESPECÍFICO

El **peso específico**, representado por el símbolo γ , es la **relación** que existe entre el **peso** de un cuerpo y el **volumen** que ocupa.

$$\text{Peso esp. } (\gamma) = \frac{\text{Peso } (P)}{\text{Volumen } (V)} = \rho \cdot g$$

Unidades: [N / m³]

1.4. DENSIDAD RELATIVA Y PESO ESPECÍFICO RELATIVO

La densidad relativa y el peso específico relativo se obtienen al comparar los valores absolutos de densidad y peso específico con los valores de una sustancia patrón. Como sustancia patrón se emplea el agua a 4°C y 1 atmósfera:

$$\rho_{\text{agua}} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \quad \rho_{\text{relativa}} = \rho_{\text{absoluta}} / \rho_{\text{agua}}$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 9.810 \text{ N/m}^3 \quad \gamma_{\text{relativo}} = \gamma_{\text{absoluto}} / \gamma_{\text{agua}}$$

1.5. VISCOSIDAD

Tabla 1. Densidades relativas

| | |
|----------|------|
| Mercurio | 13,6 |
| Hierro | 7,8 |
| Grava | 2,2 |
| Hielo | 0,85 |
| Aceite | 0,8 |
| Madera | 0,5 |

La **viscosidad** es una propiedad de los fluidos que caracteriza su **oposición** a las deformaciones tangenciales. Esta propiedad se debe a las fuerzas de cohesión molecular. Todos los fluidos conocidos poseen esta propiedad. El modelo de viscosidad nula es una aproximación aceptada para ciertas aplicaciones. Se denomina fluido ideal a aquel que carece de viscosidad.

La **viscosidad** sólo se manifiesta en **líquidos en movimiento**. Por ese motivo se define la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, y se denomina viscosidad absoluta o viscosidad dinámica.

La viscosidad se representa habitualmente por la letra griega μ .

Un fluido sometido a fuerzas cortantes se deforma y forma capas paralelas, a lo largo de cada una de las cuales la velocidad es constante.

$$\mu_{\text{ap}} = \frac{\tau}{\gamma}$$



Imagen 1. Viscosidad

a) Ley de Newton para la viscosidad

La resistencia que opone un fluido a su deformación depende tanto de su viscosidad como de la velocidad a la que se realiza la deformación. Por ejemplo, es posible extraer lentamente una cuchara de un tarro lleno de miel con facilidad, pero si se tira bruscamente de ella, la resistencia aumenta hasta el punto de que el tarro puede quedar colgado de la cuchara. Un efecto similar tiene lugar cuando un fluido circula por una conducción o un avión se mueve en el aire: a más velocidad, mayor resistencia.

b) Capa límite

"Un fluido que está en contacto con una frontera sólida tiene la misma velocidad que la frontera". (Goldstein, 1939).

Este principio explica la resistencia que oponen los fluidos a los sólidos que quieren atravesarlos. De esta forma cuando un barco se mueve, el rozamiento no se realiza entre el barco y el agua, sino entre la capa de agua que se adhiere al barco y la inmediata. Esto ocurre de la misma manera en un avión.

Si se supone que un fluido se mueve con relación a un contorno (es igual a todos los efectos que sea el contorno el que se mueva), la lámina de fluido en contacto con el sólido queda pegada al mismo, y su velocidad relativa es nula. A cierta distancia δ del contorno, otra lámina tiene prácticamente la velocidad máxima. Las velocidades de las infinitas láminas intermedias varían entre ambos valores extremos, lo que permite el deslizamiento de unas capas sobre otras.

La viscosidad depende principalmente de la temperatura y, en menor medida, de la presión. Al contrario de lo que ocurre con los líquidos, la viscosidad en los gases aumenta con la temperatura. Aunque es muy relevante en el estudio de los fluidos esta propiedad, se tomará como referencia que el agua está a temperatura ambiente y las fórmulas para calcular las pérdidas de carga no tendrán en cuenta los cambios de viscosidad.

Un líquido viscoso opone una mayor resistencia al movimiento y sufre una pérdida mayor de presión en las conducciones que uno menos viscoso.

1.6. PRESIÓN DE VAPOR

La **presión de vapor** es, para una temperatura concreta, la presión en la que la fase líquida y el vapor o fase gaseosa se encuentran en **equilibrio dinámico**. Mientras ambas fases estén presentes su valor es independiente de las cantidades de líquido y de vapor que existan.

Este fenómeno también está presente en los sólidos. Cuando un sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (proceso que se conoce con el nombre de sublimación –al proceso inverso se le denomina sublimación inversa–), se habla también de presión de vapor.

Cuando existe una situación de equilibrio, a las fases líquida y gaseosa se las denomina líquido saturado y vapor

saturado. Esta propiedad tiene una relación inversamente proporcional con las fuerzas de atracción entre las moléculas. Cuanto mayor es el módulo de dichas fuerzas, mayor debe ser la cantidad de energía entregada (en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y producir el cambio de estado.

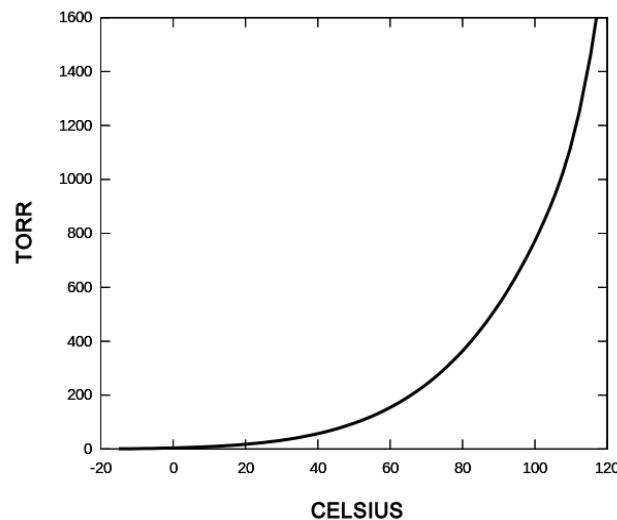


Imagen 2. Curva de presión del vapor de agua

Si se plantea una burbuja de cristal en la que se ha realizado el vacío y que se mantiene a una temperatura constante y se introduce cierta cantidad de líquido en su interior, este se evaporará al principio con rapidez, hasta que se alcance el equilibrio entre ambas fases.

Al principio sólo se produce la evaporación, ya que no hay vapor. Sin embargo, a medida que la cantidad de vapor aumenta –y con ella la presión en el interior de la burbuja de cristal–, se incrementa también la velocidad de condensación. Transcurrido cierto tiempo ambas velocidades se igualan. En ese instante se alcanza la máxima presión posible en la burbuja (presión de vapor o de saturación), que no podrá superarse a no ser que se incremente la temperatura.

El equilibrio dinámico se alcanza con más rapidez cuanto mayor sea la superficie de contacto entre el líquido y el vapor, pues ello favorece la evaporación del líquido. De la misma forma, se seca más rápido un charco extenso de agua de poca profundidad que otro más pequeño pero de mayor profundidad, aunque ambos contengan la misma cantidad de agua. El equilibrio se alcanza para ambos a la misma presión.

El valor de la presión de saturación está determinado por varios factores; el más importante es la propia naturaleza del líquido. En general, entre líquidos de naturaleza similar la presión de vapor a una temperatura dada es tanto menor cuanto mayor es el peso molecular del líquido.

Por ejemplo, el aire al nivel del mar saturado con vapor de agua a 20°C tiene una presión parcial de 23 mbar de agua, y cerca de 780 mbar de nitrógeno, 210 mbar de oxígeno y 9 mbar de argón.



La presión de vapor de un líquido a una temperatura determinada es la presión a la que dicho líquido se halla en equilibrio con su vapor en un determinado espacio. A presiones por debajo de esta presión de vapor el líquido comenzará a vaporizarse por la reducción de la presión en la superficie.

A 15 °C la presión de vapor del agua es de 0,0173 kgf / cm², a 100 °C es de 1,033 bares.

Un líquido empieza a hervir cuando su presión de vapor es igual a la presión exterior. Por lo tanto el punto de ebullición normal de un líquido es la temperatura a la cual dicho líquido posee una presión de vapor igual a la presión atmosférica. Si se produce una disminución de la presión externa, el punto de ebullición disminuye; un aumento de la presión externa provocará un aumento del punto de ebullición.

La presión de vapor debe tenerse en cuenta cuando se efectúan aspiraciones con bombas, para evitar los fenómenos de cavitación.

La tensión superficial –una manifestación de las fuerzas intermoleculares en los líquidos–, junto a las fuerzas que se producen entre los líquidos y las superficies sólidas en contacto con ellos, da lugar a la capilaridad. Su efecto es la elevación o la depresión de la superficie del líquido en la zona de contacto con el sólido.

En el interior del líquido las moléculas experimentan fuerzas de atracción debidas a sus moléculas vecinas, cuya resultante es nula tal y como muestra la ilustración anterior. Si una molécula se encuentra en la superficie libre del líquido, en contacto con el aire, las fuerzas de interacción aire-líquido son menores que las fuerzas de interacción líquido-líquido, por lo que existe una fuerza resultante dirigida hacia el interior del líquido.

El efecto de las fuerzas intermoleculares es tirar de las moléculas hacia el interior de la superficie del líquido, lo que las mantiene unidas y permite que formen una superficie lisa. La tensión superficial mide las fuerzas internas que hay que vencer para expandir el área de la superficie de un líquido. La energía necesaria para trasladar las moléculas de la masa líquida a su superficie para expandirla es lo que se denomina tensión superficial. Cuanto mayor es la tensión superficial, mayor es la energía necesaria para transformar las moléculas interiores del líquido a moléculas superficiales.

La tendencia de todo sistema a evolucionar hacia un estado de equilibrio estable con una energía potencial mínima obliga al fluido a adquirir una configuración en la que el área de separación de la interfase líquida con otros medios sea lo más pequeña posible. Podría decirse, como analogía, que la superficie libre de un líquido se comporta como una lámina elástica que busca el equilibrio minimizando su área.

La tensión superficial explica también la formación de gotas en los líquidos: la gota (esfera) es la forma que ofrece menos superficie libre para un mismo volumen.

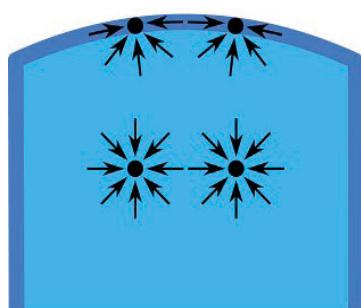
Debido a los puentes de hidrógeno la tensión superficial del agua es alta.

2. HIDROSTÁTICA

La **hidrostática** es una rama de la mecánica de fluidos o de la hidráulica que estudia los **fluidos** en estado de **equilibrio**. Para que un fluido esté en estado de equilibrio no deben existir fuerzas que alteren su movimiento o posición. El estudio de la hidrostática está respaldado principalmente por dos teoremas: el **principio de Pascal** y el **principio de Arquímedes**.

2.1. PRESIÓN

La presión es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie. Por lo tanto se denomina **presión a la fuerza ejercida por unidad de superficie**. Se representa por el símbolo p y sirve para caracterizar cómo se aplica una determina-



La tensión superficial de un líquido es la cantidad de energía que necesita para aumentar su superficie por unidad de área. Esta definición implica que existe una resistencia para que el líquido aumente su superficie.

Imagen 3. Tensión superficial

da fuerza resultante sobre una línea. La unidad de medida para la presión en el Sistema Internacional de Unidades es el pascal (Pa), que equivale a una fuerza total de un newton actuando uniformemente en un metro cuadrado.

El término presión se usa con mucha frecuencia en el trabajo de bombero: se habla de presiones en bomba, presiones en punta de lanza, presiones de inflado, presión atmosférica, etc.

$$\text{Presión (P)} = \frac{\text{Fuerza (F)}}{\text{Superficie (S)}}$$

a) Presión atmosférica

Es la **presión** que ejerce la **atmósfera**, consecuencia del peso por unidad de superficie, sobre cualquier punto de la superficie terrestre.

La presión atmosférica varía con la altitud (varía la gravedad y el volumen de aire que existe por encima disminuye) y con las condiciones meteorológicas (varía la densidad del aire).

El peso que ejerce una columna de aire a nivel del mar es igual al peso que ejerce una columna de mercurio de 760 mm.

Se define vacío como la extracción total o parcial del aire atmosférico (u otro fluido) de un recipiente. En la práctica no es posible realizar un vacío perfecto; siempre quedarán restos de fluido que ejercerán una determinada presión.

Tabla 3. Equivalencia de unidades

| | |
|--------|--------------------------|
| 1 ATM | 1,033 Kg/cm ² |
| 1 bar | 1,019 Kg/cm ² |
| 1 ATM | 1,013 Kg/cm ² |
| 1 ATM | 10,33 m.c.a. |
| 1 bar | 100000 Pa |
| Madera | 0,5 |

Debido a la inexactitud de los aparatos de medida y a los bajos valores de presión que se manejarán, se puede despreciar el error al establecer la siguiente equivalencia:

$$\text{atm} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 760 \text{ mmHg} = 10 \text{ mca} = 14,5 \text{ PS}$$

b) Presión absoluta y presión relativa

Se denomina presión absoluta si al medir se toma como referencia el cero absoluto, y presión relativa si al medir se toma como referencia la presión atmosférica. La relación que existe entre ambas es:

$$p_{\text{absoluta}} = p_{\text{atmosférica}} + p_{\text{relativa}}$$

Los aparatos de medida suelen medir presiones relativas.

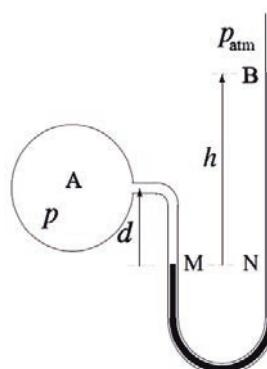


Imagen 4. Manómetro para medir presiones relativas

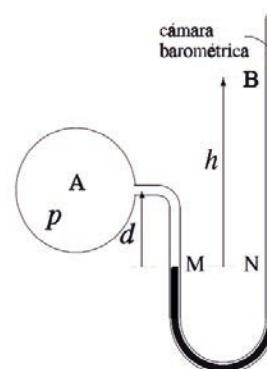


Imagen 5. Manómetro para medir presiones absolutas

c) Presión estática

La presión estática es la presión que posee un fluido de forma independiente a la velocidad del mismo. Se mide mediante la utilización de tubos piezométricos. La suma de la presión estática y la presión dinámica (aquella que depende de la velocidad del fluido) que ejerce un fluido (líquido o gaseoso) se define como presión total.

$$P_0 = P_s + P_d$$

2.2. ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA HIDROSTÁTICA

Es la ecuación de equilibrio de una masa líquida.

Si se considera una columna de líquido de base S entre los puntos con altura Ya e Yb, la diferencia de presiones entre las bases viene dada por el propio peso de la columna de líquido.

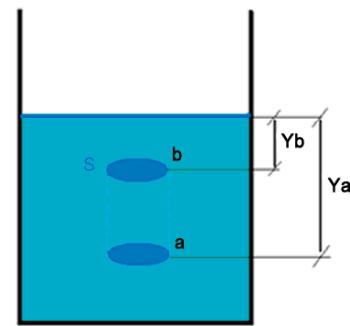


Imagen 6. Ecuación de equilibrio de una masa líquida

$$P_a = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{(\rho \cdot S \cdot Y_a) \cdot g}{S} = \rho \cdot g \cdot Y_a$$

$$P_b = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{(\rho \cdot S \cdot Y_b) \cdot g}{S} = \rho \cdot g \cdot Y_b$$

$$P_a - P_b = \rho \cdot g \cdot (Y_a - Y_b)$$

Si se considera la diferencia de presiones entre la superficie Yb = 0, que está a la presión atmosférica, y un punto a profundidad Ya = h, la ecuación anterior queda:

$$P = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h$$



La ecuación fundamental de la hidrostática tiene varias implicaciones:

- La presión en el interior de un fluido en reposo aumenta con la profundidad.
- Todos los puntos situados a una misma profundidad tienen la misma presión (igualdad de nivel en vasos comunicantes).
- La presión solo depende de la profundidad (no depende de la forma del recipiente).
- En un fluido en reposo, la presión es perpendicular a la superficie sobre la que actúa. En caso contrario la resultante de las fuerzas no se anularía y, por lo tanto, el fluido estaría en movimiento.

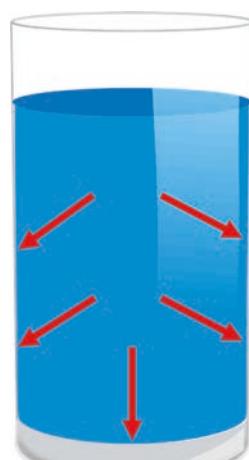


Imagen 7. Hidrostática

2.3. PRINCIPIO DE PASCAL

El principio de Pascal dice que la presión ejercida sobre un fluido poco comprimible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con la misma intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido.

El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, provista de un émbolo y perforada en diferentes lugares. Cuando se llena la esfera con agua y se ejerce presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los orificios a la misma velocidad y, por lo tanto, con la misma presión.

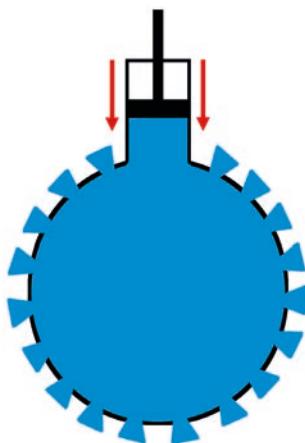


Imagen 8. Principio de Pascal

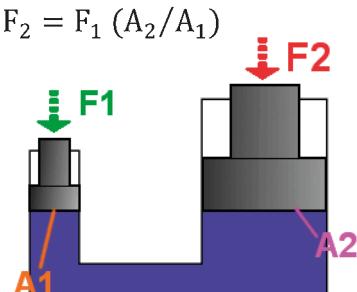


Imagen 9. Prensa hidráulica

El principio de Pascal se aplica en las prensas hidráulicas, en los elevadores hidráulicos, en los frenos hidráulicos y en los puentes hidráulicos.

El principio de Pascal explica cómo funciona la prensa hidráulica, que constituye la aplicación fundamental de dicho principio y permite comprender su significado.

La prensa hidráulica consiste, en esencia, en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí cuyo interior está lleno por completo de un líquido, que puede ser agua o aceite. Se ajustan dos émbolos de secciones diferentes en cada uno de los dos cilindros respectivamente, de modo que estén en contacto con el líquido. Cuando se ejerce una fuerza F_1 sobre el émbolo de menor sección S_1 , la presión p_1 que se origina en el líquido en contacto con él se transmite íntegramente y de forma casi instantánea al resto del líquido. Por el principio de Pascal, esta presión será igual a la presión p_2 que ejerce el fluido en la sección S_2 , es decir:

$$p_1 = p_2$$

Por lo tanto la relación entre la fuerza resultante en el émbolo grande cuando se aplica una fuerza menor en el émbolo pequeño será tanto mayor cuanto mayor sea la relación entre las secciones:

$$F_1 = F_2 \left(\frac{S_1}{S_2} \right)$$

Esto permite que, partiendo de una fuerza inicial pequeña, se pueda multiplicar la fuerza secundaria, lo que facilita la realización de trabajos que requieran grandes esfuerzos. Los equipos de corte y separación se basan en este funcionamiento.

2.4. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

El principio de Arquímedes es un principio físico que dice que un cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido en reposo recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja. Esta fuerza

recibe el nombre de empuje hidrostático o de Arquímedes, y se mide en el Sistema Internacional en newton. La fuerza del empuje no depende de la presión existente, sino de la densidad del líquido y del volumen del cuerpo sumergido.

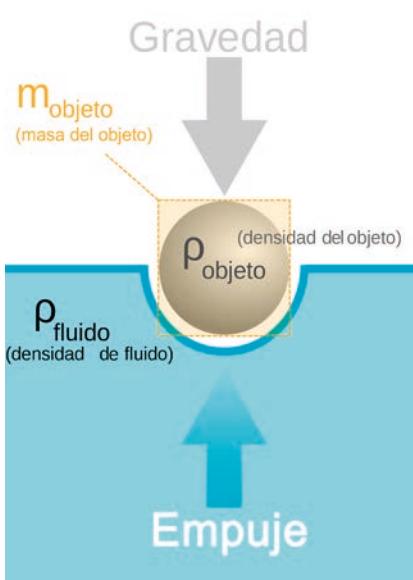


Imagen 10. Principio de Arquímedes

3. HIDRODINÁMICA

La **hidrodinámica** es la ciencia que estudia la **dinámica de los líquidos**.

$$P_A = \frac{F}{S} = \frac{(\rho \cdot S \cdot h_A) \cdot g}{S} = \rho \cdot g \cdot h_A$$

$$P_B = \frac{F}{S} = \frac{(\rho \cdot S \cdot h_B) \cdot g}{S} = \rho \cdot g \cdot h_B$$

$$\text{Empuje} = P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (h_B - h_A)$$

Se toman en cuenta tres aproximaciones a la hora de estudiar la hidrodinámica:

- El fluido es un líquido incompresible. Es decir, su densidad no varía con el cambio de presión, a diferencia de lo que ocurre con los gases.
- La pérdida de energía debida a la viscosidad es despreciable. Se supone que un líquido es óptimo para fluir y la pérdida es mucho menor si se compara con la inercia de su movimiento.
- El flujo de los líquidos es en régimen estable o estacionario. Es decir, la velocidad del líquido en un punto es independiente del tiempo.

3.1. RÉGIMEN DE FLUIDO: RÉGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO

En el interior de las instalaciones el movimiento de los líquidos se desarrolla de dos formas distintas, en función de si las partículas siguen trayectorias uniformes y paralelas (flujo laminar) o lo hacen de forma irregular y con trayectorias cruzadas (flujo turbulento).

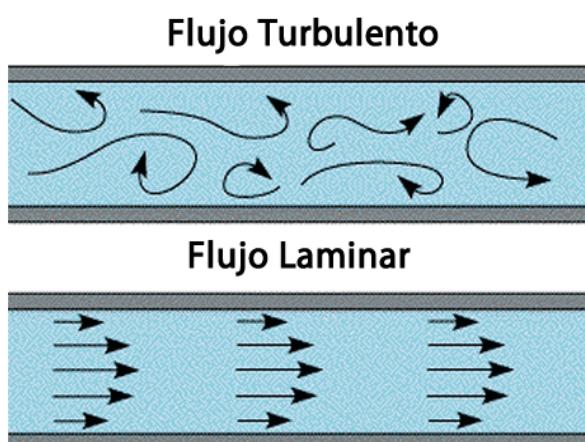


Imagen 11. Flujo turbulento y laminar

Se denomina movimiento en régimen laminar cuando el líquido circula a baja velocidad y las partículas se deslizan unas sobre otras como si se tratara de verdaderas láminas fluidas.

Si aumenta la velocidad del líquido o la instalación presenta cambios bruscos de dirección (por ejemplo a consecuencia de codos, estrechamientos o dobleces), aparecen remolinos que provocan que el régimen sea turbulento.

Además de la velocidad existen otros parámetros que determinan el tipo de movimiento que se producirá: la viscosidad, la densidad del líquido, el diámetro y la distribución de la instalación.

Las fuerzas de viscosidad predominan sobre las fuerzas de inercia (velocidad y densidad) a bajas velocidades, y se obtiene como resultado un flujo laminar. Por el contrario, al aumentar la velocidad predominan las fuerzas de inercia y aparecen las turbulencias y los remolinos que caracterizan el régimen turbulento.

Entre estos dos tipos de movimiento existe una zona de transición en la que el fluido se mueve en una mezcla de ambos. La mayoría de los sistemas de distribución de agua aplicados a bomberos funcionan en régimen turbulento.

La diferencia entre el régimen laminar ($R < 2000$) y turbulento ($R > 4000$) se obtiene por el número de Reynolds. La zona en la que dicho número está entre 2000 y 4000 se denomina régimen de transición.

$$R = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\eta}$$

- ρ : Densidad
- η : Viscosidad
- D : ø conductor
- v : velocidad

3.2. CAUDAL

El caudal es la cantidad de líquido que pasa por la sección trasversal de un conductor en la unidad de tiempo.

$$\text{Caudal } (Q) = \frac{\text{Volumen } (V)}{\text{Tiempo } (t)} \quad \text{Unidades: } m^3/\text{sg}$$

También se define el caudal como la velocidad a la que circula el líquido por la sección del conductor.

$$\text{Caudal } (Q) = \text{Velocidad } (v) \cdot \text{Sección } (S)$$

$$\text{Unidades: } \frac{m}{\text{sg}} \cdot m^2 = \frac{m^3}{\text{sg}}$$

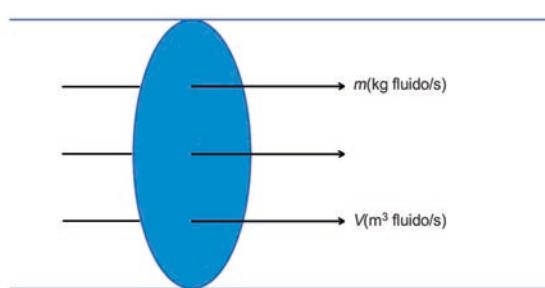


Imagen 12. Caudal



3.3. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Este principio se fundamenta en la incompresibilidad de los líquidos.

“La cantidad de líquido que pasa por dos puntos cualesquiera de una canalización entre los que no hay ni fuentes ni sumideros en la unidad de tiempo es constante.”

$$Q = S \cdot v = \text{cte.}$$

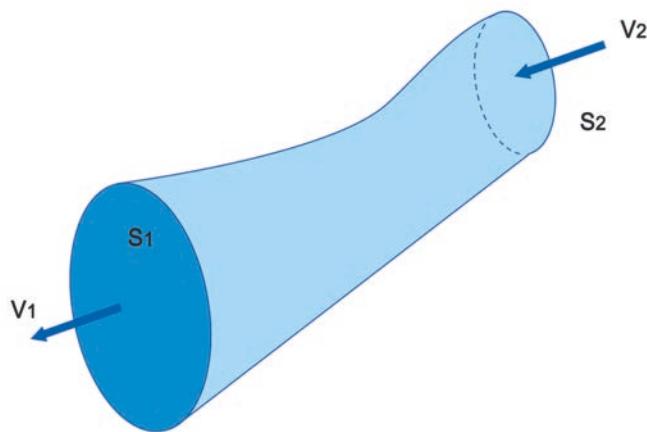


Imagen 13. Ecuación de continuidad

A lo largo de la tubería de la siguiente ilustración, las secciones de la misma varían y, por tanto, también lo hacen las velocidades de circulación a través de las mismas.

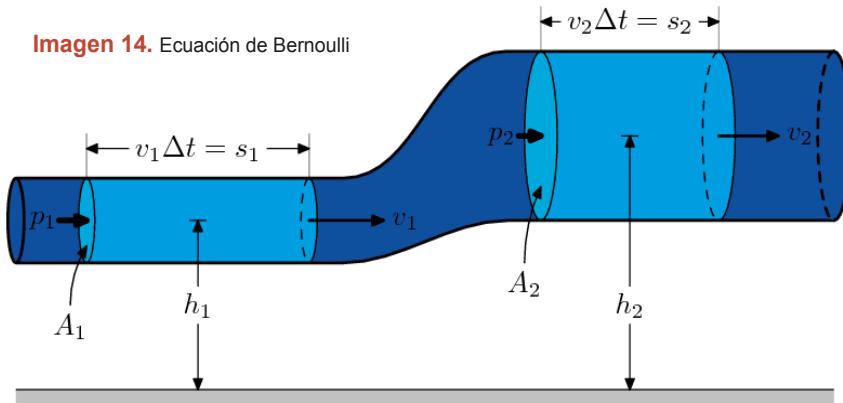
$$Q = \text{cte.} = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = S_3 \cdot v_3$$

3.4. ECUACIÓN DE BERNOULLI

El principio de Bernoulli –también denominado ecuación de Bernoulli– describe el comportamiento de un fluido que se mueve a lo largo de una corriente de agua. Expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.

$$\frac{1}{2}\rho \cdot V_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho \cdot V_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + P_2$$

Imagen 14. Ecuación de Bernoulli



Para un fluido ideal (viscosidad nula e incompresible), la suma de su energía potencial, de presión y cinética se mantiene constante en todos los puntos de una canalización.

Este principio afirma que la energía total debida a la presión, a la velocidad y a la altura permanece constante en dos puntos cualesquier de una canalización.

Energía cinética: $\frac{1}{2} \times \text{masa} \cdot \text{velocidad}^2$

Energía potencial: $\text{Peso} \cdot \text{altura}$

Energía de presión: $\text{Fuerza} \cdot \text{espacio} =$
= Fuerza · Superficie · Longitud

En una canalización horizontal la energía potencial permanece constante. Al disminuir la sección, aumenta la velocidad y por tanto la energía cinética, por lo que si la energía del sistema tiene que permanecer constante la presión disminuirá. De forma análoga si en una canalización la sección permanece constante (y, por lo tanto, la energía cinética también permanece constante) se produce una elevación; la energía potencial aumenta a costa de la presión.

3.5. TEOREMA DE TORRICELLI

El Teorema de Torricelli es una aplicación de la Ecuación de Bernoulli que permite determinar la velocidad de salida de un líquido a través de un orificio practicado en un depósito a una profundidad determinada. Este teorema establece que la velocidad de salida del líquido tiene una expresión igual a la velocidad que adquiere un cuerpo cuando cae libremente desde una altura equivalente a la superficie libre del líquido hasta la altura del orificio.

$$\frac{V_{\text{salida}}^2}{2g} = h \rightarrow V_{\text{salida}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

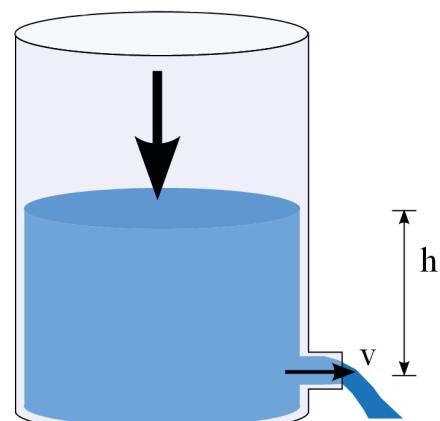


Imagen 15. Ley de Torricelli

Superficie del líquido: Orificio de salida:

$P = P_{\text{atmosférica}}$ $P = P_{\text{atmosférica}}$

$v \approx 0$ $V' = V_{\text{salida}}$

$z = h$ $z = 0$

Es posible determinar el caudal de salida a través de una lanza o surtidor mediante una aplicación práctica de este teorema. El caudal será función de la presión existente a la entrada de la lanza o surtidor.

$$Q_{\text{TEÓRICO}} = S \cdot V_{\text{SALIDA}} = S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Como consecuencia de las pérdidas de energía que se originan en el orificio de salida (contracción de la vena líquida, que equivale a una sección de salida menor), el caudal real se ve reducido respecto del caudal teórico.

$$Q_{\text{REAL}} = K \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

(K: factor del surtidor, comprendido entre 0,9 y 0,98)

Si se considera el diámetro equivalente de varias de las lanzas de tipo comercial, se tiene:

Tabla 4. Equivalencia de lanzas

| Tipo de lanza | $\varnothing_{\text{boquilla}} \text{ según posición selector de caudal}$ | $Q_{\text{nominal}} (\text{l/min})$ |
|---------------|---|-------------------------------------|
| 25 | 5,5-12 | 50-230 |
| 45 | 9,75-17,75 | 150-500 |
| 70 | 13,75-21,75 | 300-750 |

Valores de caudal nominal para $h = 70 \text{ m.c.a.} (= 7 \text{ Kg/cm}^2)$ ($K=0,9$)

3.6. EFECTO VENTURI

El efecto Venturi dice que, dentro de un conducto cerrado, un fluido en movimiento disminuye su presión al aumentar la velocidad tras pasar por una zona de menor sección. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro, se produce una aspiración del fluido del otro conducto, que se mezclará con el que circula por el primero. Este efecto es la base del funcionamiento de los pulverizadores y dosificadores (premezcladores).

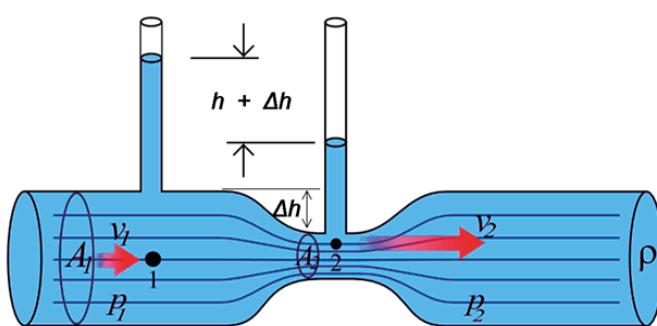


Imagen 16. Efecto Venturi

El efecto Venturi se explica por el principio de Bernoulli y el principio de continuidad de masa. Si el caudal de un fluido es constante pero disminuye la sección, la velocidad debe por fuerza aumentar tras pasar a través de esta sección. Por el teorema de la conservación de la energía mecánica, si la energía cinética aumenta, la energía determinada por el valor de la presión debe disminuir.

3.7. GOLPE DE ARIETE

El golpe de ariete, también conocido como pulso de Zhukowski, es una sobrepresión y depresión que se forma en una tubería al variar el caudal que circula por ella bruscamente.

Es un fenómeno de gran importancia, ya que en determinados casos la sobrepresión generada es de tal magnitud que llega incluso a romper los conductos de paso.

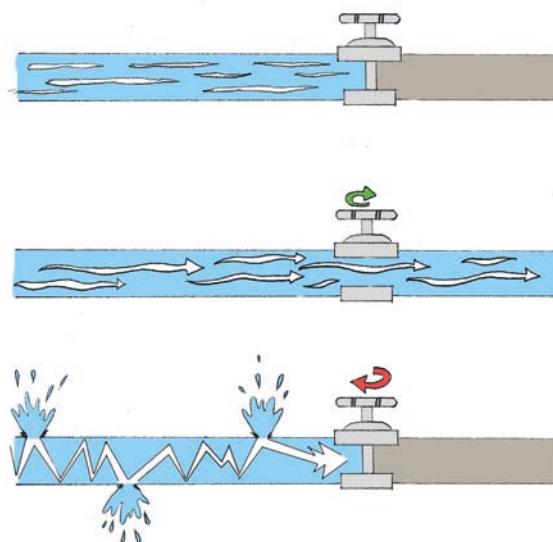


Imagen 17. Golpe de ariete

Cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que continúan en movimiento.

Este empuje crea una sobrepresión, que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido, que tiene dos efectos: comprime ligeramente el fluido (lo que reduce su volumen) y dilata ligeramente la tubería.

Cuando todo el fluido que circulaba se detiene, cesa el impulso que comprimía la tubería y, por tanto, esta tiende a expandirse. Además la tubería que se había ensanchado tiende a retomar su dimensión normal. Estos efectos provocan conjuntamente otra onda de presión en sentido contrario.

El fluido se desplaza entonces en sentido contrario, pero al estar la válvula cerrada se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el fluido puede pasar a estado gaseoso y formar una burbuja mientras la tubería se contrae.

Si la onda no se disipa al alcanzar el otro extremo de la tubería (por ejemplo, en un depósito a presión atmosférica) se reflejará, y será mitigada progresivamente por la propia resistencia de la tubería a la compresión del fluido y a la dilatación.



CAPÍTULO

2

Técnicas



En este apartado se enumeran y se detallan las aplicaciones técnicas de la hidráulica en las operativas de bomberos.

1. BOMBAS CENTRÍFUGAS

Una **bomba centrífuga** transforma la **energía mecánica** que procede del motor de accionamiento en **energía hidráulica**. Al principio incrementa la cantidad de movimiento (o velocidad) del fluido por medio de unas paletas o álabes giratorios accionados por el motor, y después, dado que en el interior de la bomba no existen volúmenes cerrados (cámaras), el fluido discurre por pasajes abiertos (zona del difusor) y transforma parte de su alta velocidad en incremento de presión.

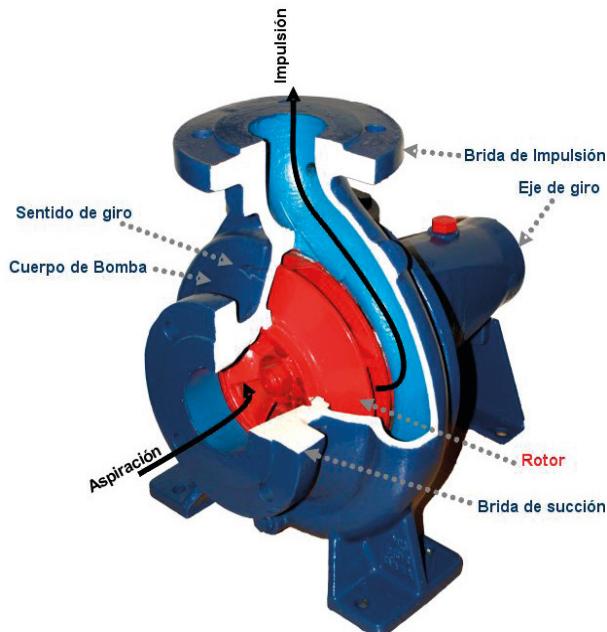


Imagen 18. Bomba centrífuga



Para ampliar información sobre este tema, se puede consultar el capítulo "Bombas centrífugas", dentro del apartado de vehículos, en el manual de equipos operativos y herramientas de intervención de esta misma colección.

El resultado práctico que se obtiene es el aumento de la energía del fluido entre el punto de entrada (boca de tubería de aspiración) y el punto de salida (boca de tubería de impulsión), lo que permite disponer en punta de lanza de un chorro de caudal Q con una velocidad de salida V que fijará el alcance del chorro.

Este incremento de energía expresado en forma de presiones se denomina altura manométrica de la bomba (H_m). El valor de la potencia transferida al fluido se denomina potencia útil (W_{util}). El rendimiento energético de la bomba (η) se calcula mediante la relación entre la potencia transferida al fluido (potencia útil) y la potencia consumida por el motor que acciona la máquina.

1.1. CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA

Las particularidades de una bomba centrífuga se representan mediante las denominadas curvas características. En ellas se muestra el campo de trabajo y las principales particularidades de la bomba; para ello se toman las siguientes variables:

- Como variable independiente básica se toma el caudal (indicado en el eje de abscisas).
- Como variables dependientes o de salida se representa en cada curva la altura manométrica (H_m), la potencia consumida o el rendimiento (η).

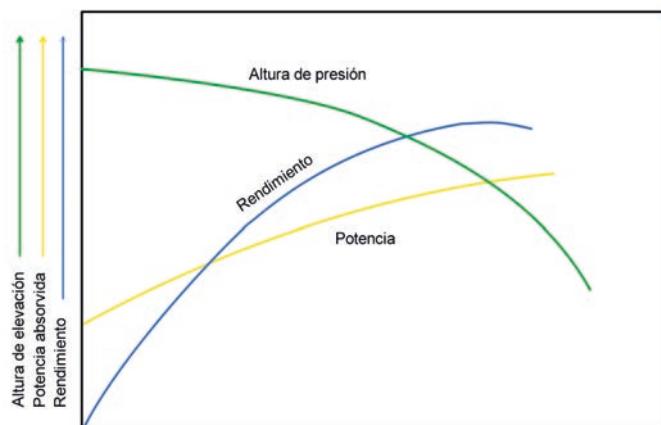


Imagen 19. Curvas características de una bomba

En las curvas características se ve, por ejemplo, cómo evoluciona la altura manométrica con el caudal, y se observa que su valor es máximo para un caudal nulo (válvulas cerradas) y disminuye cuando el caudal aumenta (a medida que se abren las válvulas). También es posible determinar cuál es el **punto óptimo de funcionamiento de la bomba**, aquel donde su rendimiento energético es más elevado. Es en este punto óptimo donde se definen los valores nominales de la bomba (caudal nominal y presión nominal), indicados en la denominación de las características de la bomba.

Es el fabricante el que obtiene estas curvas mediante un estudio experimental. Para ello se coloca una válvula a la

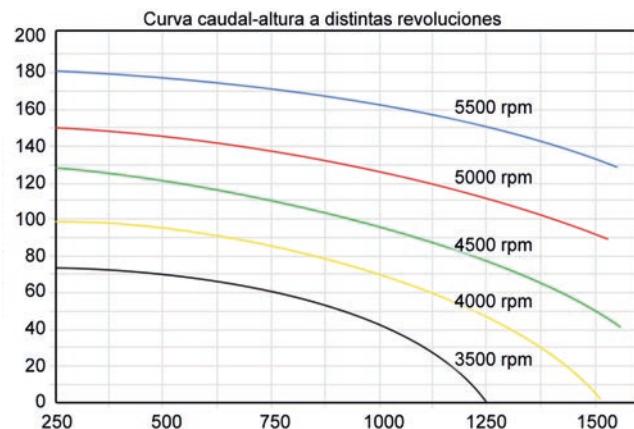


Imagen 20. Curvas características a distintas revoluciones

salida de la bomba y con ella se regula el caudal de paso. De esta forma se simula el incremento progresivo de la pérdida de carga aguas arriba hasta alcanzar la capacidad máxima de la bomba (caudal nulo). Para cada posición de la válvula se obtienen los valores de caudal, presión y potencia consumida y se trazan, punto a punto, las curvas características de la bomba.

A diferencia de muchas bombas centrífugas convencionales, donde el régimen de revoluciones del rodete es fijo, una de las particularidades importantes de las bombas centrífugas de bomberos es que disponen de un mando de aceleración que permite regular el número de revoluciones del motor y, en definitiva, del rodete. Esto permite regular ampliamente P y Q (punto de funcionamiento). Según la bomba instalada el límite superior de revoluciones es variable, aunque no suele exceder de las 5000 r.p.m. En estas bombas en lugar de tres curvas características se obtienen tres familias distintas de curvas. Dentro de cada familia, la curva se desplaza hacia arriba o hacia abajo en función de las r.p.m. del eje de giro.

1.2. ASPIRACIÓN EN BOMBAS

Al aspirar por una conducción, el líquido asciende por ella y la intuición hace pensar que para aumentar la altura basta con aspirar más fuerte. Sin embargo dicha altura tiene un límite. La razón es que la columna no asciende realmente por la aspiración realizada, sino por el empuje de la presión atmosférica exterior. Es por lo tanto dicha presión la que determina la altura alcanzable.

La máxima altura teórica de aspiración es 10,33 metros, pero es imposible alcanzar este valor por varios motivos:

Tabla 5. Presión atmosférica

| Altitud sobre el nivel del mar | Presión atmosférica en m.c.a. |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 10,33 |
| 200 | 10,08 |
| 400 | 9,83 |
| 600 | 9,58 |
| 800 | 9,34 |
| 1.000 | 9,11 |
| 1.200 | 8,89 |
| 1.400 | 8,67 |
| 1.600 | 8,45 |
| 1.800 | 8,24 |
| 2.000 | 8,04 |
| 2.500 | 7,56 |

- Una presión atmosférica menor de 1 atmósfera, según las condiciones climatológicas (densidad del aire) y la altitud.

Tabla 6. Pérdida de aspiración

| Temperatura en °C | Pérdida de aspiración en m.c.a. |
|-------------------|---------------------------------|
| 10 | 0,125 |
| 15 | 0,173 |
| 20 | 0,236 |
| 25 | 0,32 |
| 30 | 0,43 |
| 35 | 0,57 |
| 40 | 0,745 |

- La presión que aporta la presión de vapor. Cuanto mayor es la temperatura del agua, mayor es la presión de vapor y, por tanto, menor es la altura de aspiración.
- El vacío logrado no es perfecto, por lo que existe cierta presión dentro de los manguerotes.
- Existen pérdidas de carga en los manguerotes y en la alcachofa.

Todos estos factores provocan que la altura de aspiración disminuya hasta valores de entre siete y ocho metros.

1.3. CEBADO DE BOMBA

Una bomba centrífuga proporciona una presión considerable en la tubería de impulsión, pero apenas es capaz de producir succión en la tubería de aspiración. Por ello es necesario que el líquido a bombear llegue previamente hasta la entrada y, además, inundar la bomba para que empiece a trabajar. Esta operación es lo que se conoce como **cebado**.

El cebado es una operación esencial (salvo cuando el nivel del agua a aspirar se encuentra por encima de la propia bomba, en cuyo caso es el propio peso del fluido el que inunda la bomba) previa a la puesta en marcha, ya que sin ella la bomba, además de no funcionar, puede incluso llegar a sufrir averías al girar en vacío (no existe lubricación ni refrigeración del rodete). Existen distintos dispositivos de cebado, entre los que destacan:

- Cebado por eyector de gases (hace uso del efecto Venturi de los gases de escape del motor del vehículo que acciona la bomba).
- Cebado por depresor de vacío (hace uso de una bomba de vacío específica accionada normalmente por un motor de tipo eléctrico).



- Cebado de bombas por anillo de agua (hace uso de una bomba volumétrica).
- Bombas autocebantes (hace uso de un depósito de agua específico para llenar el cuerpo de bomba y la tubería de aspiración).
- Cebado por bomba de pistones.

El cebado se considera realizado una vez entran en contacto el agua y el rodeté. Después el propio rodeté se encarga de crear un vacío a su entrada (al desplazar el líquido contenido) y de atraer más agua. En ese momento el sistema de cebado debe ser desconectado.

1.4. CAVITACIÓN

La **cavitación** consiste en la **formación de vapor de agua** provocado por el descenso local de la presión por debajo de la presión de saturación del líquido a la temperatura del líquido, y la brusca condensación subsiguiente. Supone la ebullición del líquido a temperatura ambiente, provocada por presiones muy bajas.

Las partículas de agua disminuyen su presión a medida que se aproximan a la bomba. En el rodeté se produce una nueva caída de presión. Si la presión resultante en algún punto es inferior a la presión de vapor del líquido, se formarán burbujas de vapor. Estas burbujas son arrastradas por el flujo y llegan a zonas donde la presión aumenta. En esos puntos se juntan bruscamente y el vapor se vuelve a condensar, lo que provoca una implosión. El agua al vaporizarse incrementa su volumen unas 1700 veces, al condensarse disminuye su volumen en la misma proporción, de forma que el agua se precipita en los espacios vacíos de las burbujas y golpea contra las superficies presentes (álabes). Este fenómeno, conocido como cavitación o aspiración en vacío, origina presiones locales que pueden alcanzar los 1000 kg/cm², lo que deteriora la bomba (picaduras y una rápida y espectacular corrosión mecánica de las superficies sólidas). El fenómeno suele ir acompañado de ruidos y vibraciones, como si grava golpeara las distintas partes de la máquina. Para evitar este fenómeno se determina la altura geométrica máxima de aspiración, que suele ser un valor entre ocho y ocho metros y medio.

Menos frecuente es que el fenómeno de cavitación sea consecuencia de una demanda excesiva de caudal, incluso con alimentación del cuerpo de bomba desde el propio depósito del vehículo. En estos casos el valor de la pérdida de carga en la tubería de aspiración se dispara y hace que la presión del agua en contacto con el rodeté disminuya por debajo de la presión de vapor. Esta situación se crea por una gran aceleración del cuerpo de bomba unido a instalaciones con escasa pérdida de carga.

En la práctica este fenómeno aparece con grandes alturas de aspiración y/o grandes caudales. Se forman vacíos en lugares puntuales (extremos de los rodetes) en los que el agua adquiere gran velocidad y su presión disminuye por debajo de unos determinados valores (su presión de vapor a esa temperatura).

Estos efectos aparecen principalmente en las bombas a la entrada del rodeté en fase de aspiración y también en los puntos más extremos de los rodetes, lo que provoca que el rodeté trabaje desequilibrado y transmita estos efectos a los rodamientos, degradándolos.

Los puntos del rodeté donde se han producido corrosiones en el material tienen más facilidad para volver a producir otra cavitación.

La cavitación se evita disminuyendo las alturas de aspiración o los caudales de trabajo de la bomba, así como las pérdidas de carga con el aumento de la sección de los mangotes de aspiración.

1.5. ACOPLAMIENTO DE BOMBAS

Las bombas pueden acoplarse de dos formas: **en paralelo** y **en serie**.

a) En paralelo:

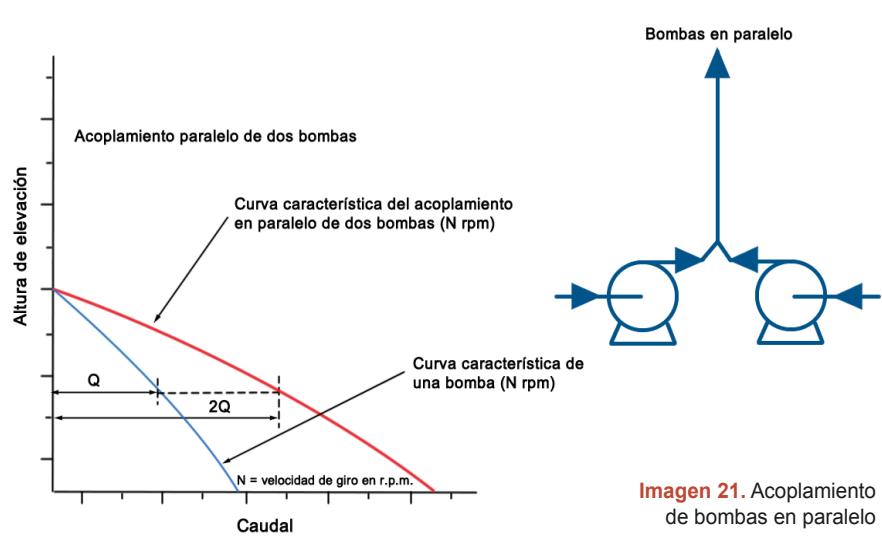


Imagen 21. Acoplamiento de bombas en paralelo

Dos o más bombas están conectadas en paralelo cuando sus entradas y salidas están unidas entre sí (cf. Suay Belenguer, 2008) y se verifica que:

$$H_m = H_{m1} = H_{m2} = H_{m3} = H_{m4} = \dots = H_{mn}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots + Q_n$$

Con esta disposición se obtiene la misma altura manométrica que la conseguida con una única bomba, pero se incrementa notablemente el caudal de agua aportado.

b) En serie:

Dos o más bombas están en serie cuando la salida de una de ellas está conectada a la entrada de la siguiente, y así sucesivamente (cf. Suay Belenguer, 2008). De esta forma la presión de entrada del agua que entra en una bomba es la que aportan las bombas que la preceden. En este tipo de conexión se verifica que:

$$H_m = H_{m1} + H_{m2} + H_{m3} + H_{m4} + \dots + H_{mn}$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \dots = Q_n$$

Con esta disposición el caudal de paso es el mismo que el que aporta una única bomba, pero el incremento de presión obtenido es mucho mayor (adecuado para impulsiones a gran altura).

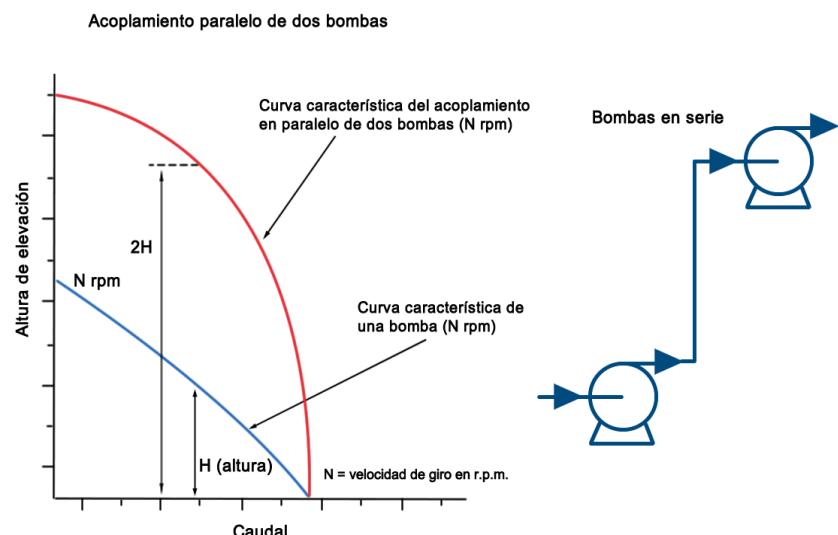


Imagen 22. Acoplamiento de bombas en serie

2. INSTALACIÓN HIDRÁULICA

El objeto de la instalación hidráulica de extinción es llevar un fluido agente extintor (agua o espumante) desde una fuente de suministro hasta el lugar donde se produce el incendio. Una instalación básica de partida está compuesta por una bomba, una manguera y una lanza. Es necesario lograr que por la lanza salga un caudal de fluido Q y velocidad V acorde con la carga del fuego para poder alcanzar el incendio desde una distancia prudencial y extinguirlo (cf. Suay Belenguer, 2008).

La siguiente expresión se conoce como ecuación de línea (cf. Suay Belenguer, 2008):

$$PB = PL + HG + PC$$

Donde:

- PB: Altura de presión a la salida de la bomba. ($PB/10$ bar)
- PL: Altura de presión en punta de lanza. ($PL/10$ bar)
- HG: Altura geométrica. Desnivel que existe entre la bomba y la lanza. Puede ser positivo (si hay que ganar altura) o negativo (si hay que perder altura). ($HG/10$ bar)
- PC: Pérdidas de carga en mca. ($PC/10$ bar)

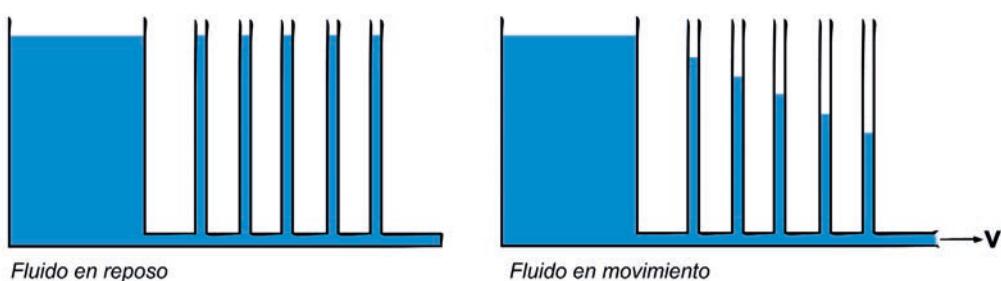


Imagen 23. Fluido en reposo y movimiento



Es complejo evaluar este tipo de pérdidas, por lo que habitualmente se recurre a tablas o gráficas de tipo experimental. En todo caso, la pérdida de carga aumenta:

- Al incrementarse la longitud del conducto o instalación de forma lineal.
- Al incrementarse la velocidad del fluido o su caudal (según su segunda potencia).
- Al reducirse el diámetro de la instalación (según su quinta potencia).
- Al incrementarse la rugosidad del conducto o la viscosidad del fluido.

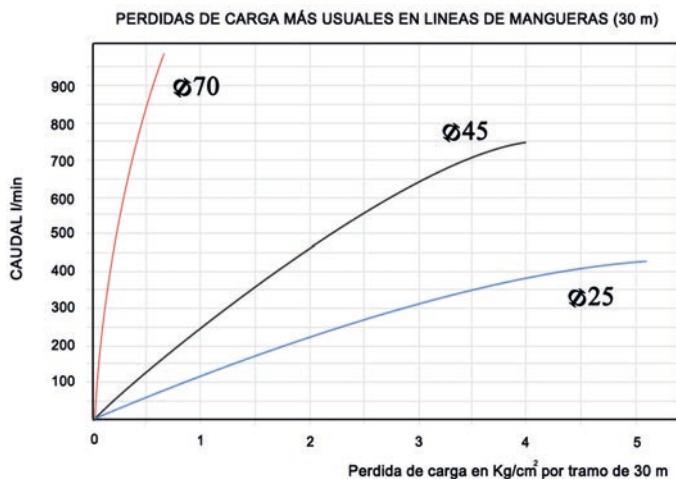


Imagen 24. Pérdidas de carga más usuales

Tabla 7. Pérdidas de carga (en bares) en función del caudal y del diámetro

| Caudal litros / minuto | Diámetro | | |
|------------------------|----------|------|------|
| | 25 | 45 | 70 |
| 100 | 2,5 | 0,15 | |
| 200 | 9 | 0,37 | * |
| 300 | 20 | 0,85 | 0,15 |
| 400 | 36 | 1,7 | 0,2 |
| 500 | 55 | 2,5 | 0,35 |
| 700 | * | 5 | 0,6 |
| 1.000 | * | 10 | 1,2 |
| 1.500 | * | * | 2,6 |
| 2.000 | * | * | 4 |
| 3.000 | * | * | 8,5 |
| 4.000 | * | * | 15 |

Las pérdidas de carga locales se deben a las particularidades que presenta la conducción por donde se canaliza el fluido, tales como: cambios bruscos de sección o de dirección, bifurcaciones, válvulas, lanzas, etc. Su valor es, por lo general, mucho menor que el de las pérdidas continuas.

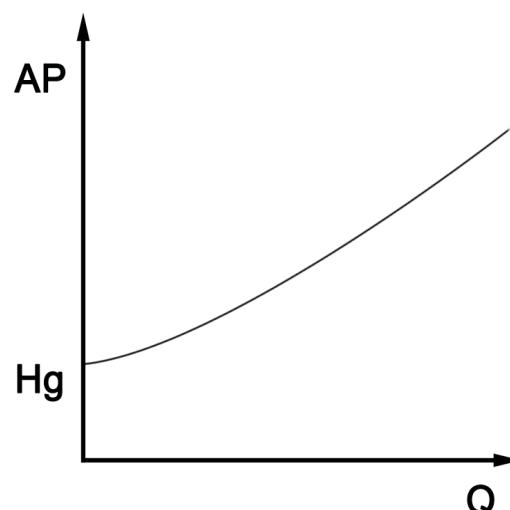


$$PQ = 235 \text{ l/min.}$$

- Reducción 45/25 → $\Delta P_{local} = 0,17 \text{ Kg/cm}^2$
- Bifurcación 45/2 x 25 (funcionamiento simultáneo de dos instalaciones) → $\rightarrow \Delta P_{local} = 0,031 \text{ Kg/cm}^2$.

2.2. CURVA DE UNA INSTALACIÓN

Se denomina curva característica de la instalación a la representación gráfica de las pérdidas de carga continuas y locales, en función del caudal de paso que incorpora el efecto de pérdida/aumento de presión por la altura geométrica ganada/perdida. Habitualmente adopta una forma de este tipo:



AP: Pérdida de carga total; Hg: altura geométrica; Q: caudal

Imagen 25. Curva característica de la instalación

$$\Delta P = H_g + \Delta P_{continua} + \Delta P_{local}$$

Altura geométrica ganada/perdida:

- Cuando se produce una impulsión desde una cota superior a otra inferior, además de la presión de la bomba se debe añadir 1kg por cada 10 metros de desnivel recto (10 m.c.a.).
- Cuando se produce una impulsión desde una cota inferior a una superior, además de las pérdidas generales y singulares de carga se debe considerar que se sufrirá una pérdida de carga de 1 kg por cada 10 metros verticales ascendentes.

2.3. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO

Existe una relación directa entre el incremento de presión transferido al fluido y el caudal de tránsito (relación expresada a través de la curva característica P-Q) en el funcionamiento de una bomba. En términos similares para una instalación determinada se produce una pérdida de carga o presión en función del caudal de paso (curva de la instalación).

De esta forma, cuando se monta en serie una bomba-instalación, existe una interrelación entre ambos dispositivos, que se regula a través de una condición de equilibrio hidráulico en el punto de funcionamiento del sistema. Este punto viene definido por la intersección de ambas curvas. En ese punto se verifica para el caudal impulsado que la

pérdida de carga en la instalación (incluida la producida en el surtidor) coincide con la presión aportada por la bomba ($P_{\text{impulsión}} + \Delta P_{\text{total}} = 0$). En el caso de las bombas centrífugas de bomberos existen distintos puntos de funcionamiento según sea el régimen de revoluciones del motor (gran capacidad de regular el caudal de salida a voluntad sin más que actuar sobre el acelerador).

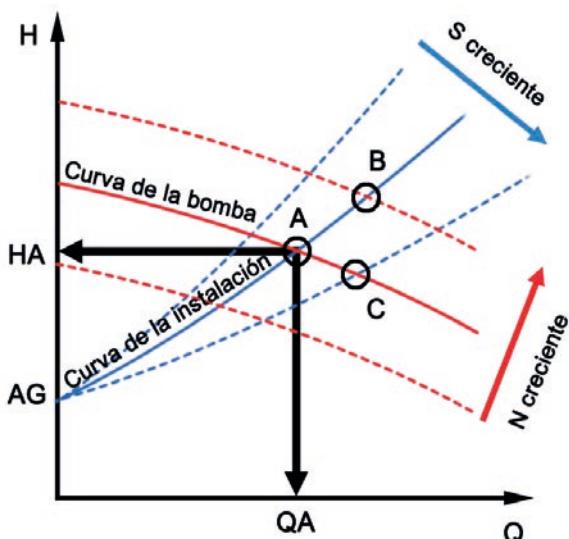


Imagen 26. Funcionamiento bomba - instalación

La intersección de ambas curvas es el denominado punto de funcionamiento de la instalación A. En dicho punto la bomba trabaja a velocidad N dando una presión H_A y un caudal Q_A . Si se desea variar ese caudal es posible hacerlo de dos formas:

- Si se necesita aumentar el caudal sin variar la apertura de la lanza, se desplazará el punto de funcionamiento de la bomba al punto B acelerándola. Es decir, se aumenta la presión en punta de lanza.
- Si se aumenta la sección de salida de la lanza (menos habitual), la bomba trabaja en el punto C, lo que aumenta el caudal y disminuye la presión de trabajo.

2.4. ALCANCE DE UNA INSTALACIÓN

La aplicación práctica del Teorema de Torricelli sirve para determinar el caudal de salida a través de una lanza o surtidor. Este caudal es función de la presión existente a la entrada de la lanza o surtidor.

$$Q_{\text{TEÓRICO}} = S \cdot V_{\text{SALIDA}} = S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

En la práctica el caudal real se reduce respecto del caudal teórico por las pérdidas energéticas originadas en el propio orificio de salida (contracción de la vena líquida, que equivale a una sección de salida menor).

$$Q_{\text{REAL}} = K \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

(K: factor del surtidor, comprendido entre 0,9 y 0,98)

Si se considera el diámetro equivalente de varias lanzas de tipo comercial, se obtiene:

Tabla 8. Caudal de salida en lanza

| Tipo de lanza | $\varnothing_{\text{boquilla}}$ según posición selector de caudal | Q_{nominal} (l/min) |
|---------------|---|------------------------------|
| 25 | 5,5-12 | 50-230 |
| 45 | 9,75-17,75 | 150-500 |
| 70 | 13,75-21,75 | 300-750 |

Valores de caudal nominal para $h = 70$ m.c.a. (= 7 Kg/cm²) (K=0,9)

El alcance conseguido mediante la proyección de agua con la lanza de una instalación tiene una expresión matemática muy compleja debido al impacto relevante que tiene el aire en la dispersión del chorro. Para determinar estos valores habitualmente se recurre al uso de tablas calculadas de forma experimental. En cualquier caso los factores que determinan el alcance máximo de una instalación son el diámetro de la lanza y la presión a su entrada. Se debe tener en cuenta:

- A más presión, más velocidad de salida y mayor alcance.
- Para un mismo valor de presión en punta de lanza, se tendrá mayor alcance cuanto mayor sea el diámetro de la lanza.
- Para una lanza determinada el alcance máximo se consigue con efecto chorro y apertura máxima de caudal.

Tabla 9. Alcances (m) en función del diámetro y de la presión en punta de lanza

| Tipo de lanza | Presión (kg/cm ²) | | | |
|---------------|-------------------------------|----|----|----|
| | 5 | 7 | 10 | 12 |
| 25 | 29 | 31 | 33 | 35 |
| 45 | 34 | 38 | 42 | 45 |
| 70 | 36 | 39 | 44 | 50 |

2.5. REACCIÓN EN LANZA

Debido al principio de acción y reacción toda instalación que lanza un caudal de agua a una determinada velocidad a través de una boquilla experimenta un empuje o retroceso sobre el portador.

La lanza podría considerarse como un arma que dispara gotas de agua como proyectiles, y como tales producen un retroceso continuado.

Por la conservación de la cantidad de movimiento el empuje se puede calcular con

$$E = 2 \cdot P \cdot S$$

E = empuje (unidades de fuerza)

P = presión

S = superficie de salida



Para un mismo diámetro el empuje es mayor cuanto mayor sea la presión, y a mayor diámetro mayor es el empuje para una misma presión.

Si en lugar de un chorro sólido se produjera en forma cónica, el empuje disminuiría a medida que el cono fuese mayor, hasta quedar anulado aproximadamente a los 180°. Al realizar un tendido y dejarlo en espera, se debe tener la precaución de ponerlo en posición de cortina de protección, para lograr así un empuje inicial menor, provocar menos daños y disponer de una mayor protección a la hora de trabajar.

2.6. MINIMIZACIÓN DEL GOLPE DE ARIETE

Desde el punto de vista de los bomberos, el golpe de ariete crea situaciones de peligro, ya que el incremento súbito de la presión se traduce en un incremento brusco de la reacción que experimenta una instalación que esté en ese momento en funcionamiento.

Por ello se aconseja que las operaciones de apertura y cierre en las instalaciones se realicen de forma lenta y controlada. Es decir, se recomienda aumentar el tiempo de apertura y cierre, para que la variación de caudal no sea tan brusca y la instalación absorba progresivamente el esfuerzo.





CONVIENE RECORDAR

- La **hidráulica** es una ciencia que estudia las propiedades mecánicas (estáticas y dinámicas) de los fluidos.
- La **hidrostática** es una rama de la hidráulica que estudia los fluidos en estado de equilibrio.
- La **hidrodinámica** es la ciencia que estudia la dinámica de los líquidos.
- La **masa** es la cantidad de materia que posee un cuerpo.
- La **densidad** es la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.
- El **peso específico** es la relación que existe entre el peso de un cuerpo y el volumen que ocupa.
- La **viscosidad** es una propiedad de los fluidos que caracteriza su oposición a las deformaciones tangenciales.
- Se denomina **fluido ideal** a aquel que carece de viscosidad y es incompresible.
- La **presión** es la fuerza ejercida por unidad de superficie.
- La **presión de vapor** es, para una temperatura concreta, la presión en la que la fase líquida y el vapor o fase gaseosa se encuentran en equilibrio dinámico.
- La **tensión superficial** de un líquido es la cantidad de energía que necesita para aumentar su superficie por unidad de área.
- El **caudal** es la cantidad de líquido que pasa por la sección trasversal de un conducto en la unidad de tiempo.
- Una **bomba centrífuga** transforma la energía mecánica que procede del motor de accionamiento en energía hidráulica.
- Las particularidades de una bomba centrífuga se representan mediante las denominadas **curvas características**.
- El **punto óptimo** de funcionamiento de una bomba es aquel donde su rendimiento energético es más elevado
- Una **bomba centrífuga** proporciona una presión considerable en la tubería de impulsión, pero apenas es capaz de producir succión en la tubería de aspiración. Por ello es necesario que el líquido a bombear llegue previamente hasta la entrada y, además, inundar la bomba para que empiece a trabajar. Esta operación es lo que se conoce como cebado.
- La **cavitación** consiste en la formación de vapor de agua provocado por el descenso local de la presión por debajo de la presión de saturación del líquido a la temperatura del líquido y la brusca condensación subsiguiente.
- Las **bombas** pueden acoplarse de dos formas: en paralelo y en serie.
- El término **pérdida de carga** se refiere a las pérdidas energéticas que se producen en un fluido en movimiento como consecuencia de la presencia de fenómenos diversos que oponen resistencia a su desplazamiento (rozamientos, turbulencias, etc.).
- Se denomina **curva característica de la instalación** a la representación gráfica de las pérdidas de carga continuas y locales.



Arturo Arnalich Castañeda
Colaborador: Juan Luis Ayuso Blas

PARTE 3

INCENDIOS DE INTERIOR VENTILACIÓN DE INCENDIOS

Manual de incendios

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



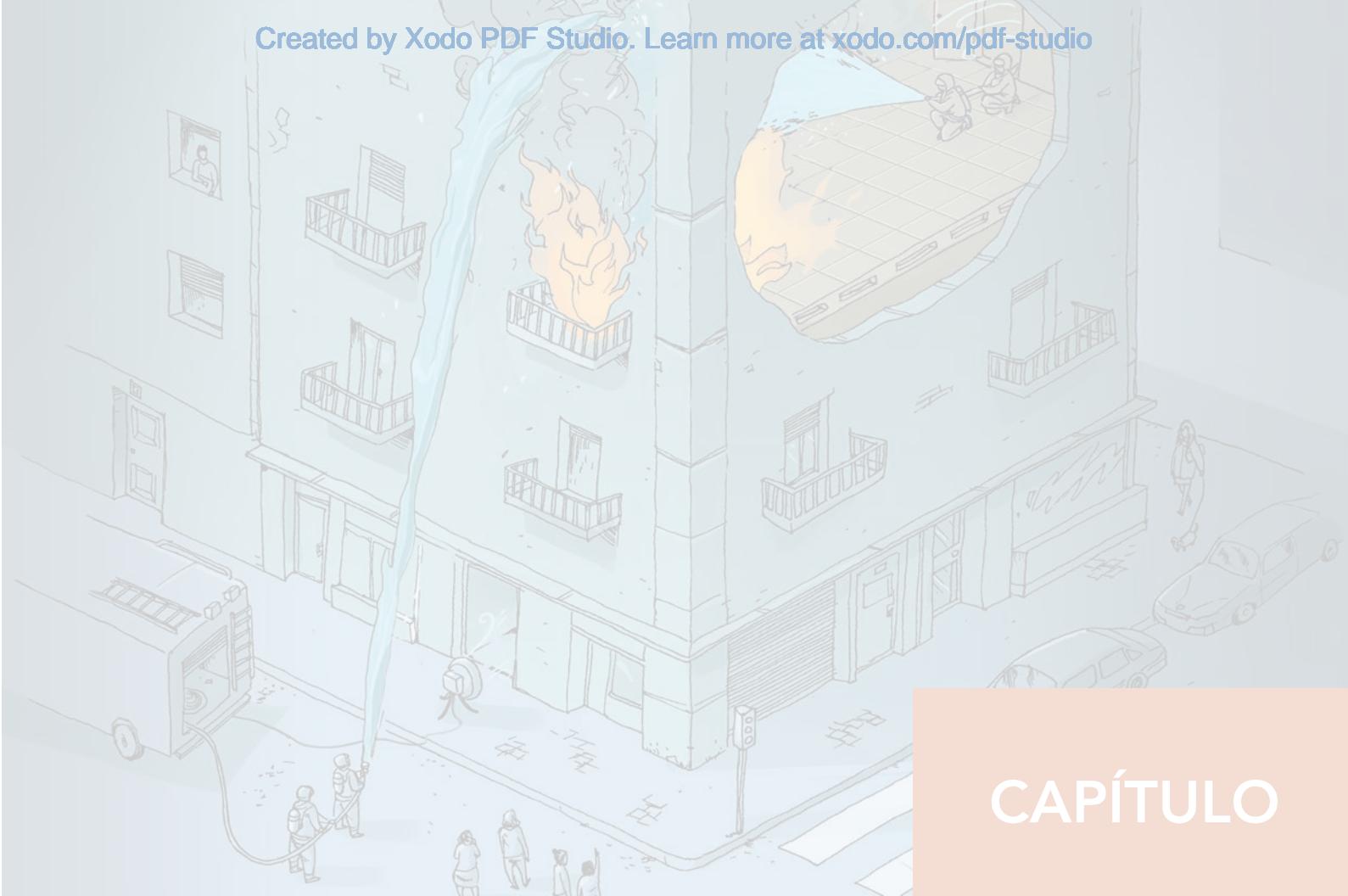
Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción





CAPÍTULO

1

Caracterización



“Solo tengo una ambición en este mundo, y es la de ser bombero. Esto, a los ojos de muchos, pudiera parecer modesto, pero los que conocemos este trabajo, creemos que es la más noble tarea. Una antigua máxima dice que “Nada se puede destruir sino es con fuego”.

Nosotros luchamos para preservar la riqueza de nuestra sociedad, que es el producto del hombre, necesaria para la vida de ricos y pobres. Nosotros defendemos del fuego, el arte que ha embellecido nuestro mundo, el producto del talento del hombre que ha permitido el desarrollo de la humanidad. Pero sobre todo, nuestro más honroso encargo es el de salvar vidas: la tarea del mismo Dios.

Este pensamiento nos emociona y estimula para asumir el riesgo hasta el máximo sacrificio. Esto quizás no interese a la mayoría, pero es suficiente para complacer nuestra ambición y servir con entrega al bien general de nuestra sociedad”.



Imagen 1. Edward. F. Croker.
Jefe del servicio de bomberos
de Nueva York (1899-1911)

De entre las múltiples funciones asignadas a los cuerpos de bomberos, la lucha contra incendios en el entorno urbano puede considerarse la necesidad que dio origen a esta profesión manteniendo a día de hoy plena vigencia. Además, se debe entender que una intervención de incendios de interior no solo entraña la extinción del incendio, también implica el conjunto de operaciones de búsqueda y rescate de víctimas.

El progreso acaecido en los últimos 150 años en las intervenciones de incendios de interior se ha logrado, en gran medida, a partir de la dinámica existente entre herramientas, técnicas y tácticas utilizadas. La aparición de nuevas herramientas ha dado como resultado la optimización de técnicas y planteamientos tácticos; así mismo, la adopción de novedosos planteamientos ha impulsado el nacimiento de herramientas que posibilitan, a su vez, el empleo de nuevas técnicas.

Este texto integra las técnicas tradicionales de extinción de incendios confinados de la Escuela Sueca, (que desembarcaron en los servicios de bomberos españoles a partir de finales de los años noventa), con técnicas de ventilación forzada (cuyo origen tuvo lugar en los EE.UU.) y se aplican en los servicios europeos desde los últimos años.



Imagen 2. Bomberos aplicando técnicas de enfriamiento y dilución de gases para reducir la inflamabilidad de los gases de incendio y progresar de manera segura

estudios son plenamente vigentes en condiciones de laboratorio, su transferencia al incendio real (dominado por múltiples factores externos no controlables) y, en consecuencia, a las técnicas de bomberos, es limitada.

El esfuerzo por dotar de una base científica de carácter empírico a las tácticas y técnicas empleadas por bomberos es uno de los avances recientes más destacables. Organismos como NIST¹ y *Underwriters Laboratories Fire Safety Research Institute* han realizado experimentos a escala real en los que se ha buscado evidenciar y evaluar las técnicas empleadas en la lucha contra incendios. Estas investigaciones han permitido establecer su efectividad real, desmontar muchas creencias sin base científica empleadas a lo largo de los años y generar recomendaciones tácticas.



Imagen 3. Bomberos aplicando técnicas de ventilación ofensiva para mejorar rápidamente las condiciones de visibilidad

Comparison of Room Furnishings

| Legacy Room | Modern Room |
|---|--|
| A photograph showing a room with traditional furniture, including a sofa and armchairs, surrounded by flames. | A photograph showing a room with modern furniture, including a sofa and armchairs, surrounded by intense flames. |

03:39

Imagen 4. Captura del video que compara el desarrollo de incendios con combustible moderno y tradicionales

1. Siglas en inglés, National Institute of Standards and Technology).



Imagen 5. Detalle de la configuración del experimento de comparación de combustible moderno y tradicional

1. DESARROLLO DE INCENDIOS DE INTERIOR

Un incendio **de interior** es aquel fuego que se desarrolla fuera de control en un espacio físico limitado, de modo que no existe transferencia libre de calor ni intercambio libre de fluidos (ya sean gases de incendio o aire fresco) hacia el exterior.

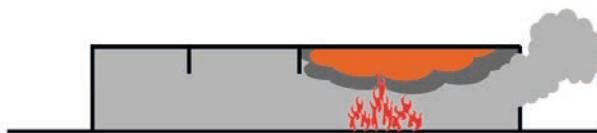


Imagen 6. El incendio de interior se desarrolla en un espacio cerrado que puede tener aperturas al exterior

En un incendio **confinado**, la transferencia de gases con el exterior es nula. Esto es, un incendio en el interior de una vivienda es, efectivamente, un incendio de interior, aun en el caso de que hubiera ventanas o puertas por los que el incendio hubiera roto por fachada; mientras que ante un incendio confinado, puertas y ventanas se encuentran cerradas e intactas, de modo que el intercambio gaseoso con el exterior es prácticamente despreciable.



Imagen 7. El incendio confinado es un incendio de interior sin aperturas al exterior

1.1. DESARROLLO GENÉRICO DE UN INCENDIO DE INTERIOR

El estudio clásico en laboratorio del desarrollo de incendio de interior muestra tres fases bien diferenciadas: crecimiento, pleno desarrollo y decaimiento.

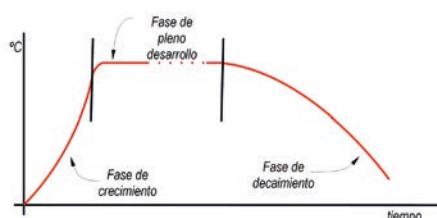


Imagen 8. Curva de evolución de la temperatura mostrando las fases de desarrollo de un incendio de interior

a) Fase de crecimiento

El incendio comienza su desarrollo en el foco de ignición. El calor se transmite por radiación a los combustibles que se encuentran alrededor. Una columna de convección se forma por encima del foco transmitiendo calor a los combustibles que están en la zona superior. En los primeros momentos, la potencia del incendio es muy limitada y su crecimiento es lento. Los combustibles en el entorno del foco requieren energía para comenzar los procesos de pirólisis que descomponen sus compuestos orgánicos y liberan gases combustibles al entorno. Este proceso se acelera a medida que el incendio cobra magnitud, por lo que lo característico de esta etapa es un aumento exponencial de la temperatura.

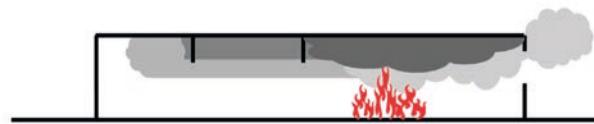


Imagen 9. Esquema de incendio en fase de crecimiento

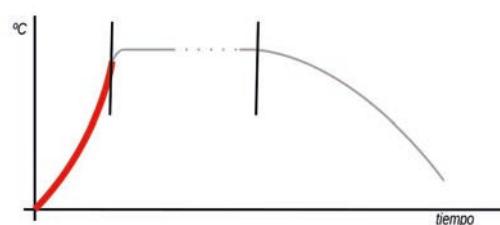


Imagen 10. Zona de la curva de temperatura correspondiente a la fase de crecimiento



Imagen 11. Incendio en fase de crecimiento

Los gases de incendio comienzan a acumularse en los estratos superiores. Al aumentar la temperatura, la densidad de los gases disminuye (ver formula y gráficos) y aparece un efecto de flotabilidad que ayuda a extenderlos por todo el recinto.

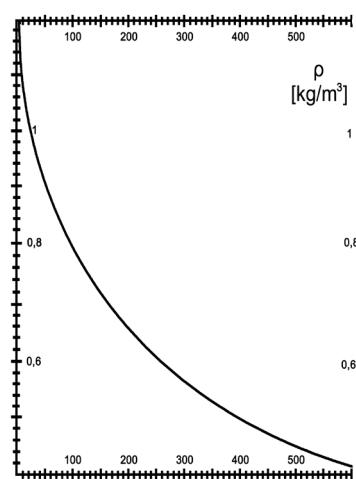


Imagen 12. Gráfica variación de la densidad del aire en relación con la temperatura

$$P \frac{V}{T_a} = \text{constante}; \rho = \frac{m}{V}; T_a = T + 273$$

$$\rho = 1,2 \cdot \frac{293}{273 + T}$$

Donde:

ρ = densidad [kg/m³]

P = presión [Pa]

V = volumen [m³]

T_a = temperatura absoluta [°K]

T = temperatura [°C]

Se ha empleado como referencia aire a 20°C y densidad 1,2 kg/m³

El colchón de gases calientes emite una radiación cuya potencia se ajusta a la Ley de Stefan-Boltzmann que depende de la cuarta potencia de la temperatura. Así, durante las etapas iniciales de la fase de crecimiento, donde la temperatura es relativamente baja, este efecto tiene poca trascendencia. Sin embargo, a 500 °C la cantidad de energía radiada es 64 veces mayor que a temperatura ambiente.

$$P = k \cdot T_a^4$$

Donde:

P = potencia emitida por unidad de superficie [W/m²]

k agrupa los factores de emisividad y la constante de Stefan-Boltzman

A medida que la temperatura aumenta, la radiación lo hace de manera exponencial y comienza la pirólisis de combustibles alejados de la zona de llamas. El colchón de gases se enriquece en gases combustibles aunque su inflamabilidad dependerá de la temperatura y concentración de oxígeno.

Durante esta etapa, la temperatura va en constante aumento. El incendio dispone de oxígeno suficiente para desarrollarse por lo que su potencia queda limitada por la cantidad, disposición, continuidad y naturaleza del combustible.

También es característica de esta fase la formación de dos estratos dentro del recinto:

- Un **estrato superior**: formado por los gases de incendio que ascienden debido a su menor densidad. Registra presiones superiores a las exteriores.
- Un **estrato inferior**: capa más limpia de aire frío y denso, a presiones por debajo de las exteriores.

La división entre ambos coincide, aproximadamente, con el denominado **plano neutro**, límite horizontal donde las presiones son idénticas a las exteriores.

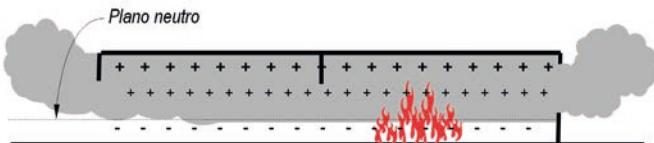


Imagen 13. Esquema de posición del plano neutro. Los signos (+) y (-) indican diferenciales de presión positivos y negativos respectivamente sobre la presión exterior

El colchón de gases de incendio, formado por productos de la combustión y derivados de la pirólisis, puede alcanzar su punto de inflamabilidad durante esta etapa. Esta inflamación puede localizarse en zonas puntuales del colchón de gases, generándose los denominados *rollover*, o producirse de forma generalizada en todo el recinto, en cuyo caso se hablaría de *flashover*.



Imagen 14. Flashover en una práctica de formación en un contenedor metálico



No todos los incendios de interior desembocan en un estado de *flashover*. Con frecuencia, la temperatura alcanzada no es suficiente o la concentración de oxígeno se ha reducido a lo largo de la fase de crecimiento, de modo que la mezcla resultante es demasiado rica en combustible frente a comburente. En otras ocasiones, simplemente la fracción de combustible (la proporción de combustible disponible) en el colchón de gases es insuficiente para alcanzar el límite inferior de inflamabilidad.

b) Fase de Pleno Desarrollo

El desarrollo del incendio llega al punto en el que la concentración de oxígeno en el interior comienza a descender como consecuencia de uno o varios de los siguientes factores:

- Combustión generalizada del colchón de gases de incendio con el consiguiente e importante consumo de oxígeno.

- Incendio confinado o con ventilación insuficiente, de modo que el consumo de oxígeno supera el aporte exterior.
- Demanda de oxígeno elevada. La combustión de los combustibles repartidos por el recinto a lo largo del tiempo genera igualmente un notable consumo de oxígeno. Dependerá de la tasa de combustión (masa de combustible que se consume por unidad de tiempo), del tiempo de desarrollo del incendio y de las dimensiones de la estancia.

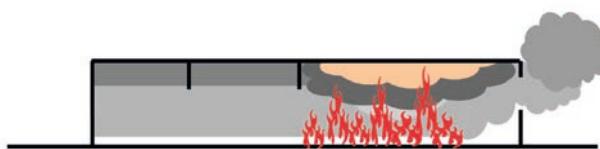


Imagen 15. Esquema de incendio en fase de pleno desarrollo

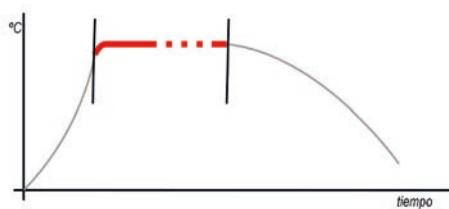


Imagen 16. Zona de la curva de temperatura correspondiente a la fase de pleno desarrollo



Es característico de esta etapa que la curva de temperaturas alcance su límite y se mantenga estable durante un tiempo. En este periodo, la potencia del incendio no viene determinada por el combustible (características, distribución, cantidad, continuidad, etc.) sino por la falta de oxígeno en el recinto.

La temperatura interior dependerá, por un lado, de la potencia del incendio (la cantidad de energía que genera por unidad de tiempo) y, por otro lado, de las pérdidas de calor del recinto.



Imagen 17. Incendio en su etapa de pleno desarrollo. En este caso el recinto se encuentra ventilado y se produce una diferenciación clara de los estratos de gases de incendio y aire fresco como puede verse en las ventanas a nivel de incendio a su izquierda

En incendios con cierto nivel de ventilación, la etapa de desarrollo puede alargarse en el tiempo, ya que la propia potencia del incendio contrarresta las perdidas energéticas a través de paredes, techos y ventilación. Por su parte, los incendios en recintos con un alto grado de aislamiento energético consiguen mantener la temperatura y alargar la etapa de pleno desarrollo a pesar de encontrarse completamente confinados.

Conviene precisar la evolución diferenciada que tienen los **incendios ventilados** y los **incendios confinados**:

En **incendios ventilados**, a lo largo de la etapa de pleno desarrollo se mantienen definidos y diferenciados los estratos de gases de incendio y aire fresco a través del flujo que genera la propia ventilación del incendio. El aire fresco entrante caerá rápidamente a las zonas más bajas del recinto debido a su mayor densidad, mientras que los gases de incendio a mayor temperatura buscarán las zonas altas.

Sin embargo, en **incendios confinados**, el plano neutro cae prácticamente hasta el suelo. La ausencia de un flujo de ventilación impide la evacuación de gases de incendio e irremediablemente el estrato inferior desaparece.

Este factor tiene una influencia decisiva en las tácticas que se van a poder emplear. Mientras que en un incendio ventilado existe la posibilidad de tener cierto nivel de visibilidad para la progresión interior, en los incendios confinados plenamente desarrollados, la visibilidad es nula. Por tanto, en uno y otro caso las técnicas y tácticas serán diferentes.

c) Fase de decaimiento

Con el tiempo, el recinto pierde temperatura y el incendio decae, bien porque el combustible se consume, bien porque, ante la falta de ventilación, la potencia del incendio no es suficiente para compensar las pérdidas de calor hacia el entorno.

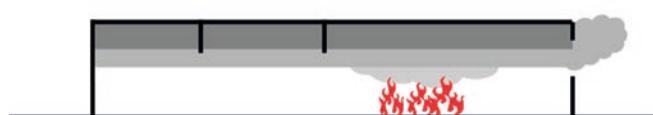


Imagen 18. Esquema de incendio en fase de decaimiento

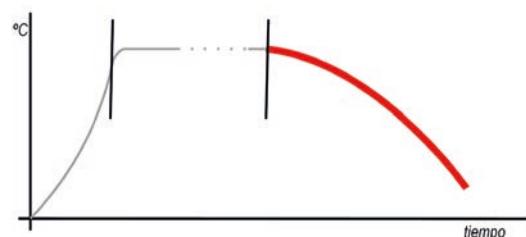


Imagen 19. Zona de la curva de temperatura correspondiente a la fase de decaimiento



1.2. INCENDIOS LIMITADOS POR EL COMBUSTIBLE (ILC)

Incendio limitado por el combustible es aquél en el que la emisión de calor y su crecimiento están limitados por características del combustible (cantidad y distribución), habiendo una proporción adecuada de aire para la combustión. (NFPA² 921, 2008. 3.3.79).

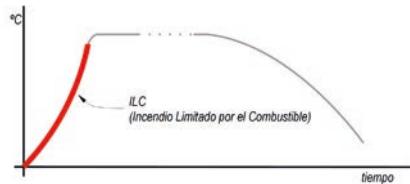


Imagen 20. Durante la fase de crecimiento, el incendio está limitado por el combustible



Se pueden encontrar incendios limitados por el combustible (ILC) en:

- Incendios de interior en su etapa de desarrollo inicial.
- Incendios de interior con amplia ventilación.
- Incendios de interior a los que se está aplicando ventilación por presión positiva, una vez se ha realizado el barrido inicial de gases.
- Incendios en recintos de gran volumen (naves industriales o hangares) donde el tamaño del incendio en relación al volumen del mismo es pequeño.
- Incendios de exterior.



Imagen 21. Evolución de un incendio. Las dos imágenes superiores corresponden a un Incendio Limitado por el Combustible (ILC). En la última imagen (2:45) se aprecia claramente un Incendio Limitado por la Ventilación (ILV)

La potencia de un ILC viene determinada por la cantidad de combustible que entra en combustión en la unidad de tiempo.

$$Q = m_c \cdot H_c$$

Donde:

Q = potencia del incendio [MW]

m_c = tasa de combustión [kg/s]

H_c = poder calorífico del combustible [MJ/kg]

2. Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (inglés:National Fire Protection Association)



Un bloque de poliestireno se consume a razón de 50g por segundo en un lugar abierto (ILC).

$$m_c = 0,05 \text{ kg/s}; H_c \text{ poliestireno} = 39,85 \text{ MJ/kg}$$

$$Q = m_c \cdot H_c = 0,05 \cdot 39,85 = 1,99 \text{ MW}$$

1.3. INCENDIOS LIMITADOS POR LA VENTILACIÓN (ILV)

Incendio limitado por la ventilación es aquél en el que su crecimiento y potencia queda limitado por la cantidad de oxígeno disponible.

Un ILV habiendo pasado o no por una etapa de *flashover*, ha consumido tal proporción de oxígeno, que el factor limitante para su crecimiento no será el combustible, sino la disponibilidad de oxígeno.

Se puede corresponder con un incendio de interior en su etapa de pleno desarrollo, incluso con aperturas de ventilación, ahora bien, su potencia viene determinada por el tamaño y la geometría de la apertura de ventilación al exterior.

Podemos aproximar el valor de esta potencia, para incendios de interior con una sola apertura por la que se canalizan los flujos de entrada de aire y salida de gases, utilizando la Ecuación de Kawagoe.

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h}$$

Donde:

Q = potencia del incendio [MW]

k = constante ($k=0,092$ como referencia para el sistema de unidades propuesto)

H_c = poder calorífico del combustible [MJ/kg]

A = área de la apertura de ventilación [m^2]

h = altura de la apertura de ventilación [m]



Potencia de un incendio alimentado a través de la apertura de una puerta de 2x0,8m.

$$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg}; A = 1,6 \text{ m}^2; h = 2\text{m}$$

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h} = 0,092 \cdot 20 \cdot 1,6 \cdot 1,414 = 4,16 \text{ MW}$$

Podemos comparar esta potencia con la de un incendio con una apertura de paso de manguera (10 cm de anchura).

$$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg}; A = 0,2 \text{ m}^2; h = 2\text{m}$$

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h} = 0,092 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 1,414 = 0,52 \text{ MW}$$

Otra aproximación a la potencia de un ILV puede realizarse empleando la Regla de Thornton que establece la cantidad de energía procedente de la combustión de compuestos orgánicos según el consumo de oxígeno: 13,1 kJ/g de oxígeno.

$$Q = E_t \cdot \frac{\partial}{\partial t} m_{O_2} = E_t \cdot \frac{m_{O_2}}{t}$$

Donde:

Q = potencia del incendio [MW]

$E_t = 0,0131 \text{ MJ/g}$, cantidad de energía liberada por gramo consumido de oxígeno $E_t = 13,1 \text{ kJ/g}$

m_{O_2} = masa de oxígeno consumida [g]

t = tiempo empleado para consumir la cantidad de oxígeno

$m_{O_2} [\text{s}]$



Calcular la potencia media de un incendio que consigue reducir la concentración de oxígeno de un 21% a un 5% en 5 minutos en un recinto de 80m^3 .

$$E_t = 0,0131 \text{ MJ/g}, \text{ densidad del oxígeno a } 1 \text{ Atm}$$

$$d_{O_2} = 1429 \text{ g/m}^3; t = 5' = 300\text{s} \quad \text{Cantidad de oxígeno}$$

$$m_{O_2} = 80 \cdot (0,21 - 0,05) \cdot 1429 = 18.291\text{g}$$

$$Q = m_{O_2} \cdot \frac{E_t}{t} = 18.291 \cdot \frac{0,0131}{300} = 0,799 \text{ MW}$$

1.4. DIFERENCIAS ENTRE ILC E ILV

En la siguiente gráfica se compara la evolución de varios parámetros de un incendio de interior. Habitualmente se hace referencia exclusivamente a la temperatura (T), pero otros factores condicionan de modo importante la intervención de bomberos. Obsérvese la diferencia que se produce en las condiciones interiores cuando el incendio pasa de un estado ILC a un estado ILV. El momento de tránsito resulta de vital importancia ya que múltiples parámetros del incendio se modifican y las condiciones interiores empeoran de forma significativa.

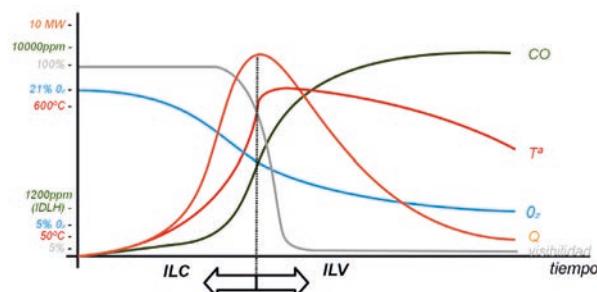


Imagen 22. Gráfica comparativa entre incendio ILC e incendio ILV

La potencia de incendio (Q) aparece expresada en MW e indica la cantidad de energía que produce el incendio en la unidad de tiempo. Se observa cómo la potencia del incendio aumenta de forma exponencial durante la etapa de crecimiento pero, cuando el incendio consume el oxígeno disponible, la combustión se ralentiza y, consecuentemente, la energía que genera.

En incendios confinados (sin ninguna apertura de ventilación) la potencia se aproximará a cero. Sin embargo, ni siquiera en incendios confinados existe una estanqueidad perfecta y el pequeño flujo de aire que se introduce por rendijas, huecos de ventilación y zonas mal selladas mantiene cierta potencia en el incendio.

En incendios con aperturas de ventilación, la potencia puede alcanzar valores considerables aún en la fase de ILV. Además, en estos casos, es más que probable la transición a través de un estado de *flashover* antes de alcanzar el estado de ILV.

En la transición de ILC a ILV, la concentración de oxígeno cae rápidamente. Este déficit de oxígeno genera gran cantidad de productos de combustión incompleta (carbonillas y gases no completamente oxidados). Esta situación genera altas concentraciones de gases tóxicos (obsérvese la curva CO para apreciar cómo las concentraciones de monóxido de carbono se disparan).

Además de la formación de partículas de carbonilla en suspensión responsables de la pérdida de visibilidad, los ambientes de ILV tienen otra particularidad. Los recintos quedan llenos de gases de incendio a altas temperaturas. En la mayoría de los casos, estos gases se encuentran fuera de su punto de inflamabilidad, no porque no exista temperatura, sino porque la mezcla es excesivamente rica en combustible frente a la proporción de comburente. Cuando estas atmósferas sufren un aumento de ventilación, se mezclan gases de incendio y aire progresivamente y el incendio aumenta su potencia significativamente hasta incluso derivar en un *flashover* inducido por la ventilación.



Imagen 23. Incendio en estado ILC



Imagen 24. Incendio en estado ILV



De cara a la intervención interior de bomberos, las condiciones de seguridad que ofrecen uno y otro tipo de incendio son radicalmente diferentes.

Tabla 1. Diferencias entre ILC e ILV

| ILC | ILV |
|--|--|
| Entorno relativamente seguro para la progresión interior | Entorno especialmente peligroso con dificultades específicas |
| Buena visibilidad | Falta visibilidad. Operaciones interiores lentas y costosas |
| Colchón de aire fresco en zonas bajas | <p>Atmósfera no respirable para víctimas o bomberos sin equipo de respiración</p> <p>Atmósfera combustible</p> <p>Temperaturas altas generalizadas</p> |
| Concentración de gases tóxicos relativamente bajas (CO, HCN, etc.) | Concentración alta de gases tóxicos (CO, HCN, etc.) |
| Combustión completa | Colchón de gases inflamables con abundantes productos incompletos de combustión |
| Foco fácilmente localizable | Dificultad para localizar foco |

- **Proporción de oxígeno** adecuada de modo que la mezcla de gases se encuentre en su ventana de inflamabilidad (temperatura y relación combustible/comburente). Esto se consigue cuando existe una apertura de ventilación suficiente o cuando el recinto incendiado está en el interior de una estructura lo suficientemente amplia como para garantizar el aporte de oxígeno necesario.



Podemos esperar que el incendio produzca un *flashover* en corto espacio de tiempo cuando se presentan distintos indicadores que, en ningún caso, deben interpretarse como señal inequívoca de que se vaya a producir este fenómeno:

- Incendio próximo a concluir su fase de crecimiento.
- Colchón de gases de incendio denso y muy oscuro.
- Altas temperaturas en el recinto. Las superficies expuestas a la radiación muestran claros signos de estar pirolizando.
- Existe un aporte de oxígeno, por lo que el incendio se encuentra ventilado.
- A pesar de la ventilación, el plano neutro desciende hasta casi el nivel de suelo.
- Lenguas de gases inflamados (rollover) en el colchón de gases de incendio.

- Durante la fase de *flashover* se produce un pico puntual en la potencia del incendio, una ligera sobrepresión y un elevado nivel de radiación térmica que intensifica el riesgo para los bomberos que se encuentren en el interior. Por tanto, las operaciones de progresión interior y control de la ventilación deberán ir encaminadas a evitar que se produzca un *flashover* con efectivos en el interior. Para ello caben distintos enfoques que, en muchos casos, pueden emplearse de forma simultánea o consecutiva.

- Limitar o reducir el aporte de aire al incendio.

- Reducir la temperatura del colchón de gases de incendio de forma que se reduzca su inflamabilidad.

- Diluir el colchón de gases con vapor de agua para situarlo fuera de rango de inflamabilidad.

- Realizar un barrido de los gases de incendio para expulsarlos fuera del recinto mediante ventilación forzada. Este barrido deberá hacerse sin provocar excesivas turbulencias que mezclen los gases de incendio con el aire aportado.



Imagen 25. Inflamación generalizada en una cámara de entrenamiento a base de GLP

1.6. INCENDIOS INRAVENTILADOS

Un incendio infraventilado es un incendio de interior que alcanza el estado de incendio limitado por la ventilación sin transcurrir por un etapa de *flashover*.

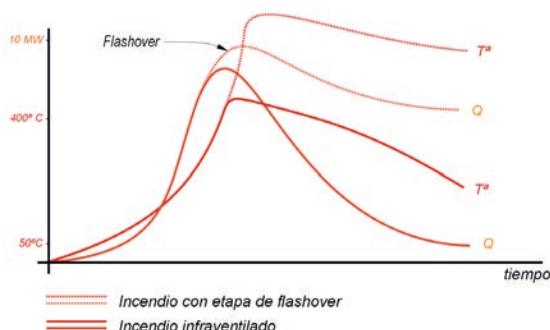


Imagen 26. Evolución comparada de la temperatura (T) y potencia (Q) en un incendio infraventilado frente a un incendio que transcurre por una etapa de *flashover*

Los incendios infraventilados son típicos de recintos confinados o con una ventilación muy limitada en la que el aporte de oxígeno es reducido y el incendio consume durante la etapa de desarrollo el oxígeno disponible en el recinto.

En la mayoría de los casos, el confinamiento es el motivo que desencadena el incendio infraventilado.



Imagen 27. Bomberos en el momento de acceso a un incendio infraventilado. Al abrirse la puerta encontramos el plano neutro casi a nivel del suelo impidiendo la visibilidad

En ausencia de un flujo de aire continuo, el plano neutro descenderá hasta el nivel del suelo con lo que desaparece la clásica estratificación propia de los incendios con cierta ventilación. Desde el punto de vista operativo, esto tiene gran trascendencia, ya que la visibilidad interior es prácticamente nula y desaparece el colchón de aire fresco que pudiera favorecer la supervivencia de víctimas.

Denominamos *fracción de combustible* a la proporción de combustible disponible en el colchón de gases.

Antes del *flashover*, el colchón de gases contiene productos de combustión completa (fruto del desarrollo del incendio limitado por el combustible), gases procedentes de la pirolisis y una fracción de productos de combustión incompleta que tienden aumentar a medida que se reduce la concentración de oxígeno. La fracción de combustible (proporción de combustible disponible en el colchón de gases) estará compuesta por los gases procedentes de la pirolisis y los productos de la combustión incompleta.

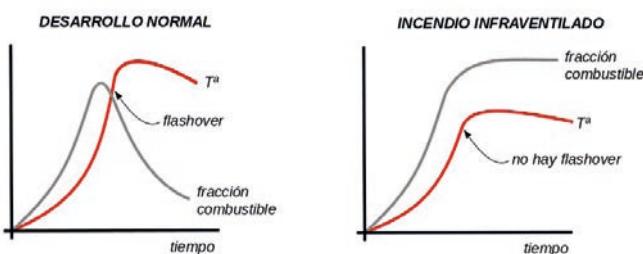


Imagen 28. Comparación de la fracción de combustible y temperatura en un incendio de desarrollo normal y en un incendio infraventilado

En el momento que en el incendio se produce un *flashover*, esta fracción de combustible se consume rápidamente. Sin embargo, en un incendio infraventilado, la alta fracción de combustible confiere un elevado potencial de crecimiento frente a la ventilación.



En el entorno actual de incendio, con edificaciones de alto grado de aislamiento térmico y combustibles sintéticos que requieren una cantidad alta de oxígeno para su combustión, los incendios infraventilados son comunes y constituyen el escenario más frecuente a la llegada a siniestro.

1.7. FLASHOVER INDUCIDO POR LA VENTILACIÓN

El flashover inducido por la ventilación es un flashover producto de la ventilación realizada en un incendio infraventilado.

En incendios infraventilados (incendios limitados por la ventilación que no han sufrido una etapa de *flashover*). Ante la apertura de cualquier hueco de ventilación, el incendio recobrará potencia, ya que accede al oxígeno necesario para situar en rango de inflamabilidad la gran cantidad de combustible disponible. Esto permite que la temperatura suba hasta volver a ofrecer condiciones para que se produzca un *flashover* en el recinto.

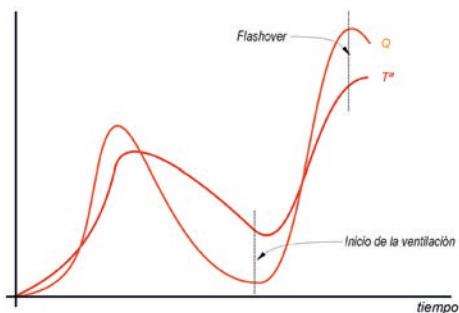


Imagen 29. Evolución de la temperatura y potencia de incendio (Q)

Siendo los incendios infraventilados uno de los escenarios mas frecuentes, a la llegada del servicio de bomberos y el inicio de la progresión interior se debe prestar especial atención al control de la ventilación. Una ventilación inadecuada puede generar un *flashover* inducido por la ventilación cuando los efectivos ya están en el interior del recinto.

Los experimentos de Underwriters Laboratories, en viviendas de tamaño real con mobiliario moderno han permitido arrojar un rango de dos minutos aproximadamente desde la apertura de ventilación hasta que se produce el *flashover* inducido por la ventilación.



Imagen 30. Incendio en Dalkey Road (Dublín). En la imagen superior se aprecia un incendio infraventilado. A pesar de que la puerta está abierta, el flujo de aire es insuficiente y el incendio no llega a transcurrir por una etapa de *flashover*. La imagen central reproduce el momento en el que los cristales del escaparate se rompen. Abajo la imagen 1 minuto después en plena etapa de *flashover* inducido por la ventilación

Además de los indicadores clásicos de *flashover*, es característica la formación creciente de flujos de entrada de aire y salida de gases desde el momento en que se practica la apertura. El flujo inicial, prácticamente laminar, evoluciona en flujos de salida de mayor velocidad y turbulencia a medida que el incendio recupera la potencia y se acerca al *flashover* inducido por la ventilación.



Una ventilación inadecuada puede generar un *flashover* inducido por la ventilación. Por tanto, en incendios infraventilados los enfoques de intervención serán similares a los empleados en situaciones de *flashover*; al inicio de la progresión se debe prestar especial atención al control de la ventilación.

1.8. BACKDRAFT

El backdraft es una deflagración como consecuencia de un aporte de aire repentino a un incendio en un espacio confinado en el que existen productos incompletos de combustión por de la falta de oxígeno. (NFPA 921, 2008. 3.3.14)

Al igual que en el *flashover* inducido por la ventilación, en un *backdraft* también se parte de un escenario de incendio infraventilado, (ILV) que, al no haber pasado por un estado de *flashover*, contiene una fracción de combustible alta en su colchón de gases. La diferencia estriba en que, en el *flashover* inducido por la ventilación el aumento de potencia del incendio se produce paulatinamente mientras que en un *backdraft* el aumento de potencia es repentino y consecuencia de una deflagración.



Imagen 31. Secuencia de imágenes en un simulador de *backdraft*

En el momento en que se produce una apertura en el recinto del incendio, una lámina de aire fresco se introduce en el interior y se extiende por las zonas más bajas. A este flujo se le denomina corriente de gravedad. Por encima de ella se encuentra un flujo de gases calientes que se encamina hacia la salida de gases. La fricción de ambos flujos produce turbulencias y zonas de mezcla. En los primeros instantes, las zonas de mezcla solo afectan la zona cercana a la salida de gases, paulatinamente se desplazan hacia el fondo del recinto hasta alcanzar una fuente de ignición que inicia la deflagración de la mezcla.

Para que se produzca un *backdraft* es necesaria una fracción de combustible realmente alta en el interior del recinto (>15% según autores). Un abundante volumen de productos de pirólisis (fruto de la presencia de combustibles ricos y altas temperaturas durante un tiempo prolongado), junto a los productos incompletos de combustión en el recinto, constituyen el combustible del *backdraft*.

Erróneamente se asocia el fenómeno del *backdraft* a la concentración de monóxido de carbono en el recinto. Al seguir este planteamiento, se creía que reducir la temperatura por debajo de la temperatura de ignición del monóxido de carbono (609°C) permitía evitar el fenómeno. Estudios posteriores han demostrado que las concentraciones de CO en los incendios difícilmente sobrepasan el 5%, cuando el límite inferior de inflamabilidad del CO se sitúa en el 12%.



El desencadenamiento de un *backdraft* puede ir precedido de distintos indicadores, sin que ninguno de ellos pueda tomarse como señal inequívoca de que vaya realmente a producirse.

- Incendio infraventilado en recinto confinado.
- Pulsaciones en el interior del recinto. Las presiones en el interior pasan de ser negativas a positivas en corto espacio de tiempo. El incendio parece “respirar y exhalar”.
- Colchón de gases de incendio denso que en el exterior tiene tonos anaranjados y amarillentos.

Durante un *backdraft* se produce un aumento brusco de la potencia del incendio que lleva asociada una onda de presión susceptible de ocasionar daños materiales de importancia y, en la mayoría de los casos, resultados trágicos al personal en el interior, por lo que debe ser una **situación a evitar a toda costa**. Para ello caben distintos enfoques operativos:

- **Apertura de un hueco de ventilación en cubierta.** Este tipo de aperturas no permite que se introduzca una corriente de gravedad por lo que no existe una mezcla efectiva de gases de incendio y aire. Si bien esta puede ser una opción operativa en los tipos constructivos a base de entramados ligeros de madera, no resulta viable en las construcciones habituales compuestas de forjados.
- **Limitar o reducir el aporte de aire** al incendio y esperar a que el incendio decaiga por sí mismo. A medida que la temperatura cae en el interior del recinto, la inflamabilidad del colchón de gases (y el riesgo potencial de *backdraft*) se reducen.

- **Reducir la temperatura del interior** mediante ataque indirecto con agua desde la puerta de acceso o aperturas practicables que puedan cerrarse.
- Cuando el *backdraft* sea **inminente**, solo cabe asegurar que se produzca preservando que el personal se encuentre en el exterior **en situación defensiva**.

1.9. EXPLOSIÓN DE HUMO

La explosión de humo es una deflagración como consecuencia de la presencia de una fuente de ignición en una mezcla de gases de incendio y aire dentro de su rango de inflamabilidad.

Durante el incendio, los gases de incendio se desplazan a espacios ocultos sin fuentes de ignición, donde se mezclan con el aire existente. Estas mezclas pueden ser enormemente variables en cuanto a proporción combustible/comburente y temperatura.

Cuando la mezcla alcanza su punto de inflamabilidad (temperatura superior a la de ignición y concentración de combustible dentro del rango de inflamabilidad), la **presencia de una fuente de ignición** basta para que se produzca su deflagración y se desate una onda expansiva que puede generar importantes daños materiales. En la mayoría de los casos, se producirá al accionar circuitos eléctricos o por contacto con recintos o elementos incandescentes.

En comparación con el *backdraft*, el desencadenante de la deflagración no es el acceso a la ventilación, sino la presencia de una fuente de ignición en una mezcla previa situada en rango de inflamabilidad.



Distintos indicadores pueden anticipar el desencadenamiento de una explosión de gases. Sin que ninguno de ellos pueda tomarse como señal inequívoca de que vaya a producirse:

- Humo caliente, no excesivamente denso, en espacio confinado fuera de la zona de incendio.
- Mezcla homogénea de gases de incendio y aire.

La intervención deberá ir encaminada a:

- Evitar cualquier tipo de fuente de ignición.
- Reducir la temperatura de la mezcla mediante ataque indirecto desde alguna apertura.
- Ventilar y expulsar la mezcla de gases del interior del recinto.

2. INFLUENCIA DEL COMBUSTIBLE

El combustible determina en gran medida el desarrollo y comportamiento de los incendios. En incendios limitados por el combustible, las características del combustible, así como su distribución y continuidad, juegan un papel fundamental en la potencia, desarrollo, opacidad de los gases de incendio, composición de los productos de combustión y respues-



ta a la ventilación. Por su parte, en incendios limitados por la ventilación, satisfaciendo, eso sí, una carga mínima que permita alcanzar dicho estado, ni la distribución ni continuidad influirán en el incendio.

2.1. PODER CALORÍFICO

La energía química contenida en un combustible depende de su composición, de su estructura molecular y de la diferencia energética entre los estados anterior y posterior a la combustión. Así, el poder calorífico de un combustible puede determinarse a partir de los niveles de energía del combustible, sus productos de combustión y la energía de activación requerida para iniciar el proceso de combustión.

$$H_c = Eq_{\text{inicio}} - Eq_{\text{final}} - Eq_{\text{activación}}$$

Donde:

H_c = poder calorífico [kJ/kg]

Eq_{inicio} = energía química del combustible [kJ/kg]

Eq_{final} = energía química de los productos de la combustión [kJ/kg]

$Eq_{\text{activación}}$ = energía requerida para iniciar el proceso de combustión [kJ/kg]

Tabla 2. Características de las reacciones

| MATERIAL | H_c [kJ/kg] |
|-------------|---------------|
| Madera | 16 |
| Poliuretano | 23 |
| Carbón | 29 |
| Neumáticos | 32 |
| Gasolina | 45 |

En la tabla se pueden observar los valores para calor específico en sustancias comunes.

2.2. CARGA DE COMBUSTIBLE

La carga de combustible (C_c) es una medida de la cantidad de energía de los combustibles por unidad de superficie.

$$C_c = H_c \cdot m_u$$

Donde:

C_c = carga de combustible [kJ/m²].

H_c = poder calorífico [kJ/kg].

m_u = masa de combustible por unidad de superficie [kg/m²].

La carga de combustible en un incendio interior influye decisivamente en su duración. Los incendios con poca carga de combustible ni siquiera alcanzarán el estado de ILV, pues la cantidad de oxígeno en el interior del recinto, o accesible a través de la ventilación, es suficiente para consumir la totalidad del combustible. Ejemplo claro de esto sería el de una

papelera incendiada en una habitación que no se propaga a otros combustibles. Cargas de combustible de 200MJ/m² han demostrado ser suficientes para alcanzar estados de ILV.

La duración del estado de pleno desarrollo en un incendio de interior con cierto nivel de ventilación (de otra manera no existiría posibilidad de consumir combustible más allá del oxígeno disponible en el recinto) dependerá de la carga de combustible y de otros factores.

2.3. OTROS FACTORES LIGADOS AL COMBUSTIBLE

- Tasa de pirólisis (t_p) mide la masa de combustible que piroliza por unidad de tiempo y superficie. Es una medida de la volatilidad de los compuestos inflamables que contiene el combustible en estado sólido.
- Tasa de combustión (m_c) es la velocidad a la que el combustible se consume [kg/s].

Estos factores no solo están ligados a las características del combustible, sino también a la distribución del mismo y a las características del recinto en el que se desarrolla el incendio.

a) Influencia del combustible sobre la potencia del incendio

Las expresiones comúnmente utilizadas para determinar la potencia de un incendio incluyen el poder calorífico del combustible, de manera que se puede concluir que la potencia de incendio es directamente proporcional al poder calorífico del combustible tanto en limitados por la ventilación como en limitados por combustible.

Expresión de la potencia de incendio:

$$Q = m_c \cdot H_c \quad \text{para incendios ILC}$$

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h} \quad \text{para incendios ILV}$$

En ILC, la tasa de combustión (m_c), que depende en parte de las características del combustible, juega un papel importante.

b) Influencia sobre la velocidad de desarrollo

La influencia del combustible sobre la velocidad de desarrollo del incendio depende, entre otros, de varios factores íntimamente ligados a las características del combustible:

- La facilidad para emitir productos combustibles en fase gaseosa (**tasa de pirólisis**). En combustibles en fase líquida se trata de una medida de su volatilidad.
- La velocidad con que estos se consumen en una combustión (**tasa de combustión**). Ésta está vinculada a la cantidad de energía que se requiere para comenzar la combustión. Así, combustibles que requieren una energía de activación grande, dan lugar a incendios de desarrollo lento.

Tabla 3. Velocidad de desarrollo de un incendio

| VELOCIDAD DE DESARROLLO DEL INCENDIO | TASA DE PIRÓLISIS | TASA DE COMBUSTIÓN |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Muy rápido | Alta | Alta |
| Rápido | Media | Alta |
| Rápido | Alta | Media |
| Media | Media | Media |
| Lento | Baja | Baja |

Cuantificar la influencia de ambos parámetros en una expresión matemática es bastante complejo. En la mayoría de los modelos se opta por introducir el denominado “**factor de crecimiento**” como un parámetro experimental (para cada tipo de combustible y entorno de incendio) que determina el tiempo necesario para que el incendio consiga una potencia de 1MW.

2.4. COMBUSTIBLES TRADICIONALES VS. COMBUSTIBLES MODERNOS

En los últimos años, la incorporación masiva de materiales sintéticos en la fabricación de mobiliario y enseres domésticos ha tenido una importante repercusión en el desarrollo de los incendios de interior. Los plásticos y materiales sintéticos presentan un poder calorífico muy superior al de los combustibles tradicionales con curvas de desarrollo más rápidas.



Imagen 32. Comparación de los combustibles modernos ricos en materiales sintéticos y derivados del petróleo con los combustibles tradicionales (madera maciza, fibras textiles vegetales)

A esto habría que añadir el mayor número de elementos de mobiliario presentes en los hogares actuales, las distribuciones en planta abierta, una mayor superficie y un mayor grado de aislamiento térmico que se traducen en dinámicas de incendio más violentas.

El estudio realizado por Underwriters Laboratories en el que se analizó el impacto de la ventilación en viviendas actuales frente a las tradicionales arrojó importantes datos sobre cómo los incendios han evolucionado a tenor de los cambios señalados en el entorno.

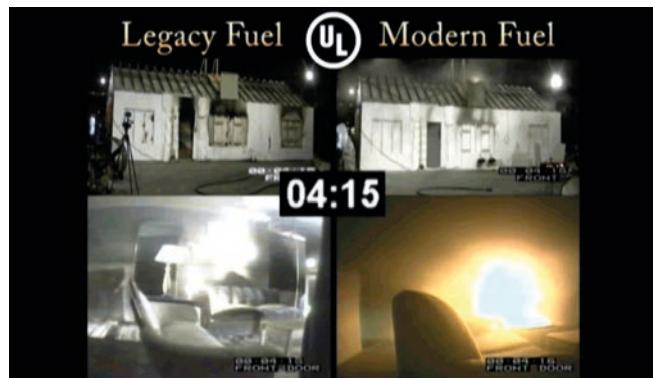


Imagen 33. Captura de la escena del montaje de video comparando el experimento antes referido

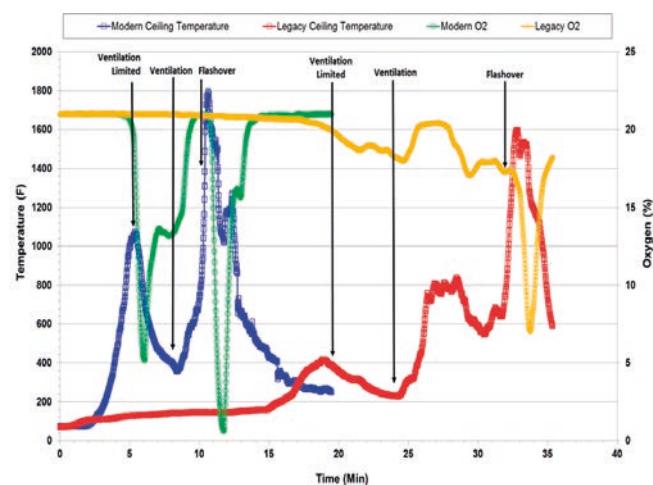


Imagen 34. Evolución de la temperatura y las concentración de oxígeno en el experimento de Underwriters Laboratories comparando la evolución de un incendio con combustible moderno y otro con tradicional en una misma vivienda reproducida a escala real

En este estudio se evaluó el desarrollo del incendio y la influencia de las aperturas de ventilación en viviendas unifamiliares, construidas a escala real y completamente instrumentalizadas, para realizar una toma de datos científica del proceso. La misma configuración de incendio se experimentó primero con mobiliario tradicional y, a continuación, se repetía con mobiliario moderno asegurando que en ambos casos se trataba de un incendio de contenido y que la estructura, a base de planchas de yeso y papel ignífugo, permanecía intacta.

Las conclusiones del estudio son trasladables a la mayoría de países desarrollados pues el uso de plásticos y materiales sintéticos, el aumento de la carga de fuego y la popularización de las estructuras en planta abierta se han globalizado.

Con las gráficas y datos experimentales de Underwriters Laboratories podemos analizar el comportamiento de los incendios actuales y concluir que:

- El estado de **ILV** se alcanza con mayor rapidez: el uso de materiales sintéticos implica combustibles con una mayor facilidad para pirolizar y una demanda de energía de activación menor.



- Los incendios **confinados evolucionan** en incendios **infraventilados**: las cargas de combustibles actuales requieren un volumen de aire mayor que el contenido aire existente en el toda la vivienda para poder alcanzar el *flashover*.
- Las **temperaturas** alcanzadas son significativamente **mayores**.
- La **potencia** del incendio es **mayor**: mayores cargas de combustible se consumen en un menor tiempo.
- Las **concentraciones** de **oxígeno** son **menores**: el hecho de que las temperaturas sean mayores permite un mayor consumo de oxígeno ya que a altas temperaturas los procesos de oxidación son posibles aún en presencia de concentraciones muy bajas de oxígeno.
- La **reacción a la ventilación** resulta muy **rápida**: Los gases de incendio retenidos en el interior de la estructura con mobiliario moderno contienen mayor cantidad de productos incompletos de la combustión que en los entornos tradicionales ya que ha habido mayor consumo de oxígeno. Pero también contienen mayor cantidad de productos de pirolisis ya que las temperaturas son mayores y los combustibles modernos pirolizan con mayor facilidad.



Este análisis del comportamiento de los incendios tradicionales frente a los actuales permite establecer una serie de consideraciones sobre el escenario más probable a la llegada al incendio:

- Incendio infraventilado.
- Ausencia de visibilidad: plano neutro casi a ras de suelo.
- Evolución brusca frente a la apertura de huecos de ventilación.

- **Incendios de contenido:** el incendio se limita estrictamente a los combustibles que hay en el interior. El continente no aporta combustible al incendio. Son característicos de sistemas constructivos con obra de fábrica y forjados de hormigón.
- **Incendios de estructura:** el incendio alcanza a los contenidos y a la propia estructura. El continente es parte del combustible del incendio. Esto es característico de incendios en casas tradicionales o en cubiertas y forjados de madera.



Imagen 36. Incendio de continente y contenido en estructura tradicional cubierta de madera

Desde un punto de vista táctico, pueden requerir planteamientos distintos ya que en incendios de contenido, la propagación de unas estancias a otras se produce por el espacio que las comunica mientras que en incendios de estructura, es la propia estructura la que puede estar facilitando dicha propagación.

3.2. SUPERFICIE Y ALTURA DEL RECINTO

3.1. INCENDIOS DE CONTENIDO VS. INCENDIOS DE ESTRUCTURA

Con relación al recinto, el primer factor a tener en cuenta en el desarrollo de un incendio es el **alcance** dentro del recinto:



Imagen 35. Incendio de contenido. Estructura de obra de fábrica y forjados de hormigón



Recinto de 4·4m; área = 16m², perímetro = 16m ; Relación perímetro/área = 1:1

Ejemplo Recinto de 2·2m; área = 4m², perímetro = 8m; Relación perímetro/área = 2:1

Sin embargo, en la mayoría de los códigos de protección contra incendios la carga de combustible queda referida en exclusiva a la superficie del recinto y expresada en [kJ/m²].

La carga de combustible condiciona la duración y desarrollo del incendio y también condicionará la potencia en caso de ILC. Sin embargo, en los ILV, este análisis es más complejo: la potencia del incendio depende de la apertura de ventilación, y para una mismo tamaño de hueco de ventilación un recinto grande presenta mayores pérdidas de calor por el entorno, menor temperatura y, por tanto, menor potencia.

La siguiente modelización ilustra este efecto para un caso concreto.

Tabla 4. Potencia estimada de incendio para distintos recintos

| Tamaño recinto | Potencia |
|---------------------------|-------------------------------|
| Pequeño 10 m ² | 4,4MW (440kW/m ²) |
| Medio 16 m ² | 5,3MW (331kW/m ²) |
| Grande 25 m ² | 6,1MW (224kW/m ²) |

Por su parte, la altura de la estructura juega un doble papel:

- Una mayor altura implica un mayor volumen de oxígeno disponible para una misma cantidad de combustible (recuérdese que dependía de la superficie y del perímetro). La regla de Thornton permite relacionar la energía que se puede extraer de un combustible con la cantidad de oxígeno disponible.
- A mayor altura, más pérdidas de calor por el entorno, mayor volumen de gases para calentar y menor radiación a los combustibles por parte del colchón de gases (se encuentran más alejados).



Dado que ambos efectos se contrarrestan, se puede decir que existe una determinada altura en que la potencia de incendio será máxima y que disminuirá a medida que la altura de techo aumente o disminuya.

Es posible afirmar que, a menor altura, el desarrollo del incendio será más rápido y el estado de ILV se alcanzará con mayor facilidad ya que la distancia entre el colchón de gases y el combustible se reduce, aumenta la radiación y el volumen de oxígeno es menor.

3.3. GEOMETRÍA INTERNA: CONFINAMIENTO Y COMPARTIMENTACIÓN INTERIOR

El nivel de confinamiento y compartimentación interior juega un importante papel en el desarrollo del incendio y en las tácticas a emplear para la extinción y el rescate.

Entendemos como **nivel de confinamiento** el grado de ventilación que existe entre el recinto de incendio, el exterior y el resto de estancias del edificio. El volumen de ventilación determinará la potencia del incendio y la posibilidad de que se alcance el *flashover*. Un recinto en el que las puertas estén cerradas al resto de la estructura, implica que el incendio no tendrá acceso al oxígeno presente en el resto de la estructura y que los gases de incendio no se extenderán a otras estancias para propagarlo.

La **compartimentación interior**, o grado de división interior del edificio, también afectará al desarrollo del incendio. Este comenzará donde se encuentre el foco dentro del recinto y se propagará a otras estancias a través de puertas abiertas o consumidas en el incendio. Así, en el mismo edificio, hay recintos en los que el incendio se encuentra en pleno desarrollo mientras que en otros estará aún en fase de desarrollo.

3.4. NIVEL DE AISLAMIENTO, INERCIA TÉRMICA

En el desarrollo del incendio, la temperatura interior del recinto es un equilibrio entre la potencia del incendio y el calor que se pierde a través del entorno. Un alto nivel de aislamiento térmico impedirá que el calor se pierda con facilidad e influirá en el desarrollo del incendio provocando:

- Mayores temperaturas.
- Mayor velocidad de desarrollo y, consecuentemente, mayor potencia de incendio.
- Menores concentraciones de oxígeno (el incendio consume mayor cantidad de oxígeno al haberse alcanzado mayores temperaturas).

Por su parte, la capacidad de acumulación de calor por parte del entorno (inerzia térmica), influye alargando las fases del incendio. Durante la fase de crecimiento, la inercia térmica implica que el entorno absorbe gran cantidad de energía, lo que prolonga este proceso. Durante la fase de pleno desarrollo y decaimiento, será el entorno el que transmita calor al recinto.

4. RIESGOS DEL TRABAJO EN INCENDIOS DE INTERIOR

Desde un punto de vista genérico, pueden estudiarse los riesgos intrínsecos de la intervención en incendios de interior sin entrar en la valoración concreta de riesgos y medidas de seguridad propias de un estudio de seguridad e higiene laboral.



Imagen 37. Intervención de bomberos en incendios de interior

4.1. INFLAMABILIDAD Y FENÓMENOS DE RÁPIDO DESARROLLO

En determinadas circunstancias y a lo largo del desarrollo de incendio, los gases de incendio pueden alcanzar su punto de inflamabilidad generando los fenómenos de rápido desarrollo explicados (*flashover*, *backdraft* o explosión de humo). Incluso sin llegar a ello, la ignición de gases provocará un aumento en la potencia del incendio que dificultará las condiciones para los intervenientes en el interior.



Durante los últimos años se popularizaron máximas del tipo “El humo es combustible”, derivadas del popular “Smoke is fuel” de los servicios anglosajones. Este tipo de afirmaciones daban a entender que los gases de incendio serían inflamables en cualquier circunstancia. En otros casos, se ha asociado la inflamabilidad del humo del incendio a la presencia de monóxido de carbono hasta el punto de igualar su punto de inflamabilidad al del monóxido, extremo que como ya se abordó anteriormente resulta erróneo.



La extrema complejidad de la inflamabilidad de los gases de incendio hace imposible equipararla a unas cifras pre-determinadas. En ella influyen multitud de factores:

- Composición de los gases de incendio.
- Fracción de combustible.
- Temperatura.
- Concentración de oxígeno.

En los gases de incendio no solo se encuentran gases de combustión, sino también partículas en suspensión y productos de la pirólisis en diferentes concentraciones (dependiendo del combustible del incendio y el desarrollo del mismo).

La fracción de combustible varía según la cantidad inicial de combustible, pero también con el tipo de desarrollo que el incendio haya sufrido. En incendios infraventilados, al no haber pasado por un estado de *flashover* en el que se haya consumido el combustible, encontramos fracciones de combustible mayores.

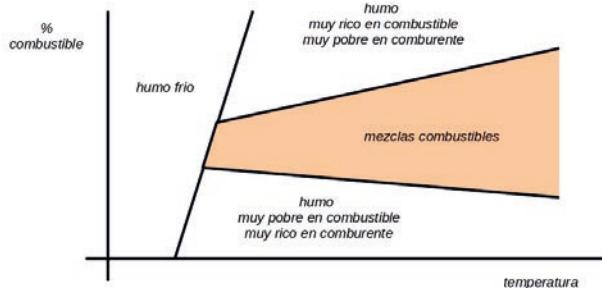


Imagen 38. Gráfica de variación del rango de inflamabilidad de un combustible con relación a la temperatura

4.2. CALOR

El calor representa un peligro físico para las personas. Si la energía calorífica total que incide sobre el cuerpo humano supera la capacidad de defensa del mismo, provoca desde lesiones leves hasta la muerte. Las consecuencias de la exposición al aire caliente se ven amplificadas si la atmósfera del fuego contiene **humedad**, ya que **mejora la eficiencia de transmisión de calor** y el cuerpo pierde facultades para liberarse de la carga calorífica.

La transmisión de calor se puede realizar a través de distintas formas:

- El foco del incendio irradia energía sobre las superficies expuestas.
- El colchón de gases de incendio (que se encuentra a altas temperaturas y extendido por todo el recinto) irradia calor.

- Por contacto entre el equipo de protección personal y los gases de incendio (conducción).
- Por convección en las zonas de flujos de gases de incendio calientes.

Cuando un exceso de calor alcanza los pulmones puede producir una drástica caída de la presión sanguínea junto con el colapso de vasos sanguíneos que conduzcan a un fallo circulatorio. Asimismo, el calor intenso puede originar la acumulación de fluido en los pulmones.

Los ensayos realizados por el National Research Council de Canadá (NRCC) revelaron que 140°C es la máxima temperatura del aire respirado que permite sobrevivir. Una temperatura de esta magnitud solo puede tolerarse durante un breve periodo de tiempo y, en ningún caso, con presencia de humedad. Por tanto, los bomberos **no penetrarán** en ningún tipo de atmósfera hostil **sin portar vestuario y máscaras protectoras**.

Las **variaciones térmicas** dentro del recinto de incendio son importantes debido a una fuerte estratificación térmica. Las zonas superiores pueden fácilmente superar los 600°C, mientras que es posible que el colchón de gases inferior se encuentre en el entorno de los 100°C y otros recintos fuera de la zona de incendio estarán sometidos a temperaturas aún menores.

Con relación a la radiación valores de 10kW/m² se sitúan en el umbral de trabajo para bomberos completamente equipados y calores puntuales de 20kW/m² implican en la mayoría de los casos daños a los equipos de protección personal y daños personales.

Los equipos de protección individual ofrecen protección frente a la temperatura aislando al bombero de las temperaturas externas, pero también absorben parte de ese calor del entorno. Esta **protección térmica** no es, por tanto, ilimitada en el tiempo y, a medida que la operación se desarrolla, el traje de intervención **se satura** hasta que la sensación térmica se trasmite al usuario.

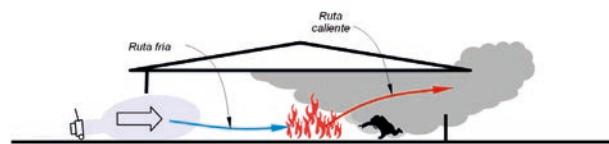


Imagen 39. Identificar el flujo de gases y delimitar al ruta fría y la ruta caliente de gases es vital para la seguridad de víctimas e intervinientes

Durante un incendio existe un volumen de gases en movimiento que abarca la alimentación de aire al incendio y los gases de incendio producidos. Es el denominado flujo de gases en el cual podremos identificar claramente un flujo de gases frío desde la entrada de ventilación hasta el foco del incendio y un flujo de gases caliente formado por los gases de incendio en busca de la salida. Este movimiento de gases se produce por el diferencial de presión existente.

Las áreas de flujo frío (**ruta fría**) son zonas donde el personal queda protegido de la exposición térmica mientras que el flujo de gases caliente (**ruta caliente**) conforma un columna

con importantes efectos de convección sobre las superficies expuestas en su camino.



Identificar el flujo de gases, la ruta fría y la ruta caliente de gases es vital para la seguridad de víctimas e intervinientes.

4.3. TOXICIDAD

El personal que realiza operaciones internas en incendios de interior está expuesto a una combinación de agentes irritantes y tóxicos que no puede ser identificada previamente con exactitud. De hecho, la combinación puede tener una respuesta sinérgica, ya que el efecto combinado de dos o más sustancias es más tóxico o más irritante de lo que sería la suma de las respuestas si cada uno fuera inhalado por separado.

Los gases tóxicos inhalados tienen distintos efectos nocivos en el cuerpo humano. Algunos afectan directamente el tejido pulmonar y deterioran su función. Otros pasan hacia la corriente sanguínea impidiendo las funciones vitales.



Imagen 40. Bombero a punto de entrar en un ambiente completamente inundado de humo

Las respuestas fisiológicas frente a los agentes tóxicos dependen en gran medida del efecto dosis donde, no solo es importante la concentración, sino también el tiempo de exposición. Si bien se han podido realizar estudios que determinan las dosis de toxicidad de distintos gases de forma individual, es imposible evaluar el efecto sinérgico que la combinación de ellos produce.



La cantidad y naturaleza de los gases tóxicos presentes en los gases de incendio depende de múltiples factores entre los que cabe destacar:

- Naturaleza de combustible.
- Desarrollo del incendio.
- Temperatura.
- Concentración de oxígeno.

4.4. VISIBILIDAD

La visibilidad dentro del recinto de incendio se reduce a medida que crece la concentración de partículas en suspensión. El paso de un régimen de ILC a ILV conlleva la aparición de productos incompletos de la combustión, entre ellos, partículas en suspensión. Esta pérdida de visibilidad puede ser especialmente drástica cuando la transición ocurre en un corto espacio de tiempo.

La visibilidad es un parámetro dependiente de la estratificación térmica del incendio y la localización del plano neutro.



Los riesgos derivados de la falta de visibilidad para el personal que realiza labores interiores están relacionados con la ralentización de las operaciones.

La pérdida de la capacidad de visión, el principal sentido en estas situaciones, obliga a que los intervinientes deban “palpar” el camino. La desorientación y la dificultad para localizar el foco, aún estando en las proximidades, constituyen riesgos añadidos.

4.5. RANGO DE SUPERVIVENCIA DE VÍCTIMAS

Las condiciones de supervivencia para las víctimas en un incendio de interior son especialmente complejas. Influyen dos tipos de parámetros cuya efecto dosis determinará el rango de supervivencia:

- Parámetros **respiratorios**: vinculados a la presencia de agentes tóxicos y a su acción sinérgica cuando se encuentran en combinación, así como a la ausencia de oxígeno y la presencia de partículas en suspensión.
- Parámetros **térmicos**: efectos del calor sobre el organismo que incluyen quemaduras y bloqueo de la función respiratoria en ambientes a alta temperatura.

Los estudios Underwriters Laboratories determinaron un rango de supervivencia de 6-12 minutos desde el inicio del incendio para víctimas en una estancia con puerta abierta. La variación en tiempo dependía de la ubicación de la víctima con respecto al recinto de incendio. Salvo en un experimento, los parámetros respiratorios resultaron más críticos que los térmicos. Teniendo en cuenta que el régimen de ILV se alcanzaba a los cinco minutos, se puede concluir que el rango de supervivencia de una víctima en un incendio infraventilado con mobiliario moderno se extiende poco más allá de esta situación.

5. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE AGUA SOBRE INCENDIOS

Con carácter general, la aplicación de agua en el interior de un recinto incendiado modifica la dinámica del incendio a través de dos efectos: **enfriamiento y dilución**. El calentamiento del agua aplicada y el cambio de fase líquido-gas generan una absorción de energía con el consiguiente enfriamiento de la masa de gases de incendio, del combustible y de la estructura. Por su parte, la incorporación de vapor de



agua al recinto constituye una dilución de las concentraciones de comburente y combustible.



Imagen 41. Gotas de agua evaporándose sobre superficie caliente

El lugar donde se realiza la aplicación de agua también constituye un factor importante.

- **Sobre combustibles:** el agua aplicada sobre las superficies de los combustibles causa su enfriamiento y el cese de los procesos de pirólisis que incorporan gases inflamables al recinto. La cantidad apropiada de agua permitirá detener la pirólisis sin generar un exceso de vapor en el interior o escorrentía.
- **En el colchón de gases de incendio:** se produce un doble efecto (enfriamiento y dilución) del combustible y comburente que aleja la masa de gases de incendio de su punto de inflamación. La correcta aplicación de agua (caudal, tamaño y geometría del cono), permitirá que la contracción del colchón de gases sea superior a la expansión del vapor de agua, manteniendo el equilibrio térmico y la estratificación dentro del interior del recinto.
- **Superficies del recinto:** por un lado, el enfriamiento de las paredes del contorno ayuda a que la temperatura inferior se reduzca. Por otro, el vapor generado diluye los gases de incendio y contribuye a desplazarlos fuera de su punto de inflamabilidad.

5.1. EFECTO DE ENFRIAMIENTO



El efecto de enfriamiento o absorción del agua como agente extintor se produce en tres fases consecutivas a medida que se absorbe calor.

- Calentamiento del agua.
- Cambio de fase líquido-gas. Evaporación del agua líquida y formación de vapor de agua.
- Calentamiento del vapor de agua..

La cantidad de energía necesaria para que la unidad de masa eleve su temperatura un grado Celsius se conoce como calor específico (C_e). Para el agua, este valor varía ligeramente entre los 0°C y los 100°C, y adoptando como referencia su valor a 18°C.

$$C_{eH2O} = 4,183 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

El agua no hierve inmediatamente tras alcanzar su temperatura de ebullición (100°C al nivel del mar). Una vez



Ejemplo Calcular la cantidad de energía absorbida al elevar la temperatura de 1L de agua de 18°C a 100°C.

$$VH2O = 1\text{L}; m_{H2O} = 1\text{kg}; C_{eH2O} = 4,183 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}; \\ E_{ab} = m_{H2O} \cdot C_{eH2O} \cdot \Delta T = 1 \cdot 4,183 \cdot (100 - 18) = 343 \text{ kJ}$$

Se denomina calor latente de evaporación (C_v) a la cantidad de energía necesaria para que un líquido cambie a estado gaseoso sin que haya aumento de temperatura. En el caso del agua, este valor es significativamente superior a la cantidad de energía necesaria para aumentar de 0°C a 100°C la misma cantidad de agua.

$$C_{vH2O} = 2.257 \text{ kJ/kg}$$

alcanzado su punto de ebullición, el agua debe absorber una cantidad adicional de energía para convertirse en vapor de agua ($C_{vH2O} = 2.257 \text{ kJ/kg}$). Esta propiedad es sin duda la que hace única al agua como agente extintor.



Ejemplo Calcular la cantidad de energía absorbida al elevar la temperatura de 1L de agua de 18°C a 100°C.

$$VH2O = 1\text{L}; m_{H2O} = 1\text{kg}; C_{vH2O} = 2.257 \text{ kJ/kg} \\ E_{ab} = m_{H2O} \cdot C_{vH2O} = 1 \cdot 2.257 = 2.257 \text{ kJ}$$

Una vez en fase gaseosa, el aumento de temperatura en la masa de vapor de agua supone la absorción de energía del entorno. El calor específico del vapor de agua difiere ligeramente del valor en fase líquida.

$$C_{eH2O\ g} = 4,090 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$



Ejemplo Calcular la cantidad de energía absorbida al elevar la temperatura de 1kg de vapor de agua de 100°C a 300°C.

$$m_{H2O} = 1\text{kg}; C_{eH2O\ g} = 4,090 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \\ E_{ab} = m_{H2O} \cdot C_{eH2O\ g} \cdot \Delta T = 1 \cdot 4,090 \cdot (300 - 100) = 818 \text{ kJ}$$

El efecto final de enfriamiento dependerá del lugar de aplicación:

- En **superficies** por encima de los 100°C, la cantidad de energía absorbida será igual a la energía necesaria para calentar el agua hasta su punto de ebullición, más la energía empleada en su evaporación. Una vez en forma de vapor de agua, este pasará al recinto y el efecto enfriamiento sobre las superficies será despreciable.

La cantidad de energía absorbida en una superficie por la aplicación de un litro de agua a 18°C es como máximo:

$$E_{ab} = 343 + 2.257 = 2.600 \text{ kJ} = 2,6 \text{ MJ}$$

- En el **colchón de gases**, la cantidad de energía absorbida será igual a la suma de los efectos de calentamiento hasta el punto de ebullición, evaporación y calentamiento del vapor de agua hasta la temperatura de equilibrio.

La cantidad de energía absorbida en un volumen de gases por la aplicación de un litro de agua a 18°C hasta alcanzar una temperatura de equilibrio de 300°C es como máximo:

$$E_{ab} = 343 + 2.257 + 818 = 3.418 \text{ kJ} = 3,4 \text{ MJ}$$

El gráfico indica la potencia de incendio absorbida según el caudal:

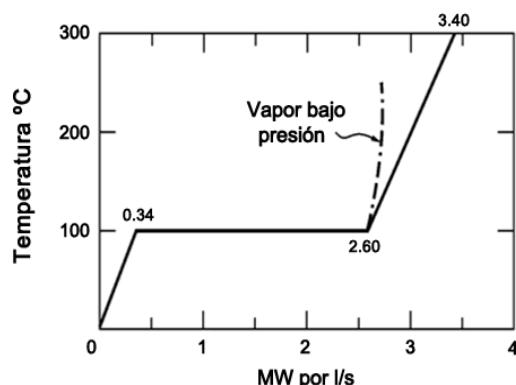


Imagen 42. Curva indicando la potencia de incendio absorbida en base al caudal

5.2. EFECTO DE DILUCIÓN

La aplicación de agua al recinto del incendio, siempre que genere vapor de agua, influye en la dinámica del incendio por el efecto de dilución del volumen de gases de combustible y comburente. En efecto, a la mezcla existente, se incorpora un tercer fluido que la desplaza alejándola del rango de inflamabilidad.

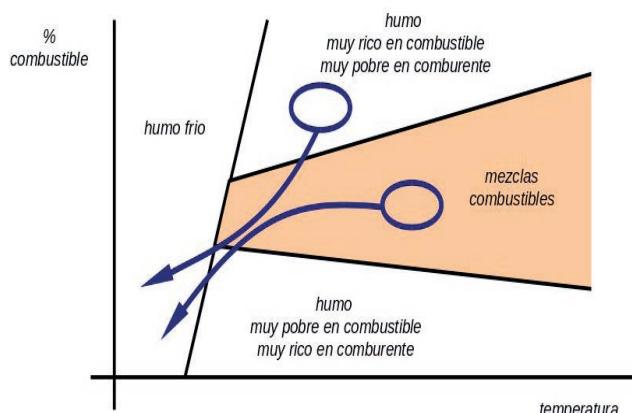


Imagen 43. Efecto de enfriamiento y dilución mediante aplicación de agua

El volumen de vapor de agua que se genera a una temperatura de 100°C es, aproximadamente, 1.600 veces mayor que el volumen original en fase líquida. A medida que la temperatura aumenta, esta expansión es aún mayor.

Tabla 5. Expansión de un 1L de agua

| TEMPERATURA [°C] | volumen de vapor [l] |
|------------------|----------------------|
| 100 | 1.600 |
| 200 | 2.060 |
| 300 | 2.520 |
| 400 | 2.980 |
| 500 | 3.440 |
| 600 | 3.900 |

La aplicación de vapor de agua permitirá desplazar el oxígeno disponible.



Calcular el volumen de vapor de agua generado tras realizar cuatro pulsaciones de tres segundos con un caudal de 475LPM para conseguir una evaporación del 70% del agua aplicada, en la que la temperatura de equilibrio al final de las pulsaciones es de 200°C.

$$475 \text{ LPM} \cdot \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 7,92 \text{ LPS}$$

$$m_{H2O} = 4 \cdot 3 \cdot 7,92 \cdot 0,7 = 66,53 \text{ kg}$$

$$V_{H2O \text{ g}} = V_{H2O \text{ l}} \cdot 2.060 = 66,53 \cdot 2.060 = 137.047 \text{ L} = 137 \text{ m}^3 \text{ de vapor de agua.}$$

5.3. EFECTIVIDAD EN LA APLICACIÓN DE AGUA

Es fundamental determinar la efectividad de la aplicación de agua dentro de un recinto de incendio. El agua que no llega a evaporarse, como máximo, podrá absorber la energía correspondiente al aumento de temperatura hasta su temperatura final, mientras que el agua que consiga convertirse en vapor y llegar a la temperatura de equilibrio con el recinto tendrá una absorción de energía por lo menos siete veces mayor.



Comparar la energía absorbida por el agua que logra el punto de ebullición sin llegar a evaporarse partiendo desde los 18°C y conseguir que esa misma agua alcance la fase gaseosa.

$$m_{H2O} = 1 \text{ kg} ; C_{v H2O} = 2257 \text{ kJ/kg} ; C_{e H2O} = 4,183 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} ;$$

$$m_{H2O} = 4 \cdot 3 \cdot 7,92 \cdot 0,7 = 66,53 \text{ kg}$$

Agua se convierte en fase líquida

$$\rightarrow E_{ab} = m_{H2O} \cdot C_{e H2O} \cdot \Delta T = 1 \cdot 4,183 \cdot (100 - 18) = 343 \text{ kJ}$$

Aqua se convierte en vapor de agua

$$\begin{aligned} \rightarrow E_{ab} &= m_{H2O} \cdot C_{e H2O} \cdot \Delta T + m_{H2O} \cdot C_{v H2O} \\ &= 343 \text{ kJ} + 2257 \text{ kJ} = 2.600 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\frac{2.600 \text{ kJ}}{343 \text{ kJ}} = 7,58$$

La absorción de energía es 7,58 veces mayor si se consigue la evaporación de agua.



Imagen 44. Secuencia comparativa del tamaño de gota por una lanza de bomberos. La mayor evaporación se va a conseguir con una gota fina propia de un cono de niebla. Chorro sólido o conos de gota gruesa tienen menor eficiencia

Minimizar la **escorrentía** permitirá realizar un uso más eficiente y eficaz del recurso agua dentro de un incendio. Los factores que influyen en que se produzca escorrentía son:

- Tamaño de gota muy grueso: una gota de agua absorbe calor a través de su superficie exterior. En una gota gruesa, la relación entre la superficie exterior y la cantidad de agua que contiene es menor que una gota fina. Esta última será capaz de absorber la energía que necesita para calentarse y evaporarse antes de impactar con el entorno.
- Distancia excesivamente reducida desde el punto de aplicación al entorno: el tiempo que tardan las gotas desde que salen del surtidor hasta que impactan con un elemento no es lo suficientemente largo como para que reciban la energía necesaria para evaporarse.
- Impacto con el entorno u objetos: cuando una gota de agua impacta con el entorno, esta reduce significativamente la temperatura de la superficie por la que se extiende. Si la temperatura de la superficie es superior a 100°C y existe suficiente transferencia de calor, la gota se evaporará. En caso contrario, se laminará o permanecerá sobre dicha superficie. Una vez que una superficie reciba las primeras gotas de agua, su refrigeración será muy rápida “al menos en su capa más externa”, y se reducirá la temperatura por debajo de 100°C, lo que evitará la evaporación de las gotas que incidieran posteriormente esa misma superficie.



Imagen 45. Gotas sobre combustible en entorno incendio

El factor escorrentía constituye uno de los factores fundamentales en la falta de efectividad de la aplicación de agua al incendio. De cara a obtener un mayor grado de eficiencia, **las técnicas de extinción que buscan la dilución de los gases** requieren la mayor transformación posible en vapor de agua pudiendo hacer uso de la evaporación de agua contra las superficies. En estos casos la efectividad en la aplicación de agua se puede medir en el porcentaje de agua que se evapora dentro del colchón de aire o por contacto con la superficie.

Sin embargo, **las técnicas basadas en el enfriamiento del colchón de gases** necesitan que la evaporación del agua se produzca mientras estas están en el aire, antes de que hagan contacto con superficie alguna. El objetivo es que la gota de agua refrigerue el colchón de gases y no las superficies de modo que éste se contraiga generando el vapor de agua mínimo para que el equilibrio térmico se mantenga. En estos casos la efectividad en la aplicación de agua se puede medir en el porcentaje de agua que se evapora dentro del colchón de aire. La escorrentía y el agua que alcance superficies no será agua efectiva o incluso perjudicial. Distintos autores fijan el porcentaje de efectividad en el enfriamiento del colchón de gases con lanzas combinadas entre el 50% y el 70%, dependiendo del entorno de aplicación, del nivel de entrenamiento del personal y de otros condicionantes.

5.4. TAMAÑO DE LA GOTA

La distribución de temperatura en el recinto de incendio no es homogénea, menos aún si existe ventilación o si se ha iniciado la aplicación de agua para el enfriamiento de los gases de incendio. El bombero en punta de lanza deberá aplicar la cantidad de agua adecuada en las zonas más calientes. Para ello podrá trabajar con el selector de caudal, el ángulo de cono y el ángulo de aplicación con respecto al suelo.

Un factor fundamental en estos casos es el **tamaño de gota**:

- Para un tamaño de gota **reducido**, se dispone de un mayor tiempo en suspensión y una mejor absorción de energía debido a que la relación entre la superficie externa y la masa de agua es grande. No obstante, su alcance es menor, ya que las gotas tienen poca inercia, rozan con el medio y pronto alcanzan una velocidad horizontal nula.
- Las gotas de tamaño **grande** por el contrario, consiguen un alcance mayor (llegan a zonas más distantes); aunque tienden a caer al suelo más rápidamente y el intercambio de calor no es tan efectivo.



Para los entornos habituales de lucha contra incendios, diversos autores estiman el tamaño de gota óptimo entre 0,3mm y 0,7mm, ya que de esta forma se logra el equilibrio ideal entre alcance y capacidad de absorción de energía.

Un tamaño de gota excesivamente pequeño produce la evaporación en las inmediaciones del bombero y lo expone al vapor de agua. Un chorro sólido, por su parte, penetra evaporándose mínimamente hasta impactar con el entorno.

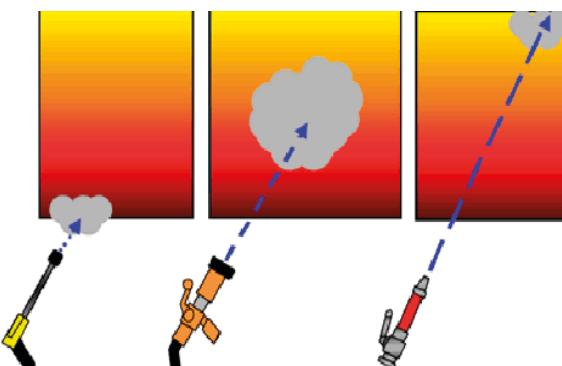


Imagen 46. Efecto del tamaño de gota en la penetración dentro de los gases de incendio. Un tamaño de gota excesivamente pequeño produce la evaporación en las inmediaciones del bombero, exponiéndolo al vapor de agua. Un chorro sólido por su parte penetra evaporándose mínimamente hasta impactar con el entorno

6. INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN

El control de la ventilación en un incendio resulta vital durante las operaciones de rescate y extinción. Un apropiado control de la ventilación permitirá:

- Aumentar la visibilidad.
- Reducir la temperatura en determinadas zonas.
- Controlar la potencia del incendio.
- Conducir el flujo de gases según la opción táctica más recomendable en cada momento.

Esta operación se realizará no solo controlando el volumen del flujo de entrada y salida, sino también la dirección y el camino que realizan estos flujos dentro de la propia estructura.

En esencia, la apertura de una salida de gases al exterior permitirá establecer un flujo de gases desde zonas de mayor presión (por encima del plano neutro) en el interior del recinto hacia el exterior que se encuentra a menor presión. La evacuación de gases de incendio lleva pareja la liberación de gases tóxicos a alta temperatura y combustibles con las ventajas que ello reporta.

Por otra parte, se establecerá un flujo desde el exterior hacia las zonas de menor presión en el interior (por debajo del plano neutro). Este aire fresco introduce una atmósfera limpia que permite recuperar la visibilidad, (en incendios ILV también supondrá un aumento de la potencia del incendio).



La aplicación coordinada de agua y técnicas de ventilación permitirá sacar provecho de las ventajas que aporta la ventilación, minimizando los efectos de crecimiento del incendio producidos por el aporte de oxígeno.



Imagen 47. Incendio en el que se puede identificar claramente el flujo de gases. La puerta del edificio funciona como entrada de aire y los ventanales abiertos como salida

6.1. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA

El Principio de Conservación de la Masa establece que la masa total de un sistema aislado no sufre cambios. La masa no se crea ni se destruye, pero cambia en su disposición.

Aplicado al recinto de incendio, se puede determinar que la masa de gases que abandona el recinto será igual a la masa de gases que entra en el mismo, más la cantidad de combustible que pasa a estado gaseoso.

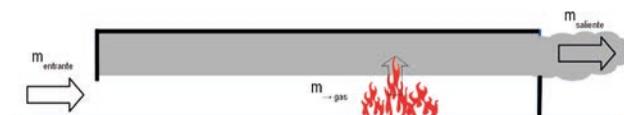


Imagen 48. Principio de Conservación de la Masa aplicado a la ventilación de incendios

$$m_{\text{saliente}} = m_{\text{entrante}} + m_{\rightarrow \text{gas}}$$

Donde:

m_{saliente} = masa de gases que sale por todas las aperturas de ventilación [kg]

m_{entrante} = masa de gases que entra por todas las aperturas de ventilación [kg]

$m_{\rightarrow \text{gas}}$ = masa combustible en el interior que se convierte en gas [kg]



En general, a lo largo de las distintas fases de incendio, el valor de la masa de combustible que se gasifica (m_{gas}) no excede del 10%, por lo que es frecuente emplear la aproximación de igualar la masa de gases que sale a la que entra dentro del incendio. Si bien esto es cierto para la cantidad de masa, no lo es para el volumen de los gases. Los gases de incendio a altas temperaturas disminuyen su densidad generando un volumen de gases mayor que los de entrada, fríos y densos.



Imagen 49. El flujo de salida, a mayor temperatura, se dilata y requiere una mayor superficie para salir que el de entrada, frío y denso, para entrar

Es frecuente ver incendios con una sola apertura al exterior donde se genera un flujo de entrada y otro de salida en la misma apertura (flujo bidireccional) en los que, aparentemente, la salida de gases es mucho más notoria que la entrada, por lo que se establece un plano neutro muy bajo. Efectivamente, el volumen de los gases que salen es mayor que el de entrada, pero la cantidad de masa que entra y sale es casi idéntica.

6.2. ECUACIÓN DE BERNOULLI

Como se ha visto en la segunda parte de este manual, en el apartado de Hidráulica, la ecuación de Bernoulli es una formulación del principio de conservación de la energía en conducciones de fluidos ideales (no turbulentos e incompresibles) y supone una aproximación más que razonable al movimiento del flujo de gases de un incendio.

Establece que entre dos puntos de un fluido en movimiento se cumple:

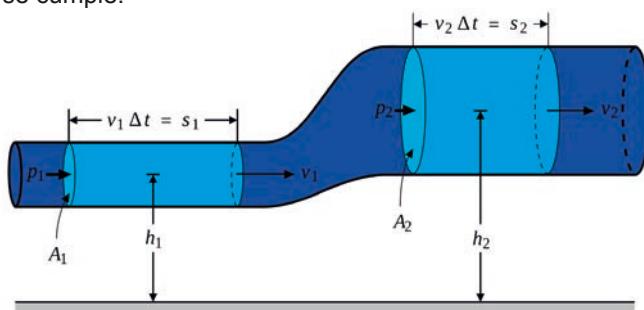


Imagen 50. Esquema de una conducción para la aplicación de la Ecuación de Bernoulli

$$P + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{constante}$$

Donde:

P = presión estática [Pa] [N/m²]

ρ = densidad del fluido [kg/m³].

g = aceleración de la gravedad g = 9,81 m/s²

h = altura sobre un plano de referencia [m]

v = velocidad del fluido [m/s]

La aplicación de esta ecuación para el estudio de la ventilación y el movimiento de fluidos de un incendio permite entender cómo es la diferencia de presiones que genera un movimiento de fluidos.

Entre los puntos 1 y 2:

$$P_1 + \rho_1 gh_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 gh_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

Si los puntos 1 y 2 están a la misma altura y el fluido tiene la misma densidad:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Entre los puntos 1 y 2 la suma de los términos de presión estática (P) y presión dinámica ($\rho v^2/2$) permanece constante, por lo que cualquier diferencia de presión existente ($\Delta P = P_2 - P_1$) implicará una diferencia de velocidades ($\Delta v = v_2 - v_1$) y, por tanto, el movimiento del flujo.



Ejemplo Calcular el caudal de gases que salen por una ventana de 1,1m² cuando se coloca un ventilador de presión positiva en la puerta del edificio y se logra alcanzar una sobrepresión de 25Pa en su interior. No se consideran los efectos del incendio para el cálculo.

Si no existe "efecto incendio", la presión de 25Pa en el interior del recinto se distribuye uniformemente y no existirá gradiente de presiones debido a diferencias de temperatura. Se trata de un movimiento de flujo frío.

Tomando el punto 1 en una sección del recinto lo suficientemente amplia como para que la velocidad sea prácticamente nula ($v_1=0$) y un punto 2 en la sección de la ventana donde la velocidad será máxima y la presión estática equivalente a la del exterior.

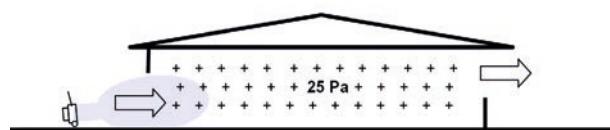


Imagen 51. Presión de 25 Pa en interior de un recinto

$$P_1 = 25 \text{ Pa}; v_1 = 0 \text{ m/s}; P_2 = 0 \text{ Pa}; \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$25 + 0 = 0 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot 25 / 1.2} = 6,45 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot v = 1,1 \cdot 6,45 = 7,1 \text{ m}^3/\text{s} = 25.562 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.3. CAUSAS DE LA MOVILIDAD DE GASES DE INCENDIO: FLOTABILIDAD Y DIFERENCIAS DE PRESIÓN

Los gases de incendio, el aire fresco y el vapor de agua que las operaciones de extinción generan en el interior de un recinto constituyen fluidos cuya dinámica atiende básicamente a dos causas:

- Efecto de flotabilidad.
- Diferencias de presión entre el interior y el exterior de un recinto.

El **efecto flotabilidad** de un fluido está vinculado directamente con la densidad del mismo. Una masa de un fluido menos denso que el que lo rodea, recibe en su cara inferior una presión mayor por parte del medio circundante que la que recibe en su cara superior, razón por la que tiende a flotar.

Las **diferencias de densidad** se pueden deber a dos motivos:

- Diferente composición química, como el caso de los dirigibles llenos de Helio ($0,18\text{kg/m}^3$) que flotan en una atmósfera mucho más densa formada por el aire ($1,2\text{kg/m}^3$).
- Diferente temperatura y, por tanto densidad, como sería el caso de los globos aerostáticos de aire caliente.



Dentro de un incendio, el efecto flotabilidad se debe, a la diferencia de temperatura, ya que el componente principal del aire, el nitrógeno, se mantiene en los gases de incendio en una proporción muy similar.



Imagen 52. Efecto de flotabilidad de los gases de incendio



Calcular el efecto de flotabilidad de los gases de incendio a 500°C asumiendo que a temperatura ambiente tendrían la misma densidad que el aire ($1,2\text{kg/m}^3$).

$$\rho_{\text{aire } 20^\circ\text{C}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow$ Ley de los Gases Ideales

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \text{Relación entre volumen y temperatura a presión constante}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho_2 = \frac{m}{V_2} = m \cdot V_1 \cdot \frac{T_1}{T_2} = \rho_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$\rho_{500^\circ\text{C}} = \frac{273 + 20}{273 + 500} \cdot \rho_{20^\circ\text{C}} = 0,46 \text{ kg/m}^3$$

Efecto flotabilidad $1 \text{ m}^3 = (\rho_{500^\circ\text{C}} - \rho_{20^\circ\text{C}}) \cdot g = (1,2 - 0,46) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 7,25 \text{ N}$
 \rightarrow Un metro cúbico de gases de incendio a 500°C tiene una flotabilidad de $7,25 \text{ N}$ (~0,74 kgf).

Dentro de un recinto de incendio se producen diferencias de presión entre las distintas estancias del edificio y también con el exterior como consecuencia de las diferencias de temperatura de los gases de incendio. La salida de gases hacia el exterior también implica cambios en la presión interior. El empleo de ventiladores de presión positiva o extractores de gases supondrá la creación de un diferencial de presión. Los fluidos se desplazarán de zonas de mayor presión a zonas de menor presión siguiendo el camino más corto (de máximo gradiente).

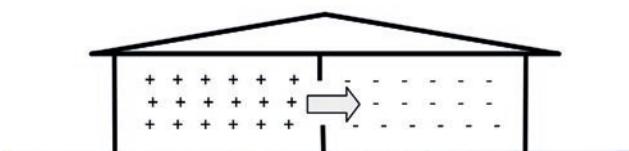


Imagen 53. Flujo de zonas de mayor presión a zonas de menor presión

El flujo de gases tenderá a igualar la diferencia de presión presiones creada por:

- Las diferencias en densidad debido a la temperatura de los gases.
- Agentes externos (viento o ventiladores de presión positiva) que incidan sobre aperturas del recinto al exterior.

Sin embargo, en el recinto de un incendio, este movimiento de los fluidos hacia zonas de menor presión se ve condicionado también por el efecto de flotabilidad de los gases. Si el movimiento de los gases simplemente obedeciese a los diferenciales de presión, las capas superiores del colchón de gases (a mayor presión) se intentarían desplazar a las zonas más bajas por debajo del plano neutro (presiones menores). Esto, en la realidad, no ocurre por el efecto de flotación de los gases de incendio a mucha temperatura y, por tanto, baja densidad.

6.4. IDENTIFICACIÓN DE FLUJOS DE GASES

En todo incendio no confinado (donde existen aperturas de ventilación al exterior), se produce un movimiento de gases que abarca la alimentación de aire al incendio y los gases de incendio producidos. Este volumen es el denominado flujo de gases. En él se podrá identificar claramente una ruta de gases fría desde la entrada de ventilación hasta el foco del incendio y una ruta de gases caliente formado por los gases de incendio en busca de la salida.

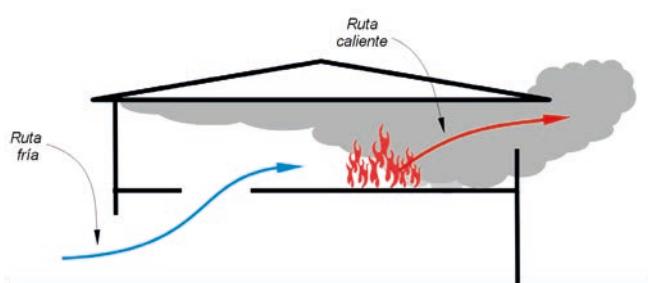


Imagen 54. Flujo de gases unidireccional generado por el incendio

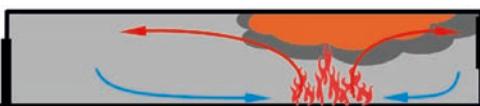
**Tabla 6.** Flujo de gases

| Ruta fría | Ruta caliente |
|---|--|
| - Buena visibilidad. | - Baja visibilidad. |
| - Baja temperatura. | - Alta temperatura. |
| - Alta concentración de oxígeno (aumento de potencia en ILV). | - Alta concentración de gases tóxicos. |
| - Buenas condiciones de supervivencia. | - Gases potencialmente inflamables. |
| | - Condiciones de supervivencia críticas. |

La masa de aire en movimiento (kg/s), en cualquiera de las secciones del denominado flujo de gases, es semejante en virtud del Principio de Conservación de la Masa expuesto anteriormente. Sin embargo, el volumen (m^3/s) variará y será mayor en el flujo de gases calientes donde la misma masa de gases a alta temperatura ocupa mayor volumen.



Por su parte, en los incendios confinados no existe el denominado flujo de gases. La ausencia de aperturas al exterior impide la alimentación del incendio con aire fresco y la expulsión de gases de incendio. Si bien si existe un movimiento de fluidos en el interior alimentado por la columna de convección que origina el foco del incendio.

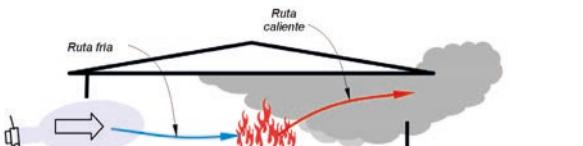
**Imagen 55.** Movimiento de fluidos dentro de un incendio confinado

6.5. FLUJOS UNIDIRECCIONALES

Cuando se produce una apertura de ventilación situada claramente por encima o por debajo del plano neutro, se conforma un flujo unidireccional en dicha apertura: de entrada, si se sitúa por debajo del plano neutro (zona de presiones negativas), y de salida, si se sitúa por encima del plano neutro (zona de presiones positivas).

Para que se produzca un flujo unidireccional es necesaria la existencia de, al menos, dos aperturas; una de entrada y otra de salida bien diferenciadas.

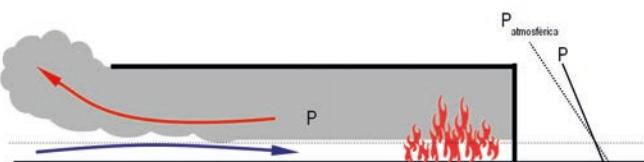
Los flujos unidireccionales son típicos en incendios ventilados de forma natural en los que la alimentación y salida de gases se realiza a distintos niveles, mediando una diferencia de altura que contribuye a favorecer la diferencia de presión.

**Imagen 56.** Flujo unidireccional en un incendio establecido gracias a un ventilador VPP

Las técnicas de ventilación en presión positiva (VPP) consiguen generar flujos unidireccionales utilizando entradas y salidas por las que, de forma natural, no se establecerían flujos unidireccionales. De hecho, la VPP constituye una de las maneras más efectivas de asegurar un flujo de gases unidireccional que facilite las operaciones interiores.

6.6. FLUJOS BIDIRECCIONALES

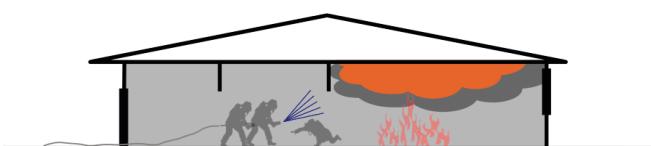
Los flujos bidireccionales se forman en aperturas de ventilación cuya altura abarca zonas que se sitúan por encima y por debajo del plano neutro. De esta forma, en el área situada por encima del plano neutro se generará un flujo de salida de gases mientras que, por debajo del mismo, el flujo será de alimentación.

**Imagen 57.** Flujo bidireccional junto a una representación de la variación de los valores absolutos de presión atmosférica (línea de puntos) y presión interior (línea continua) con respecto a la altura**Imagen 58.** Flujo bidireccional en incendio

6.7. PATRONES DE VENTILACIÓN

Si se analiza cómo se genera el flujo de gases en un incendio, se encontrarán diversos patrones de ventilación:

a) Antiventilación

**Imagen 59.** Incendio en antiventilación

El incendio está confinado. Por tanto, no existe una ventilación efectiva y el flujo de gases es inexistente. Esto no quiere decir que dentro del recinto de incendio no exista movimiento de gases. Lo habrá generado la convección originada en el foco del incendio.

Cuando estos incendios alcanzan su régimen de ILV, la concentración de oxígeno cae sin que haya posibilidad de aporte de oxígeno adicional. La potencia del incendio se reduce aproximándose a cero.

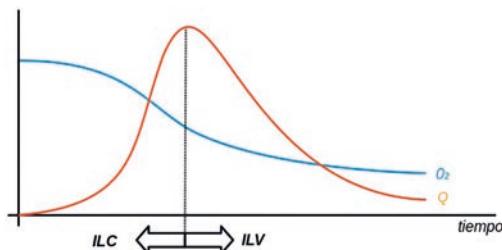


Imagen 60. Evolución de la concentración de oxígeno y la potencia de incendio a lo largo del desarrollo de un incendio. Claramente puede apreciarse como la caída de la potencia del incendio está vinculada al déficit de oxígeno



Los incendios ya desarrollados con un patrón de antiventilación presentan un plano neutro muy bajo, una visibilidad casi nula y unas condiciones de supervivencia para las víctimas desfavorables.

b) Ventilación natural

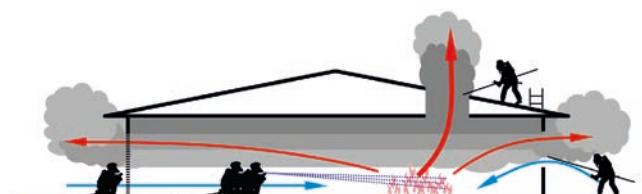


Imagen 61. Ventilación natural en cubierta

En un incendio no confinado hay aperturas por las que se establecerán flujos unidireccionales de entrada o salida o aperturas por las que se establecerán flujos bidireccionales. En estos casos, el motor del flujo de gases lo constituye el diferencial de presiones existente entre el interior del recinto y el exterior.

La potencia del incendio, una vez alcanzado el régimen de ILV, dependerá del tamaño y geometría de las aperturas existentes; algo que, en última instancia, determinará el volumen de oxígeno que alimenta el incendio. Si la ventilación y la carga de combustible son suficientes, los incendios con este patrón de ventilación pueden alcanzar el *flashover*.



Los incendios con ventilación natural pueden presentar una estratificación clara con una zona de visibilidad en la parte baja mantenida por el flujo de alimentación de aire fresco. Mantener este equilibrio térmico dentro del recinto durante la intervención favorecerá la visibilidad durante las operaciones interiores.

c) Incendios dominados por el viento

La influencia del viento en un incendio con aperturas al exterior tiene gran relevancia. La fachada en **barlovento** está sometida en toda su superficie a una presión mientras que la fachada a **sotavento** experimenta una depresión. Estas variaciones de presión pueden gobernar el flujo de gases de un incendio. A velocidades de viento de tan solo 6m/s (21 km/h) la diferencia de presión entre fachadas opuestas de un edificio en el sentido de la dirección del viento genera presiones en el entorno de los 25-30Pa superiores, en muchos casos, a las que se consiguen en un incendio durante la mayor parte de su desarrollo.

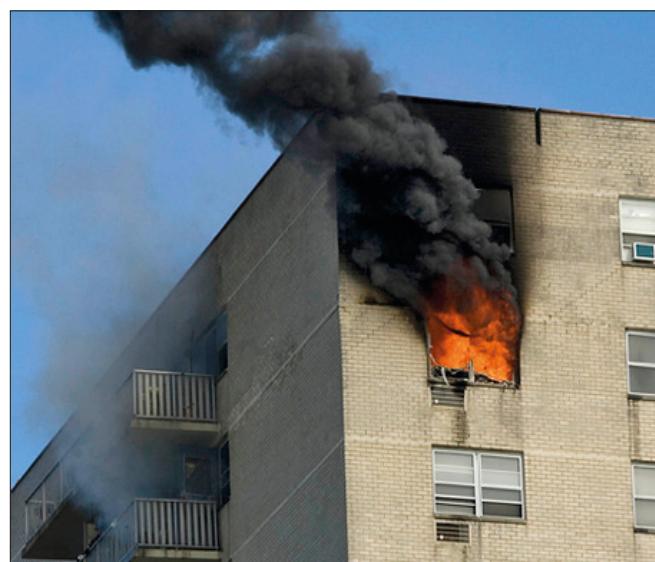


Imagen 62. Incendio dominado por el viento

El viento genera incendios sobrealimentados, esto es, incendios con un aporte adicional de aire a través de ventanas expuestas al viento y salida de gases en distinta fachada. Este flujo de gases caliente favorece la propagación a lo largo del flujo de gases caliente.

En caso de existir acumulación previa de gases de incendio (rotura sobrevenida de una ventana), el régimen turbulento del aire que penetra por la ventana favorece la mezcla de aire y gases de incendio que, después, se inflaman en una combustión casi completa a lo largo del flujo de gases. Esto genera un salto de potencia en el incendio y un flujo de gases extremadamente calientes que propaga el incendio.

Los incendios dominados por el viento generan flujos de gases menos intuitivos que los producidos en incendios con ventilación natural, además de aumentos de potencia muy significativos. Son característicos de los incendios dominados por el viento, los flujos unidireccionales a lo largo de la dirección del viento y humos claros de combustión casi completa como consecuencia de la abundancia de oxígeno (efecto antorcha).



En incendios dominados por el viento, es absolutamente desaconsejable el acceso interior a lo largo del flujo de gases calientes.



d) Incendios bajo ventilación por presión positiva (VPP)

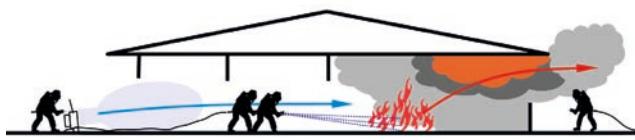


Imagen 63. Incendio bajo la influencia de la VPP

El empleo de ventiladores de presión positiva (como una opción táctica para la extinción) genera una masa de aire en movimiento que penetra, presuriza el interior del recinto y establece un flujo de gases unidireccional a través del recinto del incendio.

Una aplicación correcta de esta táctica permitirá recobrar la visibilidad, reducir la temperatura, aumentar la supervivencia de víctimas en el interior y expulsar con rapidez los gases de incendio acumulados ricos en productos combustibles. Sin embargo, el aporte de aire fresco generará un aumento en la potencia del incendio “algunos autores lo cifran hasta en un 60% según experimentos reales” que dependerá de la efectividad con la que se realice el barrido de gases y el nivel de turbulencias.



Dado que los ILV sometidos a ventilación de presión positiva a través del recinto del incendio pueden experimentar un importante aumento en su potencia, la ventilación debe coordinarse con las labores de extinción mediante aplicación de agua.

Como en el caso de los dominados por el viento, estos incendios pueden considerarse sobrealimentados y el acceso debe realizarse en la dirección del flujo de gases (aire fresco a la espalda siempre). Se distinguen en que el flujo de gases se establece por el mando de intervención basándose en una opción táctica con objeto de permitir un rápido avance interior para la aplicación de agua sobre el incendio.

El empleo de la VPP a través del foco del incendio favorece la extinción de dos maneras:

- **Efecto barrido:** se produce como consecuencia de la distinta densidad entre el aire introducido y los gases de incendio que, sin apenas mezclarse, genera un empuje o efecto pistón por el que se produce el barrido de los gases de incendio con aire limpio. Esto contribuye a la expulsión de combustible y a recuperar la visibilidad.
- **Enfriamiento y dilución:** en zonas de mezcla donde existe turbulencia, el aire fresco contribuye a diluir y enfriar la masa de gases de incendio. La inflamabilidad de los gases de incendio es particularmente sensible a esta bajada de temperatura y dilución que se genera.

A pesar de haber zonas en las que el efecto de barrido o los efectos conjuntos de enfriamiento y dilución aseguren que los gases estén fuera de su punto de inflamabilidad, otras zonas, sin embargo, encontrándose en rango y temperatura de inflamabilidad pueden entrar en combustión y aumentar así la potencia del incendio.



El empleo de la ventilación como elemento táctico debe quedar siempre coordinado con las labores de extinción mediante la aplicación de agua.

7. INFLUENCIA DE LA PRESURIZACIÓN DE RECINTOS

7.1. PRESIONES EN EL RECINTO DE INCENDIO

El efecto flotabilidad explica las diferencias de presión dentro de un recinto de incendio, consecuencia de la diferencias de presión hidrostática (término pgh en la ecuación de Bernoulli).

Para un punto dentro del recinto del incendio, la columna de gases calientes por encima del mismo es más ligera que la columna de gases fríos de un punto externo y genera una diferencia de presión.

Los siguientes gráficos explican la variación de la presión dentro de un incendio interior con apertura al exterior a lo largo de las distintas fases de desarrollo. En donde:

P_i = presión en el interior.

P_o = presión atmosférica.

H_r = altura a la capa de gases de incendio.

Y_N = altura del plano neutro

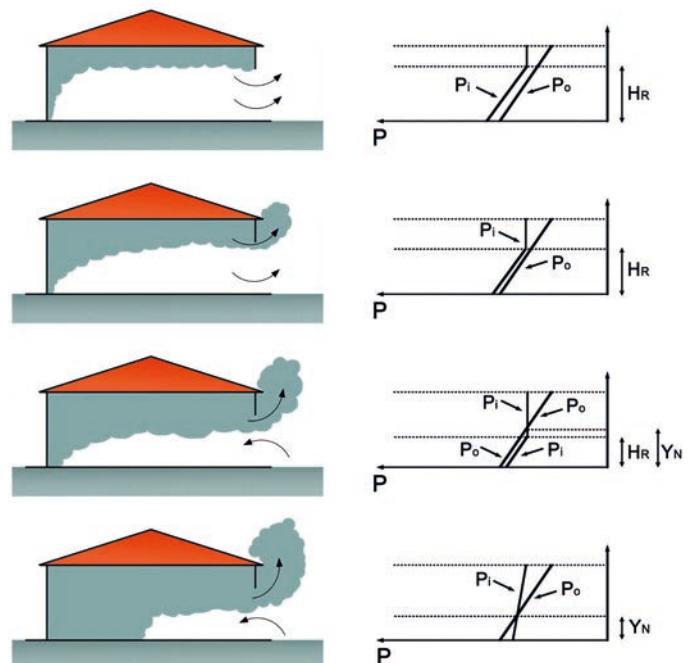


Imagen 64. Variación de la presión dentro de un incendio interior con apertura al exterior a lo largo de las distintas fases de desarrollo

La presión atmosférica P_o varía con la altura. Así, la presión aumenta a medida que la columna de aire situada encima de un punto es de mayor altura. Para la presión en el interior del recinto (P_i) ocurre lo mismo. Sin embargo, la columna encima de un punto de incendio pesa menos porque los gases están dilatados por efecto de la temperatura.

Hablar de presiones absolutas (P_i y P_o) tiene poco sentido pues el flujo de fluidos estará definido por la diferencia de presiones ($\Delta P = P_i - P_o$). En adelante, se hablará siempre de diferenciales de presión.



Calcular la diferencia de presión generada por un incendio ventilado a 1,5m por encima del plano neutro entendiendo que la temperatura media del colchón de gases es de 500°C.

Sea el punto 1 en el interior del recinto a 2,5m de altura sobre el plano neutro y el punto 2 situado a la misma altura en el exterior ($h_1 = h_2 = 2,5$). Se pueden tomar secciones del recinto lo suficientemente anchas como para poder despreciar la velocidad de los gases ($v_1 = v_2 = 0$).

$$\begin{aligned} p_1 &= 0,46 \text{ kg/m}^3 \text{ (densidad de gases de incendio aproximada a la densidad aire a } 500^\circ\text{C)} \\ p_2 &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \text{ (densidad del aire a } 20^\circ\text{C)} \\ h_1 = h_2 &= 2,5; v_1 = v_2 = 0 \end{aligned}$$

$$P_1 + \rho_1 gh_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 gh_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

$$P_1 + \rho_1 gh_1 = P_2 + \rho_2 gh_2$$

$$P_1 + 0,46 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = P_2 + 1,2 \cdot 9,81 \cdot 2,5$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 1,2 \cdot 9,81 \cdot 2,5 - 0,46 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 18,14 \text{ Pa}$$

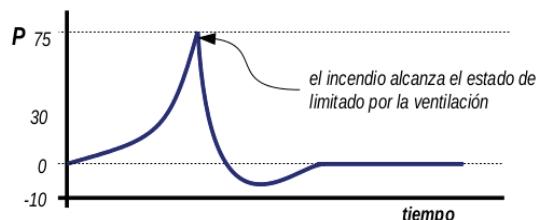


Imagen 67. Un incendio confinado puede experimentar presiones negativas en su interior. Como consecuencia desaparecen signos externos de la presencia de humo



Un incendio confinado puede experimentar presiones negativas en su interior y no presentar humo como signo externo. En este sentido, es necesario tener presente que la ausencia de humo a la llegada a un siniestro no equivale a la ausencia de incendio, sino quizás a un incendio listo para reaccionar frente a la ventilación.

Mientras el diferencial de presión sea positivo, durante el reconocimiento exterior, pueden aparecer penachos de humo saliendo al exterior por pequeñas rendijas y aperturas. Sin embargo, una vez alcanzado el estado de ILV, la presión cae hasta ser negativa para después igualarse, con lo que desaparecerán signos externos de humo.

Los recintos sometidos a los efectos del viento o de ventiladores de presión positiva sufren un aumento de presión en la totalidad del volumen. El principio de Pascal establece que la presión ejercida en un punto sobre un fluido se transmite con igual magnitud en todo su volumen.

En un recinto habitual, sin incendio, los valores de diferencial de presión típicos generados por un ventilador de presión positiva de 18"-21" varían entre los 15Pa y 30Pa dependiendo de las geometrías de la entrada y salida de gases.

Cuando el efecto del viento del ventilador de VPP se añade al incendio se producirá una composición de presiones resultado de superponer esta última configuración con la obtenida para un incendio ventilado.

Dentro de un incendio, existe un gradiente de temperaturas que, a su vez, genera otro de presiones. En un recinto de vivienda habitual, para un incendio ventilado en su fase de pleno desarrollo, los valores típicos de diferencial de presión ($P_i - P_o$) varían desde los -15Pa en la zona inferior hasta +30Pa. Nótese que la gráfica representa valores para los diferenciales de presión y no de presión absoluta como en la figura anterior, por ello la línea vertical no representa la presión atmosférica, sino un diferencial cero entre el exterior y el interior.

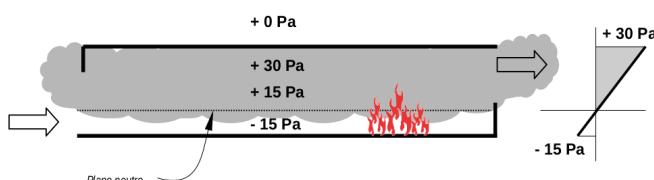


Imagen 65. Distribución de diferenciales de presión con la altura en un incendio de interior ventilado

Sin embargo lo común será encontrar incendios confinados que evolucionan en la mayoría de los casos en incendios infraventilados donde el valor de la presión varía a lo largo del tiempo en base al desarrollo del mismo.

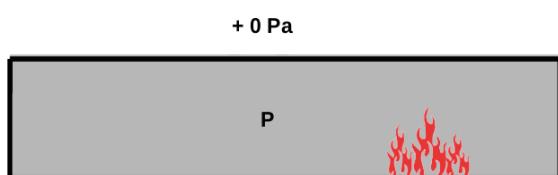


Imagen 66. Presión en incendio confinado

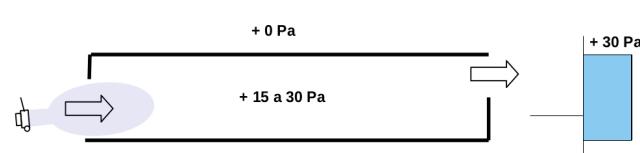


Imagen 68. Distribución de diferenciales de presión en un recinto sometido a ventilación VPP

Cuando el efecto del viento del ventilador de VPP se añade al incendio se producirá una composición de presiones resultado de superponer esta última configuración con la obtenida para un incendio ventilado.

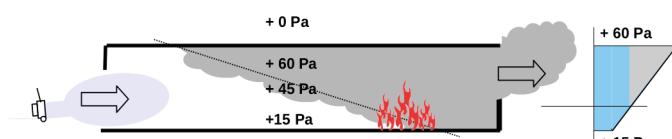


Imagen 69. Distribución de diferenciales de presión en un recinto de incendio sometido a ventilación VPP



Sin embargo, a lo largo del flujo de gases, las partículas están en movimiento. La suma de la presión estática (P) y presión dinámica ($\frac{1}{2} \rho v^2$) es constante (en virtud de la ecuación de Bernoulli). Por ello, a lo largo del flujo de gases se produce una caída de presión proporcional al cuadrado de la velocidad con la que se mueve el flujo.

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho; h_1 = h_2; v_1 = 0$$

$$P_1 + \rho_1 gh_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 gh_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

$$P_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$\Delta v = v_2 - v_1 = v_2$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -\frac{\rho \Delta v^2}{2}$$

La diferencia de velocidad entre las partículas en reposo y las que constituyen el flujo de gases supone que estas últimas experimenten menores presiones estáticas.

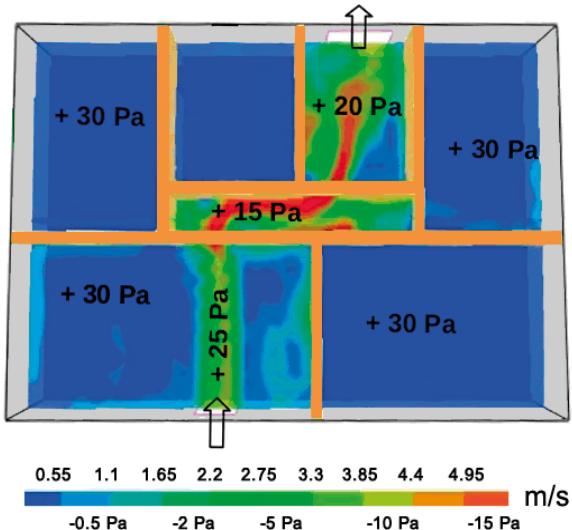


Imagen 70. Distribución de diferenciales de presión y velocidades a lo largo del flujo de gases en un recinto ventilado

7.2. EFECTOS SOBRE LA PROPAGACIÓN DEL INCENDIO

Diversos experimentos han demostrado que la **presurización** de un recinto adyacente al incendio evita la propagación hacia este. Los gases de incendio buscarán preferentemente la salida que suponga la mayor caída de presión, el camino más corto desde la máxima presión a la mínima presión. Diferenciales de presión relativamente pequeños (5 Pa) permiten evitar la propagación, incluso existiendo pequeñas aperturas entre el recinto de incendio y el adyacente.



Este principio es el empleado en tácticas como el ataque en presión positiva contra la propagación, donde el mando de intervención protege las zonas no afectadas del incendio mediante la sobrepresión generada por un ventilador de presión positiva.

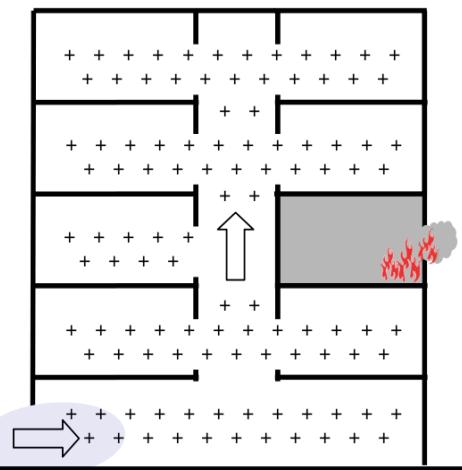
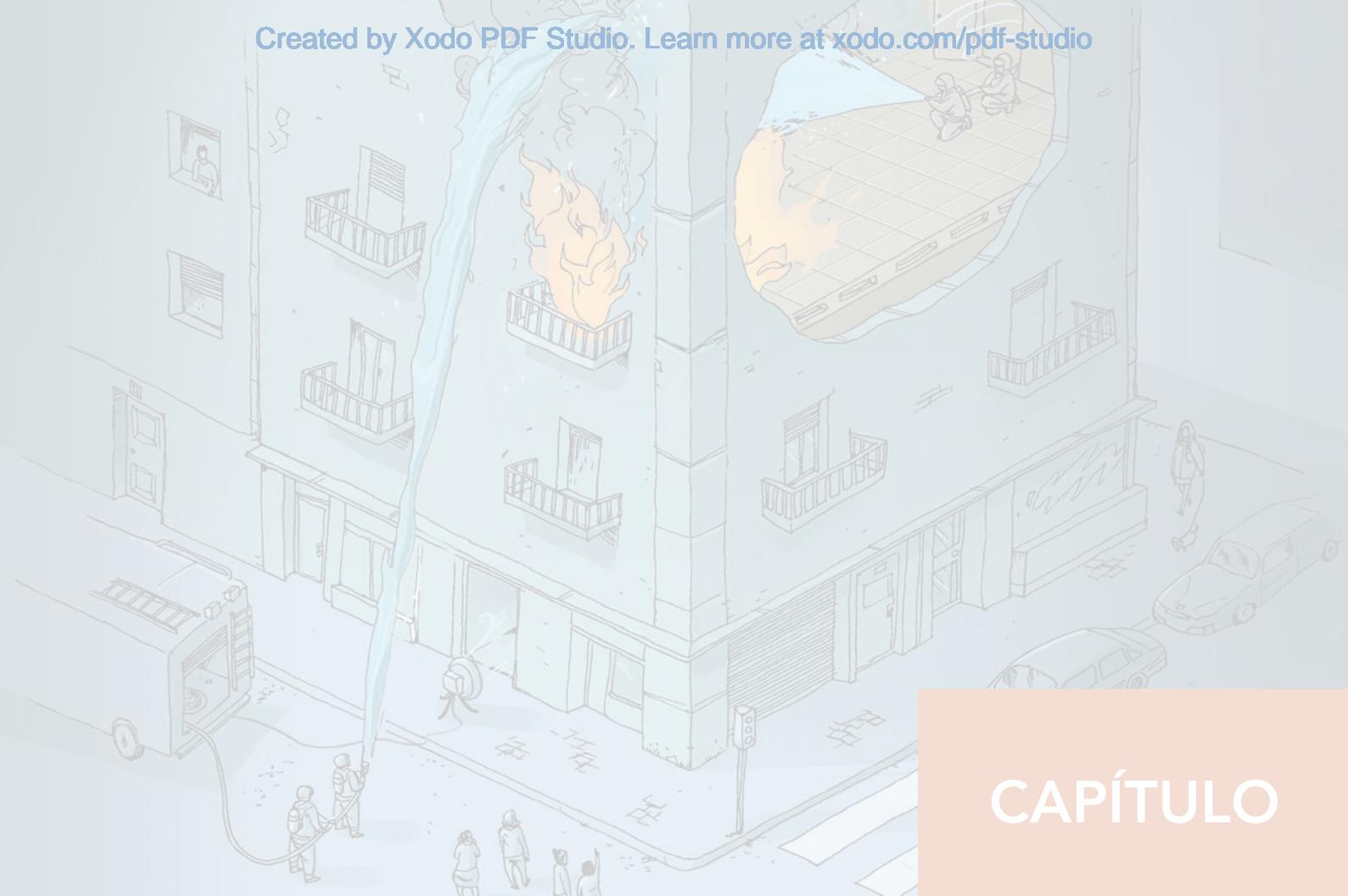


Imagen 71. Presurización de un bloque de viviendas para evitar la propagación y dispersión de gases. Obsérvese que el recinto permanece lo más cerrado posible para evitar pérdidas de flujo y por tanto de presión interior





CAPÍTULO

2

Técnicas de intervención



Las técnicas de intervención en incendios de interior constituyen el conjunto de acciones y procedimientos que persiguen:

- Reducir la inflamabilidad de los gases de incendio.
- Reducir la tasa de pirólisis de los combustibles.
- Reducir la temperatura del recinto.
- Aumentar la visibilidad en el interior del recinto.
- Mejorar la respirabilidad de la atmósfera.
- Rastrear la presencia de víctimas en el interior.

Dentro de una intervención de incendios de interior, el mando de intervención, tras realizar una valoración de la situación de siniestro establecerá un planteamiento táctico que empleará diversas técnicas de forma coordinada para conseguir la resolución completa del incidente.

En este apartado se tratan de manera individual cada una de estas técnicas con un enfoque aislado, fijando la atención en los objetivos, base técnica, riesgos, medidas de seguridad y correcta ejecución de las mismas.



Desde el punto de vista de la intervención, el dominio de un mayor número técnicas supone disponer de mayores recursos para afrontar la intervención, la posibilidad de poder emplear tácticas más complejas y que en definitiva se traduce en intervenciones más seguras, más eficientes y más eficaces.

1. APPLICACIÓN DE AGUA

La aplicación de agua a un incendio nos permite cambiar la dinámica del mismo generando un efecto de enfriamiento por absorción de calor y una dilución de los gases de incendio con el vapor de agua generado.

No solo es necesario aprender la manera en que se ejecuta una determinada técnica, también es preciso saber cuándo y por qué se realiza. Así, conocer la base del funcionamiento de la aplicación de agua en incendios (recogido en el punto Influencia de la aplicación de agua sobre incendios) es fundamental para su correcta utilización.

1.1. ATAQUE INDIRECTO

La técnica de ataque indirecto persigue la extinción del incendio mediante la inundación del recinto con vapor de agua desde un punto exterior. Se denomina ataque indirecto debido a que el chorro de la aplicación no llega a alcanzar de forma directa el foco del incendio.

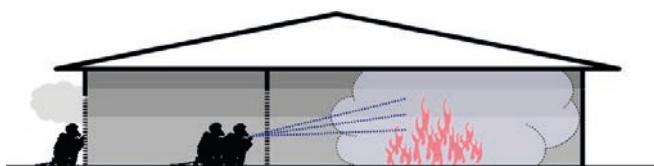


Imagen 72. Ataque indirecto



Imagen 73. Ataque indirecto. El bombero mueve la lanza para inundar el interior del recinto con vapor de agua

Tabla 7. Características del ataque indirecto

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">● Permite un ataque al recinto del incendio desde una posición segura (interior o exterior) sin que los intervenientes se vean expuestos a los riesgos de las condiciones del recinto interior. | <ul style="list-style-type: none">● Pérdida completa de la visibilidad al inundarse el recinto con vapor de agua.● Posibles quemaduras por exceso de vapor de agua en caso de que se hallen víctimas en el interior.● Desplazamiento de los gases de incendio empujados por el vapor de agua a otras estancias. |



Imagen 74. Clásico ejercicio en "casa de muñecas". La aplicación del spray de agua al interior desplaza los gases de incendio al exterior que se inflaman al contacto con el aire

Descripción del proceso

- Desde un punto exterior y a través de una apertura (puerta o ventana), el bombero en punta de lanza realizará una aplicación de agua relativamente prolongada hasta conseguir **llenar el recinto con vapor de agua**. Como en cualquier técnica de aplicación de agua la aplicación de agua debe realizarse en base a las condiciones del incendio y la geometría del recinto.

- Dado que el objetivo es inundar el recinto de vapor de agua, se buscará bastante profundidad en el chorro con patrones de cono bastante cerrados, intervalos de aplicación de media a larga duración y caudal medio a alto.
- El impacto de las gotas de agua contra las paredes del entorno en esta técnica tienen un efecto menos negativo que en otras técnicas. Si bien la mayor parte de la absorción de calor se realizará en la pared y no en el colchón de gases de incendio, el vapor de agua permanecerá en el recinto. En cualquier caso **será preferible que la evaporación de agua se produzca en el colchón de gases**, ajustando el caudal, penetración y tamaño de gota a dicho objetivo.
- Al tratarse de una aplicación de media a larga duración, el chorro aplicado deberá describir un movimiento. **Los patrones en "T" son preferibles durante las primeras pulsaciones** o cuando el recinto está sometido a un fuerte gradiente térmico. El punta de lanza describe una T en tres tiempos: dos en la zona horizontal superior y un tercero en la vertical central empezando por la parte superior. De esta manera, se aplica una mayor cantidad de agua en la zona más caliente del recinto: el colchón de gases de incendio.

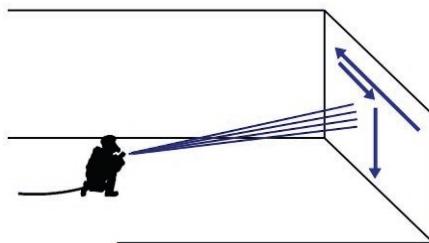


Imagen 75 : Ataque indirecto con patrón en "T"

- En aplicaciones sucesivas o en recintos amplios** puede ser mas conveniente un patrón en "O", moviendo circularmente el chorro una circunferencia completa

en el tiempo establecido para una pulsación de modo que el vapor de agua quede mejor distribuido por todo el recinto.

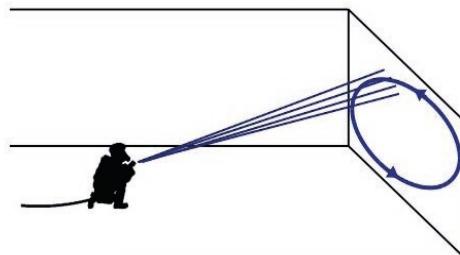


Imagen 76. Ataque indirecto con patrón en "O"

- Tras cada aplicación debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita al vapor de agua redistribuirse por todo el recinto y alcanzarse un equilibrio térmico. Este tiempo permitirá evaluar la efectividad de la aplicación de agua realizada y modificar los parámetros necesarios de cara a la siguiente.



En un recinto confinado de 5x5m de planta y 2,5m de altura, calcular el volumen de agua líquida necesaria para inundar el recinto completo de vapor de agua a una temperatura de equilibrio de 200°C.

$$V_{H2O\ g} = 5 \times 5 \times 2,5 = 62,5 \text{ m}^3 = 62.500 \text{ L}; T_2 = 200^\circ\text{C} = 473^\circ\text{K}$$

$$C_{exp\ 200^\circ\text{C}} = 2.060 \text{ (coeficiente de expansión a } 200^\circ\text{C)}$$

$$V_{H2O\ g} = V_{H2O\ l} \times C_{exp\ 200^\circ\text{C}}$$

$$V_{H2O\ l} = \frac{V_{H2O\ g}}{C_{exp\ 200^\circ\text{C}}} = \frac{62.500}{2.060} = 30,3 \text{ L}$$

Respuesta: 30,3L de vapor de agua son suficientes para inundar el recinto (equivalente a dos pulsaciones de 6" a 150lpm con una efectividad de aplicación del 100%)

Tabla 8. Ataque indirecto

| Objetivo | Extinción. Inundación mediante vapor de agua. | |
|-----------|--|--|
| Ejecución | Posición Interior o exterior. Personal fuera del recinto donde se aplica Caudal Medio a alto (100lpm a 500lpm) Cono 15° a 30° Patrón de pulsaciones <ul style="list-style-type: none"> Pulsaciones de media a larga duración (3" a 20") Periodos de pausa relativamente largos de entre (15" y 45") que permitan la distribución del vapor de agua Movimiento de lanza <ul style="list-style-type: none"> En "T" para recinto con fuerte gradiente térmico o como primera pulsación En "O" para grandes volúmenes o aplicaciones sucesivas La lanza se moverá a velocidad constante Comenzará el movimiento en la parte superior Consideraciones de seguridad: <ul style="list-style-type: none"> Valorar la aplicación de Ataque Indirecto con presencia de víctimas en el interior: si bien el vapor de agua puede contribuir a empeorar las condiciones de supervivencia por su efecto de conducción de calor, se deberá valorar si las condiciones del incendio sin Ataque Indirecto no serán aún peores para la víctima. Ausencia de personal de intervención en el interior del recinto a inundar de vapor de agua. Controlar el desplazamiento de gases de incendio a otras estancias donde, en contacto con el aire, pueda entrar en rango de inflamabilidad e inflamarse o, simplemente, llenar de humo estancias limpias. | |



1.2. ATAQUE DIRECTO

El ataque directo es una técnica que persigue la extinción del incendio mediante la aplicación de una película de agua sobre los combustibles incendiados. Se denomina ataque directo debido a que el chorro de la aplicación alcanza de forma directa el foco del incendio.



El ataque directo solo debe emplearse cuando se haya localizado visualmente el foco y haya certeza de que el chorro de agua aplicado impactará en los combustibles incendiados. En estas condiciones constituye, sin duda, la técnica más efectiva de extinción.

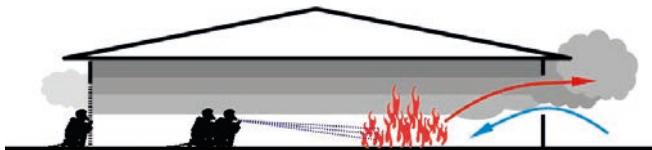


Imagen 78. Ataque directo



Imagen 79. Ataque directo en un incendio exterior

La extinción del incendio se debe a los efectos de enfriamiento sobre la superficie de los combustibles, donde se interrumpen los procesos de pirólisis y, por tanto, el aporte de gases inflamables en el interior del recinto.

Tabla 9. Características del ataque directo

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">Permite atacar directamente el motor del incendio.Efectos muy rápidos sobre la extinción. | <ul style="list-style-type: none">Se pierde el equilibrio térmico dentro del recinto.El vapor de agua generado en exceso puede empeorar las condiciones de visibilidad.Possibles quemaduras por exceso de vapor de agua en caso de víctimas en el interior.Desplazamiento de los gases de incendio empujados por el vapor de agua a otras estancias. |

Descripción del proceso

- Esta es una técnica que puede emplearse desde el interior o exterior.
- Normalmente, se realiza en el marco de una **progresión interior**, tras haber localizado el foco y ganar una posición desde la que es posible atacar el fuego directamente.
- Cuando las condiciones de seguridad impiden el acceso interior o el foco del incendio puede ser alcanzado **desde el exterior**, el ataque directo puede realizarse a través de una ventana o apertura.
- Una vez localizadas las superficies incendiadas, el bombero en punta de lanza realizará una aplicación de agua continua, sin dejar de mover el chorro de posición con objeto de **cubrir con una fina película de agua todas las superficies del combustible**.
- Dado que el objetivo es **humedecer y enfriar todas las superficies**, se buscará bastante profundidad en el chorro con patrones de cono bastante cerrados que, incluso, lleguen a chorro sólido e intervalos de aplicación de larga duración y caudal medio.
- El chorro sólido puede tener, en muchos combustibles, un efecto de penetración muy recomendable.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, esta debe realizarse sobre la base de las condiciones del incendio y la geometría del recinto.
- La eficiencia en la aplicación de agua buscará que las gotas que impacten en los combustibles se evaporen (robando así la mayor cantidad de calor) y también formen una fina película de agua. En este sentido, minimizar la escorrentía debe ser uno de los objetivos del bombero en punta de lanza. Este agua es desaprovechada pues no se ha producido su evaporación y ha escurrido por superficies de combustible que ya se encontraban frías y mojadas. Para evitar esto, el bombero deberá seleccionar un caudal no muy alto y mover la lanza de modo que el agua se distribuya homogéneamente.
- Tras cada aplicación, debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita recobrar el equilibrio térmico y ganar visibilidad. Este tiempo permitirá evaluar la efectividad de la aplicación de agua realizada y modificar los parámetros necesarios de cara a la siguiente aplicación.



En un recinto confinado de 5x5m de planta y 2,5m de altura, cubierto en su totalidad por un friso de madera inflamable que se encuentra incendiado con temperaturas superficiales de 500°C. Calcular la cantidad de agua a 18°C necesaria para reducir la temperatura del friso hasta 200°C en los 5 mm superficiales.

Volumen de combustible:

$$\begin{aligned} m_{\text{combustible}} &= (A_{\text{techos}} + A_{\text{paredes}} + A_{\text{suelo}}) \times \text{espesor} \times \rho_{\text{madera}} \\ &= (5 \times 5 + 5 \times 5 + 4 \times 2,5 \times 5) \times 0,005 \times 500 = 250 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T_{\text{combustible}} = 500 \text{ }^{\circ}\text{C} = 773 \text{ }^{\circ}\text{K}; T_2 = 200 \text{ }^{\circ}\text{C} = 473 \text{ }^{\circ}\text{K}; T_{\text{H}_2\text{O}l} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C} = 291 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Para la madera el calor específico es de 0,49kJ/kg.

$$C_e \text{ madera} = 0,49 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{ab} = m_{\text{combustible}} \times C_e \text{ madera} \times \Delta T = 250 \times 0,49 \times (473 - 773) = -36.750 \text{ kJ}$$

Es necesario absorber 36.750kJ para reducir la temperatura de la madera a 200°C.

De cálculos anteriores se veía la capacidad de absorción de energía de un 1kg de agua.

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1l; m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}; C_e \text{ H}_2\text{O} = 4,183 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_e \text{ H}_2\text{O} \times \Delta T = 1 \times 4,183 \times (100 - 18) = 343 \text{ kJ} \text{ (energía empleada para elevar de 18 a 100 }^{\circ}\text{C)}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1l; m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}; C_v \text{ H}_2\text{O} = 2.257 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_v \text{ H}_2\text{O} = 1 \times 2.257 = 2.257 \text{ kJ} \text{ (energía empleada en la evaporación)}$$

Se descarta el efecto enfriamiento producido como vapor de agua, ya que este no se produce en la superficie del combustible.

$$E_{ab} = 343 + 2.257 = 2.600 \text{ kJ}$$

Para absorber los 36.750kJ necesarios, teniendo en cuenta que cada kg de agua hasta su evaporación tienen un poder de absorción

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{36.750}{2.600} = 10,20 \text{ kg de agua}$$

Respuesta: 10,2 L de agua son suficientes para refrigerar los 5mm superficiales de combustible del contorno del recinto de 500°C hasta 200°C supuesta una efectividad del 100% (ausencia total de escorrentía y de película húmeda)

Tabla 10. Ataque directo

| | | |
|------------------------------|--|--|
| Objetivo | Extinción. Enfriamiento de superficies incendiadas e interrupción de la pirólisis |  |
| Ejecución | | Imagen 80. Ataque directo |
| Posición | Interior o exterior. | |
| Caudal | Medio (100lpm a 250lpm) | |
| Cono | 0° a 15° | |
| Patrón de pulsaciones | <ul style="list-style-type: none"> Aplicaciones de larga duración (>20") que pueden llegar a ser continuas. Periodos de pausa relativamente largos de entre (15" y 45") que permitan la distribución del vapor de agua. | |
| Movimiento de lanza | <ul style="list-style-type: none"> La lanza se moverá a velocidad constante. | |

1.3. ENFRIAMIENTO DE GASES

La progresión mediante enfriamiento de gases es una técnica de ataque al incendio cuyo objetivo es reducir la inflamabilidad del colchón de gases para proporcionar seguridad al equipo de bomberos que progresan por el interior frente a fenómenos de rápido desarrollo del fuego.

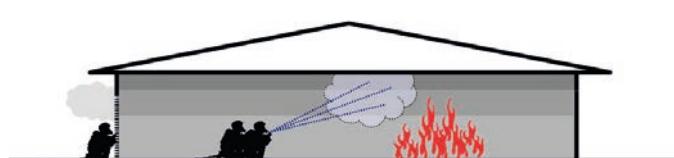


Imagen 81. Enfriamiento de gases



Imagen 82. Enfriamiento de gases a la entrada a recinto de incendio



Uno de los principales riesgos para el personal que realiza operaciones es la repentina inflamación de los gases de incendio, con lo que quedarían expuestos a una intensa radiación y a un súbito aumento de la potencia de incendio. Además, estos fenómenos pueden generalizar el incendio por detrás de los interviniéntes y dificultar o impedir su regreso a través de la ruta empleada para el acceso.

La acción sobre los gases de incendio resulta doble: por un lado enfriá los gases hasta una temperatura en que se reduce el riesgo de fenómenos de inflamación y, por otro, los gases de incendio quedan diluidos por el vapor de agua que se introduce dentro del recinto.

Es importante recalcar que esta técnica no produce la extinción del incendio, sino que **genera unas condiciones más seguras para la progresión**. El equipo de ataque procederá de este modo hasta que localice el foco del incendio sobre el que podrá emplear técnicas de **ataque directo** o **ataque indirecto** para su extinción.

Precisamente, uno de los principales problemas en el ámbito de los servicios de bomberos formados en las técnicas europeas ha sido su empleo incluso cuando el foco del incendio ya era visible y por tanto susceptible de un ataque directo. El enfriamiento de gases podría garantizar su no inflamación, pero para conseguir la extinción, "el motor" del incendio debe ser alcanzado empleando las técnicas de ataque (directo o indirecto) al incendio.

El agua ($C_e H_2O g = 4,090 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$) tiene un calor específico cuatro veces superior al de los gases de incendio ($C_e = 1,0 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$). Esto, sumado a la absorción de energía generada en la evaporación del agua, permite el enfriamiento de los gases con cantidades de agua muy reducidas. Además, con una correcta aplicación de las técnicas de enfriamiento se contrae el volumen de gases en mayor medida que se genera volumen por vapor de agua. Esto constituye una gran ventaja de cara a mantener la estratificación del recinto al conservar un estrato limpio y visible en la zona baja.

Tabla 11. Características del enfriamiento de gases

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">Permite una progresión más segura frente a fenómenos de rápido desarrollo (<i>flashover</i> y <i>backdraft</i>).Permite mantener el equilibrio térmico en el recinto y conservar la capa inferior visible y fresca e, incluso, elevar el plano neutro. | <ul style="list-style-type: none">No es una técnica de extinción.Una excesiva aplicación de enfriamiento de gases puede retrasar el acceso hasta el foco del incendio.No es posible evaluar el efecto de enfriamiento. |
| | |

Descripción del proceso

- El bombero en punta de lanza realizará pulsaciones de agua de corta duración y caudal bajo. Esto persigue **introducir una niebla de agua en el colchón de gases** de incendio que, al evaporarse, produzca el **enfriamiento** deseado.

- Tradicionalmente se han venido empleando pulsaciones muy cortas (<1") con conos relativamente anchos (45°) y ángulos pronunciados (75°) respecto a la horizontal. Esto refrigeraba la zona de gases inmediata a los bomberos pero no aseguraba las condiciones más internas. Las últimas investigaciones y tendencias apuntan a que una **mayor profundidad** genera el enfriamiento de gases en la zona en la que se adentra el bombero ofreciendo **mayor seguridad**. Para ello, el punta de lanza deberá alargar las pulsaciones (1" a 5"), realizar un movimiento de barrido ligero (1m a 5m), cerrar el ángulo de cono (30°) y reducir el ángulo con respecto a la horizontal (30°). Desde la posición en la que se encuentre, dirigirá el chorro para que profunde en dirección a la esquina superior del fondo del recinto. Puede hacer varias pulsaciones cortas o bien, una pulsación más larga realizando un barrido en dirección a la esquina opuesta a la que se inicia el movimiento.

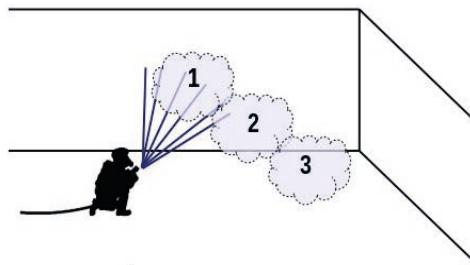


Imagen 83. Enfriamiento de gases tradicional con pulsaciones cortas de corto alcance

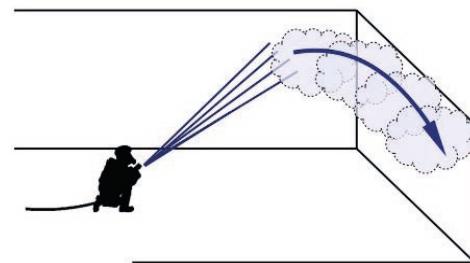


Imagen 84. Enfriamiento de gases con pulsaciones más largas y de largo alcance

- La refrigeración en zonas más profundas evita, además, que los efectos del exceso del vapor de agua lleguen a la dotación ya que hay **mayor distancia** entre el bombero y la zona donde se produce la evaporación y expansión del vapor.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, esta debe realizarse en función de las condiciones del incendio y la geometría del recinto.
- Tras cada aplicación debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita recobrar el **equilibrio térmico** y **ganar visibilidad**. Este tiempo permitirá evaluar la efectividad de lo realizado y modificar los parámetros necesarios de cara a la siguiente aplicación.
- El impacto de las gotas de agua contra las paredes del entorno en esta técnica tienen un efecto claramente negativo; no se produce refrigeración del colchón de gases sino de las paredes del recinto. El vapor de agua se expande en el recinto generando una contracción mínima del colchón de gases por lo que el **equilibrio térmico** se rompe y el plano neutro desciende.

El siguiente gráfico adaptado permite comprender el efecto que tiene el impacto de agua en las paredes del recinto en términos de expansión o contracción del volumen de gases. Partiendo de un colchón de gases a 600°C (T_1), se observa que, mientras se evapore entre el 30% y el 100% del agua en el recinto (el resto se evaporaría en contacto con las paredes del entorno), el volumen de gases final será igual o menor, lo que hará que se conserve el equilibrio térmico y la estratificación. Sin embargo, cuando el agua evaporada en el colchón sea inferior al 30%, se producirá una clara expansión que llevará asociada una pérdida del equilibrio térmico.

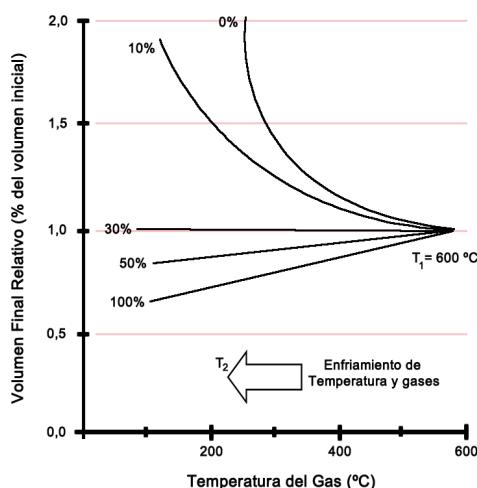


Imagen 85. Gráfica de expansión o contracción del volumen de gases como efecto del impacto de agua en las paredes del recinto

Conseguir una efectividad del 50% (la mitad del agua se evapora en el colchón y la otra mitad en contacto con superficies del recinto) implica llegar a reducir la temperatura de 600°C a 200°C y contraer el colchón de gases un 20%. Por el contrario, una efectividad del 10% (el 90% del agua se evapora en contacto con el recinto) supone que el colchón de gases se expande un 50% para llegar a la misma temperatura.

- La complejidad de los gases de incendio hace que una de las mayores dificultades a la hora de aplicar esta técnica radique en **evaluar si se ha logrado reducir suficientemente la temperatura como para asegurar su no inflamabilidad**. Ahora bien, la inflamabilidad no solo depende de la temperatura; son múltiples las variables que entran en juego: la concentración de comburente, la fracción de combustible, la naturaleza de estos gases de incendio y el desarrollo previo del incendio; variables que, además, no pueden ser medidas fuera de laboratorio.

Por tanto, **en condiciones reales de incendio resulta imposible determinar el rango y la temperatura de inflamabilidad de una mezcla de gases**. Además, considerar pautas que pretendan establecer la necesidad y cantidad de enfriamiento basándose exclusivamente en la temperatura del recinto puede conducir a valoraciones erróneas.

Tradicionalmente se han empleado criterios basados en el comportamiento de pequeñas pulsaciones realizadas casi

a 90° en dirección al techo. Si las gotas se precipitaban sin evaporarse, se entendía que había que proceder a continuar enfriando los gases. Este sistema no tiene base científica alguna pues, dependiendo del tipo de pulsación realizada (cono, caudal, duración), las gotas de agua pueden precipitarse incluso en ambientes a alta temperatura. En el mejor de los casos, este procedimiento tan solo mediría la capacidad de evaporación del colchón de gases, en ningún caso su inflamabilidad.

Otros criterios empleados más recientemente equiparan la inflamabilidad de los gases de incendio a uno de sus componentes, el monóxido de carbono. Las mediciones de la temperatura del colchón de gases se realizarían con cámara térmica. Este sistema, al margen de la dificultad práctica de realizar mediciones, asume que uno de los componentes de los gases de incendio (el monóxido de carbono, que rara vez sobrepasa el 5%), condiciona el comportamiento global de la masa. Esta es la razón por la que se desacredita este tipo de valoración.



Puesto que no existe un método que evalúe con seguridad si el enfriamiento realizado permite el acceso y progresión interior de la dotación, la experiencia y los conocimientos en dinámica de incendios del punta de lanza son vitales a la hora de tomar estas decisiones. A su vez, la observación de la evolución de fenómenos de *rollover* y movimiento de gases puede dar información eficaz en este sentido.





Ejemplo En un recinto confinado de 5x5m de planta y 2,5m de altura se ubica un incendio con plano neutro a 1,25m de altura. La temperatura media de los gases de incendio en el colchón superior es de 500°C. Calcular la cantidad de agua a 18°C necesaria (se supone una efectividad de enfriamiento del 100%) para reducir la temperatura a 200°C.

En ejemplos anteriores se ha visto que la densidad de los gases de incendio a 500°C es 0,46kg/m³.

$$\rho_{500^\circ\text{C}} = 0,46 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{500^\circ\text{C}} = V_{500^\circ\text{C}} \times \rho_{500^\circ\text{C}} = 31,25 \times 0,46 = 14,375 \text{ kg}$$

Para los gases de incendio el calor específico es de 1kJ/kg.

$$C_e \text{ gases incendio} = 1,0 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{ab} = m_{500^\circ\text{C}} \times C_e \text{ gases incendio} \times \Delta T = 14,375 \times 1,0 \times (473 - 773) = -4.312,5 \text{ kJ}$$

Es necesario absorber 4312,5kJ para reducir la temperatura del colchón de gases a 200°C.

De cálculos anteriores se obtiene la capacidad de absorción de energía de un 1kg de agua.

$$V_{H_2O} = 1 \text{ l}$$

$$m_{H_2O} = 1 \text{ kg}$$

$$C_e H_2O = 4,183 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{H_2O} \times C_e H_2O \times \Delta T = 1 \times 4,183 \times (100 - 18) = 343 \text{ kJ}$$

(energía empleada para elevar de 18 a 100 °C)

$$V_{H_2O} = 1 \text{ l}$$

$$m_{H_2O} = 1 \text{ kg}$$

$$C_v H_2O = 2.257 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{ab} = m_{H_2O} \times C_v H_2O = 1 \times 2.257 = 2.257 \text{ kJ}$$

(energía empleada en la evaporación)

$$m_{H_2O} = 1 \text{ kg}$$

$$C_e H_2O = 4,090 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{H_2O} \times C_e H_2O \times \Delta T = 1 \times 4,090 \times (200 - 100) = 409 \text{ kJ}$$

(energía empleada para elevar el vapor de agua de 100 a 200 °C)

$$E_{ab} = 343 + 2.257 + 409 = 3.009 \text{ kJ}$$

Para absorber los 4.312,5kJ necesarios teniendo en cuenta que cada kg de agua hasta 200°C tiene un poder de absorción máximo de 3.009kJ, se necesitarán:

$$m_{H_2O} = \frac{4.312,5}{3.009} = 1,433 \text{ kg de agua}$$

Respuesta: 1,433 L de agua son suficientes para refrigerar el colchón de gases hasta 200°C (equivalente a dos pulsaciones de 1" a 50 lpm con una efectividad del 100%).



Completemos el ejercicio calculando el volumen final de los gases a 200°C incluyendo el volumen de vapor de agua aportado.

$$V_1 = 5 \times 5 \times 1,25 = 31,25 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 500 \text{ }^\circ\text{C} = 773 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_2 = V_1 \times \frac{T_1}{T_2} = 31,25 \times \frac{473}{773} = 19,12 \text{ m}^3$$

Por otro lado, se debe considerar el volumen de vapor de agua introducido:

$$C_{exp \ 200^\circ\text{C}} = 2.060 \text{ (coeficiente de expansión a 200 }^\circ\text{C)}$$

$$V_{H_2O \ g} = V_{H_2O \ 1} \times C_{exp \ 200^\circ\text{C}} = 1,433 \times 2.060 = 2.952 \text{ L} = 2,952 \text{ m}^3$$

$$V_{final} = V_{H_2O \ g} + V_2 = 19,12 + 2,95 = 22,07 \text{ m}^3$$

Respuesta: durante el proceso de enfriamiento, el colchón de gases de 31,25m³ (1,25m de espesor) se ha contraído hasta 22,07m³

$$m_{H_2O} = 1 \text{ kg}$$

$$C_e H_2O = 4,090 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{H_2O} \times C_e H_2O \times \Delta T = 1 \times 4,090 \times (200 - 100) = 409 \text{ kJ}$$

(energía empleada para elevar el vapor de agua de 100 a 200 °C)

(0,88m de espesor).

Tabla 12. Enfriamiento de gases

| | |
|------------------|---|
| Objetivo | Reducir la inflamabilidad del colchón de gases para permitir una progresión segura. Efectos de enfriamiento y dilución del colchón de gases de incendio |
| Ejecución | Posición Interior |
| | Caudal Bajo-medio (50lpm a 250lpm) |
| | Cono 30° |
| | Patrón de pulsaciones <ul style="list-style-type: none"> Pulsaciones de corta duración (1" a 5") Dirigidas a las esquinas superiores del fondo del recinto |
| | Movimiento de lanza <ul style="list-style-type: none"> En pulsaciones cortas, conjuntos de pulsaciones que apuntan en distintas posiciones En pulsaciones más largas, efecto barrido |
| | Consideraciones de seguridad: <ul style="list-style-type: none"> No confundir con herramienta para la extinción. La realización de enfriamiento de gases no garantiza la no inflamabilidad de los gases. |



Imagen 86. Enfriamiento de gases

1.4. ATAQUE DEFENSIVO CONTRA LA PROPAGACIÓN

El ataque defensivo contra la propagación es una técnica que busca limitar la propagación del incendio a zonas no afectadas mediante la aplicación de agua sobre las superficies combustibles.

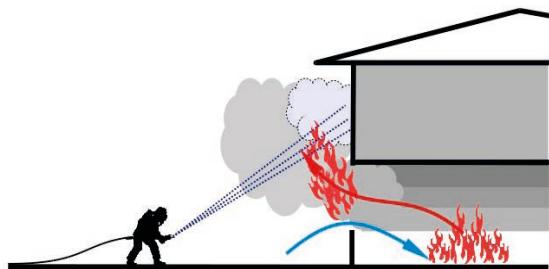


Imagen 87. Ataque defensivo contra la propagación



El ataque defensivo es de especial utilidad en planteamientos tácticos que estén condicionados por alguna de las siguientes circunstancias:

- Recursos limitados frente al tamaño de incendio.
- Incendios de grandes estructuras con posibilidad de propagación.
- La escasez de agua no permite realizar un ataque para la extinción con éxito.
- Garantizar que zonas ya extinguidas no vuelvan a incendiarse.

Descripción del proceso

- Esta técnica puede emplearse tanto desde el interior como del exterior. Normalmente, se realiza desde el exterior en el marco de una intervención en modo defensivo.
- También es conveniente y común el “pintado de paredes” durante la progresión interior para asegurar zonas frente a la propagación del incendio por detrás de la zona ya recorrida.
- El bombero en punta de lanza realizará una aplicación de agua continua, sin dejar de mover el chorro de posición, con objeto de cubrir con una fina película todas las superficies del combustible. **Se evitará, en todo caso, la escorrentía**, claro signo de que el agua se está aplicando sobre un punto sobre el que ya hay exceso.
- Partiendo de que el objetivo es **humedecer y enfriar todas las superficies**, se buscará bastante profundidad en el chorro (y, por tanto, capacidad para alejarse del incendio) con patrones de cono bastante cerrados que incluso lleguen a chorro sólido con intervalos de aplicación de larga duración y caudal bajo.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, su uso debe realizarse de acuerdo a las condiciones del incendio y la geometría del recinto.



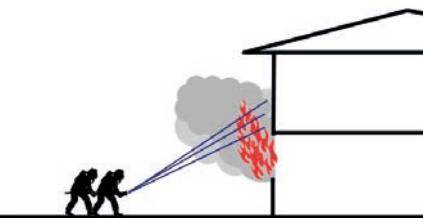
Imagen 88. Ataque defensivo contra la propagación

El efecto defensivo frente a la propagación se produce al dificultarse o interrumpirse los procesos de pirólisis en el combustible. Una película de agua sobre el combustible exige una cantidad de energía adicional para que comiencen liberarse gases combustibles desde este.

A diferencia del ataque directo, donde el agua se aplica sobre superficies ya incendiadas, en el ataque defensivo contra la propagación el objetivo es evitar que estas se inciendan.

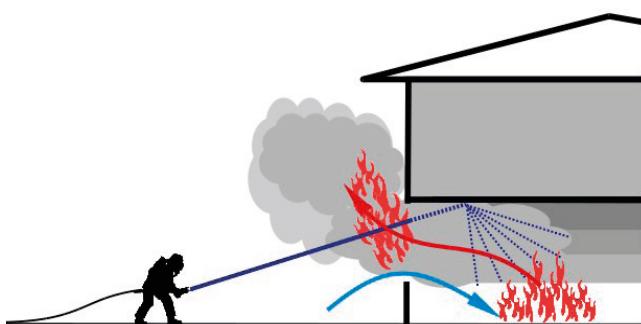
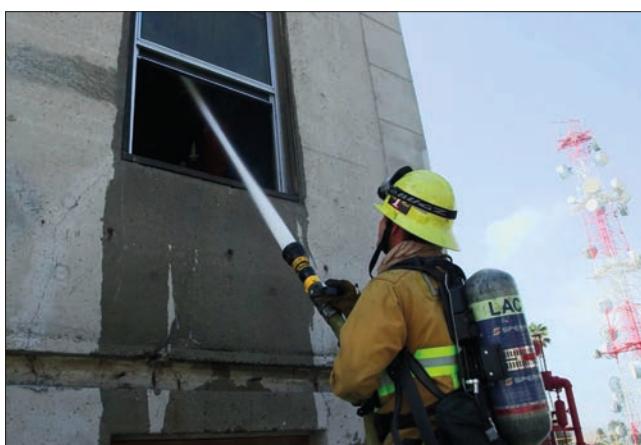
**Tabla 13.** Ataque defensivo contra la propagación

| Objetivo | Limitar la propagación del incendio. Enfriamiento de superficies del combustible e interrupción de la pirólisis. | |
|-----------|--|---|
| Ejecución | Posición | Interior o exterior. |
| | Caudal | Bajo (50lpm a 100lpm) |
| | Cono | 0° a 15° |
| | Patrón de pulsaciones | <ul style="list-style-type: none">Aplicaciones de larga duración (>20") que pueden llegar a ser continuas. |
| | Movimiento de lanza | <ul style="list-style-type: none">La lanza se moverá a velocidad constante. |

**Imagen 89.**
Ataque defensivo
contra la
propagación

1.5. ATAQUE EXTERIOR OFENSIVO O “ABLANDADO”

El ataque exterior ofensivo es una técnica cuyo objetivo es reducir la potencia del incendio desde una posición segura exterior mediante la aplicación de chorro de agua de forma que no se altere el flujo de gases de incendio existente. Comúnmente, se le denomina “ablandado” o “resetear el incendio” debido a que no es posible una extinción completa del incendio y requiere la progresión interior de efectivos para ultimar la extinción, eso sí, con condiciones de incendio notablemente atenuadas.

**Imagen 92.** Vista del interior con el chorro rompiendo en el techo en gotas mas pequeñas**Imagen 90.** Ataque exterior ofensivo o “ablandado”**Imagen 91.** Bombero de LACoFD practicando el Ataque Exterior Ofensivo

Aunque el uso de esta técnica cuenta con más de un siglo de antigüedad, factores como la aparición de los equipos autónomos de respiración y el incorrecto empleo de las lanzas con apertura de chorro han influido en favor de la progresión interior.

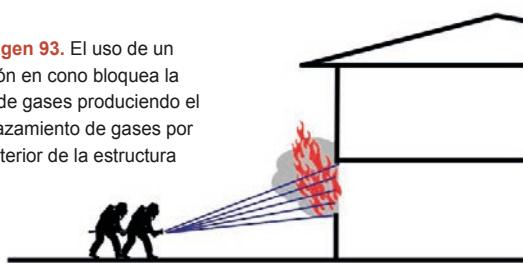
Cuando en un recinto, hay una apertura al exterior, se conforma un flujo de gases. En la mayoría de los casos encontraremos flujos bidireccionales, de salida en la parte superior y de entrada en su parte inferior.



Al aplicar agua al interior a través de una ventana donde existe un flujo de salida de gases hay que tener la precaución de no afectar o bloquear dicha salida. De ser así, los gases de incendio y el vapor de agua se desplazarían por el interior buscando otra salida pudiendo afectar a víctimas, bomberos en progresión interior o desplazar el incendio a zonas no afectadas.

El empleo de chorros en cono desde el exterior a través de una apertura (ventana o puerta) implica bloquear la salida de gases que por ella se estuviera realizando. Sin embargo un chorro de agua sólido dirigido a una superficie en el interior –generalmente el techo– permite que este deflecte formando gotas más pequeñas sin que quede afectada la superficie de intercambio gaseoso a través de la apertura.

Imagen 93. El uso de un patrón en cono bloquea la salida de gases produciendo el desplazamiento de gases por el interior de la estructura



La reducción de la potencia del incendio se consigue por la combinación de varios efectos:

- Enfriamiento del colchón de gases que irradia sobre todos los combustibles.
- Enfriamiento de las superficies incendiadas en el alcance de las gotas de agua deflectadas.
- Dilución temporal de los gases con vapor de agua.

En los últimos años, a partir de las investigaciones realizadas por Underwriters Laboratories en colaboración con NIST y en el servicio de bomberos de la ciudad de Nueva York (FDNY), la técnica del “ablandado” cobra fuerza y constituye una herramienta esencial en las tácticas de intervención en incendios. Estos estudios demuestran que un correcto “ablandado” permite reducir la temperatura no solo en el recinto del incendio, sino también en el resto de estancias conectadas mediante puertas abiertas. Esto contribuye de forma decisiva a la supervivencia de víctimas.

Descripción del proceso

- En situaciones en las que el incendio ha roto por fachada, el empleo de esta técnica raramente estará contraindicada durante **la fase inicial de ataque al fuego, especialmente si se quiere acompañar de técnicas de ventilación forzada ofensiva** en las que resulta muy conveniente reducir la reacción del incendio al aporte adicional de aire.
- Una vez **localizada la apertura a la zona de mayor desarrollo del incendio e identificado el flujo de salida de gases**, el bombero en punta de lanza realizará pulsaciones de media-larga duración (5" a 30") dirigidas a un punto fijo del techo del recinto sin mover el chorro de posición. El objetivo **es no interferir la salida de gases** y crear gotas de tamaño más pequeño tras el impacto con el techo.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, su uso debe realizarse de acuerdo a las condiciones del incendio y la geometría del recinto.
- Tras cada aplicación, debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita recobrar **el equilibrio térmico** y que **el flujo de gases evague el exceso de vapor de agua** que hubiera en el interior. La siguiente pulsación se realizará impactando **en un punto distinto y un ángulo diferente** con objeto de situar las gotas en una zona distinta del recinto.

Tabla 14. Características del ablandado

| Ventajas | Inconvenientes |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la temperatura en recinto de incendio y adyacentes. • Aumenta la supervivencia de víctimas. • Reduce el tiempo necesario para el control y extinción del incendio. | <ul style="list-style-type: none"> • Una mala aplicación que bloquee la salida de gases (chorro en cono o en movimiento que ocupa la zona de salida de gases) desplazará los gases de incendio y vapor de agua a zonas no deseadas. • Posibles quemaduras por exceso de vapor de agua en caso de víctimas en el recinto de incendio. |

Tabla 15. Ataque exterior ofensivo. Ablandado

| Objetivo | Reducción de la potencia y temperatura del incendio, mejora de las condiciones de supervivencia en el interior y facilitación del ataque interior posterior. | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|-----------------|----------|---------------|-------------------------|-------------|--|------------------------------|--|----------------------------|--|--------------------------------------|---|
| Ejecución | <table border="1"> <tr> <td>Posición</td><td>Exterior</td></tr> <tr> <td>Caudal</td><td>Medio (100lpm a 250lpm)</td></tr> <tr> <td>Cono</td><td>Chorro sólido a través de una ventana.</td></tr> <tr> <td>Patrón de pulsaciones</td><td> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de media a larga duración (5" a 30"). • Periodos de pausa relativamente largos de entre (15" y 45") que permitan recobrar el equilibrio térmico y expulsar el exceso de vapor de agua. </td></tr> <tr> <td>Movimiento de lanza</td><td> <ul style="list-style-type: none"> • La lanza permanecerá fija contra punto fijo en el techo. </td></tr> <tr> <td>Consideraciones de seguridad:</td><td> <ul style="list-style-type: none"> • No bloquear la salida de gases con chorros en forma de cono o en movimiento de barrido. • Realizar una aplicación moderada y progresiva en caso de haber efectivos en progresión interior o confirmación de víctimas. • Vigilar el volumen de vapor de agua generado y sus efectos sobre el personal en el interior. • Controlar el desplazamiento de gases de incendio y vapor de agua a otras estancias. </td></tr> </table> | Posición | Exterior | Caudal | Medio (100lpm a 250lpm) | Cono | Chorro sólido a través de una ventana. | Patrón de pulsaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de media a larga duración (5" a 30"). • Periodos de pausa relativamente largos de entre (15" y 45") que permitan recobrar el equilibrio térmico y expulsar el exceso de vapor de agua. | Movimiento de lanza | <ul style="list-style-type: none"> • La lanza permanecerá fija contra punto fijo en el techo. | Consideraciones de seguridad: | <ul style="list-style-type: none"> • No bloquear la salida de gases con chorros en forma de cono o en movimiento de barrido. • Realizar una aplicación moderada y progresiva en caso de haber efectivos en progresión interior o confirmación de víctimas. • Vigilar el volumen de vapor de agua generado y sus efectos sobre el personal en el interior. • Controlar el desplazamiento de gases de incendio y vapor de agua a otras estancias. |
| Posición | Exterior | | | | | | | | | | | | |
| Caudal | Medio (100lpm a 250lpm) | | | | | | | | | | | | |
| Cono | Chorro sólido a través de una ventana. | | | | | | | | | | | | |
| Patrón de pulsaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de media a larga duración (5" a 30"). • Periodos de pausa relativamente largos de entre (15" y 45") que permitan recobrar el equilibrio térmico y expulsar el exceso de vapor de agua. | | | | | | | | | | | | |
| Movimiento de lanza | <ul style="list-style-type: none"> • La lanza permanecerá fija contra punto fijo en el techo. | | | | | | | | | | | | |
| Consideraciones de seguridad: | <ul style="list-style-type: none"> • No bloquear la salida de gases con chorros en forma de cono o en movimiento de barrido. • Realizar una aplicación moderada y progresiva en caso de haber efectivos en progresión interior o confirmación de víctimas. • Vigilar el volumen de vapor de agua generado y sus efectos sobre el personal en el interior. • Controlar el desplazamiento de gases de incendio y vapor de agua a otras estancias. | | | | | | | | | | | | |

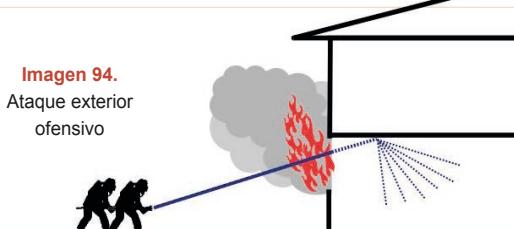


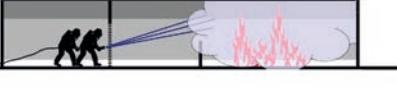
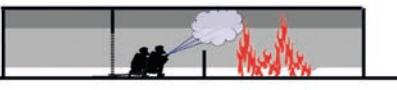
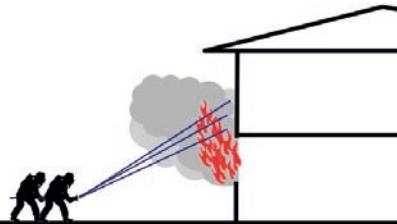
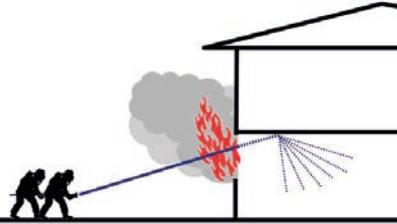
Imagen 94.

Ataque exterior ofensivo



1.6. CUADRO RESUMEN DE TÉCNICAS

Tabla 16. Resumen de técnicas

| | | |
|---|--|---|
| Ataque Directo  Imagen 95. Ataque directo | Extinción. Enfriamiento de superficies incendiadas e interrupción de la pirólisis. | Caudal medio Cono 0° a 15° Pulsaciones largas a aplicación continua Lanza en movimiento |
| Ataque Indirecto  Imagen 96. Ataque indirecto | Extinción. Inundación mediante vapor de agua. | Caudal medio a alto Cono 15° a 30° Pulsaciones de media a larga duración Lanza en movimiento |
| Enfriamiento de gases  Imagen 97. Enfriamiento de gases | Reducir la inflamabilidad del colchón de gases para permitir una progresión segura. Enfriamiento y dilución del colchón de gases de incendio. | Caudal bajo a medio Cono 30° Pulsaciones muy cortas en grupos Pulsaciones cortas en barrido |
| Ataque Defensivo contra Propagación  Imagen 98. Ataque defensivo contra la propagacion | Limitar la propagación del incendio. Enfriamiento de superficies del combustible e interrupción de la pirólisis. | Caudal bajo Cono 0° a 15° Pulsaciones larga duración o aplicación continua Lanza en movimiento |
| Ataque Exterior Ofensivo  Imagen 99. Ataque exterior ofensivo | Reducción de la potencia del incendio Mejora de las condiciones de supervivencia en el interior. | Caudal medio Chorro sólido contra techo Pulsaciones de media a larga duración Lanza estática |

1.7. ACCESO A TRAVÉS DE PUERTA

El acceso a un recinto a través de una puerta cerrada exige una técnica que minimice el riesgo de penetrar un recinto de incendio y permita evaluar las condiciones interiores. Cualquier puerta dentro de la zona de incendio (interior o exterior) es susceptible de contener gases de incendio, por tanto, su apertura debe seguir un procedimiento.

El tipo de puerta y el nivel de aislamiento térmico que ofrece juegan un papel importante. En puertas con un alto nivel de aislamiento, la temperatura de la puerta en una de las caras ofrece poca información sobre las condiciones al otro lado. Por el contrario, puertas metálicas de una sola hoja o con una buena conducción térmica permitirán incluso evaluar la altura del plano neutro antes de realizar la apertura.



Imagen 100. Procedimiento de Acceso a a través de puerta



El procedimiento de apertura puede seguir múltiples procedimientos pero, en todo caso, debe comprender claramente dos fases:

- **Evaluar las condiciones interiores:** altura del colchón de gases, temperatura, color y densidad de los gases de incendio, corrientes de ventilación, nivel de visibilidad y localización de focos.
- **Reducir la peligrosidad de la atmósfera interior** mediante la refrigeración/dilución del colchón de gases.

nos servicios prefieren hacerlo en cualquier caso, pues al bombero encargado de abrir la puerta le permite saber que el punta de lanza pretende abrir la puerta y avanzar.

- Ambos observan las condiciones por encima del plano neutro y después por debajo del plano neutro. Es importante no aplicar agua al interior antes de disponer de esta fehaciente información.
- De haber un colchón de gases importante, el punta de lanza efectúa dos pulsaciones profundas, apuntando a las esquinas superiores del fondo. Esto le permitirá obtener información sobre la temperatura y evaporación del colchón de gases, además de mejorar las condiciones interiores.
- El bombero encargado cierra la puerta y deja que el interior recobre su equilibrio térmico.
- Si se valora que las condiciones son suficientemente seguras como para realizar la entrada, el bombero encargado abrirá la puerta y se producirá el acceso del equipo completo. En caso contrario, será necesario repetir el paso tercero y cuarto hasta que las condiciones permitan el acceso.



Existen multitud de procedimientos de acceso, todos aptos mientras permitan la evaluación de condiciones y la reducción del riesgo interior. Si es importante que el procedimiento de acceso a través de puerta esté bien procedimentado y sea único.

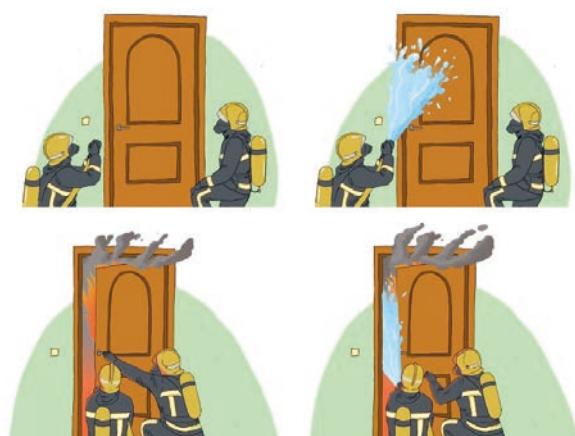


Imagen 101. Acceso a través de puerta

Descripción del proceso

Uno de los procedimientos más comunes y actualizados se deriva del empleado en Irlanda y Australia.

- El bombero en punta de lanza efectúa una pulsación sobre el tercio superior de la puerta cerrada con objeto de determinar la temperatura al otro lado. Aunque esto puede obviarse en puertas con un alto grado de aislamiento térmico (de uso generalizado en España), algu-

1.8. ELECCIÓN DEL CAUDAL APROPIADO: CAUDAL DISPONIBLE, CRÍTICO Y ÓPTIMO

Una de las decisiones más importantes en la extinción de un incendio es decidir el caudal disponible para la aplicación de agua. Durante la intervención, el caudal empleado no es uniforme ni continuo. Las condiciones en el interior dictarán el caudal a emplear en cada momento o, incluso, la interrupción temporal de la aplicación hasta recobrar el equilibrio térmico. En momentos puntuales, frente a fenómenos de inflamación de rápido desarrollo o para controlar una situación de incendio, sí puede ser necesaria la aplicación de un caudal importante.

Al hablar de caudal y gasto de agua es importante distinguir entre ciertos términos:

- **Gasto de agua:** volumen de agua empleado a lo largo de una intervención.
- **Caudal medio:** gasto de agua dividido entre el tiempo de intervención.
- **Caudal disponible:** máximo caudal disponible en punta de lanza en cualquier momento de la intervención.
- **Caudal crítico:** mínimo caudal disponible para conseguir la extinción de un incendio.
- **Caudal óptimo:** caudal disponible con el que se consigue la extinción de un incendio con el mínimo gasto de agua.



Puesto que la aplicación de agua se hace a intervalos o pulsaciones seguidas de periodos de no aplicación, el caudal medio de agua empleado en una intervención es un dato poco significativo. Así, por ejemplo, un caudal bajo aplicado durante más tiempo, no equivale a un caudal alto aplicado en menos tiempo. Durante la aplicación de un caudal bajo, el incendio tiene la habilidad de seguir desarrollándose si la capacidad de enfriamiento y dilución del volumen de agua empleado no es suficiente.

En muchos de los países y servicios de bomberos donde se popularizó el uso de sistemas de alta presión y bajo caudal, se extendió la creencia de que estos sistemas con una mayor duración de las pulsaciones igualaban la capacidad extintora de los sistemas de baja presión y alto caudal.

Hoy en día, las lanzas de bomberos consiguen óptimos tamaños de gota a presiones nominales de 6-7 bar sin que sea necesario recurrir a esquemas de alta presión para realizar técnicas de enfriamiento de gases con un alto grado de eficiencia.

Por otro lado, la investigación de múltiples accidentes en intervención con bomberos fallecidos, deja patente la necesidad de un mínimo caudal disponible durante las primeras fases del incendio. Algunos países han avanzado en este sentido y han regulado el caudal mínimo disponible para realizar una progresión interior. Así, tras una serie de trágicos accidentes, Francia estableció 500LPM por ley y, en el ámbito norteamericano, la normativa NFPA1410 exige un mínimo de 378LPM.

A medida que el caudal disponible se reduce, el tiempo necesario para conseguir la extinción del incendio se alarga y llega a una asíntota vertical en el valor del caudal crítico. Cualquier operación de extinción con un caudal disponible inferior al caudal crítico se alargará en el tiempo de modo que, solo cuando se agote el combustible, el incendio decaerá por sí mismo.

El análisis de muchas intervenciones pone de manifiesto el hecho de que las condiciones de incendio apenas varían a pesar del trabajo continuo aplicando agua y que solo después de un intervalo de tiempo –la duración de la etapa de pleno desarrollo– el incendio comienza a decaer. Es un error pensar que estos casos la intervención de bomberos produce la extinción sino más bien la ausencia de combustible adicional.

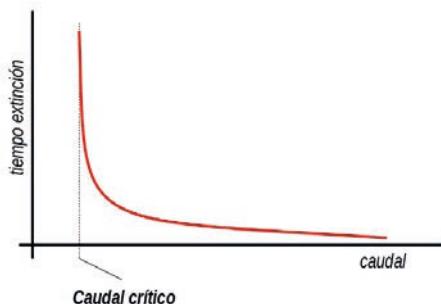


Imagen 102. Caudal crítico

A medida que se aumenta el caudal disponible, el tiempo necesario para la extinción se reduce, registra una brusca caída si se aumenta ligeramente por encima del caudal crítico y continúa reduciéndolo en menor medida.

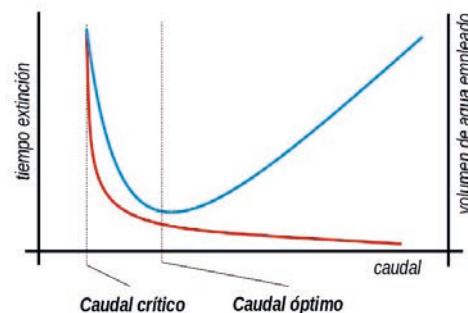


Imagen 103. Caudal crítico y caudal óptimo

Un excesivo caudal disponible genera un mayor gasto de agua al igual que un caudal cercano al caudal crítico. El caudal óptimo corresponde al mínimo gasto de agua posible. El análisis de estas gráficas da sentido a la máxima “los incendios se apagan con mucho caudal y poca agua”.



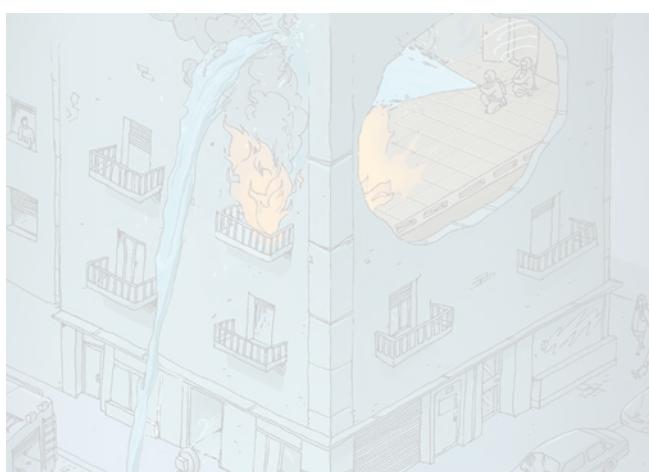
El caudal disponible a emplear en una intervención deberá ser:

- No inferior al caudal óptimo.
- Suficiente para garantizar la seguridad del personal frente a fenómenos de rápido desarrollo.
- Lo más cercano posible al caudal óptimo .

Este valor depende de múltiples factores:

- Potencia del incendio (tipo de combustible y grado de ventilación).
- Cantidad de combustible.
- Área afectada.
- Estado de desarrollo del incendios.

El análisis de datos estadísticos sobre más de 5000 incendios realizado por Grimwood (2014) y los estudios realizados por Barnett (2004) apuntan a valores de 24LPM/MW para incendios en vivienda residencial y 5LPM/m² para incendios en superficies amplias (>100m²).





Calcular el caudal disponible necesario para la extinción de un ILV que ha roto por fachada y tiene una apertura al exterior de 1,8m de anchura x 2m de altura.

Se calculará primero la potencia del incendio utilizando la Ecuación de Kawagoe para incendios ILV.

$$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg} \rightarrow \text{Tomamos } 20\text{MJ/kg como valor de referencia para el calor de combustión}$$

$$A = 1,6 \text{ m}^2$$

$$h = 2 \text{ m}$$

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h} = 0,092 \times 20 \times 1,6 \times 1,414 = 4,16 \text{ MW}$$

Empleando el criterio de Grimwood:

$$C^* = 24 \text{ lpm/MW}$$

$$C = C^* \times Q = 24 \times 4,16 = 100 \text{ lpm}$$

Respuesta: 100lpm es el caudal disponible necesario.

La puerta por la que se alimenta el incendio está enmarcada en un ventanal de dimensiones de 3m de anchura y 2,5m de altura. Calcular el caudal necesario en caso de rotura del ventanal completo.

$$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg}; A = 7,5 \text{ m}^2; h = 2,5 \text{ m}$$

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h} = 0,092 \times 20 \times 7,5 \times 1,581 = 21,81 \text{ MW}$$

$$C = C^* \times Q = 24 \times 21,81 = 523 \text{ lpm}$$

Respuesta: 523lpm es el caudal disponible necesario en caso de rotura del ventanal.



Un servicio determina experimentalmente el caudal máximo que sus esquemas estandarizados de tendidos de 25mm y 45mm pueden proporcionar; 150lpm y 475lpm respectivamente. Calcular la potencia y el máximo área de ventilación de un ILV (empleando la Ecuación. Kawagoe) que puede tener para poder extinguirse con dichos tendidos, según el criterio Grimwood.

$$C^* = 24 \text{ lpm/MW}$$

$$C = \frac{150}{24} = 6,25 \text{ MW}$$

para el tendido de 25mm

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h}$$

$$A = \frac{Q}{k \times H_c \times \sqrt{h}}$$

$$A = \frac{6,25}{0,092 \times 20 \times 1,41} = 2,41 \text{ m}^2$$

Con h = 2 para el tendido de 25 mm

$$Q = \frac{C}{C^*} = \frac{475}{24} = 19,8 \text{ MW}$$

para el tendido de 45mm

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h}$$

$$A = \frac{Q}{k \times H_c \times \sqrt{h}}$$

$$A = \frac{19,8}{0,092 \times 20 \times 1,41} = 7,63 \text{ m}^2$$

Con h = 2 para el tendido de 45 mm

Respuesta: el tendido de 25 mm podría emplearse hasta una apertura de 2,4 m² y el de 45 mm hasta una apertura de 7,63 m² considerando una altura de 2m.

2. TÉCNICAS DE CONTROL DE LA VENTILACIÓN

Las técnicas de control de la ventilación en incendios permiten cambiar la dinámica de incendio. Se debe entender el control de la ventilación en su sentido más amplio con técnicas que van desde el confinamiento total (y eliminación completa de la ventilación) a las técnicas de ventilación mecánica forzada, pasando por las distintas posibilidades que la ventilación natural ofrece.



Las técnicas de ventilación que implican un aporte de aire al foco implican un crecimiento del incendio que debe ser mitigado con la aplicación simultánea y coordinada de agua. Solo una correcta coordinación entre técnicas de ventilación y aplicación de agua consigue los efectos perseguidos de mejora de las condiciones internas (visibilidad, menor temperatura y menor toxicidad de la atmósfera) sin efectos adversos de propagación o crecimiento del incendio.

No solo es necesario conocer la manera en que se ejecuta una determinada técnica, también es preciso saber cuándo y por qué se realiza. Así, entender la base del funcionamiento de la ventilación en incendios (recogido en el punto **Influencia de la ventilación**) es fundamental para su correcta aplicación.

2.1. ANTVENTILACIÓN O CONFINAMIENTO DE INCENDIO

Las técnicas de antiventilación o confinamiento de incendio tienen por objeto privar al incendio del acceso a aire fresco con el fin de limitar su crecimiento. Estas técnicas son de especial interés en incendios limitados por la ventilación. Al-



gunas expresiones como la ecuación de Kagawoe, vinculan directamente la potencia del ILV al área y la geometría de la apertura del incendio al exterior.

El confinamiento de incendios también permite evitar que los gases de incendio se dirijan a otras estancias o espacios comunes. Este es un aspecto crítico a nivel táctico en bloques de viviendas o edificios dotacionales de grandes dimensiones. La misma masa de aire que se introduce en el recinto de incendio sale del mismo en forma de gases de incendio, expandidos por el efecto de la temperatura y, por tanto, ocupando un volumen mayor. **Proteger la caja de escalera** o los pasillos comunes de evacuación debe ser prioritario.

Tabla 17. Características de la antiventilación

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">Reduce la potencia del incendio.Evita que los gases de incendio salgan del recinto inundando otras estancias. | <ul style="list-style-type: none">El plano neutro del incendio baja hasta el suelo perdiendo la visibilidad. Obviamente, en incendios infraventilados o con plano neutro muy bajo, esto no tiene efecto. |

El confinamiento del incendio se realiza cerrando las puertas y ventanas del propio edificio. También es posible el empleo de dispositivos de aislamiento como cortinas portátiles. La dotación, al realizar la progresión interior, compartimenta el edificio, priva de aire fresco a los recintos donde se desarrolla el incendio y protege y aísla las zonas no afectadas por el incendio.

Los efectos del confinamiento o ventilación activa del incendio no son inmediatos. Ahora bien, puesto que un incendio infraventilado responde de forma violenta a la ventilación y puede llegar a un estado de *flashover* inducido por la ventilación, las dotaciones en progresión interior deben ser conscientes de este efecto y realizar el **control de puerta de acceso**. Esta técnica consiste en posicionar a un bombero en el exterior de la puerta que confina el recinto para que mantenga la puerta entornada al ancho de paso de la manguera y posibilitar su entrada.



Imagen 104. Bombero en interior y otro controlando puerta de acceso

El uso de dispositivos como las cortinas de bloqueo de humo se ha popularizado en Centro Europa, hasta el punto de constituir un paso obligado en sus protocolos de acceso a vivienda incendiada; en EE.UU. también cobra fuerza su uso.



Imagen 105. Empleo de cortina de bloqueo de humo en el acceso a un incendio

Las ventajas del empleo de cortinas de bloqueo de humo en el confinamiento de incendio se pueden concretar en que:

- Garantizan el confinamiento en puertas de escasa resistencia al fuego o estanqueidad insuficiente.
- Pueden ser utilizadas en dinteles sin puerta o pasillos.
- Facilitan el paso de una manguera por la parte baja.

2.2. VENTILACIÓN NATURAL

El propósito de la ventilación natural es evacuar los gases de incendio de un recinto empleando las diferencias de presión generadas por el propio incendio. Persigue, además, recobrar la visibilidad, expulsar la atmósfera combustible al exterior (se llega a cifrar hasta en un 50% la cantidad expulsada) y reducir la temperatura para facilitar las operaciones de progresión interior y la supervivencia de víctimas.



El personal en progresión interior debe ser conocedor de los cambios que experimenta el incendio en cuanto a ventilación y la aplicación coordinada de agua. De no ser así, la reacción del incendio a la ventilación generará un aumento de la potencia, acompañada de un mayor volumen de gases de incendio que volverá a empeorar las condiciones internas del recinto.

Actualmente, las técnicas de ventilación natural tienen una **efectividad limitada**; algo mayor las de ventilación vertical y muy limitada las de ventilación horizontal. El volumen de gases evacuado depende de la diferencia de presiones creada por el incendio y estas son relativamente reducidas a lo largo de la mayor parte de la fase de desarrollo. Por otro lado, los combustibles modernos tienen una reacción muy rápida a la ventilación, lo que concede escaso tiempo para evacuar gases, mejorar la visibilidad y acceder al incendio para controlarlo antes de que crezca y empiece a generar gases de forma exponencial.

Al margen de estas limitaciones, existe un marco de aplicación para estas técnicas: incendios limitados por el combustible, o ILV cuya configuración permita un acceso rápido hasta el foco y existan aperturas grandes.

Existen dos tipos de ventilación natural en función del patrón de ventilación:

- Ventilación vertical: entrada y salida de gases a distinto nivel, flujo de gases unidireccional.
- Ventilación horizontal: entrada y salida de gases al mismo nivel, flujo de gases bidireccional.

a) Ventilación vertical

A la hora de emplear la ventilación, lo ideal es establecer un flujo de gases unidireccional con una entrada y salida claras, de modo que el equipo en progresión interior acceda empleando la ruta fría y los gases de incendio queden aguas abajo del foco en el camino de acceso empleado. Esto solo es posible cuando la entrada y la salida de gases se encuentran a distinto nivel, esto es, cuando entre ambos accesos existe una diferencia de presión.

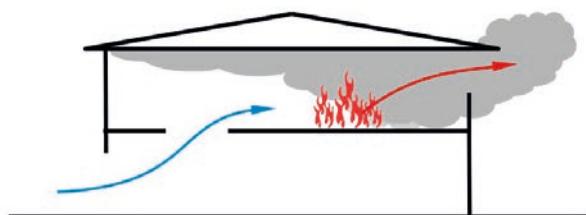


Imagen 106. Ventilación natural unidireccional

La ventilación vertical en cubierta está sumamente extendida en Norteamérica, donde las cubiertas, a base de madera y entramados ligeros, permiten practicar huecos de salida con facilidad. El hueco de salida se realiza en la zona cercana al foco donde las presiones generadas por el incendio son máximas. Esta técnica exige posicionar personal en cubierta para la realización del hueco de ventilación con el riesgo que ello conlleva.

Antes de la generalización del uso de equipos autónomos de respiración, con cargas de combustible tradicionales cuya reacción a la ventilación es más moderada y estructuras de madera sólidas, la ventilación vertical en cubierta constituía una técnica eficaz de lucha contra incendios que permitía crear un colchón de aire fresco por el que progresar interiormente hasta el incendio. Actualmente tiene menos sentido y en el contexto europeo donde muchas de las cubiertas no son perforables, no se aplica.

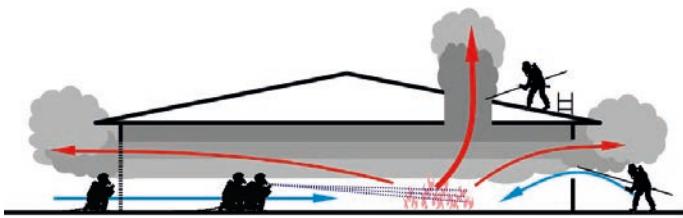


Imagen 107. Ventilación natural en cubierta



Imagen 108. Ventilación natural en cubierta

En una ventilación vertical, el volumen de gases desalojado y, por tanto, la eficiencia de la ventilación dependerán de diversos factores:

- **Diferencia de presión entre la entrada y la salida de gases:** vinculada al gradiente térmico existente en la diferencia de altura entre la entrada y la salida.
- **Tamaño de la salida de gases:** en la medida en que la salida de gases es mayor, el caudal de salida es mayor si bien cada vez crece en menor medida y llega a un punto en que es despreciable. Resulta complicado establecer qué tamaño de salida de gases es el idóneo o mínimo. Dependerá de las condiciones de incendio y la geometría del recinto.
- **Relación entre la salida y la entrada de gases:** A medida que el caudal de entrada va siendo mayor con respecto al de salida, la efectividad de la ventilación aumenta. A efectos prácticos, se debe proporcionar una entrada, al menos, tan grande como la salida ($r=1$). Incluso resulta muy recomendable que la entrada sea, al menos, dos veces el tamaño de la salida ($r=0,5$). En ningún caso se debe reducir la salida de gases para acomodar una relación $r=0,5$ pues tendrá un efecto más negativo

El siguiente gráfico muestra la efectividad de una salida de gases en función de la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i).

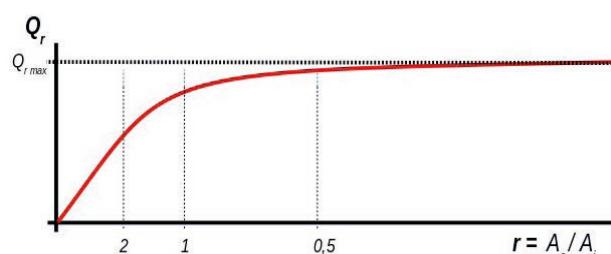


Imagen 109. Variación del caudal efectivo (Q_r) y la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i). Una entrada dos veces el tamaño de la salida da resultados más que suficientes



Las curvas difieren ligeramente en función de la temperatura de los gases de incendio pero para 500°C se tiene (ver tabla 18).

- **Cercanía de la salida de gases al foco del incendio:** la proximidad al foco permitirá reducir las pérdidas de fricción en el movimiento de los gases de incendio. Por tanto, en la medida de lo posible, se buscará una salida de gases cercana al foco de incendio, lo que, además, impedirá la propagación del incendio a lo largo de la ruta caliente.

b) Ventilación horizontal

La configuración de muchos edificios impide la posibilidad de tener o practicar entradas y salidas a distinta altura. En estos casos, se produce una ventilación horizontal en las aperturas (ventanas y puertas) donde se establecen flujos bidireccionales. La ventilación horizontal de incendios activos favorece la estratificación del incendio con una capa de aire fresco en la zona baja y un colchón de gases calientes en la zona alta.

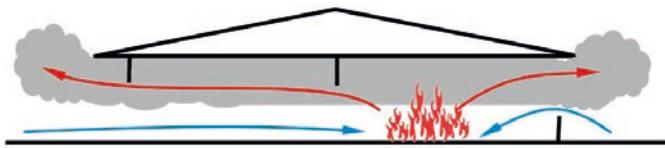


Imagen 110. Ventilación natural horizontal con claro flujo bidireccional

La ventilación horizontal presenta diversos inconvenientes frente a la ventilación vertical:

- **Menor efectividad**
- **No existe un flujo de gases unidireccional** con un acceso libre de gases de incendio hasta el foco
- Implica que el equipo en progresión interior se acerca al incendio empleando la zona baja libre existiendo una capa de gases caliente buscando la salida al exterior inmediatamente encima de ellos.

En una ventilación horizontal el volumen de gases desalojado y por tanto la eficiencia de la ventilación dependerá de diversos factores:

- **Tamaño de la apertura de gases.** En la medida en que la apertura de gases es mayor, se establecerá un flujo bidireccional de mayor. Es complicado establecer un tamaño de apertura de gases idóneo o mínimo para un incendio ya que dependerá de las condiciones de incendio y geometría del recinto.
- **Altura de la apertura de gases.** Las aperturas altas permitirán comunicar las zonas altas con mayor diferencial del presión con respecto al exterior y las mas bajas con diferenciales de presión negativos. Por tanto para una misma superficie de apertura de gases,

Tabla 18. Rendimientos de la ventilación sobre el teórico máximo a 500°C

| | |
|-------|-----|
| r=0,5 | 90% |
| r=1 | 71% |
| r=1,5 | 50% |

una apertura alargada verticalmente tendrá un mayor rendimiento que una horizontal.

- **Cercanía de la salida de gases al foco del incendio.** La proximidad de la salida de gases al foco del incendio permitirá reducir las pérdidas de fricción en el movimiento de los gases de incendio. En la medida de lo posible se buscará una salida de gases cercana al foco de incendio, lo cual impedirá además la propagación del incendio a lo largo de la ruta caliente de gases.

Las cortinas de bloqueo de humo permiten transformar una ventilación horizontal bidireccional en una ventilación vertical unidireccional. Su parte baja no llega al suelo y permite una pequeña entrada de aire en la zona baja que ayuda a mantener la estratificación del recinto.

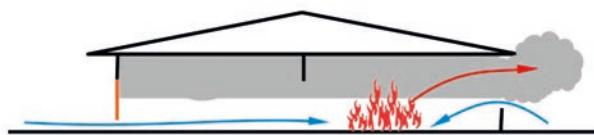


Imagen 111. La colocación de una cortina de bloqueo de humo (en naranja) permite transformar el flujo bidireccional en la entrada en un flujo unidireccional que facilita el acceso de bomberos

2.3. VENTILACIÓN FORZADA

Las técnicas de ventilación forzada emplean ventiladores mecánicos para expulsar los gases contenidos en una estructura. El flujo de gases dentro del incendio ya no está solamente dominado por los diferenciales de presión creados por el incendio sino por los establecidos por ventiladores o extractores de humos.



Debemos entender la ventilación forzada como una herramienta para establecer el flujo de gases que a nivel táctico resulta más conveniente en cada momento. La ventilación forzada permite además establecer flujos unidireccionales que a nivel de intervención presentan diversas ventajas (acceso del personal a lo largo de la ruta fría de gases, canalización de los gases calientes de incendio entre otras).

La multitud de técnicas existentes basadas en la ventilación forzada se diferencian por:

- a) **El tipo de diferencial de presión empleado para el movimiento de gases.**
- b) **La forma de propulsión del equipo empleado.**
- c) **El recorrido del flujo de gases.**

- a) En función del **diferencial de presión**, las técnicas se clasifican en:

- **Ventilación por presión positiva (VPP).**

Consiste en la colocación de un ventilador de presión positiva en el exterior del recinto (concretamente en la puerta principal de acceso) y la presurización de todo el interior de la estructura. Este diferencial de presión genera un

movimiento de gases calientes hacia la apertura exterior. Esta técnica es sencilla de implementar en intervención y el ventilador no requiere medidas de protección especial frente a gases calientes, ya que en ningún caso queda expuesto a su salida.

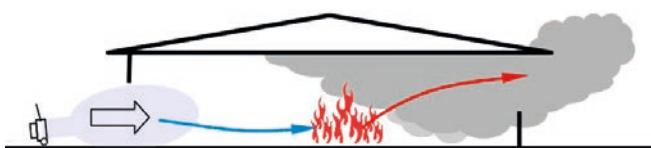


Imagen 112. Ventilación por Presión Positiva: el diferencial de presión interior se crea con la ayuda de un ventilador VPP

El ventilador de presión positiva crea un flujo de gran velocidad que impacta en una apertura del recinto al exterior. En ese momento, el flujo sufre una deceleración que genera un aumento de presión en el interior. Esto puede explicarse de forma muy sencilla mediante la ecuación de Bernoulli.



Un ventilador de VPP genera un flujo de aire con una velocidad media de 8m/s justo antes de introducirse en el interior de una estructura a través de una apertura de 1,6m² y reducir la velocidad del flujo a 4m/s. Calcular el diferencial de presión creado en el interior y el flujo de gases de salida sin tener en cuenta el efecto del incendio.

Partiendo de la ecuación de Bernoulli, se calculará cómo la caída de velocidad supone un aumento de presión entre el punto 1 (en el flujo de aire justo antes de la apertura) y el punto 2 (en la apertura).

$$P_1 + \rho_1 gh_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 gh_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

Al despreciar los efectos del incendio ($\rho_1 = \rho_2$) y considerar el efecto entre dos puntos a la misma altura:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{\rho(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

$$\Delta P = 0,5 \times 1,2 \times (8^2 - 4^2) = 28,8 \text{ Pa}$$

En virtud del principio de conservación de la masa, el flujo de salida será igual al de entrada, ya que no se está considerando el efecto del incendio y, por tanto, la densidad de los gases de entrada será igual a la de salida.

$$Q = v_2 \times A = 4 \times 1,6 = 6,4 \text{ m}^3/\text{s} = 23.040 \text{ m}^3/\text{h}$$

Respuesta: el diferencial de presiones creado con el exterior es de 28,8Pa y el flujo asciende a 2.3040m³/h.

- **Ventilación por presión negativa (VPN)** también conocida como extracción.

Consiste en la colocación de extractores en las salidas de gases para generar diferenciales de presión negativos en el interior del recinto con respecto al exterior. Se trata, por tanto, de un principio muy similar al de la VPP, pero en vez de originar el flujo en la entrada, lo genera en la salida.

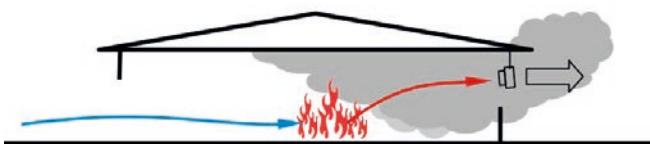


Imagen 113. Ventilación por Presión Negativa: el diferencial de presión con el exterior se crea con la ayuda de un extractor

La VPN se emplea ampliamente en los sistemas de extracción que constituyen las medidas de protección contra incendios en muchos edificios. Sin embargo, su empleo en intervenciones de bomberos enfrenta varios inconvenientes:

- Mientras que en las técnicas de VPP, la colocación del ventilador no supone riesgo alguno para el personal, la localización del extractor sí implica su exposición a los gases de incendio. Esto obliga a disponer de un equipamiento más delicado y costoso.
- Presenta un rendimiento inferior para igual tamaño de hélice y potencia de motor. En un ventilador de VPP el flujo que impacta en la entrada está formado por el aire directamente impulsado por las aspas más el flujo succionado a lo largo de la distancia entre el ventilador y la puerta. En un extractor de VPN el flujo de salida consiste básicamente en el fluido que atraviesa las palas.
- No se pueden emplear motores de explosión porque los gases extraídos interfieren en la combustión interna del equipo.

Por estas razones, la VPN tiene un menor número de aplicaciones en bomberos. Su uso queda limitado a situaciones puntuales y sin otra opción (túneles y garajes).

- b) En función de los diferentes **tipos de propulsión**, los equipos de ventilación forzada pueden ser:

- **Ventiladores térmicos:** accionados por motores de explosión. La potencia de motor puede variar desde los 3CV (propia de pequeños equipos portátiles), a los 150CV (unidades móviles montadas sobre vehículos). Resultan muy prácticos en tanto que proporcionan equipos autónomos con un peso muy reducido, independencia de conexiones y sobrada autonomía si bien presentan un nivel sonoro mayor y arrastran los gases de escape al interior de la estructura. Tampoco es posible conseguir un nivel de protección ATEX ni emplearlos como extractores, ya que los gases de incendio interfieren en el funcionamiento del motor.



Imagen 114. Ventilador térmico



tores eléctricos conectados al generador eléctrico del vehículo de bomberos o a la red eléctrica producen el movimiento de la hélice. Son más silenciosos, no producen gases de combustión, son aislables a nivel ATEX y se pueden emplear en extractores. Las desventajas se centran en su dependencia de un cableado eléctrico (lo que hace más complicada su ubicación en determinadas circunstancias) y que, a igualdad de peso y tamaño, consiguen potencias inferiores a los térmicos.



Imagen 115. Ventilador eléctrico del fabricante americano

- **Ventiladores eléctricos a batería:** este tipo de motores se alimenta de una batería incorporada en el propio equipo. Su potencia y autonomía es muy limitada y, a pesar del esfuerzo de los fabricantes en su desarrollo técnico, a día de hoy no constituye una alternativa viable para el equipo de ventilación principal, únicamente como ventilador auxiliar en estructuras complejas.



Imagen 116. Ventilador a batería

- **Ventiladores hidráulicos por turbina:** una turbina solidaria a la hélice del ventilador produce el movimiento. La turbina es alimentada con agua desde la bomba del servicio de bomberos mediante un tendido. Un tendido adicional retorna el agua a la bomba para cerrar el circuito.



Imagen 117.
Ventilador hidráulico

Estos equipos evitan los inconvenientes de los motores térmicos (gases de escape, aislamiento ATEX y empleo en extracción) aunque su despliegue requiere una logística mayor y una distancia razonable entre la bomba y el ventilador. Instalar inicialmente el ventilador o cualquier cambio posterior de ubicación requiere mayor esfuerzo y personal que un ventilador térmico.

- **Ventilación hidráulica generada por flujo de manqua:** el movimiento de los gases no se produce por el efecto de una hélice sino por el arrastre generado por un flujo de agua. Un cono de agua a través de la salida de gases (de dentro para fuera) que no ocupa toda la sección de la apertura y genera una depresión interna empleada para la extracción de los gases.

Este tipo de ventilación implica que el bombero en punta de lanza se sitúe en la ruta de salida de gases. Aunque el rendimiento es muy reducido, puede ser una opción en la ventilación final de estancias una vez extinguido el incendio.



Imagen 118. Ventilación hidráulica

- c) A nivel táctico, la clasificación más importante de las técnicas de ventilación forzada recae en el **recorrido que realizan los gases**:
- Ventilación **defensiva**: el flujo de gases generado por la ventilación forzada no atraviesa el foco o recinto de incendio de modo que no se produce un aporte adicional de oxígeno al mismo.
 - Ventilación **ofensiva**: el flujo de gases atraviesa el foco del incendio y provee aire fresco generando un crecimiento del mismo en incendios ILV.

2.3.1. VENTILACIÓN EN PRESIÓN POSITIVA DEFENSIVA

Técnica que emplea un ventilador VPP para establecer un flujo de gases que **no atraviesa el foco** del incendio con objeto de expulsar fuera del recinto de incendio los gases de incendio acumulados en la estructura. Se basa en el confinamiento del incendio con lo que no se produce un aporte adicional de oxígeno.

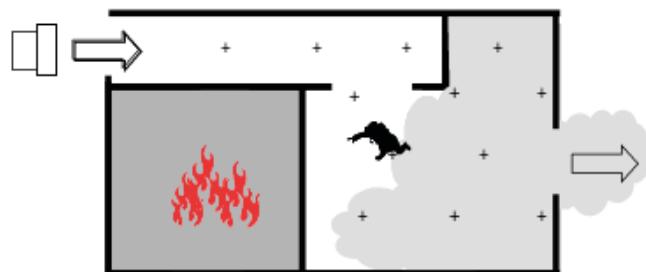


Imagen 119. Esquema en planta de una ventilación en presión positiva defensiva. El flujo creado por el ventilador no atraviesa el foco de incendio

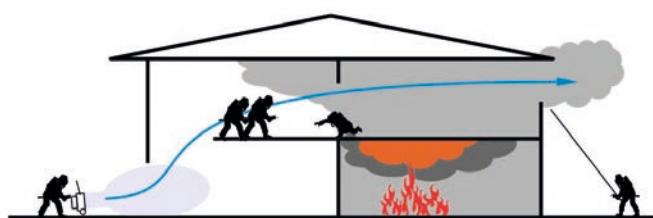


Imagen 120. La Ventilación en Presión Positiva Defensiva se basa en el confinamiento del incendio para evacuar los gases de incendio del resto de la estructura

Ventajas de la VPP defensiva:

- Mejora la supervivencia de víctimas y ocupantes atrapados fuera de la zona directamente afectada por el incendio al introducir una atmósfera respirable.
- Permite realizar operaciones de búsqueda con plena visibilidad.
- Permite limpiar y asegurar los pasillos y cajas de escaleras que constituyen la ruta de escape del edificio para los ocupantes.



El empleo de una VPP defensiva es una decisión táctica relevante que deberá ser tomada por el Mando de la Intervención y que normalmente implica el confinamiento del área de incendio.

El empleo de VPP defensiva se realiza en los siguientes pasos:

1. Confinamiento del incendio
2. Apertura de salida de gases
3. Apertura de la entrada de aire fresco
4. Inicio de la ventilación
5. Valoración del funcionamiento de la ventilación
6. Progresión interior rápida
7. Búsqueda y rescate

Si bien no es la mejor opción, y siempre que sea posible deberá evitarse en favor de un confinamiento efectivo del recinto de incendio, es posible el inicio de una operación VPP defensiva sin confinar el incendio.

El recinto del incendio no podrá tener aperturas al exterior ya que se generaría un flujo de aire a través del incendio y por tanto su crecimiento.

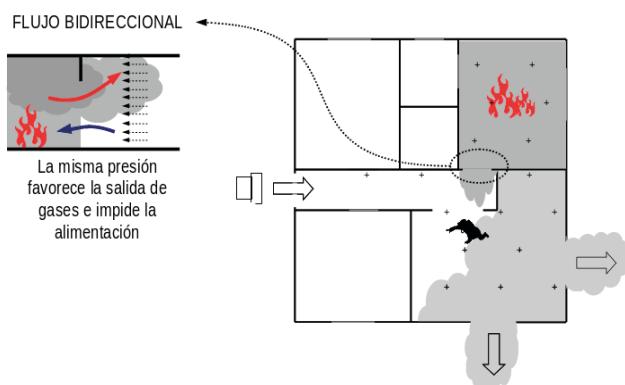


Imagen 121. Ventilación VPP defensiva sin el confinamiento del recinto de incendio. El flujo bidireccional se mantiene tras el inicio de la ventilación. Tan pronto sea posible deberá confinarse el incendio

Antes del inicio de la ventilación, existirá un flujo bidireccional a través de la puerta de acceso con el resto del interior de la estructura. Los gases calientes abandonan el recinto y un flujo más frío y denso entrara por las zonas más bajas. Este flujo se produce por efecto del diferencial de presión existente entre el recinto del incendio y el resto de la estructura: en la parte superior será positivo (evacuación) y en la parte inferior negativo (succión).

Cuando el ventilador se pone en funcionamiento genera en el interior un diferencial de presión homogéneo en todo el recinto. El flujo bidireccional en la puerta del recinto de incendio se mantiene ya que todo el conjunto interior ha sido presurizado por igual. El mismo diferencial de presión que favorece el flujo de entrada, impide que lo haga el flujo de salida.

En cualquier caso sigue habiendo flujo de gases de incendio desde el recinto de incendio (al igual que lo había antes) y éste debiera ser confinado con una puerta o una cortina de bloqueo de humo lo antes posible.

2.3.2. VENTILACIÓN EN PRESIÓN POSITIVA OFENSIVA

La VPP ofensiva es una técnica que emplea un ventilador VPP para establecer un flujo de gases que atraviesa el foco con objeto de producir un cambio de las condiciones en el interior del recinto de incendio que permita un avance rápido de efectivos hasta el mismo.

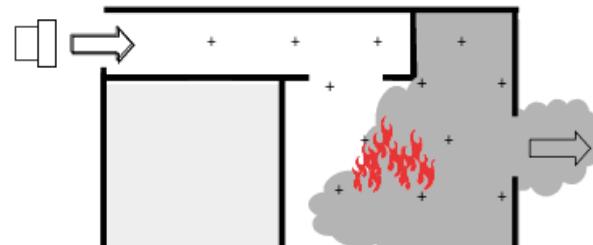


Imagen 122. Esquema en planta de una ventilación en presión positiva ofensiva. El flujo creado por el ventilador atraviesa el foco de incendio

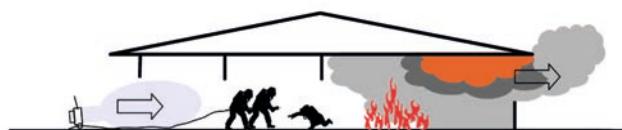


Imagen 123. La Ventilación en Presión Positiva Ofensiva se basa en el barrido de gases de incendio en el recinto en que se encuentra

La VPP ofensiva genera un ventanal temporal en la que las condiciones son más favorables para el avance antes de que la respuesta del incendio al aire fresco proporcionado genere un crecimiento del mismo. Durante esa ventanal de tiempo, el equipo en progresión interior deberá ser capaz de aplicar técnicas basadas en la aplicación de agua para reducir el potencial del incendio.

Ventajas de la VPP Ofensiva:

- **Mejora la visibilidad.** Visibilidad en un incendio es sinónimo de rapidez, ser capaz de encontrar con rapidez el camino de acceso y escape del incendio y efectuar las tareas de búsqueda y rastreo.
- **Mejora la supervivencia de víctimas.** El aire fresco introducido en el interior del recinto de incendio cae por efecto de su mayor densidad y proporciona un colchón de aire respirable y fresco para las víctimas.
- **Reducción de la temperatura.** Una sustitución rápida de la atmósfera interior del recinto por aire fresco exterior contribuye a la reducción de la temperatura.



- **Menor cantidad de combustible.** Los gases de incendio contienen una fracción de combustible importante proveniente de productos incompletos de la combustión así como de la pirólisis de los combustibles. Al expulsar al exterior la atmósfera de gases de incendio, gran parte de estos combustibles son arrastrados al exterior del recinto donde no contribuyen al crecimiento del incendio o a que se produzcan fenómenos de rápido desarrollo.

Para que la VPP Ofensiva sea eficaz, ésta debe ser muy rápida. La rapidez evitará la mezcla de los gases de incendio con el aire fresco, contribuirá a mejorar las condiciones con mayor rapidez y a disminuir el tiempo necesario para llegar al incendio.

El empleo de VPP Ofensiva se realiza en los siguientes pasos:

1. Apertura de salida de gases
2. Apertura de la entrada de aire fresco
3. Inicio de la ventilación
4. Valoración del funcionamiento de la ventilación
5. Progresión interior rápida
6. Control del incendio

El efecto positivo de una ventilación rápida es la formación de una *cuña de avance* de gases; el aire introducido en la estructura tiene mayor densidad – $\rho=1,2\text{kg/m}^3$ a 25°C para el aire frente $\rho=0,46\text{kg/m}^3$ a 500°C de los gases de incendio– por lo que tiende caer hacia las zonas más bajas. Esto unido al efecto de empuje de la ventilación genera un plano de avance inclinado. La diferencia de densidad dificulta también la mezcla de los dos fluidos que para mezclarse deben vencer un efecto de flotabilidad muy importante. En la realidad siempre se producen zonas de mezcla, pero una ventilación rápida genera un barrido de gases –el fluido frío empuja al caliente– en contraposición a una ventilación lenta donde los fluidos consiguen mezclarse. Visto en sección transversal, observamos una cuña de avance que deja a un lado aire limpio y al otro gases de incendio por encima de su rango de inflamabilidad.



Imagen 124. Ventilación VPP Ofensiva en la que como consecuencia de un tamaño de salida insuficiente, el efecto adverso del viento, pérdidas de carga o ventilador insuficiente, no se produce el barrido sino turbulencias que pueden desplazar la mezcla de gases a rangos de inflamabilidad



La clave para una ventilación rápida es una correcta proporción entre la entrada y la salida, la ausencia de efectos negativos de viento, una buena colocación del ventilador y un buen sellado en la estructura. El volumen de la estructura, contrariamente a lo que pudiera parecer, tiene una influencia mucho menor.

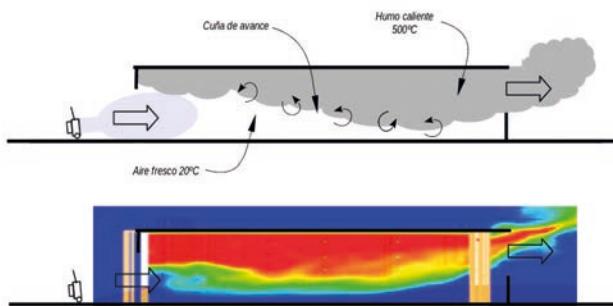


Imagen 125. Esquema de modelización en FDS (Fire Dynamic Simulator) de una Ventilación VPP Ofensiva donde la diferencia de presiones evita que el aire fresco y los gases de incendio se mezclen excesivamente

Consideraciones de seguridad:

- Coordinar la VPP ofensiva con técnicas de aplicación de agua
- Prever un potencial crecimiento del incendio
- Vigilar la propagación del incendio. La ruta de gases tienen que estar bien definida para evitar que los gases de incendio se extiendan a zonas ocultas o no afectadas por el incendio
- No situar al personal a lo largo de la ruta caliente de gases
- Abrir la salida de gases en primer lugar y a continuación comenzar la VPP para evitar que se produzca la mezcla de gases de incendio con aire exterior
- Vigilar las condiciones de viento exterior que tienen un efecto importante sobre el rendimiento de la técnica.
- No emplear en condiciones de backdraft inminente
- No emplear en combustibles muy volátiles o en polvo donde la corriente de aire contribuiría a aumentar la cantidad de combustible en el ambiente.

2.3.3. PRESURIZACIÓN DE RECINTOS

La presurización de recintos es una técnica que emplea ventiladores de VPP para crear diferenciales de presión en zonas anexas a recintos de incendio con el objeto de protegerlos de la propagación del incendio y la dispersión de los gases de incendio.

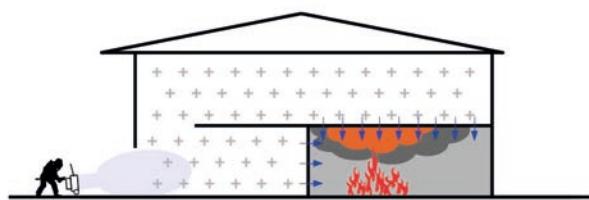


Imagen 126. Presurización de recintos

Cuando existe un diferencial de presión entre dos estancias de una estructura, se establece un flujo de gases que intenta compensar esa diferencia. El fluido se desplaza desde el recinto de mayor presión al de menor presión siguiendo el camino de mínima fricción; aquél por el que la

bajada de presión se realizará de forma más rápida.

En la propagación de incendios la convección –transmisión del calor a través de fluidos calientes en movimiento– juega un papel decisivo. Al aumentar la presión de un recinto sobre el inmediatamente anexo donde se desarrolla un incendio, el flujo de gases de incendio tiende a desplazarse a través de las posibles aperturas hacia el exterior o zonas que no hayan sido presurizadas evitando que los gases de incendio entren en la zona presurizada.

La presurización de recintos también permite que **el humo no acceda a zonas presurizadas**. El ejemplo más común sería la presurización de cajas de escalera. El equipo interior, al acceder desde un tiro de escalera limpio de humos hacia la vivienda donde se encuentra el incendio puede provocar que parte de los gases de incendio se desplacen a la caja de escalera. A través de la pequeña apertura necesaria para el paso de la manguera también estarán escapando gases de incendio. En estas situaciones presurizar la caja de escalera puede evitar que los gases se escapen del interior de la vivienda, más aún si existe algún tipo de apertura desde la vivienda al exterior.

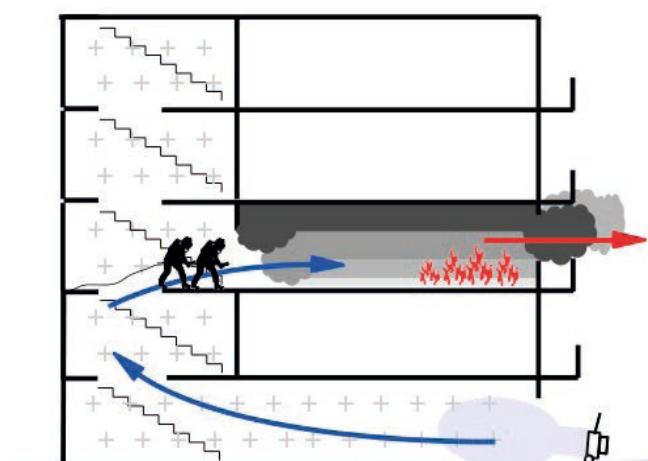
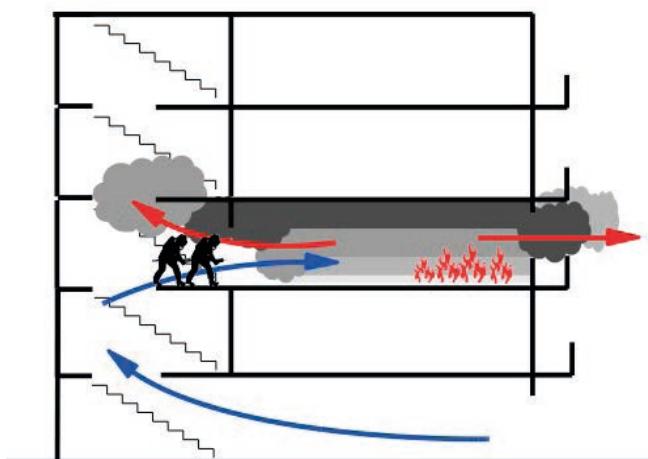


Imagen 127. Comparativa del desplazamiento de los gases de incendio en el acceso a una vivienda en altura desde la caja de escaleras con la misma sin presurizar o presurizada

La presurización de recintos es una sencilla técnica que permite proteger de la propagación del incendio por efecto de la convección pero no así frente a la propagación por radiación o conducción, si bien estas últimas juegan un papel de menor importancia en la propagación de incendios de interior.

2.3.4. Uso de VENTILADORES DE PRESIÓN POSITIVA

Los ventiladores de presión positiva crean un flujo de aire a gran velocidad a través del giro de una hélice radial. Es importante entender el comportamiento y funcionamiento de este flujo de cara a obtener el máximo rendimiento de este equipo en intervención.

a) Huella de un ventilador

Desde el punto de vista de la dinámica fluidos, un ventilador de presión positiva permite crear un campo de vectores en movimiento en las partículas de aire, lo que también se denomina como huella del ventilador. En las inmediaciones del ventilador cada partícula se mueve con una velocidad y dirección definida.

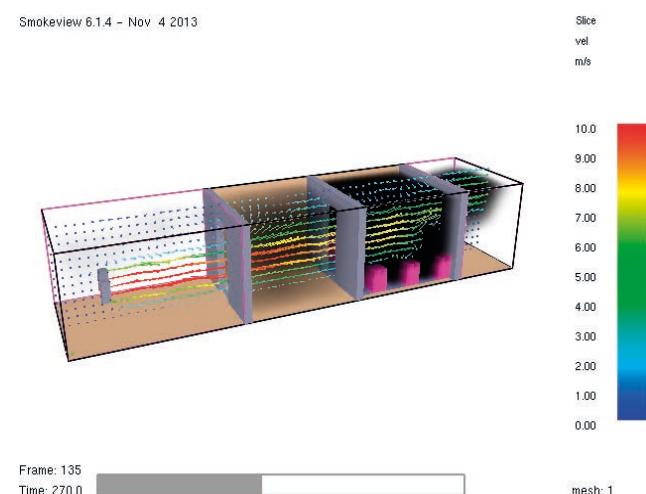


Imagen 128. Modelación FDS (Fire Dynamic Simulator) mostrando el campo de vectores para la velocidad y dirección del movimiento de gases durante una operación de Ventilación VPP Ofensiva

Los distintos ventiladores producen huellas ligeramente diferentes dependiendo de:

- El diseño de hélice
- El régimen de giro
- La rejilla frontal
- La existencia de deflectores
- La forma de la carcasa exterior,

En todo caso, se distinguen dos zonas en la huella de un ventilador:

- Dardo a alta velocidad.
- Bulbo de aire succionado o arrastrado por el dardo a alta velocidad.

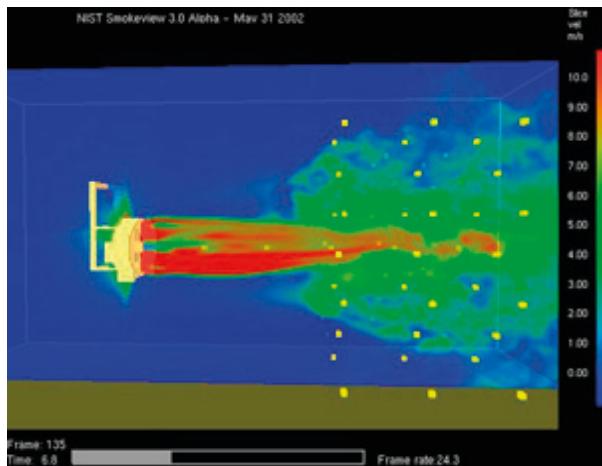


Imagen 129. Huella de un ventilador VPP en FDS (Fire Dynamic Simulator). Se aprecia el dardo de alta velocidad y el bulbo de aire succionado

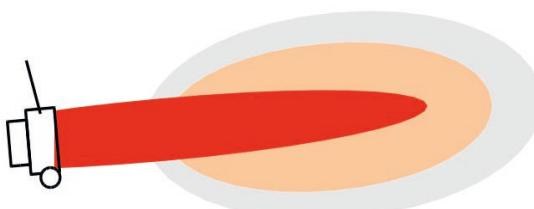


Imagen 130. Esquema de la huella de un ventilador VPP mostrando el dardo de alta velocidad y el bulbo de aire succionado.

Cuando las partículas en movimiento sufren una deceleración al encontrarse con una superficie o un fluido en reposo, se genera un aumento de presión que puede ser cuantificado a través de la ecuación de Bernoulli.

En el caso de que la deceleración sea total hasta el reposo (una pared).

$$v_2 = 0$$
$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{\rho v_1^2}{2}$$

En muchos textos y aplicaciones se suele identificar la huella de un ventilador a la forma de tronco de cono formado desde la sección de salida del ventilador, más o menos abierto, en función de las características del ventilador.

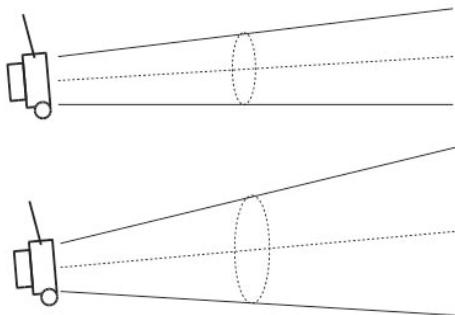


Imagen 131. Ventilador de cono cerrado (arriba) frente a ventilador de cono abierto (abajo)



Que el cono sea más abierto o más cerrado puede tener ventajas e inconvenientes y solo en aplicaciones concretas puede establecerse que una tipología de cono sea mejor que otra

Tabla 19. Comparativa de las ventajas de los conos de los ventiladores

| CONO CERRADO | CONO ABIERTO |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">Permiten un posicionamiento más lejano de la puerta de acceso no dificultan el paso.Una variación, a partir de la distancia óptima de colocación, no afecta tanto al rendimiento como en los de cono abierto.El caudal es ligeramente superior al existir mayor distancia entre el ventilador y la puerta de entrada para la succión de aire. | <ul style="list-style-type: none">Al poderse colocar más cerca de la puerta, se ajustan mejor a descansillos o plataformas donde no es posible alejar el ventilador.El cono más abierto implica menor velocidad de las partículas en la zona central y, por tanto, niveles de ruido aerodinámico inferiores.Menor nivel de turbulencias. |

b) Capacidad de un ventilador

Si bien la medición de la capacidad de un ventilador puede realizarse a través de varios parámetros, es preciso tener en cuenta el **tipo de caudal** referido y el método de medición a la hora de establecer comparaciones:

- Caudal estricto (Q_e)** [m^3/s] o [m^3/h]: es el volumen de aire que atraviesa la hélice del ventilador en la unidad de tiempo. Es el flujo de aire directamente impulsado por la hélice y no tiene en consideración el flujo succionado. Este es un parámetro que solo puede ser de utilidad en el empleo de VPP con mangas de prolongación.
- Caudal libre (Q_l)** [m^3/s] o [m^3/h]: es el volumen de aire total del flujo en un espacio abierto en la unidad de tiempo. Es la suma del caudal estricto y el flujo de aire arrastrado (Q_a). Este valor es de escasa utilidad, pues no se ajusta a las condiciones reales de aplicación en las que el flujo debe penetrar a través de una apertura.

$$Q_l = Q_e + Q_a = \max(A_i \times v_i)$$

Donde:

A_i = sección transversal i de la huella del ventilador [m^2].

v_i = velocidad longitudinal media de las partículas de aire en la sección A_i [m/s].

- Empuje (E)** [N]: si se aplica el principio de conservación de la cantidad de movimiento, la fuerza de empuje de un ventilador es una medida del caudal libre del mismo.

$$Q_l = \sqrt{E \times \frac{A_0}{\rho}}$$

Donde:

Q_i = caudal libre [m^3/s].

A_0 = sección transversal del ventilador [m^2].

E = empuje [N].

ρ = densidad del aire [1,2kg/ m^3].

Este puede ser un método efectivo para la valoración relativa del rendimiento comparado de distintos ventiladores.

- **Caudal efectivo (Q_i) [m^3/s] o [m^3/h]**: es el volumen efectivo del flujo de gases creado mediante un ventilador de VPP a través de una estructura medido en la salida de gases. El caudal efectivo proporciona una clara idea de la efectividad y rendimiento de un ventilador de VPP en una operación real.
- **Caudal AMCA240 ($Q_{AMCA240}$) [m^3/s] o [m^3/h]**: caudal efectivo medido de acuerdo al ensayo normalizado AMCA240 (American Air Movement Association). El ventilador VPP se coloca en el exterior de una primera cámara que presuriza su interior a través de una apertura. En una segunda cámara, comunicada a través de una apertura normalizada, un extractor crea una depresión. El cálculo del rendimiento se realiza usando la relación entre la presión exterior y la de las dos cámaras para distintos regímenes de giro del extractor.

Se trata del procedimiento estandarizado más comúnmente empleado por los fabricantes de ventiladores VPP y permite tener en cuenta el efecto del tránsito a través de la estructura.

La mayoría de los ventiladores de entre dieciocho y veinte pulgadas obtienen resultados entre los 25.000m³/h y los 30.000 m³/h.

- **Caudal ULH (Universidad de Le Havre) (Q_{ULH}) [m^3/s] o [m^3/h]**: caudal efectivo resultado de la extrapolación a la sección completa de la velocidad del aire medida con un anemómetro en el punto central de la apertura de salida de gases. Si bien este es un sencillo procedimiento, sobreestima claramente el caudal efectivo real al suponer que la velocidad en cualquier punto de la salida es igual a la velocidad en el punto central de la apertura. En esta metodología no está definida la geometría recinto ni la entrada y salida de gases, por lo que el valor dependerá de dichos factores.

$$Q_{ULH} = A_e \times v_e$$

Donde:

A_e = sección transversal de la salida de gases [m^2].

v_e = velocidad en el punto central de la salida de gases [m/s].

A modo de referencia, pueden compararse los valores de caudal efectivo para un mismo modelo de ventilador (Groupe Leader MT236) declarados por el fabricante y el caudal medido en situaciones de uso real según el método ULH.



Los valores de capacidad obtenidos en condiciones reales de intervención difieren significativamente de los referidos por los fabricantes en condiciones de laboratorio de ensayo. Esto obedece a que el sellado de los recintos no es perfecto, existen elementos de fricción y los tamaños de apertura y salida de gases no permiten obtener resultados tan óptimos como los de laboratorio.

Ensayos laboratorio

$$Q_{AMCA240} = 30000m^3/h$$

$$Q_{ULH} = 43000m^3/h$$

Empleo en situación real

$$Q_{ULH} = 14400 \text{ a } 18000 \text{ m}^3/\text{h}$$

c) Factores en la elección de un ventilador VPP

Es un error extendido entre los servicios de bomberos basar la elección de un ventilador VPP en criterios de capacidad. Partiendo de que no existe un equipo superior a otro, sino uno más o menos idóneo en función del entorno operativo (tipo de construcción, tamaño, geometría de las entradas, distancia hasta la entrada) y de la operativa concreta (personal disponible, colocación en el vehículo, suministro eléctrico), la elección debe realizarse considerando distintos factores:



Imagen 132. Distintos modelos de ventiladores en el rango de 18 a 21 pulgadas utilizados en operaciones más habituales de ventilación VPP. De izquierda a derecha: Ventry 20GX160, Leader MT236, Tempest SP 18" y Tempest BD 21"

• Capacidad del ventilador.

Los recintos de gran volumen con baja estanqueidad o con pasillos y elementos de fricción al flujo en el interior, requieren ventiladores de mayor capacidad. La capacidad de un ventilador crece ligeramente con la potencia; sin embargo, es el aumento de diámetro lo que la incrementa en mayor medida.

Un solo ventilador de entre dieciocho y veinte pulgadas (el tamaño más común para uso en bomberos) con valor $Q_{AMCA240}$ entre 25.000m³/h y los 30.000 m³/h suele tener suficiente capacidad para realizar operaciones de VPP ofensivo en viviendas unifamiliares de tamaño medio con niveles de estanqueidad estándar u operaciones de VPP defensivo en bloques de viviendas de cuatro a seis plantas.

• Distancia de colocación.

Los ventiladores con distancia de colocación a la puerta mayor permiten el paso con facilidad al personal, aunque son más difíciles de colocar en espacios reducidos como rellanos pequeños o puertas con escalera de entrada.



- **Sistema de alimentación.**

Eléctricos, térmicos e hidráulicos presentan distintas ventajas a la hora de operar. El uso de motores eléctricos requiere una alimentación. Esto puede ser problemático en entornos donde la ubicación de la bomba esté distante de la puerta de entrada. Los ventiladores hidráulicos, por su parte, requieren un despliegue de tendidos que los limita a aplicaciones muy específicas donde no pueda aplicarse otro tipo de alimentación (entornos inflamables).

El sistema de alimentación más generalizado es el motor térmico, ya que dota al ventilador VPP de autonomía y libertad de ubicación.

- **Diámetro de hélice.**

El tamaño de cono necesario vendrá determinado por el tamaño de la apertura de entrada. A medida que el ventilador se aleja de la entrada, el cono aumenta en tamaño, aunque llega un momento en que el rendimiento cae de forma notable. Un diámetro de hélice mayor permite, a igual distancia, trabajar con una apertura de entrada mayor. Un solo ventilador de entre dieciocho y veinte pulgadas permite trabajar con aperturas de hasta 2,5m de altura/anchura máxima; aunque, a partir de 2m de altura/anchura su rendimiento baja de forma notable.

- **Peso.**

Si bien casi todos los ventiladores disponen de ruedas para su transporte, es preciso tener en cuenta que los más pesados pueden requerir varias para ser depositados en el suelo desde el vehículo que los transporta. .

Más importante aún es el hecho de que muchas operaciones en bloques de viviendas pueden requerir la colocación de un ventilador en la planta de incendio. Existen ventiladores de entre dieciocho y veinte pulgadas con peso inferior a 35kg que permiten que un solo bombero lo desplace por las escaleras.

- **Ruido.**

Partiendo de que la coordinación de una operación de ventilación es esencial, es preciso ser consciente de que, una vez arrancado el ventilador VPP, el nivel de ruido crece y dificulta las comunicaciones. Gran parte del nivel sonoro se produce por ruidos aerodinámicos en el giro y choque de las palas de la hélice contra el aire. Por tanto, el diseño de la hélice es el factor fundamental que contribuye a la reducción de ruido.

- **Diseño funcional**

Los ventiladores sobre patas permiten que el flujo se despegue del suelo (que se traduce en un mejor rendimiento), menos arrastre de material suelto y posibilidad de colocarse en escaleras. Los ventiladores con las ruedas en la parte anterior o posterior presentan otras ventajas de cara a su movilidad. Los sistemas y rangos de inclinación entre fabricantes varían en nivel de efectividad.

d) Colocación de un ventilador VPP



La huella de un ventilador (el campo de vectores velocidad de las partículas de aire) varía con el diámetro y diseño de la hélice. La distancia óptima de colocación para obtener el máximo caudal efectivo depende de la huella del ventilador y del tamaño de la entrada.

El siguiente gráfico muestra la variación de caudal en función de la distancia a la entrada en un mismo modelo de ventilador.

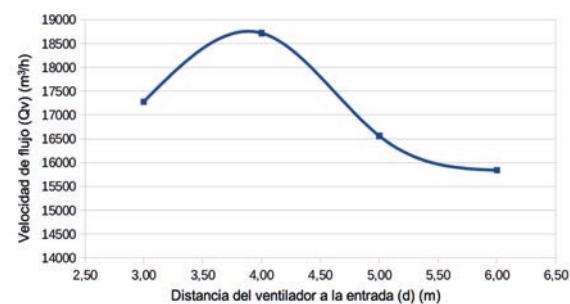


Imagen 133. Variación del caudal efectivo con la distancia del ventilador a la puerta.– Tests de flujo en las instalaciones de Groupe Leader en Octiville-sur-Mer (Francia)

Cuando el ventilador está muy cerca de la entrada, el flujo de aire entrante es menor, ya que no hay distancia suficiente como para que el volumen de aire arrastrado penetre en la estructura; tan solo entra el flujo correspondiente al dardo central. Además, gran parte de la entrada no queda presurizada y parte del aire escapa del interior del recinto por las zonas externas de la entrada.; el mismo flujo que entra, vuelve a salir y, de nuevo, es arrastrado al interior generando un flujo de gases estéril de cara a la ventilación. A este efecto se le llama **cortocircuito**.

Por otro lado, cuando el ventilador está a mayor distancia, la velocidad media del flujo es menor y, como consecuencia, el diferencial de presión que es capaz de crear en el interior del recinto es menor. .

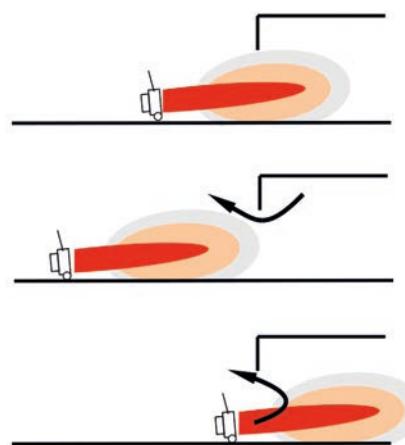


Imagen 134. Arriba, ventilador en su posición óptima. En el centro ventilador a excesiva distancia, el flujo de aire que impacta con la apertura lo hace a muy baja velocidad. Abajo, ventilador excesivamente cerca con problemas de recirculación o "cortocircuito"

Existe una variación importante de unos modelos a otros; para los modelos más habituales, (entre dieciocho y veinte pulgadas) y una puerta de dimensiones estándar (2m x 0,9m), la distancia óptima varía entre los 1,8m y los 5m. Todo ventilador debe ser ensayado con el objetivo de determinar la distancia óptima de colocación para los tamaños de puerta habituales.



De cara a la colocación del ventilador, se deberá tener en cuenta:

- Como regla general, una distancia excesiva afecta menos al rendimiento que una distancia demasiado corta. En caso de duda, mejor más alejado.
- En relación al tamaño de la entrada, se deberá tener en cuenta la mayor de las dimensiones (altura o anchura), ya que la sección transversal de la huella de un ventilador es circular.

e) Barómetro de entrada

Cuando se emplean técnicas de VPP Ofensivas y el ventilador es colocado una puerta a cuyo otro lado el recinto ya está inundado de humo puede plantarse el empleo del Barómetro de entrada. Esta técnica consiste en dirigir el flujo del ventilador de modo que no quede centrado en la apertura de acceso sino un poco más bajo (en torno a un 15% de la altura). La parte superior de la apertura está sometida a una menor presión por parte del VPP que la parte inferior, donde la velocidad del flujo es mayor.



Imagen 135. Esquema general del funcionamiento del barómetro de entrada. La salida continua o creciente de gases a través del hueco deliberadamente dispuesto en la parte superior indica que la ventilación no funciona correctamente

Cuando comienza la ventilación se generará un pequeño flujo de gases de salida en la zona superior. Si ese flujo no reduce su magnitud, es síntoma claro de que la salida de gases se ha cerrado o alguna puerta entre medias está cerrada no pudiéndose establecer un flujo de gases unidireccional.



Imagen 136. Bomberos observando el funcionamiento del barómetro en la entrada al inicio de una operación con empleo de Ventilación VPP Ofensiva

El barómetro permite al personal que está en la entrada valorar el funcionamiento de la ventilación ya que en la mayoría de los casos no tiene visión sobre la salida de gases. Esta técnica no implica que no sea necesario realizar una valoración del funcionamiento de la ventilación en la salida de gases sino que ofrece una información adicional al equipo que progresará por el interior.

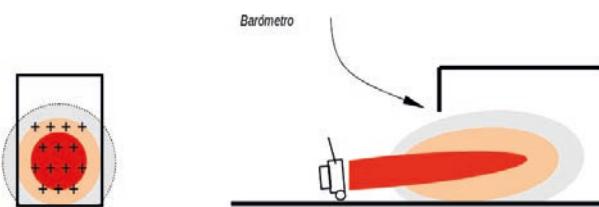


Imagen 137. Esquema transversal y longitudinal de la huella del ventilador al disponer un barómetro de entrada

Ventajas:

- Información sobre el funcionamiento de la ventilación desde la entrada

Inconvenientes:

- Ligera reducción en la efectividad de la ventilación
- En situaciones de gases extremadamente calientes favorece la turbulencia
- Solo aplicable en caso de que el recinto inmediatamente tras la puerta donde se coloca el ventilador esté inundado de humo

2.3.5. ENTRADA DE GASES



En las técnicas de VPP, tanto de carácter ofensivo como defensivo, se emplea una sola entrada para establecer el flujo de gases unidireccional a lo largo de la estructura. En ocasiones, pueden emplearse varias entradas, pero en todas ellas deberá ponerse un ventilador de tal modo y potencia que, a nivel de entrada, la presión ejercida por todos ellos sea similar.

Una de las ventajas de la VPP sobre otras técnicas de ventilación forzada es que la colocación del equipo se realiza generalmente en la misma puerta por la que se accede a la operación. Esto favorece que el equipo en progresión interior acceda con un soplo de aire fresco a su espalda desde el primer momento.

El tamaño de la entrada de gases determina en gran medida el tipo de ventilador VPP a emplear. Los ventiladores habituales de dieciocho a veinte pulgadas de diámetro han sido diseñados y optimizados para el tamaño estándar de puertas de acceso a viviendas (2x0,9m, 1,8m²). Cuando la entrada de ventilación excede la capacidad del ventilador, se debe emplear, bien un ventilador de mayor diámetro, bien varios ventiladores en paralelo. De este modo, las huellas generadas por cada uno cubrirán la totalidad de la entrada con pequeños solapes entre ellas.

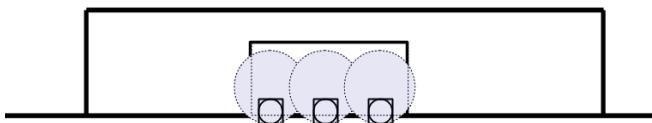


Imagen 138. Varios ventiladores en paralelo cubriendo una entrada de gran tamaño

Cuando se empleen técnicas de VPP para la presurización de recintos es preciso reducir el tamaño de entrada buscando la supresión total de la salida de gases y acortar la distancia de colocación del ventilador para ajustarse al dardo de alta velocidad central. El flujo de aire que impacta en la atmósfera interior lo hará a mayor velocidad y, por tanto, será capaz de crear un mayor diferencial de presión.

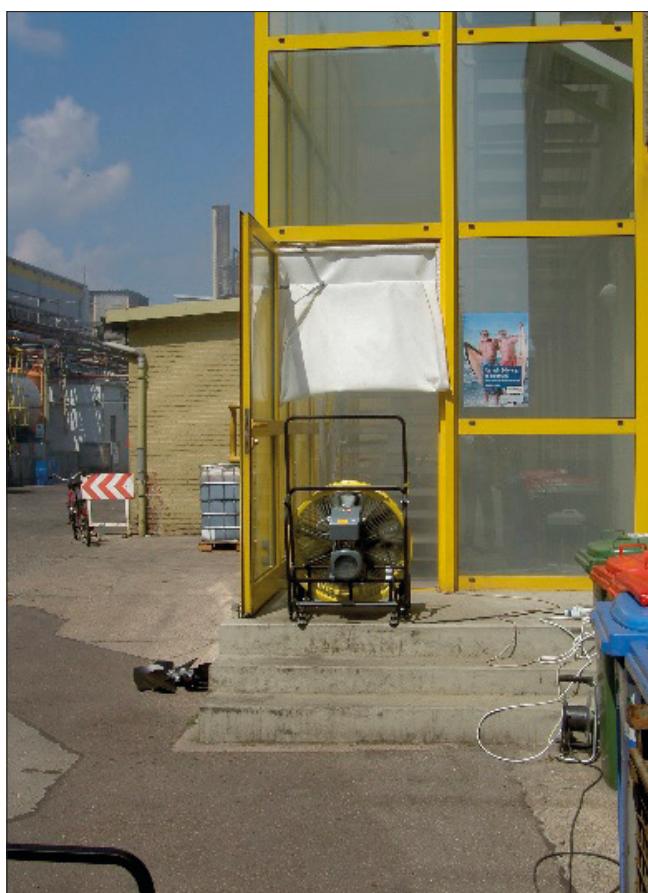


Imagen 139. Cortina de bloque de humo recogida hasta media altura para reducir el tamaño de la apertura de entrada y conseguir una mayor presurización. En este test se consiguió aumentar la presión desde los 30Pa de media con la apertura completa a 60Pa con la apertura al 50%

2.3.6. SALIDA DE GASES

Idealmente, la creación de un flujo unidireccional bien definido requiere una entrada y una salida. Se puede considerar que la apertura de varios huecos o ventanas dentro de un mismo recinto constituye una sola salida.

Lo que debe evitarse, en todo caso, es una ramificación del flujo de gases con huecos de salida diferentes a los del recinto por el que se pretende evacuarlos.

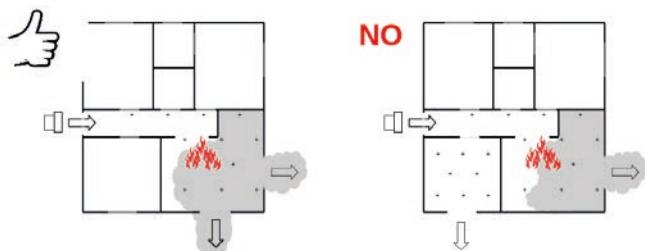


Imagen 140. Dos aperturas en el recinto de incendio contribuyen a la evacuación de gases de forma conjunta mientras que dos aperturas en distintos recintos debilitarán el flujo principal necesario en el recinto de incendio



La opción ideal en operaciones donde se emplee la VPP ofensiva es establecer la salida de gases en el punto más cercano al foco del incendio por varios motivos:

- **Reducir la ruta caliente** del flujo de gases (el espacio de gases en movimiento entre el foco y la salida de gases) deja menos espacio para que se mezcle con los gases procedentes de incendio. Una vez expulsados los gases de incendio, pueden favorecer la propagación del incendio por fachada, pero no contribuirán al desarrollo interior del incendio.
- Cabe esperar que un incendio pueda inflamar los combustibles a lo largo de la ruta caliente de gases. Al reducir la ruta caliente, también se **reduce el efecto de propagación** del incendio. Los gases abandonan la estructura rápidamente sin afectar a otras zonas.
- Por el comportamiento de víctimas en incendio se sabe que tienden a abandonar el recinto del incendio en dirección a la entrada natural de la vivienda. Uno de los riesgos del empleo de las técnicas de VPP ofensiva es la presencia de víctimas en la ruta caliente de gases. Al optar por una salida en el propio recinto de incendio, se **reduce la probabilidad de que la víctima se encuentre en dicha ruta**; en primer lugar porque ésta es más reducida y, en segundo lugar, porque se evita sacar los gases por zonas donde la víctima intentará ponerse a salvo.

La cámara térmica resulta de gran utilidad durante la valoración perimetral exterior ya que permite comparar la temperatura exterior de las distintas ventanas para determinar la localización del foco del incendio.

En operaciones de VPP defensiva, la salida de gases deberá localizarse en la posición más alta posible. Los humos en el interior se habrán estratificado por efecto de la temperatura, de modo que la ventilación VPP solo será capaz de evacuar el humo acumulado hasta la altura de salida de gases practicada.

Para la presurización de recintos, el tamaño de la salida de gases deberá ser lo más pequeño posible o, aun mejor, una ausencia total de salida. En la medida en la que se reduzca el flujo de gases y se mantenga la posición del ventilador VPP, el diferencial de presión interior será mayor.

2.3.7. VENTILACIÓN SECUENCIAL

La limpieza completa de un recinto complejo en una técnica VPP defensiva requiere un barrido secuencial de las estancias y el uso de múltiples salidas de gases. En ningún

caso se abrirán de forma simultánea todas las estancias que se quieran ventilar pues el rendimiento de la ventilación será muy bajo. Este es el procedimiento óptimo de la ventilación secuencial:

1. Abrir la salida de gases más cercana a la puerta de entrada.
2. Una vez limpia la zona conexa a dicha apertura, abrir la segunda salida de gases más cercana a la puerta.
3. Cerrar inmediatamente la primera salida de gases.
4. Repetir el proceso sucesivamente de modo que en ningún momento queden cerradas todas las salidas de gases y que solo, de forma puntual (mientras se cierra la salida de gases anterior), haya dos abiertas. La apertura de salida de gases se realizará desde la zona más cercana a la entrada a la más lejana para evitar que se disperse humo a zonas ya limpias.

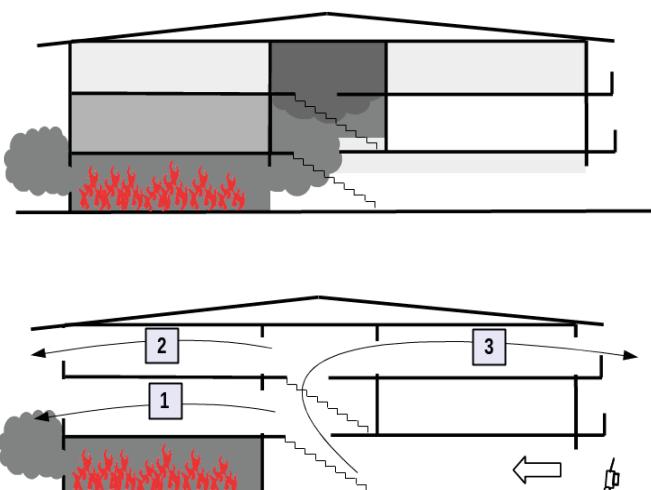


Imagen 141. Ventilación secuencial en una operación de ventilación defensiva para limpiar de humo todas las estancias de bloque de viviendas

2.3.8. VARIACIÓN DEL CAUDAL DE VENTILACIÓN DEPENDIENTE DE LA RELACIÓN ENTRE ENTRADA Y SALIDA

Con carácter general se establece que:

- Una salida de mayor tamaño implica mayor caudal.
- El caudal de salida no solo depende del tamaño de la salida, sino también del de entrada.
- Una ventilación poco efectiva en operaciones ofensivas (flujo a través del foco de incendio) puede implicar el crecimiento del incendio por la mezcla de aire y gases de incendio.

Aplicando el Principio de Conservación de la Masa, el Principio de Conservación de la Cantidad de Movimiento y la Ecuación de Bernoulli es posible determinar el caudal efectivo (Q_r) de un flujo generado por un ventilador de VPP y expresarse en base a la relación entre los tamaños de salida (A_e) y la entrada de gases (A_i). A efectos de simplificación de la relación se descarta el efecto del incendio.

$$Q_r = k \times \frac{r}{\sqrt{1 + r^2}}$$

con

$$r = \frac{A_e}{A_i}$$

Donde:

Q_r = caudal efectivo del flujo generado por la VPP excluyendo el efecto del incendio [m^3/s].

k = constante que depende del flujo del ventilador, su diámetro, la geometría de la entrada y el coeficiente de pérdida de presión del recinto.

A_e = área de la salida [m^2].

A_i = área de la entrada [m^2].

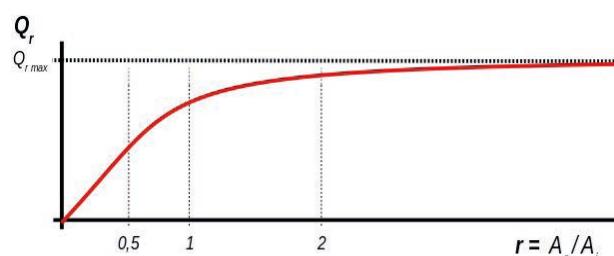


Imagen 142. Variación del caudal efectivo (Q_r) y la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i). Una salida dos veces el tamaño de la salida da resultados más que suficientes

Una salida dos veces el tamaño de la entrada da resultados más que suficientes.

La representación gráfica de la expresión permite analizar la influencia de la relación entre la salida y la entrada de gases en la **ventilación VPP**:

- A medida que la salida de gases (A_e) se hace mayor con respecto a la entrada (A_i), el caudal efectivo (Q_r) crece hasta alcanzar una asymptota (límite para el cual, un mayor aumento de la salida implica un aumento del caudal despreciable).
- En un recinto habitual de incendio el rango posible para la relación r entre la salida y la entrada varía entre $r=0,5$ y $r=4$. (tabla 20)
- Reducir el tamaño de la entrada con objeto de obtener un valor de r mayor sin variar la salida de gases no aumenta la efectividad de la ventilación. Al reducir el tamaño de la entrada y, por tanto, su geometría, modificamos el valor k de la expresión anterior y el rendimiento se reduce.
- A efectos prácticos, el tamaño de la entrada viene determinado por el tamaño de la puerta de acceso y la variación de r se consigue modificando el tamaño de la salida de gases (A_e).

Tabla 20. Rendimientos de la ventilación sobre el teórico máximo

| | |
|---------|-----|
| $r=0,5$ | 50% |
| $r=1$ | 71% |
| $r=1,5$ | 83% |
| $r=2$ | 89% |
| $r=3$ | 95% |
| $r=4$ | 97% |



- Para operaciones con técnicas VPP ofensivas se recomienda un valor mínimo de $r=1$ (salida igual a la entrada).
- Para operaciones con técnicas VPP defensivas se recomienda un valor mínimo de $r=0,5$ (salida la mitad de tamaño que la entrada).
- En cualquier caso, a partir de $r=2$, la eficacia de la ventilación no aumenta excesivamente, por lo que la apertura de más salidas (considerando el tiempo y esfuerzo necesario para ello) no compensa.

Tabla 21. Relación salida / entrada ($r = A_e / A_i$)

| | r recomendable | r mínimo |
|------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Ventilación natural vertical | $r < 0,5$ | $r < 1$ |
| VPP Ofensivo | $r > 2$ | $r > 1$ |
| VPP Defensivo | $r > 2$ | $r > 0,5$ |

Este cuadro no considera los efectos exteriores de viento. Para VPP la r recomendable se reduce cuando la salida se encuentra a barlovento (ventilación contra el viento).

2.3.9. VARIACIÓN DEL DIFERENCIAL DE PRESIÓN INTERIOR DEPENDIENDO DE LA RELACIÓN ENTRE ENTRADA Y SALIDA

Previamente se ha indicado cómo una mayor velocidad de flujo implica una caída de la presión. Cuando en un recinto sometido a ventilación VPP, el flujo y la eficiencia de la ventilación es alta, el diferencial de presión interior es bajo. Si el objetivo es evacuar los gases del interior, esta es la opción más conveniente. Cuando se busca crear un diferencial de presión en el interior para evitar la propagación del incendio y la dispersión de gases, será más adecuado reducir el flujo disminuyendo el tamaño de la salida de gases.

Aplicando el Principio de Conservación de la Masa, el Principio de Conservación de la Cantidad de Movimiento y la Ecuación de Bernoulli, es posible **determinar el diferencial de presión (ΔP)** generado por un ventilador de VPP y expresarse según la relación entre los tamaños de salida (A_e) y la entrada de gases (A_i). A efectos de simplificación de la relación se descarta el efecto del incendio.

$$\Delta P = \frac{k'}{(1 + r^2)}$$

con

$$r = \frac{A_e}{A_i}$$

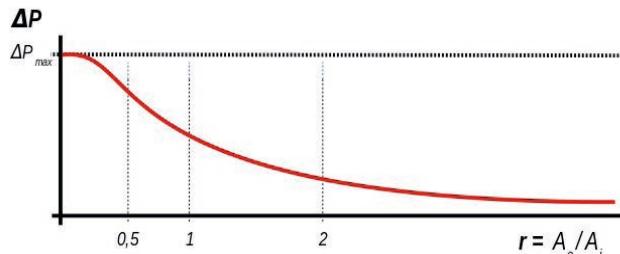
Donde:

ΔP = diferencial de presión en el interior del recinto excluyendo el efecto del incendio [Pa]

k' = constante que depende de la densidad del fluido, el flujo del ventilador, su diámetro, la geometría de la entrada y el coeficiente de pérdida de presión del recinto

A_e = área de la salida [m^2]

A_i = área de la entrada [m^2]

**Imagen 143.** Variación del diferencial de presión interior (ΔP) y la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i)

La representación gráfica de la expresión permite analizar la influencia de la relación entre la salida y la entrada de gases en **la presurización** de un recinto sometido a VPP:

- A medida que la salida de gases (A_e) se hace mayor con respecto a la entrada (A_i), el diferencial de presión (ΔP) se reduce desde el máximo valor posible (cuando la salida está cerrada) hasta aproximarse a 0.
- En un recinto habitual de incendio el rango posible para la relación r entre la salida y la entrada varía entre $r=0,5$ y $r=4$. Los diferenciales de presión creados sobre el teórico máximo para estos valores serían: (TABLA 22)
- Aumentar el tamaño de la entrada con objeto de obtener un valor de r menor sin variar la salida de gases, no aumenta el diferencial de presión. Al contrario, aumentar su geometría modifica el valor k' de la expresión anterior y el rendimiento se reduce.
- A efectos prácticos, el tamaño de la entrada viene determinado por el tamaño de la puerta de acceso y la variación de r se consigue modificando el tamaño de la salida de gases (A_e).
- En operaciones de presurización de recintos, siempre que sea posible, se procurará cerrar toda salida de gases.
- En operaciones de ventilación VPP ofensivas o defensivas, el objetivo es evacuar los gases. La relación entre la entrada y la salida se ha de basarse en criterios de efectividad de la ventilación y no del valor del diferencial de presión interior.

Tabla 22. Diferenciales de presión creados sobre el teórico máximo

| | |
|---------|-----|
| $r=0,5$ | 80% |
| $r=1$ | 50% |
| $r=1,5$ | 30% |
| $r=2$ | 20% |
| $r=3$ | 10% |
| $r=4$ | 6% |

2.3.10. PÉRDIDAS DE EFICIENCIA: MAL SELLADO Y FRICTION

Cuando un recinto es objeto de una ventilación o presurización mediante un ventilador VPP, dos factores relativos al recinto influyen en su eficiencia:

- Pérdidas de flujo:** la falta de sellado o aperturas no deseadas (y que no pueden ser cerradas) constituyen una pérdida constante de flujo y presión. Se trata de un cúmulo de pequeñas pérdidas en cajas de persiana, rejillas de ventilación, conductos de extracción, ventanas deslizantes, rendijas de puertas, etc. Las viviendas con buen aislamiento térmico gozan de mayor estanqueidad que las tradicionales.
- Fricción:** a lo largo del recorrido del flujo de gases, se producen giros, estrechamiento y choques con elementos fijos que implican aceleración y desaceleración de las partículas de aire con la consiguiente pérdida de energía. A mayor longitud y sinuosidad en el recorrido del flujo de gases, mayor fricción, por lo que resulta necesaria una mayor cantidad de energía para mantener el flujo.

Durante la aplicación de una ventilación VPP, tan pronto como sea posible, debe revisarse todo el recorrido de los gases cerrando aquellos huecos innecesarios. Esta tarea puede ser incluso realizada desde el exterior. Cerrar las puertas de acceso a habitaciones, a pesar de que sus ventanas estén cerradas, contribuye a una mayor estanqueidad.



El volumen de la estructura por sí mismo no supone una pérdida de flujo o presión. La **disminución de la eficiencia** está directamente relacionada con la cantidad de aperturas no deseadas y de elementos de fricción en el recorrido.

- Las **pérdidas de flujo** suponen una caída de la presión interior y, por tanto, un menor flujo en la salida de gases designada.
- Los **elementos de fricción** suponen una mayor resistencia al tránsito del fluido y, por tanto, un menor caudal efectivo de salida.

La eficiencia en la ventilación constituye un factor crítico en operaciones de ventilación VPP ofensiva. Su empleo en viviendas con bajo nivel de estanqueidad o que requieran un recorrido largo del flujo de gases hasta el recinto de gases debe valorarse especialmente, pues un caudal reducido puede no ser capaz de realizar el bárrido de los gases de incendio y, en cambio, generar una mezcla de gases de incendio y aire hasta su rango de inflamabilidad.

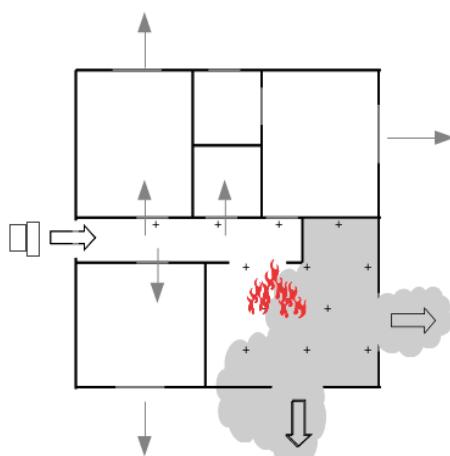


Imagen 144. El mal sellado de la estructura genera pérdidas de flujo e ineficiencia. Esto dificulta especialmente las operaciones con técnicas de Ventilación VPP Ofensiva

2.3.11. Uso COMBINADO DE VENTILADORES

Existen diferentes situaciones que pueden requerir el empleo de una combinación de ventiladores:

- Hueco de entrada excesivamente grande: un solo ventilador VPP no es capaz de cubrir la entrada.
- Pérdidas de flujo: un volumen importante del flujo se pierde a través de salidas no deseadas.
- Pérdidas por fricción: ya sea por la longitud del recorrido de gases, por la existencia de pasillos estrechos o por numerosos cambios de dirección, la energía cinética que imprime el ventilador a las partículas de aire acaba perdiéndose sin resultados en la evacuación de los gases.

Tipología del uso combinado de ventiladores:

- **Ventiladores en paralelo:** los ventiladores se disponen en paralelo para cubrir un hueco de entrada excesivamente grande para un solo ventilador. La distancia de separación entre ventiladores es igual al tamaño óptimo de la apertura para un solo ventilador. En general para ventiladores de dieciocho a veinte pulgadas, 2m de separación entre ventiladores y corrientes de flujo paralelas sería la opción más común.
- **Ventiladores en serie en la entrada:** datos experimentales apuntan a un aumento del caudal efectivo de entre el 5% y el 10% en función de las distancias entre ventiladores. Por tanto, también se trata de una configuración ineficiente cuyo empleo debe evitarse en favor de técnicas más efectivas.

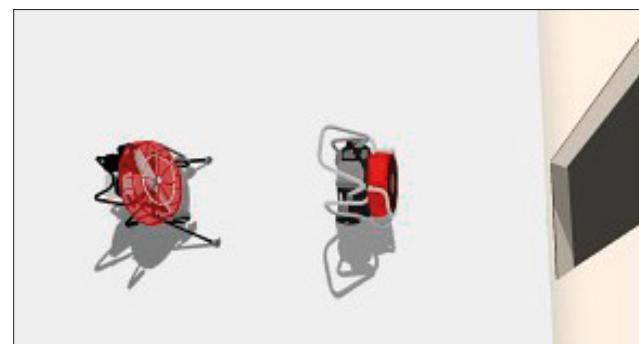


Imagen 145. Ventiladores en serie

Detrás de la falta de efectividad de esta técnica reside el hecho de que el diseño de la hélice de los ventiladores y, en concreto, el paso de hélice está preparado para imprimir movimiento al aire que está en reposo y no para acelerar aire que ya tiene una considerable velocidad.

- **Ventiladores en V:** dos ventiladores colocados en paralelo con ambos flujos dirigidos al centro de la apertura (a diferencia de los ventiladores en paralelo, cuyos flujos siguen trayectorias paralelas). Datos experimentales apuntan a un aumento del caudal efectivo de hasta un 35% con una distancia entre ventiladores igual al tamaño de apertura óptima (2m para ventiladores de dieciocho a veinte pulgadas).

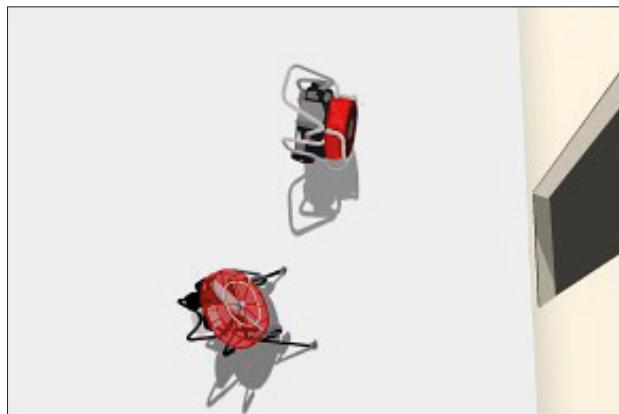


Imagen 146. Ventiladores en V

- **Ventiladores en serie a lo largo del recorrido:** un primer ventilador (el de mayor capacidad –denominado principal–) se coloca en la entrada del recinto. Las pérdidas de carga a lo largo del recorrido hacen que, en un punto concreto, la velocidad sea muy baja. En esa posición se coloca el segundo ventilador (llamado auxiliar) volviendo a impulsar el flujo.

El empleo de esta técnica puede generar un aumento del flujo de gases superior a cualquiera de las dos anteriores. El segundo ventilador, además, genera una depresión por su parte posterior hacia la cual tiende a dirigirse el flujo del ventilador principal, reduciendo aún más el efecto de otras pérdidas de carga.

En edificios multivienda en varias alturas esta disposición resulta muy recomendable, incluso imprescindible en la mayoría de los casos si se trata de ventilación VPP ofensiva.

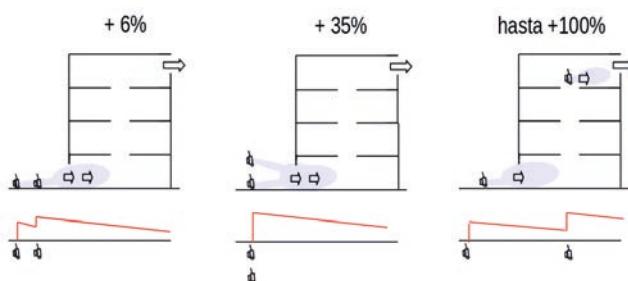


Imagen 147. Comparación del aumento del caudal efectivo con distintas combinaciones de ventiladores

2.3.12. INFLUENCIA DEL VIENTO EN LA VPP

Cuando el viento incide sobre las fachadas de una edificación genera un diferencial de presión cuya magnitud depende de la velocidad del viento, de la geometría del edificio y de la posición de la fachada respecto al viento. Con carácter general, se produce una sobrepresión en las fachadas a barlovento (orientadas al viento) y una succión en las fachadas a sotavento (aguas abajo). En cubiertas y fachadas laterales (no directamente expuestas al viento), el diferencial de presión varía desde valores positivos (sobrepresión) en la zona próxima a barlovento, a valores negativos (succión) en la zona próxima a sotavento.

Se denomina presión eólica básica (P_{wb}) al aumento de presión resultante de reducir la velocidad de las partículas de viento hasta su detención completa.

Donde:

$$P_{wb} = \frac{\rho v^2}{2}$$

donde

P_{wb} es la presión eólica básica [Pa]

ρ = densidad del aire ($\rho = 1,2\text{kg/m}^3$).

v = velocidad re referencia del viento [m/s].

Este croquis refleja los diferenciales de presión entre las fachadas para una configuración particular de cubierta..

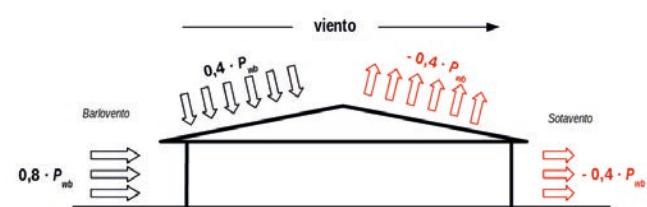


Imagen 148. Distribución de la presión eólica en un edificio con cubierta a 40° según NBE-AE88



Calcular el diferencial de presión creado por un viento a 6m/s entre las fachadas a barlovento y sotavento.

$$v = 6 \text{ m/s}$$

$$P_{wb} = \frac{\rho v^2}{2}$$

$$P_{wb} = \frac{1,2 \times 36}{2} = 21,6 \text{ Pa}$$

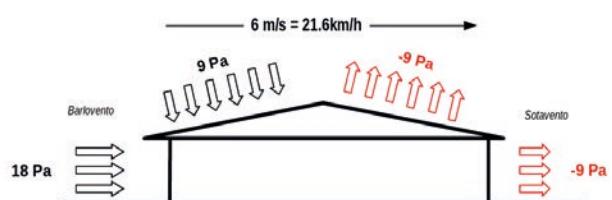


Imagen 149. El diferencial de presión generado en cada una de las fachadas.

$$P_{wb@sotavento} = 0,8 \times P_{wb} = 0,8 \times 21,6 = 17,28 \text{ Pa}$$

en la cara de sotavento respecto a la presión atmosférica.

$$P_{wb@barlovento} = -0,4 \times P_{wb} = -0,4 \times 21,6 = -8,64 \text{ Pa}$$

en la cara de barlovento respecto a la presión atmosférica.

Entre ambas fachadas se genera

$$\Delta P = P_{wb@sotavento} - P_{wb@barlovento} = 17,28 - (-8,64) = 25,92 \text{ Pa}$$

Respuesta: existe una diferencia de presión de 25,92Pa entre la fachada a sotavento y la fachada a barlovento. En caso de realizar una técnica de ventilación contra la dirección del aire será necesario vencer un diferencial de presión de 25,92Pa.

Cuando se emplea una técnica de VPP en condiciones de viento, el diferencial de presión existente entre las fachadas obrará a favor o en contra del flujo que se pretende crear según la configuración de la ventilación designada.



En la mayoría de los casos, se recomienda elegir configuraciones que eviten tener que vencer un diferencial de presión generado por el viento. La opción óptima es que este actúe a nuestro favor.

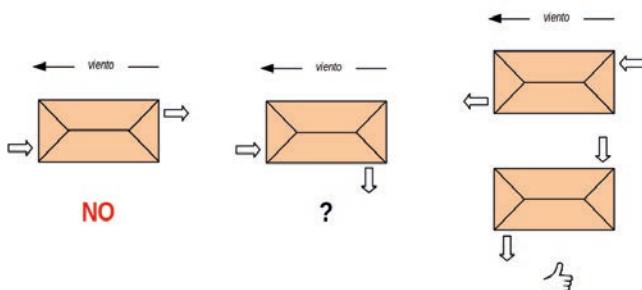


Imagen 150. Las configuraciones en las que entrada o salida reciben una presión eólica contraria al flujo que se quiere establecer deben ser evitadas

Recurriendo a la gráfica que representaba el diferencial de presión interior con respecto a la relación r entre los tamaños de salida y de entrada de gases, se puede representar el efecto del viento como una línea horizontal situada a la altura de la diferencia de presión a vencer. El saldo de presión interior será el resultado de alcanzar la curva desde esta línea.

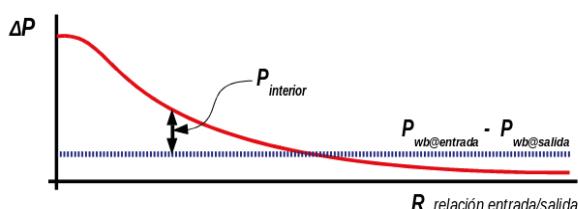


Imagen 151. Saldo de presión interior en una técnica de VPP en contra del viento

Si en situaciones de viento en contra, se opta por la reducción del tamaño de la salida de gases se consigue aumentar el diferencial de presión interior por encima de la acción del viento de modo que es posible establecer un flujo en contra del viento. Sin embargo, esta opción implica un menor rendimiento de la ventilación como tal, la reducción de la relación r entre la entrada y la salida y el consiguiente riesgo de mezcla de gases de incendio y aire fresco en operaciones de VPP ofensivo.

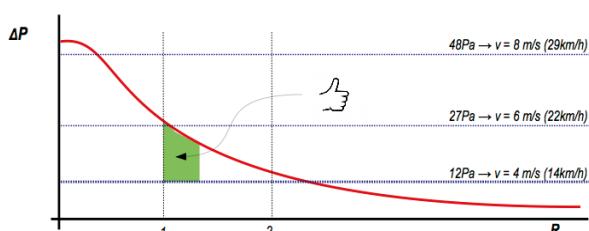


Imagen 152. Saldo de presión interior en una técnica de VPP en contra del viento

Al representar en una gráfica la curva típica de diferencial de presiones para un ventilador VPP frente a los niveles de presión eólica en contra de 4m/s, 6m/s y 8m/s, se observa que resulta imposible mantener una relación $r>1$ y un diferencial de presión interior aceptable con valores de viento en contra superiores a 4m/s.

Por tanto, debería valorarse el empleo de la VPP en situaciones de viento en contra superiores a 4 m/s.

2.4. CONTROL DE PUERTA DE ACCESO

Una puerta abierta puede tener un impacto fundamental en el desarrollo de una operación. La puerta de acceso no solo cede el paso de los bomberos al interior, en la medida en que aporta aire fresco, permite que los gases de incendio puedan dispersarse, con lo que interfiere en la dinámica del incendio.

Las técnicas de control de puerta de acceso consisten en entornar la puerta o colocar una cortina de bloqueo de humo para evitar o minimizar el flujo de aire entre el interior y el exterior. La puerta debe quedar entornada al ancho de la manguera y un bombero administrará el paso de la manguera a medida que el equipo interior avance.



Imagen 153. Puerta entornada a la anchura de paso de la manguera



Las cortinas de bloqueo de humo, además de proporcionar un sencillo paso de la manguera por la parte baja, evitan la dispersión de gases al exterior al bloquear completamente la parte superior y permiten prescindir del bombero que ayuda a dicha operación.





Imagen 154. Paso de manguera por debajo de cortina de bloqueo de humo

3. TRABAJO EN ESPACIOS SIN VISIBILIDAD

3.1. ORIENTACIÓN EN ESPACIOS SIN VISIBILIDAD

En el momento que el equipo en progresión interior se interna en un recinto sin visibilidad deben emplearse técnicas que permitan la orientación dentro de la estructura para realizar las operaciones de búsqueda, rescate y ataque a fuego. Ante la eventualidad de un desarrollo desfavorable del incendio, el personal también deberá ser capaz de localizar y seguir la ruta de escape al exterior.

Siempre que sea posible, el bombero deberá disponer de, al menos, dos de los siguientes medios para orientarse:

- **Tendido de manguera:** no solo protege frente a la evolución del incendio, sino que también constituye un elemento guía a lo largo de toda la progresión al mantener la ruta de escape al exterior perfectamente marcada. El bombero desorientado que haya perdido la referencia de la manguera, buscará a ras de suelo realizando un barrido sin perder la pared de referencia. Ahora bien, para realizar rastreos en zonas amplias, puede resultar lento y estresante.



Imagen 155. Bombero intentando localizar manguera

- **Paramento de referencia:** en condiciones de visibilidad nula, la progresión debe realizarse tomando como referencia la pared del recinto. Mantener la referencia de la pared siempre a mano izquierda, o siempre a mano derecha, permite en todo momento emprender el camino de salida del recinto simplemente cambiando la referencia y deshaciendo el camino andado.



Imagen 156. Bombero empleando la pared como referencia de orientación

Incluso en entornos con visibilidad, debe mantenerse una referencia visual con la pared para que, en caso de caída del plano neutro, se pueda recurrir a este método de orientación.

- **Cámara térmica:** esta herramienta permite una visión completa del recinto. En muchas situaciones, ofrece una imagen suficientemente nítida como para que el equipo pueda orientarse. Sin embargo, en condiciones de humo muy denso y altas temperaturas, la imagen puede perder definición. Ante esta eventualidad y el riesgo de agotamiento de baterías, este medio de orientación debe ser siempre complementario.



Imagen 157. Bombero empleando cámara térmica como referencia de orientación

- **Cuerda guía:** en espacios amplios sin visibilidad y baja temperatura (normalmente fuera del recinto de incendio), pueden emplearse cuerdas guías como elemento para asegurar el retorno a un punto de origen o para la realización de barridos de rastreo.



Imagen 158. Bombero empleando cuerda guía como referencia en un rastreo

3.2. RASTREO Y BÚSQUEDA DE VÍCTIMAS EN ESPACIOS SIN VISIBILIDAD

Aunque el rastreo y búsqueda de víctimas en el interior son una prioridad táctica en la mayoría de las intervenciones, existen situaciones en las se debe realizar un control previo del incendio para asegurar la vida de la víctima o evitar un agravamiento general de la situación.

Los recursos disponibles de personal y el número de víctimas condicionan el tipo de técnica a emplear. La posibilidad de simultanear las tareas de ataque a incendio y bús-

queda de víctimas aumenta el abanico de posibilidades y permite reducir el tiempo necesario para poner la víctima a salvo, lo que aumenta su probabilidad de supervivencia.

Herramientas como la cámara térmica son de gran utilidad en el rastreo y búsqueda, ya que reducen el tiempo necesario para rastrear un recinto y facilitan la orientación del personal en la progresión interior sin visibilidad. El empleo de otras herramientas de mano, tipo *halligan*, herramienta de bombero o multiherramienta tipo TNT pueden ser de gran ayuda para palpar mayor área de suelo y realizar los accesos forzados.

a) Rastreo y búsqueda por el equipo de ataque interior al incendio

El equipo en progresión interior recorre, en la mayoría de los casos, la ruta de escape de una posible víctima en sentido inverso. Durante la progresión, puede realizar un rastreo del recinto para descartar la presencia de víctimas.

- **Método de barrido:**

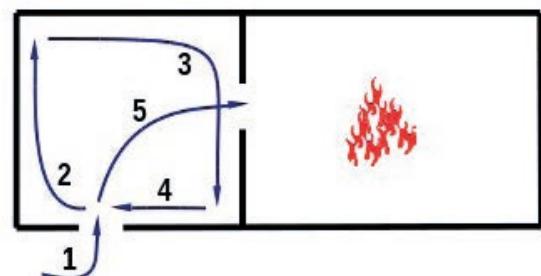


Imagen 159. Método de barrido

- (1) Una vez pasada la puerta de acceso al recinto, el equipo toma una referencia de avance (pared derecha o izquierda).
- (2) Siempre avanzando con el tendido y sin perder la referencia, el equipo rastrea la zona al alcance desde la pared.
- (3) (4) (5) Completado el perímetro y de vuelta a la puerta de acceso, el equipo avanza hasta la puerta siguiente completando el rastreo de la zona central.

- **Método francés:**

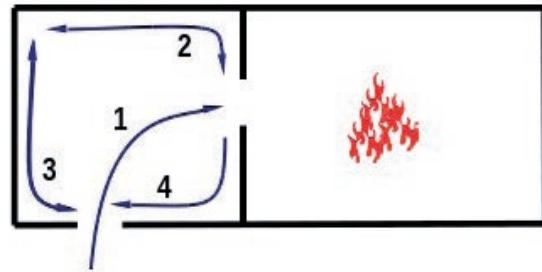


Imagen 160. Método francés

- (1) Una vez en la puerta de acceso al recinto, el equipo avanza hasta la puerta del siguiente recinto rastreando la zona a su paso.
- (2) (3) Cuando se ha alcanzado la puerta de acceso al siguiente recinto, el punto de lanzamiento permanece estático mientras que el bombero de apoyo toma una referencia y rastrea el perímetro hasta cruzarse con el tendido de manguera, momento en el que retorna a la posición del punto de lanzamiento.
- (4) Se repite la anterior secuencia tomando la referencia contraria.



b) Rastreo y búsqueda por el equipo independiente al de ataque interior al incendio.

La posibilidad de simultanear las tareas de ataque a incendio y búsqueda de víctimas permite reducir el tiempo necesario para poner la víctima a salvo y por tanto aumentar la probabilidad de supervivencia.

En esencia, un equipo independiente realiza el rastreo y búsqueda consistente en un barrido del recinto tomando una referencia de pared para seguirla y retornar al punto de inicio. En recintos de gran superficie (mayores de 30m²) puede ser de gran utilidad el empleo de cuerda guía para realizar el barrido de la zona central.

La principal diferencia en el uso de las técnicas de rastreo y búsqueda reside en el modo de acceso:

- **Por el interior:** el equipo de rescate busca víctimas en recintos en los que se accede por el interior de la vivienda. En la mayoría de los casos, en zonas que quedan atrás del punto de máximo avance del tenido.
- **Por el exterior (VEIS):** es el principal modo de rescate en los servicios norteamericanos. En Europa se emplea con vehículos de acceso en altura para edificios de varias plantas y con una escalera corredera para acceder a una ventana en edificios de menor altura. En el entorno suburbano actual, de viviendas unifamiliares, puede tener gran eficacia.

La secuencia característica en estas situaciones consta de los siguientes pasos:

1. Mediante un vehículo de altura o una escalera corredera, el bombero accede a través de la ventana al recinto a rastrear.
2. Inmediatamente cierra la puerta del recinto para no crear un flujo de gases que salga por la ventana que le ha permitido el acceso al recinto.
3. Tomando una referencia y con ayuda de la herramienta de mano, rastrea la estancia.
4. Abandona el recinto por la misma ventana de acceso para no exponer al personal a los gases de incendio del resto de la estructura.

c) Rastreo y búsqueda empleando técnicas de VPP defensiva

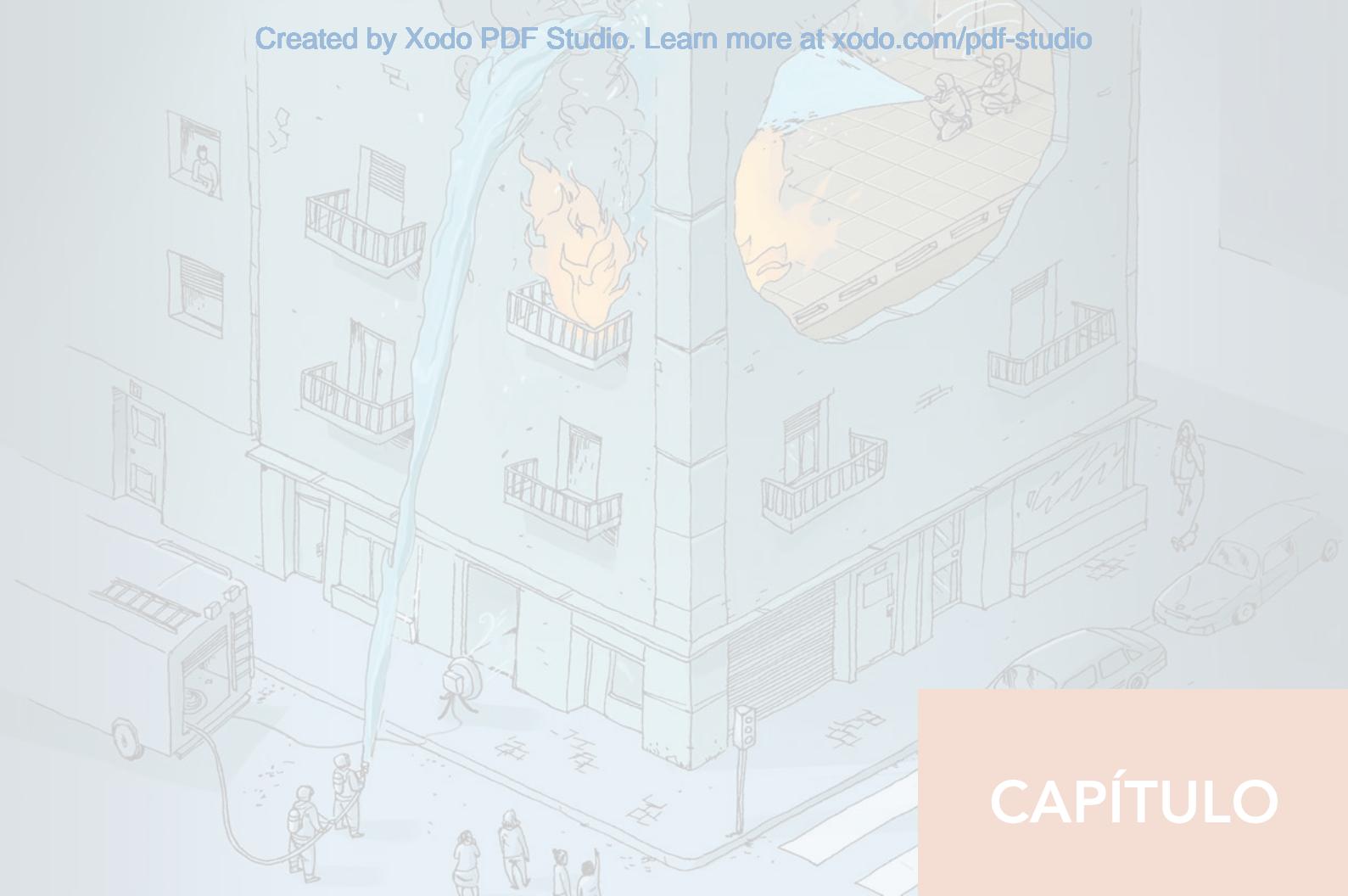
Los gases de incendio constituyen el mayor riesgo para las víctimas. De forma habitual, se opta por técnicas que “extraen” a la víctima de la zona de peligro. Sin embargo, otra opción consiste en retirar el peligro (el humo y la temperatura) de la zona donde se encuentra la víctima.

La ventilación VPP defensiva tiene especial interés en edificios complejos, en incidentes con múltiples víctimas o cuando las tareas de ataque a incendio y búsqueda de víctimas no pueden ser simultáneas por escasez de personal.

La secuencia característica en estas situaciones consta de los siguientes pasos:

1. Confinamiento del incendio. Se cierra la puerta de acceso al incendio o se coloca una cortina de bloqueo de humo.
2. Empleo de técnicas de ventilación VPP para ganar visibilidad en espacios comunes de tránsito como cajas de escalera o pasillos.
3. Ventilación secuencial de todos los recintos inundados de humo en busca de víctimas.





CAPÍTULO 3

Valoración de incendios de interior



La valoración de un siniestro es quizás la labor más compleja. A la urgencia de la situación, se une la confusión y la dificultad para disponer de información fidedigna, así como la propia dificultad técnica de las valoraciones y decisiones a tomar.

Los errores durante la fase de valoración desembocan en planteamientos tácticos inadecuados que pueden generar serios riesgos difíciles de manejar. Por ello, la valoración es determinante en el desarrollo posterior de la intervención.

Las dificultades en la valoración del escenario atienden a los siguientes factores:

- **Urgencia:** las decisiones se han de tomar en tiempo real, no pueden esperar indefinidamente, una decisión puede ser adecuada ahora y dejar de serlo minutos más tarde, cuando las condiciones puedan haber cambiado.
- **Incertidumbre:** la información no siempre está disponible o no es absolutamente fiable. Alcanzar un equilibrio entre la urgencia y la certidumbre es quizás uno de los factores más críticos en la toma de decisiones del mando de la intervención.
- **Continuidad:** un incendio es un escenario especialmente dinámico. La valoración inicial pierde vigencia una vez que la operación se está desarrollando y se ha modificado la dinámica del incendio. Por tanto, la valoración debe ser continua.
- **Integral:** la valoración del siniestro no solo aborda la lectura del incendio, también implica la identificación de las acciones prioritarias, el efecto de las acciones emprendidas y el estado de los recursos disponibles.

1. DESARROLLO DE LA VALORACIÓN EN EL TIEMPO

Partiendo de que la valoración de un siniestro debe ser tan dinámica como requiera el escenario del incendio, se pueden distinguir varias fases en la valoración:

a) Valoración inicial:

- Valoración perimetral 360º.
- Valoración interior.

b) Valoración continua

c) Valoración final

a) Valoración inicial

Es el paso esencial para que el mando de intervención determine las acciones prioritarias y establezca un plan de acción acorde con el alcance del siniestro y los recursos disponibles. Resulta de gran utilidad que el primer equipo de intervención interior acompañe al mando de intervención en la labor de contrastar la valoración y adquirir información de primera mano sobre la distribución espacial del edificio y lectura del incendio.

En la medida en que sea posible, se realizará una inspección visual de 360º al siniestro. Aunque en numerosas ocasiones no se pueda perimetrar físicamente el edificio, siempre es posible obtener información visual de las condiciones en cada una de las fachadas.

La valoración interior no tiene por objeto llegar hasta el foco del incendio. Persigue recabar la información básica del interior de la edificación, su grado de compartimentación, la previsible carga de combustible y otros indicadores que permiten realizar la lectura del incendio.

En función de los recursos disponibles y del tipo de edificio, el mando de intervención puede delegar esta valoración en el mando del equipo que realiza la progresión interior. En viviendas unifamiliares o edificios en los que la zona de incendio está muy cerca del acceso, puede realizarlo el propio mando de intervención.



La valoración inicial tiene dos objetivos:

- **Identificar las acciones prioritarias:** acciones relativas al control de ocupantes (confinamiento, evacuación...), de corte de servicios (gas, luz, etc.) y de estabilidad estructural. No es necesario completar la valoración inicial para comenzar a ejecutar algunas de estas acciones prioritarias.
- **Establecer un plan de acción:** el mando de intervención terminará la valoración inicial determinando un plan de acción que recoja la **sectorización** del incidente, un **planteamiento táctico** y un **reparto de funciones** entre los recursos asignados a cada sector. Este plan debe comunicarse a todo el personal y contener tanto las indicaciones relativas al sector específicamente asignado, como las del resto de sectores cuya acción afecte directamente.

b) Valoración continua

Una vez implantando el plan de acción, el mando de intervención realizará una **valoración continua** basada en los mismos parámetros de lectura de incendios, identificación de acciones prioritarias y evaluación de recursos.



El objetivo de la valoración continua es introducir las correcciones necesarias en el plan de acción, fruto de la evaluación crítica de las acciones ya emprendidas. En definitiva, se trata de comprobar si el trabajo emprendido está siendo eficaz y valorar el alcance y situación del siniestro. El plan de acción puede y debe ser objeto de cuantas modificaciones y cambios tácticos sean necesarios.

El plan de acción deberá ser consecuente con el estado y disponibilidad de los recursos presentes y movilizados hacia el siniestro. Y, en función de estos, determinar la capacidad en tiempo real para realizar rescates, para el control de la propagación y para la extinción del incendio.

A pesar de ser una obviedad, es preciso destacar la exigencia de emprender una acción con los recursos necesarios. En siniestros de gran envergadura, ocurre que se inicie la extinción con un suministro de agua o de personal insuficientes tras comprobar que la propagación ha sido controla-

da. Una vez iniciado el ataque y sin garantías de éxito total, los recursos se consumen, se fracasa en el intento de extinción y el estado de los recursos es incluso insuficiente para controlar su propagación.

c) Valoración final

Antes de dar por concluida la intervención, es necesaria una **valoración final** que descarte la presencia de puntos calientes, asegure la estabilidad estructural del conjunto, el posible restablecimiento del suministro de gas, electricidad, etc. La valoración final debe ser realizada por el mando de intervención y su resultado deberá quedar reflejado por escrito en una hoja de recomendaciones destinada al beneficiario de la intervención.

2. LECTURA DEL INCENDIO

A lo largo de los últimos años se ha realizado un avance significativo en la caracterización de los parámetros que permiten valorar el incendio. El método más ampliamente aceptado fue propuesto por el oficial de bomberos australiano Shan Raffel y se resume en el acrónimo inglés B-SAHF cuya pronunciación es “*be safe*” (en castellano “manténgase seguro”).

Tabla 23. Método B-SAHF

| | |
|---|---------------------------|
| B | Building (edificio) |
| S | Smoke (humo) |
| A | Airtrack (flujo de gases) |
| H | Heat (calor) |
| F | Flame (llama) |



Es imprescindible determinar el alcance del incendio, su potencial e identificar el flujo de gases antes de acometer cualquier operación. La lectura de incendio debe realizarse atendiendo al máximo número de indicadores y, aún evitando caer en simplificaciones, estará sujeta a cierto grado de incertidumbre.

2.1. EDIFICIO

- Combustible
 - Cantidad de combustible
 - Naturaleza de los combustibles
 - Distribución de los combustibles



Imagen 161: Una familia alemana saca al jardín de su casa todas sus pertenencias con algún componente sintético. En los últimos años no solo la cantidad de combustible sino la inflamabilidad de los mismos ha generado un salto cualitativo en la virulencia de los incendios

- Inflamabilidad de la estructura
 - Cuando la estructura es inflamable el incendio puede generalizarse o propagarse por la misma dificultando los planteamientos tácticos basados en el confinamiento del incendio o las técnicas de ventilación.
 - Las estructuras a base de pared de ladrillo y forjados de hormigón permiten que el incendio quede limitado al contenido.

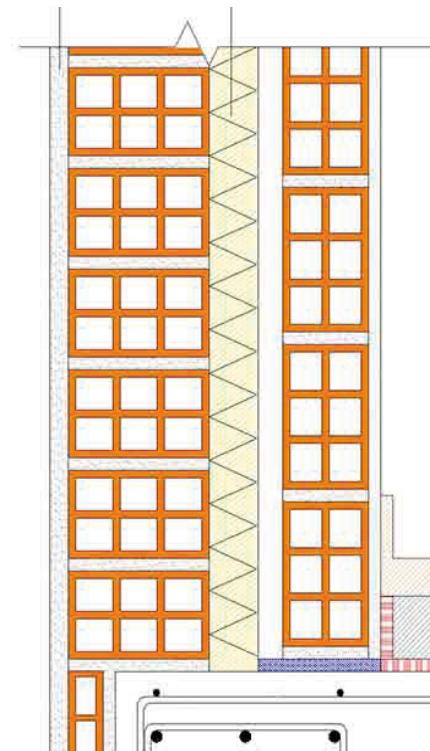


Imagen 162: Corte transversal de una construcción a base de cerramientos de fábrica de ladrillo y forjados de hormigón

- Las estructuras en madera pueden desembocar en incendios que afecten a la estructural, especialmente las de entramado ligero.

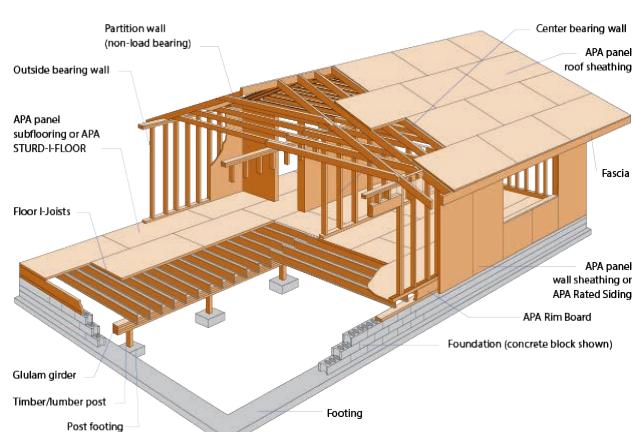


Imagen 163: Estructura de entramado ligero

- Estabilidad estructural



- La estabilidad estructural es un indicativo que establece el tiempo de intervención disponible.
- Establecer la estabilidad de una construcción a priori es sumamente complicado.
- Las estructuras de acero permiten aguantar temperaturas medias durante períodos prolongados pero un pico de temperatura puede producir el colapso al reducirse el límite elástico del acero.



Imagen 164: El colapso de una estructura durante las tareas de extinción de una nave industrial en Barracas (Buenos Aires, Argentina) se llevó la vida de 10 bomberos

- Las estructuras de hormigón armado aguantan bien picos de temperatura alta debido a su mayor inercia térmica. Sin embargo las exposiciones prolongadas provocan fisuras y desconchamientos que dejan expuesta la armadura de acero debilitando la estructura.
- Las estructuras de madera son inflamables y pueden aportar combustible al incendio. En principio presentan una buena estabilidad estructural aún en llamas y solo con el tiempo cuando el incendio genera una pérdida de sección la estructura se debilita.
- A menudo las reglas basadas exclusivamente en el tipo de material pueden caer en simplificaciones excesivas. Es necesario tener en consideración muchos otros elementos como el sistema de equilibrio de la estructura (estático o hiperestático), los detalles de unión de la estructura (muchas veces el punto más débil) y la existencia de elementos que permitan la dilatación.
- Ocupación
 - La carga y el tipo de combustible en el interior de un edificio varía con el uso del mismo.
 - La carga de combustible en recintos comerciales es superior que en recintos residenciales.
 - Los edificios multivivienda o edificios dotacionales requieren planteamientos de control de la propagación y de aseguramiento de las vías de escape para los ocupantes.



Imagen 165: Usos de ocupación concretos como colegios, hospitales y residencias dan lugar a configuraciones peculiares que afectan el desarrollo del incendio y las labores de extinción

- Antigüedad
 - La antigüedad de la edificación nos da una idea del tipo de estructura que podemos encontrar; el grado de compartimentación y la existencia de espacios diáfanos.
 - Los contenidos modernos, ricos en materiales sintéticos desarrollan el incendio con mayor rapidez, alcanzando temperaturas superiores, mayor potencia de incendio pero sobre todo con una respuesta más agresiva a la ventilación.



Imagen 166: Incendio en edificio antiguo

- Superficie
 - La carga de combustible de un recinto está directamente ligada a la superficie del mismo.
 - Las potencias de incendio habituales en edificación residencial varían entre los 450 kW/m^2 para recintos pequeños y los 250 kW/m^2
 - La superficie del recinto es uno de los parámetros a tener en cuenta a la hora de establecer el caudal óptimo para el ataque a incendio.



Imagen 167: Los espacios grandes pueden generar incendios de gran potencia

- Compartimentación
 - Un mayor grado de compartimentación dificulta el desarrollo y propagación del incendio.
 - La compartimentación favorece la lucha contra el incendio recinto a recinto siendo necesario un caudal de extinción menor.
 - La existencia de espacios diáfanos permite la propagación del incendio y el acceso a mayor cantidad de aire durante su fase de desarrollo.
- Altura
 - Los edificios en altura presentan dificultades de acceso añadidas en el despliegue de tendidos y requieren tácticas de control de la propagación y dispersión de los gases.



Imagen 168: El acceso a viviendas en altura dificulta las operaciones de extinción

- Altura de techos
 - Una mayor altura implica un mayor volumen de aire para el desarrollo del incendio y la capacidad

para albergar más cantidad de productos de la combustión

- Nivel de aislamiento y estanqueidad
 - La edificación moderna, propia de regiones más frías, tiene un alto grado de aislamiento térmico y estanqueidad con el exterior.
 - Mayor aislamiento térmico implica menor pérdida de temperatura. A igualdad de volumen de ventilación, un recinto bien aislado térmicamente presentará temperaturas superiores en incendio.
 - Las edificaciones con buena estanqueidad se comportan mejor en operaciones que impliquen el uso de ventilación VPP ya que no se producen pérdidas de flujo.
- Aperturas de ventilación
 - Las aperturas de ventilación alimentan el incendio generando un flujo de gases que contribuye a aumentar la potencia del mismo.
 - Ventanales de gran tamaño y otras aperturas potenciales por las que el incendio pudiera recibir ventilación deben ser objeto de valoración.



Imagen 169: Ventanales de gran tamaño implican una potencial ventilación del incendio en caso de rotura

- Espacios ocultos
 - Falsos techos, muchas veces corridos, permiten la acumulación de gases de incendio contribuyendo a la propagación del mismo o incluso a explosiones de humo.
 - Conductos de climatización suponen igualmente una vía de propagación para el incendio.
 - La existencia de espacios ocultos dificulta el empleo de técnicas de ventilación VPP ya que el control del flujo y el desplazamiento de los gases a la zona deseada no es posible.



2.2. HUMO

• Color

- El color del humo ofrece información sobre la naturaleza del combustible, el tipo de combustión y el nivel de gases de pirólisis.
- Los humos negros o muy oscuros indican combustión incompleta, gran cantidad de carbonilla y productos parcialmente quemados que son susceptibles de actuar como combustible.



Imagen 170: Humos negros provenientes de combustión incompleta

- Humos claros son propios de combustiones completas o de etapas iniciales en el desarrollo del incendio. La fracción de combustible contenida en este tipo de humo es menor y por tanto su contribución a fenómenos de rápido desarrollo también es menor.
- Humos amarillentos o incluso ocres indican un alto contenido en gases procedentes de la pirólisis. En recintos a altas temperaturas en los que se ha consumido el oxígeno disponible, los combustibles pirolizan añadiendo combustible al colchón de gases. Sin embargo la ausencia de oxígeno impide su combustión. Este tipo de escenarios pueden derivar en fenómenos de backdraft si la fracción de combustible es lo suficientemente alta y se produce una entrada de aire fresco brusca.
- Humos blanquecinos son signo en la mayoría de las ocasiones de la presencia de vapor de agua. Esto puede ocurrir en la etapa de crecimiento del incendio cuando se desecan los combustibles por acción de la temperatura o cuando ya están trabajando equipos de bomberos y aplicando agua en el interior.

• Opacidad

- El grado de opacidad de un humo está vinculado con la cantidad de carbonilla que produce y por tanto de partículas procedentes de una combustión incompleta.
- Humos ligeros pueden ser fruto de incendios incipientes o de combustibles tradicionales pero tam-

bien de incendios dominados por el viento donde la sobre alimentación debida al viento.

- Humos opacos y oscuros denotan una fracción de combustible alta y el riesgo de inflamación de los gases de incendio al mezclarse con aire fresco.

• Densidad

- No debe confundirse la densidad del humo con su opacidad. La densidad hace referencia a la masa por unidad de volumen.
- Los gases de incendio reducen su densidad con respecto al aire como consecuencia de la temperatura con lo que se puede hacer la relación

humo frío → humo densidad alta, dificultad para la flotación

humo caliente → humo densidad baja, facilidad para la flotación

- El humo con poca densidad se encuentra a altas temperaturas y asciende con gran facilidad por efecto de flotabilidad. La presencia de humo ligero (poca densidad) implica altas temperaturas en el interior o cercanía al recinto de incendio. Con el aumento de temperatura hay una mayor probabilidad de que el humo alcance su punto de inflamabilidad.

- El humo con una densidad similar a la del aire (denso) no asciende con tanta facilidad y se distribuye mezclándose con el aire del recinto y perdiendo opacidad. Este tipo de humo es característico en las etapas iniciales de desarrollo del incendio o en lugares alejados de su origen donde la dispersión ha generado su enfriamiento y dilución. El riesgo de inflamación de las bolsas de humo de densidad alta (frío) es inferior.

• Espesor del colchón de humo

- En incendios en desarrollo o con un flujo de ventilación es posible encontrar una estratificación clara del colchón de humo con respecto al aire que entra. A medida que el incendio se va desarrollando, si no existe una apertura suficiente que permita desalojar los gases de incendio, estos se acumulan y el colchón de humo tiene mayor espesor.

- Un colchón de gases mayor implica mayor cantidad de gases de incendio.
- La altura del plano neutro condiciona la visibilidad interior y el planteamiento táctico a emplear en la progresión interior.

- En un incendio desarrollado en un espacio confinado el plano neutro habrá caído hasta el nivel del suelo. La existencia de un plano neutro implica que el incendio está siendo ventilado.

• Volumen

- El volumen de humo es una medida de la cantidad de combustión que está teniendo lugar y puede dar

idea del estado de desarrollo y del alcance del incendio.

- El volumen de humo visible desde el exterior está relacionado con la presencia de huecos de ventilación.
- No confiarse si a la llegada al incendio no hay signos de humo, los incendios limitados por la ventilación pueden experimentar presiones negativas en algún momento de su desarrollo.

2.3. FLUJO DE GASES

- Flujos en aperturas

- El tipo de flujo presente en cada una de las aperturas al exterior del edificio no sirve para evaluar y establecer el movimiento general del flujo de gases en un incendio.
- Los flujos de entrada constituyen entradas de aire limpio dentro del recinto en toda la sección de la apertura. Las aperturas con flujos exclusivos de entrada se sitúan al comienzo de la ruta de gases en las zonas bajas donde el diferencial de presión con el exterior es negativo. El acceso de efectivos a través de una apertura con flujo de entrada garantiza buena visibilidad y ausencia de otros problemas derivados de los gases de incendio (toxicidad, calor, inflamabilidad).
- Los flujos de salida constituyen salidas de gases de incendio en toda la sección de la apertura. Las aperturas con flujos puros de salida se sitúan al final de la ruta de gases en zonas superiores donde el diferencial de presión sobre la presión atmosférica es positivo. El acceso de efectivos a través de una apertura con flujo de salida está totalmente desaconsejado ya que supone la exposición a altas temperaturas, fenómenos de rápido desarrollo y condiciones de muy baja visibilidad.

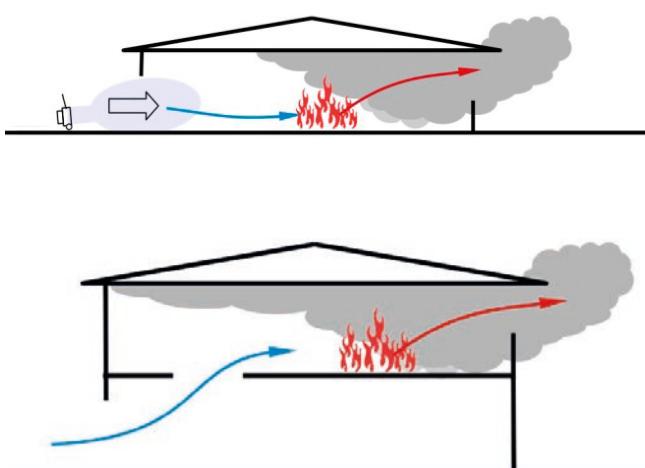


Imagen 171: Ejemplos de flujo de gases que generan bien una entrada o una salida de gases a través de las aperturas. Son flujos unidireccionales

- En las aperturas a nivel de incendio se establecen flujos bidireccionales, de salida en la parte superior y de entrada en la inferior. Esto implica que la apertura es al mismo tiempo comienzo y final de la ruta de gases. El personal en estos casos está expuesto a los gases de incendio de la zona superior si bien puede gozar de una zona de visibilidad generada por el aire fresco que entra por la parte baja.

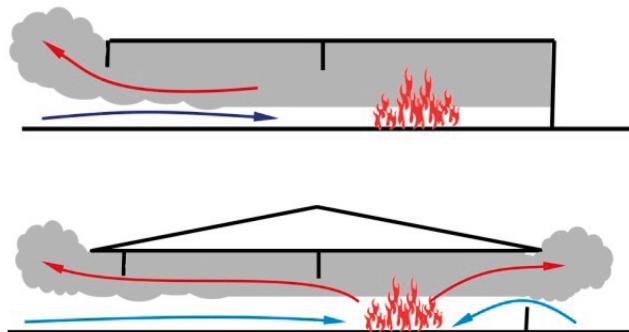


Imagen 172: Ejemplo de flujo bidireccional en las aperturas

- La ausencia de aperturas al exterior implicará que no existe intercambio de gases con el exterior. Si el incendio no se encuentra en su fase inicial, el plano neutro habrá caído hasta el suelo y el humo ocupará todo el recinto.

- Comportamiento de cortinas bloqueo de humo

- El empleo de las cortinas de humo permite evaluar el patrón de ventilación existente.
- Si la instalación se realiza en un emplazamiento donde previamente no existiera puerta, el movimiento de la parte inferior nos indicará el sentido del flujo. La colocación de la cortina permitirá en la mayoría de los casos convertir un flujo bidireccional en un flujo de entrada por la zona inferior del faldón.
- Cuando la colocación se realiza en el dintel de una puerta cerrada, tras la apertura de la puerta el faldón puede comportarse de tres modos.
 - Si se mueve hacia el interior la cortina constituye una entrada de aire fresco y existe una salida de gases en algún punto.
 - Si el faldón se mueve hacia el exterior durante un breve tiempo (3s aprox) y luego vuelve a su posición, el incendio no tiene otra apertura y el faldón simplemente ha permitido igualar las presiones del interior del recinto con las del exterior para volver a su posición inicial.
 - Si el faldón se mueve hacia el exterior, el lugar donde se ha colocado la cortina constituye una salida de gases. El viento probablemente esté introduciendo aire en la estructura por alguna ventana.



Imagen 173: La cortina de bloqueo de humo succionada hacia el interior indica que el incendio tiene una apertura al exterior y que se ha establecido un flujo de gases unidireccional

- Efecto del viento
 - El viento, en la fachada de sotavento, convierte salidas con flujo bidireccionales o de salida en flujos de entrada. Por otro lado en las fachadas a barlovento se crean flujos de salida.
 - El efecto de sobre alimentación sobre el incendio que el viento tiene juega un factor decisivo pudiendo disparar la potencia del incendio.



Imagen 174: Incendio dominado por el viento (*wind-driven fire*)

- Caudal y régimen de salida de gases
 - La actividad del incendio puede ser valorada por el caudal del flujo de gases que nos dará una idea de la potencia y estado de desarrollo del mismo. Incendios con un caudal de ventilación insuficiente tienen complicado alcanzar la etapa de *flashover*.
 - Uno de los problemas principales se genera cuando se produce un aumento repentino del caudal de ventilación como consecuencia de la apertura de hueco de ventilación. El incendio reaccionará a

esta ventilación en el transcurso de un periodo de tiempo breve pudiendo producirse un escenario de *flashover* inducido por la ventilación

- Cuando la sección de la apertura es insuficiente para el volumen de gases que intenta salir de la estructura el régimen pasa de ser laminar a turbulento, señal de que existe un diferencial de presión importante en el interior.



Imagen 175: Incendio con salida de humo en régimen turbulento

- En ocasiones el interior del recinto pasa de tener sobrepresiones positivas a negativas. El incendio pulsa y parece respirar a través de las aperturas. Este puede ser un signo claro de *backdraft*. A través de rendijas pueden aparecer los clásicos silbidos.

2.4. CALOR

- La energía que reciben las superficies combustibles de un recinto favorece la pirólisis y la incorporación de combustible adicional al colchón de gases.
- Superficies fundidas, con burbujas por la emanación de vapores u oscurecidas por el efecto de la pirólisis son signo de la transferencia de calor desde el entorno a los combustibles.
- La humedad condensada en cristales o superficies más frías es también un signo de la transferencia de calor a los combustibles y su deshidratación.
- Los chequeos de temperatura basados en pulsaciones muy cortas de agua permiten también conocer la capacidad de evaporación de agua del ambiente y así la transferencia potencial de calor.
- Cámaras térmicas son una excelente herramienta para determinar la temperatura y distribución del calor dentro del recinto.
- La sensación térmica del equipo en progresión interior es un signo que a un bombero con experiencia permitirá valorar el nivel de transferencia térmica existente.

2.5. LLAMAS

- Color
 - El color de la llama nos da una idea del nivel energético de la misma.

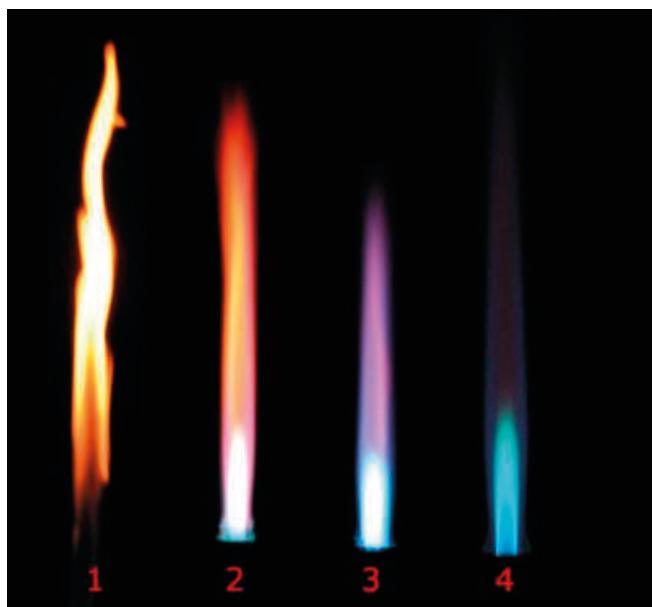


Imagen 176: El color de la llama da información sobre el nivel energético de la misma (azul: mas energético, rojo: menos energético)

- Las llamas mas energéticas tienen color azul fruto de combustiones estequiométricas y combustibles altamente energéticos. Las llamas amarillentas poseen un nivel energético menor producto de combustiones donde comburente y combustible se acercan a los límites de su rango de inflamación.
- Duración
 - Las llamas de corta duración pueden ser objeto de ausencia de combustible, falta de temperatura para alcanzar el temperatura de inflamación de una forma homogénea o insuficiente oxígeno. En este último caso, las llamas vendrán acompañadas de humo oscuro y opaco.
 - Las llamas de forma sostenidas confirman la viabilidad del incendio para mantener un aporte de combustible y aire suficiente.
- Exposición
 - Las llamas constituyen una fuente importante de radiación y contribuyen a la propagación del incendio.
 - Las llamas en el exterior liberan la mayor parte de la energía en el exterior. Tan solo las superficies de la fachada estarán expuestas a la radiación y pluma de convección.
 - Las zonas de llama generalizada deben ser identificadas para realizar su ataque desde una posición segura que evite la radiación sobre el personal.
- Cantidad y distribución
 - La cantidad y distribución de las llamas da idea del alcance del incendio

3. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES PRIORITARIAS

Durante la fase de valoración de inicial se deberán identificar aquellas situaciones que supongan un riesgo inminente y requieran acciones inmediatas de cara a no agravar la situación existente.

- **Confinamiento de ocupantes.** El confinamiento consiste en aislar a los ocupantes de un edificio en sus propias viviendas o el lugar en que se encuentran donde las condiciones de supervivencia son buenas y quedan a salvo del riesgo del incendio.

Cuando esto es posible, se trata de la opción más conveniente ya que no requiere recursos excesivos para llevarla a cabo y se implementa en muy poco tiempo. El mayor de los problemas en estos casos reside en el control de las personas confinadas, que permanezcan en todo momento en las estancias asignadas y no se aventuren a abandonar el edificio o emprender acciones por su cuenta.

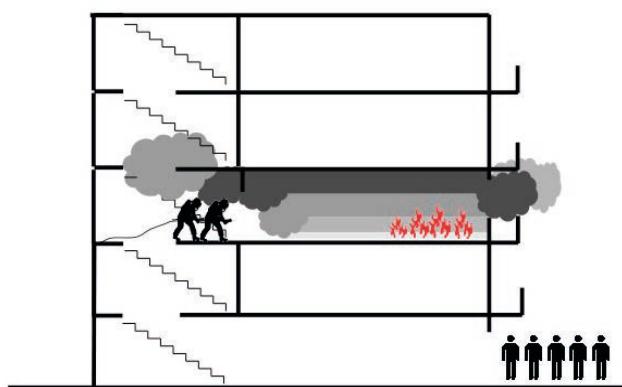
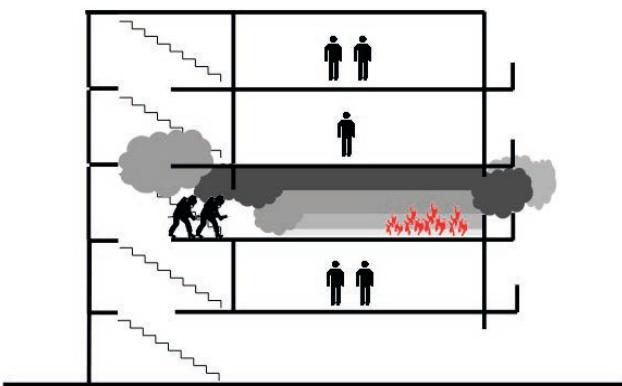


Imagen 177: Confinamiento (arriba) y evacuación (abajo) durante una operación de ataque a incendio

- **Evacuación de ocupantes.** Cuando el riesgo en el edificio no es controlable o no existe certeza de que los ocupantes vayan a permanecer en los lugares de confinamiento (mensaje no recibido, estados nerviosos, etc.) debe optarse por la evacuación.

La evacuación de ocupantes requiere en primer lugar asegurar la viabilidad de la ruta de escape designada mediante



el aislamiento del incendio o la limpieza y presurización de cajas de escaleras con técnicas de ventilación VPP. Esta es una operación que necesita de bastantes recursos humanos y tiempo para ejecutarse.

- Corte de servicios

El suministro eléctrico, de gas y de agua debe suprimirse accediendo a las cajas generales de protección y cuadros de contadores. La presencia de cualquiera de estos suministros durante la operación de incendios puede dificultar la intervención suponiendo un riesgo adicional.

- Colapsos estructurales

La evaluación estructural durante la valoración inicial debe poder identificar zonas de riesgo inminente donde caben varias opciones: abandonar la zona y restringir el paso, realizar una demolición controlada o colocar elementos de apoyo que permitan asegurar el recinto.

La colocación de puntales en la planta de incendio y en la inmediatamente inferior permite reducir el riesgo de colapso y garantizar el acceso del equipo interior. En muchas ocasiones acelerar el proceso de colapso parcial puede ser una opción más conveniente.

- Rescates inminentes

La situación confirmada de víctimas en situación crítica puede priorizar su rescate a cualquier otra acción incluyendo la propia valoración inicial del incidente.

- Propagación

A la llegada a siniestro un control temprano de la propagación puede ser necesario. Si el riesgo de propagación es inminente, un equipo debiera comenzar en su control hasta que se concluya la valoración y se establezca el Plan de Acción completo.





CAPÍTULO

4

Tácticas de intervención



1. PLANTEAMIENTO TÁCTICO

Una táctica de intervención es el conjunto coordinado y planificado de herramientas y técnicas de intervención cuyo objetivo es hacer frente a una intervención. El planteamiento táctico es la decisión más crítica en una intervención de bomberos. Ya sean tácticas en modo ofensivo o defensivo, la elección supone asumir un riesgo y unas pérdidas. Las decisiones son en muchos casos irreversibles y encaminan la intervención en un sentido u otro.

Para determinar el planteamiento táctico, el mando de intervención debe basarse en cuatro elementos:

- Experiencia profesional
- Conocimiento técnico científico.
- Abanico de técnicas disponibles.
- Valoración del incidente.

1.1. FASES DE UNA INTERVENCIÓN

La cronología de una intervención general en incendios puede quedar definida con la secuencia descrita en el cuadro siguiente. Nótese que la numeración de las tareas puede no atender al orden real de ejecución según los casos. Muchas de ellas se realizan de forma simultánea por distintos miembros de la dotación. Las acciones para mitigar riesgos inminentes pueden ordenarse en cualquier momento en función de las necesidades.

| FASE | Tarea | Observaciones |
|---|---|--|
| FASE 0 MOVILIZACIÓN | 1 Recepción del Aviso | <ul style="list-style-type: none">• Toma de datos relativo al aviso• Confirmación de movilización de otros servicios requeridos (sanitarios, FF.OO.)• Determinación del tren ordinario de salida• Información a mando superior y activación de medios adicionales |
| | 2 Movilización a siniestro | <ul style="list-style-type: none">• Desplazamiento del tren de primera salida• Desplazamiento de dotaciones adicionales• Desplazamiento de mando de intervención |
| FASE 1 VALORACIÓN TAREAS PRE- VIAS | 3 Llegada a siniestro | <ul style="list-style-type: none">• Emplazamiento de vehículos• Preparación del material de 1^a intervención• Toma de hidrante |
| | 4 Valoración exterior y valoración interior | <ul style="list-style-type: none">• Lectura del incendio (B-SAHF)• Análisis de riesgos inminentes• Elaboración de un plan de acción• Sectorizar el incidente• Zonificar el incidente |
| FASE 2 CONTROL | 5 Acciones inminentes | <ul style="list-style-type: none">• Acciones para mitigar riesgos inminentes<ul style="list-style-type: none">- Confinamiento / evacuación- Corte de servicios- Estabilidad estructural- Rescates inminentes- Control de propagación |
| | 6 Búsqueda y rescate | <ul style="list-style-type: none">• Búsqueda y rastreo de víctimas con técnicas de rastreo interior, VEIS o ventilación defensiva |
| | 7 Control de la propagación | <ul style="list-style-type: none">• Control del incendio limitando la propagación interior y exterior |
| FASE 3 MITIGACION | 8 Valoración continua | <ul style="list-style-type: none">• Valoración continua por parte del mando de intervención de la lectura del incendio, estado de recursos y éxito de las acciones emprendidas. |
| | 9 Extinción | |
| FASE 4 RESTITUCION | 8 Valoración continua | <ul style="list-style-type: none">• Valoración continua por parte del mando de intervención de la lectura del incendio, estado de recursos y éxito de las acciones emprendidas. |
| | 10 Desescombro y estabilización | <ul style="list-style-type: none">• Restitución de la situación previa al incendio en la medida de lo posible |
| | 11 Valoración final | <ul style="list-style-type: none">• Estabilidad estructural• Ausencia de puntos calientes• Consideraciones de seguridad para el beneficiario |
| FASE 4 RESTITUCION | 12 Vuelta a base | <ul style="list-style-type: none">• Recuperación de la operatividad• Análisis colectivo de la intervención• Parte de intervención |

1.2. SECTORIZACIÓN

Debemos entender la sectorización de incidente como la división del mismo en intervenciones más pequeñas según su ubicación o basándose en tareas concretas. La máxima romana “Divide y vencerás” de Julio Cesar llevada al campo de la intervención de bomberos. La intervención requiere en cada uno de los sectores un planteamiento táctico distinto, con objetivos diferenciados y recursos a la medida de los objetivos establecidos. El mando de intervención realizará una evaluación continua de cada uno de ellos pudiendo movilizar recursos de unos a otros en base a las necesidades.



Tomando un incidente complejo de edificio en altura con incendio afectando a dos viviendas se podría establecer la siguiente sectorización. Claro está que la sectorización debe ser acorde al personal disponible.

- Sector 1 – Propagación exterior por fachada
- Sector 2 – Progresión interior a vivienda incendiada 1
- Sector 3 – Progresión interior a vivienda incendiada 2
- Sector 4 – Limpieza y presurización de caja de escalera
- Sector 5 – Rescate interior

1.3. MODO TÁCTICO: OFENSIVO O DEFENSIVO

En cada sector de la intervención debe establecerse el modo táctico que derivará en la elección de una serie de planteamientos tácticos u otros. El modo táctico define el tipo de acciones que se realizan sobre el incendio.

Planteamientos ofensivos

- El incendio es atacado directamente con objeto de su extinción.
- Es propio de la fase 3 “Mitigación” de una intervención.
- Asume mayores riesgos personales por lo que exige una ponderación del binomio riesgo-beneficio.
- Requiere garantías de éxito antes de acometerse.
- Entre otros:
 - Control Exterior de Propagación.
 - Ataque en Presión Positiva para el Rescate.
 - Ataque en Presión Positiva contra la Propagación.
 - Ataque en Presión Positiva para la Progresión.

Planteamientos defensivos

- No hay acción directa sobre el propio incendio sino sobre las zonas donde éste está generando daños por propagación o acumulación de humo.
- Es propio de la fase 2 “Control” de una intervención.
- Representa un nivel de riesgo inferior para el personal.
- Mientras no exista garantías de éxito para un planteamiento ofensivo, el equilibrio riesgo-beneficio no sea favorable o no haya recursos suficientes, el planteamiento debe ser defensivo.

Entre otros:

- Ataque Exterior Ofensivo
- Ataque Interior con Antiventilación
- Ataque Interior con Ventilación Natural
- Ataque en Presión Positiva para la Extinción
- Ataque Combinado (Ataque Exterior Ofensivo + Ataque Indirecto + APP)

2. CONTROL EXTERIOR DE PROPAGACIÓN

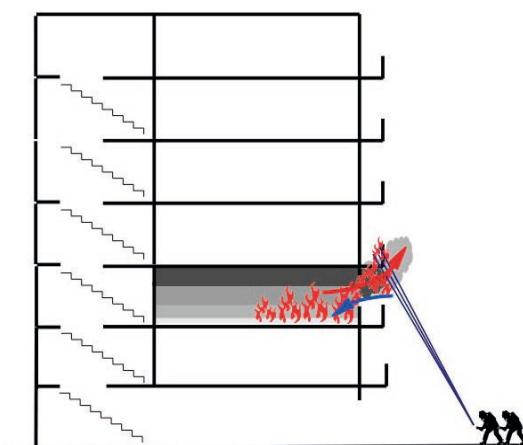


Imagen 178: Control exterior de propagación

Objetivo

- Control de la propagación desde una posición exterior.
- Limitar el alcance de daños de incendio.
- Humedecer zonas de exposición al incendio.

Técnicas de referencia

- Ataque defensivo contra la propagación.
- Ataque exterior ofensivo o “ablandado”.

Indicaciones

- Simultaneable con cualquier otra operación interior o exterior.
- Aplicable desde el inicio de la intervención como táctica para el control inminente del riesgo de propagación.
- Se puede combinar fácilmente con un ataque ofensivo exterior “ablandado” para reducir el potencial del incendio.
- De aplicarse técnicas de ataque exterior ofensivo “ablandado”, ésta debe coordinarse con las operaciones de progresión interior.

Ejecución

- a) **Ataque defensivo contra la propagación** a las fachadas de mayor exposición desde nivel de suelo, cesta de escala o posición elevada.



- b) **Ataque exterior ofensivo** a través de aperturas puntuales (opcional).

Consideraciones de seguridad

- No bloquear salidas de gases con patrones de cono o chorro en movimiento ya que los gases de incendio y el vapor de agua se desplazarán por el interior de la estructura.
- Valorar el gasto de agua y las disponibilidad para la operación posterior de extinción.

3. ATAQUE EXTERIOR OFENSIVO

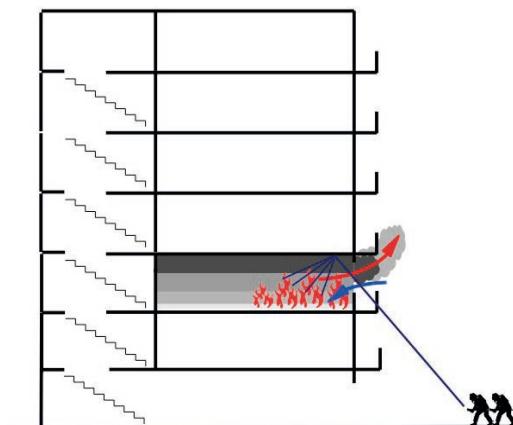


Imagen 179: Ataque exterior ofensivo

Objetivo

- Aumentar las posibilidades de supervivencia de víctimas en el interior.
- Reducir la temperatura en el interior de la estructura.
- Reducir la potencia del incendio para el ataque interior.

Técnicas de referencia

- Ataque exterior ofensivo “ablandado”

Indicaciones

- Especialmente indicado en incendios que han roto por fachada donde una pronta aplicación tiene resultados especialmente positivos.
- Si el incendio se encuentra confinado y es necesaria la apertura de hueco para aplicar el ataque exterior ofensivo valorar la modificación del patrón de ventilación del incendio y si existe algún cambio en el flujo de gases que afecte personal o zonas no afectadas por el incendio.
- Simultaneable con operaciones interiores ajustando el caudal y la frecuencia de las aplicaciones para evitar un exceso de vapor en el interior y la modificación del flujo de gases.
- La aplicación combinada junto a técnicas de ventilación VPP permite ventajas adicionales. Ver ataque combinado.

Ejecución

1. Seleccionar de entre las aperturas del incendio al exterior la que muestre una mayor actividad del incendio.
2. Si el incendio está confinado sin aperturas al exterior y se ha valorado el empleo de esta táctica, abrir la ventana en la que haya mayores signos de actividad del incendio. Las ventanas en zonas superiores o con temperaturas más altas van a producir mejores resultados.
3. Aplicar técnicas de **ataque exterior ofensivo “ablandado”**.

Consideraciones de seguridad

- No bloquear salidas de gases con patrones de cono o chorro en movimiento ya que los gases de incendio y el vapor de agua se desplazarán por el interior de la estructura.
- Coordinar con las operaciones interiores.

4. ATAQUE INTERIOR CON ANTIVENTILACIÓN

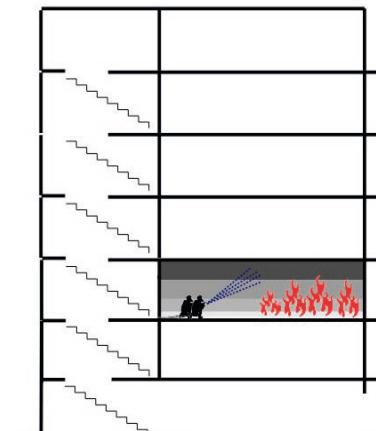


Imagen 180: Ataque interior con antiventilacion

Objetivo

- Rescate de víctimas.
- Control de la propagación interior.
- Extinción del incendio.
- Búsqueda de una salida de gases para iniciar una táctica basada en la ventilación.

Técnicas de referencia

- Ataque indirecto.
- Ataque directo.
- Enfriamiento de gases.
- Acceso a través de puerta.
- Antiventilación o confinamiento de incendio.
- Control de puerta de acceso.
- Orientación en espacios sin visibilidad.

- Rastreo y búsqueda por el equipo de ataque interior al incendio.
- Rastreo y búsqueda por el equipo independiente al de ataque interior al incendio.

Indicaciones

- Incendios confinados (incendios en recintos sin apertura alguna).
- Incendios infraventilados (incendios confinados limitados por la ventilación que no han alcanzado la etapa de *flashover*) presentando un plano neutro cercano al suelo y visibilidad nula.
- Incendios confinados donde la configuración del edificio no permite el empleo de técnicas de ventilación forzada o ventilación natural (flujo de gases no previsible, tamaño de entrada o salida insuficiente).

Ejecución

1. Confinamiento del incendio.
2. El equipo de ataque accede al interior empleando **técnicas de acceso a través de puerta** en cada una de los recintos cerrados que dan paso a zonas de incendio.
3. El equipo de apoyo exterior realiza un **control de puerta de acceso** encaminado a mantener el incendio sin ventilación y facilitar el paso de manguera.
4. Durante la progresión interna el equipo de ataque enfriará e inertizará los gases de incendio (**enfriamiento de gases**) allí donde sea necesario para poder avanzar con seguridad y evitar fenómenos de rápido desarrollo.
5. La progresión interior se basa en las técnicas de **orientación en espacios sin visibilidad**.
6. En paralelo a la progresión si no existe la confirmación de ausencia de víctimas se realiza la búsqueda y rescate de víctimas. Lo puede realizar el mismo equipo de ataque que progresaba hacia el incendio (**rastreo y búsqueda por el equipo de ataque interior al incendio**) o un equipo de rescate interior independiente (**rastreo y búsqueda por el equipo independiente al de ataque interior al incendio**).
7. En superficies calientes que estén pirolizando o se encuentran cerca de esta situación, el equipo de ataque realiza un **ataque directo** de poca intensidad con el objeto de frenar los procesos de pirólisis y evitar una potencial evacuación.
8. Llegado al recinto del incendio, el equipo de ataque puede optar por un **ataque indirecto** desde la puerta de acceso cuando el incendio no es directamente visible y el incendio se encuentra en un recinto cerrado. Si el incendio es visible y se puede alcanzar con el chorro de agua, se puede optar por un **ataque directo**.
9. El objetivo de la operación puede ser la extinción, el rescate pero también la localización de una salida de gases que permita iniciar una operación basada en técnicas de ventilación. El equipo de ataque deberá realizar

un control del incendio previo que permite aproximarse y abrir una apertura de gases. Inmediatamente deberá retroceder hasta situarse fuera de la zona de incendio de modo que el flujo de gases que se establezca no los sitúe en la ruta caliente.

Consideraciones de seguridad

- No emplear en situaciones de *backdraft* inminente.
- Se trata de una operación lenta debido a la dificultad de progresión en un entorno sin visibilidad.
- La atmósfera interior permanece irrespirable (calor y toxicidad) a lo largo de toda la intervención suponiendo una merma en la supervivencia de víctimas y un riesgo añadido para los bomberos en caso de dificultad.
- En caso de que pudiera haber presencia de víctimas, valorar preferentemente el uso tácticas que impliquen la ventilación del incendio y por tanto la mejora de las condiciones y aumento de la supervivencia.
- Vigilar la rotura de ventanas que pueden suponer un aumento repentino de la potencia del incendio, un escenario de *flashover* inducido por la ventilación o la creación de un flujo de gases que pudiera dejar atrapados a los bomberos.
- Realizar un control activo de la puerta de acceso que asegure las condiciones de antiventilación.
- Asegurar la inertización efectiva de los gases de incendio durante la progresión.
- Tan pronto se haya extinguido el incendio, realizar un rastreo exhaustivo en busca de víctimas que no hubieran podido localizarse en la primera fase.

5. ATAQUE INTERIOR CON VENTILACIÓN NATURAL

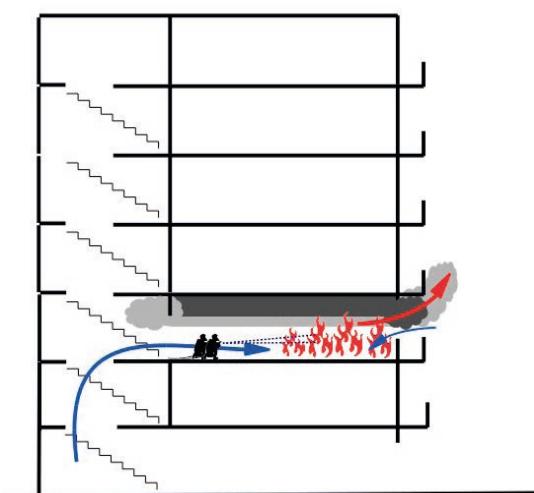


Imagen 181: Ataque interior con ventilación natural

Objetivo

- Rescate de víctimas
- Control de la propagación interior
- Extinción del incendio



Técnicas de referencia

- Ataque indirecto.
- Ataque directo.
- Enfriamiento de gases.
- Acceso a través de puerta.
- Ventilación vertical.
- Ventilación horizontal.
- Control de puerta de acceso.
- Orientación en espacios sin visibilidad.
- Rastreo y búsqueda por el equipo de ataque interior al incendio.
- Rastreo y búsqueda por el equipo independiente al de ataque interior al incendio.

Indicaciones

- Incendios de interior ya ventilados (rotos por fachada o con aperturas al exterior presentando un flujo de gases definido).
- Incendios de interior bien estratificados con una distinción clara entre el colchón de gases de incendio y la corriente de aire fresco en la parte inferior.
- Incendios de interior con posible presencia de víctimas donde se busca crear un flujo de gases en la parte de inferior que mejore las condiciones interiores para asegurar la supervivencia de víctimas y poder realizar una progresión interior rápida.

Ejecución

1. Establecer una entrada y una salida de gases de modo que dentro del edificio se establezca una ventilación natural con un flujo unidireccional. Esto solo es posible si se emplean técnicas de **ventilación vertical** en las que la salida y la entrada de gases se sitúan a distintos niveles.

De este modo el equipo de ataque entrará siguiendo el recorrido del aire fresco, fuera del alcance los gases de incendio.

Solo cuando esto no sea posible se deberá recurrir a la **ventilación horizontal** generando flujos bidireccionales en las aperturas. Esto implica que el acceso del equipo de ataque se realiza con una zona de gases calientes en la parte superior.

2. El equipo de ataque accede al interior empleando **técnicas de acceso a través de puerta** en cada una de los recintos cerrados que dan paso a zonas de incendio.
3. El equipo de apoyo exterior realiza un **control de puerta de acceso** encaminado a mantener el nivel de ventilación necesario para estratificar el incendio y facilitar el paso de manguera.

4. Durante la progresión interna el equipo de ataque enfriará e inertizará los gases de incendio (**enfriamiento de gases**) allí donde sea necesario para poder avanzar con seguridad y evitar fenómenos de rápido desarrollo. El enfriamiento de gases intentará evitar romper el equilibrio térmico y preservar la estratificación del entorno.
5. La progresión interior se basa en las técnicas de **orientación en espacios sin visibilidad**.
6. En paralelo a la progresión si no existe la confirmación de ausencia de víctimas se realiza la búsqueda y rescate de víctimas. Lo puede realizar el mismo equipo de ataque que progresiona hacia el incendio (**rastreo y búsqueda por el equipo de ataque interior al incendio**) o un equipo de rescate interior independiente (**rastreo y búsqueda por el equipo independiente al de ataque interior al incendio**).
7. En superficies calientes que estén pirolizando o se encuentran cerca de esta situación, el equipo de ataque realiza un **ataque directo** de poca intensidad con el objeto de frenar los procesos de pirólisis y evitar una potencial evacuación.
8. Llegado al recinto del incendio, el equipo de ataque puede optar por un **ataque indirecto** desde la puerta de acceso cuando el incendio no es directamente visible y el incendio se encuentra en un recinto cerrado. Si el incendio es visible y se puede alcanzar con el chorro de agua, se puede optar por un **ataque directo**.

Consideraciones de seguridad

- No emplear en situaciones de *backdraft* inminente.
- No iniciar operación alguna que implique ventilación sobre el incendio sin tendido preparado.
- Vigilar el crecimiento del incendio como consecuencia de la ventilación.
- Realizar una progresión rápida hasta el incendio.
- Aplicar agua sobre el incendio tan pronto sea posible.
- Vigilar la rotura de ventanas que pueden suponer un cambio en el flujo de gases.
- Realizar un control activo de la puerta de acceso que asegure la entrada de aire suficiente para mantener la estratificación del incendio.
- Asegurar la inertización efectiva de los gases de incendio durante la progresión.
- Tan pronto se haya extinguido el incendio, realizar un rastreo exhaustivo en busca de víctimas que no hubieran podido localizarse en la primera fase.

6. ATAQUE EN PRESIÓN POSITIVA PARA LA EXTINCIÓN

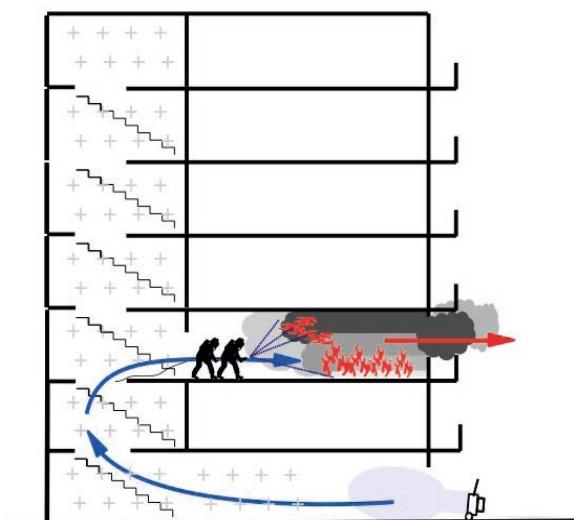


Imagen 182: Ataque en presión positiva para la extinción

Objetivo

- Rescate de víctimas.
- Control de la propagación interior.
- Extinción del incendio.

Técnicas de referencia

- Ataque directo.
- Ventilación en presión positiva ofensiva.
- Barómetro de entrada.

Indicaciones

- Incendios de interior ya ventilados (rotos por fachada o con aperturas al exterior presentando un flujo de gases definido).
- Recintos donde con la ayuda de un ventilador es posible establecer un flujo unidireccional, definido y previsible.
- Incendios de interior con posible presencia de víctimas donde es necesario un ataque rápido al incendio y una mejora de las condiciones de supervivencia.
- Recintos de configuración relativamente sencilla donde es fácil establecer un buen caudal del flujo de gases.

Ejecución

- Localizar una entrada y una salida de gases de modo que un ventilador VPP pueda establecer un flujo de gases unidireccional, definido y previsible.
- Preparar el ventilador VPP (motor a mínima potencia y orientado a 90° con respecto a la puerta) y el tendido de manguera en carga de modo que no haya retraso alguno cuando se tome la decisión de entrada.

- Iniciar una técnica de **ventilación por presión positiva ofensiva**. Abrir la salida de gases. Generalmente la salida de gases se abrirá desde el exterior. Pero es posible hacerlo desde el interior combinando esta táctica con una intervención previa en **ataque interior en antiventilación** en el que el equipo de ataque localiza y abre una salida de gases desde el interior y retrocede inmediatamente por detrás del foco del incendio.
- Una vez confirmada la apertura de la salida de gases se acelera el ventilador al máximo, se coloca contra la puerta aún cerrada presurizando todo el frontal y se abre la puerta para que el flujo de aire del ventilador penetre en la estructura.

En numerosas configuraciones la puerta en la que se ubica el ventilador y la que da acceso al recinto de incendio son distintas. Esto es común en edificios en altura donde el ventilador se ubica en la puerta principal del portal mientras que la puerta que se abre para dar acceso al flujo de aire al recinto es la de la propia vivienda.

Cuando se hace la apertura de entrada, el equipo de ataque con el correspondiente tendido de agua en carga debe estar ubicado en el exterior de la puerta que da acceso al recinto del incendio.

- El equipo de ataque realiza un espero de seguridad hasta que las condiciones interiores mejoran y el mando de intervención da la orden de entrada.
- Esta espero de seguridad se realiza generalmente en el exterior de la puerta de acceso al recinto de incendio, parapetado y sin entorpecer el flujo de aire que entra a través de dicha puerta.
- Cuando la apertura de la salida de gases se ha realizado desde el interior con una operación de **ataque interior en antiventilación**, el equipo de ataque interior puede retroceder hasta una zona que los ubique fuera de la ruta caliente de gases, sin llegar a tener que salir hasta la puerta de acceso; estancias fuera de la ruta de gases son en estos casos la mejor opción.
- La espero de seguridad tiene por objeto valorar el funcionamiento de la ventilación y evitar que un potencial *flashover* inducido por la ventilación se produzca con los intervinientes en el interior.
- Una vez se confirma el buen funcionamiento de la ventilación y una mejora de las condiciones interiores, el equipo de ataque debe realizar una rápida y agresiva progresión interior.

El sentido de esta táctica es ganar visibilidad y no estar expuesto a los riesgos de la atmósfera del incendio. Por ello, el equipo de ataque no debe rebasar en ningún momento la cuña de avance del aire fresco.

- Tanto pronto el foco del incendio sea localizable, se debe realizar un **ataque directo** agresivo sobre el incendio. El flujo creado por el ventilador VPP evita que los vapores retrocedan hasta la posición en que se encuentra el equipo de ataque. Esto permite realizar un



ataque aplicando una mayor cantidad de agua y ganar control del incendio en el menor espacio de tiempo posible.

2. En superficies calientes que estén pirolizando o se encuentran cerca de esta situación, el equipo de ataque realiza un **ataque directo** de poca intensidad con el objeto de frenar los procesos de pirólisis y evitar una potencial evacuación.
3. Si durante el proceso de progresión interior una víctima es localizada, se debe realizar una valoración clara de la acción a emprender.

La ventilación no es un proceso que pueda revertirse. Una vez que la hemos iniciado, ya hemos introducido un volumen de aire fresco que eventualmente se mezclará con los gases de incendio y los podrá situar en rango de inflamabilidad.

Por un lado sacar la víctima del recinto una vez iniciada la ventilación y retrasar la aplicación de agua sobre el foco del incendio puede dar lugar a la propagación del incendio, su crecimiento fuera de control y un agravamiento para otras víctimas que hubiera en el interior.

La opción más recomendable en estos casos, habida cuenta que el inicio de la ventilación ha provisto de aire respirable las zonas bajas en las que se encuentra la víctima, es continuar y realizar un control mínimo del incendio que permita que la situación no crezca fuera de control. Movilizar un segundo equipo para acceder y rescatar la víctima puede ser una mejor opción si existe personal disponible.

Consideraciones de seguridad

- No emplear si no es posible establecer un claro flujo de gases unidireccional.
- No emplear si no se ha localizado el recinto de incendio.
- No emplear si hay personas o víctimas en la ruta caliente del flujo de gases.
- No emplear con combustibles muy volátiles o pulvulentos.
- No emplear en situaciones de *backdraft* inminente.
- No emplear si los gases de incendio pueden desplazarse a recintos ocultos o viviendas anexas.
- Valorar la situación de viento dominante para evitar configuraciones de ventilación en contra del viento.
- No iniciar operación alguna que implique ventilación sobre el incendio sin tendido preparado.
- Vigilar el crecimiento del incendio como consecuencia de la ventilación.
- Abrir la salida de gases y posteriormente la entrada.
- Proveer un flujo de ventilación que sea suficiente para realizar el barrido de los gases: tamaños de apertura y salida suficientes, ventilador VPP proporcional, ausencia de pérdidas y fricciones al flujo de gases.
- Preferiblemente realizar la espera de seguridad fuera del recinto de incendio. En cualquier caso nunca en zona de ruta caliente de gases.

- Valorar de forma continua el funcionamiento de la ventilación y vigilar que la entrada, la salida o puerta intermedias no se cierren interrumpiendo la ventilación.
- No bloquear el flujo de gases con personal ubicado en puertas y pasillos.
- Realizar una progresión rápida hasta el incendio.
- No rebasar la cuña de avance de aire limpio.
- Aplicar agua sobre el incendio tan pronto sea posible.
- Realizar un ataque agresivo sobre el incendio.
- Vigilar la rotura de ventanas que pueden suponer un cambio en el flujo de gases.
- Asegurar la inertización efectiva de los gases de incendio durante la progresión.
- Tan pronto se haya extinguido el incendio, realizar un rastreo exhaustivo en busca de víctimas que no hubieran podido localizarse en la primera fase.

7. ATAQUE EN PRESIÓN POSITIVA PARA EL RESCATE

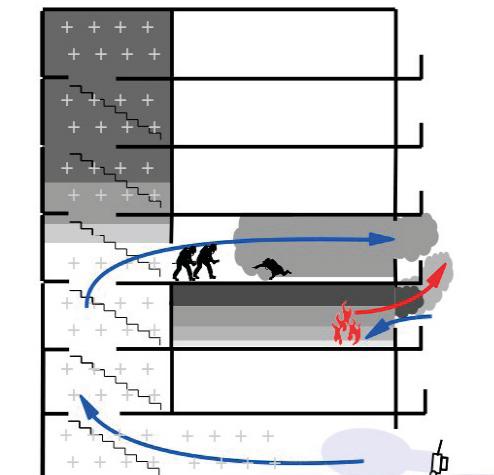


Imagen 183: Ataque en presión positiva para el rescate

Objetivo

- Rescate de víctimas

Técnicas de referencia

- Antiventilación o confinamiento de incendios.
- Enfriamiento de gases.
- Ventilación en presión positiva defensiva.
- Ventilación secuencial.

Indicaciones

- Incendios con posibles víctimas.
- Incendios en estructuras complejas o con dotaciones de personal reducidas.
- Incendios en los que es posible confinar el recinto del incendio o aislarlo del resto de la estructura.

- Construcciones donde aislado el incendio y con la ayuda de un ventilador es posible establecer un flujo unidireccional, definido y previsible.

Ejecución

1. Confinar el incendio empleando técnica de **antiventilación**.

En caso de necesidad es posible iniciar una ventilación defensiva sin confinar el incendio. Para ello el recinto del incendio deberá estar cerrado al exterior de modo que la presurización de la puerta de entrada no genere un flujo de aire a través del incendio. Tan pronto sea posible el incendio deberá ser confinado cerrando la puerta de acceso o colocando una cortina de bloqueo de humo.

2. Localizar una entrada y una salida de gases de modo que un ventilador VPP pueda establecer un flujo de gases que permita la limpieza de parte o la totalidad de la zona inundada por humo fuera del recinto de incendio.
3. Iniciar una técnica de **ventilación por presión positiva defensiva**. Abrir la salida de gases. Generalmente la salida de gases se abrirá desde el interior fruto de una intervención previa con tácticas de **ataque interior en antiventilación**. También es posible realizar la apertura de gases desde el exterior mediante un vehículo de altura o una escalera.

En la mayoría de los casos, el personal puede permanecer en el interior sin que sea necesario su retroceso como en las tácticas de **ataque en presión positiva para la extinción**. Esto es posible ya que los gases de incendio en su dispersión por edificio se han enfriado y diluido hasta reducir su potencial de inflamación. Caso de no valorarse de este modo por parte del equipo de ataque se deberá proceder a un **enfriamiento de gases** previo y/o a retroceder hasta una posición cuya temperatura de gases pueda considerarse segura.

4. Una vez confirmada la apertura de la salida de gases se acelera el ventilador al máximo, se coloca contra la puerta aún cerrada presurizando todo el frontal y se abre la puerta para que el flujo de aire del ventilador penetre en la estructura.

En numerosas configuraciones la puerta en la que se ubica el ventilador y la que da acceso al recinto de incendio son distintas. Esto es común en edificios en altura donde el ventilador se ubica en la puerta principal del portal mientras que la puerta que se abre para dar acceso al flujo de aire al recinto es la de la propia vivienda.

5. Una vez se confirma el buen funcionamiento de la ventilación y una mejora de las condiciones interiores, el equipo de ataque debe realizar una la búsqueda en las zonas donde la visibilidad se ha recobrado.
6. La compartimentación de la estructura requiere el empleo de técnicas de **ventilación secuencial**: desde la zona más cercana al ventilador, los recintos se van abriendo uno a uno con objeto de optimizar el flujo de

aire. Cada vez que uno de ellos haya sido limpiado, se abrirá la siguiente salida de gases, pasando después a cerrar la del recinto anterior ya limpio.

7. La búsqueda y rastreo se debe realizar lo más rápidamente posible para poder iniciar las labores de extinción en el recinto del incendio tan pronto fuera posible.

Consideraciones de seguridad

- No emplear si no es posible establecer un claro flujo de gases unidireccional.
- No emplear si no se ha localizado el recinto de incendio.
- No emplear con combustibles muy volátiles o pulvulentos.
- No emplear en situaciones de *backdraft* inminente.
- No emplear si los gases de incendio pueden desplazarse a recintos ocultos o viviendas anexas.
- Valorar la situación de viento dominante para evitar configuraciones de ventilación en contra del viento.
- Comprobar que los gases fuera del recinto de incendio están inertizados por enfriamiento y dilución.
- Valorar de forma continua el funcionamiento de la ventilación y vigilar que la entrada, la salida o puerta intermedias no se cierren interrumpiendo la ventilación.
- No bloquear el flujo de gases con personal ubicado en puertas y pasillos.
- Realizar una búsqueda rápida.
- Vigilar la rotura de ventanas que pueden suponer un cambio en el flujo de gases.
- Atender el recinto de incendio tan pronto sea posible.

8. ATAQUE EN PRESIÓN POSITIVA PARA LA PROGRESIÓN

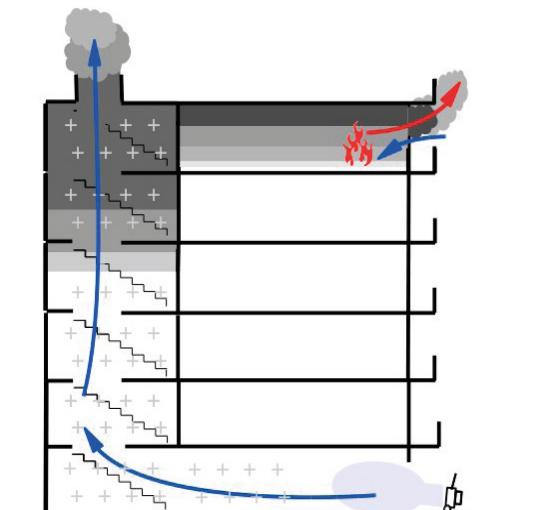


Imagen 184: Ataque en presión positiva para la progresión



Objetivo

- Limpieza de cajas de escalera y pasillos comunes de tránsito.
- Mejora de las condiciones hasta el recinto de incendio.

Técnicas de referencia

- Antiventilación o confinamiento de incendio.
- Enfriamiento de gases.
- Ventilación en presión positiva defensiva.
- Ventilación secuencial.

Indicaciones

- Incendios con rutas de evacuación a través de cajas de escalera o pasillos comunes inundados de humo.
- Incendios en estructuras complejas o con dotaciones de personal reducidas.
- Incendios en los que es posible confinar el recinto del incendio o aislarlo del resto de la estructura.
- Construcciones donde aislado el incendio y con la ayuda de un ventilador es posible establecer un flujo unidireccional, definido y previsible.

Ejecución

- Idéntica a la expuesta para el **ataque en presión positiva para el rescate** si bien el objetivo es limpiar las zonas de acceso hasta el recinto de incendio.

Consideraciones de seguridad

- Idénticas a las expuestas para el **ataque en presión positiva para el rescate**.

9. ATAQUE EN PRESIÓN POSITIVA CONTRA LA PROPAGACIÓN

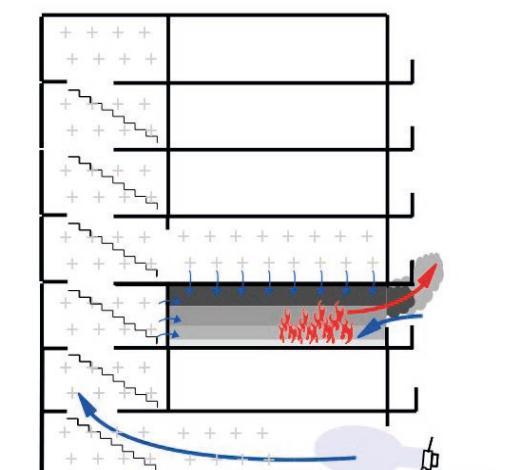


Imagen 185: Ataque en presión positiva contra la propagación

Objetivo

- Limitar la propagación del incendio.
- Evitar la dispersión de gases de incendio a zonas limpias.

Técnicas de referencia

- Antiventilación o confinamiento de incendio.
- Presurización de recintos.

Indicaciones

- Incendios en estructuras complejas o con dotaciones de personal reducidas.
- Incendios en los que es posible confinar el recinto del incendio o aislarlo del resto de la estructura.

Ejecución

1. Anteriormente se acabará de terminar de realizar un **ataque en presión positiva para el rescate o para la progresión** de modo que la zona de trabajo estará libre de gases de incendio.
2. Determinar la zona que quiere presurizarse y dejar las puertas interiores abiertas de modo que exista comunicación hasta la puerta de acceso al edificio donde se colocará el ventilador.
3. Asegurar la máxima estanqueidad del edificio. Cerrar todas las ventanas al exterior y las puertas de acceso a las zonas que no sea necesario presurizar.
4. Iniciar una técnica de **presurización de recintos**. Colocar el ventilador VPP en la puerta de acceso para que el flujo de aire creado por este impacte en la masa de aire del interior del recinto generando una presurización.

Consideraciones de seguridad

- No emplear en recintos que no estén limpios de gases de incendio.
- No emplear si no se ha localizado el recinto de incendio.

10. ATAQUE COMBINADO (ATAQUE EXTERIOR OFENSIVO + ENFRIAMIENTO DE GASES + APP)

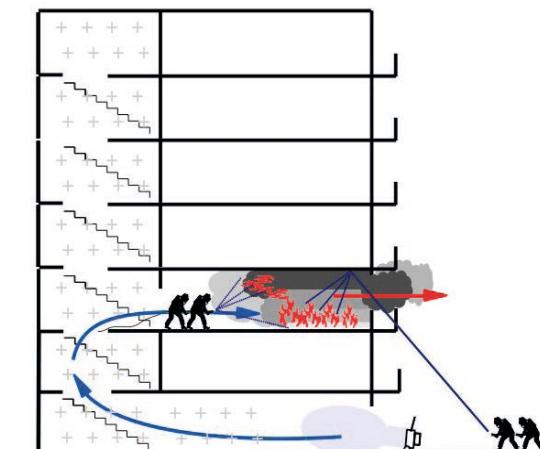


Imagen 186: Ataque combinado (ataque exterior ofensivo + enfriamiento de gases + APP)

Objetivo

- Rescate de víctimas.
- Control de la propagación interior.
- Extinción del incendio.

Técnicas de referencia

- Ataque exterior ofensivo “ablandado”.
- Antiventilación o confinamiento de incendio.
- Ataque indirecto.
- Ataque directo.
- Enfriamiento de gases.
- Ventilación en presión positiva ofensiva.
- Barómetro de entrada.

Indicaciones

- Incendios de interior ya ventilados (rotos por fachada o con aperturas al exterior presentando un flujo de gases definido).
- Recintos donde con la ayuda de un ventilador es posible establecer un flujo unidireccional, definido y previsible.
- Incendios de interior con posible presencia de víctimas donde es necesario un ataque rápido al incendio y una mejora de las condiciones de supervivencia.
- Incendios con unas condiciones donde la respuesta a la ventilación puede ser violenta.
- Incendios en estructuras complejas o con dotaciones de personal reducidas.

Ejecución

1. Localizar una entrada y una salida de gases de modo que un ventilador VPP pueda establecer un flujo de gases unidireccional, definido y previsible.
2. Abrir la salida de gases. Generalmente la salida de gases se abrirá desde el exterior. Pero es posible hacerlo desde el interior combinando esta táctica con una intervención previa en **ataque interior en antiventilación** en el que el equipo de ataque localiza y abre una salida de gases desde el interior y retrocede inmediatamente por detrás del foco del incendio.
3. Iniciar un **ataque exterior ofensivo “ablandado”** en la apertura de salida de gases.
4. Preparar el ventilador VPP (motor a mínima potencia y orientado a 90° con respecto a la puerta) y el tendido de manguera en carga de modo que no haya retraso alguno cuando se tome la decisión de entrada.
5. De forma simultánea al **ablandado**, realizar un **enfriamiento de gases** enérgico desde la puerta de entrada de modo que las condiciones del incendio se reduzcan antes de empezar las maniobra de ventilación.

6. Iniciar una técnica de **ventilación por presión positiva ofensiva**. Estando ya la apertura de gases abierta se acelera el ventilador al máximo, se coloca contra la puerta aún cerrada presurizando todo el frontal y se abre la puerta para que el flujo de aire del ventilador penetre en la estructura.

En numerosas configuraciones la puerta en la que se ubica el ventilador y la que da acceso al recinto de incendio son distintas. Esto es común en edificios en altura donde el ventilador se ubica en la puerta principal del portal mientras que la puerta que se abre para dar acceso al flujo de aire al recinto es la de la propia vivienda.

Cuando se hace la apertura de entrada, el equipo de ataque con el correspondiente tendido de agua en carga debe estar ubicado en el exterior de la puerta que da acceso al recinto del incendio.

7. El equipo de ataque realiza un espera de seguridad hasta que las condiciones interiores mejoran y el mando de intervención da la orden de entrada.

Esta espera de seguridad se realiza generalmente en el exterior de la puerta de acceso al recinto de incendio, parapetado y sin entorpecer el flujo de aire que entra a través de dicha puerta.

Cuando la apertura de la salida de gases se ha realizado desde el interior con una operación de **ataque interior en antiventilación**, el equipo interior puede retroceder hasta una zona que los ubique fuera de la ruta caliente de gases, sin llegar a tener que salir hasta la puerta de acceso; estancias fuera de la ruta de gases son en estos casos la mejor opción.

La espera de seguridad tiene por objeto valorar el funcionamiento de la ventilación y evitar que un potencial *flashover* inducido por la ventilación se produzca con los intervenientes en el interior.

8. Una vez se confirma el buen funcionamiento de la ventilación y una mejora de las condiciones interiores, el equipo de ataque debe realizar una rápida y agresiva progresión interior.

El sentido de esta táctica es ganar visibilidad y no estar expuesto a los riesgos de la atmósfera del incendio. Por ello, el equipo de ataque no debe rebasar en ningún momento la cuña de avance del aire fresco.

9. Tanto pronto el foco del incendio sea localizable, se debe realizar un **ataque directo** agresivo sobre el incendio. El flujo creado por el ventilador VPP evita que los vapores retrocedan hasta la posición en que se encuentra el equipo de ataque. Esto permite realizar un ataque aplicando una mayor cantidad de agua y ganar control del incendio en el menor espacio de tiempo posible.

10. En superficies calientes que estén pirolizando o se encuentran cerca de esta situación, el equipo de ataque realiza un **ataque directo** de poca intensidad con el objeto de frenar los procesos de pirólisis y evitar una potencial evacuación.



11. Si durante el proceso de progresión interior una víctima es localizada, se debe realizar una valoración clara de la acción a emprender.

La ventilación no es un proceso que pueda revertirse. Una vez que la hemos iniciado, ya hemos introducido un volumen de aire fresco que eventualmente se mezclará con los gases de incendio y los podrá situar en rango de inflamabilidad.

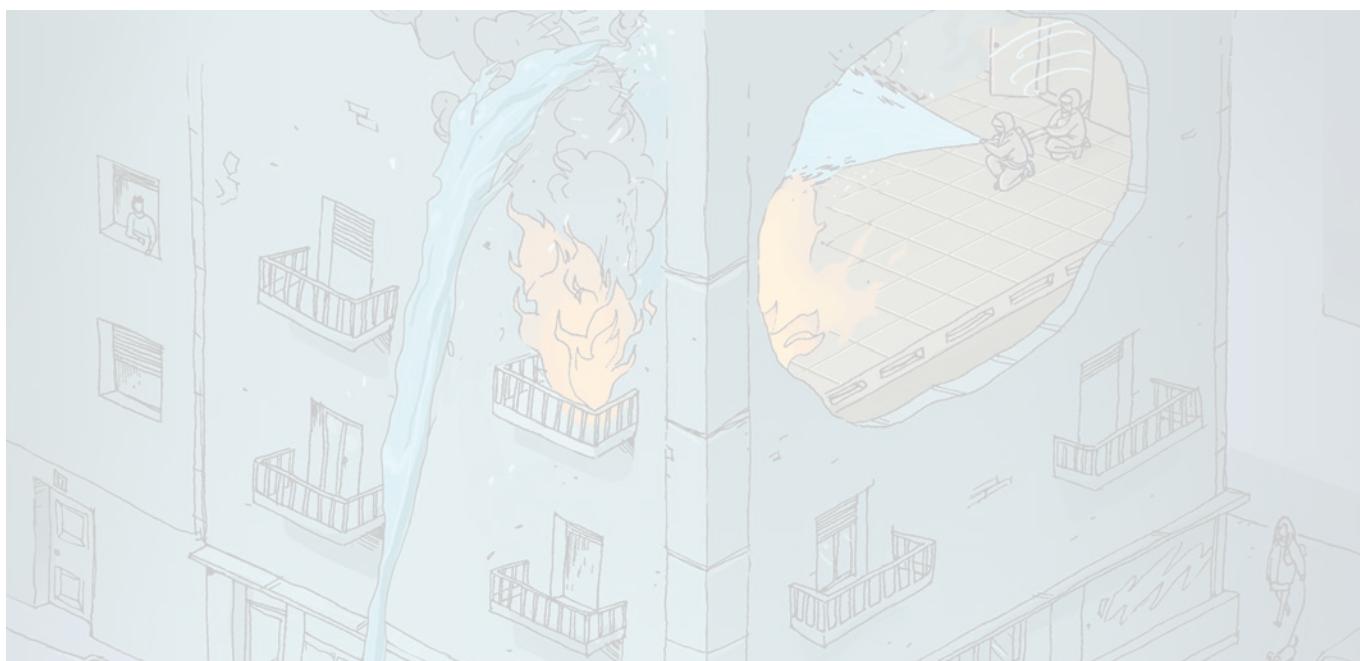
Por un lado sacar la víctima del recinto una vez iniciada la ventilación y retrasar la aplicación de agua sobre el foco del incendio puede dar lugar a la propagación del incendio, su crecimiento fuera de control y un agravamiento para otras víctimas que hubiera en el interior.

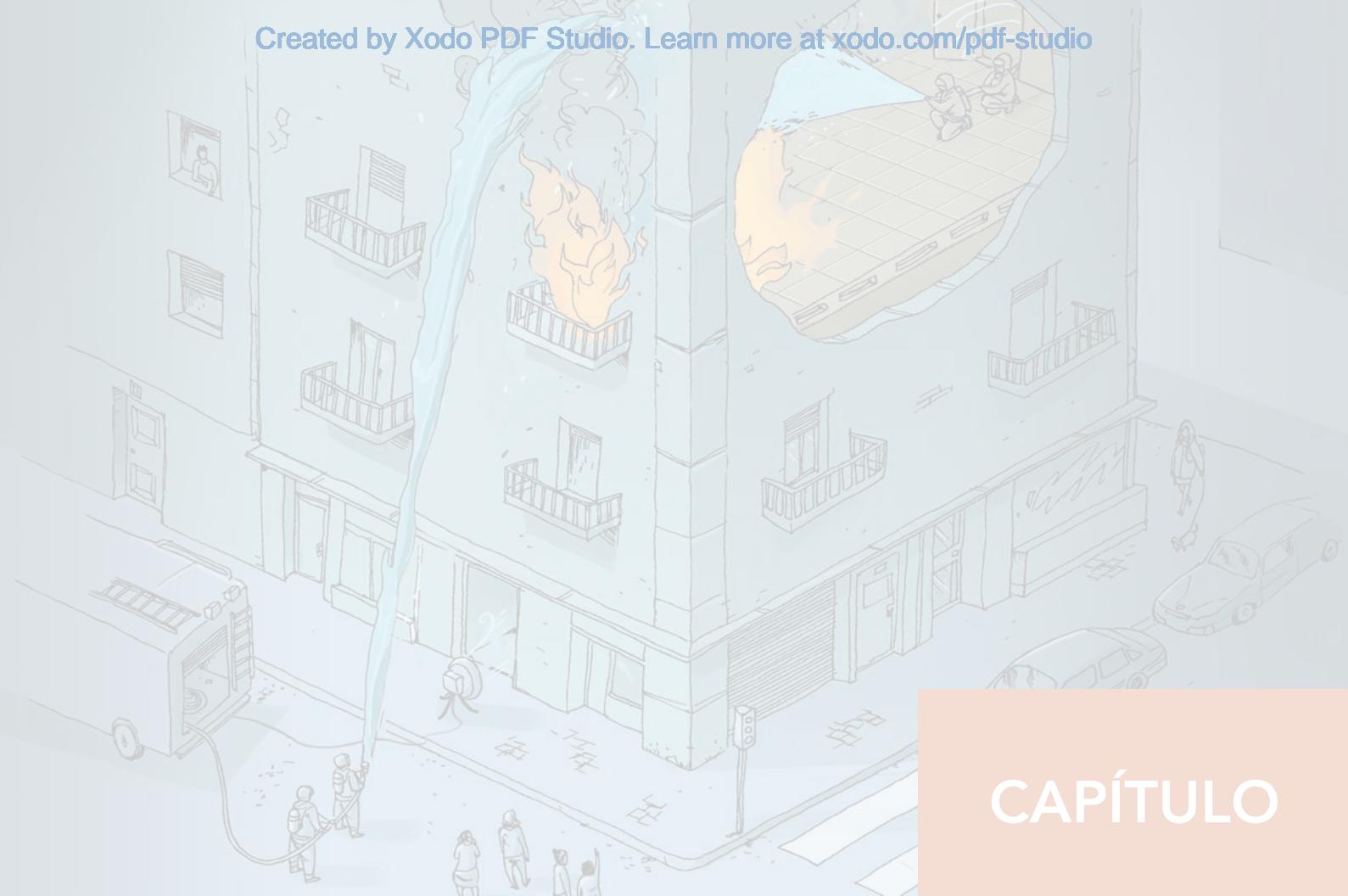
La opción más recomendable en estos casos, habida cuenta que el inicio de la ventilación ha provisto de aire respirable las zonas bajas en las que se encuentra la víctima, es continuar y realizar un control mínimo del incendio que permita que la situación no crezca fuera de control. Movilizar un segundo equipo para acceder y rescatar la víctima puede ser una mejor opción si existe personal disponible.

Consideraciones de seguridad

- No emplear si no es posible establecer un claro flujo de gases unidireccional.
- No emplear si no se ha localizado el recinto de incendio.
- No emplear si hay personas o víctimas en la ruta caliente del flujo de gases.
- No emplear con combustibles muy volátiles o pulvulentos.
- No emplear en situaciones de backdraft inminente.
- No emplear si los gases de incendio pueden desplazarse a recintos ocultos o viviendas anexas.
- Valorar la situación de viento dominante para evitar configuraciones de ventilación en contra del viento.

- No iniciar operación alguna que implique ventilación sobre el incendio sin tendido preparado.
- Suavizar las condiciones del incendio suficientemente mediante el **ablandado** desde la salida de gases y el **enfriamiento de gases** desde la entrada de modo que la respuesta al ventilación del incendio sea tenue.
- Vigilar el crecimiento del incendio como consecuencia de la ventilación.
- Proveer un flujo de ventilación que sea suficiente para realizar el barrido de los gases: tamaños de apertura y salida suficientes, ventilador VPP proporcional, ausencia de pérdidas y fricciones al flujo de gases.
- Preferiblemente realizar la espera de seguridad fuera del recinto de incendio. En cualquier caso nunca en zona de ruta caliente de gases
- Valorar de forma continua el funcionamiento de la ventilación y vigilar que la entrada, la salida o puerta intermedias no se cierren interrumpiendo la ventilación.
- No bloquear el flujo de gases con personal ubicado en puertas y pasillos.
- Realizar una progresión rápida hasta el incendio.
- No rebasar la cuña de avance de aire limpio.
- Aplicar agua sobre el incendio tan pronto sea posible.
- Realizar un ataque agresivo sobre el incendio.
- Vigilar la rotura de ventanas que pueden suponer un cambio en el flujo de gases.
- Asegurar la inertización efectiva de los gases de incendio durante la progresión.
- Tan pronto se haya extinguido el incendio, realizar un rastreo exhaustivo en busca de víctimas que no hubieran podido localizarse en la primera fase.





CAPÍTULO

5

Casos prácticos



Se muestra a continuación una serie de resoluciones de casos prácticos, todas ellas basadas en casos reales, al objeto de enlazar los bloques ya desarrollados:

- Conocimiento técnico sobre incendios.
- Técnicas específicas de intervención.
- Valoración y análisis de incendio.
- Planteamiento táctico de intervención.

El planteamiento táctico de una intervención varía enormemente en la medida de los recursos disponibles. Al objeto de los casos prácticos se ha supuesto la siguiente dotación y vehículos:

- 1 Mando de Intervención (MI).
- 1 Jefe de Dotación (CJD).
- 5 Bomberos (BB).
- 1 Bomba pesada.
- 1 Vehículo de altura.

El personal a excepción del MI queda agrupado en binomios, resultando los siguientes equipos:

- 1 Mando de Intervención (MI).
- 1 Equipo de Ataque 1 (CJD + BB1).
 - 1 Equipo de Apoyo (BB2 + BC).
 - 1 Equipo de Ataque 2 (BB3 + BB4).

Vaya por delante que lo que aquí se muestra es solo una de tantas soluciones posibles al ejemplo propuesto

1. INCENDIO EN UNIFAMILIAR

a) Planteamiento:

- Unifamiliar exento en 2 plantas, una víctima confirmada en el interior, el humo inunda toda la estructura, puerta principal abierta, incendio de contenido.

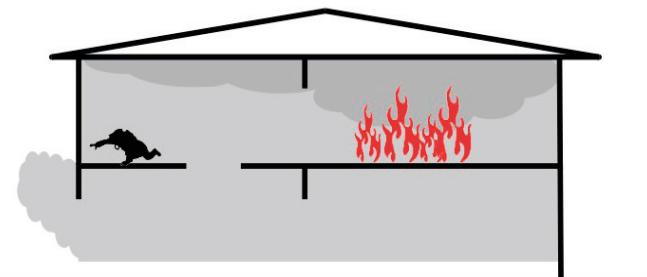


Imagen 187: Víctima confirmada en el interior de un incendio

b) Intervención:

- La presencia de víctimas confirmadas hace necesaria una rápida intervención. Al tratarse de un vivienda exenta a ras de suelo, con un incendio de contenido, los planteamientos tácticos basados en ventilación forzada resultan sumamente útiles. Sin embargo sólo existe una apertura, la entrada principal.
- Se procede a un **ataque interior en antiventilación** con 3 objetivos: rescate de la víctima, control del incendio y

localización de una salida de gases que permita emplear técnicas de ventilación forzada. Como efecto del confinamiento del incendio, éste disminuye su potencia si bien el plano neutro se encontraba muy bajo y con el confinamiento desciende completamente hasta el suelo dificultando la progresión interior. En la puerta de acceso queda un bombero realizando el control de puerta.

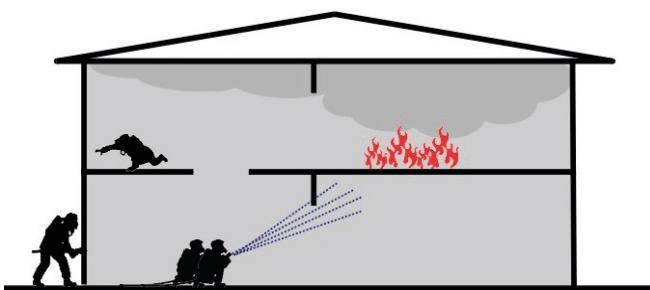


Imagen 188: Ataque interior en antiventilación

- Llegados al recinto de incendio, se hace un control del incendio. Sin embargo la ausencia de visibilidad impide realizar el rastreo en un tiempo razonable por lo que se prioriza la búsqueda de una ventana por la que poder empezar una técnica de ventilación por presión positiva.

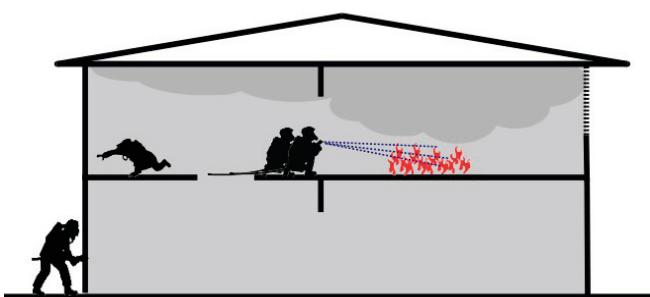


Imagen 189: Búsqueda de ventana por la que poder empezar una técnica de ventilación por presión positiva

- Abierta la ventana en el mismo recinto de incendio (podía haber sido cualquier otra) se procede a realizar un **ataque en presión positiva para la extinción**. El incendio ha sido controlado previamente por lo que la reacción a la ventilación será moderada. En cualquier caso la dotación retrocede y avanza con la cuña de aire fresco para localizar a la víctima en condiciones de visibilidad. El flujo de aire fresco avivará el incendio pero en condiciones de visibilidad, la progresión hasta el foco es suficientemente rápida como para extinguir el incendio con anterioridad. La localización de la víctima una vez evacuado el humo resulta sencilla.

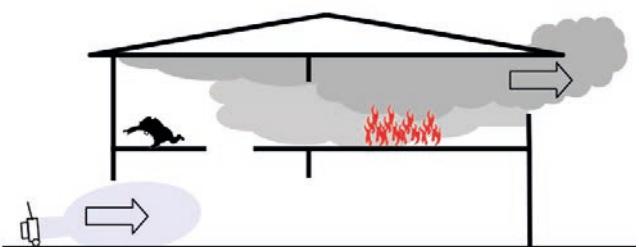


Imagen 190: Ataque en presión positiva para la extinción

2. INCENDIO EN BLOQUE DE VIVIENDAS

a) Planteamiento:

- Bloque de viviendas, incendio generalizado en una vivienda, caja de escalera inundada de humo, múltiples ocupantes sin ruta de evacuación, 1 víctima en una de las viviendas que también ha sido inundada de humo, incendio de contenido.

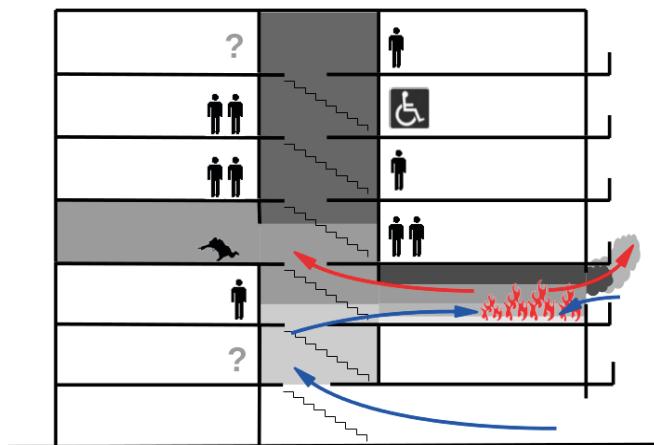


Imagen 191: Víctima inundada de humo en bloque de viviendas

b) Intervención:

- Con la reducida dotación existente, la opción más viable es confinar el incendio para establecer dos sectores:
 - Sector vivienda incendiada** donde se realizarán tareas de control del incendio mediante un **ataque exterior ofensivo “ablandado”** realizado desde nivel de calle o desde vehículo de altura.
 - Sector caja escalera y resto de viviendas** donde se realizará un **ataque en presión positiva para el rescate** con objeto de localizar la víctima en la vivienda inundada de humo.

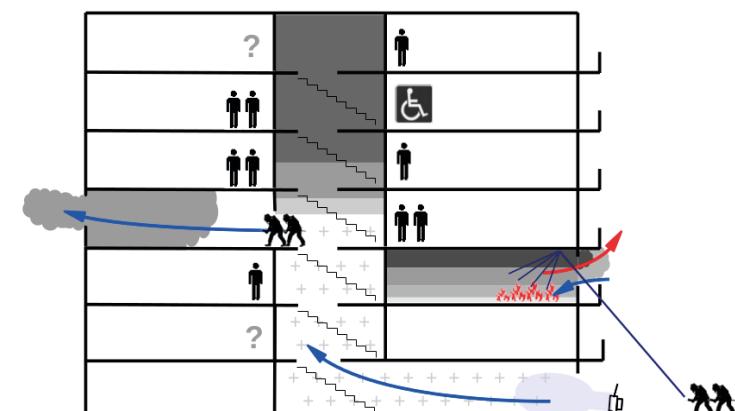


Imagen 192: Ataque exterior ofensivo “ablandado” y ataque en presión positiva para el rescate

- En el sector caja de la escalera se realiza un **ataque en presión positiva para la progresión** que permite evacuar todos los ocupantes del edificio. Mientras tanto el **“Ablandado”** continúa en el sector de vivienda.

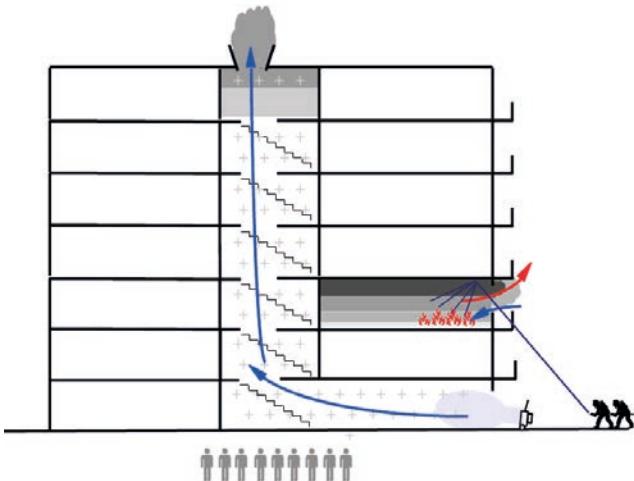


Imagen 193: Ataque en presión positiva para la progresión

- Habiendo terminado las operaciones en el sector caja de escalera, y por tanto con personal adicional, se emplea un **ataque combinado a incendio** en la vivienda.

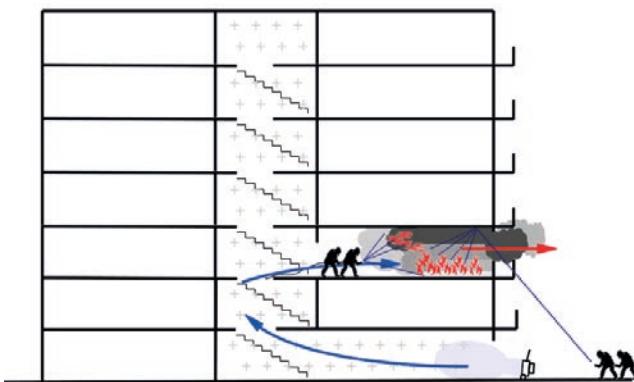


Imagen 194: Ataque combinado a incendio

3. INCENDIO EN LOCAL COMERCIAL

a) Planteamiento:

- Local comercial en los bajos de un bloque de viviendas, incendio afecta la totalidad del local de considerable profundidad, ventanales rotos, incendio muy ventilado, sin víctimas.

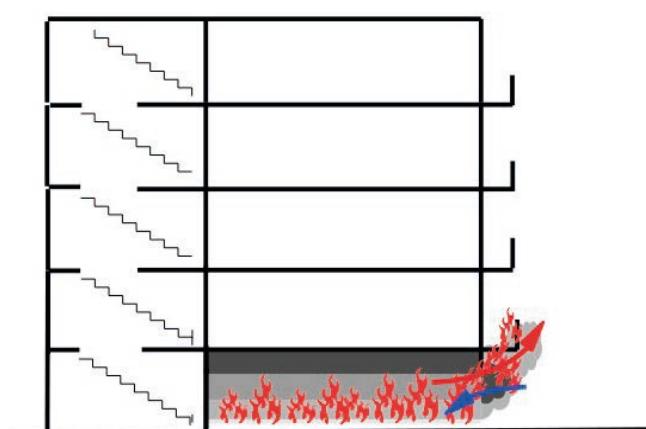


Imagen 195: Incendio muy ventilado

**b) Intervención:**

- La ausencia de víctimas y la magnitud del incendio obligan a asegurar el control de la propagación. Para ello se realiza un ataque en presión positiva contra la propagación en la parte de viviendas y un control exterior de la propagación.

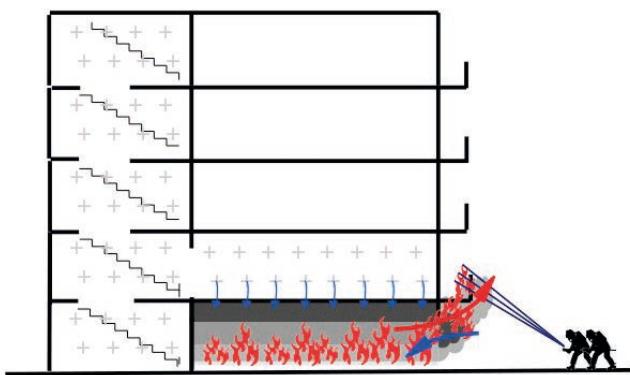


Imagen 196: Ataque en presión positiva contra la propagación en la parte de viviendas y un control exterior de la propagación

- Una vez controlada la propagación, la extinción más segura se realizará realizando un **ataque exterior ofensivo** previo.

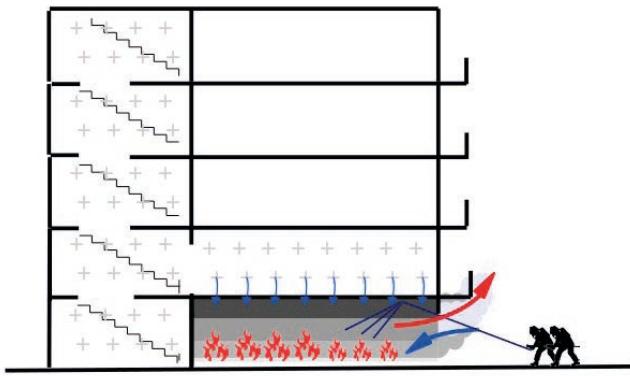


Imagen 197: Ataque exterior ofensivo

- Para la extinción total del incendio será necesario acceder hasta las zonas mas profundas del local. Habiendo realizado un control previo del incendio ya mediante el "Ablandado" puede ser factible un **ataque a incendio con ventilación natural**.

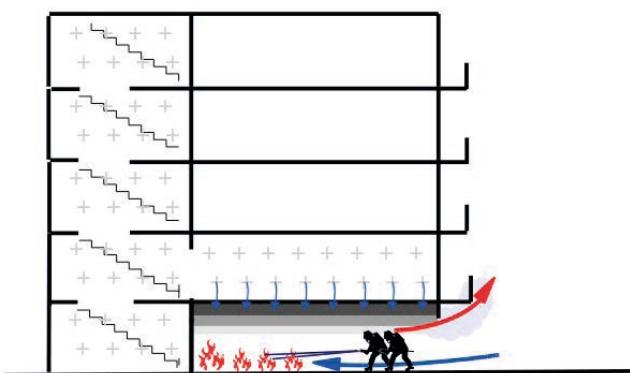
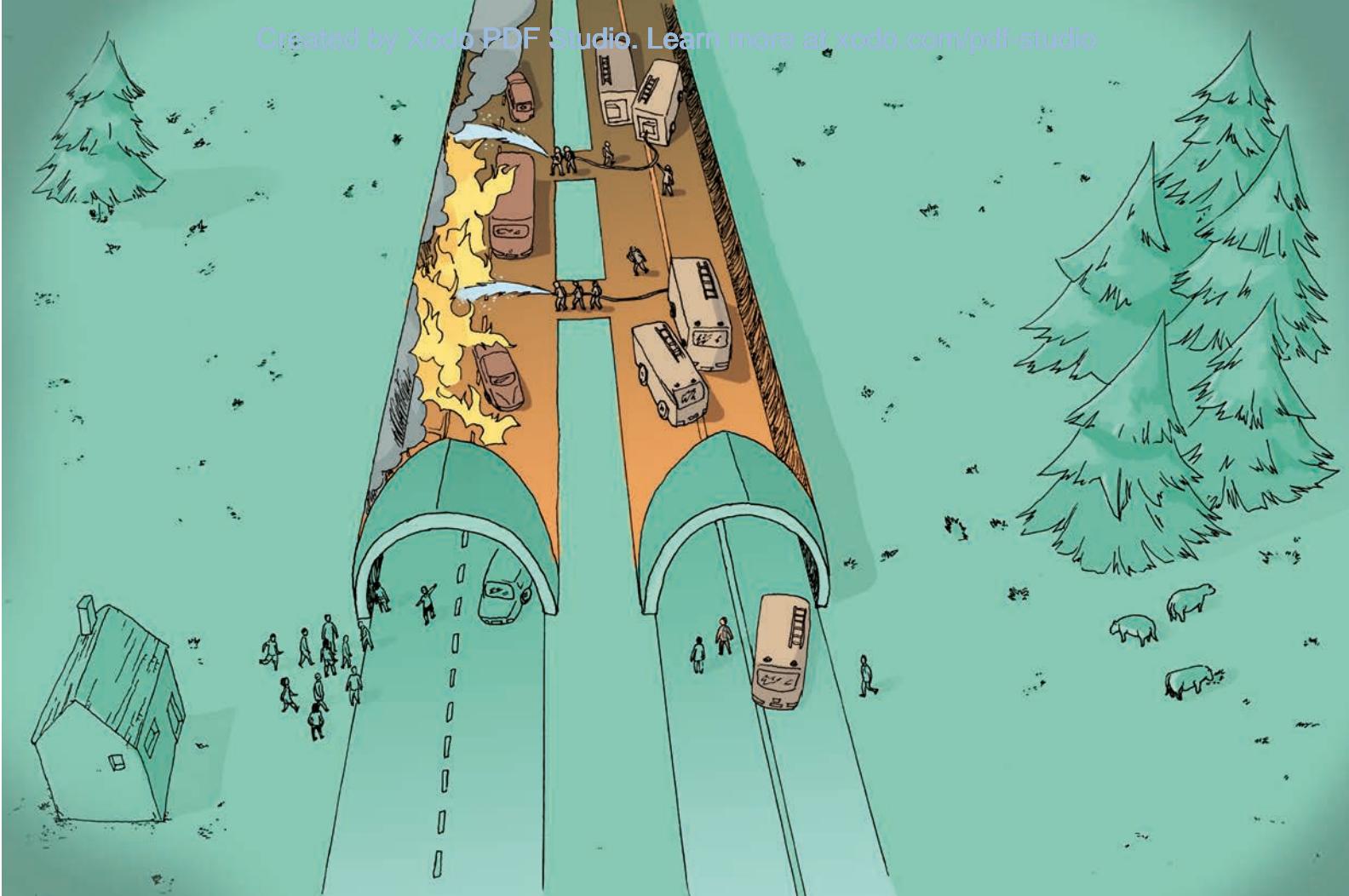


Imagen 198: Ataque a incendio con ventilación natural

**CONVIENE RECORDAR**

- Los **incendios actuales** se desarrollan con más rapidez, tienen mayor potencia y reaccionan a la ventilación con más rapidez.
- En un **incendio limitado por la ventilación**, la **potencia** depende de la cantidad de aire que pueda entrar en el recinto.
- El escenario más probable a la llegada a un siniestro es un **incendio infraventilado** (un incendio limitado por la ventilación que consume el oxígeno disponible antes de llegar a una etapa de *flashover*).
- Los incendios infraventilados presentan un importante riesgo de evolucionar en un ***flashover*** inducido por la ventilación.
- El flujo de gases debe identificarse en el incendio. El **ataque interior** podrá realizarse a lo largo de la ruta de gases fría; valorar su ejecución a lo largo de un flujo bidireccional y evitarse a toda costa acceder por la salida de gases.
- El **ataque exterior ofensivo** permite mejorar las condiciones interiores, reducir la temperatura, aumentar la supervivencia de víctimas y facilitar el ataque interior posterior.
- La **ventilación** permite mejorar las condiciones de trabajo y supervivencia de víctimas pero debe acompañarse siempre de la aplicación de agua.
- El **ataque interior** debe coordinarse y acompañarse siempre que sea posible con un control de la ventilación y un ataque exterior.
- El uso de la **Ventilación con presión positiva** permite realizar la ventilación de forma más efectiva.
- Confinar el incendio y expulsar el humo** del resto de la estructura permite asegurar la vida de víctimas y acelerar el rastreo.



Juan Carlos Muñoz Matías

PARTE 4

INCENDIOS EN TÚNELES

Manual de incendios

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción



CAPÍTULO

1

Caracterización



1. VALOR PEDAGÓGICO DEL ESTUDIOS DE LOS INCENDIOS EN TÚNELES

Los incendios en túneles cuentan con una serie de particularidades que los hacen especialmente interesantes para ilustrar algunas de las técnicas y características presentadas en el ámbito de los incendios de interior y la ventilación. Planteando diferentes soluciones a algunas de las dificultades específicas que presentan este tipo de infraestructuras es posible profundizar en el análisis de diferentes técnicas y formas de intervención, que ayudarán a entender qué tipo de planteamiento se debe utilizar en otros incendios específicos (chimeneas, vertederos, vehículos, edificios de gran altura, etc.).



Imagen 1. Partes de un túnel

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS TÚNELES

2.1. PARTES DE UN TÚNEL

La Real Academia Española define túnel como un “paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación”. Habitualmente, en un túnel se identifican las siguientes partes:

- **Clave:** es la parte más alta del túnel. Es habitualmente curva, aunque será plana en túneles rectangulares.
- **Gálibo:** es la altura/anchura libre que hay sobre la calzada o zona de circulación de vehículos. Siempre es menor que la altura de la clave/anchura del túnel.
- **Hastiales:** son los laterales izquierdo y derecho del túnel. Suelen estar forrados con chapa cuando el túnel no está revestido de hormigón y pueden ser rectos o curvos.
- **Bocas:** son los pórticos por los que se entra y se sale del túnel.
- **Calzadas:** es el firme por donde circulan los vehículos.
- **Aceras:** están situadas a cada lado de la calzada. Son planas y libres de obstáculos, con una anchura mínima que permita el paso de dos personas en paralelo. También ha de disponer de pasamanos en el hastial que sirva de guía táctil, de gran utilidad en el caso de que el humo dificulte la visibilidad.
- **Cunetas:** es la zona que hay a ambos lados del túnel y que sirve para recoger el agua que se filtra a través del terreno.
- **Apartaderos:** permiten que los vehículos se detengan en un túnel sin bloquear el carril de circulación, reduciendo las molestias al tráfico y el riesgo de colisión. En un túnel bidireccional se dispondrá de este equipamiento a >1500 metros. Si la IMD (Intensidad Media Diaria) es >2000 vehículos, será cada 1000 metros.

2.2. TIPOS DE TÚNELES

Existen diferentes clasificaciones de túneles en función de sus características. Aspectos como su ubicación, la forma en que se construyen, su cometido, el tipo de tránsito que permiten, la dirección de la circulación y el tipo de revestimientos que presentan influirán en el tipo de intervención que debe llevarse a cabo en el caso de que se produzca un incendio en su interior. (Tabla 1)

2.3. INSTALACIONES DE SEGURIDAD Y RELACIONADAS CON LA INTERVENCIÓN EN INCENDIOS DE TÚNELES

A pesar de que no existe mayor probabilidad de que se produzca un accidente en el interior de un túnel que en otros puntos del trazado de las carreteras, las dificultades de rescate o evacuación y la peligrosidad provocada por el confinamiento en estos incidentes afecta de forma significativa a la seguridad de los usuarios. Por ello es necesario que el túnel cuente con algunos sistemas o instalaciones que garanticen una evacuación rápida, segura y adecuada para el usuario, a la par que minimicen el daño que el incendio pueda causar y faciliten la intervención de medios externos.

Entre este tipo de infraestructuras se encuentran:

- Los sistemas de señalización.
- Las vías de evacuación.
- Los sistemas de suministro energético.
- Los sistemas de iluminación.
- Los sistemas de comunicación.
- Los sistemas de detección y lucha contra incendios.
- Los sistemas de ventilación.

2.3.1. SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

En el caso de España, para túneles construidos con anterioridad a 2006, la señalización de emergencia consistía en un único pictograma ubicado sobre



Tabla 1. Diferentes tipologías de túneles

| Tipología | Clases | Características |
|--------------------------|-------------------|---|
| Ubicación | Urbanos | Situados en el trazado de vías urbanas. Ya sea dentro de una población o en sus proximidades. |
| | No urbanos | Situados fuera del núcleo urbano; es decir, en el trazado de las carreteras interurbanas. |
| Forma de construcción | Trinchera | Se abren mediante una excavación a cielo abierto y se recubren posteriormente con un forjado superior para permitir el tránsito de vehículos a dos niveles distintos. |
| | Recubiertos | Se construyen primero excavando el terreno, después se disponen uno o dos tubos y, por último, se recubren con rellenos. |
| | Excavados | La cavidad deseada se abre en la roca o en el suelo y posteriormente se sostiene el terreno para permitir el tránsito. |
| | Prefabricados | Están constituidos por piezas que se van ensamblando. Por lo general, se realizan para salvar cursos de agua. |
| Cometido | Terrestres | Atravesan el terreno. |
| | Fluviales | Atravesan ríos o lagos. |
| | Marinos | Atravesan el mar. |
| Tránsito | Carretero | Tráfico rodado. |
| | Ferroviario | Ferrocarriles. |
| Dirección de circulación | Sentido único | Es muy común en autovías y autopistas. Cada sentido transita por un tubo diferente. |
| | Dos sentidos | Se ha construido un único tubo para la carretera con doble sentido que lo transita. |
| Tipo de revestimiento | Con revestimiento | De hormigón, lo que les confiere una mayor resistencia frente a los desprendimientos y un comportamiento más laminar del flujo de aire de ventilación. |
| | Sin revestimiento | No presentan acabado final: el terreno excavado queda a la vista. |

la propia salida de evacuación; por tanto, difícilmente distinguible a cierta distancia. El Real Decreto (RD) 635/2006 establece la obligación de emplear señalización fotoluminiscente a lo largo de todo el recorrido del túnel, que indique las distancias a las salidas de evacuación más próximas en ambos sentidos.

Concretamente, en su Anexo III, el citado RD especifica las condiciones que debe cumplir la señalización de cara a facilitar a los usuarios su identificación y utilización en condiciones adecuadas de seguridad. En relación con las señales viales que identifiquen las salidas de emergencia, establece

que se utilizará la misma señal para todos los tipos de salidas de emergencia, siendo necesario señalizar en las paredes (a distancias no superiores a 25 metros y a una altura de entre 1 y 1,5 metros por encima del nivel de la vía de evacuación) las dos salidas de emergencia más próximas y la distancia que hay hasta ellas.

Igualmente, a la entrada del túnel, debe existir una señal que informe de la longitud del mismo y de las medidas de seguridad con las que cuenta para que el conductor las conozca de antemano. En el caso de los túneles con longitud superior a 3000 metros, se indicará cada 1000 metros la longitud restante del túnel con este mismo tipo de señal.

2.3.2. VÍAS DE EVACUACIÓN

a) Tipos de vías de evacuación



La **evacuación** de un túnel tiene como objetivo trasladar a sus usuarios hasta un lugar seguro y realizar este desplazamiento en condiciones adecuadas.

Existen dos tipos de vías de evacuación:

- **Vías de evacuación no protegidas:** son aquellas que discurren por el propio túnel, sin existir una separación física del mismo, de forma que no constituyen un recinto independiente. Constituyen el único camino de evacuación para túneles de poca longitud.
- **Vías de evacuación protegidas:** son aquellas que se encuentran físicamente separadas del túnel, y constituyen un recinto independiente. Se persigue que las personas salgan del túnel incendiado por su propio pie sin estar sometidas al ambiente de humo y calor que origina el incendio. Se deben dotar de vías de evacuación protegidas a los túneles que superen los 400 metros. Los túneles de gran longitud deben contar con accesos a vías de evacuación protegidas a las distancias que se recogen en el siguiente cuadro:

Tabla 2. Distancia entre accesos según el tipo de túnel

| Tipo de túnel | Ubicación y tráfico | Distancia entre accesos |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Unidireccional | Interurbano sin retenciones | 400 metros |
| | Urbano o interurbano con retenciones | 200 metros |
| Bidireccional | Interurbano sin retenciones | 400 metros |
| | Urbano o interurbano con retenciones* | 150 metros |

(Fuente: RD 635/2006)

* Se considera túnel interurbano con retenciones si estas se producen más de cinco días al año y no se dispone de control de acceso



- **Salidas de emergencia**

El sistema de evacuación dispone de una o varias **salidas de emergencia** (debidamente señalizadas) para el tramo comprendido entre la boca de acceso y la salida del túnel. Las salidas de emergencia se deberán utilizar en caso de accidente grave, incendio o vertido de materias peligrosas. En su diseño habrá que tener en cuenta muy especialmente los efectos psicológicos que se derivan en la persona por el hecho de haber sufrido un accidente o ser víctima de un incendio en el interior de un túnel. Los esquemas de señalización y comunicación deben ser muy claros y su aparellaje suficientemente resistente al choque o al fuego.

Las **salidas de emergencia** pueden ser:

- Salidas directas del túnel al exterior
- Conexiones transversales entre tubos de túnel
- Salidas a galería de emergencia.

Puesto que las vías de evacuación protegidas deben ser recintos seguros, sus elementos delimitadores deben atender a las siguientes especificaciones durante un determinado período de tiempo:

- **Estabilidad al fuego**, está construido por materiales que no alteran su función mecánica debido a la acción del fuego.
- **Resistencia al fuego**, sus materiales o elementos de construcción impiden el paso de las llamas o gases calientes. Por este motivo no se generan en ellos fisuras, orificios, grietas u otras aberturas.
- **No emisión de gases inflamables**, no generan ni emiten gases en su cara no expuesta al fuego.
- **Resistencia térmica**, dificultan la transmisión de calor a través de él. Concretamente, evita que:
 - La temperatura en la cara no expuesta al fuego sufra un incremento con relación a la temperatura inicial mayor de 180°C en cualquiera de sus puntos
 - La media se incremente en más de 140°C
 - En todo caso, se alcancen los 220°C

- **Galerías de evacuación**

Las posibilidades de evacuación de un túnel vienen determinadas por la disposición que adopten las **galerías de evacuación**. Se describen a continuación los casos más comunes:

- **Dos tubos paralelos.**

Cuando el túnel cuenta con dos tubos independientes (túneles unidireccionales), se comunican ambos tubos de tal forma que el tubo no incendiado se utiliza como vía de evacuación protegida. Para este tipo de túneles se deben construir galerías de interconexión situadas a distancias periódicas que permitan el paso de un tubo a otro, tanto de personas como de vehículos.

- **Galería paralela al túnel**

En este caso, será esta galería paralela la que se utilizará como vía de evacuación protegida, debiendo existir las correspondientes conexiones entre el túnel y la galería de evacuación. Estas galerías normalmente se presurizan para impedir la entrada de humos durante la emergencia.

- **Galería bajo la calzada**

Se trata de una galería inferior que recorre el túnel de principio a fin y a la que se accede a través de las salidas de emergencia y unas rampas de evacuación. Cuenta con la ventaja de no tener que excavar una galería independiente, ya que esta se excava a la vez que el túnel.

- **Galería en la clave**

Este tipo de galerías de evacuación se utiliza frecuentemente en los túneles que cuentan con ventilación semitransversal o transversal, donde la galería superior por la que se insufla el aire limpio se utiliza como galería de evacuación. De este modo, la galería se encuentra presurizada y asegura que cuenta con aire limpio. El acceso a esta galería se realiza a través de las salidas de emergencia y rampas verticales que conducen a la misma. Cuenta con la ventaja de aprovechar la galería de ventilación y no ser necesario construir una galería exclusiva para la evacuación.

- **Galería ascendente**

Estas galerías ascienden para llegar a la mayor brevedad posible a la superficie exterior.

- **No existe galería de evacuación**

Cuando el túnel no cuenta con una galería de evacuación, debe contar con salidas de emergencia situadas a lo largo del túnel que lo comunican directamente con puntos intermedios del exterior. Por ejemplo, esta situación podría darse en un túnel de carretera de gran longitud.

b) Factores que influyen en la eficacia de la evacuación:

Existen distintos factores técnicos y humanos que influyen en la eficacia de la evacuación. Entre los factores **técnicos** destacan las características de las vías de evacuación (galerías y salidas de emergencia) y la existencia de un plan de emergencia adecuado.

La existencia de unas vías de evacuación correctamente dimensionadas no garantiza el éxito de una evacuación. Para que sea efectiva debe existir, incluido en el manual de explotación del túnel, un **Plan de emergencias** que contemple la evacuación. En España, este manual es obligatorio para todos los túneles de la red de carreteras, con la única excepción de los túneles no urbanos de longitud inferior a 200 metros.

Cuando se diseña el Plan de emergencias, se deben tener en cuenta las características inherentes al túnel, ya que van a incidir en el tipo de evacuación que se realice.

Entre los factores **humanos** destacan el nivel de preparación de personal y la información disponible para los usuarios:

- El personal que constituye los equipos de evacuación debe liderar y dirigir dicha evacuación y proporcionar una respuesta rápida y eficaz. Para conseguir este objetivo se deben realizar simulacros periódicos que permitan entrenar debidamente este tipo de conductas.
- Los conductores deben obtener respuestas automáticas que neutralicen las actitudes de bloqueo que se pueden producir en situaciones de emergencia por el exceso de información extraordinaria que se recibe de forma muy rápida, con connotaciones negativas para la supervivencia.



Recapitulando, de cara a facilitar una correcta evacuación, el túnel debe contar con:

- Una señalización clara y perfectamente identificable que encamine al usuario hacia las salidas de evacuación.
- Un correcto alumbrado de las vías de evacuación protegidas, una iluminación de emergencia que funcione en caso de fallo de suministro eléctrico y un marcado con pintura luminiscente de los recorridos por vías de evacuación no protegidas hasta las salidas de emergencia más próximas o al exterior.
- Una señal que informe de su longitud y de las medidas de seguridad con las que cuenta, para que el conductor las conozca de antemano.

2.3.3. SISTEMA DE SUMINISTRO ENERGÉTICO

Dado que tiene por objeto dotar de suministro eléctrico a todas las instalaciones de seguridad del túnel, el suministro de energía debe ser el adecuado para el funcionamiento de dichas instalaciones. En determinados túneles habrá que prever el doble abastecimiento y la instalación de generadores de emergencia, así como un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) que cubra el servicio hasta que los generadores se pongan en funcionamiento.



2.3.4. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El alumbrado de un túnel se justifica fundamentalmente por razones de seguridad. Tiene por objeto evitar o reducir a límites tolerables los cambios bruscos de luminosidad que afectan negativamente a la retina del ojo, con objeto de conseguir una mejor adaptación del conductor a través de una transición gradual.



Los túneles presentan dos tipos de iluminación, la de servicio normal y la de emergencia.

La **iluminación de servicio normal** pretende que el conductor se vea mínimamente afectado al pasar de un espacio con luz y abierto, a otro oscuro (túnel) y viceversa. Para lograr que dicho cambio sea progresivo, habitualmente se fijan unas zonas de transición a la entrada y salida del túnel con diferente graduación lumínica tanto en túneles urbanos como en interurbanos con una longitud superior a 200 metros.

La **iluminación de emergencia** tiene como objeto que el túnel no se quede a oscuras ante la falta de suministro eléctrico. Esta es necesaria a partir de una determinada longitud:

- **Superior a 200 metros** en túneles **urbanos o interurbanos con retenciones**.
- **Superior a 500 metros** en túneles **interurbanos**.

2.3.5. SISTEMA DE COMUNICACIÓN



Dado que la comunicación suele ser problemática en las infraestructuras subterráneas, se debe contar con sistemas que aseguren las comunicaciones vía radio entre los equipos de emergencia en caso de intervención.

Igualmente, se ha de contar con sistemas que permitan la comunicación entre los usuarios del túnel y el centro de control del mismo. A tal efecto existen interfonos instalados en los postes S.O.S. que hay en el túnel. Cuentan con un pulsador que envía una llamada al centro de control, con un micrófono y un altavoz para hablar y escuchar. Se encuentran cada 50 o 100 metros, en el lado derecho (túnel unidireccional), o en ambos lados (túnel bidireccional).

a) Comunicaciones para equipos de emergencia

La banda de frecuencia para voz, datos y vídeo bidireccional más efectiva y aceptada es VHF. Sin embargo, estas frecuencias no pueden penetrar la roca, debido al alto nivel de atenuación que experimentan. Si bien existen diversos métodos disponibles para la distribución de voz y datos bajo tierra, el sistema más común es el denominado **sistema cable radiante**.

La correcta instalación del sistema garantiza un buen nivel de señal en toda la red y, por lo tanto, en todo el tramo del túnel carretero.

En el caso de España este cable radiante se instala para asegurar diferentes coberturas:

- Cobertura TETRA, para cuerpos de emergencia: bomberos, policías municipales y equipos sanitarios
- Cobertura TETRAPOL, para cuerpos de seguridad (policía)

Además, el sistema se suele utilizar para dar una red de servicios adicionales:

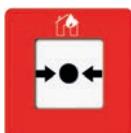
- Ocho canales de FM Comercial (emisoras de radio para los usuarios del túnel y para comunicación del centro de control a los conductores)



- Dos canales para Mantenimiento

Otro sistema empleado para proporcionar comunicaciones subterráneas es el de **antenas distribuidas**. Su instalación exige:

- Zonificación del espacio a comunicar.
- Cada zona ha de contar con una antena y un amplificador.
- Las antenas deben estar cableadas entre sí (normalmente con fibra óptica).



2.3.6. SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS

El sistema de detección de incendios es obligatorio para túneles interurbanos sin congestión a partir de 500 metros y para túneles urbanos e interurbanos con congestión a partir de 200 metros.

Estos sistemas tienen como finalidad detectar el incendio en su fase inicial para que, desde la sala de control, se proceda a realizar las actuaciones oportunas (cambios en la ventilación, activación del sistema de extinción, etc.) de forma manual o automática.

Para la detección de incendios se suele instalar en la clave de todo el túnel un cable fibrolaser, que tiene la particularidad de que al calentarse cambian las condiciones de transmisión de la de luz que lo recorre.

Los principales sistemas **homologados** se basan en las siguientes tecnologías:

- Cable de cobre con aislamiento que se funde y varía su resistencia.
- Variación de presión en un tubo lleno de aire.
- Sensores de temperatura uniformemente distribuidos.
- Análisis de características de una fibra óptica (fibrolaser).



En todo caso, el túnel deberá estar equipado con los sistemas de detección y extinción de incendios que mejor se adapten a sus características. El proyecto, igualmente, deberá contemplar esta circunstancia y analizarla con todo detalle de cara a incorporar en el diseño de las instalaciones (especialmente de la ventilación), los medios necesarios para reducir al máximo e incluso evitar los efectos que pueda producir el incendio.

El manual de explotación del túnel recogerá detalladamente las sucesivas actuaciones que se han de acometer en caso de incendio, y las medidas permanentes de mantenimiento y conservación para que la totalidad del sistema (ventiladores, detectores de fuego, tuberías, sistemas de comunicación, etc.) esté en todo momento en condiciones óptimas de servicio.

Los principales sistemas **no homologados** se basan en las siguientes tecnologías:

- Análisis de imágenes CCTV (DAI). Se trata de sistemas automatizados de control. Saltan alarmas al controlador en caso de detectarse altas temperaturas, vehículos en sentido contrario, exceso de velocidad, etc.
- Incremento de monóxido de carbono (CO).
- Incremento de opacidad.

Por su dificultad de implantación existen otros sistemas menos empleados, como pueden ser los detectores de llama.

2.3.7. SISTEMAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS



Las instalaciones constan de una o más fuentes de abastecimiento, con su correspondiente equipo de bombeo, y de unos armarios equipados con:

- Mangueras.
- Lanzas.
- Espumógeno.
- Dosificador de espuma.
- Extintor.

Se establece, además, que todos los puestos de emergencia del túnel deben estar equipados como mínimo con un teléfono de emergencia y dos extintores. Cuando los puestos de emergencia sean exigibles, este equipamiento debe situarse en el interior, cerca de las bocas, a intervalos no superiores a 150 metros para los nuevos túneles construidos a partir de 2006, y a intervalos no superiores a los 250 metros para los túneles preexistentes.

Otras posibles instalaciones son:

- Bies.
- Columna Seca.
- Grupos de Presión.
- Instalaciones de Extinción de Incendios (rociadores, nebulizadores).
- Sistema Hidrante (cada 250 metros).

2.3.8. SISTEMAS DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL



a) Ventilación natural

El túnel se ventila mediante los efectos climatológicos (viento, diferencia de presión, diferencia de temperatura) o por el efecto del tráfico. Lo normal es que éste sistema sólo pueda ser empleado en túneles muy cortos y nunca está permitido utilizar este tipo de ventilación cuando el tráfico es bidireccional.

b) Ventilación forzada o artificial

La ventilación está constituida por un conjunto de ventiladores y conductos destinados a dirigir y canalizar el aire fresco y los humos.

En España el REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, establece la necesidad de **ventilación artificial** para todos los túneles con una longitud superior a 500 metros, y para los túneles urbanos de longitud igual o menor que 500 metros y mayor que 200 metros con el correspondiente **sistema automático de control**. Este sistema de ventilación también deberá tener en cuenta el control del calor y el humo en caso de incendio y el control de los contaminantes emitidos por los vehículos en un flujo de tráfico normal y denso, así como en caso de congestión a causa de un accidente.

Asimismo, la normativa establece que en la fase de proyecto de la instalación del sistema de ventilación de la infraestructura subterránea se deberá poder extraer el humo para un incendio tipo con potencia mínima de 30 MW y caudal mínimo de humos de 120 m³/s.

En función de las características del túnel existen diferentes tipos de ventilación: longitudinal, transversal y semitransversal.

- **Sistemas de ventilación longitudinal**

Consiste en ventilar el túnel haciendo circular el aire en un único sentido (en los túneles unidireccionales generalmente coincide con el sentido de circulación del tráfico, para aprovechar el efecto pistón), de manera que el aire que se succiona por una boca se expulsa por la otra. Los ventiladores suelen ser reversibles, especialmente en el caso de túneles bidireccionales, para poder aprovechar la ventilación natural en el sentido en que esta se produzca. Por tanto, el objetivo de un sistema longitudinal es crear condiciones adecuadas para la evacuación aguas arriba* del foco de incendio, aunque se creen condiciones muy desfavorables aguas abajo.

En este sistema se disponen de ventiladores axiales que impulsan el aire desde una boca hasta la contraria. La colocación de este tipo de ventilación tiene ventajas e inconvenientes. (Ver tabla 3)



Por esta razón, este tipo de ventilación normalmente se usa en túneles unidireccionales que, además, no tengan previstos períodos de congestión de tráfico. Resulta fundamental tener recogida esta situación cuando se diseña el sistema de ventilación.

Para salvar el principal inconveniente de este tipo de túneles se instala una **ventilación longitudinal con extracción masiva de humo**, que funciona de forma análoga a la ventilación longitudinal normal. Se disponen pozos intermedios por donde, en caso de incendio, se expulsa el humo al exterior.

Esta instalación se recomienda para túneles largos de circulación unidireccional y conlleva ciertas ventajas e inconvenientes. (Ver tabla 4)

- **Sistemas de ventilación semitransversal y transversal**

Los sistemas de ventilación transversal y semitransversal se utilizarán en aquellos túneles que requieran un sistema de ventilación mecánica y en los que no se haya autorizado una ventilación longitudinal. Deberán controlar constantemente la velocidad del aire longitudinal y dispondrán sistemas que eviten la propagación de humo y calor a las salidas de emergencia.

Este tipo de sistemas crea una capa de humo próxima a la clave y la mantiene en una zona relativamente pequeña.



Imagen 2. Túnel de ventilación longitudinal

Tabla 3. Características de la ventilación longitudinal

| Ventajas | Inconvenientes |
|---|---|
| Gran ahorro de energía, ya que si la energía dinámica producida por los vehículos en tránsito es suficiente, estos ventiladores no se ponen en funcionamiento | En caso de congestión es difícil controlar las condiciones de ventilación |

Tabla 4. Túnel de ventilación longitudinal con extracción masiva de humo

| Ventajas | Inconvenientes |
|---|---|
| Posibilidad de realizar túneles de mayor longitud | Necesidad de construcción de pozos de ventilación |

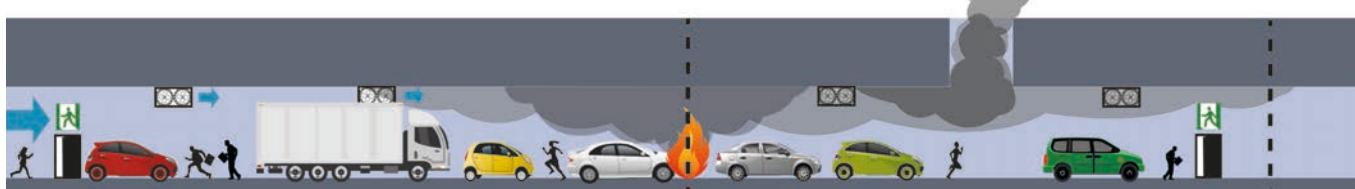


Imagen 3. Túnel de ventilación longitudinal con extracción masiva de humo



Para que esa capa se mantenga en el estrato superior es importante que el flujo de aire dentro del túnel tenga una velocidad baja (alrededor de 1 m/s y siempre menos de 2m/s). Si la velocidad se incrementa, se pierde la estratificación de la capa de humo y esto afecta a las personas que se están evacuando por debajo de la misma.

- **Ventilación semitransversal**

En la ventilación semitransversal el aire fresco se impulsa desde el exterior por un conducto situado dentro de la sección del túnel, habitualmente en la clave y separado de la zona de circulación de los vehículos por un falso techo. Aproximadamente cada seis metros este conducto comunica con el interior del túnel, mediante unos difusores por los que entra el aire fresco. El aire viciado circula a lo largo del propio túnel y sale al exterior por las bocas. Cuando hay un incendio, en lugar de inyectar aire empieza a extraer humo por las toberas, invirtiéndose el sentido del flujo de aire. Lo normal es que se concentre la extracción en la zona del incendio y se ciernen los demás puntos de extracción mediante compuertas contra el humo. El aire fresco que remplaza al humo extraído proviene de las bocas del túnel, lo que crea un flujo de aire que ayuda a mantener el humo (impide que se extienda) en la zona del incendio.

Recomendado para túneles de circulación bidireccional largos o unidireccional muy largos y/o con posibilidad de congestión.



Imagen 4. Ventilación semitransversal

- **Ventilación transversal**

En la ventilación transversal, tanto el aire fresco como el aire viciado circulan a lo largo del túnel por unos conductos situados, generalmente, en la clave del túnel, separados de la zona ocupada por los vehículos por un falso techo y con un tabique divisorio entre ambos. De este modo se impulsa aire fresco a su interior y se aspira el aire viciado.

Por otra parte, la seguridad en caso de incendio es mayor, ya que se aspira el humo y se impulsa aire fresco simultáneamente en la zona concreta donde se produce el fuego, con lo que se incrementa la capacidad para evacuar los humos y gases tóxicos.

La extracción se concentra en los puntos próximos al foco de fuego (o en una zona determinada si el túnel está dividido en zonas). En la zona del incendio se cierra un porcentaje importante de los puntos de entrada de aire para crear un flujo desde las zonas más alejadas, donde los puntos de entrada de aire siguen abiertos. De esta manera se impide que el humo se extienda a lo largo del túnel, al confinarse en una zona determinada.

Se disponen conductos con rejillas a lo largo del túnel, conectados con estaciones de ventilación exterior. En cada tramo del túnel se disponen dos conductos conectados a dos ventiladores; uno de ellos impulsa aire por la parte inferior del tubo, mientras que el otro lo extrae por la parte superior.

Se recomienda para túneles de circulación bidireccional largos o unidireccional muy largos o con configuración complicada por múltiples enlaces. Es el sistema de ventilación mecánica más seguro.

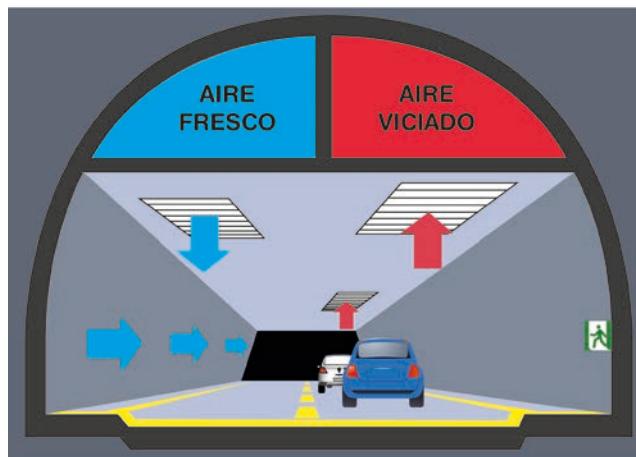


Imagen 5. Ventilación transversal

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de la ventilación semitransversal y transversal

| Ventajas | Inconvenientes |
|--|--|
| Permanentemente se pueden obtener unas condiciones ambientales óptimas (tanto en caso de incendio, como por gases contaminantes) | Encarecimiento por conductos, dificultad de puesta en marcha, elevado gasto energético, dificultad de establecer redundancias y márgenes de seguridad en el sistema. |

c) Flujo de aire

La distribución del humo en el interior del túnel depende del flujo de aire. Los flujos de aire se pueden dividir en tres grupos, en función de su efecto sobre la distribución de humo:

- Velocidades bajas de aire (<1 m/s) representada en la Figura 6. El humo normalmente está claramente estratificado cerca del fuego. Como generalmente las paredes del túnel enfrián el humo, la capa cae hacia abajo y la sección transversal completa se puede llenar de humo

- Velocidades de aire moderadas (1-3 m/s) representada en la Figura 7.
- Altas velocidades de aire (> 3 m/s) representada en la Figura 8.



Imagen 6. Progresión del humo en un túnel con un flujo de aire menor de 1 m/s



Imagen 7. Progresión del humo en un túnel con un flujo de aire aproximado de 1-3 m/s



Imagen 8. Progresión del humo en un túnel con un flujo de aire mayor de 3 m/s

- La temperatura por encima de la columna convectiva puede llegar a más de 1000 °C durante los diez minutos que siguen a la ignición.
- Durante las pruebas realizadas, las tasas máximas de liberación de calor fueron 202, 157, 119 y 66 MW, respectivamente.
- Diez minutos después de la ignición, en la zona de aguas abajo, todas las temperaturas del colchón de gases estaban por encima de 200°C hasta una distancia de 200 metros del fuego.
- En tan sólo quince minutos, las temperaturas alcanzaron su máximo en las siguientes distancias al punto central del fuego:
 - A 70 metros: 153 °C aguas arriba y 785 °C aguas abajo.
 - A 100 metros: 95 °C aguas arriba y 570 °C aguas abajo.
- Despues de 50 minutos las temperaturas no bajaron de los 100 °C

En estas condiciones (temperatura y tasas máximas de liberación) no es posible que un equipo de bomberos llegue hasta el fuego (aguas abajo). Adicionalmente, existen altas posibilidades de que queden atrapados y/o sufran daños.



A partir de los resultados de varios estudios se ha determinado que en torno a los 100°C [23] se encuentra la temperatura de los gases que podría soportar un equipo de bomberos.

3. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LOS INCENDIOS EN TÚNELES

3.1. LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE INCENDIO

La temperatura influye de forma directa en la distancia que el equipo de intervención puede recorrer y el tiempo que puede durar la operación.

En el 2003 se realizaron unas pruebas en el túnel Runehamar (*Lönnermark e Ingason, 2005*). Entre los resultados que se obtuvieron respecto a la temperatura destacan:



Imagen 9. Incendio de un coche en túnel

3.2. EL NIVEL DE RADIACIÓN GENERADO EN UN INCENDIO

Los niveles de radiación emitidos dentro de un túnel están determinados por la superficie afectada en combinación con la temperatura. Las llamas siempre tienen una temperatura más alta que el humo y por esta razón son la fuente de radiación más importante. Sin embargo tienen un efecto local (alrededor del foco), mientras que la capa de humo puede afectar a zonas muy alejadas del foco. En un incendio de gran tamaño (con una gran superficie de llamas y una capa de humo caliente) existe un riesgo importante de que el incendio se propague a otros vehículos. La radiación de las llamas puede ser tan fuerte que el incendio puede extenderse a vehículos próximos al foco, y existe la posibilidad de que la capa de humo propague el incendio a vehículos que están a gran distancia (> 100 metros) del foco.

Las pruebas que se realizaron en el túnel de Runehamar en 2003 han proporcionado información muy útil sobre la exposición a la radiación en la zona de aguas arriba. Durante las pruebas se midió la radiación a diferentes distancias del punto origen del incendio, en la zona de aguas arriba.



Tabla 6. Nivel de radiación (kW/m^2) en la zona de aguas arriba durante las diferentes pruebas realizadas (Lönnemark e Ingason, 2005)

| Nº de ejercicio | 5 metros | 10 metros | 20 metros |
|-----------------|----------|-----------|-----------------|
| 1 | 80 | 14 | 2 |
| 2 | 35 | 18 | 3 |
| 3 | 20 | 9 | 2 |
| 4 | 40 | 10 | 4 (a 15 metros) |

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- En todas las pruebas realizadas (durante los siete minutos siguientes a la ignición), los niveles de radiación en la zona de aguas arriba (a una distancia de diez metros del origen del incendio) sobrepasan los 5 kW/m^2
- Estos valores de radiación indican que, en ese momento, los bomberos podrían llegar a la escena hasta diez metros del fuego. A esta distancia es posible realizar un ataque directo al fuego mediante un chorro de agua. Por este motivo deben hacer llegar el agua hasta este lugar con gran rapidez para controlar el tamaño del incendio
- Si el tiempo de intervención fuese superior a siete minutos, los bomberos serían capaces de acercarse hasta una distancia de veinte metros del fuego. El ataque lo tendrían que realizar con agua pulverizada que, aunque podría no apagar el fuego, disminuiría el nivel de radiación y la temperatura del incendio. Todo esto tendría consecuencias positivas, porque permitiría a los bomberos avanzar para sofocar el fuego.
- Se espera que los valores de radiación en la zona de aguas abajo sean más altos que en los de las aguas arriba. Por este motivo será más difícil que el equipo de bomberos pueda acercarse al fuego desde la zona de aguas abajo.



Los resultados de algunos estudios determinan que el nivel aceptable de radiación para un equipo de bomberos estaría fijado en 5 kW / m^2 .

Al determinar la táctica a llevar a cabo en presencia de radiación es necesario tener en cuenta otros factores, como pueden ser: factores de composición (*backlayering*), el nivel de temperatura, la propagación del fuego y el suministro de agua.

3.3. TAMAÑO DE FUEGO O LA TASA DE LIBERACIÓN EN PICO DE CALOR

Es importante conocer el tamaño máximo de fuego que puede ser controlado por un equipo de bomberos. Desafortunadamente, hay poca información sobre este tema. Además, se trata de un parámetro complejo sobre el que se deben tomar en cuenta otros factores, como:

- el tipo de vehículo
- la carga
- la ventilación
- la altura del túnel
- el acceso al agua
- el equipo de extinción de incendios personal

Para estimar este parámetro se han seguido dos métodos de estudio. El primero de ellos, de carácter cualitativo, consiste en analizar los informes de incidentes y testimonios de los cuerpos de los equipos de bomberos. El segundo, de corte cuantitativo, permite obtener el límite de respuesta aceptable para un equipo de bomberos promedio, a través de la utilización de una ecuación que muestra la relación entre la tasa de liberación de calor (HRR), la distancia de la fuente de fuego y el nivel de radiación. Por este motivo la HRR se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$qs'' = \frac{1}{3} \frac{Q}{(4\pi R^2)}$$

Donde:

qs " es el nivel de radiación

Q es la tasa total de emisiones de calor

R es la distancia desde la fuente puntual efectiva al lugar donde se encuentran los bomberos

Cuando se supone que el nivel de radiación para los bomberos con la ropa de protección es de 5 Kw / m^2 y la distancia de ataque óptimo es de 10 metros y el HRR es de aproximadamente 20 MW.

A partir de la información obtenida, tanto a través del análisis de los informes como del empleo de la ecuación, se ha llegado a la conclusión de que un bombero puede afrontar un siniestro que le ofrezca una HRR de entre 20 y 30 MW. Este rango de HRR corresponde a un incendio que afecta simultáneamente a un máximo de dos turismos, un autobús y un coche en llamas, o bien a un camión articulado tipo

Tabla 7. Resumen de los datos de tasa de liberación en el estudio de diferentes tipos de vehículos (Lönnemark e Ingason, 2005)

| Tipo de vehículo | Nº de ejercicio | Energía (GJ) | Pico HRR (MW) | Promedio HRR (MW) | Tiempo hasta el pico (min) |
|----------------------------|-----------------|--------------|---------------|-------------------|----------------------------|
| 1 Turismo | 15 | 2-ago | 1,5-8,5 | 4,1 | oct-38 |
| 2 Vehículos | 7 | 5-oct | 5,6 - 10 | 7,6 | 13-55 |
| 3 Vehículos | 1 | NA | 8,9 | 8,9 | 33 |
| Autocar | 2 | 41 | 29-30 | 29,5 | 7-ago |
| Camión articulado tipo HGV | 10 | 10-244 | 13-202 | | ago-18 |

HGV donde el inicio de incendio se localiza en el vehículo y no se extiende a los bienes del remolque (cualesquiera que fueran) en una etapa temprana del fuego.

- a) La información relacionada con el contenido energético sólo estaba disponible para uno de los ejercicios realizados a los autobuses; el valor de 41 GJ se corresponde con el del autobús que proporciona un pico de HRR de 29 MW
- b) Las configuraciones de la prueba fueron muy diferentes para obtener un promedio que fuese de interés

3.4. PROPAGACIÓN DEL FUEGO

Extinguir el fuego antes de que se propague a los vehículos cercanos es prioritario para combatir con éxito dicho fuego originado en un túnel. Un aumento en el número de vehículos que participan en el incendio traerá consigo un aumento tanto en la velocidad de liberación del calor como en la temperatura, y también se producirá un mayor volumen de humo y de gases tóxicos. Esto genera una situación que es difícil de controlar y en la que los daños humanos y materiales pueden ser importantes.



Imagen 10. Llama de fuego propagándose

La propagación del fuego y los parámetros relacionados (la tasa de liberación, las temperaturas de los gases de incendio, la distancia entre vehículos, la longitud de la llama, las condiciones de ventilación) fueron estudiados en la prueba de túnel Runehamar en 2003 y se obtuvieron, entre otros, los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultados obtenidos respecto a la propagación del fuego (Lönnérmark e Ingason, 2005)

| Número de ejercicio | Distancia | Tasa de liberación | Propagación del fuego (minutos) |
|---------------------|-----------|--------------------|---------------------------------|
| 1 | 95 m | 202 MW | 6 |
| 2 | 84 m | 157 MW | 03,03 a 03,04 |
| 3 | 66 m | 119 MW | 4,5 |

Todos estos datos indican que la propagación puede llevarse a cabo en un tiempo muy corto después del inicio del fuego. Por este motivo es necesario que los equipos de bomberos reciban el entrenamiento necesario y trabajen con las hipótesis que les permitan plantear las tácticas para bloquear el fuego antes de que se propague.

3.5. EL COMPORTAMIENTO DE LAS PERSONAS QUE SE ENCUENTRA DENTRO DEL TÚNEL INCENDIADO

El conocimiento del comportamiento humano durante un incendio en un túnel puede ayudar a establecer planes de evacuación y de rescate efectivos. Desafortunadamente, los estudios de la conducta humana en los incendios en túneles no se han realizado con el mismo detalle que en los de incendios de edificios. Probablemente se deba a que los incidentes en estos son menos comunes.

Entre los principales patrones de comportamiento que se pueden encontrar destacan:

- Los ocupantes suelen quedarse dentro del coche hasta contar con más información, o bien a la espera de que en algún momento el tráfico comience a moverse. En el incendio del túnel Mont Blanc (1999) se encontraron víctimas sentadas con el cinturón de seguridad puesto.

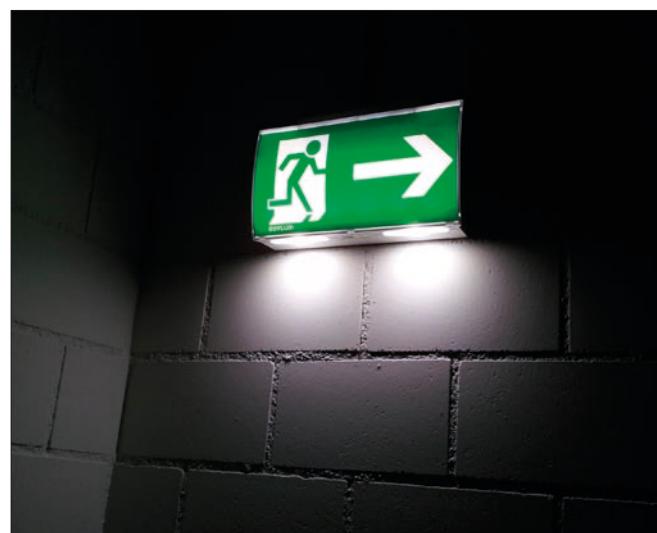


Imagen 11. Salida de emergencia

- Las personas, durante la evacuación, antes que utilizar las salidas de emergencia prefieren moverse a lo largo del túnel para alcanzar la entrada
- Las posibilidades de supervivencia dependen de varios factores entre los que destacan la magnitud del incendio y la concentración de gases tóxicos. Por ello las personas que permanecen atrapadas dentro del túnel podrían seguir vivas incluso después de un largo periodo de tiempo. Tal fue el caso de cuatro personas que permanecieron durante más de una hora dentro del túnel Seljestad (Noruega) y lograron sobrevivir.

CAPÍTULO

2

Técnicas de intervención



1. DESPLIEGUE DE TENDIDOS PARA EXTINCIÓN

En un incendio provocado en un túnel (por la avería de un coche, choque entre vehículos, corto circuito, etc.), frecuentemente se necesita un despliegue de mangueras (van en seco hasta zonas cercanas al incendio) que tengan un diámetro de 45 mm y que cuenten con un caudal de agua adecuado para las características del incendio (superficie, potencia generada, etc.). A continuación se detalla el caudal necesario para combatir el fuego de un incendio.

Tabla 9. Caudal necesario en función de las características del incendio (Ingasson 2001 y Sipp 2002)

| Tipo de vehículo | Superficie de incendio (m ²) | Potencia generada (mw) | Caudal necesario (lt / min) | Número de líneas (360 l/m) |
|------------------|--|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| TURISMO | 10 | 2,5-5 | 226 | 1 |
| FURGONETA | 35 | 15 | 462 | 2 |
| CAMIÓN | 200 | 100 | 1250 | 4 |

Dentro de un túnel, los tendidos se pueden desplegar de la siguiente forma:

- Plegado en doble, despliegue en exterior del túnel.
- Plegado en abanico más plegado de ataque en Cleveland.
- Tendidos con carros portamangueras de 45 mm.

Se recomienda que en la manguera anterior a la de ataque se coloque una reducción de 45 mm más bifurcación 70-45 mm. Esto permite tener una segunda línea de ataque, una progresión desde este punto en caso de no haber calculado el tendido correctamente y una línea de auxilio hasta que se acondicione una específica con ese propósito.

Para poder llevar a cabo un ataque dimensionado y efectivo en un incendio en un túnel, hay que tener en cuenta una serie de aspectos o variables tales como la efectividad en la aplicación del agua, la distancia óptima de ataque y los equipos de respiración autónoma.

1.1. EFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DE AGUA

Para sofocar un incendio en un túnel se suelen emplear técnicas basadas en el **enfriamiento del colchón de gases**. En la utilización de estas técnicas es fundamental determinar la **efectividad de la aplicación del agua**, teniendo en cuenta para ello el porcentaje de evaporación de la misma. En este sentido, el agua que no llega a evaporarse como máximo podrá absorber la energía correspondiente al aumento de temperatura producida en el lugar del incendio. Por otra parte, el agua que se convierte en vapor y que, por tanto, llega a la temperatura de equilibrio del recinto, cuenta con una absorción de energía de hasta siete veces mayor a dicha temperatura.

Ver apartado incendios de interior para consultar ejemplo.

Para conseguir una aplicación efectiva de las técnicas de **enfriamiento del colchón de gases** se debe conseguir que las gotas de agua actúen sobre el mismo y no sobre las superficies del recinto en el que se produce el incendio. La evaporación del agua se debe producir mientras las gotas están en el aire, por lo que se debe evitar que entren en contacto con cualquier superficie.



El porcentaje de evaporación asociado a la efectividad en la aplicación de este tipo de técnicas debe oscilar entre un 50% y un 70%.

El tamaño de la gota es otro aspecto que resulta de gran importancia para sofocar el incendio. En la siguiente tabla se presentan las características en función de su tamaño:

Tabla 10. Características de las gotas en función de su tamaño

| Tamaño de gota | Ventajas | Inconvenientes |
|-------------------------------|--|--|
| Reducido | Mayor tiempo en suspensión y una mejor absorción de energía | El alcance es menor |
| Grande | Mayor alcance | Tienden a caer al suelo más rápidamente y el intercambio de calor no es tan efectivo |
| Óptimo (entre 0,3 mm y 0,7mm) | Alcanzan el equilibrio óptimo entre alcance y capacidad de absorción de la energía | |

Ver apartado de incendios de interior para consultar en detalle este tema.

Por lo general dentro del túnel la distribución de la temperatura generada por el incendio no suele ser homogénea, menos aún si existe ventilación o se ha iniciado la aplicación de agua para el enfriamiento de los gases del mismo. Para realizar una aplicación efectiva y con ella reducir la temperatura, es necesario estudiar el **selector de caudal**, el ángulo de cono y el ángulo de aplicación con respecto al suelo. Posteriormente el bombero en punta de lanza aplicará la cantidad de agua necesaria para las zonas más calientes.

1.2. DISTANCIA ÓPTIMA DE ATAQUE

Para llevar a cabo una extinción efectiva es importante la distancia a la que deben situarse las diferentes líneas de manguera. En este sentido:

- Los vehículos pesados en un túnel de ventilación longitudinal requiere una distancia máxima de 10 metros
- Los coches requieren una distancia máxima de 5 metros

1.3. EQUIPOS DE RESPIRACIÓN AUTÓNOMA, CONTROL DEL AIRE

Debido a las características de un incendio en túneles suele existir incertidumbre en relación al tiempo de intervención. Por lo general este tipo de intervenciones tiende a superar los 40 minutos. Entre los aspectos que ocasionan esta incertidumbre se encuentran:

- La falta de información preliminar sobre los detalles del incendio y de las posibles estrategias de intervención que se pueden aplicar.
- La posible pérdida de orientación en un espacio lleno de humo.
- Situaciones imprevistas en la búsqueda y rescate de víctimas.

Estas condiciones pueden provocar situaciones de riesgo para los miembros de los equipos de emergencia, dado que podrían encontrarse con una reserva insuficiente de aire para salir del propio escenario del incendio. Para evitarlo, se han de seleccionar los equipos de respiración autónoma (ERA) adecuados a largas estancias en atmósferas no aptas para la respiración.

En la siguiente tabla se presenta la clasificación de estos equipos en función de sus características: (Tabla 11)



Ver el manual de equipos operativo para consultar en detalle la información sobre equipos ERA.



Imagen 12. Bombero con equipo de respiración autónoma



Los consumos y tiempos de autonomía varían en función del trabajo realizado, el nivel de estrés y las condiciones fisiológicas del usuario.

Al utilizar los equipos ERA se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- En los trabajos realizados en la proximidad de las bocas de los túneles siempre se utilizarán ERA, ya que los gases y humos que salen al exterior a través de las mismas son de alta toxicidad
- En el acceso a través de galerías de evacuación, túneles no afectados y demás infraestructura subterránea susceptible de ser utilizada como vía de acceso a través de zona limpia, se utilizarán siempre ERA cuando no se tenga la certeza de que se trate de atmósferas respirables.

Tabla 11. Clasificación de los equipos ERA

| Tipo de circuito y funcionamiento | Tipo de equipo | Duraciones calculadas para un consumo nominal de 40 litros | Cuándo utilizarlo |
|--|--|---|--|
| Círculo abierto: el aire se inhala directamente de las botellas de aire comprimido y se exhala al exterior | Monobotella | <ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con una autonomía de 45 minutos. • Durante una intervención podría tener una duración real de entre 15 y 20 minutos | En operaciones que no impliquen una larga estancia en el interior del túnel, es decir en trabajos en las bocas de acceso y aquellos que impliquen permanencias en el interior superiores a 20-30 minutos. |
| | Bibotella | <ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con 90 minutos de autonomía. • En una intervención podría tener una duración real de entre 30 y 40 minutos. | Para estancias en el interior de túneles que no exceden los 60 minutos. Tal sería el caso de intervenciones en túneles unidireccionales y bidireccionales con longitudes inferiores a 500 metros, o túneles bitubo de longitudes superiores a 500 metros, con zonas de acceso seguras al foco de incendio mediante galerías o túnel no afectado. |
| Círculo cerrado: están basados en el principio de la regeneración de oxígeno en el aire exhalado, durante un periodo de tiempo determinado, por lo cual durante el ciclo respiratorio no se expulsa el aire fuera del circuito. | Basado en el principio de peróxido potásico. | <ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con 4 horas de autonomía. Mientras que para un consumo durante la intervención de unos 60 a 70 litros por minuto, la autonomía se reduce a unas 3 horas. | En intervenciones de larga duración en túneles de gran longitud (superior a 4 km) o en aquellos túneles de longitudes superiores a 1 km que no tengan acceso seguro a través de galerías de evacuación, infraestructuras de acceso de equipos de emergencia, etc. |
| | De oxígeno enriquecido. | | |



2. RESCATE Y EVACUACIÓN DE VÍCTIMAS

Cuando se produce un incendio en un túnel una de las primeras medidas es evacuar a las personas atrapadas en su interior, ya que las condiciones ambientales en el interior del túnel pueden representar un riesgo para la vida humana.

El personal de los equipos de evacuación debe tener una respuesta automática, rápida y decidida, para dirigirla. Debe neutralizar las actitudes de bloqueo que se producen en este tipo de situaciones debido a que los usuarios del túnel:

- No están acostumbrados a desplazarse a través de ellos a pie, condición que se agrava debido a que la visibilidad en el interior del túnel es inferior a la visibilidad en el exterior
- No cuentan con formación acerca de la evacuación en túneles y, por lo general, desconocen la existencia del Plan de emergencias y sus salidas de emergencia, debido a que no suelen acceder a ellas en su tránsito habitual por el túnel

La evacuación en realidad deriva en una **autoevacuación**, debido a que es el propio usuario del túnel quién debe intentar ponerse a salvo. Por este motivo, un buen sistema de evacuación (buena señalización e iluminación de emergencia, unas salidas de emergencia adecuadas y unas galerías de evacuación bien ventiladas) será un factor determinante en su efectividad.



El umbral para el rescate de una persona está entre 2 y 2,5 kW /m² para una exposición de varios minutos. Contando con los trajes de protección y equipos ERA adecuados los equipos de rescate pueden soportar niveles de radiación de hasta 5 kW /m² con una exposición menor a 30 minutos.

Algunos parámetros muy relevantes a tener en cuenta al realizar una evacuación son los siguientes:

- Visibilidad
- Radiación

2.1. VISIBILIDAD

La visibilidad dentro de un túnel tiene una gran importancia para la evacuación y la intervención de los bomberos. En ambos casos afecta a la velocidad de desplazamiento y a la posibilidad de captar el entorno (salidas de emergencia, tomas de agua, señales de evacuación, etc.). Además, la visibilidad está directamente relacionada con la toxicidad: a menor visibilidad mayor toxicidad.

Aunque es el sistema de ventilación el que principalmente influye en la visibilidad, la cantidad de humo producido por el incendio aumenta con el tamaño del mismo. Por eso se puede concluir que a mayor tamaño del incendio, menos visibilidad dentro del túnel (en las zonas afectadas por el humo).

2.2. RADIACIÓN

En materia de evacuación sólo la capa de humo es la que tiene una influencia clara. Si está radiando con una intensidad elevada afectará a las personas que se están trasladando por debajo de la misma, y la radiación dificultará su evacuación. La radiación de las llamas y de la capa de humo también afectará a los equipos de emergencia y, si la radiación es muy fuerte alrededor del foco, será muy difícil acercarse para extinguir el incendio.

3. CONTROL DE LA VENTILACIÓN

El flujo de aire tiene diversos efectos sobre la evolución del incendio; el más importante es que el aire lleva oxígeno al foco (la cantidad dependerá del sistema de ventilación y de su regulación). Dependiendo de la cantidad de oxígeno que llega al incendio, este puede desarrollarse de diferentes maneras:



Imagen 13. Ventiladores en túnel

- Si hay un gran aporte de oxígeno, el incendio está condicionado por la cantidad de combustible (se quema violentemente hasta que se consume en su totalidad)
- Si no existe un gran aporte de oxígeno se producen muchos productos que no han sido quemados por el incendio, pero que tienen un efecto muy negativo sobre las condiciones aguas abajo del mismo.

La ventilación del túnel influye igualmente sobre el comportamiento del humo, ya que la velocidad del flujo del aire afecta a este de diferentes formas.

Es necesario entender las bases de la dinámica de fuego dentro de los túneles para poder prever posibles problemas y conocer las posibles condiciones que pueden afectar a una intervención de equipos de emergencia.

En un incendio dentro de un túnel el control de la ventilación es indispensable para controlarlo, extinguirlo y rescatar a las posibles víctimas. Este control se realiza conociendo el volumen del flujo de entrada y salida, la dirección y el camino de la ventilación dentro de la propia estructura. Algunos sistemas de ventilación pueden soplar todo el humo producido por el fuego a una de las dos bocas del túnel, para que sus ocupantes puedan escapar a un lugar seguro y los bomberos interviniéntes tengan una situación más favorable que les permita acercarse y atacar el fuego.

En este tipo de incendios, la apertura de una salida de gases al exterior permitirá establecer un flujo de gases desde zonas de mayor presión (por encima del plano neutro) en el interior del recinto hacia el exterior que se encuentra a menor presión. La evacuación de gases conlleva la ventaja de liberar gases tóxicos y combustibles. Por otra parte se establecerá un flujo desde el exterior hacia las zonas de menor presión en el interior (por debajo del plano neutro), que hará que el aire fresco genere una atmósfera limpia que permita:

- Aumentar la visibilidad
- Reducir la temperatura en determinadas zonas
- Controlar la potencia del incendio
- Conducir el flujo de gases según la opción táctica más recomendable en cada momento

3.1. MOVIMIENTO DE LOS GASES DE INCENDIO

En toda operación de extinción interactúan los gases del incendio, el aire fresco y el vapor de agua. Todos ellos son fluidos cuya dinámica está explicada tanto por el efecto flotabilidad como por las diferencias de presión que tiene lugar en el interior y el exterior del túnel (ver el apartado de incendios de interior para ampliar información sobre el efecto flotabilidad y las diferencias de presión).

Un túnel cuenta con aperturas de ventilación al exterior, por lo que se produce un movimiento de gases que abarca la alimentación de aire al incendio y los gases que éste produce. Se denomina flujo de gases, y en él se puede identificar una ruta de gases fría (que va desde la entrada de ventilación hasta el foco del incendio) y una ruta de gases caliente (constituida por los gases de incendio en busca de la salida).

Cada una de estas rutas cuenta con unas características que se plasman a continuación:

Tabla 12. Comparativa de las características de las rutas que constituyen el flujo de gases

| | Ruta fría | Ruta caliente |
|---------------------------------|--|--|
| Visibilidad | Buena | Baja |
| Temperatura | Baja | Alta |
| Gases presentes en la atmósfera | Alta concentración de oxígeno(aumento de potencia en incendio limitado por la ventilación) | Alta concentración de gases tóxicos y gases potencialmente inflamables |
| Condiciones de supervivencia | Buenas | Críticas |

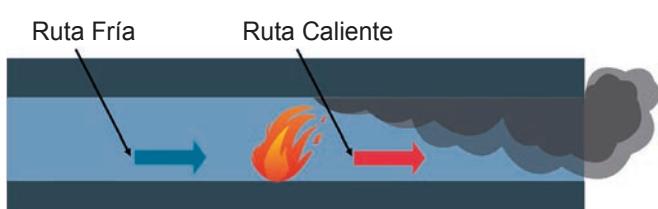


Imagen 14. Flujo de gases unidireccional generado por el incendio

En un incendio dentro de un túnel no se recomienda optar por un único modo de ventilación. El tipo de táctica de ventilación a utilizar dependerá del tipo de fuego:

- Un **mínimo flujo de ventilación**, lo suficientemente alto como para mantener la estratificación alrededor de 1m/seg, se debe utilizar para los incendios que implican a un vehículo pesado (GMC mayor de 3500 kg, también conocido como HGV) o un gran derrame de combustible.
- Un **mayor flujo de ventilación** debe ser utilizado para fuegos en los que esté implicado un turismo o un incendio de pequeñas dimensiones, y la velocidad será máximo entre 1 y 3 m/seg.

Una vez que el fuego se haya extinguido se recomienda controlar el flujo de ventilación en función de las necesidades del cuerpo de bomberos.

3.2. PRINCIPIOS DEL ATAQUE EN PRESIÓN POSITIVA APlicada a túneles

3.2.1. FLUJOS UNIDIRECCIONALES

En los incendios en túneles se produce un flujo unidireccional debido a que existen al menos dos aperturas; una de ellas de entrada y otra de salida. Estos flujos son típicos en incendios ventilados de forma natural, en los que la alimentación y salida de gases se realiza a distintos niveles y media una diferencia de altura que contribuye a favorecer la diferencia de presión.

En incendios en túneles se puede hacer uso de **técnicas de ventilación en presión positiva (VPP)**, que se valen de la correcta aplicación de ventiladores para eliminar el humo en las diferentes zonas del túnel. Debido al efecto del ventilador se genera una masa de aire en movimiento que penetra y presuriza el interior del túnel y establece un flujo de gases unidireccional, que o bien desplaza o bien extrae los gases del incendio al exterior. Ello genera que la visibilidad dentro del túnel mejore y se reduzca la temperatura y el nivel de radiación (en caso de existir). En definitiva, estas técnicas facilitan las operaciones del equipo de intervención en el túnel: control y extinción del incendio, el rescate y la evacuación de las víctimas.

Sin embargo es importante tener en cuenta que el aporte de aire fresco generará un aumento en la potencia del incendio, que dependerá de la efectividad con la que se realice el barrido de gases y el nivel de turbulencias. En este sentido es muy importante que la ventilación se coordine con las labores de extinción mediante la aplicación de agua.

Ver apartado de incendios de interior para consultar en detalle las técnicas de ventilación en presión positiva.



Imagen 15. Desplazamiento de gases dentro del túnel con ventilador



El volumen de aire que podemos desplazar con ventiladores portátiles es muy limitado. Como norma hay que usarlo en la misma dirección del movimiento natural de los gases para limitar el efecto back-layering, y siempre sin superar la velocidad crítica para no aumentar en exceso el heat release rate (HRR) del incendio.

La velocidad de desplazamiento de los gases se debe situar entre 1 y 3 m/s. Velocidades por debajo de 1 m/s hacen que la capa de gases baje a nivel de suelo rápidamente, y velocidades por encima de 3 m/s rompen la estratificación, además de aportar un elevado volumen de aire que hace que aumente la potencia de incendio.

En función de lo anterior se pueden estudiar y aplicar las técnicas de ventilación (VPP ofensiva, VPP defensiva, etc.), reseñadas en el apartado de incendios de interior y ventilación, que más convengan en cada momento.

4. ORIENTACIÓN Y PROGRESIÓN EN TÚNELES

Para llevar a cabo la orientación en túneles existen diferentes técnicas a las que se puede recurrir. Entre ellas destacan:

- la orientación y progresión con tendido de manguera
- el rastreo con cuerda o elemento guía
- la orientación sin elemento guía
- la orientación con cámara térmica
- una combinación de algunas de ellas

Entre las principales dificultades que se encuentran en este tipo de maniobras y que podrían derivar en situaciones de ansiedad durante la intervención destacan tanto el esfuerzo que se realiza al recorrer grandes distancias en ambientes en los que se pueden registrar altas temperaturas, radiación, falta de visibilidad, etc., como la falta de control sobre diferentes aspectos relacionados con el incendio dentro del túnel, por ejemplo la falta de control de los tiempos de trabajo de los equipos de respiración autónoma.

4.1. ORIENTACIÓN SIN ELEMENTO GUÍA

Es un tipo de orientación que sólo se debe utilizar si no existe posibilidad de ejecutar alguna otra técnica que ofrezca más garantías de seguridad para los intervenientes. Su uso queda reducido a situaciones en las que es urgente realizar el rescate, o no se cuenta con otros medios (longitudes suficientes de cuerda guía, mangaje, etc.) para poder emplear otra técnica de orientación con éxito.

Al utilizarla durante la progresión se deben considerar las siguientes precauciones:

- Es necesario mantener la orientación en todo momento. Es decir, se debe saber dónde se está y por dónde se ha pasado
- Se comienza por uno de los laterales del tubo del túnel y nunca se abandona.



Imagen 16. Orientación sin elemento guía

- Se avanza hasta alcanzar el objetivo.
- En caso de realizar un rastreo en una zona auxiliar se hace de la misma manera, nunca se cambia de pared.
- Siempre se tiene que saber el lugar en el que se encuentra la salida del túnel.

En relación con lo anterior, conviene decir que las aceras de los túneles frecuentemente se cubren con dos tipos de baldosa, de forma que cada lateral del túnel tiene una diferente rugosidad en el suelo que lo identifica de forma única y, en condiciones de nula o baja visibilidad, se puede utilizar como referencia para evacuar siempre hacia el mismo sentido.

Debido a que las situaciones de desorientación están muy ligadas al estrés de la intervención es necesario contar con pautas concretas de actuación para mantener la calma y llevar a cabo las acciones necesarias para salir del túnel. En este sentido el entrenamiento para enfrentar con éxito este tipo de situaciones es primordial.

4.2. RASTREO CON CUERDA O ELEMENTO GUÍA

El rastreo con cuerda guía está más indicado para la búsqueda de víctimas que para la progresión. En ocasiones también se pueda utilizar para brindar una seguridad adicional durante el desarrollo de la intervención. Los elementos guía tienen especial utilidad para rastrear zonas auxiliares del túnel donde pudieran haberse refugiado víctimas (por ejemplo vías de evacuación, nichos, cuartos auxiliares, etc.).



Imagen 17. Orientación con cuerda como elemento guía

Como elemento guía, podemos encontrar que algunos túneles cuentan con la **línea Ariadna**. Se trata de un cable guía que se encuentra a lo largo del tubo del túnel y al que debemos ir Unidos. En el caso de existir, la empresa concesionaria del túnel deberá facilitar el punto de unión y, si esto no es posible, se utilizará un cable de anclaje. Este elemento no se encuentra dentro de las zonas auxiliares.

4.3. ORIENTACIÓN Y PROGRESIÓN CON TENDIDO DE MANGUERA

Se trata de una técnica bastante sencilla, ya que el recorrido por el túnel se produce de forma intuitiva y desde una posición de cierta seguridad. Se avanza con un elemento de ataque y/o protección frente al fuego que, además, puede utilizarse como elemento guía.



Imagen 18. Orientación y progresión con tendido de manguera

En su aplicación se deben considerar las siguientes precauciones:

- Mantener en todo momento la referencia del lateral del túnel por el que se avanza.
- Conseguir la máxima exactitud en el cálculo de la distancia a recorrer (porque se necesitará que la manguera cuente con una longitud para toda esa distancia, incluso algo más).
- Elegir el diámetro de tendido adecuado para cada tipo de extinción.
- Avanzar de forma cuidadosa para sortear los obstáculos que se encuentran al realizar la progresión (por ejemplo, vías de evacuación laterales) y que pueden dificultar la progresión del tendido de la manguera. Una vez que se consigue rodear el obstáculo es necesario volver a la referencia del lateral inicial.
- Si nos encontramos con vías de evacuación laterales, estas deben rastrearse con cuidado para no introducir en ellas gases del tubo del túnel. Debido a que entrar con el propio tendido puede causar problemas de movilidad y estrés (se entra en una zona más angosta y la vuelta al tubo puede ser difícil), es necesario dejarlo en el tubo y realizar el rastreo con una cuerda guía o auxiliar en busca de víctimas.



El rastreo para la localización de víctimas dentro del túnel con el único apoyo de una manguera es lento y complicado, es recomendable apoyarse en otro tipo de técnicas para realizarlo de forma más efectiva. La combinación de técnicas es una herramienta muy valiosa para actuar con efectividad en este tipo de situaciones.

4.4. ORIENTACIÓN CON CÁMARA TÉRMICA

La orientación con cámara térmica no sustituye a las técnicas de orientación tradicional antes expuestas. Se trata de un elemento adicional que permite mejorar la efectividad de:

- La toma de decisiones.
- La búsqueda y el rescate de víctimas.
- La evaluación del escenario.
- La localización del foco del incendio.
- La estimación de la extensión del incendio.
- La localización de los puntos calientes.
- La identificación de potenciales *flashover*.
- La determinación de puntos de ventilación.
- La determinación de puntos de entrada y salida.
- Las tareas de revisión.



Imagen 19. Orientación con cámara térmica

Dado que el tubo no cuenta con espacios ocultos la cámara térmica otorga una visión nítida dentro del túnel y la salida se puede ver en todo momento, con lo que la búsqueda de víctimas resulta relativamente sencilla.

Aunque su uso proporciona una gran sensación de seguridad, en caso de fallar puede producir desorientación y provocar el efecto contrario. Específicamente, al utilizar la cámara térmica hay que tener presente la problemática que se genera en entornos en los que se está produciendo el efecto **spalling en el hormigón**. La producción de vapor, fruto de un cambio del estado del agua intersticial del hormigón a temperaturas comprendidas entre los 100 -150°C, tiene un efecto perjudicial en la visibilidad que se consigue a través de la cámara térmica, dando la sensación de que ha dejado de funcionar. En estos casos, lo habitual es que, pasado un tiempo, la cámara térmica



vuelva a su funcionamiento normal, por lo que cobra vital importancia mantener la calma durante ese lapso.

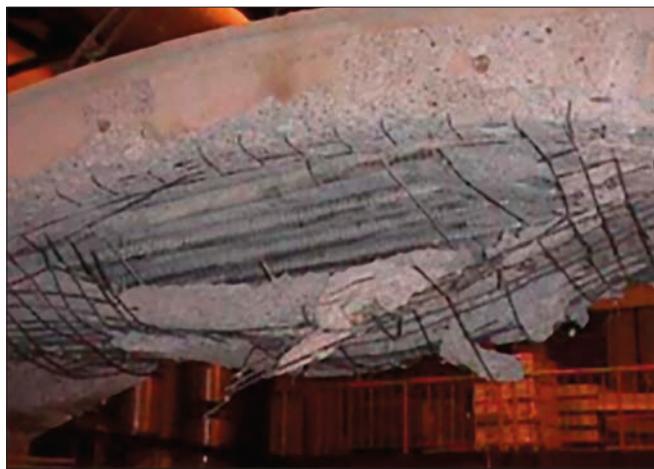


Imagen 20. Spalling

4.5. COMBINACIÓN DE TÉCNICAS DE ORIENTACIÓN Y PROGRESIÓN

Ante una situación cambiante y que debe adaptarse a distintos túneles, intervenciones y disponibilidades de material como la que nos ocupa, no es aconsejable ceñirse

al uso de una única técnica. En realidad, la mejor herramienta disponible es, precisamente, la combinación de técnicas.

- Disponer de la **cámara térmica** resulta fundamental. Es conveniente que el equipo de intervención esté formado por tres personas que progresen dentro del túnel: dos progresarán de manera tradicional, con tendido por el lateral del túnel, y otro portará la cámara térmica para localizar los focos, las entradas, las salidas, las víctimas, los posibles obstáculos, los movimiento de los gases, etc.
- El **tendido** es adecuado como línea de salida por el tubo. Se puede combinar con una cuerda en zonas anexas para rastrear el tubo entre varios bomberos unidos entre los dos laterales (rastreos en abanico).
- Otra posibilidad sería combinar la ventilación con las técnicas que se han estudiado de orientación y progresión en túneles. Aunque la ventilación en el tubo es difícil y es posible que quede una cierta cantidad de gases que limiten la visión a la distancia, permite cierta visión a corta distancia que hace ganar seguridad a víctimas e intervinientes. Esto logra aumentar la velocidad en la ejecución de las tareas y, con ello, la eficacia de las labores a realizar.





CAPÍTULO

3

Valoración de incendios en túneles



1. ASPECTOS GENERALES

La valoración de un incendio en un túnel es una labor compleja, ya que se trata de un escenario dinámico, con muchas variables y cuya interacción continua modifica paulatinamente tanto su curso como su resultado.

Por otra parte, el recalentamiento de la infraestructura y las instalaciones tiene un desarrollo mucho más rápido y violento que otro tipo de incendio, debido a la situación de confinamiento. El calor producido por la capa de humo y las llamas tiene un efecto adverso sobre el combustible; su calentamiento es más rápido de lo normal por lo que se acelera la pirólisis y el incendio crece con rapidez. En este sentido es necesaria una rápida intervención, debido a que los incendios de vehículos se propagan con gran rapidez durante los primeros 5-10 minutos de su desarrollo. Para minimizar los daños ocasionados por el incendio y disminuir el número de víctimas es necesario que la intervención tenga lugar dentro de los 10 minutos siguientes a la alarma de incendio.

Así, a la propia dificultad técnica de la valoración del incidente, se une la necesidad de dar una **respuesta certera y urgente** para abordar la situación. En este tipo de casos es frecuente que el desconcierto generalizado desemboque en mayor dificultad para disponer con rapidez de información fiable. La adquisición de información completa, fiel y objetiva lleva tiempo y, en muchos casos, es un requisito necesario para una adecuada toma de decisiones. Sin embargo en este tipo de situaciones la información no siempre está disponible, e incluso puede basarse en información errónea.

Alcanzar el equilibrio entre la urgencia de la intervención y la certidumbre de la información en la que se ha de basar es uno de los mayores retos a los que se enfrenta el equipo que participa en la intervención.

Debido al carácter dinámico de estas situaciones, la toma de decisiones debe ser ágil. Una rápida decisión permitirá emplear la táctica adecuada antes de que la situación empeore. Por este motivo, la valoración no es una acción que se haga sólo al inicio de la intervención. La toma de datos debe realizarse de forma continua para ir valorando momento a momento el desarrollo del incendio. Esta práctica permitirá establecer las modificaciones oportunas en el plan de acción del equipo de intervención.

Para ayudar a esta agilidad en la toma de decisiones es importante tener en cuenta algunos de los principales problemas que se pueden presentar en este tipo de situaciones. Tener en cuenta estos problemas ayudará a solventarlos de la mejor forma y garantizará una mayor efectividad durante la intervención.

La valoración del siniestro debe tener un **carácter integral**, ya que no sólo se aborda la lectura del incendio sino también la identificación de acciones prioritarias, el efecto de las acciones emprendidas y el estado de los recursos disponibles.

Para realizar una valoración de un incendio en un túnel

es necesario seguir una serie de pasos asociados a los diferentes momentos de la intervención:

- Antes de la intervención.
- En el lugar del siniestro.

2. VALORACIÓN ANTES DE LA INTERVENCIÓN

Por lo general se produce una llamada telefónica de auxilio que da cuenta del incidente. Durante este primer contacto es necesario recabar información respecto a:

- La localización exacta del incidente.
- El acceso más próximo.
- El tipo de túnel (ferroviario, de carretera, de uno o dos tubos).
- Características del incidente (vehículos involucrados, personas heridas, problemas con las instalaciones, etc.).
- M.M.P.P. (existencia de mercancías peligrosas y perdederas).
- Es necesario definir y repasar el itinerario, además de contar con un itinerario alternativo para utilizarlo en caso de colapso del tráfico por causa del incidente.
- La forma de acceso: es necesario saber si se hará aguas arriba o aguas abajo. Para contar con esta información es muy importante estar en contacto con el centro de control del túnel.
- Confirmación de datos con quien ha dado la alerta o bien con el centro de control del túnel (siempre que esto fuera viable).
- Las acciones que se están ejecutando desde el centro de control (ventilación, control de accesos, evacuaciones, etc.). Este tipo de acciones están plasmadas en el plan de emergencia del túnel.
- Otros equipos de intervención que hayan sido involucrados: servicios sanitarios, fuerzas del orden público, etc.

3. VALORACIÓN EN EL LUGAR DEL SINIESTRO

Una vez en el lugar del siniestro hay que identificar:

- El acceso óptimo, aquel que se encuentre más cerca al punto de fuego y aguas arriba.
- Ubicación de los vehículos involucrados en el siniestro y de los vehículos de emergencia.
- Estado general de la evacuación.
- Si hay personas atrapadas (aguas abajo).

Posteriormente, se debe llevar a cabo una valoración pormenorizada de la situación. Debe ser dinámica y abarcar todo el escenario del incendio. En ella se pueden distinguir varias fases:

Tabla 13. Posibles soluciones a las dificultades a las que se enfrenta un equipo de bomberos al sofocar un incendio dentro de un túnel (Bergqvist, 2005a)

| | Formación | Comportamientos del mando a cargo | Equipamiento y procedimientos | Diseño del túnel |
|---|---|---|--|--|
| Dificultad para obtener una visión general del lugar del incidente | | | Equipos de monitoreo y vigilancia | |
| Una situación que implique una extensa evacuación | Formación teórica y práctica para ayudar a los bomberos a emplear un gran número de extractores | | Empleo de equipos de respiración adecuados para facilitar la evacuación | Mejoras en el diseño de los túneles: salidas de emergencia bien diseñados y métodos mejorados para el uso de los sistemas de ventilación |
| Tratar con los gases nocivos de fuego | | <p>La adecuada observación del movimiento del humo en todas las operaciones que se llevan a cabo.</p> <p>Preparación y planificación de la ventilación de los gases nocivos</p> | | |
| Dificultad para evaluar los riesgos a los que se enfrenta el personal de bomberos y rescate | Entrenamiento para el mando a cargo de la intervención para actuar con eficacia en este tipo de situaciones | | Contar con apoyos para realizar la valoración de riesgos implicados en la operación (por ejemplo listas de verificación) | |
| Dificultad para llegar al fuego | | <p>Actuación directa para la mejora de la visibilidad.</p> <p>Información pormenorizada sobre la toxicidad del humo</p> | <p>Mejora de los procedimientos de trabajo.</p> <p>Buenos sistemas de orientación y ubicación.</p> <p>Contar con equipos de respiración autónoma adecuados</p> | |
| Control de los gases del incendio | | | | Buenos sistemas de ventilación |
| La comunicación entre los bomberos | | | Mejorar las comunicaciones móviles y los sistemas de radio | |
| Obtención de agua al lugar del incendio | | | Mejora de procedimientos para el funcionamiento de las mangueras | Instalación de un sistema de toma de agua permanente |
| Extinguir el fuego de la manera deseada | | | | <p>La instalación de algunos sistemas de protección física; por ejemplo, el agua pulverizada.</p> <p>Instalación de sistemas de detección temprana</p> |



3.1. VALORACIÓN INICIAL

Tiene una importancia vital, ya que permite determinar las acciones prioritarias a llevar a cabo y el establecimiento de un plan de acción de acuerdo al siniestro y los recursos disponibles (emprender una acción sin los recursos necesarios es una receta perfecta para el fracaso).

- **Definición de acciones prioritarias:** se identificarán situaciones que supongan un riesgo inminente y requieran acciones inmediatas para ser neutralizadas y no agraven la situación existente. Concretamente, se trata de situaciones relativas a:

- **Control y evacuación de ocupantes:** cuando el riesgo en el túnel no es controlable o no existe certeza de que las personas que se encuentren dentro vayan a permanecer en los lugares de confinamiento (porque no hayan recibido información al respecto, por los niveles de ansiedad en los que puedan encontrarse, o por alguna otra causa) debe optarse por la **evacuación de ocupantes**. Esta requiere, en primer lugar, asegurar la viabilidad de la ruta de escape. La ruta de escape se designa mediante el aislamiento del incendio o la limpieza y presurización de cajas de escaleras, de haberlas, con técnicas de ventilación VPP. Esta es una operación que requiere de la participación de varios miembros del equipo de rescate, además de tiempo para ejecutarlo.
- **Rescate inminente de las víctimas:** cuando se confirma que pueden existir víctimas en situación crítica su rescate es **prioritario** a cualquier otra acción, incluyendo la propia valoración inicial del incidente.
- **Control de la propagación:** a la llegada al lugar del siniestro es necesario un control temprano de la propagación. Si el riesgo de propagación es inminente, debe designarse un equipo para que trabaje en su control en tanto que se concluye la valoración del incidente y se establece un plan de acción completo. Estas acciones permiten a los bomberos realizar su tarea en condiciones más seguras y prevenir que un incendio menor progrese a uno mayor. La propagación del fuego está estrechamente relacionada con la tasa de liberación, las temperaturas de los gases del incendio, la distancia entre los vehículos, la longitud de la llama, y las condiciones de ventilación.
- **Corte del suministro eléctrico:** si no se realiza puede contribuir a aumentar la gravedad de la situación.
- **Establecimiento de un plan de acción:** en este plan de acción se recogerá la sectorización del incidente, el planteamiento táctico y el reparto de funciones entre los bomberos asignados a cada sector.

El plan de acción debe comunicarse a todo el personal para que conozca no sólo las acciones relativas

a su sector de intervención, sino también las de otros sectores que pudieran tener algún efecto colateral o directo sobre la directamente adjudicada.

Tanto la definición de acciones prioritarias como la articulación del plan de acción serán responsabilidades del mando a cargo de la intervención. Resulta de gran utilidad que el primer equipo de intervención interior acompañe al mando a cargo de la intervención para contrastar la valoración y adquirir información sobre la distribución espacial del túnel y la lectura del incendio.

Ingason y otros (2005) y Bergqvist (2005b) señalan una serie de aspectos que pueden influir en la eficacia de la intervención en un túnel. Sería deseable que se tuviesen en cuenta estos aspectos al determinar el plan de acción:

1. Cálculos de la inversión del flujo de aire.
2. La velocidad de movimiento.
3. El alcance de los equipos de respiración.
4. Los requerimientos de agua mínimos.
5. La distancia mínima de extinción de incendios en un entorno de túnel.

3.2. VALORACIÓN EXTERIOR

Siempre que sea posible, durante la valoración inicial, se analizará el exterior del siniestro (valoración exterior). Se intentará acceder por el tubo aguas arriba del incendio.

3.3. VALORACIÓN INTERIOR

Tiene por objeto recabar la información básica del interior, la previsible carga de combustible y otros indicadores que permiten la lectura del incendio. Por todo lo anterior, su objetivo no radica en llegar hasta el foco del incendio. En función de los recursos disponibles y el tipo de túnel, el mando a cargo de la intervención puede delegar esta valoración en el equipo que realiza la progresión al interior.

3.4. VALORACIÓN CONTINUA

Su objetivo es introducir las correcciones necesarias en el plan de acción al evaluar de forma crítica el nivel de logro de las acciones ya emprendidas. El plan de acción puede y debe ser objeto de todas las modificaciones tácticas que dicte el alcance y estado del siniestro en cada momento.

La valoración continua deberá atender también al estado y disponibilidad de los recursos existentes. De esta forma, el plan de acción deberá ser consecuente con la capacidad de los recursos con los que se cuenta (presentes y movilizados) para abordar el siniestro y determinar la capacidad en tiempo real para realizar rescates, para el control de la propagación y para la extinción del incendio.

3.5. VALORACIÓN FINAL

Una vez concluida la fase de vuelta a la normalidad en la intervención es necesaria una valoración final encamina-

da a descartar la presencia de puntos calientes, la constatación de la estabilidad estructural del conjunto y el posible restablecimiento del servicio del suministro eléctrico.

La valoración final debe ser realizada por el mando a cargo de la intervención y su resultado deberá quedar reflejado por escrito en una hoja de recomendaciones de cara al beneficiario de la intervención.

4. LECTURA DEL INCENDIO

Aunque la lectura del incendio debe realizarse atendiendo al máximo número de indicadores, es complicado tener una información precisa sobre todos ellos. Generalmente la lectura estará sujeta a cierto grado de incertidumbre, por lo que es importante que, al realizarla, se evite caer en simplificaciones. Los parámetros e indicadores a tener en cuenta en una lectura de incendio son:

- Características del túnel.
- Características del humo.
- Características de las llamas.
- Nivel de temperatura.
- Flujo de gases.

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL

Dependiendo del tipo de túnel el plan de intervención varía sustancialmente. Así, será distinta si se trata de sofocar un incendio en un túnel bidireccional, donde habrá vehículos a ambos lados del foco de incendio, que si se trata del incendio generado en un túnel unidireccional, donde el/los vehículo/s siniestrado/s se encontrarán aguas arriba del foco de incendio.

En el mismo sentido, la intervención en un siniestro en un túnel bitubo, o con infraestructura de acceso para equipos de emergencia, es distinta al caso de un túnel monotubo. La sala de control, en aquellas infraestructuras subterráneas en las que sea exigible, facilitará la labor del equipo de emergencia en lo concerniente a control de velocidad del aire, localización del foco de incendio, activación de instalaciones de lucha contra incendio propias del túnel, etc.

Los tres tipos de infraestructuras subterráneas que pueden representar los principales tipos de túneles presentes en España son:



Imagen 22. Túnel de una autopista

- Túnel monotubo sin accesos de evacuación.
- Túnel monotubo con accesos de evacuación.
- Túnel bitubo con infraestructura de conexión.

Existen otros aspectos relacionados con las características del túnel que pueden condicionar la intervención:

- Las dimensiones del túnel (longitud, alto, ancho, conformado por uno o dos tubos, etc).
- Los puntos de acceso.
- El colapso circulatorio que condicionará la aproximación.
- Los límites en evacuación.
- Dificultades en comunicaciones que pueden provocar descoordinación, fallos en la información y, sobre todo, descontrol del riesgo.
- Limitaciones de la comunicación por radio:
 - Para frecuencias de 80 Mhz, el alcance es de 200-300 metros.
 - Para frecuencias hasta de 400 Mhz, el alcance es de 800 metros.
 - Se pueden usar repetidores móviles, telefonía IP o el cable radiante que permite asegurar la comunicación por radio en todo el túnel. Esta instalación es fija y protegida.

4.2. AMENAZAS EN EL ENTORNO

Las posibles amenazas que pueden encontrarse en el **entorno** también condicionan la intervención, ya que pueden conseguir agravar la situación o propiciar otros daños colaterales. No es lo mismo un túnel en un casco urbano que un túnel de carretera en la alta montaña. En el primer caso se tendrá en cuenta la posibilidad de que algunas viviendas aledañas pudieran verse afectadas. En el segundo caso, la preocupación se centraría en la propagación del incendio hacia el área forestal.

4.3. EL EQUIPAMIENTO

El equipamiento del que se dispone es un aspecto sobre el que se debe hacer hincapié en el cumplimiento estricto de las medidas de autoprotección y el estado de conservación de las mismas.

4.4. CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO

Las características del pavimento pueden convertirse en un riesgo importante, ya que si llega a formar parte del combustible del incendio contribuye a su crecimiento desmedido. El ejemplo más significativo es el incendio del túnel del Mont-Blanc, ocurrido el 24 de abril de 1999.



Imagen 23. Tipo de pavimento



4.5. CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO

Las características del tráfico existente en un túnel en el momento del incidente tienen también sus lógicas implicaciones: es más fácil adquirir el control de la situación en un túnel con poco tráfico (facilita el acercamiento de los equipos de rescate y emergencias, minimiza la existencia de curiosos o posibles afectados, etc.), mientras que con alta densidad de tráfico se enfrentan numerosos problemas adicionales (peores tiempos de llegada de los equipos, riesgo de mayor número de afectados, etc.).

4.6. CARACTERÍSTICAS DEL INCENDIO

La lectura del incendio requiere el análisis de una serie de variables que ya se han explicado en detalle en el apartado de incendios de interior.

4.6.1. CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DEL HUMO

- **El color:** ofrece información sobre la naturaleza y tipo de combustible y el nivel de gases de la pirólisis.
- **La opacidad:** se encuentra vinculada con la cantidad de carbonilla que se produce y, por tanto, de las partículas procedentes de una combustión incompleta.
- **La densidad:** hace referencia a la masa por unidad de volumen. Los gases de incendio reducen su densidad con respecto al aire debido al aumento de temperatura. En este sentido, podemos encontrar humo frío y humo caliente.
- **El espesor del colchón de humo:** a medida que el incendio se desarrolla, si no existe una apertura suficiente que permita desalojar los gases de incendio estos se acumulan y el colchón de humo tiene mayor espesor. La altura del plano neutro condiciona la visibilidad interior y, por tanto, el planteamiento táctico a emplear en la progresión interior.
- **El volumen:** en tanto que medida de la cantidad de combustión que está teniendo lugar, da idea del estado de desarrollo y del alcance del incendio. El volumen de humo visible desde el exterior está relacionado con la presencia de ventilación.

Ver apartado Incendios de Interior para consultar en detalle.

4.6.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS LLAMAS

- **El color** de las llamas da una idea del nivel energético de la misma.
- **La duración** de las llamas proporcionan información acerca del combustible, la temperatura y el nivel del oxígeno.
- **Exposición:** las llamas constituyen una fuente importante de radiación y contribuyen a la propagación del incendio. Su **cantidad y distribución** también da idea del alcance del incendio.

Ver apartado Incendios de Interior para consultar en detalle.

4.6.3. NIVEL DE TEMPERATURA

Al aludir a la temperatura normalmente se hace referencia a la temperatura del interior del túnel a diferentes distancias del foco o bien a lo largo de la zona inundada de humo (especialmente en casos de ventilación longitudinal, donde el humo ha llenado toda la sección del túnel aguas abajo del foco de incendio).

La temperatura está relacionada con la radiación y es preciso considerar ambos factores. Los problemas ocasionados por la temperatura son básicamente los mismos que los provocados por la radiación; es decir, la propagación del incendio. Con temperaturas altas se dificulta mucho el desplazamiento dentro del túnel y, por tanto, la evacuación.

Para realizar una valoración del nivel de temperatura se pueden emplear:

- Pulsaciones muy cortas de agua: permiten conocer la capacidad de evaporación de agua del ambiente y así la transferencia potencial de calor.
- Las cámaras térmicas son una excelente herramienta para determinar la temperatura y distribución del calor dentro del recinto.

La sensación térmica del equipo en progresión hacia el interior del túnel es un signo que bomberos con experiencia podrán analizar para identificar el nivel de transferencia térmica existente.

4.6.4. FLUJO DE GASES

- **Flujos de entrada:** constituyen entradas de aire limpio dentro del recinto se registran en toda la sección de la boca del túnel (apertura exterior). Este tipo de flujo sirve para evaluar y establecer el movimiento general del flujo de gases en un incendio.



El acceso de efectivos a través de una apertura con flujo de entrada de aire (aguas arriba) garantiza buena visibilidad y ausencia de otros problemas derivados de los gases de incendio (toxicidad, calor, inflamabilidad).

- **Flujos de salida:** constituyen salidas de gases de incendio en toda o gran parte de la sección de la boca del túnel (aguas abajo). Las aperturas con flujos puros de salida se sitúan al final de la ruta de gases en zonas superiores donde el diferencial de presión sobre la presión atmosférica es positivo.



El acceso de efectivos a través de una apertura con flujo de salida está totalmente desaconsejado, ya que supone la exposición a altas temperaturas, fenómenos de rápido desarrollo y condiciones de muy baja visibilidad.

CAPÍTULO

4

Casos prácticos



A partir de las investigaciones presentadas por Ingason y otro autores (2005) y Bergqvist (2005b) se han redactado los siguientes supuestos prácticos, con sus respectivos planteamientos de intervención. Los autores definen modelos tácticos en función de la geometría del túnel (un tubo o dos tubos) y las diferentes características del tráfico (pesado o ligero).

1. INCENDIO EN UN TÚNEL CON DOS TUBOS COMUNICADOS

a) Planteamiento:

Se registra un incendio en un túnel que cuenta con dos tubos.

b) Intervención:

1. Se debe detener el tráfico en ambos tubos del túnel.
2. Los bomberos deben entrar al túnel por el tubo que no está afectado. Por aquí sólo podrán entrar los vehículos relacionados con la actividad de extinción.
3. Si el incendio ha sido provocado por un vehículo se deben dirigir los esfuerzos del equipo de intervención a sofocar el mismo (zona aguas abajo). Simultáneamente debe llevarse a cabo la evacuación de la zona que se encuentra libre de humo (zona aguas arriba).

4. Los equipos de refuerzo (segunda y tercera rotación) que lleguen deberán ayudar en la labor de control y extinción del fuego, o bien en la de evacuación y rescate de personas atrapadas en el túnel (aguas abajo).

Si el incendio tiene lugar en una zona urbana, es probable que los vehículos en el lado de aguas abajo puedan tener dificultades para salir del túnel cuando el humo se propague a su ubicación. En ese caso deben emplearse de forma complementaria técnicas de ventilación en presión positiva (VPP). Su empleo se debe llevar a cabo una vez que se ha realizado la extinción del incendio. Si el fuego no está bajo control, la dirección del flujo de aire debe ser invertida para ventilar el humo sin aumentar la potencia del incendio, y ayudar a las personas que pudieran estar atrapadas aguas abajo.

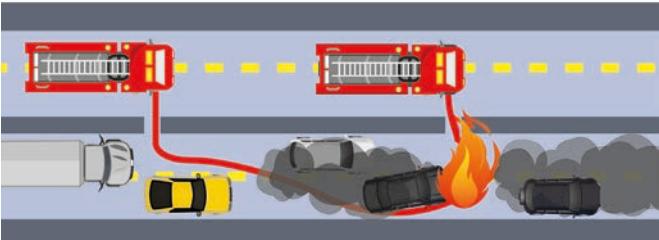


Imagen 24. Incendio en un túnel de un coche en llamas

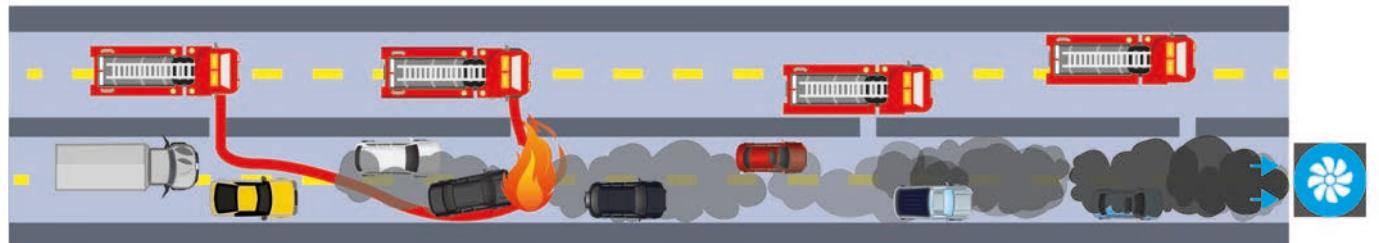


Imagen 25. Incendio y rescate en túnel de doble orificio con un coche en llamas y vehículos bajo el humo

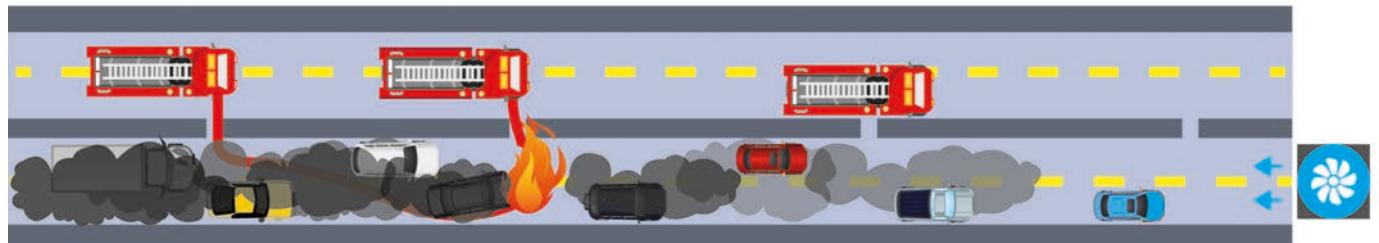


Imagen 26. Incendio y rescate en túnel de doble orificio con un coche en llamas después de revertir la dirección del flujo de aire

2. INCENDIO EN UN TÚNEL DE UN SOLO TUBO CON CIRCULACIÓN BIDIRECCIONAL

a) Planteamiento:

Se registra un incendio en un túnel que cuenta con un solo tubo.

b) Intervención:

1. Se debe evaluar la situación y asegurarse de que la dirección del flujo del aire es favorable.
2. El equipo de intervención debe atacar el incendio. Si esto no fuera posible, debe dejar espacio suficiente para las operaciones de evacuación. Los ocupantes que se encuentran en la zona libre de

humo deben ser evacuados (aguas arriba). Al mismo tiempo, el acceso o boca del túnel que se encuentra aguas abajo debe ser habilitado para el rescate de las personas que pudieran estar atrapadas cerca de esta zona.

3. Una vez que haya terminado el rescate y la evacuación de las personas que se encuentran aguas arriba, y siempre que el fuego se haya extinguido, se emplea un ventilador para expulsar el humo (técnicas VPP).
4. Si fuese imposible sofocar el fuego, la dirección del flujo de aire debe ser invertido para eliminar el humo de la zona aguas abajo y de esta forma mejorar la visibilidad para las labores de evacuación y rescate de personas atrapadas o heridas.

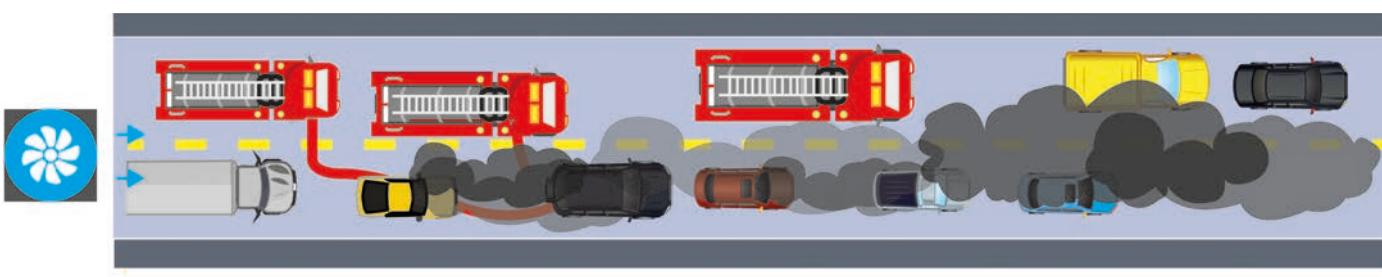
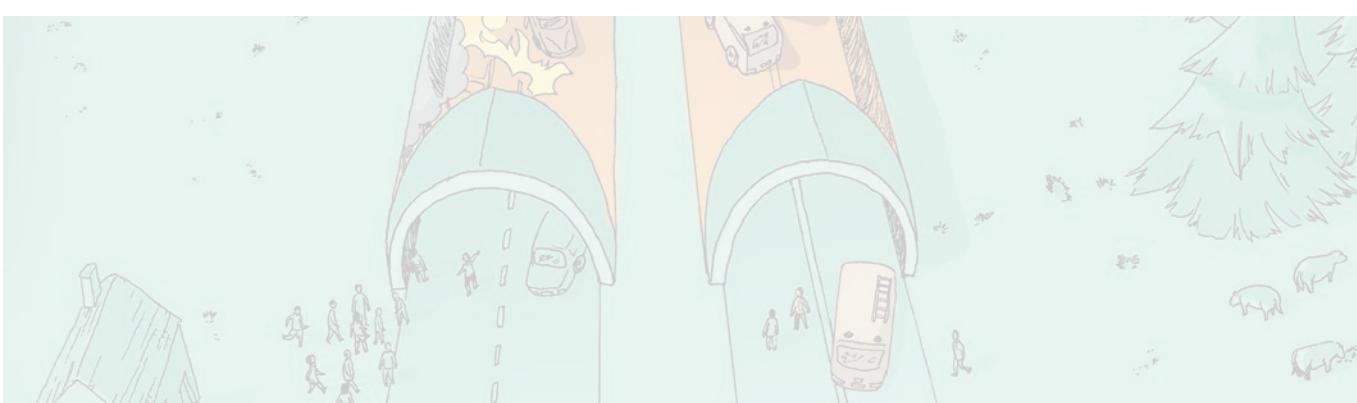


Imagen 27. Lucha contra un incendio en un coche en un túnel de un solo orificio



Imagen 28. Incendio y rescate en un túnel de un solo orificio con un coche en llamas después de revertir la dirección del flujo de aire





CONVIENE RECORDAR

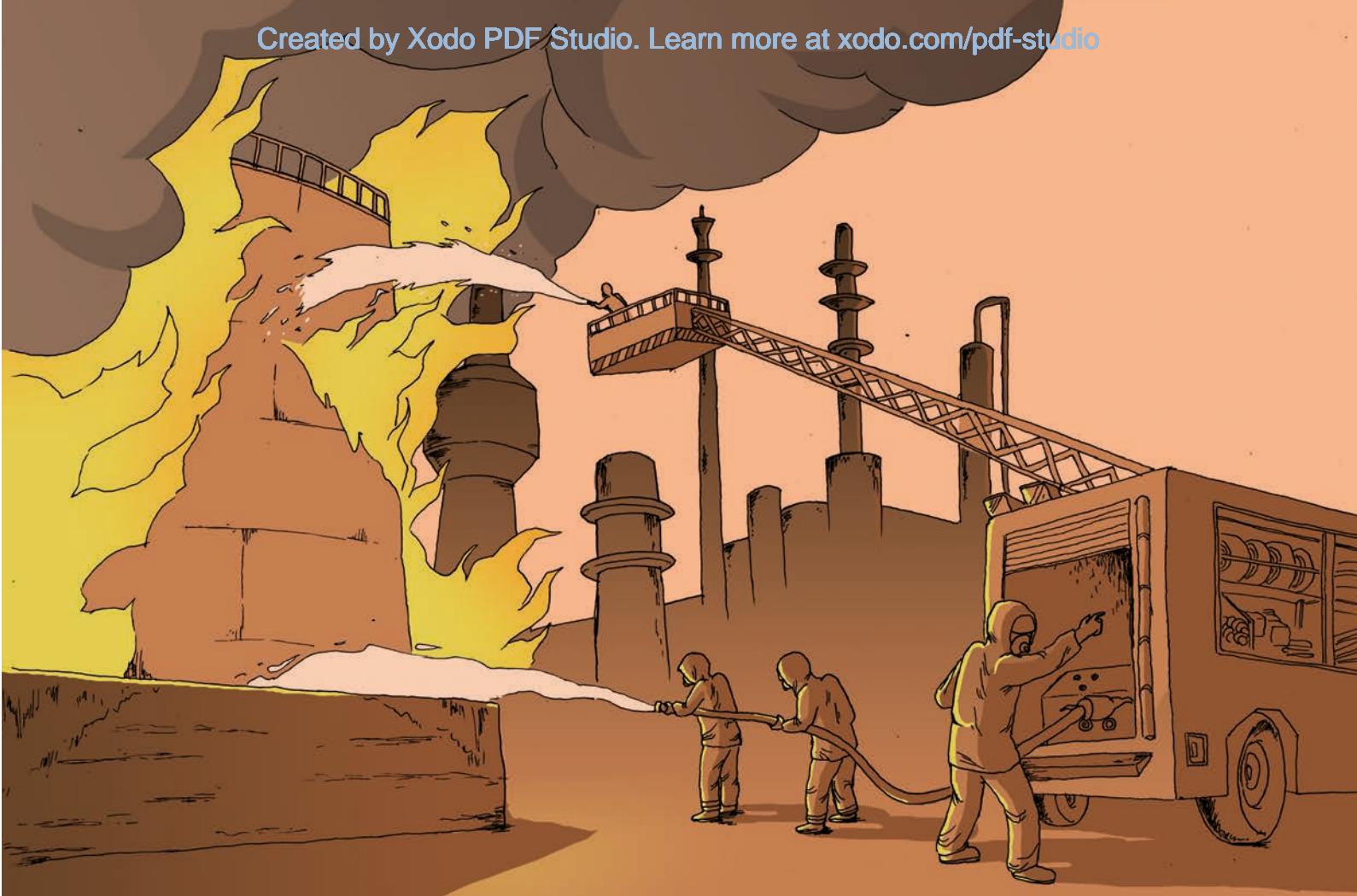
- Es necesario que los túneles cuenten con **instalaciones adecuadas** que faciliten tanto la evacuación como la actuación segura de los equipos de bomberos que controlan y extinguen el fuego en su interior.
- Entre las principales **técnicas de intervención** que se utilizan para controlar y extinguir los incendios en túneles destacan:
 - despliegue de tendidos para extinción,
 - rescate y evacuación de víctimas,
 - control de la ventilación,
 - orientación y progresión en túneles.
- La **valoración de un incendio** es una labor compleja, ya que se trata de un escenario dinámico, con muchas variables, cuya interacción continua va modificando paulatinamente tanto su curso como su resultado. Por otra parte es necesaria una rápida intervención, debido a que los incendios de vehículos se propagan con gran rapidez durante los primeros 5-10 minutos de su desarrollo.

Para minimizar los daños ocasionados por el incendio y disminuir el número de víctimas es necesario que la intervención tenga lugar dentro de los 10 minutos siguientes a la alarma de incendio. Así, a la propia dificultad técnica de la valoración del incidente se une la necesidad de dar una respuesta certera y urgente para abordar la situación.

- La **valoración del siniestro** debe tener un carácter integral, ya que no solo se aborda la lectura del incendio, sino también la identificación de acciones prioritarias, el efecto de las acciones emprendidas y el estado de los recursos disponibles. Se debe realizar antes, durante y después de la intervención y en ella se identifican diferentes momentos: inicial, exterior, interior, continua y final.
- La **lectura del incendio** debe realizarse atendiendo al máximo número de indicadores (aunque será complicado tener información precisa sobre todos ellos). Generalmente la lectura estará sujeta a cierto grado de incertidumbre, por lo que es importante que, al realizarla, se evite caer en simplificaciones.

Los **parámetros e indicadores** a tener en cuenta en una lectura de incendio son:

- **Características del túnel.**
- **Características del incendio:**
 - Temperatura de los gases.
 - Nivel de radiación.
 - Tasa de liberación.
 - Propagación del fuego.
 - Características y distribución de:
 - Humo.
 - Llamas.
 - Flujo de gases.
- **Amenazas en el entorno.**
- **Características del pavimento.**
- **Presencia de personas en el interior del túnel.**
- **Equipamiento del que se dispone, etc.**



Rubén Barbero Cerrada

PARTE 5

INCENDIOS INDUSTRIALES

Manual de incendios

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción





CAPÍTULO

1

Caracterización



1. NORMATIVA VIGENTE

En España, el 29 de septiembre de 2006 quedó derogada la Norma básica de edificación: condiciones de protección de incendios contra edificios (NBE/CPI96). En su sustitución se aplica el artículo 11 (Seguridad en caso de incendio –SI-) del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Además el Ministerio del Interior, mediante el Real Decreto 393/2007 de 23 de marzo, aprobó la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan originar situaciones de emergencia. Se ha establecido la obligación de elaborar, implantar y mantener operativos planes de autoprotección específicos con un contenido mínimo determinado que deben incorporar.

La Norma Básica de Autoprotección crea un Catálogo de Actividades, —entre las que están incluidas las actividades industriales— a las que se aplicarán las disposiciones de este RD, además de las propias en el caso de aquellas que tuvieran reglamentación sectorial específica.

Sin duda, la norma más relevante en esta materia sea el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (en adelante, RSCIEI), que tiene por objeto conseguir un grado suficiente de seguridad en caso de incendio en los establecimientos e instalaciones de uso industrial.

A los efectos del RSCIEI, se consideran **industrias** las actividades dedicadas a:

- La obtención, reparación, mantenimiento, transformación o reutilización de productos industriales, envasado y embalaje.
- El aprovechamiento, recuperación y eliminación de residuos o subproductos, cualquiera que sea la naturaleza de los recursos y procesos técnicos utilizados.

Por otro lado, un recinto de **almacenamiento** se define como aquel que de forma fija o temporal, cubierto o no, se dedica en exclusividad a albergar productos de cualquier tipo.

El reglamento (RSCIEI) se aplica a este tipo de establecimientos:

- Las zonas de un edificio o zonas exteriores en las que los vehículos están almacenados como cualquier otra mercancía o pertenecen a la flota de alguna actividad comercial o industrial.
- Equipos e instalaciones implicados en el funcionamiento de un proceso productivo o de un almacenamiento, estén o no en el mismo sector.
- Almacenamientos de cualquier tipo de establecimiento cuando su carga de fuego total sea igual o superior a tres millones de Megajulios (MJ), esto es, 720.000 Megacalorías (Mcal).



Imagen 1. Polígono industrial

Asimismo, se aplicará a las industrias existentes antes de la entrada en vigor de este reglamento cuando su nivel de riesgo intrínseco, su situación o sus características impliquen un riesgo grave para las personas, los bienes o el entorno.

Aunque no se va a tratar en este manual, también son de cierta relevancia las normas que regulan lo relativo al sector químico industrial (almacenamiento y demás), por ser un factor de riesgo altamente relacionado con la envergadura y peligrosidad de los incendios industriales.

2. TIPOS DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES

Los establecimientos industriales son las industrias, almacenamientos industriales, talleres de reparación y estacionamientos de vehículos (transporte de personas o de mercancías), así como los servicios auxiliares o complementarios de estas actividades. Se pueden clasificar en función de su ubicación en relación con el entorno y el nivel del riesgo intrínseco.

2.1. LA UBICACIÓN EN RELACIÓN CON EL ENTORNO

Tal como se señala en el RSCIEI, los establecimientos industriales pueden tener diversas configuraciones y ubicaciones en función del entorno y los diferentes usos que pudiera tener este.

2.1.1. ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES UBICADOS EN UN EDIFICIO:

- **Tipo A:** el establecimiento industrial ocupa parte de un edificio. En el edificio existen otros establecimientos, de uso industrial o de otros usos.

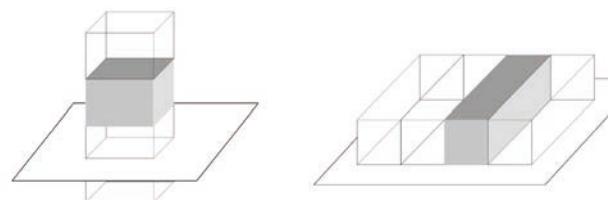


Imagen 2. Tipo A

Tipo B: el establecimiento industrial ocupa por completo un edificio que o bien está adosado a uno o más edificios o bien se encuentra a una distancia igual o inferior a tres metros de estos, que, a su vez, pueden ser establecimientos de uso industrial o de otros usos. Se considerarán de **tipo B** establecimientos industriales que ocupen una nave adosada con estructura compartida con las contiguas, siempre que disponga de cubierta independiente y se justifique técnicamente que el posible colapso de la estructura no afecta a las naves colindantes.

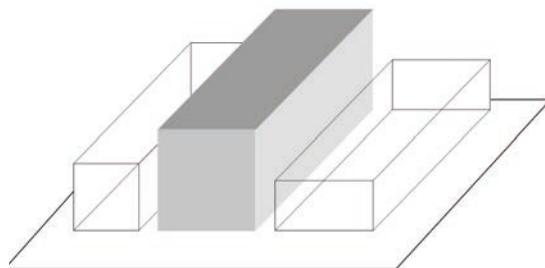


Imagen 3. Tipo B

Tipo C el establecimiento industrial ocupa por completo un edificio o varios edificios, que están a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Entre ambos edificios o establecimientos no deben existir mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar un incendio.

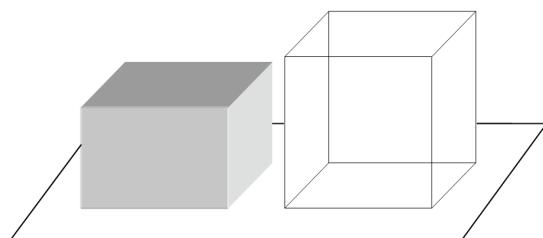


Imagen 4. Tipo C

2.1.2. ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES EN ESPACIOS ABIERTOS

Los tipos de establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio son los siguientes:

- **Tipo D:** el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar totalmente cubierto pero alguna de sus fachadas carece totalmente de cerramiento lateral.

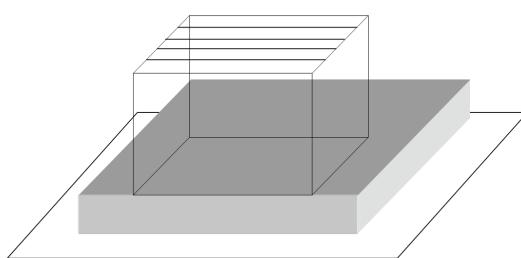


Imagen 5. Tipo D

- **Tipo E:** el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50% de su superficie) pero alguna de sus fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral.

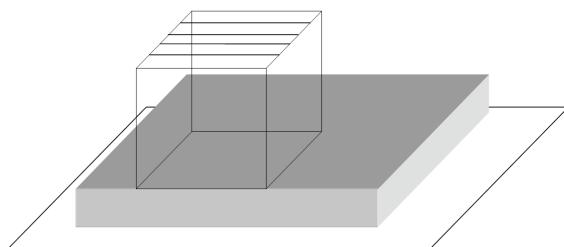


Imagen 6. Tipo E

Podría darse el caso de que en un establecimiento industrial coexistan diferentes configuraciones, en este caso se considera cada una de sus partes de forma diferenciada. Además, cuando un establecimiento industrial no coincide exactamente con ninguno de estos tipos, se considerará que pertenece al tipo al que sea equiparable.

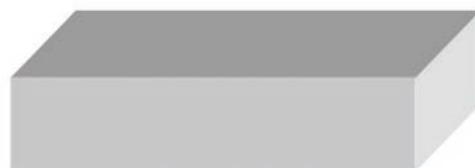


Imagen 7. Ubicación actual

2.2. EL NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO

Según su grado de riesgo intrínseco, los establecimientos industriales se clasifican en función de los siguientes criterios:

- **La configuración:** tipo A, B, C, D y E.
- **Sectores o áreas de incendio:** cada configuración constituirá una o varias zonas del establecimiento:
 - Tipos A, B y C: se considera sector de incendio el espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego (durante el tiempo que se establezca en cada caso).
 - Para los tipos D y E se considera que la superficie que ocupan constituye un área de incendio abierta, definida solamente por su perímetro.

Se suele decir que, en función de los usos, la carga de fuego se puede categorizar en tres niveles de riesgo:

- Nivel alto: las industrias químicas, talleres y fábricas de pintura, barnices y fábricas pirotécnicas.
- Medio y bajo: el resto.

Sin embargo, para determinar detalladamente el nivel de riesgo intrínseco de un **edificio o un conjunto de sectores o áreas de incendio** de un establecimiento industrial, se emplea la siguiente expresión, que determina la densidad de carga de fuego ponderada y corregida, Q_e , de un edificio industrial:



$$Q_e = \frac{\sum_i^i Q_{si} \cdot A_i}{\sum_i^i A_i} \text{ (MJ/m}^2\text{) o (Mcal/m}^2\text{)}$$

donde:

Q_e = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del edificio industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

Q_{si} = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada sector o área de incendio (i) que componen el edificio industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

A_i = superficie construida de cada sector o área de incendio (i) que componen el edificio industrial, en m².

Para determinar el nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio, se emplea la siguiente expresión, que determina la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de dicho sector o área de incendio.

$$Q_s = \frac{\sum_i^i G_i \cdot q_i \cdot C_i}{A} \cdot K \cdot R_a \text{ (MJ/m}^2\text{) o (Mcal/m}^2\text{)}$$

donde:

Q_s = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

G_i = masa, en kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector o área de incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles).

q_i = poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg, de cada combustible (i) que existe en el sector de incendio.

C_i = coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada combustible (i) que existe en el sector de incendio.

R_a = coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial desarrollada en el sector o área de incendio: producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc. Siempre que se desarrollen varias actividades, la actividad de mayor riesgo de activación inherente determinará el factor de riesgo de activación (R_a) del sector o área de incendio cuando ésta ocupe al menos el 10% de la superficie del sector o área de incendio.

A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².

3. NIVELES DE PROTECCIÓN

Es por esto que, en función del riesgo intrínseco que representen, se establecen distintos **sistemas de protección**, tanto activa como pasiva, que permiten detectar, contener y extinguir un posible incendio en la industria en cuestión. Dichos sistemas de protección se engloban en los siguientes:

Se conoce como **sistemas activos** a las instalaciones de detección, alarma y extinción de incendios que siguen:



Imagen 8. Detector de humos

Detección: en función de las materias contenidas en el local, la detección se realiza mediante detectores automáticos (humo, llama o calor) o manuales (timbres que cualquiera puede pulsar si ve un conato de incendio).

Alerta y señalización: timbres y megafonía que dan aviso de incendio. Los letreros de color verde indican las vías de evacuación. Los letreros de color rojo indican las salidas que no son adecuadas en la evacuación. Además, debe haber un sistema de iluminación mínimo, alimentado por baterías, que permita llegar hasta la salida en caso de fallo del sistema de iluminación normal del edificio.

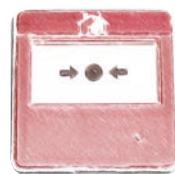


Imagen 9.
Alarma incendios

Los sistemas automáticos de alerta avisarán por medios electrónicos al Servicio de bomberos. El aviso telefónico ha de ser personal.

Extinción: mediante agentes extintores (agua, polvo, espuma, nieve carbónica) contenidos en botellas o conductos por tuberías hasta unos dispositivos (bocas de incendio, hidrantes, *splinkers*, etc.) que funcionan de forma automática o manual. Los dispositivos automáticos pueden activarse a una temperatura concreta o por cambio brusco de la misma



Imagen 10.
Extintor

Presurización de cajas de escaleras: habitualmente en un edificio de media o gran altura se utiliza este método para mantener una presión estática muy superior a la existente en los pasillos de los pisos. Con ello se logra que los humos a alta temperatura no se desplacen hacia el interior de las escaleras, que se emplea para la evacuación rápida de los ocupantes del edificio. Además evita un posible efecto de tobera provocado por la menor densidad propia de los humos; dicho efecto haría que el incendio se propagara más rápidamente y sería más difícil controlarlo.



Imagen 11.
Ventilador

Para realizar este método de presurización se emplean ventiladores industriales de tipo axial, de gran caudal, que generan una circulación desde la parte inferior de la edificación hasta un respiradero superior. Para que este método funcione las puertas cortafuego deben mantenerse cerradas. Las puertas más apropiadas en este caso son las puertas pivotantes.

Por su parte, se conoce como **sistemas pasivos** a aquellos que se encuentran integrados en el proyecto o la construcción del edificio y se centran principalmente en facilitar la evacuación de los ocupantes mientras el incendio queda confinado y restringido al mínimo, así, existen normativas que determinan, entre otros:

- El ancho mínimo de los pasillos, las escaleras y las puertas de evacuación.

- Las distancias máximas a recorrer hasta llegar a un lugar seguro.
- Disposiciones constructivas (apertura de las puertas en el sentido de la evacuación, escaleras con pasamanos, etc.).
- Recorridos de evacuación protegidos (pasillos y escaleras) que no sólo tienen paredes, suelo y techo resistentes a la acción del fuego, sino que están decorados con materiales incombustibles.
- Mínimo número de escalones (para evitar caídas).
- Los sectores de incendio, entendiendo que el edificio completo se considera también como un sector de incendio para evitar que el fuego se propague a los edificios colindantes y, además, se establecen dentro de él diversas sectorizaciones –determinados tamaños máximos, sectores limitados por paredes, techo, suelo y puertas de una cierta resistencia al fuego- para retardar el avance del fuego dentro del edificio.

Los materiales juegan un papel muy relevante dentro de los sistemas pasivos ya que, para valorar la estabilidad estructural de un edificio frente al fuego, se debe tener en cuenta la estabilidad de sus materiales (elementos portantes y estructuras de acero, hormigón armado y madera).

3.1. ESTABILIDAD AL FUEGO DE ELEMENTOS PORTANTES

En España, en el RSCIEI, se establece que para determinar la estabilidad al fuego de los elementos estructurales con función portante y escaleras que sean recorrido de evacuación, sus valores no deben ser inferiores a los que aparecen en la **tabla 1**.

Si el establecimiento industrial estuviera ubicado en un edificio con otros usos, aplicará el valor exigido al conjunto del edificio –en aplicación de la normativa que corresponda–, en caso de ser mayor que los aquí expuestos.

La Norma UNE 23727-90 clasifica el comportamiento de los materiales (por los que estén construidos o recubiertos) ante el fuego en cinco grupos: incombustibles, no inflamable, difícilmente inflamable, moderadamente inflamable y fácilmente inflamable. Así, tenemos la siguiente referencia:

- Incombustible (M0):** piedras naturales (granito, basalto, caliza, mármol, pizarra -excepto bituminosa-, piedras artificiales (morteros y pastas de cemento, cal y yeso, hormigones, materiales cerámicos, vidrios y fibras, amianto-cemento) y metales (fundición, acero y sus aleaciones, aluminio y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones, cinc y plomo).



Imagen 12. Mármol

- No inflamable (M1):** madera aglomerada ignífugada (algunas pueden ser M2), policloruro de vinilo rígido, estratificados de melanina, estratificados de urea-formol.

- Difícilmente inflamable (M2):** ciertas clases de poliéster reforzado con fibra de vidrio, moquetas hechas 100% de lana (algunas pueden ser M3), poliolefinas ignífugas.

- Moderadamente inflamable (M3):** madera en listones y tablones de espesor superior a diez milímetros, madera aglomerada en espesores superiores a catorce milímetros, poliamidas, resinas epoxi reforzadas con base incombustibles, policloruro de vinilo (estratificados), copolímero abs, moquetas de poliamida (algunas pueden ser M4).

- Fácilmente inflamable (M4):** madera aglomerada de espesores inferiores a catorce milímetros, polimetacrilato de metilo, moquetas acrílicas, tejidos de revestimiento y cortinaje constituidos en un 100% de acrílico, espuma de poliuretano, poliestireno expandido.

Tabla 1. Estabilidad al fuego de elementos portantes en función de su nivel de riesgo intrínseco

| NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO | TIPO A | | TIPO B | | TIPO C | |
|----------------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| | Planta sótano | Planta sobre rasante | Planta sótano | Planta sobre rasante | Planta sótano | Planta sobre rasante |
| BAJO | R 120 | R 90 | R 90 | R 60 | R 60 | R 30 |
| | BAJO | (EF - 90) | (EF - 90) | (EF - 60) | (EF - 60) | (EF - 30) |
| MEDIO | NO ADMITIDO | R 120 | R 120 | R 90 | R 90 | R 60 |
| | | ALTO | (EF -120) | (EF - 90) | (EF - 90) | (EF - 60) |
| ALTO | NO ADMITIDO | NO ADMITIDO | R 180 | R 120 | R 120 | R 90 |
| | | | (EF -180) | (EF -120) | (EF -120) | (EF - 90) |



Imagen 13. Acero

3.2. ESTRUCTURAS DE ACERO (M0)

Algunas de las propiedades más relevantes del acero estructural son las siguientes:

- **Combustibilidad:** no arde, por lo que no aporta mayor carga térmica al incendio.
- **Coeficiente de dilatación:** dilata mucho por lo que el calor del incendio aumentará la longitud de estos elementos. Lo que traerá consigo esfuerzos en toda la estructura
- **Conductividad térmica:** se trata de un gran conductor del calor, por lo que, si está expuesto al incendio, sufrirá un incremento de la temperatura en su totalidad, no sólo en la parte expuesta. Lo que puede propagar el incendio a lugares alejados del foco inicial siempre que existan materiales inflamables en contacto con alguna parte metálica de la estructura.
- **Masa:** los elementos de acero son bastante ligeros en comparación con otros elementos como el hormigón armado, que es unas diez veces más pesado para unas resistencias similares.
- **Superficie expuesta:** los elementos de acero ofrecen gran cantidad de superficie expuesta (no tienen sólo sección rectangular, se adaptan a las necesidades resistentes) y además suelen tener espesores pequeños. Por lo tanto la temperatura aumenta con gran facilidad.

A partir de ciertas temperaturas elevadas (350°C) el acero pierde resistencia. Y a 500°C superan los márgenes de seguridad ya que a esta temperatura la resistencia del acero es el 50% de la inicial y ha entrado en estado plástico (no se rompe, se deforma, se pliega).

Cuando se produce un incendio en estructuras de acero, los daños más habituales son:

- Propagación del incendio por conducción y contacto.
- Empuje (por dilatación de los elementos horizontales):
 - En la cabeza de pilares, lo que produce un arqueo y precipita el fenómeno de pandeo provocando el colapso del elemento.

- En la cabeza de muros, lo que puede volcarlos por desplome.
- Pérdida de apoyo de cerchas y consecuente caída.

Es necesario prestar especial atención al proceso de enfriamiento de las estructuras de acero. Si bien el mayor peligro de colapso se produce durante el siniestro por la dilatación que deriva del aumento de temperatura, su enfriamiento posterior puede provocar daños que también conduzcan al colapso.

Tras el siniestro el acero y una vez enfriado, el acero no tiene características resistentes distintas a las iniciales, salvo las derivadas del cambio de forma.



La protección de los elementos de acero ante el fuego es su “forrado” con elementos que lo aislan del foco de calor: trasdosados de yeso o escayola, cajeados de ladrillo, morteros aislantes proyectados, etc.

3.3. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO (M0)

Algunas de las propiedades más relevantes del hormigón armado, son las siguientes:

- **Combustibilidad:** no arde y no aporta mayor carga térmica al incendio.
- **Coeficiente de dilatación:** es un material pétreo, dilata muy poco. Dado que el calor del incendio no aumentará la longitud de estos elementos, no se producirán esfuerzos en lugares ajenos al foco de calor.
- **Conductividad térmica:** conduce muy mal el calor. Por este motivo, un elemento de hormigón expuesto al incendio sufrirá un incremento de la temperatura sólo en la parte afectada.
- **Masa:** son pesados por lo que requieren gran cantidad de calor para aumentar su temperatura.
- **Superficie expuesta:** la cantidad de superficie expuesta es relativamente pequeña.

El hormigón pierde resistencia con el aumento de temperatura de forma similar al acero (es significativo a partir de 300°C , y a 500°C su resistencia es el 50% de la inicial, tras superar los márgenes de seguridad). Aunque, debido a su



Imagen 14. Hormigón

gran masa, su poca superficie y su escasa conductividad, tarda mucho más tiempo en alcanzar estas temperaturas (el tiempo puede llegar a multiplicarse por tres).

Dado que el hormigón armado es un material compuesto (hormigón y acero), se debe tener en cuenta este hecho al analizar su comportamiento ante el fuego. El hormigón actúa como un aislante exterior que protege la ferralla y retrasa la llegada de calor a la misma. Cuando por efecto del incendio este recubrimiento se resquebraja por el calor -la pérdida de resistencia se acompaña de un cambio de color en la masa del hormigón-, las armaduras de acero quedan sin defensa y derivan en una serie de efectos que limitan la capacidad portante del conjunto y facilitan el colapso.



El hormigón armado se protege del fuego mediante el “forrado” con elementos que lo aislen del foco de calor: trasdosados de yeso o escayola, cajeados de ladrillo, morteros aislantes proyectados, etc., aunque lo más eficaz es tener en cuenta esta necesidad durante la construcción y aumentar el espesor del recubrimiento de hormigón.

3.4. ESTRUCTURAS DE MADERA (M3)

- **Combustibilidad:** es un material combustible que arde y aporta mayor carga térmica al incendio.
- **Coeficiente de dilatación:** dilata muy poco, por este motivo no se producirán esfuerzos en lugares alejados del foco de calor.
- **Conductividad térmica:** conduce muy mal el calor, por lo que un elemento de madera expuesto al incendio sufrirá un incremento de la temperatura sólo en la parte afectada.
- **Masa:** son elementos relativamente ligeros debido a la escasa cohesión intermolecular y a la humedad que albergan en su interior. Dado que tienen que evaporar esa humedad natural antes de empezar a descomponerse, absorben mucho calor antes de aumentar su temperatura.
- **Superficie expuesta:** la cantidad de superficie expuesta es relativamente pequeña (secciones rectangulares).

Cuando el fuego ataca a elementos de madera, los hace arder de forma concéntrica (es decir de fuera hacia dentro). La parte carbonizada carece de resistencia, aunque constituye un elemento protector (actúa como aislante frente a la temperatura exterior). La madera sana (la no quemada) no sufre alteraciones, incluso se endurece con el aumento de temperatura. Sin embargo, a medida que se carboniza la pieza, la sección útil de la misma va siendo menor, por lo que llega un momento en que la cantidad de material es insuficiente para soportar los esfuerzos. Las estructuras de madera colapsan por pérdida de la sección resistente.



Imagen 15. Madera



La protección contra el fuego de los elementos de madera se realiza mediante recubrimientos en forma de barnices intumescentes, que realmente actúan como retardadores.

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS INCENDIOS INDUSTRIALES

Los incendios industriales suelen clasificarse en función del estado de agregación y naturaleza del elemento o material implicado en el incendio. Así, existen incendios de maquinaria industrial e incendios de materiales en estado sólido, líquido, gaseoso o pulverulento.

4.1. INCENDIOS DE MAQUINARIA: ELÉCTRICOS Y ACEITES

Los incendios de maquinaria industrial principalmente derivan en riesgos de tipo eléctrico y de mercancías peligrosas, por los combustibles y/o aceites que frecuentemente utilizan para poder funcionar. En algunas de estas maquinarias industriales es habitual encontrar sistemas de extinción de incendios propios, por lo que estas cuentan con un elemento específico para controlar el riesgo de incendio, que frecuentemente es provocado por las siguientes causas:

- **Cortocircuito** debido a cables gastados, enchufes rotos, etc.
- **Líneas recargadas** que se **recalientan** por la conexión de excesivos aparatos eléctricos y/o por la excesiva cantidad de derivaciones en las líneas que no tienen en cuenta la capacidad eléctrica instalada.
- **Mantenimiento defectuoso** de los equipos eléctricos.
- **El incendio de aceites** de maquinaria (generadores, transformadores, etc.) se produce por fricción o por una fuga, dado que estos se encuentran a altas temperaturas. Normalmente esta maquinaria dispone de un recipiente donde se acumula el aceite para evitar fugas a otras instancias. Los gases producidos por estos aceites son altamente tóxicos.



4.2. INCENDIOS DE ALMACENAMIENTOS DE SÓLIDOS

La gravedad y envergadura de los incendios de almacenamientos sólidos dependen en gran medida de la naturaleza combustible del sólido implicado, de la cantidad que haya y de la continuidad que presenten.

Salvando la posibilidad de encontrar sólidos susceptibles de polimerizar, entrar en combustión espontánea u otros casos que se puedan considerar "extraños", se puede pensar que un incendio industrial de sólidos tiene, como norma general, menor peligrosidad que uno de líquidos, gases o pulverulentos, pues la energía que absorbe el sólido para arder debe utilizarse en primera instancia para llevarlo a estado gaseoso.

En este tipo de incendios, es habitual emplear estrategias de desalimentación y pérdida de continuidad antes de atacar el incendio en sí mismo. Otras veces, en función de la compactación que tenga el sólido ignesciente, convendrá dejarlo arder de forma controlada y limitando la propagación del mismo al entorno inmediato.

4.3. INCENDIOS DE ALMACENAMIENTOS DE LÍQUIDOS Y GASES

Los incendios que se producen en los establecimientos industriales en los que se utilizan o almacenan líquidos y/o gases inflamables se suelen clasificar en función de la forma en que acontece el incidente. En este sentido, los tipos más habituales de incendios industriales son:

- Incendio de charco.
- Incendio de tanque.
- Dardo de fuego.

Estos incendios tienen lugar cuando se produce un fallo en las medidas de prevención y con frecuencia son devastadores, debido a la alta inflamabilidad y al alto poder térmico de los combustibles afectados. En ocasiones junto con ellos pueden presentarse otros fenómenos tales como la bola de fuego (BLEVE) o bien la formación de nubes tóxicas.

4.3.1. INCENDIO DE CHARCO

El incendio de charco también llamado *pool fire*, se produce por el vertido de un líquido inflamable, que se extiende por el suelo y que alcanza un espesor reducido; si existe un cubo u otra zona de contención, se forma un charco de mayor profundidad (y por lo tanto menor superficie capaz de vaporizar e inflamar). Estas condiciones hacen factible la aparición de un incendio siempre que exista un punto de ignición cercano.

El líquido inflamable vertido se evapora en función de su volati-

lidad, de su temperatura, de la temperatura ambiente y de la velocidad del viento en el momento del incidente, entre otras cosas.

Los vapores se irán diluyendo poco a poco en la atmósfera. Si estos son más pesados que el aire, se formará una pequeña nube inflamable que será desplazada por el viento y las corrientes a ras de suelo. Mientras avanza la nube seguirá diluyéndose progresivamente, pero, si entra en contacto con un punto de ignición cuando su concentración se encuentra entre los límites de inflamabilidad, se producirá su combustión y el frente de llama retrocederá hasta alcanzar el vertido, lo que provocará el denominado incendio de charco.

Por este motivo, en cualquier instalación industrial en la que se utilicen o almacenen líquidos inflamables están muy controladas o prohibidas las prácticas que generan un punto de ignición (por ejemplo, fumar o soldar) y deben utilizarse siempre herramientas antiestáticas y antideflagrantes. En los casos más restrictivos, se generan recintos denominados ATEX (atmósferas explosivas) donde está prohibido utilizar teléfonos móviles y cualquier otro elemento que no estuviera certificado ATEX.

4.3.2. INCENDIO DE TANQUE

Los incendios de tanques de almacenamiento de combustibles líquidos involucran mucho más combustible que los de charco y suelen ser, por ello, más peligrosos. Dan lugar al accidente denominado rebosamiento por ebullición o *BoilOver*, un fenómeno extremadamente peligroso asociado frecuentemente a los incendios de tanque de crudo de petróleo, en los que suele haber restos de agua que, por ser más pesada, queda decantada en el fondo.

Durante la evolución del incendio, que puede durar varias horas, al principio se queman las fracciones más volátiles del petróleo. Al enriquecerse los componentes más pesados (de mayor temperatura de ebullición) forman una capa superficial que aumenta progresivamente de temperatura y espesor, y también avanza en profundidad. De esta manera una "onda de calor" de más de 200 °C se propaga hacia la parte inferior del depósito hasta que toma contacto con el agua decantada, lo que provoca su vaporización súbita y genera una violenta erupción que incrementa instantáneamente la radiación térmica y extiende el incendio en las inmediaciones, como por ejemplo sucedió con la explosión del pozo Oil Rig 380 frente a las costas de Louisiana en septiembre de 2010.

4.3.3. DARDO DE FUEGO

Cuando ocurre una fuga accidental de vapores o gases inflamables (por ejemplo en la rotura de una tubería procedente de un vaporizador o en la línea de impulsión de un compresor) se produce este tipo de incendio, también conocido como *jet fire*. El escape da lugar a lo que se denomina chorro turbulento (*jet*), que



Imagen 16. Vertido



Imagen 17. Dardo de fuego

hace que la masa de gas inflamable se mezcle con el aire circundante desde el punto de fuga. En la zona frontal del *jet*, donde ya ha cesado la turbulencia, la nube inflamable diluida resultante es desplazada por el viento y se dispersa. De forma similar al incendio de charco, si la nube alcanza un punto de ignición, se produce inmediatamente la inflamación de la masa de gas, el frente de llama retrocede hasta el lugar de la fuga y se forma un dardo de fuego que se mantiene mientras permanezca la emisión de gas o bien de vapor.

4.4. INCENDIOS DE MATERIALES PULVERULENTOS

Un factor que afecta enormemente a la velocidad de combustión es la forma física del combustible, ya que al aumentar la superficie de contacto entre el combustible y el comburente, más fácilmente se produce la combustión. De esta manera, en combustibles sólidos finamente divididos (partículas > 0,5 mm), se produce una combustión rápida pero sin peligro de explosión. Por el contrario si el combustible se encuentra en estado pulverulento (partículas < 0,5 mm), la combustión es muy rápida y puede llegar a ser pirofórico o incluso explosivo. Además, la temperatura y la energía de ignición necesarias para que estallen las nubes de polvo son mucho más bajas que las producidas en las fuentes de ignición comunes.

La decisión más relevante para extinguir este tipo de incendios con éxito pasa por elegir el agente extintor adecuado en función del estudio de una serie de factores como: la naturaleza del polvo, el sitio en el que se encuentra, la presencia de otros equipos o materiales en las proximidades del incendio, la disponibilidad de medios, etc.

Capacidades de los distintos agentes extintores para incendios de sólidos pulverulentos:

4.4.1. AGUA

Es el agente extintor de uso más frecuente, excepto en incendios de metales que reaccionan con ella (como el aluminio o el magnesio) o en presencia de tensión eléctrica. En incendios de materiales pulverulentos, se aplica de forma nebulizada o de fina pulverización, es eficaz en los incendios de polvos de origen vegetal y sintético (tales

como plásticos). Sin embargo, no penetra en masas de polvo de más de un metro de profundidad, por lo que se embarrará en la superficie. En ese caso se recomienda utilizar aditivos humectantes que reduzcan la tensión superficial del agua y consigan hacerla más penetrante.

4.4.2. ESPUMA FÍSICA

En este tipo de incendios, la espuma física tiene un uso limitado, ya que no penetra en los depósitos de polvo y su acción sofocante, una vez extendida sobre la superficie del mismo, es pequeña por la existencia de aire que ocupa los huecos de la masa del polvo.

4.4.3. POLVO QUÍMICO SECO

Se utiliza principalmente en los incendios de polvo de origen metálico, ya que estos son capaces de reaccionar con otros agentes extintores y, en general, mediante reacciones muy energéticas. La aplicación suele ser manual, lo que significa que está limitada a incendios de pequeñas proporciones.

4.4.4. ANHÍDRIDO CARBÓNICO Y NITRÓGENO

El anhídrido carbónico, el nitrógeno e, incluso, el vapor de agua también pueden utilizarse como agentes extintores de incendios de materiales pulverulentos, con la excepción de los polvos de metales reactivos y siempre que no se produzcan turbulencias.

Son efectivos cuando la masa de polvo está confinada en un volumen cerrado al paso de gases (depósitos, silos, bodegas de buques, etc.). Para asegurar una completa extinción, el gas o vapor debe mantenerse durante un largo período de tiempo (que en ocasiones puede llegar a ser de días o semanas) y se precisan aportaciones suplementarias de gas o vapor para compensar las pérdidas inevitables que tendrán lugar.

4.4.5. HIDROCARBUROS HALOGENADOS Y OTROS GASES EXTINTORES ESPECIALES

Los hidrocarburos halogenados (como el 1211 y el 1301) limitan su uso como agentes extintores a incendios de pequeña entidad. En concreto, los halones –que no deben ser usados si se trata de polvos de metales reactivos– están prohibidos, pero todavía se encuentran en muchas instalaciones industriales que en su momento montaron grandes sistemas de extinción automática y siguen manteniéndolos. En otras industrias se han sustituido por gases inertes especiales menos agresivos con la capa de ozono. Suelen ser una buena opción ya que se mezclan rápidamente con la nube pulverulenta e inertizan el conjunto.



5. USO DE ESPUMAS EN INCENDIOS INDUSTRIALES

La espuma es una combinación de concentrado espumógeno, agua y aire. Es uno de los principales agentes de extinción empleado sobre líquidos inflamables, que son unos de los incendios industriales que con más frecuencia se materializan. Su efectividad depende de la eficiencia de los equipos empleados para fabricarla, de su composición y de la fiabilidad del concentrado espumógeno.

A pesar de la importancia del mantenimiento frecuente de los equipos operativos y vehículos del servicio de bomberos, que garantizan su perfecto funcionamiento cuando hacen falta, los concentrados espumógenos rara vez se revisan porque están almacenados en bidones o tanques y, lamentablemente, no existen métodos de verificación no destructivos para analizarlos. Por ese motivo su uso prolongado depende en gran medida de la habilidad, experiencia y calidad que brindan los suministradores del producto.

5.1. FORMAS DE GENERACIÓN DE ESPUMAS

Para poder crear la espuma, se necesita agua, aire y un espumógeno. El primer paso es obtener la mezcla del agua y el espumógeno, que se consigue mediante uno de los siguientes sistemas:

5.1.1. PREMEZCLA

Es posible encontrar el espumógeno y el agua ya mezclados. Tal sería el caso de los **extintores** o bien en los **cámaras de bomberos**.

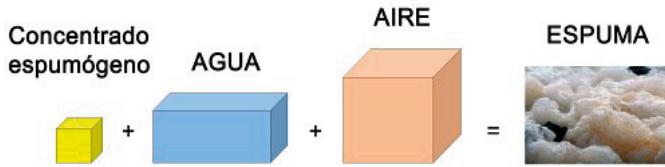


Imagen 18. Concentrado de espumógeno

5.1.2. PROPORCIONADOR (O HIDROMEZCLADOR)

El proporcionador es el elemento que permite generar la mezcla de agua y agente emulsor o espumógeno. De él sale un tubo que se sumerge en el depósito de espumógeno anexo. Un volante adosado a un lateral del proporcionador permite variar la proporción de líquido emulsor que se puede obtener con respecto a la mezcla obtenida (agua-emulsor) y que generalmente oscila entre el 1% y el 6%.

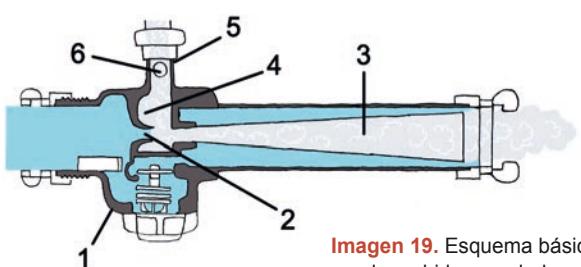


Imagen 19. Esquema básico de un hidromezclador

Un **proporcionador** en línea de manguera consta de las siguientes partes:

1. **Carcasa**
2. **Boquilla**: reduce la sección de paso de agua. El diámetro del racor de entrada se reduce hasta aproximadamente 8 mm.
3. **Colector**: canaliza la mezcla de agua-emulsor (contiene una riqueza de la mezcla superior a la de salida).
4. **Cámara de Mezcla**: produce la mezcla de agua y emulsor.
5. **Línea de succión**: conducto de entrada del emulsor.
6. **Válvula de retención**: impide la salida del agua por la línea de succión, evitando así la mezcla de agua en los bidones de emulsor.
7. **Derivación o bypass**: deriva el agua hacia el circuito de agua limpia.
8. **Válvula de compensación**: selecciona la cantidad de agua que pasa por circuito de agua limpia y, por ende, la que se fuerza a través del circuito de mezclado.

Respecto a su **funcionamiento**, el caudal de agua que penetra por la boca de entrada se ramifica en dos circuitos:

- Uno, a través de la boquilla, que se comunica con la cámara de mezcla.
- Otro, por el conducto que se comunica directamente con la salida a través de la válvula de compensación.

La reducción de sección de la boquilla hace que la velocidad de circulación del agua por la cámara de mezcla sea elevada, lo que provoca una depresión (vacío) en la misma (efecto Venturi), que se traslada hacia la línea de succión.

Si dicha línea de succión está comunicada con un depósito de emulsor a través de un mangote, el líquido emulsor circulará hacia la cámara de mezclas según la demanda que se le haya solicitado.

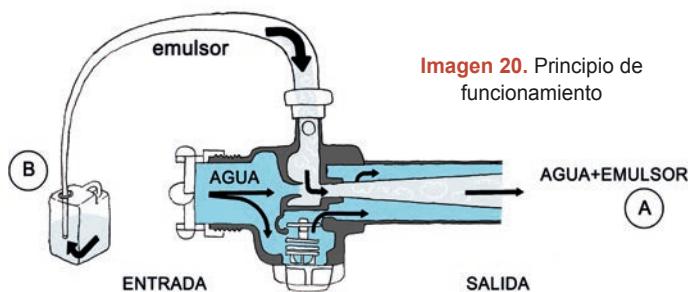


Imagen 20. Principio de funcionamiento

5.1.3. TANQUE A PRESIÓN SIN MEMBRANA

Es un depósito presurizado lleno de espumógeno sobre el que se sitúa un proporcionador. El agua a presión que pasa a través del proporcionador sigue dos caminos: Una parte del agua entra en el depósito para mezclarse con el espumógeno y otra parte atraviesa el proporcionador y, por efecto Venturi, extrae la mezcla del espumógeno y agua que en ese momento está en el depósito.

5.1.4. TANQUE DE MEMBRANA

Es un sistema compuesto por un depósito que posee en su interior una membrana llena de espumógeno. Para completar el sistema se tiene un proporcionador. El agua a presión entra en el proporcionador y una parte se dirige al depósito, donde el agua presiona la membrana y provoca la expulsión del espumógeno. La otra parte de agua atraviesa el proporcionador y, por efecto Venturi, absorbe el espumógeno que ha salido de la membrana.

5.1.5. SISTEMA DE BOMBEO

Este sistema es más complejo. Está compuesto por los siguientes elementos.

- Depósito de espumógeno.
- Bombas para la impulsión del espumógeno.
- Controlador de las bombas.
- Proporcionador.
- Sondas de presión.
- Manómetros.
- Válvulas de *by-pass*.
- Y otros elementos auxiliares.

Se hacen mediciones de presión tanto en la línea del suministro de agua como en la línea de suministro de espumógeno y, en función de la demanda, se suministra más o menos caudal de espumógeno y el sobrante se devuelve al depósito.

5.1.6. PROPORCIONADOR DE PRESIÓN BALANCEADA EN LÍNEA

Es el mismo sistema que el anterior pero se aplica cuando el depósito de espumógeno y la bomba del suministro del mismo están muy alejados entre sí.

5.1.7. BOQUILLAS AUTO-ASPIRANTES

Su funcionamiento es similar al de un proporcionador, pero en este caso el proporcionador forma parte de la boquilla de descarga. Estas boquillas se instalan en monitores.

5.1.8. BOMBAS HIDRÁULICAS

Estos sistemas realizan la mezcla del espumógeno con el agua mediante una difusión volumétrica. El agua a presión

entra en una bomba hidráulica conectada a la bomba dosificadora del espumógeno, por lo que el caudal de espumógeno es proporcional al caudal demandado de agua. Existe una válvula de tres vías que, en función de las necesidades, devuelve el caudal de espumógeno al depósito o lo introduce en el sistema para que se mezcle con el agua.

5.1.9. OTROS SISTEMAS PORTÁTILES (PRO-PAK)

Este sistema multiexpansión se utiliza para la extinción de fuegos de rastrojo, fuegos secos, fuegos en vivienda, de vehículo, y otros, utilizando técnicas tanto de inundación como de cubrición.

Soporta un caudal máximo de 45 LPM a 7 bares de presión. Necesita una presión mínima de 3 bares. Es, por tanto, un dispositivo de uso sencillo, también debido a su reducido peso (alrededor de 16 kgs.). Algunas de sus características más reseñables son:

- Inyector incorporado.
- Autonomía de 7 min al 3%, 21 min al 1% y 3 h con 30 min al 0,1%.
- Posibilidad de ajustar el caudal desde el mismo mango de agarre, lo que facilita su control de manera permanente.

En general, se puede decir que existen dos procedimientos para **dosificar** la cantidad de espumógeno que debe mezclarse en la corriente de agua para formar una solución de concentración fija:

- **Métodos que utilizan la energía de la presión en la corriente de agua** (efecto Venturi). Se introduce dicho concentrado a través de unos orificios. En general estos dispositivos producen una pérdida de presión del 35% en la corriente de agua. Dentro de este grupo se encuentran el eductor de lanza (N.P.U), los inductores en línea y los dosificadores alrededor de la bomba.
- **Métodos que emplean bombas auxiliares o presión de caída** para inyectar el concentrado en la corriente de agua en una proporción fija respecto al caudal.

5.2. TIPOS DE ESPUMA

Las espumas se pueden clasificar en espumas de baja, media y alta expansión:

5.2.1. ESPUMAS DE BAJA EXPANSIÓN

Cuentan con un ratio de expansión 20:1, se diseñan para combatir incendios de líquidos inflamables. Controlan, confinan y extinguen la mayoría de los fuegos de clase B. También se utilizan con éxito en fuegos de clase A, donde su capacidad de enfriamiento es muy útil.

La calidad de una espuma de baja expansión se caracteriza por tener:

- Capa hermética a los vapores.
- Excelente adherencia.



- Gran capacidad de retención de agua.
- Burbujas minúsculas y tenaces.
- Elevada resistencia al calor.

El agua que contiene contaminantes (detergentes, residuos de petróleo o determinados inhibidores de la corrosión) puede reducir la calidad de la espuma. En general, son más estables si se generan con agua dulce o de mar, a una temperatura de 12 °C a 27 °C.

La **aplicación** más indicada de la espuma de baja expansión es controlar y extinguir los incendios de la mayor parte de los líquidos inflamables (clase B). Por su alto contenido de agua también se emplea con éxito en incendios de clase A y, por ese mismo motivo, no debe aplicarse sobre elementos con tensión eléctrica, ya que es buena conductora de la electricidad.

Tampoco se recomienda sobre derrames de gases licuados como butadieno, propano o cloruro de vinilo. En general no se debe utilizar en incendios de materiales que reaccionen con el agua, fuegos de Clase D, carburo de calcio, etc.

La **densidad de aplicación** de la espuma determina su éxito. La densidad de aplicación se expresa como los litros de solución agua-concentrado (no de espuma expandida) que alcanzan la superficie del combustible. Es decir, la densidad de aplicación indica los litros de solución por minuto (caudal de la lanza) y por metro cuadrado. La densidad de aplicación determina también el número de lanzas a utilizar en función de la extensión del líquido inflamado.

Las espumas de baja expansión (sintéticas de triple expansión y polivalentes) deben ser aplicadas con una densidad de cinco litros por minuto y metro cuadrado para incendios de derrames. Al aumentar la densidad de aplicación por encima del mínimo recomendado se reduce el tiempo requerido para la extinción. Sin embargo si la densidad de aplicación es inferior a dicho mínimo, el tiempo necesario para la extinción será mayor y si es demasiado baja, es posible que no se pueda controlar ni extinguir el incendio.

La siguiente operación permite determinar el número mínimo de lanzas necesarias para combatir con éxito un derrame:

Superficie del derrame x densidad de Aplicación = Caudal necesario

Obtenido el caudal, se calcula el número de lanzas (en función de lanzas de 200 y 400 l/m) que permiten completarlo.



¿Cuál sería el caudal necesario para extinguir un derrame 56 m² (7 x 8m) de superficie?.

$$56 \text{ m}^2 \times 5 \text{ litros/m}^2 \cdot \text{minuto} = 280 \text{ l/min.}$$

Se requiere un caudal igual o superior a 280 l/min., lo que se logra con una sola lanza de 400 l/m. o bien dos de 200 l/m.

¿Cuál sería el caudal para un derrame de 100m² de superficie?

$$100 \text{ m}^2 \times 5 \text{ l/m}^2 \cdot \text{min} = 500 \text{ l/m.}$$

Se necesitan dos lanzas (una de 400 l/min y otra de 200 l/min) o tres lanzas de 200 l/min.

Fuente: Zapater (1988)

5.2.2. ESPUMAS DE MEDIA EXPANSIÓN

Su ratio de expansión oscila desde 20:1 a 200:1, se diseñan para suprimir la vaporización de químicos peligrosos. Se ha comprobado empíricamente que la expansión óptima para suprimir químicos reactivos con el agua y líquidos orgánicos de bajo punto de ebullición se encuentra en el rango de expansión 30:1 y 50:1.

La **aplicación** de la espuma de media expansión está indicada en zonas confinadas (sótanos, pozos de minas, barcos, alcantarillados, salas de máquinas) y otros lugares donde la temperatura o sus propias dimensiones las hacen inaccesibles.

La espuma de media expansión es de textura suave. Tiene una excelente fluidez para evitar los obstáculos, y es significativo su uso para prevenir incendios en derrames de líquidos inflamables.

Para las espumas de media expansión los cálculos de **rendimiento** se realizan de forma aproximada tomando como punto de partida la densidad de aplicación, de la misma manera que para las espumas de baja expansión.

5.2.3. ESPUMAS DE ALTA EXPANSIÓN

Estas espumas, con un ratio de expansión mayor a 200:1, se diseñan para combatir incendios en espacios confinados (garajes, bodegas, sótanos, minas, hangares, etc).

Esta espuma, de forma similar a las anteriores, está indicada para controlar y extinguir el fuego por enfriamiento y sofocación, si bien su bajo contenido en agua (1:1000, es decir, con un litro de agua y concentrado se producen 1.000 litros de espuma) hace que gran parte sea destruida por el fuego en su avance.

Se aplica principalmente en espacios confinados, pero con ventilación que permita la salida de humo y gases calientes al tiempo que entra la espuma generada. El tiraje del incendio debe estar en el lado opuesto al lugar donde se aplique la espuma de alta expansión para que pueda entrar. Para evitar daños irreversibles, es necesario llenar el local de espuma a una velocidad adecuada, en cantidad suficiente y hasta una profundidad eficaz por encima del incendio. La profundidad de la capa de espuma debe tener aproximadamente sesenta centímetros.

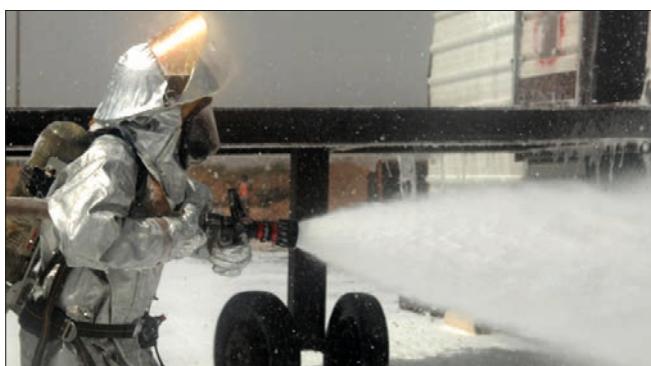


Imagen 21. Aplicación de espuma

Se debe tener en cuenta que, en la aplicación de espuma de alta expansión, hay una parte que se desintegra por efecto del calor, por las fugas que se produzcan a través de aperturas de ventilación, por efectos de la descarga de los rociadores y por la propia contracción de la espuma. De hecho, en incendios de exterior tiene poca efectividad, salvo en su expansión más baja 1:300.

El cálculo del caudal de espuma de alta expansión necesario para poder controlar un incendio no es sencillo. A la dificultad de determinar los factores enumerados durante una intervención, se suma el problema de conocer el tipo de almacenamiento y de material almacenado, cómo está

distribuido y cuál es su estado de combustión cuando se inicia la extinción.

En cualquier caso, según la NFPA (National Fire Protection Association), la fórmula para calcular el caudal es la siguiente:

$$R = (V/T) \cdot C_n \cdot C_L$$

R: velocidad de descarga en metros cúbicos por minuto.

V: volumen del espacio que debe protegerse.

T: tiempo de descarga en minutos. Puede oscilar de dos a ocho en función del tipo de riesgo y la construcción.

C: compensación por contracción normal de la espuma (1.15).

Cn: compensación por fugas. Está en función del tipo de local, suele oscilar entre 1.0 y 1.2.

A través de esta fórmula se obtiene el dato orientativo sobre el caudal de espuma que es necesario verter por minuto; este dato es importante para saber si se dispone de los medios suficientes para iniciar una inundación total con espuma de alta expansión. Es una fórmula válida para realizar cálculos cuando se conocen las características del local, de los productos y de las condiciones de almacenamiento, pero sólo es orientativa cuando el fuego ya se ha extendido.





CAPÍTULO

2

Técnicas



1. ATAQUE DEFENSIVO CONTRA LA PROPAGACIÓN

Las técnicas que tienen por objeto controlar la propagación del incendio industrial y, por tanto, evitar su crecimiento o afectación a elementos próximos se basan principalmente en la presurización de espacios y la refrigeración de superficies.

1.1. PRESURIZACIÓN DE ESPACIOS

La presurización de espacios evita que el humo penetre en las zonas presurizadas por lo que mantiene a estas ajenas al incendio exterior. Es complicada en cierto tipo de incendios, como:

- Incendios industriales de tipología D y E, ya que parte de su cubierta está al aire libre.
- Incendios industriales de tipología A, B y C, donde los caudales de aire de los motoventiladores encargados de la presurización no suelen ser suficientes para las grandes volumetrías que deben presurizar.

Los planes de prevención de las industrias han de contemplar las zonas de presurización que actuarán como cortafuegos, como vías de evacuación o como áreas de confinamiento seguro.

Por otra parte, la gran mayoría de naves industriales no está bien aislada, por lo que la presurización actúa como forma de protección en naves colindantes –sobre todo si se acompaña por una ventilación natural que refuerce la ventilación forzada que se está efectuando-, con buen resultado en muchos casos. Por el contrario, si la ventilación forzosa va en dirección contraria a la natural y, por lo tanto, la contrarresta, el resultado es nefasto.

1.2. REFRIGERACIÓN DE SUPERFICIES

La refrigeración de superficies retrasa la afección que el incendio cercano puede estar ejerciendo sobre dichas superficies tanto por radiación como por convección.

Según la NTP 420 son generalmente situaciones controlables unos caudales básicos de 1 kg/s para dardos o chorros de fuego (*jet fires*) y 2 kg/s para incendios de charco que corresponden a dardos o chorros (*jet fires*) de 10-15 m de longitud y a charcos (*pool*) de 50 m² de superficie respectivamente.

Para calcular el agua que se necesita para enfriar se puede distinguir entre tres situaciones de exposición al incendio con tres diferentes recomendaciones sobre la cantidad de agua que ha de aplicarse.

Los caudales de aplicación del agua están expresados por m² de recipiente o por m² de área de su superficie proyectada.

La tabla anterior se puede usar para estimar el número de hidrantes y monitores que se necesitan para suministrar el agua de enfriamiento en el escenario del incendio. También puede ser utilizada para desarrollar proyectos de sistemas fijos de difusores de agua y de diluvio.

Los manuales proponen un caudal mínimo de agua de extinción de 4 a 20 litros/min/m² (expresado por m² del área de la superficie proyectada). Los caudales de aplicación deben ser evaluados para cada escenario de incendio por separado. Para estos cálculos puede ser de utilidad el manual NFPA-11 (estándar para espumas de baja, media y alta expansión).

Si dentro de la filosofía de protección contra incendios se considera que es recomendable usar espuma como medio de extinción, se deberá tener en cuenta para el cálculo de la demanda total de agua.

2. ATAQUE DIRECTO CON AGUA

El ataque directo se efectúa cuando se aplica un chorro pleno a la base del fuego. Debe aplicarse durante un tiempo moderado, ya que las capas térmicas se ven afectadas, el vapor producido se condensa y el humo cae rápido hacia el suelo, con alto riesgo de quemaduras por el vapor de agua producido.

2.1. CÁLCULO DE LOS CAUDALES CRÍTICOS DE EXTINCIÓN

Durante una intervención de extinción, el caudal empleado en la aplicación de agua no es continuo. Las condiciones en el interior determinarán el caudal a emplear o la supresión de agua durante un tiempo hasta recobrar el equilibrio térmico. En cierto momento puede ser necesario suministrar un caudal importante para hacer frente a fenómenos de inflamación de desarrollo rápido o para controlar una situación de incendio. Determinar el caudal a emplear es una decisión importante durante la extinción del incendio.

Será útil conocer ciertos términos clave para ayudarnos a diferenciar mejor los diferentes caudales de agua (**tabla 3**).

Tabla 2. Agua contra incendios requerida para el enfriamiento (según NFPA-15)

| Exposición al incendio | Cantidad de agua de aplicación |
|--------------------------|---|
| Calor radiante | 4-8 litros /min /m ² |
| Llama directa incipiente | 10 litros /min /m ² |
| Llama dardo | 1000-2000 litros /min (caudal del chorro de manguera) |

Tabla 3. Términos clave en extinción de incendios – caudales

| | |
|-------------------|---|
| Gasto de agua | Volumen de agua empleado durante una intervención. |
| Caudal medio | Gasto de agua dividido entre el tiempo de intervención. |
| Caudal disponible | Máximo caudal disponible en punta de lanza en cualquier momento de la intervención. |
| Caudal crítico | Mínimo caudal disponible para extinguir un incendio. |
| Caudal óptimo | Caudal disponible para extinguir un incendio con el mínimo gasto de agua. |

El **caudal medio** de agua empleado en una intervención es poco significativo y relativamente bajo. La aplicación de agua se hace a intervalos o pulsaciones, seguidos de períodos de no aplicación.

Un caudal bajo aplicado durante más tiempo no es equivalente a un caudal alto aplicado durante menos tiempo.

Durante la aplicación del caudal, si la capacidad de enfriamiento y dilución del volumen de agua empleado no es suficiente, el incendio puede continuar desarrollándose.

Hoy en día las lanzas que utilizan los servicios de bomberos consiguen tamaños óptimos de gota a presiones nominales de 6-7 bares, sin que sea necesario recurrir a esquemas de alta presión para realizar técnicas de enfriamiento de gases con alto grado de eficiencia. No es cierto, por tanto, que los sistemas de alta presión y bajo caudal igualen las capacidades extintoras de los sistemas de baja presión y alto caudal.

A medida que el caudal disponible se reduce, el tiempo necesario para extinguir el incendio se alarga, alcanzando una asíntota vertical en el valor del caudal crítico. Si en una operación de extinción, el caudal disponible es inferior al caudal crítico el incendio sólo decaerá por sí mismo cuando se agote el combustible.

Se ha demostrado que las condiciones del incendio apenas varían a pesar del trabajo continuo aplicando agua, y que sólo después de un intervalo de tiempo (la duración de la etapa de pleno desarrollo) el incendio decae. Es un error pensar que en estos casos es la intervención de los bomberos la que produce la extinción, ya que en realidad se debe a la ausencia de combustible adicional.

Aumentar el caudal disponible reduce el tiempo necesario para la extinción. Se reduce con rapidez al aumentar el caudal ligeramente por encima del caudal crítico y, después, se reduce en menor medida. A mayor caudal, mayor gasto de agua.

El **caudal óptimo** corresponde al mínimo gasto de agua posible.

El **caudal disponible** a emplear en una intervención debe ser:

- No inferior al caudal óptimo, sino lo más cercano posible a él.
- Suficiente para garantizar la seguridad del personal frente a fenómenos de rápido desarrollo.

El valor del caudal óptimo depende de múltiples factores:

- Potencia del incendio (tipo de combustible y grado de ventilación).
- Cantidad de combustible.
- Área afectada.
- Estado de desarrollo del incendio.

El análisis de datos estadísticos sobre más de 5000 incendios realizado por Paul Grimwood y Cliff Barnett (2005) apuntan a valores de 24 LPM/MW para incendios en vivienda residencial y 5 LPM/m² para incendios en superficies amplias (>100m²).

2.2. MODO DE APLICACIÓN DEL AGUA

El agua –debido a su alto calor específico– es una de las sustancias más efectiva en la absorción de calor y por ese motivo se usa para el enfriamiento, aunque también por ser un elemento económico y práctico.

Las temperaturas de ignición de la mayor parte de los combustibles son superiores a los 150 °C, por lo que si los combustibles expuestos son enfriados hasta una temperatura aproximada de 150 °C, el proceso de combustión cesará y el incendio se extinguirá.

Para un cierto volumen de agua la máxima acción de enfriamiento se produce cuando se convierte en vapor. La evaporación del agua genera una producción de vapor en una relación volumétrica de 1 a más de 1.600. La generación de vapor puede ser utilizada con gran eficacia en la lucha contra grandes incendios en espacios cerrados.

También es una excelente respuesta a los problemas de ventilación de edificios o espacios cerrados, donde la atmósfera interior está caliente y peligrosamente llena de humo. Ayuda a disminuir la cuota de accidentes entre los bomberos por la temida explosión o evolución súbita del incendio (*flash over*).

Si crece la superficie expuesta de un elemento absorbente en relación a su volumen su capacidad de absorción de calor aumenta. Esta es una ley natural que se debe tener en cuenta. Se debe replantear seriamente la alternativa de utilizar el chorro pleno en la lucha contra el incendio, pues el chorro pleno tiene un alto grado de inefficiencia debido a la limitada superficie de agua que se expone con relación al volumen.

3. ATAQUE INDIRECTO CON AGUA

El ataque indirecto se realiza para buscar la extinción por saturación en vapor de espacios confinados. Puede realizarse desde el exterior de la zona o, por ejemplo, a través de una puerta o ventana. El chorro de agua nebulizada o niebla de ángulo estrecho se dirige al techo y se mueve de un lado a otro a través de las paredes y los gases superficiales a nivel del techo.

El agua en contacto con superficies calientes genera gran cantidad de vapor súbitamente gracias a la gran expansión que sufre al cambiar de estado. Este vapor está acompañado de una extraordinaria absorción de calor, lo que se añade al proceso de sofocación por desplazamiento del oxígeno del recinto y provoca la extinción del incendio. Todo esto sucede en un breve lapso de tiempo y con muy poca cantidad de agua.

No es aconsejable utilizar este ataque cuando hay víctimas atrapadas o cuando no puede contenerse la propagación del fuego hacia zonas no implicadas, ya que el efecto de pistón que ocasiona la súbita expansión del vapor puede propagar el incendio hacia áreas no afectadas.



4. TÉCNICAS DE EXTINCIÓN A BASE DE ESPUMAS

La espuma, gracias a su capacidad para flotar y mantenerse adherida sobre la superficie de los combustibles, impide que los gases de pirólisis que se desprenden entren en ignición, al evitar su contacto con el oxígeno del aire. De esta forma logra sofocar y, dado su alto contenido en agua, enfriá la superficie del combustible y de las paredes metálicas adyacentes, lo que además reduce la formación de dichos gases.

Así, aunque el mecanismo más habitual de extinción es la sofocación por cubrición y el enfriamiento, las espumas también pueden trabajar por inundación, desplazando el oxígeno mientras cubren todo el espacio libre posible. La

inundación se realizará siempre con espumas de alta expansión y requieren que el recinto que se vaya a inundar disponga de ventilación en el extremo opuesto al punto de aplicación de la espuma. De otra forma, la espuma no desplazará el aire del interior del recinto y no fluirá ocupando el espacio que se pretende llenar. Las contrapresiones reducirán el ratio de expansión de la espuma lo que derivará en una espuma más pesada que difícilmente llenará la estancia.

Las espumas presentan unas características especiales que las hacen idóneas para cierto tipo de incendios y desaconsejable para otros, pero al igual que con el agua, su efectividad depende en gran medida de la forma en que se apliquen. Las principales técnicas en el uso de espumas se detallan a continuación:

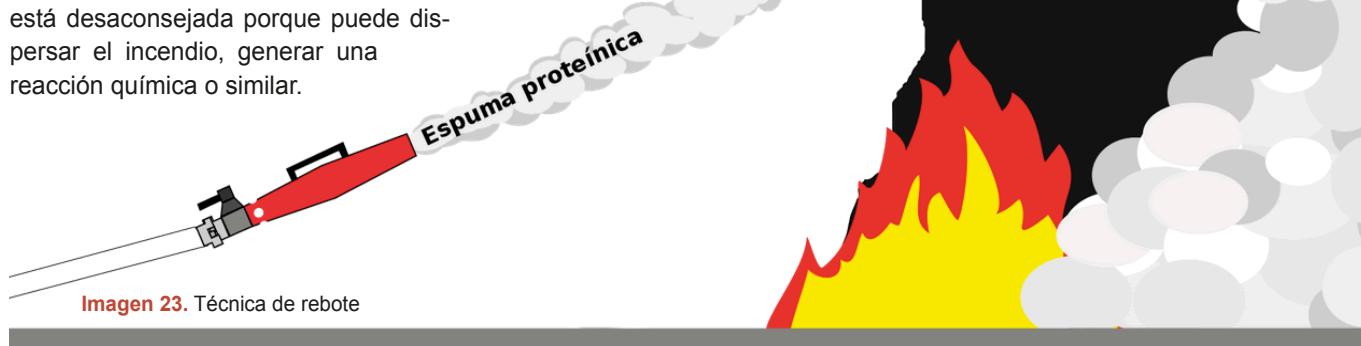
4.1. CUBRICIÓN SIMPLE

Para ejecutar esta técnica, el bombero apuntará su lanza para que golpee el suelo justo enfrente de la superficie del incendio. De esta forma la velocidad del flujo del chorro arrastrará la espuma hacia el combustible encendido y lo extinguirá.



4.2. CUBRICIÓN POR REBOTE

La técnica de rebote se suele utilizar con lanzas específicas para espumas –en función de la expansión que se busque y la distancia que se tenga que alcanzar–, ya que al dirigir el chorro de espuma contra un obstáculo (como una pared) permite que la espuma escurra sobre el fuego y se aplique de forma suave sobre la superficie a extinguir. Suele utilizarse en aquellos casos en los que la aplicación directa de espuma sobre la superficie afectada está desaconsejada porque puede dispersar el incendio, generar una reacción química o similar.



4.3. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ESPUMA NECESARIA SEGÚN EXTENSIÓN

El caudal necesario de espuma en cada situación depende de la presión de trabajo a la que rinda la bomba generadora de espuma y del espacio o volumen que se deba cubrir. Cada caudal producirá diferente volumen de espuma por minuto y condicionarán la expansión de la misma, según se indica en esta tabla:

Tabla 4. Caudal necesario de espuma

| Presión de trabajo | Caudal nominal | Rendimiento | Expansión máxima |
|---------------------------|----------------|-----------------------------|------------------|
| Presión K/cm ² | Caudal LPM | Espuma m ³ /min. | |
| 2,8 | 160 | 40 | 1:260 |
| 4,20 | 195 | 56 | 1:290 |
| 5,6 | 223 | 70 | 1:320 |
| 7 | 245 | 80 | 1:330 |
| 8,4 | 259 | 94 | 1:360 |

5. APLICACIÓN ESPECÍFICA DE LAS TÉCNICAS DE VENTILACIÓN EN INCENDIOS INDUSTRIALES

Tan importantes son los medios y técnicas de extinción como las condiciones de ventilación que afectan directamente a la efectividad de los trabajos realizados. Los tres tipos más determinantes son los siguientes:

5.1. VENTILACIÓN HORIZONTAL NATURAL

La ventilación natural se emplea:

- En una situación sin gran compromiso de combustible.
- En una situación con una carga de fuego controlada por la línea de agua.
- Durante una búsqueda primaria.

Para evitar que el ambiente interno sea insostenible para las víctimas potenciales, se debe tener en cuenta una ventilación bidireccional. Antes de utilizarla es necesario asegurar que la ventilación no provocará un incremento de la mezcla inflamable de gases que se encuentra dentro del recinto que se vaya a ventilar.

Si las aberturas que se realizan para ventilar un recinto industrial no son lo suficientemente grandes como para permitir una salida constante y de envergadura para los gases acumulados, se podrá provocar una catalización de la pirólisis y una intensificación del incendio derivada de ésta.

5.2. VENTILACIÓN VERTICAL NATURAL

El efecto chimenea es característico en los incendios de edificios con ventilación unidireccional. Se manifiesta como una succión del aire hacia la caja de escala o ascensor. Lo provoca la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior del edificio y el ambiente interior. Esta diferencia origina cambios en las presiones y la estratificación por gradientes de temperatura de las masas de aire dentro de la estructura en llamas.

En un edificio el humo tiende a moverse hacia una zona fría, y por el efecto chimenea se moverá como una masa uniforme a través de escaleras, huecos de ascensores o naves superiores. Este humo, que puede viajar varios pisos por conductos interiores en el edificio, contiene CO, letal para las víctimas potenciales y los propios intervenientes.

5.3. VENTILACIÓN POR PRESIÓN POSITIVA (VPP)

La Ventilación por Presión Positiva (VPP) hace uso de la capacidad de los gases de tender al equilibrio de sus presiones. Al introducir aire en un recinto se genera un gradiente positivo en relación con el medio externo que provoca que el humo y los gases de la combustión contenidos en el interior salgan hacia una zona con menores presiones.

La dirección de ataque al fuego en un recinto sujeto a ventilación debe ser planteada y llevada a cabo desde las posiciones que se encuentran a favor de las corrientes afluentes. Esto permitirá trabajar con mayor facilidad y llegar con prontitud al foco del incendio.

No se debe utilizar las aberturas de salida de ventilación para introducir líneas de ataque, porque tal disposición no sólo contribuye a impedir la fácil evacuación del calor, humo y gases, sino que la proyección hídrica actúa como vehículo impulsor de estos productos hacia la abertura de toma de aire, que es el lugar por el que precisamente acceden los efectivos que luchan por ingresar al recinto. En definitiva, no hay evacuación y se impide el ingreso del personal, lo que permite que el incendio gane tiempo y espacio.





CAPÍTULO

3

Valoración de incendios industriales



1. LECTURA DEL INCENDIO

1.1. VALORACIÓN GENÉRICA DEL DESARROLLO DEL INCENDIO (SEGÚN INCENDIOS DE INTERIOR)

La valoración de un incendio industrial se fundamenta en los recursos disponibles, el plan de actuación que se va a seguir y las condiciones que se presentan en la zona de trabajo. Estas, a su vez, están condicionadas por el combustible, el tipo de estructura y los riesgos inminentes.

1.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN

Se parte de la base de que la estabilidad estructural determina el **tiempo** de intervención disponible. A priori, es sumamente complicado determinar la estabilidad de una construcción. Sólo a título orientativo se puede señalar que, en función de material, el comportamiento de la estructura presentará diferencias, tal y como ya se ha indicado anteriormente:

- Las estructuras de acero soportan temperaturas medias durante períodos prolongados, pero un pico de temperatura reducirá el límite elástico del acero lo que puede provocar el colapso.
- Las estructuras de hormigón armado soportan bien los picos de temperatura debido a su mayor inercia térmica. Sin embargo las exposiciones prolongadas provocan fisuras y desconchamientos que debilitan la estructura al dejar expuesta la armadura de acero.
- Las estructuras de madera son inflamables y pueden aportar combustible al incendio. Presentan una buena estabilidad estructural incluso en llamas y sólo con el tiempo, cuando el incendio genera una pérdida de sección, la estructura se debilita. Ahora bien, no son estructuras habituales en edificios industriales.

Hay que tener en cuenta que las reglas fundamentadas exclusivamente en el tipo de material resultan simplistas. Es necesario considerar muchos otros elementos:

- El sistema de equilibrio de la estructura (estático o hipostático).



Imagen 24. Estructura de acero

- Los detalles de unión de la estructura.
- La existencia de elementos que permitan la dilatación.

Todo esto queda desarrollado en detalle en el manual que contempla lo relativo a la construcción y la edificación.

1.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO

La selección de los métodos de actuación, tanto de ataque al fuego como de búsqueda y rastreo, está determinada por las características del entorno. En naves industriales tipo D y E, en las que una parte de la cubierta está al aire libre y disponen de buena visibilidad, los siguientes son peligros poco habituales:

- La propagación del incendio.
- La acumulación de gases.
- Las altas temperaturas.
- El peligro de colapso.

Por el contrario, si se trata de tipo A, B o C, la forma de trabajo se equipara a un incendio de vivienda, con la contrapartida de que muchas veces ofrece tener una estructura cuyas condiciones constructivas la hacen fácilmente colapsable.

En cualquier caso, uno de los riesgos más relevantes en todas las tipologías industriales radica en el tipo y cantidad de **combustible** involucrado.

1.1.3. TIPO Y CANTIDAD DE COMBUSTIBLE

El factor más importante para cualquier tipo de incendio, ya sea industrial, de vivienda, de vehículo u otros, es el tipo de combustible y su cantidad.

Cada combustible ofrece un nivel de carga de fuego entendiendo que, en la mayoría de los casos, serán de tipo medio o bajo, salvo en las industrias químicas, talleres y fábricas de pintura, barnices, fabricación pirotécnica y similares, que serán de nivel alto.

1.2. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES PRIORITARIAS

1.2.1. EVACUACIÓN DE OCUPANTES

En las industrias siempre debe existir un Plan de Autoprotección o Plan de Emergencia que debe indicar un punto de encuentro para los evacuados y un responsable de dicho plan. Cuando los vehículos de emergencias llegan al siniestro, normalmente la evacuación y el recuento de los trabajadores -tanto internos como externos- de la empresa se ha realizado. De no ser así, será lo primero que se debe comunicar al mando de la intervención para que planifique la actuación considerando la posibilidad de que hubiera víctimas involucradas.

1.2.2. BÚSQUEDA Y RASTREO

El rastreo y la búsqueda de víctimas en el interior son habituales en las intervenciones de ataque a un incendio. Si bien el rescate de víctimas es una prioridad táctica en la mayoría de los casos, existen situaciones donde es esencial realizar un control previo del incendio para poder ase-

gurar la vida de la víctima o evitar un agravamiento general de la situación.

La técnica de búsqueda y rastreo está condicionada por los recursos disponibles y el número de víctimas. En este sentido, si es posible realizar simultáneamente el ataque al incendio y la búsqueda de víctimas, las posibilidades de éxito se multiplican.

En las actividades de búsqueda y rastreo, herramientas como la cámara térmica resultan de gran utilidad pues permiten reducir el tiempo de rastreo y facilitan la orientación del equipo en progresión por el interior de un entorno sin visibilidad. Asimismo, debido a la gran extensión de las naves industriales, se recomienda el empleo de herramientas de mano, tipo herramienta de bombero.

Los gases de incendio constituyen el mayor riesgo para las víctimas. Existen dos estrategias posibles para evitarlos: bien extraer a la víctima de la zona de peligro o bien retirar el peligro (el humo y la temperatura) de la zona donde se encuentra la víctima.

La ventilación VPP defensiva tiene especial interés de cara a la búsqueda y rastreo de víctimas en los siguientes escenarios:

- Edificios complejos.
- Incidentes con múltiples víctimas.
- Cuando las tareas de ataque al incendio y búsqueda de víctimas no pueden ser simultaneadas por escasez de personal.

En espacios amplios sin visibilidad y baja temperatura -normalmente fuera del recinto de incendio- pueden emplearse cuerdas guía como elemento para asegurar el retorno a un punto de origen o para la realización de barridos de rastreo.

1.2.3. RIESGOS INMINENTES

Los riesgos inminentes que se deben considerar en un incendio industrial, principalmente, son dos:

- Colapsos estructurales.
- Tipo de industria y material que almacena, produce o manipula.
- **Colapsos estructurales** (Imagen 25)

El colapso de estructuras en naves industriales es un riesgo generalizado que puede provocar accidentes que afecten a víctimas y/o intervinientes. Existen múltiples formas de colapso y hay que tener especial cuidado en los colapsos múltiples o en cadena que habitualmente se dan cuando hay distintas naves compartiendo estructura. En ese caso, cuando el incendio se genere en una de ellas, el posterior colapso podrá afectar a todas las naves anexas.

1.2.4. PROPAGACIÓN

Es un tema muy relevante para los servicios de emergencias con pocos efectivos. En primer lugar se debe rescatar a las víctimas y salvaguardar los bienes materiales. Dado

que los incendios industriales, por su tamaño y fuerte poder calorífico, pueden propagarse a naves y lugares colindantes, el mando en la intervención deberá tenerlo muy en cuenta.

1.3. CAPACIDAD DE LOS RECURSOS DISPONIBLES

El mando de la intervención dispondrá de los recursos para tres funciones principales, por orden de importancia:

- Rescate.
- Propagación.
- Extinción.

1.3.1. PARA EL RESCATE, EVACUACIÓN O CONFINAMIENTO

Se dispondrá siempre de un mínimo número de miembros de una dotación para el rescate de posibles víctimas, evacuación o confinamiento. Dicho rescate podría contar con la ayuda de un vehículo de altura, siempre muy útil en incendios industriales. A la hora de distribuir los recursos, esta variable de la intervención debe considerarse la más importante.

1.3.2. PARA EL CONTROL DE LA PROPAGACIÓN

El control de la propagación es, tras el rescate de las víctimas, primordial para servicios con pocos efectivos y debe ser el paso anterior a la extinción. Como en el caso anterior, un gran apoyo en puntos de difícil acceso para los intervinientes son los vehículos de altura, que permiten controlar la propagación con mayor seguridad.

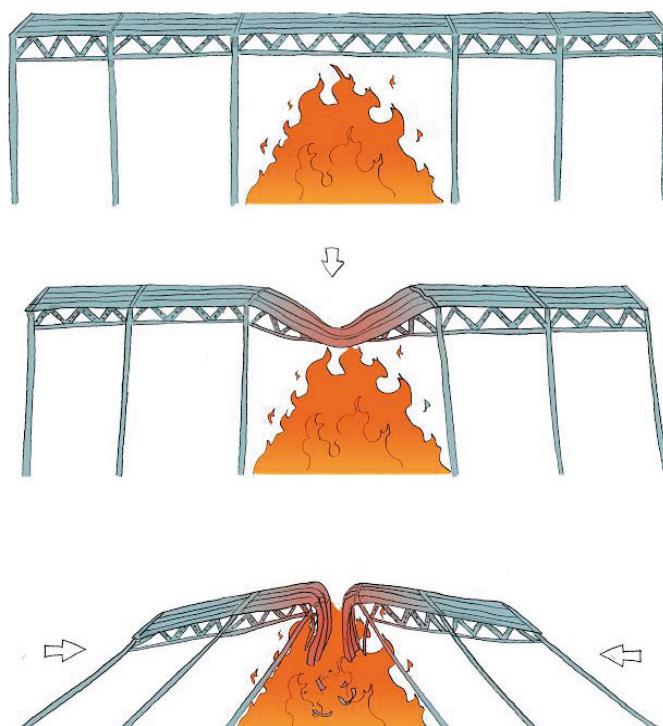


Imagen 25. Colapso estructura



1.3.3. PARA LA EXTINCIÓN

- Es la parte donde los recursos se tienen que cuantificar con mayor precisión en los siguientes parámetros:
- Cantidad de agua / agente extintor necesario.
- Caudal mínimo.
- Número de intervinientes.
- Puntos de ataque.
- Relevos.
- Etc.

1.4. VALORACIÓN DINÁMICA DURANTE LA INTERVENCIÓN

1.4.1. INCENDIO

La **valoración dinámica** en un incendio industrial es primordial para decidir la forma de actuar.

- Si la tipología de la nave es A, B o C se efectuará de forma similar a un incendio de interior, siempre y cuando no exista peligro de colapso. Son factores relevantes el tipo de combustible existente en las naves y el posible cambio de condiciones. La extinción de estos incendios se debe hacer por enfriamiento (en casos puntuales, por sofocación).

- La tipología de naves industriales E y F, al estar sin cubierta la mayor parte, son incendios alimentados por el exterior. El corte de propagación se realiza quitando material combustible.

1.4.2. RECURSOS

Se deben determinar los recursos disponibles en una intervención antes del siniestro. En un siniestro industrial se suele disponer de **recursos propios de la empresa**, tanto físicos como humanos. En el Plan de Emergencia de las empresas deben estar contemplados estos recursos que se pondrán a disposición del mando de los servicios de emergencias. Por tanto, el mando de la emergencia puede y debe conocerlos. Estos recursos son especialmente valiosos ya que conocen perfectamente las instalaciones, los recursos, los tipos de combustible, las vías de escape, etc.

1.4.3. ÉXITO DE LAS ACCIONES EMPRENDIDAS

Todo plan de actuación en una intervención tiene un **objetivo**. Si existe un cambio de las condiciones de la intervención -colapso de la estructura, cambio de condiciones en la ventilación, falta de recursos por roturas, etc.-, el plan debe ser revaluado inmediatamente por el mando de la intervención. Muchos incendios industriales son de larga duración y las condiciones cambian en cuestión de minutos en un alto porcentaje. El mando de la intervención debe tener el conocimiento de toda la información posible para que las acciones emprendidas lleguen a buen fin.





CAPÍTULO

4

Tácticas de intervención



1. ELECCIÓN DEL PLANTEAMIENTO TÁCTICO

1.1. ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES

El establecimiento de prioridades en un incendio industrial es similar al resto de incendios:

- Rescate de víctimas.
- Control de la propagación y extinción de los focos.
- Posible reparación de daños (estructurales o de servicios).
- Vuelta a la normalidad.

La prioridad del mando en un incendio industrial siempre será, en primer lugar, salvaguardar las vidas humanas y, en segundo lugar, los bienes materiales. Además, el mando determinará si es prioritario evitar la propagación del incendio a otros lugares o la extinción.

1.1.1. PLANTEAMIENTOS DEFENSIVOS



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle estas técnicas.

El empleo de una VPP Defensiva es una decisión táctica relevante que debe ser tomada por el mando de la intervención. Normalmente implica el confinamiento del área de incendio para evacuar los gases de incendio del resto de la estructura. El flujo creado por el ventilador no atraviesa el foco de incendio.

Ventajas de la VPP Defensiva:

- Mejora la supervivencia de víctimas y ocupantes atrapados fuera de la zona directamente afectada por el incendio al introducir una atmósfera respirable.
- Permite realizar operaciones de búsqueda con plena visibilidad.
- Permite limpiar y asegurar los pasillos y cajas de escaleras que constituyen la ruta de escape del edificio para los ocupantes.

1.1.2. PLANTEAMIENTOS OFENSIVOS



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle estas técnicas.

La VPP Ofensiva también se basa en el confinamiento del incendio para evacuar los gases de incendio del resto de la estructura, pero el flujo creado por el ventilador sí atraviesa el foco de incendio. La VPP Ofensiva genera una ventana temporal en la que las condiciones son más favorables para el avance, antes de que la respuesta del incendio al aire fresco proporcionado genere un crecimiento del mismo. Durante esa ventana de tiempo, el equipo en progresión rápida por el interior debe ser capaz de aplicar técnicas basadas en la aplicación de agua para reducir el potencial del incendio.

Ventajas de la VPP Ofensiva:

- **Mejora la visibilidad.** La visibilidad en un incendio es sinónimo de rapidez; es lo que permite al equipo ser capaz de encontrar con celeridad el camino de acceso y escape del incendio y efectuar las tareas de búsqueda y rastreo.
- **Mejora la supervivencia de víctimas.** El aire fresco introducido en el interior del recinto de incendio cae, por efecto de su mayor densidad, y proporciona un colchón de aire respirable y fresco para las víctimas.
- **Reducción de la temperatura.** Una sustitución rápida de la atmósfera interior del recinto por aire fresco exterior contribuye a la reducción de la temperatura.
- **Menor cantidad de combustible.** Los gases de incendio contienen una importante fracción de combustible que proviene de productos de combustión incompleta, así como de la pirólisis de los combustibles. Al expulsar a la atmósfera los gases de incendio, gran parte de estos combustibles son arrastrados al exterior del recinto, donde no contribuyen al crecimiento del incendio ni a que se produzcan fenómenos de rápido desarrollo (*flashover*).

Para que la VPP Ofensiva sea eficaz debe ser muy rápida. La rapidez evitará la mezcla de los gases de incendio con el aire fresco y contribuirá tanto a mejorar las condiciones con mayor rapidez, como a disminuir el tiempo necesario para llegar al foco del incendio.

1.2. CONTROL EXTERIOR DE PROPAGACIÓN



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle esta técnica.

El control exterior de propagación es una prioridad que debe valorar el mando en la planificación de la intervención. La mayoría de las veces se hará desde una zona segura y/o con ayuda de un vehículo de altura. En muchos casos, son zonas de difícil acceso y este tipo de vehículos son de gran ayuda. Se usará poco caudal de agua durante bastante tiempo y se humedecerá toda la zona que pueda afectar el incendio. Se emplearán las lanzas en cortina con el alcance que sea necesario.

1.3. ATAQUE DIRECTO EXTERIOR



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle esta técnica.

Este tipo de ataque mejora las condiciones del interior del incendio para la supervivencia. Por tanto, se utilizará:

- En los primeros momentos de la intervención.
- En incendios de difícil acceso al interior.
- En incendios de extrema peligrosidad por peligro de colapso, inminente deflagración o explosión.

Se dirigirá un chorro sólido hacia una de las paredes o el techo, con caudal medio y chorro directo en punta de lanza.

1.4. ATAQUE DIRECTO INTERIOR



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle esta técnica.

En este tipo de ataque se enfriá la superficie del foco y se interrumpe la pirólisis, lo que producirá vapor de agua con el consiguiente peligro de quemaduras. El punta de lanza debe mantener el cono abierto; ya que, si este cono se cierra y se convierte en chorro directo, la cantidad de vapor de agua será mucho mayor, lo que multiplica el peligro de quemaduras.

1.5. ATAQUE INDIRECTO



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle esta técnica.

El ataque indirecto es una técnica cuyo objetivo es la extinción mediante la inundación del recinto con vapor de agua desde un punto exterior. Se denomina ataque indirecto ya que el chorro de la aplicación no llega a alcanzar de forma directa el foco del incendio. La extinción se logra gracias a los efectos de enfriamiento (principalmente a la absorción de calor que tiene lugar en la evaporación del agua) y de dilución de los gases del incendio que, ante el gran volumen de vapor de agua generado, se desplaza fuera del rango de inflamabilidad.

Ventajas:

- Permite un ataque al recinto del incendio desde una posición segura (interior o exterior), sin que los intervenientes se vean expuestos a las condiciones del recinto interior.

Inconvenientes:

- Pérdida completa de la visibilidad al inundarse el recinto con vapor de agua.
- En caso de víctimas en el interior, posibles quemaduras por exceso de vapor de agua.
- Desplazamiento de los gases de incendio a otras estancias, empujados por el vapor de agua.

Desde un punto exterior y a través de una apertura (puerta o ventana), el bombero en punta de lanza realizará una aplicación de agua relativamente prolongada hasta conseguir llenar el recinto con vapor de agua. Como en cualquier técnica de aplicación de agua, debe realizarse en función de las condiciones del incendio y la geometría del recinto.

Para inundar el recinto de vapor de agua se necesita profundidad en el chorro, que se obtiene con:

- Patrones de cono bastante cerrados.
- Intervalos de aplicación de media a larga duración.
- caudal medio-alto.

En esta técnica el impacto de las gotas de agua contra las paredes del entorno tiene un efecto menos negativo que en otras. Si bien la mayor parte de la absorción de calor se realizará en la pared y no en el colchón de gases de

incendio, el vapor de agua permanecerá en el recinto. En cualquier caso es preferible que la evaporación de agua se produzca en el colchón de gases, ajustando el caudal, penetración y tamaño de gota a dicho objetivo.

Esta técnica requiere una aplicación de media-larga duración, por lo que el chorro aplicado debe describir un movimiento que siga dos patrones básicos:

- Patrón en T: preferible durante las primeras pulsaciones o cuando el recinto está sometido a un fuerte gradiente térmico. El punta de lanza describe una T en tres tiempos: dos en la zona horizontal superior y un tercero en la vertical central, empezando por la parte superior. Así se aplica más agua en el colchón de gases de incendio.
- Patrón en O: se emplean en aplicaciones sucesivas o en recintos amplios. Consisten en mover circularmente el chorro en una circunferencia completa en el tiempo establecido para una pulsación, de modo que el vapor de agua quede mejor distribuido por todo el recinto.

Tras cada aplicación debe realizarse un tiempo de reposo que permita al vapor de agua redistribuirse por todo el recinto y alcanzarse un equilibrio térmico. Este tiempo permitirá evaluar la efectividad de la aplicación de agua realizada y modificar los parámetros necesarios de cara a la siguiente.

1.6. INUNDACIÓN EN ESPUMA

Es complicado ejecutar este tipo de tácticas en incendios industriales, ya que debido a su extensión y volumen se trata de dimensiones prácticamente inalcanzables para los recursos disponibles. Como medida de prevención las empresas suelen contar con sistemas de inundación automática. Como se ha comentado anteriormente, cuando se opte por la ejecución de este tipo de técnicas, se utilizará espuma de alta expansión.

1.7. CUBRICIÓN CON ESPUMA

Cuando la carga de fuego disminuye y la extinción total se complica debido a que el agente extintor no alcanza el foco mismo del incendio (por problemas de penetración), la cubrición con espuma es una táctica muy utilizada y que garantiza buenos resultados. En función de la cantidad de extensión que se deba cubrir, la cantidad de agua y el espumógeno disponible, se suele utilizar espuma de baja o media expansión.

1.8. ATAQUE EN PRESIÓN POSITIVA CONTRA LA PROPAGACIÓN

Es una técnica recomendable en la tipología de nave A y B y, en menor medida, en el tipo C.



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle esta técnica.

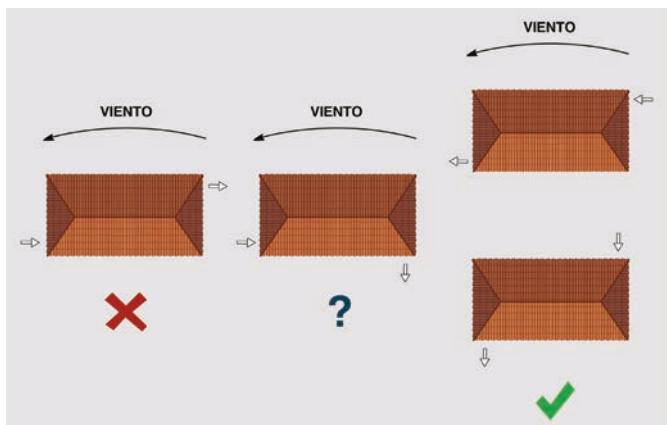


Imagen 26. Ataque en presión positiva contra la propagación

Tiene por objeto evitar la propagación del incendio a naves o edificios colindantes y, cuando hay escasez de efectivos, suele ser una gran solución. En naves industriales la contraindicación de esta técnica es que el caudal de aire de un ventilador debe ser muy alto. Además el mal sellado de las naves industriales puede hacer que no sea efectivo este tipo de ataque. Por último, y como ya se ha comentado

anteriormente, no debe emplearse nunca en contra de la dirección de la ventilación natural.

Existen recursos de autoprotección de naves que podrían valer como ataque en presión positiva para la propagación, como por ejemplo el hueco de escaleras de otra nave colindante a la incendiada y que disponga de su propio sistema de presurización.

1.9. ATAQUE EN PRESIÓN POSITIVA PARA LA PROGRESIÓN

Este ataque se utilizará para limpiar de humo pasillos, escaleras y otros caminos para llegar al incendio. Siempre habrá una salida de gases distinta a la entrada de aire fresco y el incendio estará confinado y aislado de esta zona.



Parte 3 "Incendios de interior" para consultar en detalle esta técnica.

Ver

Las contraindicaciones a esta táctica de progresión son fáciles de reconocer: un posible *backdraft* si se desplazan los gases a otras zonas desconocidas. Por esto, es necesario vigilar la entrada y salida de gases siempre que ésta siga un patrón unidireccional.





CAPÍTULO

5

Caso práctico



1. INCENDIO DE UNA NAVE INDUSTRIAL QUE COMPARTE ESTRUCTURA CON OTRAS CUATRO ANEXAS

a) Planteamiento:

Se trata de un incendio en una nave de logística cuya estructura es de acero y con unas grandes luces. Se encuentra rodeada por una nave de madera, una cerrajería con alto nivel de combustible y las propias oficinas de las 3 naves afectadas.

b) Intervención:

Se recibe un primer aviso que comunica la ausencia de víctimas y a la llegada al siniestro se comprueba que parte de la estructura ya está colapsada.

Para la extinción y propagación en las distintas naves se articulan diferentes planes de actuación:

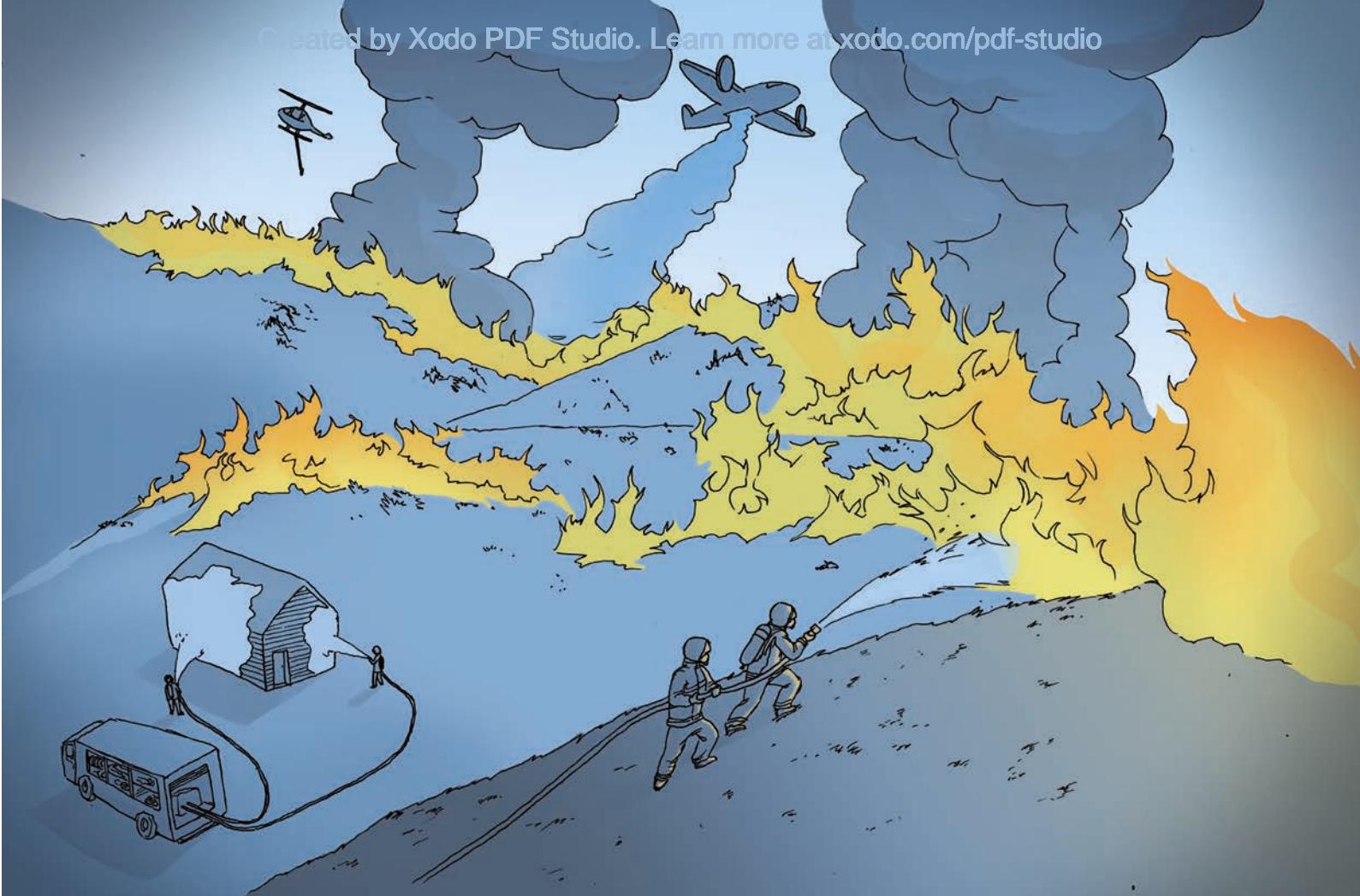
- **Nave afectada:** el mando en la intervención valora la estructura (tipología de nave A) y decide no entrar en ella. Se extingue desde el exterior y se prioriza la propagación.
- **Nave de madera:** se opta por el ataque en presión positiva contra la propagación. Se presuriza la nave, se emplea un ventilador a favor de viento dominante, ya que todavía no había sido afectada por el humo. Los recursos de la empresa retiran todo el producto almacenado colindante a la nave afectada. El vehículo de altura se sitúa para refrescar esta zona por prioridades y complejidad de la actuación.
- **Nave de cerrajería:** Se opta por el ataque exterior contra la propagación. Se humedecen y refrigeran las paredes colindantes a la nave incendiada y se retiran combustibles peligrosos. Debido a que cuenta con una pequeña dimensión resulta fácil de controlar por un binomio.
- **Oficinas colindantes:** Se emplea el ataque directo desde el exterior, haciendo uso de sus propias BIEs y por su condición de estar en altura se protege y a la vez se intenta apoyar desde aquí la extinción de nave inicialmente afectada.





CONVIENE RECORDAR

- Se define como **almacenamiento industrial** a cualquier recinto, cubierto o no, que de forma fija o temporal, se dedique exclusivamente a albergar productos de cualquier tipo.
- En relación con la **seguridad contra incendios** los establecimientos industriales se caracterizan por:
 - Su **configuración** y **ubicación** con relación a su entorno.
 - Su **nivel de riesgo intrínseco**.
- Los **establecimientos industriales** pueden tener diversas configuraciones y ubicaciones. A efectos de caracterización se consideran reducidas a:
 - Establecimientos industriales ubicados en **un edificio**.
 - Establecimientos industriales que desarrollan su actividad en **espacios abiertos** que no constituyen un edificio.
- Se denomina **protección contra incendios** al conjunto de medidas que se disponen en los edificios para protegerlos contra la acción del fuego. Con dichas medidas se persiguen tres fines:
 - **Salvar vidas humanas**.
 - **Minimizar las pérdidas** económicas producidas por el fuego.
 - **Reanudar las actividades** del edificio en el plazo de tiempo más corto posible.
- Los **incendios industriales** se clasifican en:
 - Incendios de **maquinaria**: eléctricos y aceites.
 - Incendios de almacenamientos de **sólidos**.
 - Incendios de almacenamientos de **líquidos**.
 - Incendios de materiales **pulverulentos**.
- Las **espumas** son uno de los agentes de extinción más importantes que se emplean sobre los líquidos inflamables. Son una combinación de concentrados espumógenos, agua y aire.
- Para la **protección contra la propagación del incendio** es importante:
 - **Presurización** de espacios.
 - **Refrigeración** de superficies.
- Se puede **atacar a un incendio** de dos formas distintas:
 - **Ataque directo**, que consiste en la aplicación de un chorro pleno a la base del fuego.
 - **Ataque indirecto**, que persigue la extinción por saturación en vapor de espacios confinados.
- Aplicación específica de las **técnicas de ventilación** en incendios industriales:
 - Ventilación **horizontal natural**.
 - Ventilación **vertical natural**.
 - Ventilación **por Presión Positiva** (VPP).
- Para realizar una **valoración genérica** del desarrollo del incendio (según incendios de interior) se debe atender a las características de la construcción, las características del entorno y el tipo y la cantidad de combustible.
- Las **acciones prioritarias** en un incendio son:
 - **Evacuación de ocupantes**.
 - **Búsqueda y rastreo**.
 - **Riesgos inminentes**.
 - **Propagación**.
- El **mando de la intervención** dispondrá de los recursos en tres funciones principales, por orden de importancia: **rescate, propagación, extinción**.



CEIS Guadalajara
Colaborador: Javier Ruiz Duarte

PARTE 6

Manual de incendios

INCENDIOS DE VEGETACIÓN

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



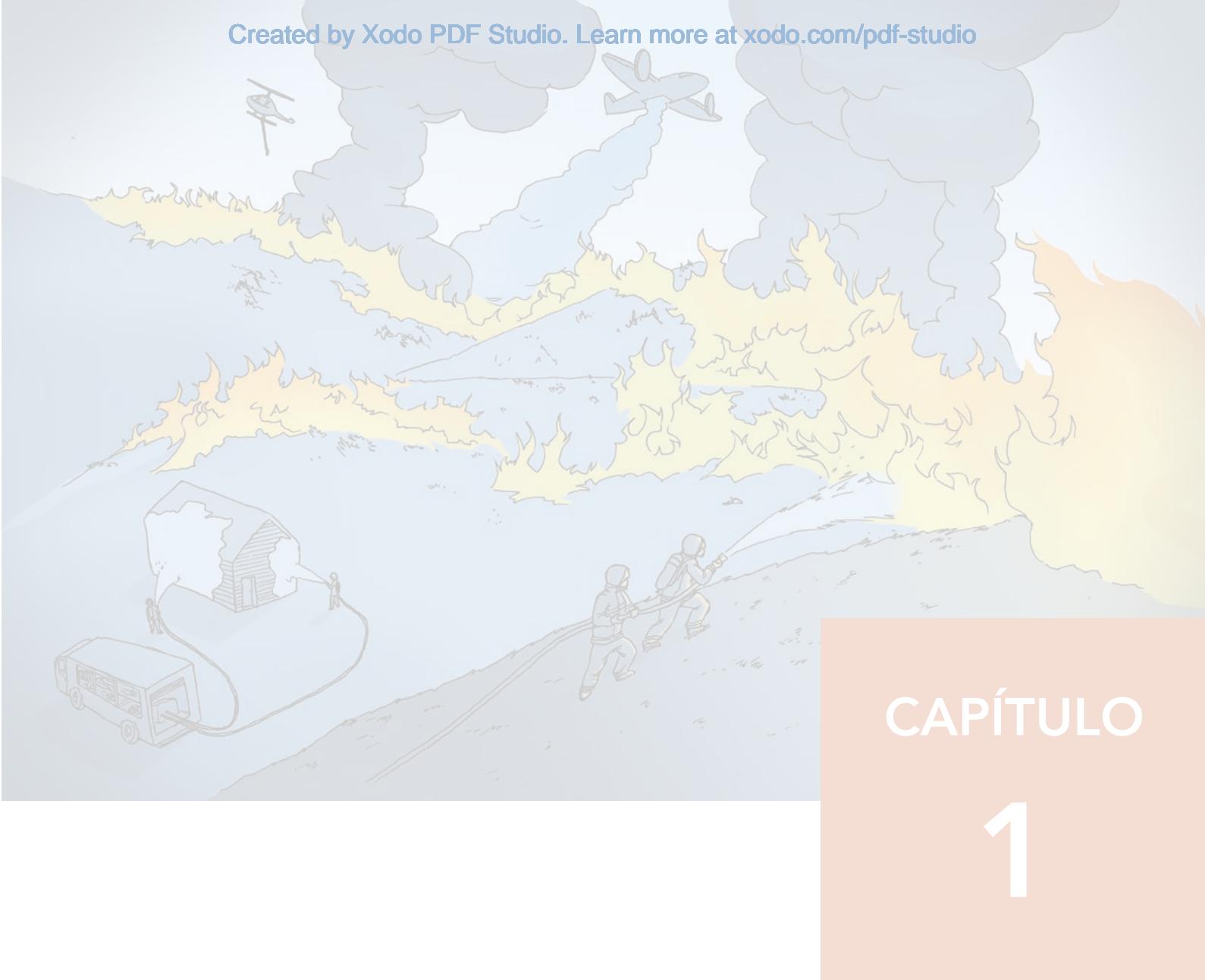
Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción





CAPÍTULO

1

Caracterización



1. INCENDIOS EXCLUSIVOS DE VEGETACIÓN

1.1. INCENDIOS: CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN

El ecosistema necesita el fuego para la regeneración de bosques y montes, ya que aporta estrategias rebrotadoras y de germinación tras su paso. Sin embargo, actualmente, ha perdido este carácter para convertirse en una terrible amenaza, no solo para la biodiversidad sino también para la seguridad de la población.

En España, país de la Unión Europea más afectado, el número de incendios provocados por el ser humano supera el 96%. En este sentido, según la organización Greenpeace, la superficie afectada por incendios forestales en 2013 superó las 18.000 ha; y en 2012, las 135.000 ha.

Entre los factores que influyen en este incremento se incluyen diversos problemas como:

- La falta de prevención.
- El abandono rural y otras dificultades estructurales.
- La mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor y el aumento de las temperaturas hace que los incendios sean más frecuentes y de mayor intensidad.

El incendio es el fuego que se extiende sin control y afecta a la vegetación que no estaba destinada a arder. Para que un fuego pueda considerarse incendio, es esencial la falta de control. Por eso, siempre que estén permitidos y controlados, no se consideran incendios; ejemplo de ello son las quemas de pastos o matorrales o el empleo del fuego para eliminación de residuos forestales.

En climas de tipo mediterráneo, es habitual que se produzca un periodo de sequía prolongado cuando las temperaturas medias son más altas. Durante este periodo, la vegetación se seca total o parcialmente, por lo que se convierte en altamente inflamable. Por este motivo, cualquier fuego puede provocar un gran incendio forestal y devastar cientos o miles de hectáreas.

1.1.1. INCENDIO FORESTAL

Se considera incendio forestal al fuego que se propaga sin control por un terreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, ya sea espontáneamente o bien procedan de siembra o plantación y cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas o recreativas.

También tienen la consideración de incendios forestales los que afecten a:

- Los terrenos yermos, roquedos* y arenales.
- Las construcciones e infraestructuras destinadas al servicio del monte en el que se ubican.
- Los terrenos agrícolas abandonados que cumplan las condiciones y plazos que determine la comunidad autónoma (en el caso de España), y siempre que hayan adquirido signos inequívocos de su estado forestal.

- Todo terreno que, sin reunir las características descritas anteriormente, se adscriba a la finalidad de ser repoblado o transformado al uso forestal, de conformidad con la normativa aplicable.
- Los enclaves forestales en terrenos agrícolas con la superficie mínima determinada por la comunidad autónoma (en el caso de España).

1.1.2. INCENDIO AGRÍCOLA

Es un incendio agrícola el fuego que se propaga sin control por un terreno dedicado al cultivo agrícola.

Se considera suelo agrícola aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o agricultura.

1.1.3. INCENDIO DE VEGETACIÓN EN SUELO URBANO

Son los incendios de cualquier tipo de combustible vegetal en suelo urbano sin influencia forestal. Por ejemplo, los incendios en parques y jardines, cunetas de caminos y carreteras en suelo urbano, entre otros.

1.2. INCENDIOS DE INTERFAZ URBANO FORESTAL

La interfaz urbano forestal es una zona que incluye tanto edificaciones dentro o próximas a espacios de vegetación forestal, lo que añade complejidad a cualquier intervención sobre ella al incorporar dos entornos muy diferentes.

Esta interacción representa un escenario diferenciado respecto al riesgo de incendio que se conoce como **incendios de cuarta generación**. En este tipo de incendios, el fuego puede alcanzar las edificaciones y, además, propagarse por la existencia de combustibles no forestales, como la propia vivienda o la vegetación de jardines.

Este escenario no se puede presentar de 3 modos:

- Estructuras (viviendas, almacenes, instalaciones...) insertadas en una masa forestal habitualmente de manera agrupada (estructuras anexas o próximas), escenario en el que domina la vegetación sobre las estructuras (urbanizaciones, pueblos, etc., cercanos o rodeados de masa forestal).
- Zonas de vegetación aisladas en medio de áreas urbanizadas (parques...).
- Estructuras aisladas en medio de áreas forestales o agrícolas.

En este escenario el riesgo de incendio se incrementa por la fuente de peligro y especial vulnerabilidad:

- Fuente de peligro: la presencia de espacios urbanizados en contacto con superficies forestales incrementa las posibilidades de ignición.
- Mayor vulnerabilidad de los espacios forestales: por la población que vive en el entorno de estos espacios.

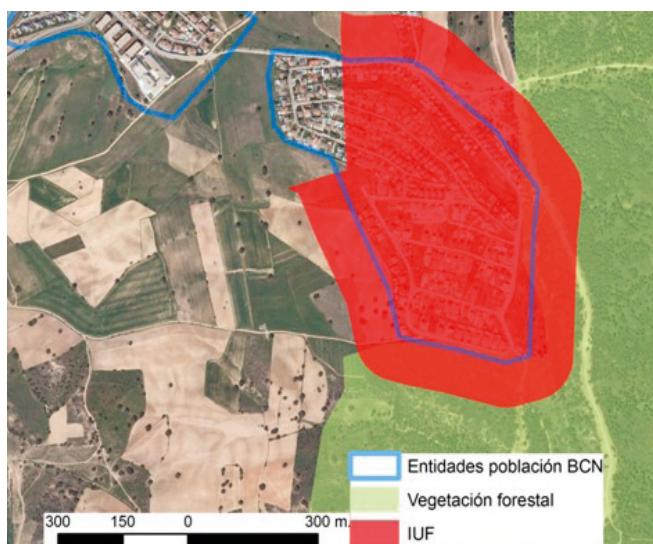


Imagen 2. Superficie incendio

1.3.3. ANTORCHEO

En realidad es un incendio que se propaga por superficie, ya que por la continuidad vertical corona copas aisladas; cuando esta desaparece se seguirá propagando a través de los combustibles de superficie.

1.3.4. COPAS PASIVO

Es el fuego que avanza por las copas de los árboles acoplado a un fuego de superficie y no independiente de él. Su propagación principal es por el combustible de superficie, por lo que si se elimina, se detendrá el fuego.

1.3.5. COPAS ACTIVO

Es el fuego que avanza por las copas de los árboles, independientemente de lo que ocurre en la superficie. Primero, se queman las copas, ya que las hojas son combustibles ligeros y el viento es más intenso que a nivel de suelo. Despues, se van quemando los combustibles de superficie por detrás. Necesita viento fuerte y continuidad de combustible, horizontal y vertical. Son incendios de muy alta intensidad y difícil control.



Imagen 3. Incendio de alta intensidad

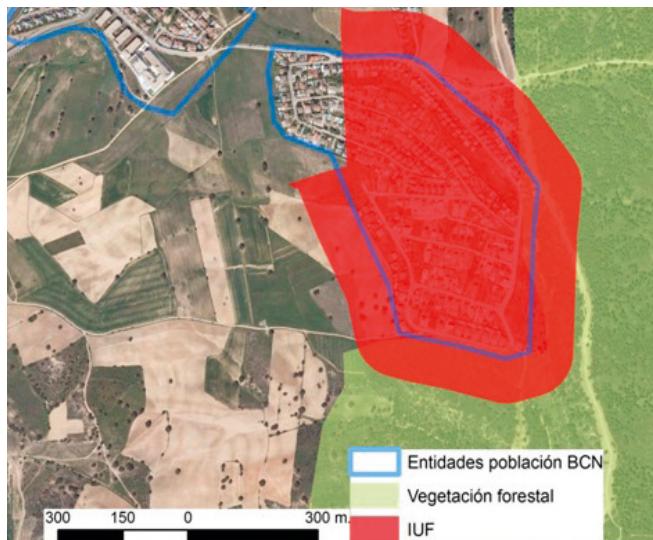


Imagen 1. Interfaz urbano forestal - Base Cartográfica Nacional, Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento, 2010, Proyecto "CorineLandCover 2006"

1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS

Una primera clasificación de los incendios puede ser **según la superficie afectada**:

- Conato: cuando afectan a superficies <1 ha.
- Incendio: cuando afectan a superficies ≥ 1 ha.
- Gran incendio forestal: incendio forestal que afecta a una superficie ≥ 500 ha.

Una segunda clasificación sería según el estrato vegetativo por el que se propaga. Así tenemos fuegos de suelo o subsuelo, superficie, antorcheo, copas pasivo y copas activo.

1.3.1. SUELO O SUBSUELLO

El incendio se propaga por la materia orgánica en descomposición y las raíces.

Casi siempre se queman despacio y en combustión incandescente al no disponer de suficiente oxígeno. Solo se detecta por el calor residual que hay en el suelo orgánico y para detenerlo es necesario que se realice una discontinuidad como una línea de defensa hasta suelo mineral.

Se suele dar en zonas de turbera* o gayuba*. En España son escasos y representan un porcentaje muy pequeño.

1.3.2. SUPERFICIE

El incendio se propaga por el combustible que se encuentra sobre el suelo hasta una superficie de 1,5 metros de altura. Incluye la hojarasca sin descomponer, hierbas, arbustos y los leños caídos, pero no inmersos en la hojarasca en descomposición (si estuvieran inmersos en la hojarasca se consideraría combustible de suelo). Son los incendios más frecuentes, ya que este tipo de vegetación, debido a su rápida pérdida de humedad, resulta muy propicio para el inicio y propagación de las llamas.



1.4. PARTES DE UN INCENDIO

Se pueden distinguir las siguientes partes de un incendio:

- Origen: ubicación donde se ha iniciado el incendio.
- Cabeza: muestra la dirección hacia donde está quemando el incendio. Es la parte más caliente y más activa del incendio.
- Flancos (izquierdo y derecho): son los lados del incendio, paralelos a la dirección principal de propagación del mismo. Pueden tener fuego activo, pero no tan caliente como la cabeza del incendio.
- Cola: es la parte opuesta a la cabeza del incendio y se quema más despacio. A menudo está cerca del origen del incendio.
- Perímetro: línea límite del incendio o borde del incendio. Puede no tener fuego activo en algunas partes.

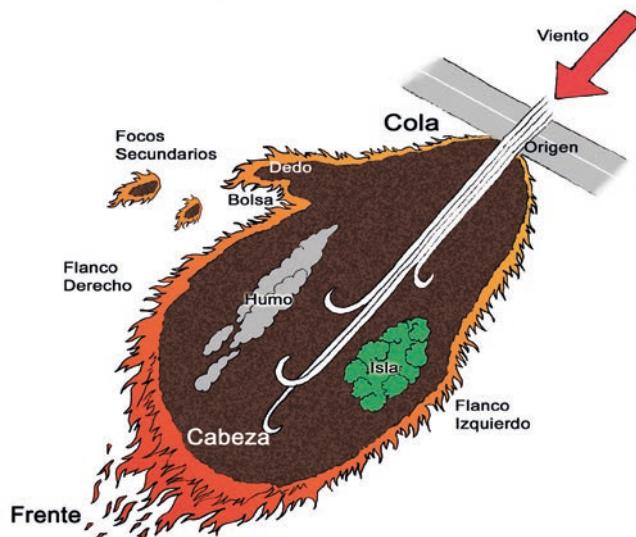


Imagen 4. Partes de un incendio

- Dedo: un área, generalmente una franja estrecha, que es una extensión del incendio principal. Podría ser peligroso si un dedo flanquea al personal que trabaja en el incendio.
- Bolsa: área que no se ha quemado entre el incendio principal y cualquiera de los dedos.
- Isla: área de combustible que no se ha quemado dentro del perímetro del incendio.

Focos secundarios: áreas ardientes fuera del perímetro principal. Están generados por el incendio principal a partir de material incandescente como pavesas y piñas. Si se desarrollan, pueden llegar a ser grandes focos independientes con sus propias partes y, normalmente, terminarían por juntarse con el foco principal.

1.5. MORFOLOGÍA DEL INCENDIO SEGÚN EL PATRÓN BÁSICO DE PROPAGACIÓN

El conocimiento de las diferentes características físicas de los incendios forestales es imprescindible para describir y

entender su comportamiento. Además, los parámetros físicos más relevantes proporcionan información que puede emplearse para tomar decisiones sobre los medios de extinción necesarios.

La predicción de las características físicas permite la evaluación de consecuencias y efectos de los incendios, lo que constituye una ayuda en el diseño de estrategias de lucha adecuadas y la planificación.

En general, los incendios forestales pueden adquirir formas circulares, elípticas o, lo que es más común, irregulares. Tales formas están determinadas principalmente por:

- Condiciones meteorológicas: dirección y velocidad del viento.
- Topográficas: pendiente, tipo de suelo.
- Ecológicas: variación según el tipo de combustible.

1.6. FORMAS DE PROPAGACIÓN DE UN INCENDIO FORESTAL

La siguiente figura muestra de forma orientativa las diversas formas en las que puede propagarse el frente de un incendio forestal.

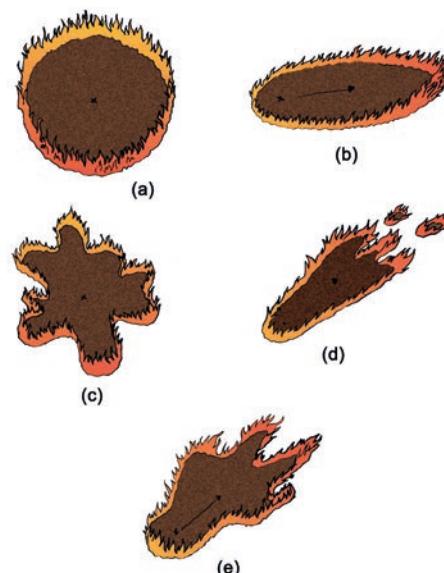


Imagen 5. Tipos de incendio

- **Incendio de progresión circular (a):** se produce en terreno plano, con combustible homogéneo y sin viento. El frente del incendio avanza en todas direcciones desde la zona central hacia el exterior.
- **Incendio de progresión elíptica (b):** se caracteriza por la presencia de viento con una dirección predominante, se quema combustible homogéneo y se propaga sobre terreno plano o pendiente regular (b).
- **Incendio de forma irregular (c, d y e)** se desarrolla bajo la influencia de viento (con variaciones en su intensidad y dirección), se quema combustible heterogéneo y/o se propaga en pendientes irregulares.
 - Viento variable y/o topografía irregular con distribución heterogénea del combustible.

- Incendio que, impulsado por el viento, sube por una ladera, mientras restos encendidos en movimiento y en dirección opuesta al frente mantienen el fuego en la base de la pendiente.
- Un fuerte viento transporta por delante del frente material combustible incandescente (focos secundarios).

Un incendio puede presentar un patrón único de desarrollo, aunque la realidad es siempre más compleja. Los incendios pueden manifestar patrones diferentes pero simultáneos en diferentes zonas del fuego o ir encadenando patrones distintos a lo largo de la evolución del mismo.

El comportamiento y la posible evolución de un incendio forestal dependerá directamente del patrón básico de propagación de este:

- **Combustible:** el tipo de combustible puede influir en la evolución del incendio y determinar la intensidad y la velocidad de propagación. Si está vivo o muerto (más seco); si es subterráneo, superficial o aéreo; cantidad, grosor, continuidad vertical y horizontal, densidad y compactación, contenido en resinas y en humedad.

Para detectar su influencia, se realizará un estudio del combustible que se está quemando y de la forma en que se propaga.

Hay que buscar la oportunidad de extinción en un cambio a un modelo de combustible favorable o a una modificación en la estructura.

- **Topográfico:** influirá la pendiente, la exposición al sol (franja horaria del día) y la rugosidad. Los incendios topográficos tienden a quemar ollas enteras y vaguadas con lo que cabe esperar que el comportamiento del incendio sea igual tanto de cabeza como de flancos, por lo que es difícil diferenciarlos. Esta será la forma de detectarlos. La oportunidad de extinción se ubicará allí donde el factor topográfico sea un aliado, es decir, cuando el incendio avance en descendiente, en contra de la topografía.

- **Conducido por viento:** la influencia del viento depende de su dirección, intensidad y velocidad. Aporta oxígeno y deseca el combustible, especialmente el muerto.

Este tipo de incendio se detecta observando el estado de la columna convectiva^{*} y por la presencia de fuerte viento en superficie.

Son incendios que tienden a buscar crestas divisorias y puntos altos. Por ello, se espera la oportunidad de extinción en una zona donde el viento no sea un factor determinante en el comportamiento del incendio y se convierta en un incendio topográfico o de combustible. En ese momento, será factible un ataque por flancos desde cola hacia cabeza.

- **Ambiente del incendio:** se trata de un gran incendio forestal creado por una burbuja de condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa ambiental y velocidad de viento) propias. En este caso, solo es factible un ataque indirecto en el que se programe una

ventana de actuación suficiente como para poder realizar las maniobras necesarias.

1.7. COMPETENCIAS Y LEGISLACIÓN APlicable EN MATERIA DE INCENDIOS (CASO DE ESPAÑA)

En el caso de España, la Constitución vigente de 1978 transfirió la competencia para regular la prevención y extinción de incendios forestales dentro de su territorio a las comunidades autónomas (CC.AA.). Por ello, la mayoría de ellas han desarrollado su propia normativa. El estado español tiene competencias a nivel estadístico, definición de la estrategia forestal en España y coordinación de medios. En caso de incendio, intervendrá si la comunidad autónoma lo solicita y también si el incendio afecta a varias comunidades.

Existe una legislación estatal, considerada básica, que las comunidades autónomas tienen que respetar a la hora de desarrollar su regulación autonómica. Concretamente, la Ley de Montes recoge en su articulado una serie de referencias a los incendios forestales como riesgo para la seguridad pública y para el patrimonio forestal. Las principales referencias son:

- Promoción de campañas de concienciación y sensibilización ciudadana.
- Participación activa de la población en la prevención de incendios forestales.
- Determinación de zonas de alto riesgo de incendio forestal y elaboración de planes de defensa de dichas zonas.
- Obligación de toda persona de comunicar la existencia de un incendio y, en su caso, de colaborar en las tareas de extinción del mismo.
- Necesidad de coordinación entre las diferentes administraciones públicas en materia de prevención y lucha contra los incendios.
- Fijación de un mando único como director técnico de la extinción.
- Obligación de restaurar los terrenos afectados por un incendio, prohibiendo el cambio de uso forestal de los mismos.
- Establecimiento de responsabilidades administrativas por incumplimiento de las obligaciones derivadas de la Ley de Montes.

Además establece que el Estado español colaborará con las comunidades autónomas en la normalización de medios materiales de extinción de incendios así como en el despliegue de medios estatales para apoyar y completar los destinados por las CC.AA. a la extinción de incendios forestales.

Finalmente, conviene señalar que en España, la normativa de Protección Civil también se aplica a la extinción de incendios. Como en el caso anterior, existe una legislación básica estatal cuyo contenido deben respetar las comunidades autónomas al desarrollar la normativa aplicable dentro de su territorio.



2. TRANSMISIÓN DEL CALOR EN LOS INCENDIOS FORESTALES

Existen diversos factores que intervienen en la transmisión del calor en los incendios forestales:

- La distribución espacial de los combustibles, según sean de suelo o aéreos.
- La pendiente del terreno.
- La compacidad o ahuecamiento de la capa combustible.
- El viento, etc.

Esa transmisión del calor se produce por los mecanismos de conducción, radiación y convección.

2.1. CONDUCCIÓN

La conducción transmite el calor entre sólidos mediante contacto, a una velocidad que varía con la conductividad térmica* de la materia que recibe el calor. La conductividad de la materia vegetal es baja y, además, salvo en la hojarasca y leña delgada, el contacto es imperfecto. Por ello, es un mecanismo poco eficiente para la transmisión del calor entre combustibles forestales.

El parámetro de la compacidad* de la capa combustible está relacionado con la conducción. A mayor compacidad, mayor eficiencia en la conducción (por ejemplo en la pincha de pino silvestre (*Pinussylvestris*) o en la hojarasca de haya (*Fagussylvatica*) que forman tapices muy compactos). Sin embargo, esta compacidad que favorece la conducción es contrarrestada por la falta de aire interpuesto, lo que limita la combustibilidad de estas capas fuera de los períodos secos.

2.2. RADIACIÓN

La radiación consiste en la transmisión del calor como ondas electromagnéticas a través del aire. La continuidad horizontal y vertical de los combustibles influye decisivamente en la eficiencia de la radiación.

La relación superficie/volumen favorece el efecto de la radiación, al aumentar tanto la superficie que irradia calor como la que la recibe.

Es lo opuesto a la compacidad; podría denominarse ahuecamiento*, ya que este favorece la radiación. Esto es así porque el calor se transmite por el aire interpuesto en la capa de combustibles, siempre que los huecos no sean excesivamente grandes, lo que incrementaría la distancia que debe recorrer el calor. Por ejemplo, una capa de hojarasca de roble melojo (*Quercus pirenaica*) que tiene gran cantidad de aire en sus huecos; los matorrales bajos o altos; y combustibles de superficie y aéreos que son continuos.

2.3. CONVECCIÓN

Es el mecanismo que contribuye con más eficacia a la transmisión del calor. Consiste en el transporte del calor

por el aire que se expande al recibirlo desde el foco calorífico, lo que disminuye su densidad y provoca su ascensión. Cuando el aire contacta con los combustibles situados a mayor altura que el foco, cede el calor que transporta y desciende.

La convección convierte a los combustibles aéreos en disponibles y es responsable de que los incendios de superficie puedan convertirse en fuegos de copas.

El efecto combinado de la convección y la pendiente acelera la desecación* por el calentamiento de los combustibles situados por encima del foco calorífico. Esto favorece la propagación cuesta arriba. Sin embargo, cuesta abajo la propagación no funciona, ya que el calor se transmite solamente por radiación y el progreso del fuego es mucho más lento.

2.4. EMISIÓN DE PARTÍCULAS EN IGNICIÓN

En el desarrollo de incendios forestales es frecuente la proyección a distancia del frente del fuego de partículas vegetales incandescentes o inflamadas (pavesas). Esto puede originar incendios secundarios fuera del perímetro del incendio. Este fenómeno, definido como "salto de fuego", depende de varios factores, como son las características del fuego, la vegetación y las condiciones climatológicas. Sus consecuencias son importantes en las estrategias de la lucha contra incendios, ya que afecta a la propagación del fuego, reduce la eficacia de las estructuras preventivas, y puede poner en riesgo tanto a los equipos participantes en la extinción como a las zonas habitadas próximas.



Imagen 6. Saltos de fuego

Esta proyección de partículas se suele dar con más frecuencia en masas de pinos con fuego en las copas, hasta una distancia de medio kilómetro (o de pocos metros, según el caso), en las horas centrales del día y con temperaturas desde suaves a altas (20° a 35° aprox.), poca humedad (entre 20% y 50% aprox.) y viento entre moderado y vivo (16 km/h. a 39 km/h. aprox.). Las proyecciones más peligrosas son las piñas del pino carrasco y la corteza del eucalipto.

Las ráfagas de viento favorecen la emisión de partículas, su transporte a grandes distancias, así como la eclosión de focos secundarios.

Las zonas con relieve accidentado son propicias a la aparición de saltos largos que influyen sobre el comportamiento del fuego y la columna de convección.

3. FACTORES QUE DETERMINAN EL COMPORTAMIENTO DE UN INCENDIO FORESTAL

El comportamiento de un fuego de vegetación depende de lo que se conoce como gran triada:

- Las características del terreno: topografía.
- El ambiente del sector que está siendo afectado: climatología y tiempo atmosférico.
- Las propiedades del material vegetal que está ardien-do: el combustible vegetal.

3.1. TOPOGRAFÍA

Efectos directos sobre el incendio: pendiente, orientación y configuración del terreno.

- La topografía es la más constante de los tres compo-nentes y tiene gran influencia en los otros dos. Los factores topográficos que afectan de forma importante al comportamiento del fuego son la configuración, la exposición y la pendiente.
- La configuración o relieve condiciona el clima, espe-cialmente por la formación de microclimas, y tiene gran influencia en los regímenes de viento que van a incidir en la dirección y velocidad de propagación del fuego.
- La exposición, o posición de las laderas de las montañas respecto al ángulo de incidencia de los rayos solares, tiene un efecto importante sobre la temperatura y la humedad relativa. En general, las laderas de solana tienen una temperatura mayor y sus vegetales menor cantidad de agua y, por tanto, de combustible. Por el contrario, las laderas de umbría tienen menos tem-pe-ratura y sus vegetales mayor humedad.
- La pendiente es el factor topográfico más importante en el comportamiento del fuego. Ejerce influencia en las formas de transmisión de energía, de manera que en las zonas altas los fenómenos de convección y ra-diación son más eficientes. Por eso, a mayor pendien-te, mayor será la velocidad de propagación del fuego que asciende y más lento el progreso de las llamas en sentido descendente.

Los fondos de barrancos con mucha pendiente y lade-ras muy próximas son los que tienen condiciones ade-cuadas para una rápida propagación, ya que, cuanto más reducidos sean los espacios abiertos en el des-arrollo del incendio forestal, más rápido se calentará el aire que lo rodea. Esto provocará que el ascenso del aire se acelere y se generen vacíos que serán ocupa-dos por las llamas.

3.1.1. INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFÍA EN EL TIEMPO ATMOSFÉRICO

Con carácter general puede decirse que las elevaciones del terreno suponen un obstáculo para el movimiento de las masas de aire que al superarlas sufren variaciones en su temperatura y contenidos de humedad.

La topografía tiene una gran influencia en los vientos ge-nerales, ya que modifica velocidad, dirección y comporta-miento. Además, es la causa de formación de fenómenos locales que afectan notablemente a los incendios.

3.1.2. RELACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA EN LOS COMBUSTI-BLES

Los factores topográficos –altitud, exposición, pendiente y configura-ción del terreno– están directamente relacionados con la clase, cantidad y humedad de los combustibles.

- **Altitud:** la altitud es un factor determinante en el desa-rrollo de la vegetación, ya que a mayor altitud, menor cantidad de vegetación y, por tanto, menor cantidad de combustible.
- **Exposición:** se refiere a la orientación o posición de laderas y/o pendientes, por lo que también influye en el desarrollo de la vegetación y en el desarrollo del incendio por las variaciones de viento y radiación solar que reciben las laderas. Como carácter general puede decirse que las orientaciones de solana están más se-cas y tienen menos cantidad de combustibles que las de umbría.
- **Pendiente:** tiene una gran influencia al favorecer la continuidad horizontal y vertical de los combustibles. Los efectos de la pendiente y el viento son similares, pero se diferencian en la forma en que influye sobre la velocidad de propagación. Así, un fuego con fuer-tes corrientes de viento se propaga cien veces más rápidamente. Sin embargo, la existencia de pendientes hace que la propagación sea solo veinte veces mayor. Nor-malmente, la pendiente se calcula en grados o en por-ciento (una pendiente con un ángulo de 45° equivale a un 100% en porcentaje).

3.2. CLIMATOLOGÍA Y TIEMPO ATMOSFÉRICO

En los incendios forestales interesan tres factores:

- Tiempo previo: como factor de riesgo y determinación de la cubierta forestal.
- Tiempo actual: como causa desencadenante (rayo, combus-tión y otros).
- Tiempo que transcurre mientras existe el fuego (vien-to, lluvia, etc.).

3.2.1. VARIABLES METEOROLÓGICAS

Como ya hemos visto en algunos ejemplos, las variables meteorológicas que más influencia tienen sobre un incen-dio son la temperatura, la velocidad del viento, la humedad relativa y la estabilidad atmosférica.



En los ambientes estables y secos del verano, la energía del sol aumenta la temperatura y disminuye la humedad relativa del aire. Estas variables (temperatura y humedad relativa del aire) influyen en el estado de hidratación de los combustibles muertos.

3.2.2. TEMPERATURA

Es la medida del efecto de la radiación solar. Su efecto sobre la vegetación es decisivo, ya que regula la desecación y la temperatura interna de los tejidos vegetales que determinan los requerimientos de energía calórica externa necesaria para la ignición. Además, influye sobre la humedad de los combustibles muertos.

La temperatura es un factor estacional que alcanza valores máximos en época estival. También presenta variaciones diarias; el periodo más fresco y húmedo del día se registra de madrugada, alrededor de las 06:00 h, y la temperatura máxima, por la tarde entre las 15:00 y las 17:00 h.

Se trata de una variable con una clara influencia en el incendio. En sí misma es fácil de medir, pero la temperatura como tal no aporta nada. Lo que aporta valor es la posibilidad de medir su influencia en otros mecanismos de transferencia de calor, ya que fluctúa permanentemente en el tiempo y en el espacio.



Imagen 7. Suelo en fase de calentamiento.

En relación con la temperatura, se puede distinguir:

- **Temperatura del suelo:** depende de la composición del lecho orgánico y de la composición mineral del suelo. Generalmente, el aumento de temperatura de esta zona es mínimo.
- **Temperatura de la zona de combustible:** es la temperatura que se observa en el lecho de combustible, por delante de las llamas en el sentido de la progresión del incendio. Básicamente es una zona precalentada por la radiación, y su temperatura oscila entre mil y mil cuatrocientos grados aproximadamente para zonas arboladas, lo que se reduce en zonas de matorral hasta unos quinientos grados.
- **Temperatura de la zona de llamas:** los valores de esta zona del incendio (entre 700° y 1.000° aproximadamente) se caracterizan por sus rápidas y grandes fluctuaciones debidas a la turbulencia que genera el propio incendio.

- Temperatura de la columna de convección: por encima de la zona de combustión, las temperaturas varían ampliamente decreciendo de forma muy rápida en función de la altura (por ejemplo, en zonas de arbustos, la temperatura puede decrecer en tres cuartas partes si nos situamos a 3 m. de altura, y en casi otro tercio si duplicamos la altura).

3.2.3. VAPOR DE AGUA-HUMEDAD

El vapor de agua, es decir, el agua en estado gaseoso, es uno de los parámetros más importantes en el inicio y el comportamiento del fuego. El aire atmosférico no aparece en ningún caso totalmente desprovisto de vapor de agua o, lo que es lo mismo, nunca está del todo seco. Sin embargo, el grado de humedad puede ser muy variable con valores o muy bajos o muy elevados.

Existen varias formas de expresar la humedad:

• Humedad absoluta

Es la cantidad de vapor de agua (generalmente medida en gramos) por unidad de volumen de aire ambiente (medido en metros cúbicos).

Es una de las formas de valorar la cantidad de vapor contenido en el aire que, junto a la temperatura, sirve para estimar la capacidad del aire para admitir o no mayor cantidad de vapor.

• Humedad relativa

Indica la proporción de vapor de agua de una masa de aire sobre el máximo que podría contener con su temperatura. Si la humedad relativa es del 100%, se dice que el aire está saturado, ya que no puede contener más vapor de agua.

Valores de la humedad relativa por debajo del 30% desencadenan condiciones muy favorables para el inicio y la propagación del fuego.

Para saber, aproximadamente, la humedad relativa se puede aplicar la siguiente regla: cuando la temperatura desciende 10°, la humedad relativa del aire se duplica. Por el contrario, cuando asciende 10°, se reduce a la mitad.

La humedad del aire afecta al comportamiento del fuego de dos formas:

- En la disponibilidad de oxígeno para el proceso de la combustión. A mayor humedad relativa del aire, menor proporción de oxígeno en el ambiente, lo que se traduce en un retardo en el proceso.
- Humedad que contiene la vegetación. Cuanto mayor sea la humedad contenida en la vegetación, mayor será la energía calórica externa requerida para eliminar el agua contenida en ella. Esto provoca un incremento en el periodo de la fase de presecado de la combustión, con lo que tiene menos energía para llegar a la ignición.

Como la humedad relativa depende de la temperatura, tiene una marcada variación diurna con máximos en horas de oscuridad y mínimos después del mediodía.

3.2.4. VIENTOS

El viento es el movimiento del aire con relación a la superficie terrestre. Al ser un vector*, interesa conocer su dirección e intensidad. A grandes rasgos, podría decirse que el viento se mueve por:

- Las diferencias de temperatura de las grandes áreas de la superficie terrestre.
- Las diferencias de presión que crean estas diferencias de temperatura.
- La rotación de la tierra.
- La fuerza de Coriolis*.

En la atmósfera, existe una relación directa entre presión y viento. Por ello, los mapas de isobaras*, representación de los valores de la presión atmosférica, constituyen una importante fuente de información sobre la velocidad y dirección del viento. Así, para saber la dirección del viento, se debe tener en cuenta que sopla de forma paralela a las isobaras. Por su parte, la velocidad del viento entre dos puntos es directamente proporcional a la diferencia de presión entre ambos puntos, por ello cuanto más juntas estén las isobaras, más fuerte será el viento.

A nivel de superficie, el rozamiento con los elementos del terreno y la adaptación del fluido al relieve puede cambiar la velocidad y dirección del viento respecto a su componente general.

La velocidad del viento se mide en metros por segundo, en kilómetros por hora o en nudos, (medida anglosajona que representa las millas marinas por hora).

La equivalencia entre los nudos y el sistema métrico decimal es:

1 nudo=1,852 kilómetros/hora=0,515 metros/segundo

Por su parte, la dirección, que es de donde procede el viento, se expresa en grados. Los grados se cuentan en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico. Así al norte se le asigna el valor de 0° o 360°, al Este, 90°, al Sur, 180°, y al Oeste, 270°.

Efecto del viento en los incendios forestales

La fluctuación de la velocidad y la dirección del viento hacen que sus efectos sobre el incendio sean muy complejos. Con carácter general, cuanto mayor sea la velocidad del viento, mayor será la intensidad y la velocidad de propagación.

El flujo que conlleva la propagación de una llama tiene dos componentes, uno vertical y otro horizontal.

El vertical es el más significativo, no tanto porque la llama esté inclinada hacia el combustible (incremento de radiación) como por el contacto directo de la llama y el transporte de calor por convección hacia el combustible. El viento contribuye a la combustión y a la extensión del fuego por diversos mecanismos como por ejemplo:

- Provoca un aumento en la cantidad de oxígeno.
- Influye en la dirección de avance del incendio y permite prever hacia dónde se dirigirá con mayor velocidad.
- Seca los combustibles.
- Transporta chispas y trozos de material encendido delante del incendio, por lo que causa focos secundarios fuera de la línea.
- Aumenta la velocidad de propagación del incendio.

Vientos locales

Existen sistemas de viento secundarios generados por el contraste entre el calentamiento y el enfriamiento local del suelo, que pueden surgir tanto de forma independiente como en combinación con el factor orográfico*.

Se consideran vientos locales a los vientos de ladera, los vientos de valle, la brisa, las olas de montaña, Foehn y los torbellinos.

a) Vientos de ladera

Los vientos de ladera soplan paralelos a la inclinación de las vertientes. Se producen por las fuerzas inducidas por diferencias de temperatura entre el aire adyacente a la ladera y el aire exterior a la capa límite de la ladera.

Hay dos tipos de vientos de ladera los ascendentes y los descendentes.

- **Vientos de ladera descendentes:** durante la noche o la madrugada, el aire frío tiende a descender hacia los valles o llanuras, donde se forma una zona de baja presión. Por ejemplo, un incendio que se genere durante la madrugada en la parte alta de una colina podría dirigirse hacia las tierras bajas por diferencias de presión. Las características de este tipo de vientos son:

- Duración: desde las primeras horas de la noche (6:00 p.m.) hasta la madrugada (5:00 a.m.).
- Velocidad: 1-10 km/H (lentos).
- Flujo en láminas sin turbulencia.
- **Vientos de ladera ascendentes:** se dan durante el día. El aire en contacto con las laderas se calienta más temprano que el de un valle o llanura y se vuelve más liviano que el que está a igual altitud. Esto hace que sobre el fondo del valle se desencadene un movimiento del aire ladera arriba. Este fenómeno cesa cerca del ocaso del sol, siempre que no haya nubosidad, en cuyo caso se alterarían las condiciones. Las características de este tipo de vientos son:



- Duración: desde 8:00 a.m. hasta la puesta del sol (6:00 p.m.); o cuando la ladera queda en sombra.
- Velocidad: 6-13 km/h.
- Intensidad: En las cumbres el viento puede ser intenso, y cuesta arriba hay turbulencias.

Es importante tener en cuenta que si el viento de ladera (también ocurre en el de valle) cambia de descendente a ascendente, podría activar el fuego en pocos minutos aunque estuviera controlado. Es frecuente que esta transición del viento se acompañe de una ruptura de la inversión termal que disminuiría la estabilidad atmosférica y aumentaría las rachas de viento.

b) Vientos de valle

Los vientos de valle soplan paralelos al eje longitudinal del valle. Se producen por gradientes* de presión horizontal. Son el resultado de las diferencias de temperatura existentes en el eje del valle o bien de las diferencias de temperatura entre el aire del valle y el aire a la misma altura sobre el plano adyacente.



Vientos ascendentes de valle

Durante el día, el sol que calienta el aire provoca corrientes ascendentes hacia las partes altas del valle, y durante la noche soplan valle abajo, aunque este cambio de dirección es más lento cuando se moviliza grandes masas de aire.

c) Brisa

Una brisa marina se produce en las costas por una diferencia de temperatura entre la tierra y el agua del mar. Durante el día, la mayor temperatura de la tierra da lugar a corrientes de convección que se compensan rápidamente por el aire frío procedente del mar. Por la noche, al estar más caliente el agua del mar, el mecanismo se invierte; la velocidad del viento suele ser menor porque la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra no es tan acusada en ese momento. Es decir, por lo general las brisas nocturnas serán más suaves.

Las brisas de montaña, o viento catabático*, se forman especialmente en las laderas de solana. Son unos vientos de intensidad suave, por lo que su velocidad de propagación es de unos pocos kilómetros por hora.



Vientos descendentes de valle



Vientos ascendentes de ladera



Vientos descendentes de ladera

Imagen 8. Vientos ascendentes y descendentes

Este fenómeno se produce porque en las horas nocturnas el aire cercano al suelo se enfriá por radiación y se vuelve más denso que el aire que lo rodea. Esto hace que la gravedad le obligue a descender por la pendiente del terreno, en dirección al valle, refrescando su temperatura. En general suele ser débil pero, si la pendiente es fuerte y lisa (como sucede cuando el suelo está cubierto de hielo o nieve) o si el valle encauza el viento, puede alcanzar una fuerza considerable.

Durante el día, en especial si es caluroso, se produce la brisa de valle o viento anabático*. En este caso el movimiento es el contrario, y se establece un flujo ascendente por la pendiente de las montañas. Esta brisa suele ser débil, aunque en los días muy calurosos se refuerza y puede llegar a formar movimientos de inestabilidad convectivos con la formación de pequeños cúmulos.

d) Olas de montaña

Las olas de montaña son un frente de ondas que sigue desplazándose con la masa de aire en la zona de sotavento cuando:

- Una masa de aire se desplaza deprisa.
- Incidiendo perpendicularmente en el eje de la cadena montañosa.
- Sin perder estabilidad.

Si los senos de las ondas llegan a tocar el suelo, puede producirse por subsidencia* un viento caliente y muy seco con particularidades semejantes al foehn pero mucho más atenuadas.

Aunque no llegue a tocar el suelo, la primera onda anexa a la montaña puede producir una turbulencia de eje horizontal que sopla en su parte baja en sentido contrario al flujo alto. Si existen cadenas montañosas, puede incrementarse el efecto por un fenómeno de resonancia*.

Un indicador de la presencia de las ondas es que sobre las crestas se forman unas nubes muy llamativas llamadas cúmulos lenticulares.

e) Foehn

Las situaciones meteorológicas más desfavorables suelen venir asociadas a vientos terrenales o tipo foehn. Son vientos muy cálidos, secos y de gran intensidad que soplan desde las regiones altas hacia las bajas. Su velocidad y características desecantes sobre la vegetación pueden tener como consecuencia que los incendios forestales sean realmente incontrolables.

Se han llegado a medir vientos foehn de hasta 145 km/h, con un contenido de humedad relativa del 3%. Estos vientos suelen terminar bruscamente y no suelen durar más de tres días.



Imagen 9. Vientos foehn

Los vientos desecantes tipo foehn afectan, especialmente, a las zonas costeras. Esto es así porque su característica de soplar de arriba abajo, obliga a las masas de aire a remontar la cadena montañosa, donde dejan parte de su humedad. Esto agrava su peligrosidad, ya que por efecto del mar, incide sobre vegetación en ambientes de humedad relativa que se desecan muy rápidamente por el viento terral.

Sus efectos son apreciables por la población de las zonas en que se producen, por lo que en cada lugar se les conoce con una denominación propia, generalmente, asociada a la dirección del viento. Por ejemplo en España en la Comunidad Valenciana y Región de Murcia se denominan "Poniente", en Rumanía "Austrum" o en el sur de Chile "Puelche".

f) Torbellinos

Un vórtice* o remolino de fuego es una columna de aire ascendente que rota y se desplaza, levantando humo, escombros y fuego.

Estos eventos se desarrollan por el calentamiento de las capas atmosféricas inferiores y por la generación de giro en el flujo de aire local.

Existen dos tipos de vórtices, según la orientación de su eje de rotación respecto del suelo:

- **Vórtice horizontal:** cuando la rotación es paralela al suelo.
- **Vórtice vertical:** cuando es perpendicular al suelo.

El vórtice contribuye a la propagación del fuego por la transferencia de masa y de calor a medida que se desplaza por la superficie arrojando pavesas que se transportan en las corrientes de aire locales. Cuando los vientos en la superficie superan los 7 u 8 km por hora, los remolinos de fuego tienden a desplazarse con el viento.

Los remolinos de fuego pueden disiparse a los pocos minutos, pero en ocasiones pueden llegar a durar más de una hora.



Imagen 10. Torbellino de fuego

3.2.5. INVERSIÓN TÉRMICA

Al aumentar la altitud, generalmente, la temperatura disminuye. Sin embargo, en ocasiones la regla se rompe y el aire más frío se sitúa por debajo de una masa de aire caliente. Este fenómeno se conoce como inversión térmica y está asociado a sistemas montañosos.

Normalmente, la inversión térmica se produce por la tarde, cuando una masa de aire frío y, por tanto, más pesado, ocupa el fondo de los valles y desplaza el aire caliente. En estas condiciones, al ser más fría la temperatura y mayor la humedad relativa, los incendios en el valle suelen estar contenidos. Sin embargo, a media mañana se calienta más rápidamente el fondo del valle, lo que puede provocar la ruptura del cinturón térmico y un aporte súbito de aire desde las laderas. Esto determinará un cambio en el comportamiento del fuego, hasta entonces contenido, que adquirirá mayor velocidad de propagación y la llama mayor longitud.

Según el mecanismo de formación, se distinguen cuatro tipos de inversiones térmicas:

- Inversión nocturna o de radiación.
- Inversión frontal.
- Inversión marina.
- Inversión por subsidencia*.

a) Inversión nocturna o de radiación

Como su propio nombre indica se forma durante la noche, a medida que el aire cercano al suelo se enfriá más rápido que el de las capas más altas.

Durante las primeras horas de la noche, la inversión nocturna sobre la superficie es débil y poco profunda (generalmente no alcanza mucho más de un centenar de metros de profundidad). A medida que avanza la noche, la temperatura va disminuyendo por enfriamiento radiactivo y el aire frío va

drenando hacia niveles inferiores, intensificando la inversión que alcanza la máxima profundidad al amanecer. En este momento, es cuando las temperaturas en la superficie son más bajas.

b) Inversión frontal

La inversión frontal se forma cuando una capa de aire relativamente frío cerca del suelo pasa por debajo de una capa de aire relativamente cálido y menos denso, desplazándolo hacia arriba. Este tipo de inversión ocurre con el paso de un frente frío.

También puede formarse una inversión frontal cuando una capa de aire relativamente cálido asciende por encima de una capa de aire más frío y más denso cerca del suelo. Esto ocurre con el paso de un frente cálido.

c) Inversión marina

La inversión marina es frecuente junto a la costa de los grandes lagos y los litorales de los continentes.

Cuando este tipo de inversión se forma en la costa, una masa de aire marino fresca, húmeda y estable pasa por debajo de una capa de aire caliente, seco e inestable en las planicies bajas junto al litoral, a menudo impulsada por la brisa marina. La inversión marina en estas zonas puede persistir a lo largo del día, pero es más intensa y evidente por la noche.

Cuando el flujo marino hacia tierra adquiere suficiente intensidad, la inversión marina puede alcanzar una profundidad suficiente como para permitir que la niebla y los estratos bajos se extiendan a buena distancia tierra adentro desde la costa.

d) Inversión por subsidencia

Una inversión por subsidencia la temperatura aumenta con la altura porque las capas de aire a nivel medio, vinculado a un anticiclón, se hunden progresivamente y se calientan



Imagen 11. Tipos de inversiones

* Ver glosario

por compresión al caer desde lo alto. El resultado es una capa de aire caliente, seco y muy estable. Se puede prolongar durante días, y a medida que pasa el tiempo y el aire se vuelve cada vez más cálido y seco.

Se da con más frecuencia en las cimas de las cadenas montañosas y al final del verano y del otoño, y es más persistente en las zonas con presión atmosférica más alta que en las zonas vecinas. Es un fenómeno que favorece los incendios porque provoca sequía y altas temperaturas.

3.2.6. TORMENTAS

a) Tormenta ígnea

También llamada tormenta de fuego. Suele ser un fenómeno natural que se produce en grandes incendios forestales que llegan a alcanzar una intensidad tal que crean su propio sistema de viento. El movimiento en masa del aire que resulta del fuego produce una ignición de gran intensidad en un área muy amplia.

Se produce porque el aire sobre el área incendiada se hace extremadamente caliente y produce una corriente ascendente con fuertes ráfagas de viento alrededor y hacia el fuego (efecto chimenea). Al mismo tiempo, el aire frío a nivel de suelo ocupa el espacio dejado por el aire ascendente, que agita las llamas y aporta un flujo constante de oxígeno, incrementando la combustión y la producción de calor. Este movimiento de aire genera una gran turbulencia que determina que el aire de superficie deambule sin un rumbo fijo y sea capaz de producir pequeños tornados y remolinos que extiendan el fuego fuera de su zona central muy rápidamente.

El intenso calor generado por una tormenta ígnea se manifiesta irradiado (radiación infrarroja), por lo que es capaz de incender combustible más allá del propio fuego incrementando el área y la intensidad de la tormenta. Además, las corrientes de aire succionan hacia el interior del fuego, por lo que si alguien quedara atrapado cerca o debajo del fuego, fallecería por falta de oxígeno.



Imagen 12. Tormenta ígnea

Una tormenta ígnea muy grande puede, incluso, crear su propio sistema ambiental, inyectando aire hacia dentro y creando climas parecidos a tormentas eléctricas que tienden a favorecer la extensión de la llamas.

b) Pyrocumulus o nubes de fuego

Se trata de una nube que acompaña a incendios o a actividad volcánica y que se produce por un gran calentamiento del aire desde el propio incendio, alcanzando estabilidad cuando se encuentra con capas de aire más frías y húmedas.



Imagen 13. Nubes de fuego

c) Los reventones o corrientes descendentes

Este es un fenómeno que tiene lugar dentro de la columna de convección, cuando esta crece y el aire que mueve comienza a enfriarse. La masa de aire desciende hacia tierra y se extiende en forma de abanico cuando llega a ella desde la misma base de la columna.

Existen varios indicadores que permitirán detectar el desarrollo o formación de un reventón:

- Si empieza a llover, se produce evaporación y se desarrolla una corriente descendente.
- Un signo inicial de que podrían desarrollarse los fuertes vientos de un reventón es el desarrollo de una intensa columna de convección*.
- Cuando el flujo de entrada se transforma en reventón los vientos se calman. Esto podría indicar que el viento de salida está a punto de golpear el suelo.

Podremos valorar el nivel de riesgo de un incendio atendiendo a la temperatura ambiental, humedad y viento.

Tabla 1. Nivel de riesgo de un incendio

| Riesgo Potencial | Coincidencias | Condiciones |
|------------------------|---|---|
| Grave | 2 coincidencias | Temperatura ambiental alta (+ de 30°) |
| Extremo | 3 coincidencias | Humedad relativa escasa (< 35%) |
| Extremo a nivel máximo | 3 coincidencias + incendio en pendiente | Velocidad del viento: vivo, fuerte, muy fuerte o masivo (a partir de 30 km/h) |

* Ver glosario



4. COMBUSTIBLES FORESTALES

En verano, el clima se caracteriza por prolongadas sequías. Esta es la razón por la cual, con frecuencia, la composición de los bosques se ha estabilizado a base de especies que necesitan el fuego durante su ciclo reproductivo.

Una de las masas arboladas más extensas son los pinares. En España, los más extendidos son el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el pino piñonero (*P. pinea*), el pinaster (*P. pinaster*) y el laricio (*P. nigra*). Todas estas especies se caracterizan por mecanismos fisiológicos que conectan su reproducción natural con el fuego (por ejemplo, la apertura de las piñas por el calor intenso) y también por su elevado contenido en resina y aceites esenciales, extremadamente inflamables. Todo ello incrementa el peligro de incendios.

Además el desarrollo socioeconómico y el éxodo rural ha producido una disminución generalizada del pastoreo y de la extracción de leña y broza, por lo que ha aumentado la combustibilidad del monte.

4.1. TIPOS DE COMBUSTIBLES

Los combustibles se clasifican en función de la velocidad de propagación y resistencia al control en bajo, medio, alto y extremo. Las bases para clasificarlos en uno u otro nivel, son las partes de incendios y las estimaciones de los expertos. En esta clasificación influyen tanto las características como la disponibilidad del combustible.

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE

- **Tamaño y forma:** cuanto menor sea el tamaño y la forma, más rápido se pierde la humedad por el calor y se alcanza la temperatura de ignición:
 - Fino: de 0-5 mm de diámetro, como pueden ser las hojarascas, el pasto, las acículas.
 - Regulares: de 5-25 mm de diámetro, como las ramillas, los tallos pequeños, etc.
 - Medianos: de 25-75 mm de diámetro, como ramas o algunos tipos de matorrales, etc.
 - Gruesos: de diámetros mayores a 75 mm, como ramas gruesas, fustes, troncos, etc.
- **Compactación:** se refiere al espacio disponible entre las partículas del combustible. Cuando mayor sea el espacio, más rápido circula el aire. Esto hace que se seque antes y que se incremente la velocidad de propagación del fuego.
- **Densidad:** a mayor densidad, mayor capacidad para absorber calor sin elevar la temperatura de ignición y, por tanto, mayor resistencia a ser quemada.
- **Sustancias químicas:** algunos tipos de madera contienen resinas, aceites, etc., que contribuyen a aumentar la propagación y velocidad del incendio.
- **Humedad:** el contenido de humedad es decisivo para la inflamabilidad, ya que, mientras hay agua en el combustible, la reacción se mantiene en fase endotérmica.

El contenido de humedad es diferente en combustibles vivos que en los muertos:

- En el caso de los combustibles vivos: en climas de zona templada, su contenido de humedad varía durante el periodo vegetativo, con un máximo en primavera y un mínimo en verano, lo que coincide con las variaciones de disponibilidad de agua en el ambiente.
 - En el caso de los combustibles muertos, la variación en el contenido de humedad está ligada a los cambios en la humedad ambiental y a la rapidez con la que el combustible se equilibra con el ambiente.
- **Tiempo de retardo:** es el tiempo que tarda un combustible muerto en equilibrar su contenido de humedad con la humedad relativa del ambiente. Se mide en horas y depende de la superficie de contacto con el aire y, por consiguiente de la forma y tamaño del combustible. Así se pueden distinguir combustibles:
- De una hora (menor de 6 mm de diámetro), como hierbas, pinchas y hojas.
 - De diez horas (de 6 mm a 2,5 cm), como ramas pequeñas.
 - De cien horas (de 2,5-7,5 cm), como ramas mayores, restos de podas, etc.
 - De mil horas (de 7,5-20 cm), como cepas y troncos de árboles.

4.3. DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL COMBUSTIBLE

Para caracterizar la combustibilidad de una zona, uno de los datos necesarios es la “cantidad de combustible” presente (fitomasa*). La combustibilidad se determina por el peso seco total de combustible por unidad de superficie. Habitualmente los pastos y arbustos presentan cantidades que oscilan entre 1-10 Tm/Ha y los matorrales entre 10-40 Tm/Ha.

La “cantidad de combustible” se puede dividir:

- **Cantidad total:** toda la fitomasa presente, que se quemaría en un fuego muy intenso, en condiciones de máxima sequía.
- **Cantidad disponible:** es la cantidad de combustible consumida realmente en un incendio. En ella influyen su contenido de humedad y su distribución espacial. El primer factor está relacionado con la inflamabilidad y el segundo con la transmisión de calor.
- **Cantidad restante:** la fracción de combustible que previsiblemente no arderá por diversas razones, como por ejemplo el contenido de humedad, la disposición espacial (que impide a las llamas alcanzarlos) o su gran tamaño.

Según la distribución espacial de los combustibles, se puede distinguir entre:

a) Continuidad horizontal

Es la distribución del combustible vegetal en el plano horizontal. El grado de continuidad de la masa vegetal puede ser muy variado, pero en general puede distinguirse entre: uniforme o continuo y no uniforme o discontinuo. Influuye en la dirección y la velocidad de un posible incendio.

b) Continuidad vertical

Es la distribución del combustible en el plano vertical. Influuye en la posibilidad de que un incendio de superficie pase a ser uno de copas.

4.4. MODELOS DE COMBUSTIBLES (ROTHERMEL): DESCRIPCIÓN Y COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

En los años setenta, Rothermel, Anderson, Albini, Brown, Andrews y otros desarrollaron en Estados Unidos un sistema evolucionado a partir de los anteriores modelos de combustibles (1914 y 1930) que llegó a Europa a mediados de los años ochenta.

Describían trece modelos clasificados en cuatro grupos. Según estos modelos de combustible, en 1984 Rothermel y Burgan publicaron un sistema de modelización de la evolución de un incendio conocido como "Behave". Actualmente, son el primer dato de entrada en los sistemas de predicción de fuegos forestales (por ej.: sistema Behave Plus).

Los grupos en los que se distribuyen los trece modelos son:

- Pastos: Modelos 1 al 3.
- Matorral: Modelos 4 al 7.
- Hojarasca bajo arbolado: Modelos 8 al 10.
- Ramaje y restos de operaciones silvícolas: Modelos 11 al 13.

Descripción de modelos de combustibles

a) Grupo de Pastos (modelos del 1 al 3)

Modelo 1. Propagación gobernada por combustibles herbáceos finos. La propagación es rápida. El matorral o arbolado ocupa menos de un tercio del área. Por ej.: praderas naturales, rastrojos, herbáceas anuales y perennes. Carga de combustible (materia seca): 1-2 t/ha.

Modelo 2. La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (secos o muertos). La propagación es rápida. El matorral o arbolado ocupa de un tercio a dos tercios del área. Las intensidades del fuego son mayores y pueden producirse pavesas. Carga de combustible (materia seca): 1-2 t/ha.

Modelo 3. La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (un tercio o más está seco). La altura media del pasto es 1 m, por ej.: cam-

po de cereales sin cosechar y praderas naturales altas. Carga de combustible (materia seca): 4-6 t/ha.

b) Grupo de matorral (modelos del 4 a 7)

Modelo 4. Matorrales de unos dos metros de altura, repoblados o regenerados jóvenes densos. Fuegos rápidos que se propagan por las copas del matorral que forma un estrato casi continuo. Consumen el follaje y el material leñoso fino vivo y muerto, lo que contribuye significativamente a la intensidad del incendio. Carga de combustible (materia seca): 25-35 t/ha.

Modelo 5. Matorral menor de un metro de altura pero que cubre el área casi totalmente. El incendio se propaga por los combustibles superficiales que son la hojarasca de los matorrales y herbáceas. Los fuegos no son tan intensos. El matorral es joven, con poco material muerto y su follaje contiene pocos volátiles. Carga de combustible (materia seca): 25-35 t/ha.

Modelo 6. Matorrales y los restos (secos) de cortas de frondosas. Propagación por las copas del matorral cuyo follaje es más inflamable que en el modelo 5. Requiere vientos superiores a los 13 km/h. El incendio descenderá al suelo a bajas velocidades de viento o en zonas desprovistas de matorral. El matorral es más viejo, pero no tan alto como en el modelo 4. Carga de combustible (materia seca): 10-15 t/ha.

Modelo 7. Matorrales mayores de dos metros, pinares con sotobosque de especies inflamables. Propagación con igual facilidad por el suelo forestal y por el matorral. El incendio puede ocurrir aunque las condiciones de humedad del combustible sean altas. Carga de combustible (materia seca): 10-15 t/ha.

c) Grupo hojarasca bajo arbolado (modelos del 8 al 10)

Modelo 8. Bosques cerrados de coníferas o frondosas con hojarasca compacta y poco matorral, por ej.: pinares de hoja corta, abetos, alerces. Fuegos superficiales (lentos) con poca altura de llama. Es peligroso solo en las peores condiciones atmosféricas. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha.

Modelo 9. Bosques con hojarasca menos compacta, pinares de hoja larga, incendios de otoño en formaciones de frondosas. Propagación a través de la hojarasca superficial, por lo que es más rápida que en el modelo anterior. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha.

Modelo 10. Bosques con plagas, enfermedades (hongos), maltratados por el viento, sobre maduros, con material leñoso caído de claras y cortas parciales. Los fuegos queman combustibles de superficie y del suelo con mayor intensidad que en los dos modelos anteriores. También hay más cantidad de ramas, 76 mm muertas caídas sobre el suelo, y los coronamientos (paso a fuego de copas en algún árbol) son más frecuentes. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha.



d) **Grupo ramaje y restos de operaciones selvícolas (modelos del 11 al 13)**

Modelo 11. Bosque claro o fuertemente aclarado. Restos de poda o claras con plantas herbáceas rebrotando. Hay pocos materiales caídos de más de 76 mm de diámetro. Carga de combustible (materia seca): 25-30 t/ha o ligera.

Modelo 12. Predominio de restos sobre el arbolado y el resto que cubre todo el suelo. Existen más materiales caídos de más de 76 mm de diámetro. El incendio se propaga hasta encontrar un cortafuegos o un cambio de combustibles. Puede generar pavesas. Carga de combustible (materia seca): 50-80 t/ha.

Modelo 13. Muchos materiales caídos de más de 76 mm de diámetro. Puede generar pavesas.

Carga de combustible (materia seca): 50-80 t/ha.

4.5. CLASIFICACIÓN DE ESPECIES SEGÚN SU INFLAMABILIDAD

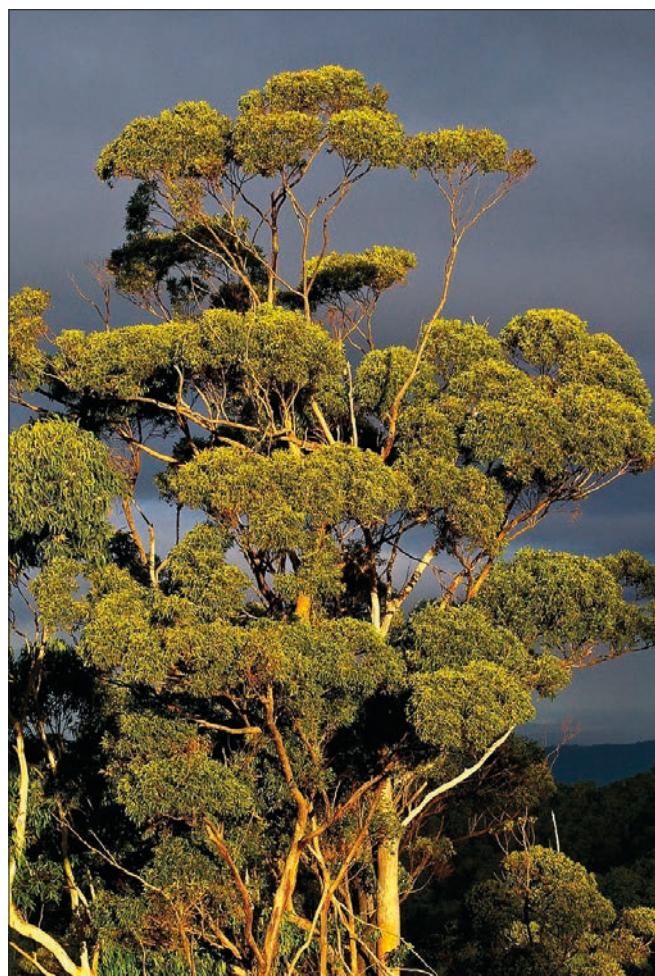


Imagen 14. Eucalipto

Luis María Elvira y Carmen Hernando (1989) realizaron el siguiente listado de especies según su inflamabilidad:

Especies muy inflamables durante casi todo el año:

- Brezo (*Callunavulgaris*).
- Eucalipto (*Eucalyptusspp.*).

- Retama (*Genista falcata*).
- Tojo (*Genista hirsuta*).
- Pino Carrasco (*Pinushalepensis*).
- Encina (*Quercusilex*).
- Romero (*Rosmarinusofficinalis*).
- Tomillo (*Thymusvulgaris*).

Especies muy inflamables durante el verano:

- Albaida (*Anthylliscytisoides*).
- Pasto o hierba yesquera (*Brachypodiumramosum*).
- Jara pringosa (*Cistusladaniferus*).
- Espliego (*Lavandula latifolia*).
- Cantueso (*Lavandulastoechas*).
- Pino Rodeno (*Pinuspinaster*).
- Pino Piñonero (*Pinuspinea*).
- Pino de Monterrey (*Pinus radiata*).
- Alcornoque (*Quercussuber*).
- Frambuesa (*Rubusidaeus*).
- Esparto (*Stipa tenacissima*).
- Tomillo o Ajedrea (*Thymuszigys*).
- Aliaga (*Ulexparviflorus*).

Especies medianamente inflamables:

- Madroño (*Arbutusunedo*).
- Enebro (*Juniperusoxycedrus*).
- Carrasca (*Quercuscoccifera*).
- Quejigo (*Quercusfaginea*).

5. FACTORES DEL PROPIO INCENDIO QUE DETERMINAN SU COMPORTAMIENTO

5.1. LONGITUD DE LLAMA

Es la máxima distancia que existe entre la base y la punta de la llama. Se mide sobre un ángulo cuando las llamas están inclinadas debido a los efectos del viento o la pendiente.

Esta variable puede usarse como referencia de la intensidad del fuego. Suele medirse en metros y puede variar bastante según las condiciones topográficas del terreno y la forma de la masa forestal que esté incendiada.

5.2. INTENSIDAD LINEAL DEL FUEGO

Es la de velocidad de liberación de propagación (potencia) por unidad de frente (unidades de longitud). Esta intensidad es determinante para poder controlar el avance del incendio y sus efectos

5.3. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

Describe la velocidad de avance del frente (km/h o m/s) hacia delante, hacia atrás o en los flancos. Interesa conocer la velocidad del avance según sea:

- Lineal: permitirá establecer las líneas de control del perímetro al informar del tiempo que tardará el fuego en llegar hasta la línea.
- Perimetral: velocidad a la que crece el perímetro. Permite determinar los recursos humanos y mecánicos que se necesitan tanto en labores de extinción como de remate y control que son las labores sobre el perímetro.
- Areal: permite determinar el área afectada y el daño previsible o potencial.

5.4. GIF Y EL AMBIENTE DEL FUEGO

Serviría para catalogar el comportamiento de los grandes incendios forestales (GIF) que generan sus propias condiciones atmosféricas de temperatura, humedad relativa ambiental y velocidad de viento.

Una vez vistos los factores que influyen en el comportamiento, se procede a conocer cómo se cuantifica ese comportamiento del incendio, se discrimina si se puede actuar con un ataque directo, indirecto o mixto, si se está dentro o fuera de capacidad de extinción, etc.

6. CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ALARMA POR EL HUMO

La columna de humo de un incendio ofrece información sobre su intensidad y su patrón de comportamiento. La intensidad está relacionada con el color del humo, mientras que el patrón de comportamiento se relaciona con la meteorología y las características intrínsecas del incendio en cada momento concreto.

Se puede clasificar el humo de diversas formas:

6.1. SEGÚN EL ORIGEN

- Humos legítimos: producidos por quemas autorizadas, fábricas, hornos, etc.
- Humos ilegítimos: producidos por incendios, quemas ilegales, etc.
- Humos falsos: son nubes de polvo, nubes de polen, etc.

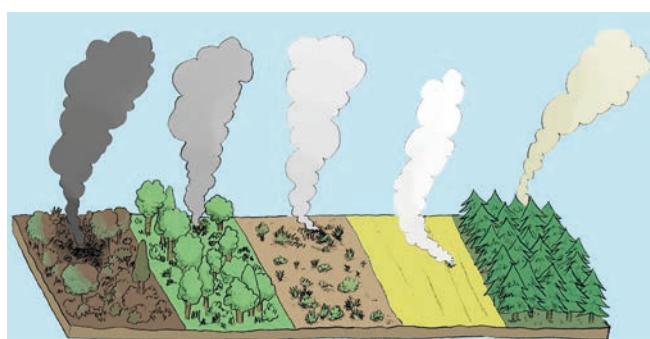


Imagen 15. Colores de humo

6.2. SEGÚN EL COLOR

- Humo gris café: cuando corresponde a matorrales o arbustos ralos.
- Humo gris-negro: matorrales densos, eucaliptos, pinos y encinares. Fuego de alta intensidad.
- Humo amarillo: cuando corresponde a bosques de coníferas, como el pino insignia.
- Humo blanco: pastizales. Fuego de poca intensidad. Combustible húmedo generalmente.
- Humo blanco azulado: pastos o hierbas. Combustibles secos.

6.3. SEGÚN EL VOLUMEN

El tamaño de la columna de humo será directamente proporcional a la cantidad, tipo y área de combustible incendiado.

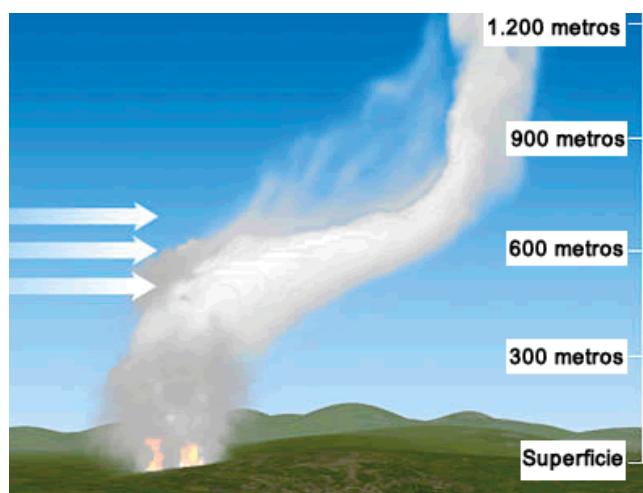
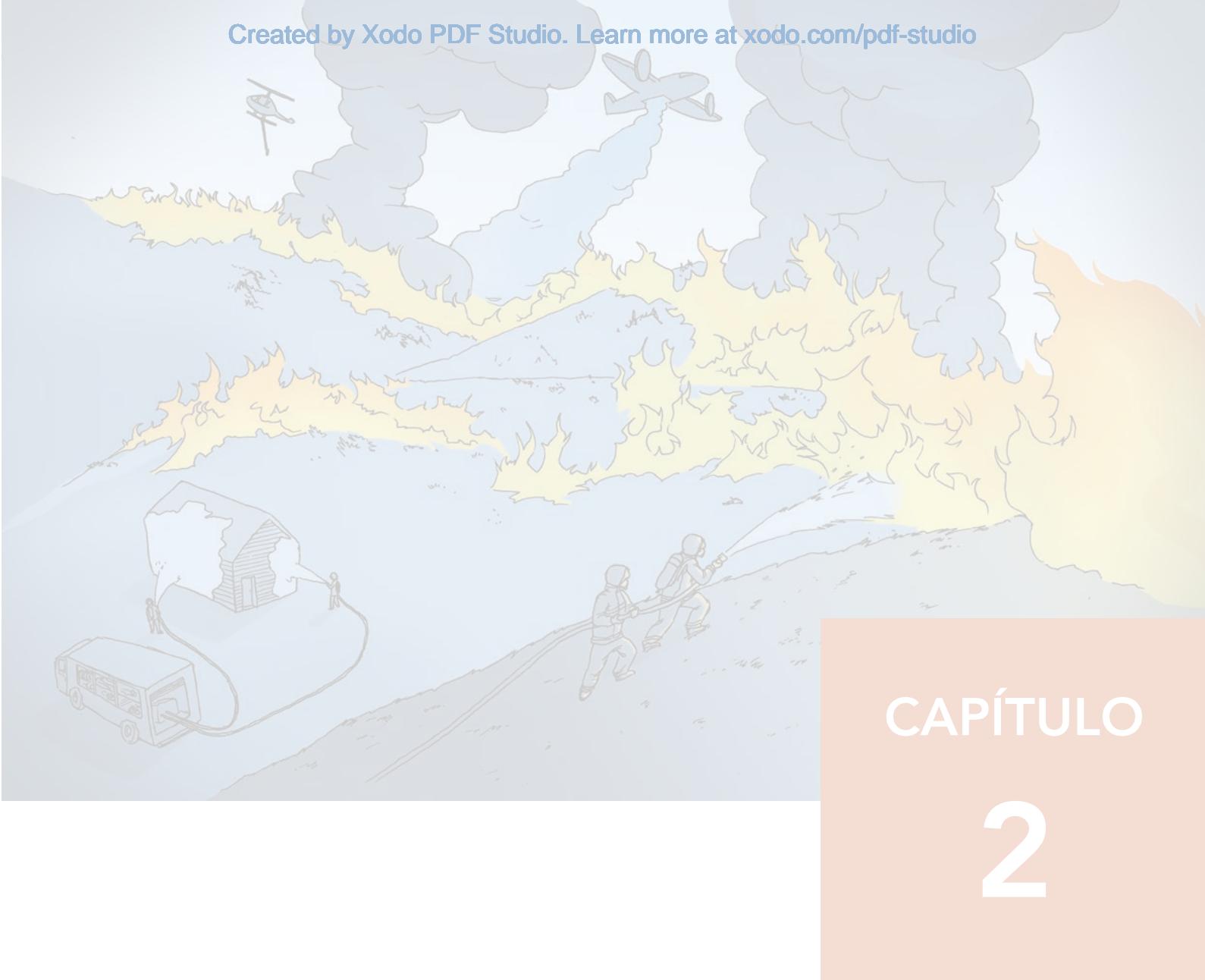


Imagen 16. Ángulo de humo

6.4. SEGÚN EL ÁNGULO DE ELEVACIÓN

En función del ángulo con la horizontal del terreno donde se está desarrollando el incendio que forma la columna de humo al ascender se puede clasificar en:

- Vertical (80 a 90): demuestra poco viento en el sector, propagación lenta. En un principio será más fácil de controlar el fuego.
- Diagonal (40 a 50): demuestra la presencia de vientos de veinte a treinta nudos aproximadamente. En este caso, se puede clasificar el foco como peligroso.
- Tumbada (alrededor de 20): son humos arrastrados que demuestran la presencia de fuertes vientos en la base del incendio, con posibilidad de estabilidad atmosférica. La estabilidad del aire está determinada por la distribución vertical de temperatura. Así, una columna de aire es inestable cuando el aire de la capa inferior es más cálido y menos denso que el aire de arriba, y se eleva y desplaza al aire frío de capas más altas.



CAPÍTULO

2

Valoración de intervenciones en incendios forestales



1. EL PROCESO DE VALORACIÓN

Valorar una intervención sobre un incendio forestal no puede ser un acto improvisado, sino que ha de apoyarse en un procedimiento que ayude a tomar decisiones para afrontarlo, haciéndolo a partir del análisis riguroso y rápido de todos los elementos y variables que intervienen en él y que suponen la referencia válida para establecer la manera de actuar más efectiva.

No es un procedimiento aislado, sino recurrente y sistemático dentro del periodo de duración del incendio, además de proporcionar argumentos para abordar posibles contingencias en dicho periodo. Será una valoración que sirva a todo el equipo de intervención como guía de actuación con el compromiso de seguir las líneas que marque.

Este proceso sigue cuatro etapas no aisladas en el tiempo, pero sí vinculadas las unas con las otras por una evaluación permanente:

- Valoración preliminar.
- Evaluación sobre el terreno.
- Estimación de la capacidad de los recursos.
- Triaje de estructuras.

2. VALORACIÓN PRELIMINAR

Se trata de una evaluación que se realiza antes de acceder al lugar del siniestro y que atiende a los siguientes factores:

2.1. INFORMACIÓN SOBRE INCENDIOS ANTERIORES EN LA ZONA

Estos incendios, así como las circunstancias en que se desarrollaron, pueden dar pistas de cómo puede presentarse y evolucionar el incendio actual atendiendo a los patrones que siguieron aquellos, ya que estos patrones suelen ser muy parecidos.

2.2. INFORMACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.2.1. RELIEVE

¿Cuál es el perfil topográfico de la zona? ¿Qué alturas presenta? Esto es muy importante porque la altitud influye de manera determinante en la humedad de la vegetación y en el clima que pueda favorecer o frenar la expansión y virulencia del fuego.

Es fundamental conocer la presencia y el estado, por ejemplo, de una cañada, en el caso de que tenga que ser utilizada por los servicios de intervención, en qué medida es practicable y cuál es la dirección de viento en el lugar para asegurar que los movimientos del personal operati-

vo no va a verse amenazado por una posible «encerrona» del fuego. Es el caso también de ciertas configuraciones de zonas rocosas (chimeneas) que pueden favorecer el rápido avance del fuego.

Se habla tanto de elementos naturales (ríos, cumbres, barrancos...) como artificiales (caminos, carreteras, etc.), ya sea porque afecten de alguna manera a la evolución del fuego o porque sirvan de referencias visuales, puntos de descanso, aprovisionamiento de agua, etc.

2.2.2. COMBUSTIBLES PREDOMINANTES

¿Son arbustos? ¿Es pasto? ¿Son árboles? ¿Qué tipo de madera predomina? ¿Es vegetación vieja o joven, seca o tierna...? ¿Hay mucha acumulación de rastrojos? ¿Hay viviendas cerca? ¿De qué están hechas (madera, paja, etc.)? Estas y otras preguntas pueden ser importantes para conocer a qué se enfrenta un bombero.



Imagen 17. Árboles y musgo

2.2.3. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

¿Cuál es el pronóstico meteorológico? Factores como la humedad, temperatura, viento, previsiones de lluvia, etc., así como la estabilidad o no de las condiciones previstas son datos esenciales a considerar.

2.2.4. HORA ACTUAL

La posición del sol y el viento permitirán anticipar el periodo en el que el fuego sea más intenso, lo que nos preparará para prevenir posibles movimientos de población no deseados a esa hora, circulación de vehículos a motor, etc., y así poder asegurar la zona si así se necesita.

2.3. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

2.3.1. AMPLIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Toda información puede ser útil, como las intervenciones que se han realizado en la zona en siniestros semejantes, el uso que se le da a las edificaciones y estructuras próximas, el posible almacenaje de ganado, maquinaria, combustible..., el movimiento de la población cercana (laboral, de ocio...), la presencia de personas con movilidad limitada, el tránsito de excursionistas, montañeros, etc.

2.3.2. ACTUALIZACIÓN PERMANENTE DE LOS DATOS

Los incendios pueden cambiar en muy poco tiempo porque también lo hagan ciertas condiciones que influyen directamente sobre él. Actualizar la información sobre él permanentemente (por ejemplo, su tamaño, su frente, su radio de esparcimiento, su dirección, su velocidad, comportamiento o la información que aporta la misma columna de humo) ayudará a ajustar mejor las medidas a tomar, los recursos a utilizar, etc.

3. EVALUACIÓN SOBRE EL TERRENO

Hasta que no se llegue al incendio no se podrá decidir sobre medios, estrategias, prioridades, etc. Aún así, hay constantes que se deben respetar siempre sea cual sea la circunstancia del incendio: por ejemplo, la decisión sobre qué proteger primero (en este orden, las personas, las estructuras y la vegetación). Para recoger la información necesaria, se deberá encontrar una posición que permita ver todo lo necesario, que va a ser lo siguiente:

3.1. TOPOGRAFÍA, MATERIALES Y ESTRUCTURAS

3.1.1. SUPERFICIE DEL TERRENO

Hay que considerar el punto de inicio del incendio y por dónde se ha propagado con el fin de prever por dónde va a seguir haciéndolo. Nos fijaremos en cañadas, cañones, barrancos, lomas, desniveles, crestas, etc., así como posibles barreras naturales o artificiales como ríos, lagos, carreteras, etc.

3.1.2. ACCESOS Y SALIDAS

Será necesario conocer las vías de acceso (carreteras, pistas, veredas...) y sus características (asfaltado, anchura, trazado...) y las estructuras que las rodean (viviendas, depósitos, tendidos eléctricos...), zonas de estacionamiento o rutas de escape. Es importante hacer un reconocimiento sobre el terreno por si hubiera alguna vía cortada, estrechamientos, etc.

Si se pierde visibilidad es preferible bajar del vehículo y explorar temporalmente a pie antes de meterse en zonas inseguras o sin salida. También es recomendable entrar en ciertos tramos del camino marcha atrás si no se sabe si se podrá dar la vuelta más adelante. Durante las tareas de exploración se puede aprovechar para señalizar los accesos y salidas para otros vehículos.

3.1.3. MATERIALES COMBUSTIBLES

Es importante conocer el tipo y modelo del combustible vegetal que rodea a las estructuras en peligro (pasto, matorral, arbollado...), su extensión, su tamaño, su densidad, la distancia a dichas estructuras, su composición y humedad, su edad, etc. También se debe considerar cuál

es la carga del combustible y el calor radiante que puede emitir la columna de convección, así como la producción de pavesas y su proyección desde la columna de convección. Por último, será útil conocer los materiales de las estructuras amenazadas porque, al fin y al cabo, son potenciales combustibles.

3.1.4. ESTRUCTURAS Y ASENTAMIENTOS

Hay que conocer el número y lugar de las estructuras de los alrededores, así como sus características (uso, tamaño, si están habitadas...), los materiales de que están hechas, los espacios que las circundan y los peligros que impliquen (depósitos de combustible, acumulaciones de leña, etc.). En las poblaciones hay que conocer (si existen) los procedimientos de evacuación, y si existen depósitos (pozos, piscinas...) donde nos podamos aprovisionar de agua.

Se deben tener en cuenta edificios que puedan entrañar riesgos adicionales como almacenes de disolventes, explosivos, combustibles, etc., así como conocer la disposición de los tendidos eléctricos.

3.2. CONDICIONES AMBIENTALES

La condición más importante a considerar es el **viento**, cuya velocidad y dirección pueden estar influido por el propio desarrollo del incendio en relación con los combustibles que arden, las estructuras a las que afecta o el relieve del terreno. Los vientos locales, los cambios que sufren y los tiros que se forman hacen inestable a las condiciones de clima reinantes.

También habrá que considerar la **temperatura**, ya que seca y calienta los combustibles, lo que los hace más inflamables. El aire, cuando más se calienta más se seca, lo que hace que absorba más vapor de agua de los combustibles y estos arden más rápido.

3.3. PERFIL DEL INCENDIO

Se habla de la distancia a la que está el incendio, su velocidad, el material que actúa como combustible y el perfil del terreno, todo ello con el fin de calcular el margen de tiempo que se tiene para actuar y tomar las disposiciones oportunas. Así, se podrá estimar si el incendio se propaga desde los incendios menores o aislados o si lo va a hacer desde el mismo incendio principal, si hay estructuras que van a ser alcanzadas, si hay vidas humanas en riesgo (intervinientes o no), etc.

Por eso, hay que fijarse en aspectos como el foco principal y los secundarios, el tipo de llama que los componen (longitud y altura), la intensidad del fuego, el tipo de combustible que arde y que puede arder (zonas y estructuras amenazadas), el tipo de propagación (dirección y velocidad), los remolinos que provoca y los restos y pavesas que mueven estos, la posibilidad de que pueda retroceder el fuego en ciertas zonas, etc.



4. TRIAJE DE ESTRUCTURAS

4.1. ¿QUÉ ES EL TRIAJE DE ESTRUCTURAS?

El triaje* de estructuras consiste en la clasificación de las viviendas y estructuras amenazadas por un incendio en función del nivel de eficiencia y seguridad de su defensa y con el mínimo riesgo para bomberos. Esta defensa podrá ser favorecida por ciertas acciones como la creación de espacios diáfanos alrededor de la vivienda (limpiando posibles combustibles cercanos como leña o depósitos, por ejemplo).



Imagen 18. Estructuras amenazadas

Se parte de considerar las peores condiciones (por ejemplo, proteger gran número de viviendas) y los mínimos medios disponibles, para cuyo caso se han de priorizar las casas que se deben proteger primero y cuáles no.

Por eso hay que conocer primero el número de estructuras en peligro, dónde están y su vulnerabilidad. Con la información obtenida basaremos nuestras decisiones sobre dos preguntas:

- ¿Sirve de algo defender la estructura?
- Si sirve, ¿se puede hacer con la necesaria seguridad?

4.2. TIPOS DE TRIAJE

Podemos clasificar el triaje en tres clases: inmediato, rápido y completo. (ver Tabla 2)

Los triajes más frecuentes en los incendios de interfaz son los rápidos o inmediatos, y son los que necesitan más concreción en la información, para lo que se suele utilizar formularios que facilitan la identificación de los elementos y condiciones de cada zona, reducen el tiempo de recogida y transmisión de esa información y ayuda a que todos los implicados la entiendan rápidamente.

4.3. TIPOS DE ESTRUCTURAS

Se pueden clasificar las estructuras en tres tipos: no amenazadas, amenazadas y salvables y amenazadas no salvables. Determinar si una estructura se ubica en uno u otro tipo se basa en la existencia de vidas en peligro y en la existencia de zonas seguras para que actúen los intervenientes (por ejemplo, despejadas de vegetación que pueda ser pasto de las llamas).

Otros autores establecen otra tipología que combina las posibilidades de que la estructura sea defendida y la seguridad para los que intervienen. (ver Tabla 3.)

4.4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA DECIDIR SOBRE LA DEFENSA DE UNA ESTRUCTURA

¿Cómo se puede decidir qué estructuras hay que atender antes y cuáles hay que ignorar? Se necesitan distintos tipos de información:

4.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y SU ENTORNO

• ¿Cómo es y de qué está hecha la estructura?

La mayor parte de las estructuras amenazadas por un incendio son afectadas por las pavesas que este produce más que por las llamas, principalmente los tejados y los huecos que estos dejan (chimeneas, ventiladores...) para que dichas pavesas se puedan introducir en su interior. Los materiales de estos tejados que son resistentes al fuego, aún sin ser ignífugos completamente, son determinantes para que sus estructuras no sean designadas como prioritarias en el triaje.

Tabla 2. Tipos de triaje

| | |
|------------------|---|
| Triaje inmediato | Se lleva a cabo ante el peligro inminente generado por un frente de incendio muy próximo a las estructuras, ante lo cual se necesita una decisión rápida. Se puede hacer un reconocimiento rápido del área y, con ayuda del mapa o de la información proporcionada por un reconocimiento aéreo, tomar las decisiones. La comunicación directa con el responsable del operativo es necesaria para que conozca en todo momento nuestra situación y la del incendio, así como las labores recomendadas a realizar. |
| Triaje rápido | Se lleva a cabo con tiempo suficiente para obtener información de la zona con mayor amplitud y profundidad. Se puede saber el número y características de las estructuras en peligro, las condiciones climáticas, la evolución y previsiones sobre el incendio, etc.) antes de que las llamas se hayan acercado. |
| Triaje completo | Se lleva a cabo con holgura de tiempo para dividir el área de actuación en zonas de intervención con diferentes prioridades: la máxima prioridad es la 1 -zona en la que se necesitará el triaje rápido-, y las contiguas la 2 y la 3. Aquí se puede ampliar la información sobre cada zona, así como las comunicaciones entre ellas (calles, puentes, etc.) |

Tabla 3. Tipología de estructuras (Wright, E., 2011)

| | | |
|--|----------------------------|--|
| Categoría 1 | <i>Factor determinante</i> | Presencia de una zona de seguridad clara . |
| Estructura defendible: preparación y contención | <i>Evaluación</i> | La estructura ofrece alguna posibilidad de ser protegida. |
| | <i>Táctica</i> | Proteger activamente la estructura ante la llegada del frente con ataque directo. |
| Categoría 2 | <i>Factor determinante</i> | Presencia de una zona de seguridad clara . |
| Estructura defendible: protección pasiva | <i>Evaluación</i> | La estructura ofrece pocas posibilidades de ser protegida. |
| | <i>Táctica</i> | Proteger la estructura si hay posibilidad hasta la llegada del frente. Después, abandonar la zona. Examinar efectos y grado de daños tras el paso del frente. |
| Categoría 3 | <i>Factor determinante</i> | No existe zona de seguridad . |
| Estructura no defendible: preparación y abandono de posición | <i>Evaluación</i> | La estructura ofrece alguna posibilidad de ser protegida. |
| | <i>Táctica</i> | Preparar la zona (mover o eliminar combustibles) para que los efectos del frente sean los menos posibles y abandonar la zona antes de ver comprometida la seguridad. Establecer puntos críticos que indiquen el momento de abandonar la zona. Examinar efectos y grado de daños tras el paso del frente. |
| Categoría 4 | <i>Factor determinante</i> | No existe zona de seguridad. |
| Estructura no defendible: rescate y evacuación | <i>Evaluación</i> | La estructura no ofrece posibilidades de ser protegida. |
| | <i>Táctica</i> | Abandonar la zona de la estructura amenazada, asegurándose de que no hay nadie presente y ayudando en el proceso de evacuación. Establecer puntos críticos que indiquen el momento de abandonar la zona. Examinar efectos y grado de daños tras el paso del frente. |

Otros factores a considerar son las aperturas al interior, el material de las paredes, el número y las dimensiones de los huecos (puertas y ventanas, forma y tamaño de la estructura, incorporación de maderas, etc.).

• ¿Dónde está la estructura?

¿Está la estructura en una pendiente afectada por el incendio? ¿Está en lo alto de una colina, en la parte media o en la parte baja? ¿Tiene cerca elementos (depósitos, maderas...) que afecten a su defensa? Factores como la corriente de convección, la radiación, la pendiente... afectan a las posibilidades de la estructura de ser afectada por el incendio y ser defendida.

• ¿Qué combustibles amenazan a la estructura?

El espacio circundante de la estructura es vital para garantizar una zona de intervención segura. Es importante que haya quince metros libres de combustible (sea cual sea: sólido, líquido o gaseoso, aunque normalmente se trata de vegetación de diferente tipo) para determinar si la estructura es salvable o no. Habrá que evaluar, si hay combustible, de qué cantidad se trata, cómo de próximo está, de qué tipo de combustible se trata (tipo de madera, combustible fósil, gas, disolventes, etc.), cómo está almacenado, cuál es su capacidad de resistencia, qué tipo de llama producen, cuál es su poder calorífico...

4.4.2. PERFIL Y EVOLUCIÓN DEL INCENDIO

El avance del incendio en una dirección y a una velocidad determinada, la existencia de focos secundarios, la influencia del relieve y el clima, el combustible dominante, posibles barreras naturales o artificiales, etc. dirán qué estructuras van a ser afectadas y en cuánto tiempo. De todos modos, hay que tener en cuenta que estas condiciones son variables, por lo que las decisiones (por ejemplo, dar por indefendibles estructuras que antes lo eran) pueden cambiar.

4.4.3. MEDIOS Y SEGURIDAD

• ¿Qué medios hay disponibles para defender la estructura?

Los equipos humanos y materiales disponibles serán determinantes para determinar qué y cuántas estructuras se pueden salvar. Se tienen en cuenta los medios presentes y los que se pueden esperar, y en cuánto tiempo, así como dónde encontrar recursos próximos y su capacidad, eficacia, movilidad y limitaciones. Por eso hay que ajustar las tareas a emprender con los medios con los que se cuenta (con maquinaria pesada se puede retirar combustible acumulado, con una brigada terrestre se puede ensanchar un cortafuegos, con autobombas se puede atacar focos secundarios, etc.).



Imagen 19. Equipo humano

Es importante señalar que disponer de dispositivos especializados en el uso de agua, no garantiza que se pueda salvar la vivienda, pero ayudará mucho a graduar o categorizar el triaje.

• **¿Qué garantías de seguridad se tienen en la defensa de la estructura?**

Hay que tener en cuenta los factores que dificultan o favorecen la seguridad de las personas que intervienen, como la existencia de vías de acceso o escape, la ubicación de zonas de seguridad y de actuación segura, un sistema de comunicación efectivo, la posibilidad de actuar contra el mismo frente, el tiempo de respuesta de otros medios de apoyo, la experiencia de los equipos o el conocimiento de la zona.

5. EVALUACIÓN CONTINUA

Se habla de valorar las decisiones y la manera de llevarlas a cabo con el fin de determinar si funcionan y si las circunstancias han cambiado para tener que modificarlas, con el fin de modificar la estrategia con suficiente margen. Esta evaluación se basará en la observación y en la propia experiencia.

Se hará ante cambios significativos de la situación como, por ejemplo, en la evolución del incendio, en el clima, en la operatividad o eficacia de los medios de extinción, el cansancio de los equipos, emergencias no previstas, llegada de nuevos medios, relevo del mando, etc.

Por ejemplo, si las circunstancias del incendio cambian de tal manera que ponen en serio riesgo la seguridad de las personas se deberá cambiar la decisión de defender la estructura. Esta misma puede influir en ese cambio de condiciones, por lo que hay que considerarla más como un factor de continuidad del incendio que como una víctima de él.

Objetivamente no hay nada que indique el momento de abandonar una estructura, modificar el triaje o cambiar la estrategia de actuación, por lo que se deben vigilar los riesgos que surjan, tales como una propagación más rápida de lo esperado, pavesas sobre la estructura, los

alrededores o sobre nuevas estructuras (creando nuevos focos secundarios), disminución del abastecimiento de agua, fragilidad de la estructura, vías de escape en peligro de bloqueo, rotura de ventanas o incendio en el interior de la estructura.

En general, hay que fijarse en tres cosas:

5.1. EN EL PROPIO INCENDIO

Se trata de evaluar el comportamiento actual y pasado del incendio, así como los cambios que puedan afectar a su evolución estimada.

5.2. EN LOS MEDIOS DISPONIBLES

En principio, para identificar los medios que son necesarios para hacer frente a un incendio, hay que fijarse en el entorno en el que se produce el incendio (interfaz o vegetación) para decidir el uso de bomberos urbanos, medios aéreos, brigadas de incendios forestales, maquinaria pesada, etc., y la opción de combinarlos, además del equipamiento más efectivo en cada caso (compresores, mangueras, ventiladores, EPI, ERA, etc.). Es importante prever la disponibilidad y el tiempo de respuesta de cada medio, y la posibilidad de contar con otros servicios que ayuden en nuestra labor (como las fuerzas de seguridad o el ejército para realizar evacuaciones).



Imagen 20. Descarga aérea

Pero en un momento dado hay que preguntarse: ¿están siendo los recursos usados suficientemente efectivos (por ej.: descargas aéreas sobre el frente de llamas)? ¿Se usan en las tareas que han de realizar (por ej.: cuadrillas abren cortafuegos en vez de hacerlo maquinaria pesada) y lo hacen de manera segura?

Quizá sea adecuado solicitar más medios y asegurarse de que están disponibles y en camino, o que el personal está en su puesto y sabe lo que tiene que hacer (sin olvidarse de los avituallamientos, los descansos y los alojamientos), o quizás sea necesario reforzar la comunicación comprobando que todos los medios tienen cobertura, que se usan los términos correctos y que se utilizan adecuadamente las emisoras.

5.3. EN EL DISEÑO TÁCTICO

Como en toda planificación, hay que comparar lo obtenido con los objetivos previstos a priori. Al principio hay que hacerlo cada poco tiempo, pero en períodos más amplios de intervención este plazo se alargará para tener más margen para comprobar si hemos de modificar algo.

Los resultados obtenidos los comprobaremos mediante ciertos indicadores, como metros avanzados en el frente, metros de tendido desplegados, estructuras protegidas, etc. También habrá que comprobar en qué medida se están cumpliendo los plazos y todo lo programado.

La evaluación permanente ha de hacerse por una persona con experiencia y formación adecuadas y con buena capacidad de comunicación para que fluya por la cadena de mandos. Lo mejor es que cada uno valore cómo hace su trabajo, pero en intervenciones complejas y con muchas personas involucradas es difícil de conseguir.

Lo mejor es comprometer un plazo para hacer un comunicado sobre la evolución de la intervención, plazo que puede variar según el momento de realizarla. Lo que básicamente se hará, en función de los resultados de la evaluación, es modificar los objetivos o las estrategias de intervención.

6. MEDIDAS DE SEGURIDAD

6.1. SITUACIONES DE RIESGO

Aquí se resumen las situaciones de riesgo más críticas en las intervenciones frente a incendios de interfaz urbano forestal:

1) Riesgos por falta de información:

- El incendio aún no ha sido evaluado.
- El terreno aún no se conoce.
- No se han identificado zonas seguras y rutas de escape.
- No se conoce la climatología local.

2) Riesgos por déficit de comunicación:

- No se tiene información sobre las estrategias y tácticas a seguir.
- Las instrucciones son confusas.
- No hay comunicación fluida entre operativos y mandos.
- No se ve el incendio principal ni comunicación con quien lo está viendo.

3) Riesgos por intervención inadecuada:

- Se crea una línea de defensa sin anclaje seguro o ladera abajo hacia el incendio.
- Se ataca frontalmente el incendio.

- Se mantiene sin quemar la zona entre los intervinientes y el incendio.
- En los descansos, cuando se baja la guardia y se permanece cerca del frente del incendio.

4) Riesgos por cambios en el clima:

- Cambian las condiciones climatológicas: aumenta la temperatura ambiental y la sequedad, el viento se incrementa o cambia su dirección.

5) Riesgos por causa del terreno:

- El escape se hace difícil por causa del relieve o por el mismo combustible.
- En laderas y pendientes se pueden desplazar cuesta abajo cierto material que puede iniciar nuevos fuegos.

6) Otros:

- Nuevos focos secundarios cruzan la línea de control.

6.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE SEGURIDAD

Para minimizar estos riesgos se deben observar los siguientes principios básicos de seguridad básicas:

- Hay que basarse en el comportamiento del incendio en este momento, pero también en las estimaciones que se hagan sobre su evolución. Para ello se debe recoger permanentemente información sobre cómo se está desarrollando y sobre las condiciones actuales y previstas del tiempo.
- Se atacará el fuego con decisión, pero manteniendo siempre el control y la seguridad de los que intervienen. Para ello se deben identificar siempre las zonas de seguridad y las rutas de escape, situando observadores en situaciones potencialmente peligrosas



Imagen 21. Pautas para seguir en caso de incendio



que puedan avisar de cambios no previstos, cambios que puedan poner en riesgo esas zonas y esas rutas, así como a los equipos que intervienen.

- Se transmitirá con claridad y precisión las instrucciones necesarias y se confirmará que han sido entendidas. Para transmitirlas, modificarlas o actualizar la información sobre la situación no se perderá comunicación con mandos, personal y colaboradores.
- Siempre, y por encima de todo, no se perderá la calma ni tampoco la atención sobre nuestro entorno, un estado de alerta controlada que permita pensar con claridad y tomar las decisiones adecuadas.

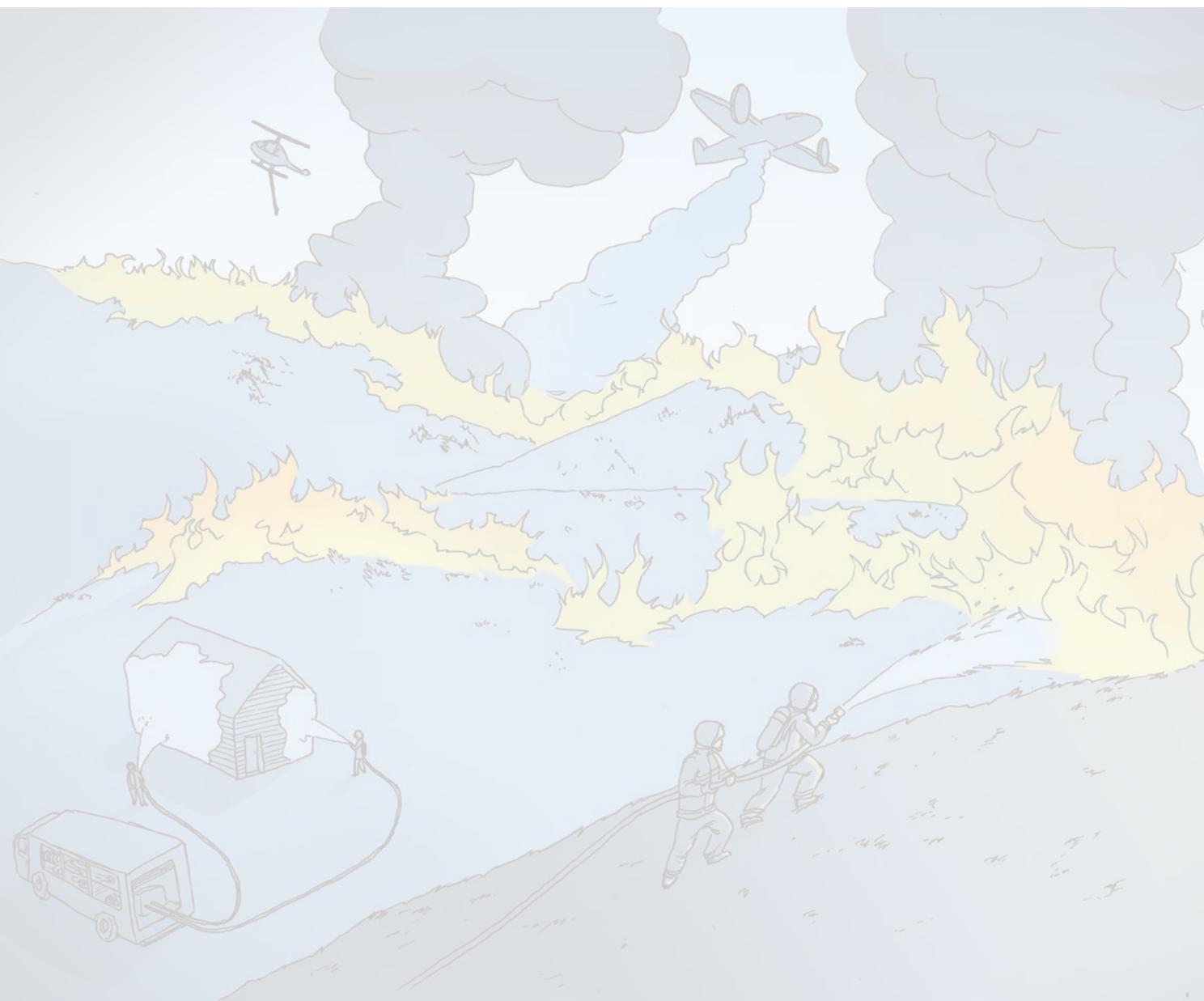
En cualquier caso, nos podemos apoyar en una fórmula sencilla para recordar los cuatro principios de seguridad antes de establecer objetivos y estrategias de actuación y, por supuesto, antes de actuar.

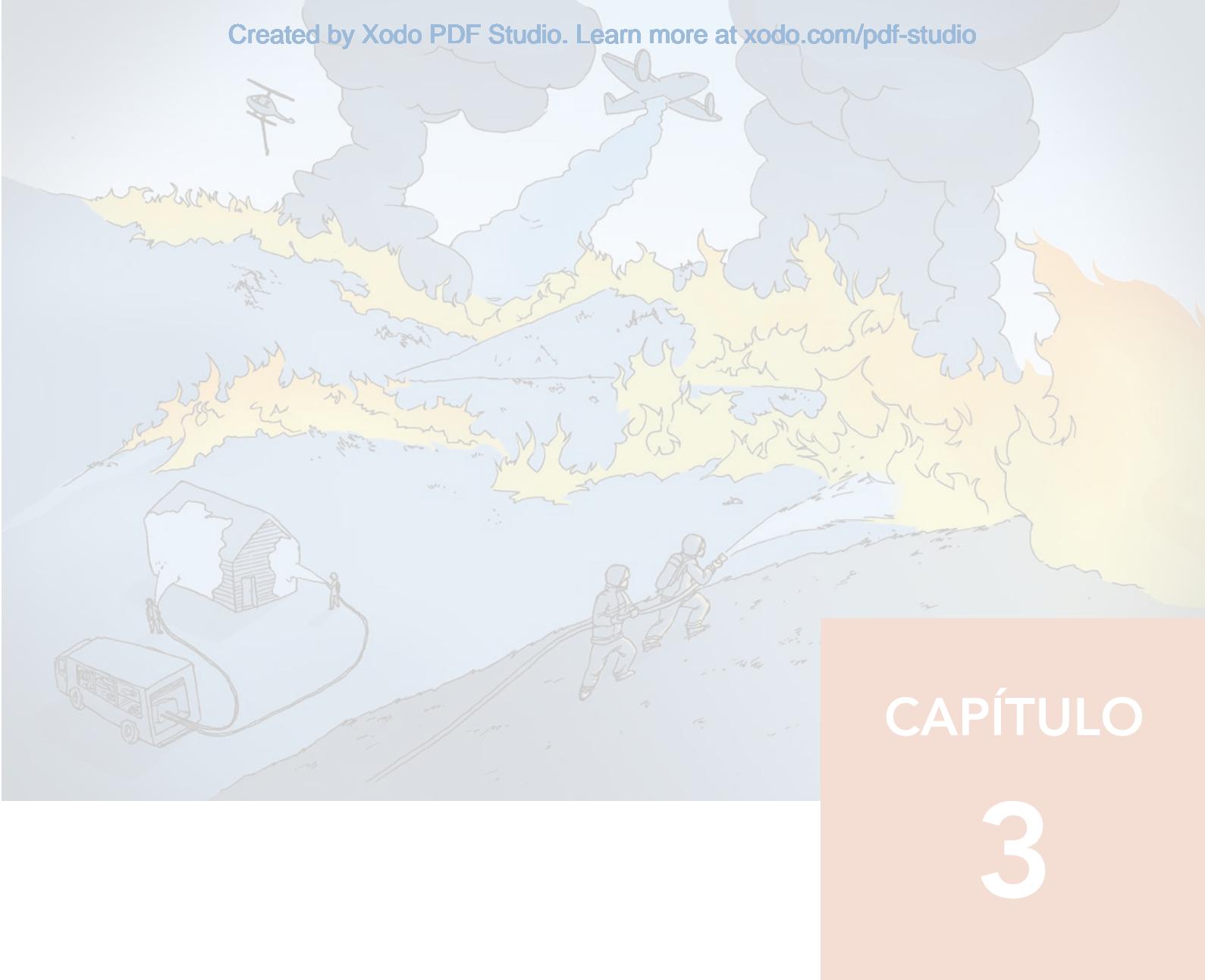
- Observación.
- Escape.
- Comunicación.
- Lugar seguro.

Para aplicarlo eficazmente, primero han de identificarse las zonas seguras y las rutas de escape cercanas a estas (evitando rutas cuesta arriba, con obstáculos y con mucho combustible alrededor). Todas ellas deben conocerse por todos los que intervienen y ha de comprobarse que es así. También han de comunicarse los posibles peligros en las zonas de interfaz (depósitos de combustibles, líneas eléctricas, transformadores, etc.).

7. LA LOGÍSTICA

La logística cobra más importancia cuanto más largas sean las intervenciones y más medios intervengan. Es muy importante el avituallamiento para que las dotaciones puedan seguir ejerciendo su trabajo sin que su capacidad física se vea drásticamente afectada. Por otra parte, conviene llevar en los vehículos botellas de agua, sales minerales y barritas energéticas para suprir ese avituallamiento cuando no se pueda proporcionar debido a las distancias a recorrer.





CAPÍTULO

3

Técnicas de intervención en incendios de interfaz urbano-forestal



Con estas técnicas se pretende controlar la propagación del incendio, extinguirlo y proteger personas y bienes. Son ataques que se utilizan tanto en incendios de interfaz como de vegetación (forestales, de pastos, de cunetas, de sembrados, etc.). Se habla de ataques directos o indirectos que se aplicarán en función de la intensidad del fuego y, consecuentemente, de la longitud de la llama.

Tabla 4. Tipo de ataque en función de la longitud de la llama

| Longitud de la llama | Tipo de ataque | Medios | Comentarios |
|----------------------|------------------|--|--|
| <1,5 m | Ataque directo | Herramientas manuales y autobombas | Ataque por la cabeza y los flancos |
| 1,5-2,5 m | Ataque directo | Tractor de cadenas, autobombas y medios aéreos | Posibilidad de tener que recurrir a ataque indirecto |
| 2,5-3,5 m | Ataque indirecto | | Ataque por el frente del incendio |
| >3,5 m | Ataque indirecto | Contrafuego | Probables focos secundarios y fuegos de copas |

1. ATAQUE DIRECTO

Se recomienda para longitudes de llama inferiores a 2,5 m que actúan directamente sobre la llama con aguas o espumas, o bien con herramientas manuales que controlan directamente el borde del incendio.

1.1. USO DE VEHÍCULOS DE EXTINCIÓN

La recomendación en estos casos es atacar con un tendido de manguera desde el vehículo de extinción. Pero es el relieve del terreno y el propio incendio los que nos van a señalar el tipo de actuación que se debe hacer utilizando los vehículos de extinción:

1.1.1. ACTUACIÓN CON VEHÍCULOS EN MOVIMIENTO

a) Ataque con vehículo ligero

Se podrá hacer sobre terreno transitable y moviéndose por zona segura. Con dicho **vehículo** (todoterreno pickup con bomba de alta presión) siempre en movimiento se ataca el frente desde un flanco con la lanza de alta presión. Se ha de circular por zona segura y estar atento a la propagación del incendio y a la altura de las llamas. Mientras tanto, una **bomba rural** permanecerá detenida en una ruta de escape, vigilante ante la dirección del incendio. El resto de los **bomberos** repasarán la labor del vehículo ligero con batefuegos o mochilas extintoras.

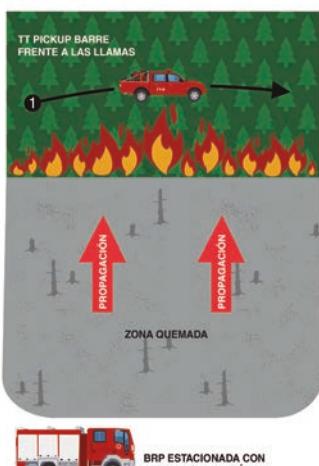


Imagen 22. Ataque con vehículo ligero

ba rural permanecerá detenida en una ruta de escape, vigilante ante la dirección del incendio. El resto de los **bomberos** repasarán la labor del vehículo ligero con batefuegos o mochilas extintoras.

b) Ataque con vehículo ligero y autobomba

La bomba rural actuará si los resultados que obtiene el vehículo ligero no son suficientes. Ahora la bomba rural también estará en movimiento, atacando el frente desde el flanco opuesto. Acompañando a la bomba un bombero a pie con manguera desplegada de Ø25 mm ataca el frente. El papel de los bomberos es el mismo que en el caso anterior.

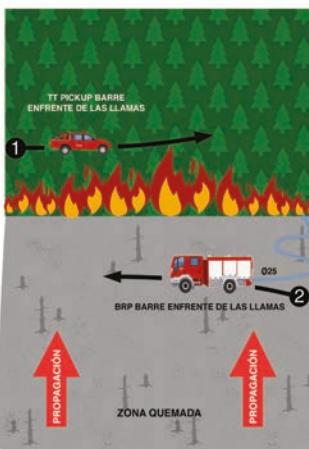


Imagen 23. Ataque con vehículo ligero y autobomba

1.1.2. ACTUACIÓN CON VEHÍCULO DETENIDO

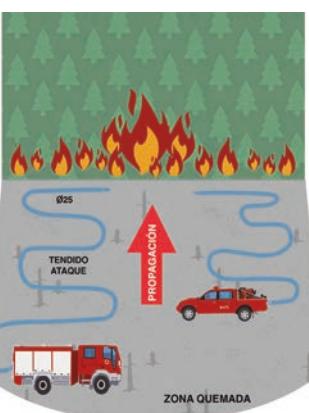


Imagen 24. Actuación con vehículo detenido

Se utiliza cuando no se puede transitar por el frente de llamas. El tendido se realiza desde el vehículo ligero parado, con movimientos limitados sobre la zona ya quemada, aunque vigilando que el fuego no se propague hacia él. El conductor puede usar igualmente el batefuegos y la mochila extintora, mientras que el otro usa la lanza de alta presión. La bomba rural permanece inmóvil en

la zona quemada y un bombero ataca el frente desde esa posición. El resto de bomberos realiza el mismo papel que en los casos anteriores.

TENDIDO DE MANGUERAS

- Salida en alta presión (20 bar óptimo en bomba, 30 bar máximo en bomba), mangaje Ø25.
- Colocar una reducción 25/45 + bifurcación 45/25 cada 4 tramos de mangaje Ø25

1.1.3. ACTUACIÓN A PIE

Ante la imposibilidad de utilizar vehículos se trata de atacar a pie directamente con mochilas extintoras y batefuegos. Se usan para controlar y extinguir puntos calientes en zonas inaccesibles de otro modo. Montar un tendido largo de mangueras es poco operativo (dificultad de maniobra) y poco efectivo.

Con el **batefuegos** se desplaza el oxígeno de la zona de la llama. Se dan golpes secos encima mismo de la llama y se deja sobre el terreno unos momentos. Así se sofoca la llama y se evita que una pavesa salte e inicie otro foco.

Con la **mochila extintora** se moja el combustible, con lo que se aumenta su resistencia a arder.

1.2. ASIGNACIÓN DE FUNCIONES

Lo primero que hay que hacer es organizar al personal con instrucciones específicas para cada uno. Cada cual llevará un número con una función concreta (ver tabla 5).

Los puestos del 1 al 4 deben rotarse para evitar el agotamiento y prevenir accidentes.

Para anticipar la necesidad de tener que atacar nuevos focos en medio de una intervención, se recomienda colocar en el tendido, cada 100 m, una bifurcación de 45/25 con reducción de 25. En tendidos descendentes, se cerrarán para permitir empalmes en punta de lanza. En tendidos ascendentes, se cerrarán en caso de que sea necesario desconectar en la bomba para evitar que se vacíe el tendido.

1.3. DESPLEGANDO EL TENDIDO

Es el jefe del equipo quien decide cómo hacer progresar el tendido en función de las circunstancias. Básicamente seguirá uno de estos tres métodos:

1.3.1. ALIMENTACIÓN EN PUNTA DE LANZA

Se van conectando las mangueras directamente a la punta de lanza. Requiere menos personal que otros métodos, evita que la manguera se arrastre (disminuye su deterioro) y facilita el movimiento del personal por el perímetro (favorece la vigilancia de su evolución). Además, se depende

menos del conductor del vehículo para cortar la presión y la disponibilidad de agua en punta de lanza es mayor.

Al principio se aportan más mangueras de las necesarias, ya que las distancias aún son cortas, y más adelante deberán desplazarse según lo haga la propia intervención. Esto supone una pérdida de tiempo frecuente cuando trabajan varias dotaciones sobre la misma zona. Por eso es necesario dosificar esta tarea y asignarla a personas concretas.

1.3.2. EMPALMES

EN PUNTA DE LANZA

Cuando se hagan empalmes hay que ayudarse con la parte interior de las rodillas, ya que los racores no siempre están en buen estado ni se acoplan a la primera. No es necesario cortar el agua para hacerlo, solo hay que pinzar la manguera que harán dos personas (n.º 1 y n.º 2). Ese pinzamiento

se hará gracias a que se ha dejado un tramo sobrante de unos dos metros para hacer un bucle.

El n.º 2 despliega la manguera nueva con los dos racores juntos y los deja ante el n.º 1. Este cierra la lanza, y el n.º 2 pinza la manguera a unos dos metros de la punta de lanza. El n.º 1 vuelve a abrir la lanza, la desconecta de la manguera antigua y conecta los dos racores de la nueva



Imagen 26. Posiciones de la instalación



Imagen 27. Empalme de mangueras

Tabla 5. Funciones y posiciones de la instalación

| | |
|-------|---|
| N.º 1 | Aplica y dosifica el agua: es la punta de lanza. |
| N.º 2 | Apoya al n.º 1 y organiza la manguera que le suministran. Corta el agua cuando hay que hacer los empalmes y está en comunicación permanente con la autobomba. |
| N.º 3 | Suministra la manguera, se informa de la evolución del incendio con el responsable del equipo o la punta de lanza y colabora con el n.º 2 en los empalmes de la manguera. |
| N.º 4 | Tiene las mismas funciones que el n.º 3, y son responsables de vigilar la aparición de nuevos focos y puntos calientes desde el perímetro del incendio. |
| N.º 5 | Es el jefe de la dotación. Dirige al grupo, controla la evolución del fuego y es responsable de la seguridad de todos. |

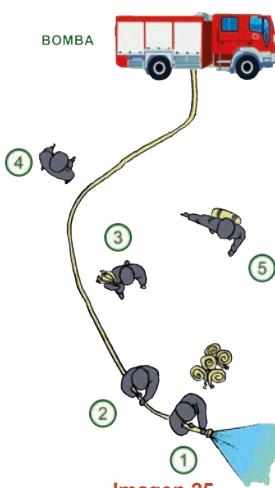


Imagen 25. Posiciones de la instalación



manguera en la instalación pinzada y en la lanza. Finalmente, el n.º 2 afloja la pinza para que la punta de lanza recupere la presión.

Los n.º 3 y 4 pueden ayudar con grandes presiones o largos tendidos descendentes. En estos casos se deben hacer dos pinzados en vez de uno (el primero se hará por el bombero más alejado de la punta de lanza).

1.3.3. ALIMENTACIÓN DEL TENDIDO EN BOMBA

Se conectan nuevas mangueras en la misma autobomba. Es un método menos cansado (no hay que transportar las mangueras), pero sin embargo exige más personal cuanto más largo sea el tendido y las mangueras sufren más por el arrastre, proceso que exige coordinación del personal y una permanencia constante junto a la manguera, sin poder hacer otra cosa.

En pendientes ascendentes el empalme se hace más difícil y, a la larga, el meso del tendido hace muy difícil moverlo.

Por todo esto se ve que es preferible el método de alimentación del tendido en punta de lanza, aunque en ciertas situaciones como pendientes acusadas, vegetación muy densa o zonas de agua que dificultan las maniobras de empalme es preferible el arrastre, aunque son casos en los que se necesita preparar varios tramos para estirarlos después.

1.4. USO RACIONAL DEL AGUA

El agua es un recurso escaso en este tipo de incendios, tanto por su ausencia como por la dificultad de acceso. Por eso es muy importante usar solo el agua que se necesite en cada momento. Será importante no solo para la extinción sino también para la autoprotección (para este propósito dejaremos siempre unos 1.000 l en la autobomba).

La disponibilidad del agua también está condicionada por la cantidad, el caudal, la presión y el sistema de bombeo. Se utilizará con prioridad el agua del lugar (depósitos, hidrantes, riegos...), y se reservará la de las autobombas; si estas se utilizan se llenarán cuanto antes.

El uso racional del agua ha de basarse en criterios de sentido común, como utilizar el agua prioritariamente de manera directa sobre los combustibles, especialmente sobre los pastos o combustible menudo y superficial para protegerlos del calor o sobre acumulaciones de leña junto a estructuras.

Sin embargo, será poco efectivo utilizarla en copas o combustibles aéreos sobre estructuras cuando la sequedad provocada por el propio incendio y la baja humedad hace que no sea efectivo, sobre ventanas (si no se sabe que van a soportar la presión del chorro) y sobre combustibles muy pesados.

Tampoco se debe lanzar agua sobre la llama en los picos máximos de calor, pues su efecto es muy limitado. Se debe esperar a que pase ese punto máximo de calor, y se hará antes sobre combustibles finos (la velocidad de propagación y la intensidad son mayores, y prenden en dos o tres minutos). Si se necesita protegerse, no se puede escapar

y no se tiene tiempo de buscar refugio, se podría utilizar la propia estructura como zona segura.

Con los combustibles pesados la velocidad de propagación es mucho menor, y su ignición se va hasta los diez o quince minutos. Las copas presentan una combustión de intensidad alta y su periodo de ignición es variable, aunque se mantiene por mucho tiempo.

1.5. LIQUIDACIÓN DE PERÍMETROS

Se trata de eliminar la posibilidad de que se pueda volver a reproducir un incendio si las condiciones lo propician, tanto ajenas (viento, humedad, relieve...) como propias (relajación en la vigilancia, retirada de medios...). Esta tarea exige ser minucioso y metódico.

Determinar la zona a liquidar dependerá de factores como el viento, la proximidad de zonas habitadas, etc., que pueden justificar una mayor amplitud, pero también quizás se tenga que limitar al borde del perímetro y a los combustibles más cercanos porque no se disponga de recursos para más.

1.5.1. ZONAS OBJETIVO

Las zonas peligrosas, aquellas en las que pueden prender de nuevo las llamas, son:

- **Matorrales, troncos y combustibles pesados**, huecos de las raíces, madera en descomposición, materia orgánica bajo troncos caídos, tocones y huecos dejados por ellos, etc., guardan calor y brasas, así como raíces en combustión bajo el suelo. Son zonas muy irregulares en las que hay que asegurarse que el agua llega a todas partes con una aplicación cercana y desde diferentes ángulos.
- **Acumulación media o alta de materia orgánica**, como turbas y mantillos. Si la acumulación es escasa, la combustión es visible por el humo que emite, pero si es gruesa, la combustión, aunque incompleta, se produce a mayor profundidad, y seguirá avanzando en busca de oxígeno y de combustible en capas superiores. Esta situación es típica de terrenos cubiertos de musgo (aunque, si está húmedo, puede evitar que se produzca esta situación).
- **Zonas en pendiente descendente hacia el área no quemada**, por el peligro de recibir materiales en combustión desde la zona alta. En estos casos es adecuado ensanchar la zona de aplicación de agua.
- **Zonas pedregosas**, ya que retienen mucho el calor y, si tienen cerca combustible (especialmente en huecos y grietas), este es más susceptible de alcanzar la temperatura de ignición, por lo que el objetivo será enfriarlas con agua. En terrenos con piedra suelta puede haber mantillo mezclado, por lo que se debe apartar para enfriar directamente el mantillo.

En los procesos de liquidación, la necesidad de **agua** no es tan urgente, por lo que su suministro no debe ser problema y su uso tampoco, aunque en previsión de un posible rebrote, no se puede derrochar.

1.5.2. DESPLIEGUE DE TENDIDOS

En las tareas de liquidación de perímetros se tendrá en cuenta la necesidad de un nuevo tramo de manguera para profundizar en el área quemada. Al hacerlo, se pondrán en práctica movimientos de ida y vuelta, y se replegarán por la misma zona en la que se preparó para evitar dañar la manguera con los tallos de vegetación quemados.



Imagen 28. Despliegue de tendidos

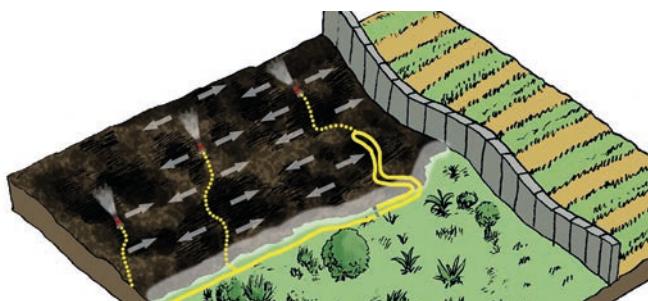


Imagen 29. Despliegue de tendidos 2

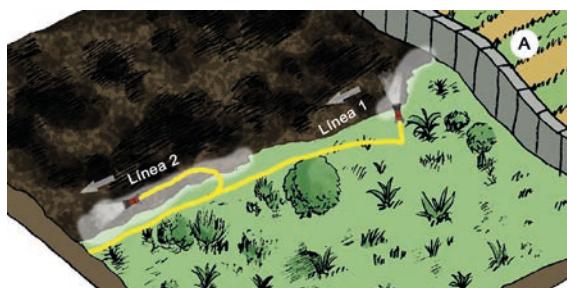


Imagen 30. Organización de tendidos 1

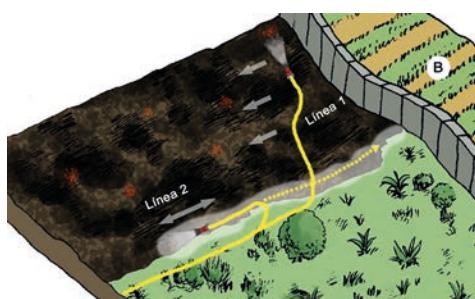


Imagen 31. Organización de tendidos 2

Por otra parte, se puede necesitar liquidar una zona no trabajada con anterioridad, instalando un tendido nuevo. Este no se diferenciará de un tendido de ataque directo excepto en las presiones y caudales. Puede ser necesario montar a la vez todo el tendido porque no se puede esperar a progresar hasta ciertos puntos peligrosos, montando bifurcaciones para cubrir esos puntos a la vez y redirigir el agua donde sea necesario. Así, cada tramo

del perímetro puede ser abordado por una línea, o bien se puede dedicar una línea móvil para abordar diferentes puntos peligrosos, dejando la línea principal para atender al perímetro.

Si se ha de dejar un tendido de manera preventiva tras terminar la liquidación, se usará una bifurcación con una o dos mangueras y una lanza para conectarla en diferentes puntos de la línea con el fin de evitar mover continuamente la instalación.

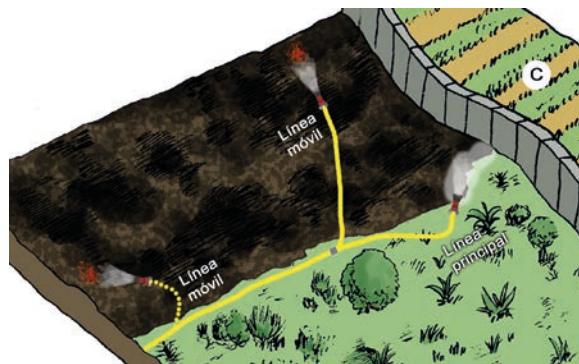


Imagen 32. Organización de tendidos 3



Imagen 33. Organización de tendidos 4

1.6. RECOGIENDO EL TENDIDO

La recogida de los tendidos necesita ser organizada y procedimentada desde su desacoplamiento hasta su plegado y guardado. Lo primero que hay que hacer es desconectar la bomba; una vez hecho esto, el bombero punta de lanza regresa al vehículo, desconectando a su paso los racores para permitir un primer desaguado.

1.6.1. PROCEDIMIENTOS

- **En un terreno llano** se suelen formar acumulaciones de agua en el tendido, las cuales serán expulsadas en el proceso de plegado elevando la manguera por encima de la cabeza. También se puede plegar en rollo para expulsar el agua. Esto es importante para eliminar todo el peso posible de las mangueras, que favorecería la fatiga y la posibilidad de accidentes.

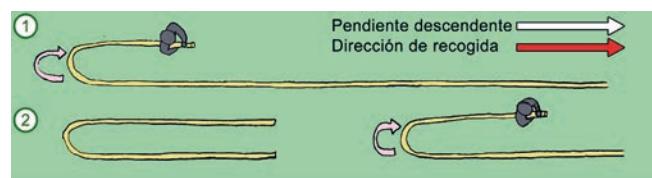


Imagen 34. Recogida de manguera 1



- Si el tendido se ha montado pendiente arriba el agua va a ser más difícil de desaguar, por lo que se conecta previamente la instalación a través de una bifurcación para que la salida que queda libre sirva de desague. En todo caso, el bombero que desconecta llevará la punta de la manguera en dirección a la bomba hasta encontrar el siguiente racor; lo que consigue con esto es que el tramo que ha desconectado está doblado por la mitad. Hará lo mismo con el siguiente tramo, y uno a uno todos los tramos quedarán plegados con los extremos mirando hacia abajo y el agua desaguando de ellos.

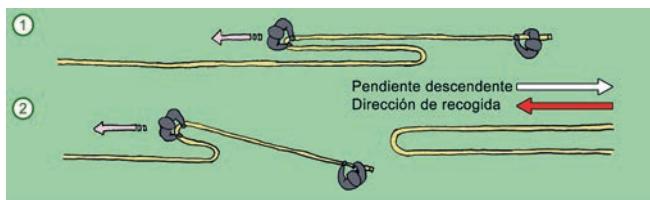


Imagen 35. Recogida de manguera 2

- Si el tendido se ha montado pendiente abajo se ascenderá con la manguera sujetada por la mitad hasta que el agua que tenga en su interior se evacúe. Los racores han de quedar igualados para el plegado de la manguera, y un segundo bombero puede subir con el racor desconectado sujetado con la mano para evitar arrastrar la manguera.

Los tendidos en fase de liquidación **se van recogiendo** en dirección a la bomba al mismo tiempo que se va liquidando, plegando los tramos por la mitad. Los racores se desconectarán cuando la punta de lanza llegue a ellos, conectándola al siguiente tramo y haciendo la misma operación tantas veces como tramos haya.

1.6.2. TIPOS DE PLEGADOS

- Plegados provisionales: se hacen nada más terminar la intervención o cuando se montan los tendidos y se han preparado antes estos plegados para ganar tiempo. Se realizan desde el pliegue central de la manguera y la amplitud de los pliegues no debe ser mayor de unos 80 cm para facilitar después su transporte una vez formada la madeja. Pueden ser:

- **Plegado en ocho:** se hacen lazadas que se cruzan en el centro, y son más susceptibles a los enredos. Para hacerlo se sujetó el pliegue central de la manguera con una mano, y con las palmas hacia abajo se van realizando las lazadas siempre por encima de las muñecas, en un movimiento de abajo a arriba, hasta completar casi toda su longitud, ya que hay que dejar 1,5 m



Imagen 36. Plegado en ocho

para realizar el atado. Con metro y medio que se deja de margen se ata la manguera plegada rodeándola por el centro de la madeja, y se unen los extremos acoplando los racores. El pliegue central quedará en la parte de arriba para evitar que se enganche con algo durante el transporte y se deshaga el plegado.

- **Plegado en lazo:** en este caso el plegado es circular, y los enredos son más raros. Para hacerlo se apoya la manguera en un movimiento de arriba a abajo para hacer que se monte por encima del brazo. El atado de la madeja es igual que en el caso anterior.

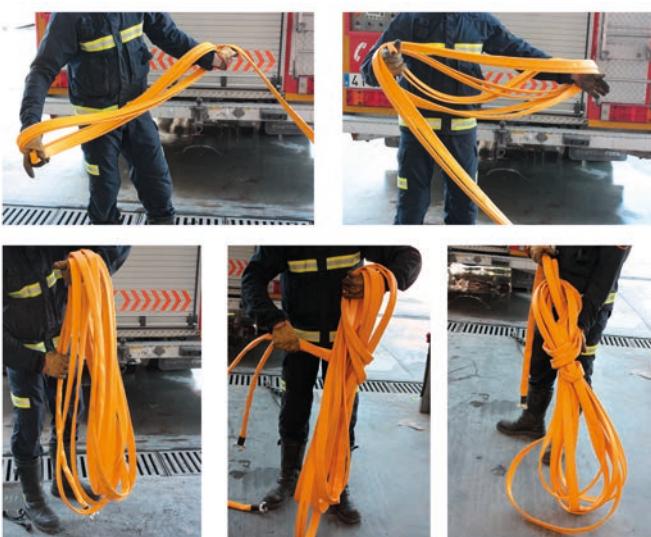


Imagen 37. Plegado en lazo

- **Plegados definitivos:** se hacen siguiendo la forma de rollo. Al mismo tiempo que se pliega se realiza la revisión y limpieza de la manguera. También se realiza desde el pliegue central (al cual se hará un pliegue doble al inicio) enrollando la manguera hacia los extremos, aunque en este caso se dejará una mitad más larga que la otra (cosa de medio metro, más o menos).



Imagen 38. Plegado en rollo

Esa mitad será la que se deje por el exterior del rollo, lo que hace que al final ambos racores de los extremos queden igualados. Al finalizar se colocará el rollo en el suelo y, presionando en el centro con la rodilla, se tira del extremo interior para tensar el rollo, que se sujetará finalmente con una cinta elástica.

También se puede hacer un **plegado en rollo doble**, más compacto y transportable, que reduce el diámetro pero dobla su anchura, por lo que no se adapta a los espacios que tiene asignados en los vehículos. Al igual que en el caso anterior, se parte del pliegue central, pero ambos cables se colocan en paralelo y así se van enrollando, quedando al final dos rollos paralelos y unidos en el centro.



Imagen 39. Plegado en rollo doble

2. ATAQUE INDIRECTO

Se trata de abordar el incendio sin hacerlo directamente sobre las llamas, sino sobre un perímetro circundante.

2.1. LÍNEAS DE CONTROL

Se establece una **línea de control** o de defensa aprovechando las áreas en las que el combustible es más escaso o desaparece. Una de las maneras de hacerlo es limpiar una franja de terreno (de anchura variable dependiendo del combustible) con herramientas manuales o maquinaria pesada. Otro modo es utilizar agua o espumas para crear una barrera húmeda; en este caso lo crítico es decidir el momento en el que se aplican. Por último, también se pueden aprovechar elementos del entorno que actúen como barreras (ríos, arroyos, arados, pistas forestales, caminos asfaltados, etc.).



Imagen 40. Zonas de seguridad

2.2. PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS

La **protección de estructuras y viviendas** se realiza estableciendo perímetros de protección para prevenir el alcance de las pavesas y el surgimiento de focos secundarios en el interior o alrededor de dichas estructuras. El perímetro interior tiene un radio de 30 m, y el exterior entre 30 y 60 m. Lo que se hará será desplazar fuera de estos perímetros todos los combustibles que se pueda, tanto los finos (hojarasca, arbustos, leña, etc.) como ramas de árboles, sobre todo en los 10 m más próximos a la estructura. En la zona más alejada no se tocarán los combustibles menos inflamables.

Antes de que llegue el frente, se limpiará el tejado de hojas, ramas, etc., y se cubrirá la chimenea y otras posibles entradas. Se puede aplicar agua o espuma al tejado, y agua a las paredes o a las partes más expuestas al calor o a las pavesas. Se cierran las puertas y ventanas y se elimina todo el combustible posible alrededor. Finalmente, se desplegarán los vehículos y los tendidos en torno a las estructuras.

Cuando llegue el frente, se podrá hacer un ataque directo si se hace sobre combustibles finos, y si se propaga a combustibles más pesados, se deberían usar productos retardantes y reservar el agua para sofocar focos secundarios o pavesas sobre la estructura. Los batefuegos y las mochilas extintoras se utilizarán como apoyo al ataque directo del frente.

Nunca se deberá perder la ruta de escape ni la comunicación con el jefe del grupo y el resto del equipo.

Se montará un tendido de mangueras que salga desde detrás de la bomba (para no dañarlo si hubiera que salir con urgencia) y dé una vuelta completa a la estructura (o más si están próximas), sin olvidar la capacidad de nuestra bomba y las reservas de agua. Si existe la posibilidad, se podría montar otro tendido dedicado solo a atacar los focos secundarios, y reservar otro para maniobras de autoprotección (garantizando una reserva de agua suficiente, unos 1.000 l, para ese cometido).



Los tendidos a montar serán los siguientes:

Tabla 6. Características de los tendidos en función de su cometido

| TENDIDOS | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------|---|
| Salida | Salida en baja presión, mínimo 5 bar–máximo 12 bar |
| Ataque | Hasta 3 tramos de Ø25–Resto del tendido Ø45+bifurcación |
| Ataque opcional | Hasta 3 tramos de Ø25 desde bifurcación |
| Autoprotección | Ø45 +bifurcación+Ø25 |

Los tendidos deberán quedar llenos antes de que la bomba abandone la zona (por relevo, para repostar agua, etc.). En caso de que se tengan que montar sobre combustible, se deberán refrescar lo antes posible o cubrirlo (dependiendo del personal disponible).

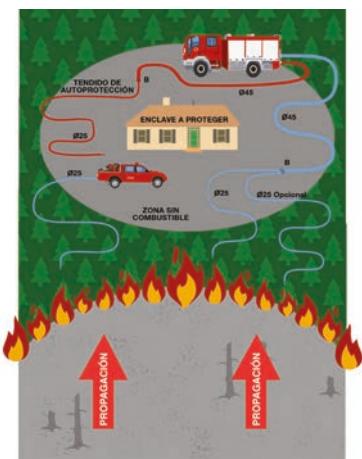


Imagen 41. Protocolo incendios

El uso del fuego ha de ser controlado, manejado por personal experimentado y autorizado por el director de extinción, medidas estrechamente justificadas por la seguridad del personal. En estos casos es aún más importante la coordinación y la comunicación permanente con instrucciones claras y actualizadas.

Su uso está muy condicionado por las condiciones del incendio y las circunstancias del entorno, y está indicado cuando no se puede esperar a que el frente alcance la línea de control (como ocurre cuando hay que evacuar y la ruta de escape está en peligro), o cuando no se sabe si esta línea va a detener su avance o cuando la intensidad del incendio hace prever con seguridad que afectará a la estructura amenazada.

El mejor momento y lugar para encender un fuego de extinción es pendiente arriba y con el viento a favor, pero siempre se considera primero aquella circunstancia que más efectiva pueda resultar.

Existen dos técnicas en las que se utiliza el fuego, quema de ensanche y contrafuego.

En la quema de ensanche se usa el fuego en una línea de defensa paralela al borde del incendio y a suficiente distancia de él para poder trabajar con seguridad. Esta línea, en ocasiones, puede ser un camino, un cortafuegos, etc. Busca quemar el combustible entre esa línea y

el frente de llamas, y cuando se considere que esta franja es lo suficientemente ancha para frenar el incendio, podrá apagarse.

En la quema a contrafuego se usa el fuego en una línea de defensa más ancha al contar con combustible más pesado y de mayor altura. Lo que se busca es consumir este combustible y cambiar el comportamiento del incendio, aprovechando la capacidad y la fuerza de la succión generada por la columna de convección del frente principal. La intención es llegar a cambiar la dirección, intensidad o velocidad del incendio para poder actuar contra él en mejores condiciones o directamente para detener su avance.

No se usará el fuego:

- Si se duda de su control posterior (comprometiendo la seguridad de personas y medios).
- Si no se dispone de personal capacitado para manejarlo.
- Si no se puede saber si todo el mundo ha sido informado (la comunicación es deficitaria).
- Si ese mismo fuego puede afectar a otras estructuras próximas.
- Si las condiciones climáticas o el relieve lo desaconsejan.
- Si no se cuenta con líneas de control establecidas.
- Si se creé que es mejor esperar otra oportunidad con mayores posibilidades de éxito.

Si sopla el viento en contra del incendio que viene pendiente abajo, se esperará junto a la línea de control allí donde se estime que va a llegar antes el frente, y se prenderá justo al borde de la línea de control. Se vigilará esa línea a ambas partes, y se controlará su avance y los focos secundarios.

El fuego puede encenderse en bandas o en anillo. En el primer caso se van encendiendo franjas de terreno de anchura variable en función del combustible a quemar, de las dimensiones de la llama y de la velocidad de propagación. En general, cuanto mayor sea la intensidad, más estrechas deben ser las bandas.

En el segundo caso es más habitual en acciones de contrafuego. El anillo se ubica alrededor de la estructura a proteger y se deja que el fuego encendido avance hasta el frente principal, lo que es muy arriesgado, ya que la zona segura queda dentro del anillo.

2.4. MANIOBRA DE AUTOPROTECCIÓN

Se realiza cuando el incendio evoluciona de manera inesperada y se ponen en peligro las rutas de escape. Es una maniobra defensiva cuyo objetivo es salvaguardar la integridad del personal, y solo se realiza en casos extremos, en incendios intensos con combustible abundante y condiciones atmosféricas especiales.

Para llevarla a cabo se necesita contar con una autobomba con, al menos, 1.000 litros de agua, la cual se usa como pantalla frente al calor y las llamas generada por pantallas de agua pulverizada que absorban el mayor calor posible.

En estos casos, el personal, además de uniforme U2, ha de contar con el ERA. La autobomba se situará en paralelo frente a las llamas, y el todo terreno *pickup* tras ella en perpendicular. Los bomberos estarán situados entre la autobomba y el *pickup* con tendido de autoprotección en cono abierto.

Se usará un acortinador para cubrir por delante el ancho de la bomba (justo cuando llegue el frente), y el conjunto se cubrirá con el tendido de autoprotección. Asimismo, se señalizará la posición con botes de humo para posibilitar la acción de los medios aéreos. También se podrá valorar el inicio de un contrafuego.

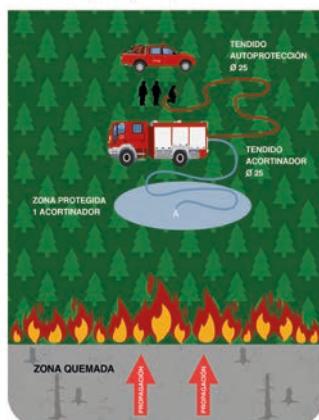


Imagen 42. Maniobra de autoprotección

Tabla 6. Características de los tendidos en función de su cometido

| TENDIDOS | CARACTERÍSTICAS |
|----------------|--|
| Salida | Salida en alta presión, mínimo 8 bar–máximo 12 bar |
| Acortinador | Salida en alta presión + reducción 25/45 + bifurcación 45/25 + manguera de 25 mm de diámetro (Ø25) |
| Autoprotección | Salida en alta presión + reducción 25/45 + bifurcación 45/25 + manguera de 25 mm de diámetro (Ø25) |
| Pronto socorro | Se deja dispuesto para utilizar en la zona de bomba |

3. OTROS MEDIOS Y TÉCNICAS EN LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

3.1. MEDIOS AÉREOS

Los medios aéreos son altamente efectivos en combinación con medios terrestres, y son habituales en incendios de vegetación, pero menos en incendios de interfaz. Es esencial asegurar la coordinación entre los medios aéreos y los terrestres, así como el lugar y el momento en que se produzcan las descargas.

Estos medios pueden ver limitada su actuación por la irregularidad del relieve, por las condiciones meteorológicas (con vientos de más de 3540 km/h), por la falta de visibilidad (por los humos o por la hora del día), por la presencia de cables aéreos y por la dificultad de ver a los medios terrestres que pueden estar bajo arbolado.

Los medios aéreos utilizados son los aviones y los helicópteros.

3.1.1. AVIONES

Antes de decidir su uso hemos de conocer su perfil como medio de extinción. Lo que más importa es su capacidad de carga, su tiempo de respuesta, su frecuencia y tipo de descarga, su distancia al objetivo y la posibilidad de incorporar espumas y retardantes. Además, se debe contar con un avión de coordinación que realice el reconocimiento de la zona, localice los puntos a atacar y otros puntos críticos, identifique estructuras, zonas de repostaje, zonas seguras..., se coordine con el resto de medios aéreos y transmita las órdenes.



Imagen 43. Avión CL 215

En zonas habitadas, estos medios tienen que tener más cuidado. Por ejemplo, las descargas se deben realizar con espumas o retardantes sobre la zona entre el frente y la estructura a proteger con el fin de ayudar al ataque de los medios terrestres.



Imagen 44. Avión Air Tractor 802

Los modelos más habituales en España son el CL-215 y los Air Tractor 502, 503 y 802 A.



3.1.2. HELICÓPTEROS

Al igual que con los aviones, antes de decidir el uso del helicóptero se ha de conocer su perfil como medio de extinción (función –coordinación, transporte o descarga, capacidad de descarga, tiempo de respuesta, frecuencia de descarga, cercanía de su base y disponibilidad).



Imagen 45. Helicóptero Bell 212

Los helicópteros tienen mayor precisión en las descargas, y los de mayor capacidad de descarga suelen ser más efectivos contra el avance del incendio, aunque los de menos capacidad tienen mayor precisión, muy útiles sobre lenguas, focos secundarios o en emergencias sobre medios terrestres. En todo caso, su efectividad depende de las decisiones de los mandos aéreos y de la coordinación con los medios terrestres.



Imagen 46. Helicóptero Sokol A3

Los helicópteros pueden incorporar el llamado **helibalde**, un depósito flexible externo que se acopla a un gancho de carga del helicóptero, o bien un **depósito rígido**, adaptado interna o externamente (más habituales estos últimos, llamados también depósitos ventrales) a la estructura del helicóptero, cuya carga se lleva a cabo a través de una manga de 3-4 m que incorpora una bomba de succión. También pueden llevar un **depósito rígido colgado** del gancho de carga.

Los modelos más habituales en España son los Bell (Bell 47, 204, 205, 206, 212 y 241), Alquet EIII, Ecureuli, BK 117 y Sokol.

3.1.3. SEGURIDAD PERSONAL ANTES LAS DESCARGAS AÉREAS

El agua lanzada desde cierta altura puede dañar a una persona que la recibe en tierra por el impacto del mismo fluido o por las proyecciones de vegetación o de las estructuras próximas. Por ello, los equipos terrestres deben alejarse de estas zonas de descarga y, si no es posible, se tumbarán boca abajo en el suelo, con el casco ajustado y en la dirección de entrada del medio aéreo. Se mantendrá la herramienta alejada del cuerpo y firmemente sujetada.

Si se encuentra alguna barrera o defensa firme, hay que ubicarse detrás para usarla de parapeto. Asimismo, conviene alejarse de zonas de caída (barrancos, simas, pozos...).

Se tendrá en cuenta que las corrientes de aire generadas por el medio aéreo pueden atizar y acelerar los focos secundarios o hacer aparecer otros nuevos en lugares ocultos.

3.2. MAQUINARIA PESADA

La maquinaria pesada es muy efectiva en los incendios de vegetación y de interfaz. No se pueden utilizar en un ataque directo, pero sí en labores de protección y defensa antes de que llegue el frente como, por ejemplo, abrir cortafuegos o rutas de acceso y escape, limpiar zonas de seguridad, crear zonas de aterrizaje, mover combustible pesado, etc.

Con maquinaria pesada nos referimos a bulldozers, tiltdozers, retroexcavadoras, apisonadoras, etc. A mayor tamaño, menos potencia pero más maniobrabilidad en frentes pequeños o focos secundarios.

Su uso se ve limitado por la lentitud en su traslado a la zona del siniestro y por la posible existencia de obstáculos naturales u otros elementos que puedan entorpecer o impedir su trabajo, como líneas eléctricas, conducciones de gas, etc.

El personal que trabaja junto a la maquinaria debe conocer cuál es su tarea y su objetivo, así como extremar las medidas de seguridad: distancia segura, no trabajar por debajo de ella en pendientes y mantenerse en comunicación con el operario que la maneja.

3.3. RETARDANTES

Los retardantes son aditivos que se mezclan con el agua y mejoran la capacidad para extinguir el incendio. Pueden ser de corto o de largo efecto.

3.3.1. RETARDANTES DE CORTO EFECTO

Su utilidad se limita a la presencia del agua, y se pierde cuando esta se evapora. Pueden ser **espumantes** y **viscosantes**.

- **Espumantes**

Retienen el aire en forma de burbuja dentro del líquido espumante. La espuma se produce utilizando lanzas especiales o bien en la misma descarga si se usan medios aéreos. Frente a vegetación se usan espumas de media expansión para fuegos de clase A (combustibles sólidos), cuyas burbujas se adhieren al combustible sólido cediéndole su humedad (el agua contenida en ellas) y actuando de barrera para el oxígeno. El espumógeno se dosifica en el agua al 0,1%-1%.

Hay tres tipos de espumas:

- **Espumas húmedas:** son fluidas y tienen buena adherencia y penetración, pero también se consumen rápidamente (5-10 min). Son efectivas contra combustibles finos y compactos para crear líneas de defensa húmedas y en la liquidación del incendio. Se aplican frente al combustible que arde (justo antes de que llegue el frente) con una anchura que triplica la longitud de llama. Se utilizan en ataque directo sobre combustibles ligeros, en incendios sobre combustibles compactos (matorrales densos o arbolado) y en la fase de liquidación de incendio.
- **Espumas fluidas:** son fluidas y de efecto más prolongado que las anteriores (2030 min) son efectivas sobre combustibles finos y como aislante sobre combustibles aéreos (copas, ramas...). En combustibles pesados retrasa el punto de ignición. Se utilizan para reforzar las líneas de defensa o las operaciones de contrafuegos y quemas de ensanche.
- **Espumas secas:** se adhieren muy bien y por eso son excelentes aislantes. Penetran menos en el combustible, pero permanecen más tiempo (45-60 min). Se utilizan para aislar partes de estructuras (tejados) o combustibles muy inflamables (depósitos).

En **ataques directos** se dosificarán al 0,3%, como espuma húmeda, para conservar los efectos del agua sobre el combustible, y se aplicará tanto al fuego como a combustibles no quemados para que sirvan de barrera.

En **ataque indirecto** se dosificarán al 0,5%. Se utilizarán creando barreras de espuma en acciones de contrafuegos y quemas de ensanche, como mínimo a 2 m de la persona que lleva a cabo el encendido duplicando en su anchura la longitud de las llamas previstas. También se usará sobre árboles, infraestructuras de madera, apilamientos de maderas... pero muy saturada para incrementar su capacidad de adherencia.

El espesor de la capa de espuma usada ha de ser, en todas las superficies, de al menos 1,5 cm aproximadamente.

Para usar las espumas en la defensa de estructuras, se empieza a aplicar por el tejado y se cubre toda la estructura; después se adhiere a los muros y llega hasta el combustible adyacente. Primero se aplican las espumas húmedas para que penetren mejor, y después se aplican espumas fluidas o secas para aislar mejor la estructura.

Debe aplicarse justo antes de la llegada del frente, y si se tiene tiempo y material, se pueden aplicar dos o más capas.

Para usar las espumas en operaciones de liquidación, se aplican inmediatamente después de controlar las llamas y antes de que se queme el suelo para reducir las posibilidades de reignición y eliminar el humo. Se aplica desde el borde hacia el centro de la zona quemada. Con la aplicación de espumas se abrevian considerablemente las operaciones de liquidación.

La espuma es más efectiva en las capas de poco espesor de combustible, aunque superficialmente haya sido quemado, ya que lo enfriá y lo aísla del oxígeno. En capas más gruesas es adecuado hacer una primera aplicación de espuma húmeda y después otra de espuma seca. La aplicación se extenderá más allá del perímetro de liquidación para aislarla mejor, y se aplicarán espumas en zona verde para prevenir reproducciones.

Hay que estar atentos a las bolsas de combustión profundas, identificadas por no presentar espuma en su superficie y emitir columnas de vapor.

- **Viscosantes**

Son productos orgánicos (gomas y mucílagos) destinados a incrementar la viscosidad del agua, aunque su efecto es de corto plazo. Se utilizan mucho en las descargas aéreas para evitar la dispersión del agua y favorecer la impregnación de los combustibles. Se dosifican al 0,5%.

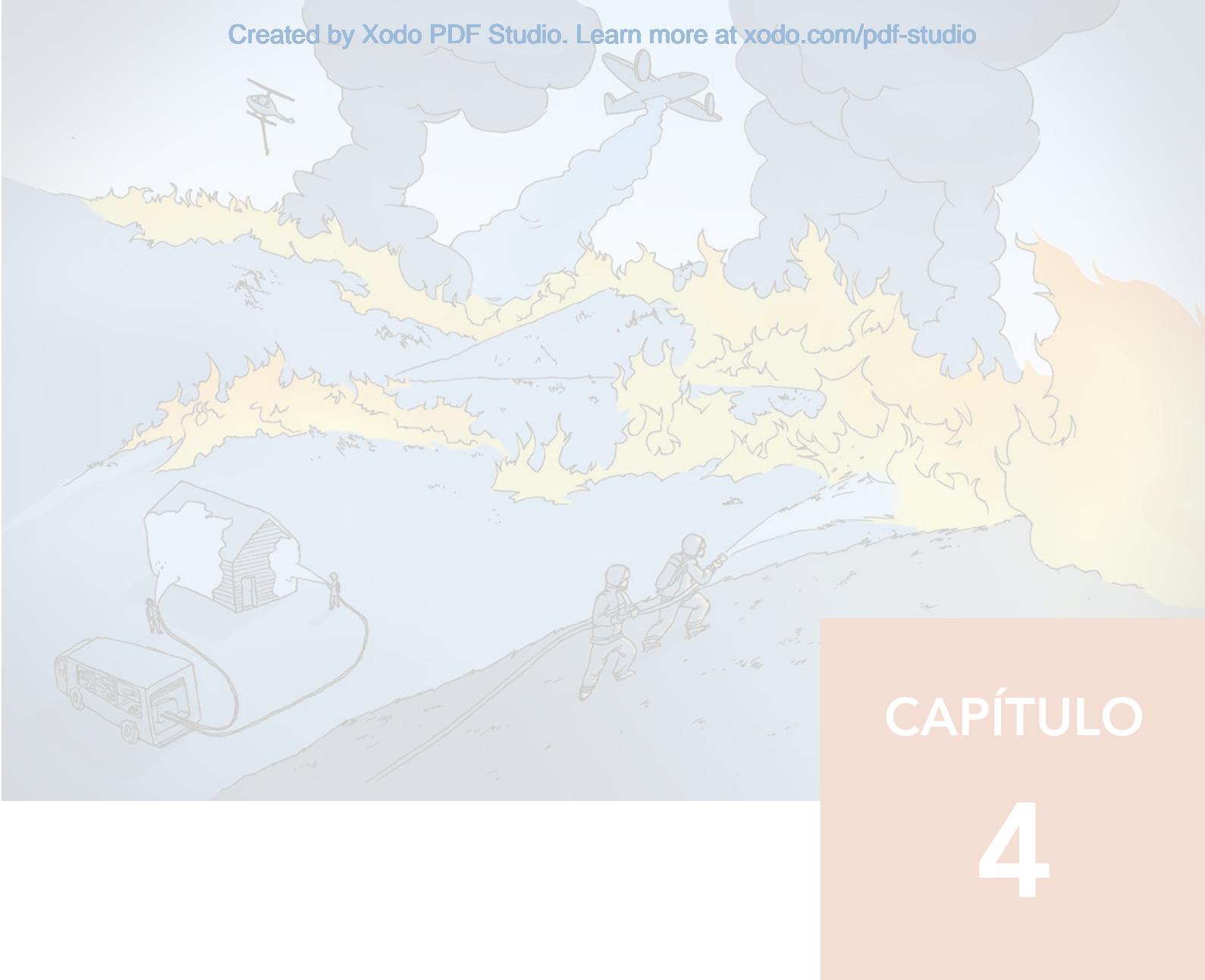
3.3.2. RETARDANTES DE LARGO EFECTO

Son sales armónicas como sulfatos, fosfatos o polifosfatos, que siguen actuando cuando el agua se evapora, por lo que actúan a largo plazo. Se dosifican al 20% y, además, se añaden a la mezcla viscoantes, colorantes (óxido de hierro, color rojo) para señalar el área de la descarga e inhibidor de corrosión (sódico y ferrocianuro potásico) para minimizar el efecto corrosivo de los retardantes.

Los retardantes permiten ahorrar un tercio del transporte respecto a transportar agua sola.



Imagen 47. Defensa de estructuras



CAPÍTULO

4

Tácticas de intervención



La táctica a seguir frente a un incendio es muy variable porque depende de muchos factores, pero se haga lo que se haga hay que centrarse en tres objetivos: controlar el incendio, proteger las propiedades y recursos naturales y mantener a salvo a las personas que intervienen o que se pueden ver afectadas por el siniestro.

1. OBJETIVOS, ESTRATEGIAS Y TÁCTICAS

1.1. OBJETIVOS

El objetivo es la finalidad de una intervención, es decir, para qué se va a actuar y qué resultados se quieren conseguir condicionados por las circunstancias del momento (condiciones, medios, riesgos, etc.). Este objetivo ha de ser concreto, entendido y compartido por todos, pero también alcanzable (criterio que variará en cada caso según medios, plazo y condiciones), medible (para saber cuándo lo hemos alcanzado) y flexible (para poder buscar alternativas si las circunstancias cambian).

A partir de la identificación del objetivo, se podrán planificar los pasos para alcanzarlo.

1.2. ESTRATEGIA

Es el plan general a seguir para alcanzar los objetivos, es decir, lo que se va a hacer. Ello debe ser fruto de una evaluación previa de los factores que condicionan la situación: tiempo disponible, gravedad de la situación, medios disponibles, etc. Puede tratarse de una intervención de emergencia o un abordaje más amplio y progresivo, pero siempre puede verse modificada por el cambio de circunstancias. Por ello, una estrategia ha de ser flexible y adaptable.

La estrategia, como los objetivos, debe ser clara, concreta y escueta con el fin de que todos la entiendan de la misma manera, la recuerden y sea fácil de comunicar. Ha de tener como prioridad la seguridad de las personas y, como segunda condición, la máxima efectividad con los medios disponibles.

La estrategia se puede definir estableciendo unas líneas de control que contengan al incendio. Se identifica la ubicación del incendio y la dirección y velocidad del viento. A partir de ahí, se establece un objetivo de contención respecto a ciertas estructuras (casas, autopistas...) y a ciertas líneas imaginarias (o reales, como caminos, ríos, etc.) que limita el avance hacia otras direcciones (sur y oeste) y otras distancias.

1.3. TÁCTICAS

Las tácticas son las acciones a través de las cuales se da cumplimiento a la estrategia. Responde a cómo lo vamos a hacer considerando siempre los medios disponibles, las alternativas de actuación, los recursos idóneos para cada acción, etc. y, por supuesto, las condiciones que impone el entorno y el propio incendio. Se debe ser flexible para poder cambiar de táctica si el desarrollo de los acontecimientos lo exige (evolución inesperada del incendio, accidentes imprevistos, acciones ineficaces que hay que modificar, etc.).

1.3.1. TÁCTICAS PARA LA DEFENSA DE ESTRUCTURAS

Las tácticas de defensa de estructuras se centran en las zonas anexas a la propia estructura más que en ella misma, y cobran mucha importancia las acciones que preceden a la llegada del frente. Estas tácticas pueden ser de carácter:

- **Ofensivo:** los medios atacan el fuego directamente, y se utilizan cuando tenemos recursos y tiempo suficientes y las condiciones del incendio no son virulentas (sin focos secundarios, poca altura, perímetro regular, etc.)



Imagen 48. Táctica ofensiva

- **Defensivo:** se orienta primero a proteger las estructuras defendibles y después a atacar el frente de llamas. Se usa con medios limitados a la espera de refuerzos. En todo caso, la prioridad sigue siendo la seguridad de las personas.



Imagen 49. Táctica defensiva

- **Ofensivo-defensivo:** se combinan acciones ofensivas y defensivas (atacar el frente y proteger la estructura). Se mantendrán las dos acciones o se dará prioridad a una de ellas según evolucione la situación. Exige contar con medios suficientes especializados en las dos funciones, y todos centrados en su respectiva actuación.



Imagen 50. Táctica ofensiva-defensiva

1.3.2. TÁCTICAS DE CONTENCIÓN DEL FUEGO ANTE LA LLEGADA DEL FRENTES

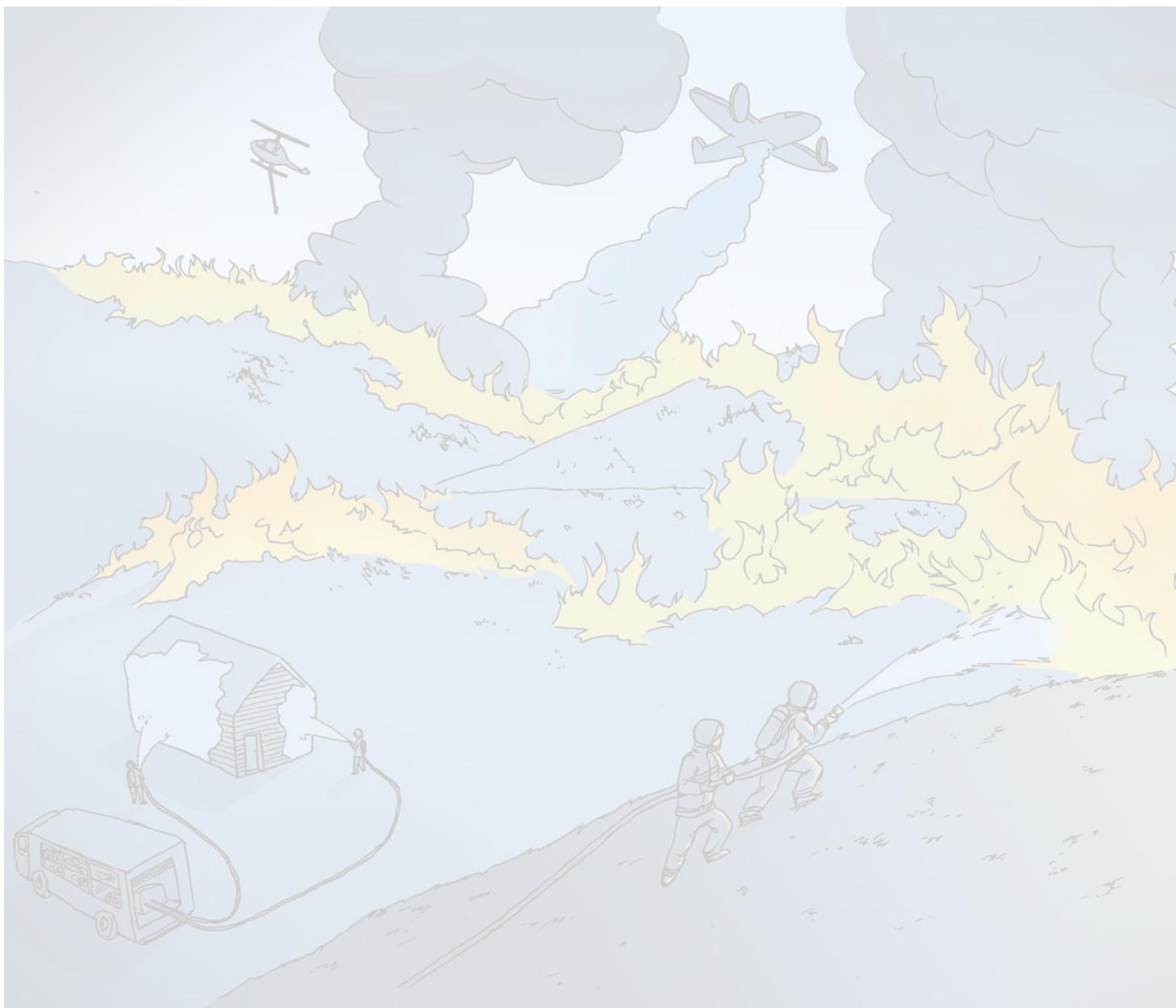
Se habla de tres tácticas de contención del frente que amenaza estructuras:

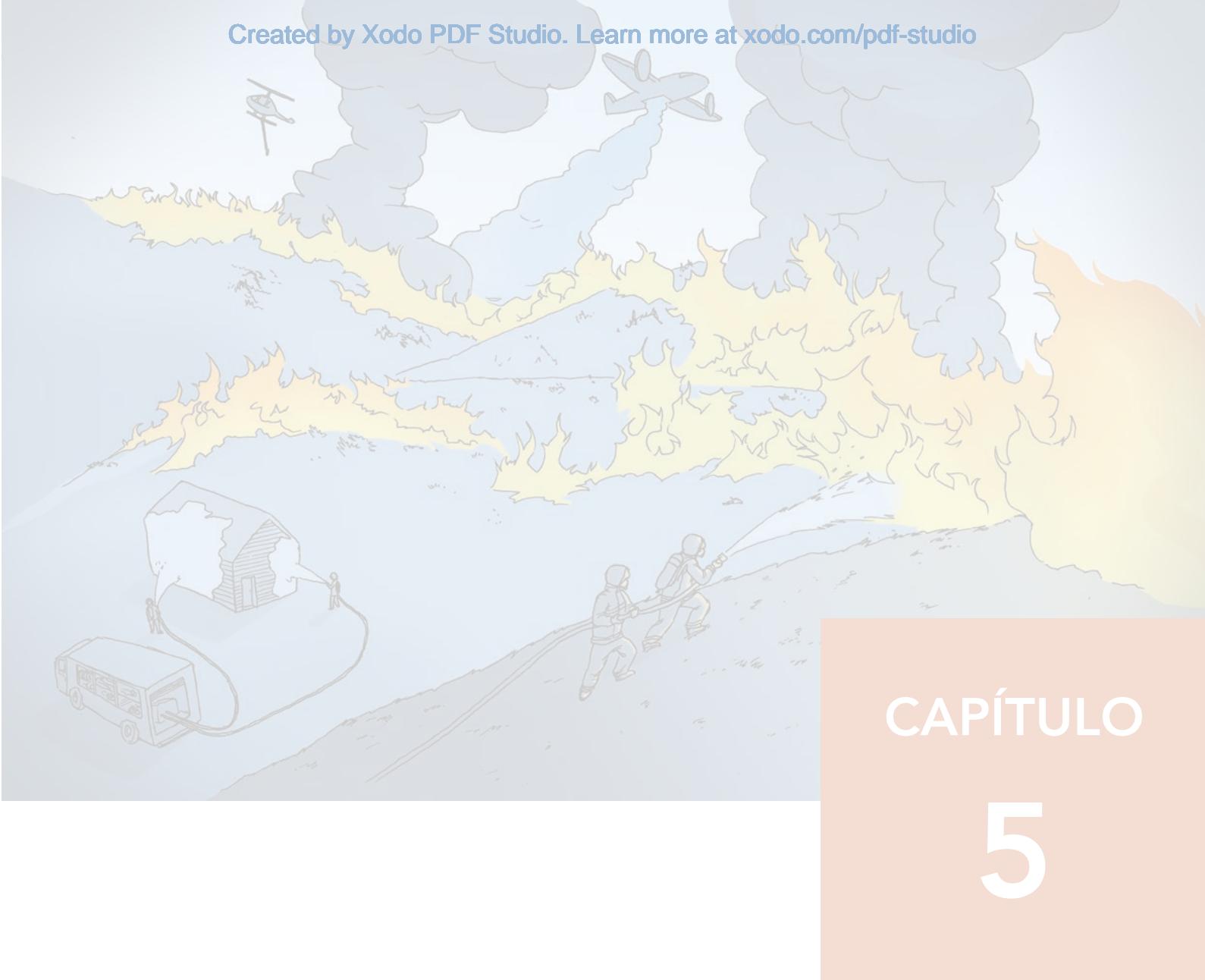
- **Contención completa:** control antes de que afecte a la estructura, lo que es posible en entornos de combustibles finos y baja intensidad del incendio. Para ello, y desde el borde de la estructura, se atacará el frente con agua o combinando esta con retardantes. En casos de mayor virulencia se pueden realizar quemadas de ensanche.
- **Contención parcial:** ante intensidad alta de las llamas, se atacarán directamente con agua, contando con la suficiente reserva; si no hubiera suficiente, se reservaría para proteger la estructura. Nos apoyaremos en las líneas de control existentes para atacar las llamas con uno de nuestros tendidos.

Se guarda agua para objetivos de autoprotección y se aguanta en la zona de seguridad hasta que el frente haya pasado. Después, se protege la estructura de pavesas y focos secundarios en la misma estructura o en las proximidades (¡ojo!, si el tejado ha sido afectado en más de un cuarto de superficie, el uso del agua es ineficaz y se debe dar por perdido).

- **Contención imposible:** solo se puede esperar en la zona segura a que pase el frente una vez aplicada abundante agua y espuma sobre la estructura, si se dispone de tiempo para hacerlo. Tras ello, se vuelve a la estructura a evaluar los daños: si aún es salvable, se rebaja su temperatura con agua y se apagan posibles focos de ignición en ella o en las proximidades.

Si se dispone de tiempo, agua abundante y espumantes, antes de ir a zona segura, se aplicarán sobre la estructura para tratar de que se vea afectada lo menos posible.





CAPÍTULO

5

Casos prácticos y ejemplos



1. INCENDIO DE PASTO BAJO EN UNA ZONA SIN DESNIVEL PRONUNCIADO

a) Dotación:

- Un vehículo todo terreno *pickup* (TT *pickup**) con dos bomberos.
- Una BRP*.
- Cuatro bomberos.
- Un mando.

b) Valoración:

Al llegar a la zona de incendio, el mando comunica con sus superiores el estado del incendio y decide si puede afrontarlo con los medios de los que se dispone.

Hace un reconocimiento del terreno valorando las vías de escape hacia una zona segura, y la dirección y velocidad que lleva el fuego.

c) Intervención

El mando dispone que:

- Un primer equipo de intervención en un vehículo todo terreno *pickup* (TT *pickup*) equipado con bomba de agua y lanza de alta presión, irá barriendo el frente de llamas desde el extremo del flanco a una velocidad que permita al bombero/s que van junto al vehículo extinguir el fuego.
- El resto de bomberos irá rematando la labor del TT *pickup* con una mochila extintora o bate fuegos. El mando sigue constantemente la evolución de la operación.
- Mientras el conductor de la BRP espera estacionado cerca en un lugar seguro y con ruta de salida rápida, vigilará si hubiera un cambio de dirección de la propagación del incendio hacia la bomba.
- Una vez asegurada la extinción del incendio, se recoge todo el material y se comunica a los mandos superiores la vuelta al parque de bomberos.
- Una vez allí, se revisa y limpia el material utilizado y se recargan los depósitos de agua y combustible.

2. PROTECCIÓN DE NÚCLEO URBANO EN INCENDIO DE INTERFAZ

a) Dotación:

- Una BRP con cuatro bomberos.
- Una BR* con dos bomberos.
- Un TT *pickup* con dos bomberos.

b) Planteamiento:

Dentro de un GIFT*, se le asigna a esta dotación la protección de un núcleo de viviendas defendibles que se encuentra en la cara sur de un cerro.

El incendio se desarrolla por la cara norte. El cerro cuenta con un cortafuegos que sigue su cresta.

Combustible: matorral arbóreo denso con algunos pinos aislados.

c) Valoración:

- La zona ha sido evacuada.
- Prioridades: defensa de las estructuras y establecimiento de las rutas de escape y la zona segura.
- Táctica: defensiva de contención completa.
- Técnica: ataque indirecto mediante quema de ensanche.

d) Intervención:

- La dotación colocará la BRP y el TT *pickup* en el camino superior, de tal manera que quede cubierta la totalidad de las estructuras a proteger.
- La BRL se mantendrá a la espera por las zonas inferiores por si hiciera falta que actuase en las inmediaciones de las viviendas o como apoyo del resto de la dotación.
- La quema de ensanche se realizará mediante la antorcha de goteo. Se irá progresando por zonas, empezando por la parte izquierda.
- Cada uno de los vehículos controlará una de las zonas de la quema mediante tendido mangueras.
- Una vez que la anchura total entre el camino y la cresta se haya quemado, se esperará en el camino a que el frente llegue a la cima y se evitará si fuera necesario su propagación con tendidos de mangueras.
- Controlado el frente de llamas, se procederá a liquidar el perímetro refrescando los puntos calientes.

3. PROTECCIÓN DE ENCLAVE AISLADO

a) Dotación:

- Una BRP con cuatro bomberos y TT-*pickup* con dos bomberos.

b) Planteamiento:

- Combustible: matorral ligero, pasto y arboles aislados.

c) Valoración:

Al llegar a la zona de incendio, el mando comunica con sus superiores el estado del incendio y decide si puede afrontarlo con los medios de los que dispone.

Hace un reconocimiento del terreno, y valora las vías de escape hacia zona segura y la dirección y velocidad que lleva el fuego.

d) Intervención:

- El mando dispone desplazar o eliminar la mayor cantidad posible de combustible mayoritariamente fino, y desramar los combustibles más gruesos (arbolado) que se encuentran alrededor de la vivienda o estructura en un radio de treinta metros. También se limpia el tejado de ramas y hojas secas.
- Se comprueba que todas las puertas, ventanas, entradas de aire y chimenea de la casa están cerradas.
- La vivienda cuenta con una piscina de grandes proporciones, por lo que el mando decide abastecerse de ella con una motobomba que carga directamente a la BRP y se procede a humedecer tanto la zona limpia de combustibles alrededor de la estructura como la propia casa haciendo hincapié en el tejado.
- Además dejan montada una línea con un Propack* para rociar con espuma las partes de la vivienda más expuestas al frente de llamas.
- La BRP se ha posicionado detrás de la casa en dirección hacia la ruta de salida rápida y, además de dos tendidos de ataque, cuenta con otro que se queda detrás de la casa para autoprotección en caso necesario.
- El TT *pickup* se sitúa al frente en la zona limpia de combustible.
- A la llegada del frente se hace un ataque directo con los tendidos de la BRP y el TT *pickup* siempre está alerta por si aparecen focos secundarios.
- Una vez asegurada la extinción del incendio, se recoge todo el material y se comunica a los mandos superiores la vuelta al parque de bomberos.
- En el parque, se revisa y limpia el material utilizado y se recargan los depósitos de agua y combustible.

4. INCENDIO DE SUBSUELO CAUSADO POR UN RAYO

a) Dotación:

- Una BRP con cuatro bomberos

b) Valoración:

La dotación llega a la zona afectada y comprueba que el incendio está sectorizado alrededor de un árbol que ha recibido el impacto de un rayo.

No existe peligro de propagación a la maleza que hay alrededor.

c) Intervención:

- El mando comprueba con la cámara térmica las zonas con mayor temperatura en el árbol y en el suelo, tanto el que humea como el que no.
- Se procede a escavar con herramienta manual (pálin, McLeod, hazada, pulaski) las zonas que mayor calor presentan y, después, se humedecen hasta conseguir eliminar la temperatura. Además, se cortan las raíces más gruesas que estén afectadas por combustión latente y se apartan para refrescarlas hasta su extinción.
- También se limpia la zona de combustible fino y medio para evitar una posible reñición.
- Una vez asegurada la extinción del incendio, se recoge todo el material y se comunica a los mandos superiores la vuelta al parque de bomberos.
- Una vez allí, se revisa y limpia el material utilizado y se recargan los depósitos de agua y combustible.

5. INCENDIO EN MEDIA LADERA

a) Dotación:

- Una BRP con seis bomberos.
- Una BRL con dos bomberos.

Combustible: robledal joven no muy denso mezclado con distintos arbustos

b) Valoración:

El incendio se desarrolla por una ladera de imposible acceso para los vehículos tanto por la pendiente como por la vegetación.

Hay ausencia de viento, pero por la configuración del terreno, el fuego se dirige hacia el lado derecho de la pendiente. Además, el incendio se desarrolla a una velocidad asumible por la dotación.

c) Intervención:

- La BRP se posiciona en el camino cerca del flanco derecho y la BRL cerca del flanco izquierdo. Se deciden montar dos tendidos desde ambas bombas, desde el camino de abajo hacia arriba.
- El tendido que sale de la BRP irá progresando por el flanco derecho ascendiendo con dos líneas. Una primera línea, compuesta por tres bomberos, irá más rápido por delante. Con el objetivo de bajar las calorías del incendio y cortar la propagación. Una segunda línea, integrada por dos bomberos, ascenderá con más calma, y seguirá a la primera línea para rematar el flanco.



- Para la colocación de las mangueras, en un principio se empalmaran cinco tramos desde la bomba y se irá ascendiendo con ellas. Una vez que el manga je montado esté totalmente extendido a lo largo del flanco y se necesiten más mangueras, se subirán en rollos y se irán añadiendo en el último tramo, en el racor donde se encuentra la lanza, sin cortar la presión haciendo un cizallamiento* con las manos cerca del racor que se quiere empalmar.
- Desde el BRL, se sacará otro tendido con dos líneas. La primera con un bombero, rematará los rescoldos del incendio que están cerca de la ubicación de los vehículos y luego se quedará vigilando por sí el fue go pudiera reiniciarse en la zona de abajo y como tendido de rescate. La otra línea con dos bomberos, irá ascendiendo por el flanco izquierdo rematando el perímetro.
- Una vez extinguido el incendio y rematado el perímetro, se vaciarán las mangueras y se plegarán en forma de ocho, ya que este es el método más efectivo y cómodo para transportarlas en el terreno y vegetación en que se está.
- Se comunica a los mandos superiores la vuelta al parque de bomberos.
- Una vez allí, se revisa y limpia el material utilizado y se recargan los depósitos de agua y combustible.



6. EJEMPLO 1. TRIAJE DE ESTRUCTURAS EN UN INCENDIO DE INTERFAZ (DUCE, 2013)

| | |
|--|---|
| INCENDIO: _____ | • MUNICIPIO: _____ |
| LOCALIZACIÓN (UTM/GEOG): _____ | • HABITADA: SÍ / NO CERRADA: SÍ / NO |
| PROPIETARIO: _____ | • TELÉFONO: _____ |
| TOPOGRAFÍA (pendiente %) | <20%=1 20%-35%=3 >35%=5 |
| TIPO DE COMBUSTIBLE (carga alrededor de la estructura) | Ligera=1 Moderada=3 Densa=5 |
| SUPERFICIE DE DEFENSA (radio) | 50-30 m=1 30-70 m=3 0-10 m=5 <30%=1 |
| CARGA AÉREA (cobertura de copas alrededor) | 30%-70%=3 >70%=5 |
| TEJADO (material) | Poco inflamable=1 Inflamable/hojas/ramas=3 Muy inflamable=5 |
| PAREDES (material) | Poco inflamable=1 Inflamable/porche=3 Muy inflamable=5 |
| OTRAS VIVIENDAS (alrededor) | Según cantidad=1, 2, 3, 4... |
| ACCESOS (anchura pistas) | >5 m/volvederos/salida=1 3-5 m/volvederos/salida=3 <3 m/volvederos/salida=5 |
| CONDUCCIÓN SUMINISTROS (luz, agua, gas...) | Soterradas=1 Por aire=5 |
| TANQUES DE COMBUSTIBLE (gas, gasoleo) | Protegidos=1 Necesitan protección=5 |
| SISTEMAS DE PROTECCIÓN (riego, agua, estanques...) | Presencia de sistemas=1 Sin presencia de sistemas=5 |
| OTROS PELIGROS (coche, animales...) | Según cantidad=1, 2, 3, 4... |

CHOQUES:

LEYENDA:

0-15: FÁCIL DE PROTEGER
 16-32: DEFENDIBLE CON ACTUACIÓN
 >33: MUY DIFÍCIL DE PROTEGER

NOMBRE:

FIRMA:

FECHA:

**7. EJEMPLO 2. LISTA DE INFORMACIÓN EN UN TRIAJE DE ESTRUCTURAS (DUCE, 2013)****LOCALIZACIÓN**

| | | | |
|--------------|--|--------|--|
| Coordenadas: | | | |
| Dirección: | | Fecha: | |

| | | | |
|----------|--|----|----|
| Accesos: | <ul style="list-style-type: none">Desasgado estrecho. Mucha pendienteLímites de pesoÁrboles o ramas, líneas eléctricas en el suelo | Sí | No |
| Tejado: | <ul style="list-style-type: none">Afectado por las llamas | Sí | No |

EN CASO DE RESPUESTA AFIRMATIVA EN CUALQUIERA DE LOS DOS CASOS, REPLANTEAR LA SITUACIÓN Y REALIZAR EL TRIAJE:

| | | | |
|---------|--|--|--|
| Nombre: | | | |
| Medio: | | | |

| | | |
|---|----|----|
| Accesos: Calles sin salida, estrechas o callejones de monos de sesenta metros | Sí | No |
| Tejado: Material muy inflamable | Sí | No |
| Árboles: En contacto con estructura | Sí | No |
| Ramas y arbustos: A menos de diez metros de la estructura | Sí | No |
| Vehículos: Aparcados a menos de diez metros de la estructura | Sí | No |
| Pendiente: Más de un 20% alrededor de la estructura | Sí | No |
| Entrada / porche: De madera y sin estar en contacto con el suelo | Sí | No |
| Líneas eléctricas/gas: A menos de diez metros de la estructura | Sí | No |
| TOTAL | | |

| NÚMERO DE SÍES | | |
|----------------|--|------------------------------|
| 0-2 | | No necesita mucha defensa |
| 3-6 | | Defensa con precaución |
| 7-8 | | Poca probabilidad de defensa |

OBSERVACIONES:

8. EJEMPLO 3. PROTOCOLO N.º 2.4 DE INCENDIOS DE VEGETACIÓN. MOVILIZACIÓN DE MEDIOS BASÁNDOSE EN UNA CLASIFICACIÓN SEGÚN LA GRAVEDAD DEL SINIESTRO (CEIS DE GUADALAJARA)

| LEVE | | | | | | | | |
|---|---|--|----------|------------------|---------------------|---|--------------------|--|
| SITUACIÓN | MOVILIZACIONES CEIS GUADALAJARA | | | | | | | |
| Se dan las siguientes condiciones: | <p>Aviso al jefe de guardia (J0) en el momento de la salida:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Dotación</th> <th>Vehículos salida</th> <th>Personal movilizado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Primera salida (despacho automático)</td> <td>TT pickup + BRP</td> <td>Cabo jefe de dotación (CJD) + tres bomberos (3BB)</td> </tr> </tbody> </table> | | Dotación | Vehículos salida | Personal movilizado | Primera salida (despacho automático) | TT pickup + BRP | Cabo jefe de dotación (CJD) + tres bomberos (3BB) |
| Dotación | Vehículos salida | Personal movilizado | | | | | | |
| Primera salida (despacho automático) | TT pickup + BRP | Cabo jefe de dotación (CJD) + tres bomberos (3BB) | | | | | | |
| MOVILIZACIÓN APOYOS EXTERNOS | No se requieren apoyos externos en siniestro leves. | | | | | | | |

| MEDIO | | |
|--|--|--|
| SITUACIÓN | MOVILIZACIONES CEIS GUADALAJARA (prevalece Protocolo 0.2 TRENES DE SALIDA) | |
| Se dan las siguientes condiciones: | <p>Aviso a J0 en el momento de la salida.</p> <p>Salida parque zona operativa:</p> <p>TT pickup + BRP</p> <p>Salida de refuerzo interno (opcional y por orden de preferencia):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. BRP-R o TT pickup del parque 3.º con BB34-BB33 si existe dotación. 2. BRP + TT pickup del parque más próximo. | |
| MOVILIZACIÓN DE APOYOS EXTERNOS | <ol style="list-style-type: none"> 1. JCCM en todo caso, cualquier hora del día, cualquier época del año. 2. Servicio de extinción incendios forestales regional competente cuando se produzca en límite regional (Madrid, Aragón, Castilla-León) requerido a través de 112 CLM. 3. Medios aéreos dependientes del Ministerio de Medio Ambiente (Brigada de Refuerzo contra Incendios Forestales –BRIF–, helicópteros de gran carga, aviones carga en tierra, hidroaviones) requeridos a través de 112 CLM. | |

| GRAVE | | |
|-------------------------------------|--|--|
| SITUACIÓN | MOVILIZACIONES CEIS GUADALAJARA (prevalece Protocolo 0.2 TRENES DE SALIDA) | |
| Se dan las siguientes condiciones: | <p>Aviso y movilización de J0 en el momento de la salida.</p> <p>Aviso y movilización del oficial jefe de servicio (OJS) por J0 tras evaluar siniestro <i>in situ</i> para integración en el PMA.</p> <p>Salida del parque zona operativa:</p> <p>TT pickup+BRP.</p> <p>Salida de refuerzo interno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • BRP de refuerzo (BRP-R) o TT pickup del parque 3.º con bombero 4 del parque n.º 3, Parque de Azuqueca (BB34)+ bombero 3 del parque n.º 3 (BB33) si existe dotación. • BRP+TT pickup parque/s más próximo. | |
| MOVILIZACIÓN APOYOS EXTERNOS | <ol style="list-style-type: none"> 1. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM) en todo caso, cualquier hora del día, cualquier época del año. 2. Otros servicios regionales de extinción de incendios forestales (Madrid, Aragón, Castilla-León) requeridos desde el Puesto de Mando Avanzado (PMA). 3. Medios aéreos dependientes del Ministerio de Medio Ambiente requeridos desde el PMA. 4. Otros medios de la Administración Central (Unidad Militar de Emergencias –UME–) requeridos desde el PMA. | |



CONVIENE RECORDAR

- Para que un fuego se considere un **incendio** debe **extenderse sin control**. Los incendios de interfaz urbano forestal son los que se producen en zonas en las hay edificios en contacto o proximidad a espacios forestales. Conocer las características físicas de los incendios es imprescindible para describir y entender su comportamiento, y nos permite decidir cómo intervenir, planificarlo y determinar los medios de extinción necesarios.
- El **comportamiento y evolución** de un incendio de este tipo depende del tipo de combustible vegetal, la climatología y la topografía. La columna de humo de un incendio nos ofrece información sobre su comportamiento (meteorología y características intrínsecas) su intensidad (color del humo).
- Los principios que marcan la evolución de un incendio son:
 - la **conducción** (transmisión del calor entre sólidos mediante contacto)
 - la **radiación** (la transmisión del calor como ondas electromagnéticas a través del aire)
 - y la **convección** (transporte del calor por el aire expandido desde el foco calorífico).
- Estos principios determinan las características de un incendio, como la longitud de la llama, la intensidad lineal del fuego, la velocidad de propagación y el ambiente de fuego.
- La **situación de máximo riesgo** en un incendio forestal se da con una
 - temperatura $> 30^\circ$,
 - humedad relativa $< 30\%$
 - y velocidad del viento $> 30 \text{ km/h}$.

También son muy importantes los combustibles, que se clasifican, según la velocidad de propagación del fuego sobre ellos y la resistencia al control en bajos, medios, altos y extremo.

- El objetivo de **valorar un incendio** busca tomar decisiones para afrontarlo a partir del análisis riguroso y rápido de todos los elementos y variables que intervienen en él (incendios anteriores en la zona, relieve, climatología, combustible, hora, accesos y salidas, estructuras amenazadas, etc.).
- El **triaje de estructuras** consiste en la clasificación de las viviendas y estructuras amenazadas por un incendio en función del nivel de eficiencia y seguridad de su defensa y con el mínimo riesgo para bomberos. La decisión sobre su defensa depende de cómo sea, de qué esté hecha, dónde está, qué combustibles la amenazan, cómo evoluciona el incendio, con qué medios se cuenta y con qué seguridad contamos.
- Será importante considerar siempre los **riesgos asociados** a cualquier intervención ante incendios de interfaz urbano forestal, como los que provienen de una falta de información, de un déficit de comunicación, de una intervención inadecuada, por cambios en el clima o por causa del terreno. Para mayor seguridad deberemos adaptarnos al comportamiento del incendio en cada momento, atacarlo con decisión, transmitir la información con claridad, mantenernos tranquilos y alerta y apoyarnos en la fórmula OCEL (Observación, Comunicación, Escape y Lugar seguro).
- La **intervención** sobre un incendio pretende controlar su propagación y extinguirlo, protegiendo tanto a personas y bienes materiales y naturales. El ataque directo actúa directamente sobre la llama controlando el borde del incendio. El ataque indirecto ataca el perímetro circundante del incendio, estableciendo líneas de defensa.



CONVIENE RECORDAR

- Los **vehículos** se usan atacando el frente en movimiento, parados o a pie junto a ellos (con batefuegos y mochila extintora).

Los **equipos han de organizarse**, liderados por el jefe de la dotación, para desarrollar funciones específicas ante el incendio, como son la de punta de lanza y 3 apoyos dedicados a organizar la manguera, cortar el agua, hacer los empalmes, vigilar nuevos focos, etc.

El **tendido de mangueras** se puede hacer conectándolas directamente a la punta de lanza, en medio del tendido o en la misma autobomba, y su recogida se hace una vez desconectada la bomba y desde la punta de lanza hasta el vehículo, desconectando los racores según se retrocede y plegando los tramos de manera provisional o definitiva.

- La **protección de estructuras** se realiza estableciendo perímetros de protección para prevenir el alcance de las pavesas y el surgimiento de focos secundarios. Se previene primero la ignición limpiando de combustible la estructura y sus alrededores y después se atacan las llamas sobre combustibles finos, pesados o sobre la misma estructura
- Tras el control del frente del incendio se aborda la **liquidación de perímetros**, que busca que no se vuelva a reproducir un incendio, especialmente en ciertas zonas peligrosas (con mañanitas, troncos o combustibles pesados, con acumulación de materia orgánica, etc.).
- Los **objetivos** de nuestra intervención han de ser:
 - concretos
 - entendidos
 - compartidos
 - alcanzables
 - medibles
 - y flexibles.

La estrategia:

- clara
- concreta
- escueta
- flexible
- y adaptable

es el plan general a seguir para alcanzar los objetivos, y ha de ser fruto de la evaluación previa de los factores que condicionan la situación. Esta estrategia ha de incluir la **logística**, más importante cuanto más largas sean las intervenciones y más medios intervengan.

- Las **tácticas** son las acciones a través de las cuales se da cumplimiento a la estrategia. Las tácticas básicas en un incendio son las dirigidas a defender las estructuras:

- ofensivas,
- defensivas,
- y ofensivo-defensivas,

las de contención del fuego:

- completa,
- parcial,
- o imposible.

- También se puede usar el fuego para controlar aquellos incendios con quema de ensanche y contrafuego. Otros medios de ataque a los incendios son los medios aéreos, la maquinaria pesada o los retardantes.
- Los **principios** de cualquier intervención sobre un incendio son controlarlo, proteger las propiedades y recursos naturales y mantener a salvo a las personas que intervienen o que se pueden ver afectadas por el siniestro.

APÉNDICES

Glosario, bibliografía e imágenes



GLOSARIO

A **Acortinador**

Pieza que se acopla a una manguera y hace que el agua forme una barrera o cortina al salir en forma de semicírculo, y alcance varias medidas según el modelo y caudal aplicado.

D **Aparellaje**

Conjunto de dispositivos para el control de la electricidad.

G **Ataque ampliado**

Necesario cuando el incendio no ha podido ser controlado por los medios existentes con el pronto ataque.

J **Back-layering**

Retroceso de humos en sentido contrario al de la velocidad de viento dominante en el túnel.

L **BRL**

Bomba rural ligera.

M **BRP**

Bomba rural pesada

P **Carrozados**

Es el proceso de crear, construir y montar la carrocería de un vehículo para colocar de forma segura todas las mangueras, maquinas, herramientas, etc. que son necesarias en un servicio de bomberos

T **Cizallamiento**

Sistema en el que se dobla la manguera cerca del racor sobre ella misma, y la somete a una fuerza de compresión que no deja pasar el agua, de forma que se puede desconectar la lanza de ataque y añadir otro tramo de manguera.

V **Columna convectiva**

Columna compuesta por el humo y las pavesas generadas por un incendio.

W **Columna de convección**

Es la corriente ascendente de aire caliente y humo que se eleva desde el combustible en llamas http://combatientesdelfuego.blogspot.com.es/2010_02_01_archive.html

Combustibilidad

Que tiene la capacidad de arder.

Compacidad

Compacto

Conductividad térmica

Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor

Desecación

Eliminación de la humedad.

Endotérmica

Se denomina reacción endotérmica a cualquier reacción química que absorbe energía.

Fitomasa

Combustible vegetal http://www.revistafuturos.info/download/down_16/diccionario_amb.PDF

Fuerza de Coriolis

Efecto debido al movimiento rotacional de la tierra que se manifiesta en todo cuerpo en movimiento, de tal forma que lo desvía de su trayectoria recta. En el hemisferio norte, la desviación ocurre hacia la derecha de la dirección del cuerpo, mientras que en el hemisferio sur la desviación es hacia la izquierda.

Gayuba

También llamada uva de oso o rastrera. Es una especie de arbusto siempre verde que extiende sus ramas, tendidas por el suelo o colgantes, de hasta 1 o 2 m de largo, de corteza de color rojizo, fácil de desprender. De ellas brotan ramillas muy cortas, con las hojas amontonadas en un extremo, de color verde oscuro y lustrosas.

GIF

Grandes incendios forestales

Hidrantes

Es un dispositivo hidráulico de lucha contra incendios constituido esencialmente por un conjunto de válvulas y racores, conectado a la red de abastecimiento y destinado a suministrar agua en caso de incendio (<http://www.extintoreseivar.com/productos/21-poragua/23-hidratantes>).

Mucílagos

Es una sustancia vegetal viscosa, coagulable al alcohol. También es una solución acuosa espesa de una goma o dextrina utilizada para suspender sustancias insolubles y para aumentar la viscosidad. Los mucílagos son análogos a las gomas por su composición y sus propiedades. Con el agua dan disoluciones viscósas o se hinchan en ellas para formar una pseudodisolución gelatinosa.

Perimetración:

Recorrer el contorno de un incendio mientras se va extinguiendo.

Pronto-ataque

Ataque inicial de los primeros medios en llegar al incendio.

Propack

Es una unidad portátil de producción de espuma multiexpansión.

Racores

Es una pieza metálica para conectar las mangueras utilizadas para apagar incendios por los bomberos. En España están normalizadas bajo la UNE 23400.

Radio de esparcimiento

Diámetro afectado mientras se está desarrollando el incendio.

Roquedos

Xona o conjunto de rocas..

Rugosidad

Se refiere a los distintos accidentes geográficos del terreno.

Subsidencia

Es el aire con movimiento descendente en la atmósfera. La subsidencia es la antítesis de la convección, que consiste en aire que asciende por calentamiento superficial o por empuje de aire frío <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Subsidencia.htm>

Tocones

Restos de un tronco de árbol una vez cortado por el pie que queda unido a las raíces.

Triaje

Selección y clasificación en emergencias para determinar la prioridad a la hora de poner a salvo tanto a personas como a estructuras contando con los medios de los que se dispone.

Turbera

Es un tipo de humedal ácido en el que se ha acumulado materia orgánica en forma de turba. Se originan cuando el material orgánico depositado excede al descompuesto en una laguna o pantano. La acumulación de turba depende de los siguientes factores: productividad, acidez, especies que habitan el lugar y decaimiento aeróbico anaeróbico.

TT pickup

Vehículo todo terreno pickup.

Vector

Es la representación más intuitiva para mostrar el viento. Su longitud está asociada al módulo de la velocidad y el sentido de donde viene.

Viento anabático

Son vientos de montaña con componente ascendente.

Viento catabático

Son vientos de montaña con componente descendente.

Yermo

Terreno árido o estéril.

Zona aguas abajo

Es la zona más baja, por donde se alimenta el incendio de aire fresco.

Zona aguas arriba

Es la zona más alta, por la que ascienden los gases de incendio.

Zona de sotavento

Zona por donde entra el viento.

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z



BIBLIOGRAFÍA

- AMCA (1999), 210-Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating, Air Movement and Control Association International, Inc.
- ARNALICH, Arturo (2013), Ataque en Presión Positiva (APP): una evolución en seguridad para victimas y bomberos, "Fuego" nº161, Asociación Española de Lucha contra el Fuego (ASELF).
- ARNALICH, Arturo (2014), Cold flow tests, Groupe Leader Testing Facility, Octeville-sur-Mer, Francia.
- ARNALICH, Arturo (2014), Defensive use of PPV in complex structures. APF, Asia Pacific Fire Magazine.
- ARNALICH, Arturo (2014), Fire Engineering. Combined Fire Attack, Fire Engineering Volume 167, Issue 10.
- ARNALICH, Arturo (2014), Flow rate vs. HRR.
- ARNALICH, Arturo (2014), Planteamientos Tácticos APP, "Fuego" nº168, Asociación Española de Lucha contra el Fuego (ASELF).
- ARNALICH, Arturo (2014), Why use PPV, ChinaFireBulletin.
- BARBERA, Savino (2014), Teoría de las bombas, [en línea], <<http://www.savinoabarbera.com/espanol/teoria.html>>, [Consulta: 12/12/2014]
- BASSET, José Miguel (2002), Flashover: Desarrollo y control.
- BENGTSSON, L. G. (2001). Enclosure fires, Swedish Rescue Services Agency.
- BERGQVIST, A., FRANTZICH, H., HASSELROT, K., and INGASON, H. (2005a), "Fire and rescue operations in tunnel fires: a discussion of some practical issues", En The Handbook of Tunnel Fire Safety (A. Beard and R. Carvel, Eds.), Thomas Telford Publishing, 481-504, London, UK,
- BERGQVIST, A. (2005b), "What can the fire brigade do about catastrophic tunnel fires?" en International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires (CTF), 161-175, Borås,
- BERMEJO MARTÍN, Fernando (2010) Manual del bombero profesional, Badajoz, Videotraining S.L.
- BLANCO, Javier; GARCÍA Daniel; CASTELLNOU, Marc; MOLINA, Domingo; GRILLO, Federico; POUS, Enrique, Curso Básico de Incendios Forestales [en línea], 2008 <http://adfmisquefa.net/uploads/CursoBasicoIF_1_121.pdf>, [Consulta: 10 octubre 2014].
- Bomberos voluntarios de Vedia (2008), Manual de bombas en general, [en línea], <<http://www.noroestebonaerense.com.ar/Bomberos/BomberosNoroeste/Cursos/Bombas/Bombas.htm>>, [Consulta: 12/12/2014].
- BOULANDIER HERRERA, José Javier y otros (2001), Manual de extinción de incendios, Pamplona, Bomberos de Navarra.
- BOWSER, Graeme (1999), Tactical ventilation, Tyne & Wear Fire Brigade U.K.
- CAMPAÑA, Juan Carlos (2013), Extinción. Ataque Indirecto Exterior.
- CEIS GUADALAJARA, Protocolo incendio de vegetación.
- CLAVAIN, Jesús (Coord.) (2009), Control y extinción de incendios, Ediciones GPS, Madrid.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1962), Norma UNE 23010:1962, Clasificación de los incendios y de los agentes extintores, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1976), Norma UNE 23010:1976, Clases de fuegos, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1980), Norma UNE 23026-1:1980, Tecnología de Fuego. Terminología, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1983), Norma UNE 23603:1983, Seguridad contra incendios. Espuma física extintora. Generalidades, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1990), Norma UNE 23600:1990, Agentes extintores de incendios. Clasificación, Madrid, AENOR.

- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1990), Norma UNE 23727:1990, Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1994), Norma UNE-EN 2:1994, Clases de fuegos, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (1996), Norma UNE 23110-1:1996, Extintores portátiles de incendios. Parte 1: Designación. Duración de funcionamiento. Hogares tipo de las clases A y B, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (2004), Norma UNE EN 3-7:2004, Extintores portátiles de incendios. Parte 7: Características, requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo, Madrid, AENOR.
- COMITÉ AEN/CTN 23 Seguridad contra Incendios (2008, 2012), Norma UNE-EN ISO 13943:2008, Seguridad contra incendios. Vocabulario, Madrid, AENOR.
- COMUNIDAD DE MADRID (2010), Manual de consulta del cuerpo de bomberos de la Comunidad de Madrid, Madrid, Editorial Comunidad de Madrid.
- CONGRESO INTERNACIONAL DE FUEGO Y RESCATE (2010) Reading the Fire B-SAHF, CFBT-US Valdivia, Chile.
- CONSEJERÍA DE PRESIDENCIA, JUSTICIA Y PORTAVOCÍA DEL GOBIERNO - D.G. DE PROTECCIÓN CIUDADANA, Manual del Cuerpo de Bomberos Hidráulica, Parte III. Archivo electrónico. DL: M-41128-2008.
- DUCE ARAGÜÉS, José Luis; LINARI MELFI, Federico; FERNÁNDEZ VICENTE, Carmelo (2013), Incendios de interfaz. Manual de Actuación, España, Edit. Aifema.
- EASTER, David. R. (2008), An Evaluation of Positive Pressure Ventilation, National Fire Academy.
- EDUCARCHILE (2014), "Partículas nucleares y reacciones nucleares" en Educarchile, [en línea], <<http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=136399>>. [Consulta: 16/10/2014].
- ESCRIBA BONAFE, Domingo (1988), Hidráulica para Ingenieros, Librería Técnica Bellisco.
- ESCUELA BOMBEROS Y PROTECCIÓN CIVIL (2005), Desarrollo y control de incendios en espacios confinados, Temario del curso para sargentos y suboficiales, Madrid.
- ESQUÉ Felip Antonio y ZAPATER Oliver Antonio (1988), "Espuma para incendios, Barcelona", Departamento de formación de bomberos de Barcelona.
- EZEKOYE, Ofodike, NICKS, Robert, WATSON, Chris (2005), Testing Tactics Scientifically: PPV in Residential Structures, Austin Fire Department University of Texas.
- EZEKOYE, Ofodike, SVENSSON, Stefan, NICKS, Robert. (2007), Investigating positive pressure ventilation, In Proceedings of 11th international fire science & engineering conference (INTERFLAM), London, UK.
- FDIC (2005), "Positive Pressure Ventilation (PPV)" en Presentation Handouts for Testing Tactics Scientifically: PPV in Residential Structures.
- FERNÁNDEZ HUERTAS, Victor; RODRÍGUEZ DE LA FUENTE, José Ignacio; AGUIRRE BRIONES, Felipe (2002), Manual de Seguridad en la extinción de incendios forestales, Valladolid, España, Junta de Castilla y León, Consejería de medio Ambiente.
- GALLO TORRES, Tomás (2010), Tutorial de Bomberos. Bloque específico Vol. 1, Madrid, CEP.
- GARCIA, Kriss (2012), Go Ahead — Blow Smoke, Fire Chief.
- GARCIA, Kriss, KAUFFMANN, Reinhard (2009), Pressurized Fire Attack Precautions: THE "BIG THREE", Fire Engineering University.
- GARCIA, K., KAUFFMANN, R., SCHELBLE, R., (2006), Positive pressure attack for ventilation & firefighting, PennWell Books.
- GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (ARGENTINA) (2009), Guía sobre incendios de interfase [en línea] <<http://www.cba.gov.ar/wp-content/4p96humuzp/2012/06/Guia-sobre-incendios-de-interfase-2004.pdf>>, [Consulta: 10 octubre 2014].



BIBLIOGRAFÍA

- GOBIERNO VASCO (2011), Manual del bombero, Donostia, Eusko Jaurlaritza 3.
- GORBETT, Gregory, CFPS, (2007), "The current knowledge & training regarding backdraft, flashover, and other rapid fire progression phenomena", en el annual meeting of the National Fire Protection Association, Boston, USA.
- GRIMWOOD, Paul, DESMET, Koen (2003), A comprehensive guide to compartment firefighting & live fire training (CFBT), Firetactics, Cemac, UK.
- GRIMWOOD Paul y BARNETT Cliff (2005), Fire-fighting. Flow-rate, [en línea], <www.firetactics.com>, [Consulta: 12/12/2014].
- GRIMWOOD, Paul (2008), Euro Firefighter, Jeremy Mills Publishing.
- GRIMWOOD, Paul, SANDERSON, Iain (2014), "Water flow rate investigation to improve tactical firefighting", en Technical Perspectives International Fire Professional, nº10.
- GRIMWOOD, Paul (2013), Positive Pressure Ventilation in Firefighting, [en línea], <www.firetactics.com/PPV-GRIMWOOD.htm>, [Consulta: 12/12/2014].
- HAMPSHIRE FIRE AND RESCUE SERVICE (2013), Fatal Fire Investigation.
- HERRERO CORRAL, Gema (2014), Interfaz Urbano forestal, [en línea], <<http://www.interfazurbanoforestal.com/>>, [Consulta: 7 octubre 2014].
- HOFBAUER Stefan y HEISSL Hubert (2002), "Use of mobile tunnel ventilation devices to assist emergency services during fires in underground road systems" en International Conference Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Austria.
- INGASON, H., BERGQVIST, A., LÖNNERMARK, A., FRANTZICH, H., and HASSELROT, K. (2005) Räddningsinsatser i vägtunnlar, Räddningsverket, P21-459/05 (in Swedish)
- INGASON, Haukur, FALLBERG, Ronny (2002), "Positive Pressure Ventilation in Single Medium-Sized Premises", en Fire technology, 38(3), 213-230
- INSHT (1996) NTP 420 Instalaciones de abastecimiento de agua contra incendios
- INSHT (1984), NTP 99 Métodos de extinción y agentes extintores.
- INSHT (2004), NTP 831 Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004) (I)
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIRE CHIEFS, NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (2016), Evidence-based practices for Strategic and Tactical Firefighting, Jones & Bartlett Learning, Burlington (Massachusetts)
- KARLSSON, Björn, QUINTIERE, James (2002), Enclosure fire dynamics, CRC press, Florida, USA.
- KERBER, Stephen (2010), Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential construction, Underwriters Laboratories, USA.
- KERBER, Stephen (2013), Study of the Effectiveness of Fire Service Vertical Ventilation and Suppression Tactics in Single Family Homes, Underwriters Laboratories, USA.
- KERBER, Stephen, MADRZYKOWSKI, Daniel. (2008), Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: School Pressure and Fire Experiments, NIST Technical Note, 1498.
- KERBER, Stephen, WALTON, William (2005), Effect of positive pressure ventilation on a room fire, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, (Maryland) USA.
- KERBER, Stephen, WALTON, William (2006), Full-Scale Evaluation of Positive Pressure Ventilation In a Fire Fighter Training Building, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, (Maryland) USA.
- KIM, H. K., LÖNNERMARK, A., INGASON, H. (2010). Effective firefighting operations in road tunnels. SP Report, 10, 1-89.
- KUMM, M., BERGQVIST, A. (2008). "Mobile Ventilation as a Tactic Resource at Tunnel Fires". en Proceedings from the Third International Symposium on Tunnel Safety and Security. Stockholm, Sweden, March 12-14 2008 (pp. 289-300).
- LAMBERT, Karel (2014), Backdraft: fire science and firefighting, a literature review.

- LÖNNERMARK, A., INGASON, H. (2005). "Gas temperatures in heavy goods vehicle fires in tunnels". *Fire Safety Journal*, 40(6), 506-527.
- LOS ANGELES COUNTY FIRE DEPARTMENT, Structure Fire Behavior Ventilation, (LACoFD), Los Angeles, USA
- LOSADA, Alberto (1988), "Fundamentos Hidráulicos", Mundi-Prensa.
- MANUAL C.E.I.S. REGIÓN DE MURCIA, Academia de Formación de Bomberos.
- MARTIN CORREA, Juan Luis (2002), Manual del vigilante de incendios forestales, Castilla y León, Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente
- MATINSA, Manual para cuadrillas de prevención y extinción de incendios forestales.
- MÜLLER, F., REICK, M. (2011). "Ausbildung-Überdruckbelüftung" im Treppenraum, Brandschutz-Deutsche Feuerwehrzeitung, 65(12), 930.
- PANINDRE, Prabodh et al (2011a), "Optimization of Positive Pressure Ventilation Tactic for Wind Driven High Rise Fires", In ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (pp. 1561-1569). American Society of Mechanical Engineers, Denver, USA
- PANINDRE, Prabodh et al (2011b), "Technique to Improve Performance of Positive Pressure Ventilation Tactic in High-Rise Fires", In ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (pp. 1571-1579). American Society of Mechanical Engineers, Denver, USA
- QUILEZ MORAGA, Raúl, GOBERNA GARCÍA, José Ramón (2011), Técnicas de extinción y liquidación de incendios forestales con instalaciones de agua. Autoprotección e intervención en la interfase, España, Aifema.
- QUINTIERE, James (2006), Fundamentals of Fire Phenomena, John Wiley & Sons Ltd, UK
- SANZ, M (2007), Hidráulica básica Materias Específicas CB, Dirección General de Protección Ciudadana.
- SERRANO GONZÁLEZ, Benito, Extinción de incendios forestales (Interfase), España, Consorcio provincial de Bomberos de Valencia
- SERVICIO DE FORMACIÓN BOMBEROS (2004), Técnicas de ventilación, Técnicas de Intervención en Incendios de Interiores, Bloque 1: Tema nº 4, Comunidad de Madrid
- SPEIS Diputación de Alicante, Ficha de Conceptos Básicos de Hidráulica para Bomberos.
- STOTT Richard (2000), Report on PPV Trials at Oxford Road, Preston, U.K, Lancashire Fire and Rescue Service, U.K
- SUAY BELENGUER, Juan Miguel (2008), Conceptos de Hidráulica para bomberos, Madrid, Bubok Publishing.
- SUAY, BELENGUER, Juan Miguel (2002), Hidráulica, conceptos elementales de Mecánica de Fluidos.
- SVENSSON Stefan, KERBER Stephen (2009), Comparing full-scale experiments with model-scale experiments to increase firefighter knowledge of fire dynamics, Underwriters Laboratories, USA.
- SVENSSON, Stefan (2005), Fire Ventilation, (U30-651/05) Swedish Rescue Services Agency/Räddningsverket.
- TURUGUET MAYOL, Domènec (1986), Toxicología de compuestos de pirólisis y combustión, Barcelona, Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo.
- USAID (2006), Curso "Operaciones de Prevención y Control de Incendios Forestales perteneciente al Programa IRg/USAID/OFDALAC de Capacitación y Asistencia Técnica" [en línea], <<https://scms.usaid.gov/sites/default/files/documents/1866/MR-%20COPCIF.pdf>>, [Consulta: 8 octubre 2014].
- UGT AGROALIMENTARIA (2014), Seguridad en la extinción de incendios forestales [en línea], <<http://www.prevencionlaboral.org/resumenes-incendios8.html>>, [Consulta: 10 octubre 2014].
- VELEZ MUÑOZ, Ricardo (2009), La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias, España, Edit. McGraw-Hill/Interamericana de España.



IMÁGENES

Ilustraciones a medida por Guillermo Velasco, Roc Espinet, Ricardo Machuca y Griker Orgemer.

Todas las imágenes que aparecen en este manual son propiedad de Tragsa o de Dominio Público, excepto las que se mencionan a continuación, de las que se indican su autoría y licencia de uso:

PARTE 1:

- Imagen 4: Licencia CC-BY-SA 3.0. Unported. Autor: SeLarin
- Imagen 14: Licencia CC-BY-SA 3.0. Unported. Autor: Dch

130, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 159, 160, 162, 166, 167, 168, 169, 171, 172, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198: Licencia: CC-BY-NC-SA 3.0. Autor: Arturo Arnalich

- Imagen 14: Licencia: CC-BY-NC-SA 3.0. Autor: CEIS Guadalajara
- Imagen 17: Imagen procedente de: DC Firefighters. Autor: Elliot J. Goodman. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 21: Imagen procedente de: NIST. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 23: Autor: Stephane Morizot
- Imagen 24: Autor: Stephane Morizot
- Imagen 25: Autor: Arturo Arnalich, I.F.R.T. (Kulsheim, Alemania)
- Imagen 27: Autor: CFBT-US (<http://www.cfbt-us.com/>)
- Imagen 30: Autor: Canal Youtube Arturo Arnalich (<https://www.youtube.com/user/aarnalich>)
- Imagen 31: Autor: Arturo Arnalich, Sueskola (Ispaster)
- Imagen 32: Autor: Flowpath Management
- Imagen 33: Imagen procedente de: Underwriters Laboratories Firefighter Research Institute. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 34: Imagen procedente de: Underwriters Laboratories Firefighter Research Institute. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 35: Licencia: CC-BY-NC-SA 3.0. Autor: CEIS Guadalajara
- Imagen 36: Autor: Jose Luis Ayuso
- Imagen 40: Licencia: CC-BY-NC-SA 3.0. Autor: CEIS Guadalajara
- Imagen 46: Imagen procedente de: Luca Parisi (<http://cfbt-it.org/>). Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 47: Imagen procedente de: Jerry Tracy, FDNY. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 58: Autor: Roberto Campos Ara

PARTE 2:

- Imagen 10: Licencia CC-BY-SA 3.0. Unported. Autor: YUPI666
- Imagen 11: Licencia CC-BY-SA 3.0. Unported. Autor: Lucho w2ed
- Imagen 14: Licencia CC-BY-SA 3.0. Unported. Autor: MannyMax
- Imagen 15: Licencia CC-BY-SA 2.5 Generic. Autor: LimoWreck
- Imagen 21: Autor: Juan Miguel Suay Belenguer. Consorcio Provincial de Bomberos de Alicante.
- Imagen 22: Autor: Juan Miguel Suay Belenguer. Consorcio Provincial de Bomberos de Alicante.

PARTE 3:

Permisos de fotografías gestionados por Arturo Arnalich.

- Imagen 2: Autor: Lars Agerstrand.
- Imagen 3: Licencia CC-BY-NC-SA 3.0. Autor: Eugenio Martínez. CEIS Guadalajara.
- Imagen 4: Imagen procedente de: Underwriters Laboratories Firefighter Research Institute. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 5: Imagen procedente de: Underwriters Laboratories Firefighter Research Institute. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 26, 28, 29, 38, 39, 43, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 83, 84, 86, 87, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128,

- Imagen 62: Imagen procedente de: Jerry Tracy, FDNY. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 70: Autor: Ofodike Ezekoye y Arturo Arnalich
- Imagen 73: Imagen procedente de: Hermandad de bomberos. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 74: Imagen procedente de: 3D Firefighting. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 79: Imagen procedente de: Bomberos Sevilla. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 82: Imagen procedente de: New South Wales Fire and Rescue. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 85: Imagen procedente de: CFBT-US, Stefan Sardqvist. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 88: Imagen procedente de: Bomberos Sevilla. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 91: Imagen procedente de: Los Angeles County Fire Department. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 92: Imagen procedente de: Los Angeles County Fire Department. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 108: Autor: Arturo Arnalich para FKTP (Otawa, Canadá)
- Imagen 114: Autor: Ventry
- Imagen 115: Autor: Tempest
- Imagen 116: Autor: Blowhardfans
- Imagen 117: Autor: Groupe Leader
- Imagen 129: Autor: Arturo Arnalich
- Imagen 132: Autor: Ventry, Groupe Leader y Tempest
- Imagen 139: Autor: Dr. Michael Reick
- Imagen 161: Imagen procedente de: Plastikfrei. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 163: Imagen procedente de: Wood University. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 164: Autor: Diego Imbarro
- Imagen 165: Imagen procedente de: Colegio Bilingüe CUME (Granada). Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 166: Imagen procedente de: Incendio en el claustro de las Gordillas de Avila. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 167: Imagen procedente de: Cristalera SGG Bioclean. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 168: Imagen procedente de: Incendio en Glasgow. Facilitada por Arturo Arnalich

- Imagen 170: Imagen procedente de: Hermandad de bomberos. Facilitada por Arturo Arnalich
- Imagen 173: Autor: Dr. Michael Reick
- Imagen 174: Autor: Jerry Tracy, FDNY para FKTP
- Imagen 175: Imagen procedente de: Hermandad de bomberos. Facilitada por Arturo Arnalich

PARTE 4:

- Imagen 11: Licencia CC-BY-SA 3.0 Unported. Autor: Megalesius
- Imagen 20: Autor: Promat

PARTE 5:

- Imagen 1: Licencia CC-BY-SA 3.0 Unported. Autor: BernardaAlba
- Imagen 8: Licencia CC-BY-SA 2.1 ES. Autor: Dcarrero
- Imagen 13: Licencia CC-BY-SA 3.0. Autor: Ludwigshafen Bruecke
- Imagen 18: Licencia CC-BY-SA 2.0 Generic.
- Imagen 22: Licencia CC-BY-SA 3.0 Unported. Autor: OSH FH aD
- Imagen 23: Licencia CC-BY-SA 3.0 Unported. Autor: OSH FH Ad

PARTE 6:

- Imagen 9: Autor: Freepick.com
- Imagen 11: Autor: University Corporation for Atmospheric Research
- Imagen 12: Licencia CC-BY-SA 2.0 Generic. Autor: U.S. Department of Agriculture
- Imagen 13: Licencia CC-BY-SA 3.0. Autor: EllsworthC
- Imagen 16: Autor: University Corporation for Atmospheric Research
- Imagen 21: Autor: Rework from VectorOpenStock.com & freepick.com
- Imagen 43: Licencia CC-BY-SA 3.0. Autor: Javiramos43
- Imagen 44: Licencia CC-BY-SA 2.0. Autor: Israel Defense
- Imagen 45: Licencia CC-BY-SA 2.0.
- Imagen 46: Autor: Karelj



DIRECCIÓN GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
Y EMERGENCIAS



CEIS
GUADALAJARA