Cabo del Servicio de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento Diputación Foral de Gipuzkoa · OP2026/17

Grupo Incendios: temas 3 a 7

Resumen del temario específico para imprimir. Elaboración propia a partir de las bases, la normativa, los manuales citados en el temario y los procedimientos del servicio. No es documentación oficial.

Versión de 8 de septiembre de 2026 · iosu.online

Índice

Incendios (temas 3 a 7)

Capítulo 3. Teoría del fuego e hidráulica: caracterización y técnicas (tema 4) 3
Capítulo 4. Incendios estructurales: fundamentos y técnicas (tema 3) 20
Capítulo 5. Incendios en túneles (tema 5) 36
Capítulo 6. Incendios industriales (tema 6) 49
Capítulo 7. Incendios de vegetación e interfaz urbano-forestal (tema 7) 62

Capítulo 3. Teoría del fuego e hidráulica: caracterización y técnicas (tema 4)

Incendios · temas 3 a 7

Este capítulo pertenece al grupo Incendios del temario específico y cubre el tema 4: teoría del fuego, caracterización y técnicas, e hidráulica, caracterización y técnicas. La fuente es el Manual de Incendios del CEIS Guadalajara y Grupo Tragsa, edición de 2015, en sus partes 1 (Teoría del fuego, con un capítulo de caracterización y otro de técnicas) y 2 (Hidráulica, también con caracterización y técnicas). Es el mismo documento que el servicio distribuyó como "Tema 4. Teoría fuego". El capítulo sigue el orden del manual: química básica del fuego, combustión y sus productos, triángulo y tetraedro, clasificación de incendios, evolución y transmisión del calor; mecanismos de extinción y agentes extintores con sus aplicaciones; y por último hidráulica, con propiedades de los fluidos, hidrostática, hidrodinámica, bombas centrífugas e instalaciones. Termina con las cifras clave.

3.1. Conceptos básicos: materia y reacciones

Concepto. La atmósfera es una mezcla de gases: oxígeno en un 21 por 100, nitrógeno en un 79 por 100 y otros gases en un 0,02 por 100 (dióxido de carbono, neón, criptón, xenón). Los gases inertes, como el nitrógeno y los gases nobles, tienen configuración electrónica estable y no reaccionan.

Concepto. La materia está formada por moléculas, integradas por átomos, que a su vez constan de protones (carga positiva; su número es el número atómico), neutrones (sin carga) y electrones (carga negativa). Cuando se agrupan dos o más clases de átomos se habla de compuestos. La fórmula química expresa el número de átomos de cada elemento: el agua es H2O y el butano C4H10, con cuatro carbonos y diez hidrógenos.

Concepto. Una reacción es el cambio que experimenta un elemento o compuesto. Las reacciones físicas cambian el estado de la materia sin formar sustancias nuevas (hielo que pasa a vapor). Las reacciones químicas cambian la composición y forman productos distintos de los reactivos; solo participan los electrones, la energía intercambiada es relativamente pequeña y la velocidad depende de temperatura, presión, concentración y catalizadores. Las reacciones nucleares transforman los núcleos, liberan enormes cantidades de energía y no dependen de temperatura, presión ni catalizadores; hay fisión, en la que un núcleo pesado bombardeado con neutrones se divide en dos y emite dos o tres neutrones que pueden dar reacción en cadena, y fusión, en la que dos núcleos ligeros se unen en uno más pesado.

3.2. Teoría del fuego: definiciones, reacciones exotérmicas y redox

Concepto. La norma UNE 23026 define el fuego como una combustión caracterizada por la emisión de calor, humo y llamas, y la combustión como una reacción química exotérmica de oxidación en la que se combina un elemento que arde, el combustible, y otro que produce la combustión, el comburente, generalmente el oxígeno gaseoso, con desprendimiento de calor, luz, humo y gases. La UNE 23026 es antigua pero se sigue aplicando en España para definir el fuego; la UNE-EN ISO 13943 de 2001 se aplica en Europa y la anula, y la NFPA se aplica en Estados Unidos y en varios países latinoamericanos. El fuego es una reacción de oxidación-reducción fuertemente exotérmica; la velocidad del proceso determina si es una simple oxidación o una violenta explosión.

Concepto. En una reacción química primero se rompen enlaces y después se forman otros nuevos. Si los enlaces formados son más fuertes que los rotos se libera calor: reacción exotérmica, en la que disminuye la energía interna del sistema. Si se absorbe energía y aumenta la energía interna: endotérmica. Las exotérmicas espontáneas son más frecuentes; la disolución de sal en agua es una endotérmica espontánea.

Concepto. Las reacciones redox implican movimiento de electrones desde la sustancia que los cede, el reductor, que se oxida, hacia la que los capta, el oxidante, que se reduce. En el fuego el oxidante es el comburente y el reductor es el combustible. Oxidación y reducción siempre van unidas: para que uno se oxide (gana oxígeno) el otro debe reducirse (pierde oxígeno).

3.3. Combustiones: definición, tipos y velocidad

Concepto. La ISO 13943 define la combustión como reacción exotérmica de una sustancia con un oxidante, que generalmente emite efluentes acompañados de llamas o luz visible. Los combustibles más frecuentes son materias orgánicas con carbono e hidrógeno. En la combustión completa los productos son dióxido de carbono, agua, dióxido de azufre si hay azufre y a veces óxidos de nitrógeno según temperatura, oxígeno y sobre todo presión. En la incompleta aparecen monóxido de carbono y carbón. Características: proceso redox, de cinética rápida, fuertemente exotérmico, autoalimentado cuando hay reacción en cadena; la velocidad de reacción determina el calor producido; los productos son calor, humo, gases y radiación luminosa, sin que necesariamente haya llamas; la combustión en fase sólida suele dar incandescencia y la de fase líquida o gaseosa llama visible.

Concepto. Hay dos tipos principales. Las combustiones de aportación, en las que la masa reactiva se incorpora al frente de reacción, se dividen en:

- Combustión con llama: íntegramente en fase gaseosa; produce calor, luz y gases; se representa con el tetraedro.
- Combustión latente: oxidación lenta sin luz apreciable, revelada por aumento de temperatura o humo; sin llama, se propaga en combustibles porosos: carbón, celulosa, madera, algodón, tabaco, turba, humus, jabones sintéticos, polímeros carbonizados incluida la espuma de poliuretano y algunos polvos.
- Combustión incandescente: sin llama, con emisión de luz visible, en forma de ascuas; la ISO la define como combustión de un material en fase sólida sin llama pero con luz.
- Combustión espontánea: se inicia sin aporte de calor externo. Las combustiones de propagación o de premezcla se clasifican por velocidad: lenta, de menos centímetros por segundo, con poco oxígeno; viva o normal, de más centímetros por segundo, con buen oxígeno; e instantánea, que puede ser rápida, de más metros por segundo (deflagraciones), o muy rápida, de más kilómetros por segundo (detonaciones).

Concepto. Una explosión es una súbita liberación de gas a alta presión lo bastante rápida para que la energía se disipe mediante una onda de choque. Deflagración: onda de combustión con frente a velocidad subsónica. Detonación: frente a velocidad sónica o supersónica con onda de choque asociada.

3.4. Productos de la combustión: humo, llamas, calor y gases

Concepto. Los productos de la combustión pesan y ocupan lo mismo que los elementos iniciales: la materia ni se crea ni se destruye, solo se transforma.

Humo. Partículas sólidas y líquidas en suspensión, principalmente vapor de agua, incompletamente quemadas y arrastradas por convección. Con calor y oxígeno adecuados es inflamable. El hollín es polvo rico en carbono de 0,005 a 0,01 milimicras propio de combustiones incompletas, acusado en derivados del petróleo; también hay cenizas (residuos inorgánicos de combustión completa) y escorias. El humo es el principal factor de riesgo del incendio: irrita, provoca lagrimeo, impide el paso de la luz y puede ser inflamable o explosivo. Es muy difícil saber qué arde por el color, pero orientativamente: blanco, combustibles que arden

libremente con gran presencia de oxígeno y mucho vapor de agua (vegetales, forrajes, piensos); negro, gran carga térmica con poco oxígeno (fibras sintéticas, polímeros, cauchos, gasóleo, gasolina, plásticos); amarillo, sustancias con azufre; amarillo verdoso, cloro; violeta, yodo; azul, hidrocarburos.

Llamas. Gas incandescente cuya temperatura depende del combustible y del comburente; la ISO la define como zona de combustión en fase gaseosa, usualmente con emisión de luz. Los sólidos se descomponen por pirólisis y arden sus gases, así que las llamas se producen siempre en fase gaseosa. Con mucho oxígeno son amarillas luminosas y oxidantes; con poco, azules, reductoras y más energéticas. La combustión del coque es una excepción sin llama. Zonas: interna, fría y oscura, sin combustión por falta de oxígeno; media, muy luminosa, combustión incompleta; externa, poco luminosa, con las temperaturas máximas porque la combustión es completa. En la práctica las llamas alcanzan de 1.800 a 2.200 grados; solo la oxiacetilénica supera esas temperaturas.

Calor y temperatura. El calor es la transferencia de energía por diferencia de temperatura, suma de la energía cinética de todas las moléculas; la temperatura es su manifestación, la energía cinética media. Los cuerpos no tienen calor sino temperatura. Las cinco categorías de energía calorífica son eléctrica, mecánica, química, nuclear y solar. La caloría es el calor necesario para elevar un grado un gramo de agua (entre 14,5 y 15,5 grados); kilocaloría, 1.000; megacaloría, un millón. Llevar un litro de agua de 20 a 100 grados exige 80 kilocalorías, que ese litro roba al fuego. El julio es la unidad del Sistema Internacional (un newton por un metro); una caloría equivale a 4,1868 julios y un julio a 0,24 calorías. El vatio es un julio por segundo; el calor liberado en un incendio se expresa en kilovatios o megavatios. Calor específico: calor para elevar un grado un gramo de sustancia; cuanto mayor, mayor efecto refrigerante: agua 4,182 julios por gramo y grado (una caloría), aire seco 1,009, aluminio 0,896, bronce y cobre 0,385, hormigón 0,92, hielo 2,09 (media caloría), plomo 0,13, vidrio 0,779, zinc 0,389. Capacidad calorífica: masa por calor específico. Escalas: Celsius de 0 a 100, Réaumur de 0 a 80 (en desuso), Fahrenheit de 32 a 212 (países de habla inglesa), Kelvin de 273 a 373; el cero absoluto son 273 grados bajo cero. Fahrenheit igual a Celsius por 1,8 más 32 (27 grados son 80,6 Fahrenheit); Kelvin igual a Celsius más 273,15. El calor produce dilatación (lineal, superficial y cúbica; los gases dilatan más; el agua se dilata al bajar de 4 a 0 grados) y cambios de estado: progresivos con absorción de calor (fusión, vaporización, sublimación) y regresivos con desprendimiento (solidificación, condensación o licuefacción, sublimación regresiva).

Gases de combustión. Dióxido de carbono, monóxido de carbono y vapor de agua son los más abundantes; también amoniaco, dióxido de azufre, ácido cianhídrico, óxidos de nitrógeno, ácido clorhídrico y fosgeno.

- Monóxido de carbono: incoloro, más ligero que el aire, arde con llama azul; inflamable y explosivo del 12,5 al 74,2 por 100; se forma en la combustión incompleta y aumenta con el déficit de oxígeno; se une a la hemoglobina formando carboxihemoglobina con afinidad 260 veces mayor que el oxígeno, produciendo hipoxia y anoxia; la unión es reversible.
- Dióxido de carbono: no inflamable, incoloro, inodoro con ligero picor, más pesado que el aire (densidad relativa 1,52), no tóxico pero asfixiante; fusión a menos 78 grados y ebullición a menos 57.
- Cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico: incoloro, más pesado que el aire, olor a almendras amargas, explosivo del 5 al 40 por 100; inhibe la citocromooxidasa al unirse al hierro y produce anoxia química; los cianuros de sodio, potasio y calcio lo liberan con agua y ácidos.
- Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico: gas de alcantarilla con olor a huevos podridos, inflamable del 4,5 al 45 por 100, más pesado que el aire; perceptible por debajo de 30 partes por millón, paraliza el olfato a 100; de 20 a 50 partes por millón causan malestar agudo, asfixia y muerte; en toxicidad va justo detrás del cianhídrico; ebullición a menos 60 grados.
- Amoniaco: inflamable del 16 al 25 por 100, olor muy penetrante. Formaldehído: aldehído más simple, muy inflamable, al 40 por 100 es el formol, ebullición a menos 21 grados.
- Cloro: número atómico 17, gas tóxico no inflamable amarillo verdoso, 2,5 veces más pesado que el aire, explosivo con hidrógeno e hidrocarburos; irrita mucosas, provoca espasmo de laringe y cloracné; ebullición a menos 34,7 grados.

- Flúor y ácido fluorhídrico: el flúor es el elemento más electronegativo y reactivo; el fluorhídrico ataca al vidrio, atraviesa la piel, provoca hipocalcemia y fluorosis; ebullición a menos 188 grados.
- Dióxido de azufre: incoloro, olor asfixiante; su carácter irritante inmediato lo convierte en un "gas amigo"; con la humedad se vuelve corrosivo y puede causar edema pulmonar de aparición tardía.
- Fosgeno: se produce por contacto de las llamas con productos clorados como el PVC, aislamientos de cables y refrigerantes como el freón; muy tóxico, denominación militar CG, olor a heno recién cortado, no inflamable pero comburente, ebullición a 8 grados; en los pulmones se convierte en ácido clorhídrico y monóxido de carbono.
- Acroleína: líquido incoloro o amarillo que se inflama con facilidad, presente en humo de tabaco y escapes; ebullición a 52,5 grados.

3.5. Fuego e incendio. Triángulo y tetraedro del fuego

Concepto. El diccionario de la Real Academia define fuego como calor y luz producidos por la combustión e incendio como fuego grande que destruye lo que no debería quemarse. La ISO 13943 define el fuego como combustión autosoportada puesta en marcha deliberadamente para beneficiarse de sus efectos y controlada en duración y extensión, y el incendio como combustión que se propaga incontroladamente en el tiempo y en el espacio.

Concepto. El triángulo del fuego lo forman combustible, comburente y energía de activación; si falta uno no hay incendio o se extingue. El cuarto factor, la reacción en cadena, da lugar al tetraedro; es un tetraedro y no un cuadrado para expresar la relación de cada cara con las demás.

Combustible. Sustancia capaz de arder en presencia de una energía de activación. Sólidos, líquidos y gases siempre entran en combustión en estado gaseoso (pirólisis o pirogenación). Constantes: punto de inflamación o flash point, temperatura mínima a la que emite vapores suficientes para inflamarse en contacto con una fuente de ignición, sin la cual no arde, referido a 760 milímetros de mercurio; punto de ignición o de incendio, temperatura mínima a la que los vapores se inflaman y mantienen la inflamación aunque se retire la fuente, unos grados por encima del anterior; punto de autoinflamación, temperatura mínima a la que los vapores arden sin fuente de ignición; punto de autoignición, temperatura a la que hay que calentar el combustible con oxígeno para que se inflame y sostenga la combustión sin foco externo. Límites de inflamabilidad: el límite superior es la máxima concentración de vapores en aire capaz de arder (por encima falta comburente) y el inferior la mínima (por debajo falta combustible); entre ambos está el rango de inflamabilidad, con el punto ideal de combustión, donde arde en las mejores condiciones, y el punto estequiométrico, donde la velocidad es máxima y se genera explosión. Rangos, límite inferior y superior en por 100: amoniaco 16 y 25; monóxido de carbono 15,5 y 74; metano 5 y 15; alcohol etílico 4,3 y 7,1; cloruro de vinilo 3,6 y 33; etano 3 y 14,4; acetileno 2,5 y 81; acetona 2,5 y 19,3; propileno 2,4 y 11; propano 2,2 y 9,5; butano 1,8 y 8,4; pentano 1,5 y 7,8; gasolina 1,5 y 7,6; benceno 1,4 y 7,1; aguarrás 1,1 y 6; gasoil 0,6 y 6,5. Temperaturas de inflamación y autoinflamación: poliamida 420 y 425 grados; polietileno 345 y 490; aceite 232 y 343; madera 225 y 280; glicerina 160 y 370; gasoil 60 y 330; alcohol etílico 18 y 425; acetona menos 18 y 540; gasolina menos 39 y 285; butano menos 60 y 287; propano menos 104 y 450; gas natural menos 180 y 482; metano menos 188 y 537; hidrógeno menos 259 y 580.

Comburente. Agente oxidante; el oxígeno molecular es el más común, presente en el aire en un 21 por 100 en volumen y un 23 por 100 en peso (real: nitrógeno 78,03, oxígeno 20,99, argón 0,94, dióxido de carbono 0,03; peso molecular del aire 29). La nitrocelulosa contiene oxidante y reductor y arde solo con la energía de activación. Por debajo del 15 por 100 de oxígeno generalmente el fuego se apaga; se determina con el ensayo del índice crítico de oxígeno. Los ácidos sulfúrico y nítrico pueden incendiar materia orgánica sin fuente de ignición, y la materia comburente afectada por el fuego libera oxígeno y sostiene la combustión sin oxígeno atmosférico.

Energía de activación. Energía mínima para iniciar la reacción, aportada por llamas abiertas, superficies calientes, chispas eléctricas, estáticas y de fricción, y brasas, con orígenes químico, mecánico, eléctrico, térmico, biológico (fermentación) y natural o atmosférico (rayos). Las chispas de instalaciones eléctricas tienen temperatura superior a las llamas.

Reacción en cadena. Solo aparece en la combustión con llama; consiste en el automantenimiento de la combustión por eliminación de los radicales libres (hidroxilos), con roturas crecientes de enlaces de carbono y oxígeno. Su velocidad se duplica con una elevación de 10 grados y puede multiplicarse por un millón o más con 200 grados.

Agentes pasivos. No participan en la reacción pero absorben energía: gases no inflamables (dióxido de carbono, vapor de agua), hollín, agua y nitrógeno, el 79 por 100 del aire, que permanece inerte.

Combustible frente a inflamable. Una sustancia combustible tiene punto de ignición bajo y mantiene el fuego; una inflamable es un combustible que emite gases con facilidad según el flujo de calor recibido, su constitución y su punto de inflamación.

3.6. Tipos de incendios

Según el combustible (norma EN 2, que sustituye a la derogada UNE 23010). Clase A: sólidos con alto punto de fusión, generalmente orgánicos, que forman brasas y retienen oxígeno en su interior, llamados fuegos profundos (madera, carbón, tela, papel, cartón, paja, plástico, caucho); los sólidos no arden, arden los vapores de la pirólisis, descomposición química por temperatura sin oxígeno. Clase B: líquidos y sólidos licuables, sin brasas, arden los vapores (gasolina, petróleo, alcohol, gasóleo, alquitrán, grasas, ceras, parafinas). Clase C: gases (acetileno, butano, metano, propano, gas natural, gas ciudad, hidrógeno, propileno). Clase D: metales (aluminio en polvo, potasio, sodio, magnesio); desplazan el hidrógeno del agua y explotan, el agua está prohibida casi siempre; en algunas clasificaciones se denominan M. Clase F: aceites y grasas de cocina en aparatos de cocina, clase K americana. La antigua clase E de fuegos eléctricos desaparece porque la electricidad no es combustible; cortada la corriente el combustible define la clase, generalmente A.

Por la forma del foco. Plano: horizontal y visible desde cualquier punto (líquidos, charcas). Vertical: varios planos o zonas ocultas (pacas, apilamientos). Alimentado: mantenido por depósitos, aljibes o tuberías (escapes de gas).

Por la superficie afectada (solo forestales). Grado I hasta 4 metros cuadrados, pequeño; II de 4 a 10, mediano; III de 10 a 100, grande; del IV al X, de envergadura, desde 100 metros cuadrados hasta más de 5.000 hectáreas (VI de 5.000 a 10.000 metros cuadrados, una hectárea). A partir de 100 metros cuadrados es de envergadura si la altura de llamas supera la diagonal media de la superficie; si no, es grande.

Por la velocidad de reacción. La velocidad de propagación de la llama es la del frente de reacción: butano 0,9 metros por segundo, acetileno 14. Combustión lenta o oxidación: sin luz, poco calor, sin reacción en cadena (amarilleado del papel, óxido). Combustión simple, normal o rápida: frente inferior a 1 metro por segundo, la de los incendios normales. Combustión instantánea o explosión: más de 1 metro por segundo con sobrepresiones, gracias a la mezcla previa de combustible y oxidante. Deflagración: entre 1 metro por segundo y la velocidad del sonido, 340 metros por segundo, con presión de cinco a diez veces la inicial; casi todas las explosiones son deflagraciones porque rompe algún cristal o tabique que libera presión (vapores de líquidos inflamables, mechas lentas). Detonación: frente supersónico, sobrepresiones de veinte a cuarenta veces, incluso cien; el frente de llama acompaña al de presión (explosivos industriales).

Por el oxígeno. Completa: oxígeno abundante, produce dióxido de carbono y agua, humo blanco o gris pálido. Incompleta: escasez de oxígeno, produce monóxido de carbono, ávido de oxígeno y amenaza de explosión ante ventilación súbita; humo negro y muy caliente.

Con o sin llama. Líquidos y gases arden siempre con llama; la mayoría de los plásticos son líquidos inflamables solidificados. Dos tercios del calor pasan al ambiente y un tercio como radiación. Sin llama o incandescencia: carbono puro y metales oxidables (magnesio, aluminio, zirconio, uranio, sodio, potasio) a 1.500 a 2.000 grados, sin reacción en cadena, representados por el triángulo.

Por el lugar y la magnitud. Interiores: sin manifestación exterior, consumen el oxígeno interior y acumulan gases tóxicos y combustibles a presión. Exteriores: alimentados por el aire exterior, se propagan rápido. Por actividad: viviendas, industrias, garajes, hospitales, espectáculos, comercios, almacenes, vía pública, gran volumen. Conato: sofocable con extintores. Incendio parcial: parte de una instalación, ya no sirven los extintores. Incendio total: fuera de control, se intenta que no pase a colindantes.

3.7. Evolución del incendio y transmisión del calor

Fases. Inicio: coinciden los tres factores y el calor mantiene la reacción en cadena. Desarrollo: combustión completa con oxígeno suficiente; la temperatura sube aceleradamente (el techo de un cuarto puede superar los 700 grados), se inflaman otros elementos por radiación y conducción, baja el oxígeno y crece el monóxido de carbono; es la fase latente, muy peligrosa porque anticipa la combustión súbita generalizada: la sobrepresión rompe cristales, entra aire y se produce la combustión. Propagación: el calor se transmite por todos los medios, con corrientes de convección y radiación relevante. Extinción: natural por agotamiento del combustible o provocada.

Transmisión. El calor pasa del cuerpo más caliente al más frío buscando equilibrio; determina ignición, combustión y extinción. Conducción: contacto molecular directo, sobre todo en sólidos; no existe en el vacío; depende de la superficie de contacto, la diferencia de temperaturas, el espesor (a más espesor menos eficiencia), la relación superficie-volumen, la conductividad térmica (mejor en sólidos que en líquidos y en líquidos que en gases; los mejores aislantes son fibras sólidas con aire en los intersticios) y el calor específico. Convección: en fluidos, las masas calientes suben al expandirse y perder densidad y las frías bajan; necesita materia; convierte los combustibles aéreos en disponibles, pasa los incendios de superficie a copas y arrastra pavesas; probablemente es la que más influye en la estrategia; con pendiente acelera cuesta arriba y cuesta abajo solo actúa la radiación; en capas compactas no actúa. Radiación: ondas electromagnéticas en línea recta a la velocidad de la luz, con o sin medio material, absorbidas, reflejadas o transmitidas; las emisiones del fuego son sobre todo infrarrojas.

3.8. Mecanismos de extinción

Concepto. Actúan sobre los factores del tetraedro.

- Desalimentación o eliminación del combustible: retirada si su velocidad supera la de propagación; directa (separar combustibles, cerrar llaves de paso) o indirecta (refrigerar otros combustibles, interponer incombustibles). La dilución del combustible solo vale para líquidos polares miscibles con agua y baja los vapores por debajo del límite inferior.
- Sofocación o eliminación del comburente: bajar el oxígeno por debajo del 15 por 100. Separación completa recubriendo con arena, espuma, polvos o la tapa de una sartén; o dilución del oxígeno: en un recinto cerrado cada litro de agua pulverizada pasa a 1.770 litros de vapor que desplazan al oxígeno. Se llama inertización cuando se emplean gases inertes (dióxido de carbono, halones, nitrógeno); no sirve si la combustión produce oxígeno. Inertización crea una zona de comburente diluido; sofocación, una zona sin renovación de comburente.
- Enfriamiento: bajar el combustible por debajo de su punto de ignición para que no desprenda gases. El agua es el agente que más enfría, absorbiendo 540 calorías por gramo al vaporizarse; es el método más empleado y suele acompañarse de ventilación controlada. Dióxido de carbono, halones y polvo ABC refrigeran mucho menos.

- Inhibición o rotura de la reacción en cadena (acción catalítica negativa): halones y polvo químico seco ocupan los radicales libres antes que el oxígeno; muy eficaz pero no aplicable a fuegos sin llama, incandescentes o de brasas.

3.9. Agentes extintores

Concepto. Agente extintor es el producto que aplicado sobre el fuego provoca la extinción actuando sobre el tetraedro; el extintor es solo el envase. Se clasifican en líquidos, sólidos y gaseosos.

Agua. Incolora, inodora e insípida, hierve a 100 grados, se hiela a 0 y tiene máximo volumen a 4 grados. Calor latente de vaporización 540 calorías por gramo, de fusión 80, calor específico una caloría por gramo y grado: vaporizar un litro a 15 grados exige 85 kilocalorías hasta 100 grados y 539 más. Densidad un kilogramo por litro. Al evaporarse multiplica su volumen entre 1.500 y 1.700 veces (1.880 según algunas bibliografías). Gran capacidad disolvente; viscosidad casi constante, bombeable de 1 a 99 grados; elevada tensión superficial que permite chorro sólido o niebla; densidad que da penetración; no se disocia hasta unos 1.650 grados; temperatura crítica 374 grados. Es el agente más conocido, abundante, empleado y barato. Actúa por enfriamiento (a menor gota mayor superficie y enfriamiento y menor conductividad eléctrica; solo es efectiva sobre líquidos inflamables con punto de inflamación superior a 38 grados), sofocación por el vapor y dilución en líquidos hidrosolubles. El agua nebulizada usa boquillas especiales y presiones de 4 a 200 bares.

Aditivos. Humectantes (agua mojada, húmeda o pesada) reducen la tensión superficial y penetran en sólidos. Espesantes o viscosantes aumentan la viscosidad para que escurra menos; se usan en forestales y para flotar sobre líquidos; son tóxicos. Agua con boratos o lechada, para forestales, forma un recubrimiento vidrioso aislante pero asienta deprisa. Modificadores de flujo o agua rápida: reducen las pérdidas por fricción, que se deben en un 10 por 100 a las paredes y en un 90 por 100 a la turbulencia; con óxido de polietileno, cuatro litros en 23.000 litros de agua aumentan el flujo un 70 por 100 y duplican la presión en boquilla; se dosifica uno a 6.000. Modificadores de densidad: añadir aire (espumas) o emulsificantes; los detergentes bajan la presión de vapor del combustible por debajo del límite inferior.

Espumas. Normas UNE 23603 (espumas físicas), UNE 23600 (clasificación de agentes) y UNE EN 1568 (concentrados, la más actual); las químicas están en desuso. Son masas de burbujas de aire formadas con espumógeno (concentrado tensoactivo), agua y aire; espumante es la mezcla de espumógeno y agua y espuma la de espumante y aire; su densidad es menor que la del líquido inflamable más ligero. Propiedades: cohesión, estabilidad medida por el tiempo de drenaje, fluidez, resistencia al calor, a la contaminación por el combustible y a los polares (la mayoría, salvo AFFF, se ven afectadas), toxicidad nula, cierta conductividad eléctrica mayor cuanto menor es la expansión, incompatibilidad con polvos y con otros espumógenos. Es el principal agente para líquidos inflamables; actúa por sofocación (las de alta expansión desplazan todo el aire) y enfriamiento. El coeficiente de expansión es el volumen de espuma entre el de espumante, inverso de la densidad: según UNE EN 1568 baja menor de 20 (densas, mismo alcance que el agua), media de 20 a 200 (alcance de 5 a 6 metros) y alta más de 200; según UNE 23603 baja de 3 a 30, media de 30 a 250, alta de 250 a 1.000; según UNE 23600 baja de 2 a 20, media de 20 a 200, alta más de 200. Por naturaleza: proteínicas (hidrólisis de proteínas animales, baja expansión, en desuso, incompatibles con polvos y no aptas para polares), fluoroproteicas FFFP (compatibles con polvos, no para polares), sintéticas (alta expansión, como el B-330), fluorosintéticas (baja) y formadoras de película acuosa AFFF (baja, polivalentes). Por función: para hidrocarburos, para polares (antialcohol) y polivalentes.

Polvos. Sales inorgánicas finamente pulverizadas (bicarbonato sódico, potásico, de urea-potasio, cloruro potásico, fosfato amónico) con aditivos como fosfato tricálcico o siliconas contra el apelmazamiento. Partículas de 25 a 30 micras; un extintor de 13,5 kilogramos contiene unos 4.500 metros cuadrados de superficie. Dieléctricos a bajas tensiones, estables por debajo de 50 grados. Actúan por inhibición (salvo los de clase D, que solo sofocan), sofocación secundaria y enfriamiento despreciable. Polvos BC o químicos secos: bicarbonato sódico o potásico hidrófugo, para B y C y tensión hasta 1.000 voltios, no eficaces en A, incompa-

tibles con espuma; el carbonato potásico con urea es más efectivo. Polvos ABC o antibrasa: fosfatos, sulfatos y sales amónicas; el fosfato monoamónico forma una capa pegajosa (ácido metafosfórico) que sella las brasas. Polvos especiales para clase D: grafito y carbón mineral específicos para cada metal: G1 o pireno, Metal Guard, Met-L-X, Na-X, Lith-X; el magnesio arde incluso en dióxido de carbono o nitrógeno, y agua y halones son peligrosos.

Gases. Se almacenan líquidos a presión y se descargan gaseosos; penetran en todas partes pero se disipan en exterior. Nitrógeno: antes producía cianógeno y peróxido de nitrógeno; hoy se usa más; sofoca y enfría; muy caro. Dióxido de carbono: el gaseoso más utilizado, barato, licuable, en botellas por debajo de 31 grados; se descarga por debajo de menos 40 grados y forma nieve a menos 79 (extintores de nieve carbónica); pesa 1,5 veces más que el aire, dieléctrico, sin residuos, estable entre 700 y 1.330 grados; sofocación primaria y enfriamiento secundario. Halones: hidrocarburos halogenados de metano y etano; la cifra indica átomos de carbono, flúor, cloro, bromo y yodo; el 1211 (bromoclorodifluorometano) para medios manuales y aplicación local y el 1301 (bromotrifluorometano), menos tóxico, para inundación total, impulsados con nitrógeno; el flúor reduce ebullición y toxicidad, cloro y bromo aumentan eficacia y toxicidad; inhibición y sofocación primarias; fabricación prohibida en Europa por la capa de ozono, uso hasta agotar existencias. Sustitutos limpios e inertes: IG-01 argón al 100 por 100 (Argotec, Argonfire), IG-55 Argonite (50 por 100 nitrógeno y 50 por 100 argón) e IG-541 Inergen (52 por 100 nitrógeno, 40 por 100 argón, 8 por 100 dióxido de carbono).

3.10. Aplicaciones de los agentes

Agua. Muy efectiva en clase A; en B y C solo para control. Chorro compacto: el más usado pero no el más eficaz, largo alcance, solo participa del 10 al 20 por 100 del agua; solo en clase A, no en B (el líquido flota y propaga), ni eléctricos ni metales. Pulverizada o neblina: el modo más eficaz, para A y B, con tensión mediante chorros intermitentes y lanzas especiales, para dispersar nubes de gas y refrigerar; máxima refrigeración y sofocación. Limitaciones: conductora; más densa que la mayoría de los combustibles líquidos; el vapor extiende el fuego en líquidos no solubles; reacciona con sodio y aluminio (marcados con X o doble X en el panel naranja); se congela y aumenta de volumen por debajo de 4 grados; a 3.222,2 grados se descompone en hidrógeno y oxígeno con explosiones.

Espumas. Aplicación directa o violenta e indirecta o suave; en hidrocarburos de las dos formas, en polares solo indirecta. Usos: forestales como humectante, sótanos inundándolos, hidrocarburos y cubrición preventiva de derrames; el mejor agente en almacenamientos de líquidos, aeropuertos y plantas químicas. Espumógenos de media y alta expansión al 1 al 3 por 100; de baja y media al 3 al 6 por 100; siempre el porcentaje del fabricante: en exceso da espuma espesa y poco fluida, en defecto espuma inestable. Temperatura ideal de mezcla de 7 a 27 grados; presión en punta de lanza de 3,5 a 10 bares sin pasar de 14; 7,5 bares en bomba dan 3,5 en lanza porque la manguera pierde unos 4. No se debe empezar sin disponer del espumógeno necesario para neutralizar el siniestro, dato que debe calcular el mando intermedio. Como más del 95 por 100 es agua, sus limitaciones son las del agua, más el precio y el almacenamiento. Equipos: proporcionadores, lanzas de baja y media expansión y generadores de alta.

Polvos y gases. Polvos: primaria en B y C, incluidos alcoholes salvo disulfuro de carbono; el polivalente también en A; el especial en D; dieléctricos hasta 1.000 voltios; rápidos, compatibles con todo salvo espumas, baratos; pero no enfrían y el fuego reinicia, solo para fuegos limitados, abrasivos, dejan residuo, dañan equipos delicados. Nitrógeno: práctico con técnicas especiales en petróleo (Kuwait), genera gases tóxicos y es caro. Dióxido de carbono: muy bueno en superficiales de clase A y en B y C, admite alta tensión pero no equipos delicados ni materiales que desprenden oxígeno; en clase D se descompone y reaviva; instalaciones de inundación total con 3 o 4 toneladas; poca penetración, se disipa fuera, congelaciones, reignición; concentraciones: 2 por 100 efecto narcótico, 5 por 100 estimula la respiración, 6 por 100 máxima admisible, 7 a 9 por 100 pérdida de conocimiento, 20 por 100 muerte en 20 a 30 minutos, 22 por 100 necesa-

ria para extinguir, evacuando antes. Halones: A, B y C y con tensión sin arcos; principal en eléctricos y gases; limpios, poca concentración, disparo automático con personas dentro; limitaciones: precio, ozono, gases tóxicos si no extinguen pronto, no para fuegos profundos.

3.11. Hidráulica: fluidos, hidrostática e hidrodinámica

Propiedades. Masa: cantidad de materia, en kilogramos, escalar, frente al peso, vectorial. Densidad (rho): masa por volumen, en kilogramos por metro cúbico. Peso específico (gamma): peso por volumen, en newtons por metro cúbico. Densidad relativa: comparada con el agua a 4 grados y una atmósfera; mercurio 13,6, hierro 7,8, grava 2,2, hielo 0,85, aceite 0,8, madera 0,5. Viscosidad (mu): oposición a las deformaciones tangenciales; solo se manifiesta en movimiento; el fluido ideal carece de ella; depende de la temperatura y en los gases aumenta con ella, al revés que en líquidos; un líquido viscoso pierde más presión. Capa límite: el fluido pegado a un sólido tiene su misma velocidad; el rozamiento se da entre capas. Presión de vapor: presión de equilibrio entre líquido y vapor a una temperatura; el líquido hierve cuando iguala la presión exterior, por eso al bajar la presión baja el punto de ebullición; el agua tiene 0,0173 kilogramos por centímetro cuadrado a 15 grados, 0,023 a 20, 0,075 a 40, 0,203 a 60, 0,482 a 80 y 1,033 a 100; hay que tenerla en cuenta en aspiración para evitar la cavitación. Tensión superficial: energía para aumentar la superficie por unidad de área; explica las gotas esféricas y, con las fuerzas líquido-sólido, la capilaridad; la del agua es alta por los puentes de hidrógeno.

Hidrostática. Estudia los fluidos en equilibrio con los principios de Pascal y Arquímedes. Presión: fuerza por unidad de superficie; el pascal es un newton por metro cuadrado. Presión atmosférica: equivale a 760 milímetros de mercurio y varía con altitud y meteorología. Una atmósfera son 1,033 kilogramos por centímetro cuadrado, 1,013 bares y 10,33 metros de columna de agua; un bar son 1,019 kilogramos por centímetro cuadrado y 100.000 pascales; en bomberos se igualan despreciando el error. Presión absoluta, referida al cero absoluto; relativa, a la atmosférica; los manómetros miden relativas. Presión estática, independiente de la velocidad, medida con tubos piezométricos; más la dinámica da la total. Ecuación fundamental: la diferencia de presión entre dos puntos es el peso de la columna de líquido; la presión crece con la profundidad, es igual a igual profundidad (vasos comunicantes), no depende de la forma del recipiente y es perpendicular a la superficie. Pascal: la presión sobre un fluido poco compresible en recipiente indeformable se transmite íntegra en todas direcciones; base de la prensa hidráulica, frenos, elevadores y equipos de corte y separación, que multiplican la fuerza en la relación de secciones. Arquímedes: el cuerpo sumergido recibe un empuje igual al peso del fluido desalojado, que depende de la densidad del líquido y del volumen sumergido, no de la presión.

Hidrodinámica. Supone líquido incompresible, viscosidad despreciable y régimen estacionario. Régimen laminar: partículas en láminas paralelas a baja velocidad; turbulento: remolinos por velocidad o cambios bruscos de dirección. El número de Reynolds separa laminar (menor de 2.000) y turbulento (mayor de 4.000), con transición entre ambos; las instalaciones de bomberos funcionan en turbulento. Caudal: líquido que pasa por una sección por unidad de tiempo, sección por velocidad. Continuidad: el caudal es constante sin fuentes ni sumideros, así que al reducir la sección aumenta la velocidad. Bernoulli: en un fluido ideal la suma de energía potencial, de presión y cinética es constante; en horizontal, menos sección implica más velocidad y menos presión; al subir cota la presión cae. Torricelli: la velocidad de salida por un orificio es la de caída libre desde la superficie; da el caudal de la lanza según la presión de entrada, corregido con un factor de surtidor K de 0,9 a 0,98 por la contracción de la vena líquida. Lanzas comerciales a 70 metros de columna de agua (7 kilogramos por centímetro cuadrado) con K 0,9: la de 25, boquilla de 5,5 a 12 milímetros, de 50 a 230 litros por minuto; la de 45, boquilla de 9,75 a 17,75, de 150 a 500; la de 70, boquilla de 13,75 a 21,75, de 300 a 750. Venturi: al estrecharse la sección sube la velocidad y baja la presión, aspirando otro fluido; base de pulverizadores y dosificadores. Golpe de ariete o pulso de Zhukowski: sobrepresión y depresión al variar bruscamente el caudal, por ejemplo al cerrar de golpe una válvula; la onda puede superar la velocidad del sonido en el fluido, dilata la tubería, se refleja y puede romper conductos.

3.12. Hidráulica: bombas centrífugas e instalaciones

Bombas centrífugas. Transforman la energía mecánica del motor en hidráulica: los álabes aceleran el fluido y el difusor convierte velocidad en presión. El incremento de energía es la altura manométrica; la potencia transferida es la potencia útil y el rendimiento es potencia útil entre consumida. Las curvas características, obtenidas por el fabricante regulando una válvula de salida, representan frente al caudal la altura manométrica (máxima a caudal nulo y decreciente al abrir), la potencia y el rendimiento; el punto óptimo de rendimiento define caudal y presión nominales. Las bombas de bomberos regulan las revoluciones con el acelerador, sin exceder normalmente de 5.000 revoluciones por minuto, dando familias de curvas.

Aspiración. El agua sube por el empuje de la presión atmosférica, no por la succión; la altura teórica máxima es 10,33 metros, inalcanzable porque la presión atmosférica baja con la altitud y el tiempo (10,33 metros a nivel del mar, 9,58 a 600 metros, 9,11 a 1.000, 8,45 a 1.600, 8,04 a 2.000, 7,56 a 2.500), por la presión de vapor (a más temperatura del agua menos altura: pérdida de 0,125 metros a 10 grados, 0,236 a 20, 0,43 a 30 y 0,745 a 40), porque el vacío no es perfecto y por las pérdidas en mangotes y alcachofa. En la práctica se aspira entre siete y ocho metros.

Cebado. La bomba centrífuga apenas succiona, así que hay que inundarla de agua antes de arrancar, salvo que el agua esté por encima; girar en vacío la avería por falta de lubricación y refrigeración. Dispositivos: eyector de gases (Venturi con los gases de escape), depresor de vacío (bomba de vacío eléctrica), anillo de agua (bomba volumétrica), autocebantes (depósito propio) y bomba de pistones. Se considera cebada cuando el agua toca el rodete; entonces se desconecta el cebado.

Cavitación. Formación de vapor por caída local de la presión por debajo de la de saturación y brusca condensación: ebullición a temperatura ambiente. Las burbujas implosionan en zonas de más presión (el agua se contrae 1.700 veces) golpeando los álabes con presiones locales de hasta 1.000 kilogramos por centímetro cuadrado, con picaduras, corrosión, ruidos y vibraciones como grava. Aparece con grandes alturas de aspiración o grandes caudales y, menos frecuente, por demanda excesiva desde el propio depósito. Se fija una altura geométrica máxima de aspiración de ocho a ocho metros y medio y se evita reduciendo alturas y caudales y aumentando la sección de mangotes.

Acoplamiento. En paralelo (entradas y salidas unidas): misma altura manométrica, suma de caudales. En serie (salida de una a entrada de otra): mismo caudal, suma de alturas, para impulsar a gran altura.

Instalación hidráulica. Lleva el agente desde la fuente al incendio; la básica es bomba, manguera y lanza. Ecuación de línea: presión en bomba igual a presión en punta de lanza más altura geométrica (positiva al subir, negativa al bajar) más pérdidas de carga, con 10 metros de columna de agua por bar. Las pérdidas de carga son pérdidas de energía por rozamiento y turbulencia: continuas en tramos regulares y locales o singulares en estrechamientos, cambios de dirección, válvulas y lanzas, mucho menores. Aumentan linealmente con la longitud, con el cuadrado del caudal, con la quinta potencia inversa del diámetro, y con la rugosidad y la viscosidad. Pérdidas por tramo en bares: manguera de 25 a 100 litros por minuto 2,5, a 200 litros 9, a 300 litros 20, a 500 litros 55; manguera de 45 a 100 litros 0,15, a 200 litros 0,37, a 300 litros 0,85, a 400 litros 1,7, a 500 litros 2,5, a 700 litros 5, a 1.000 litros 10; manguera de 70 a 300 litros 0,15, a 500 litros 0,35, a 1.000 litros 1,2, a 2.000 litros 4, a 4.000 litros 15. Locales a 235 litros por minuto: reducción de 45 a 25, 0,17 kilogramos por centímetro cuadrado; bifurcación de 45 a dos de 25, 0,031. Altura: al impulsar hacia abajo se suma un kilogramo por cada 10 metros; hacia arriba se resta uno por cada 10 metros. La curva de la instalación representa las pérdidas más la altura frente al caudal; el punto de funcionamiento es su intersección con la curva de la bomba. Para más caudal sin tocar la lanza se acelera la bomba y sube la presión en lanza; si se abre la lanza sube el caudal y baja la presión.

Alcance y reacción. El alcance depende del diámetro y de la presión de entrada: más presión, más alcance; a igual presión, más alcance a mayor diámetro; máximo con chorro y apertura total. Alcances a 5, 7, 10 y 12 kilogramos por centímetro cuadrado: lanza de 25, 29, 31, 33 y 35 metros; de 45, 34, 38, 42 y 45; de 70, 36,

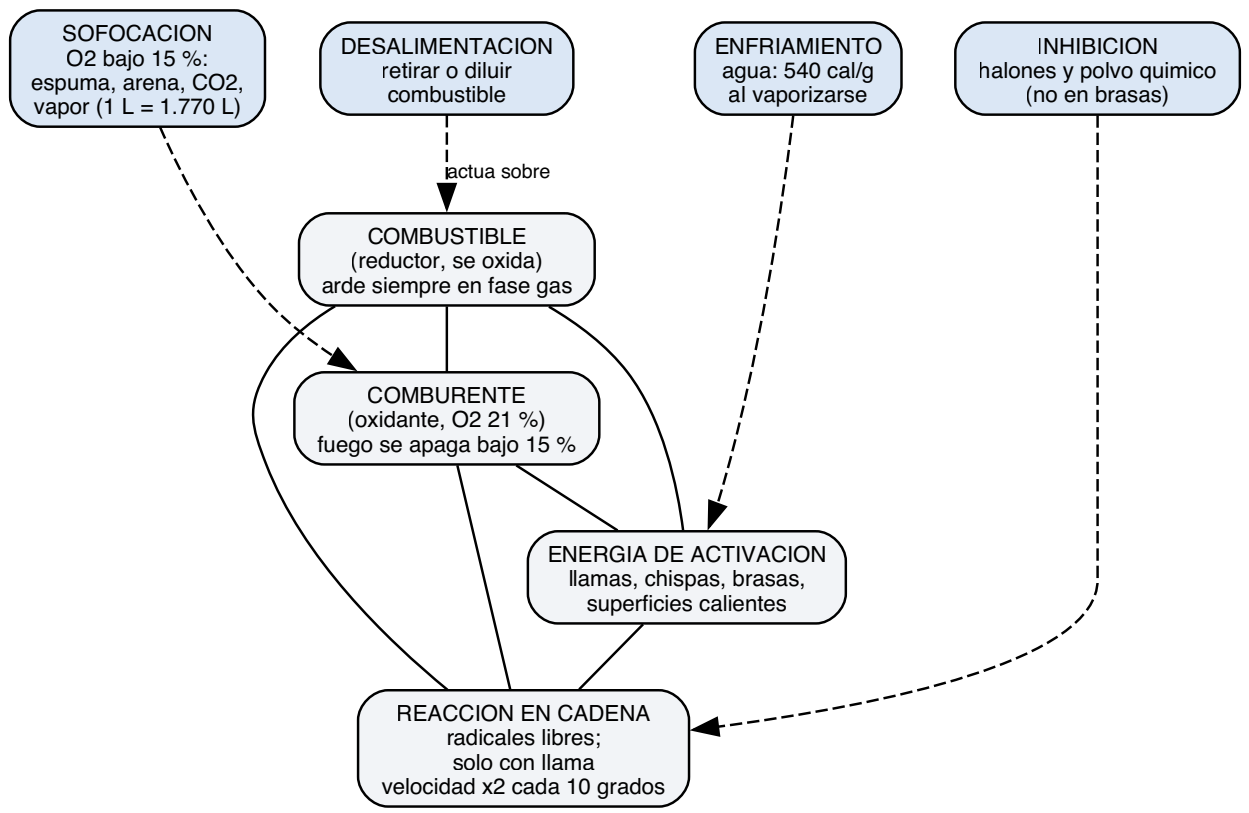
39, 44 y 50. Reacción en lanza: empuje igual a presión por superficie de salida, mayor a más presión y diámetro; en cono disminuye hasta anularse hacia 180 grados, por lo que un tendido en espera se deja en cortina de protección. Contra el golpe de ariete, abrir y cerrar lentamente.

3.13. Cifras y datos clave

Aire: 21 por 100 de oxígeno en volumen y 23 en peso, 79 de nitrógeno; el fuego se apaga por debajo del 15 por 100 de oxígeno. UNE 23026 define el fuego; ISO 13943 rige en Europa; NFPA en Estados Unidos; EN 2 clasifica: A sólidos con brasas, B líquidos, C gases, D metales, F aceites de cocina, la E desaparece. Tetraedro: combustible, comburente, energía de activación y reacción en cadena, cuya velocidad se duplica cada 10 grados. Llamas de 1.800 a 2.200 grados; incandescencia de metales 1.500 a 2.000; techo en desarrollo más de 700. Combustión normal menor de 1 metro por segundo; deflagración de 1 a 340 con sobrepresión de 5 a 10 veces; detonación más de 340 con 20 a 40, hasta 100; butano 0,9 y acetileno 14 metros por segundo. Límites: acetileno 2,5 a 81; metano 5 a 15; propano 2,2 a 9,5; butano 1,8 a 8,4; gasolina 1,5 a 7,6; gasoil 0,6 a 6,5; amoniaco 16 a 25; monóxido 12,5 a 74,2 (tabla 15,5 a 74); cianhídrico 5 a 40; sulfhídrico 4,5 a 45. Inflamación: gasolina menos 39, gasoil 60, madera 225, butano menos 60, propano menos 104, metano menos 188; autoinflamación: gasolina 285, gasoil 330, madera 280, metano 537, hidrógeno 580. Monóxido 260 veces más afín a la hemoglobina. Dióxido de carbono densidad 1,52, nieve a menos 79, botellas por debajo de 31 grados, 6 por 100 máximo admisible, 20 por 100 muerte en 20 a 30 minutos, 22 por 100 extinción. Cloro 2,5 veces más pesado que el aire; fosgeno de PVC y freón, ebullición 8 grados. Agua: calor específico una caloría (4,182 julios), vaporización 540 calorías por gramo, fusión 80; un litro roba 80 kilocalorías de 20 a 100 grados; expansión 1.500 a 1.700 veces (1.770 y 1.880 según apartado); disociación a 1.650 grados; crítica 374; máximo volumen a 4 grados; eficaz sobre líquidos con inflamación superior a 38 grados; chorro compacto aprovecha del 10 al 20 por 100. Caloría 4,1868 julios; Fahrenheit igual a Celsius por 1,8 más 32; Kelvin igual a Celsius más 273,15. Nebulizada de 4 a 200 bares. Óxido de polietileno: 4 litros en 23.000, más 70 por 100 de flujo, dosis 1 a 6.000; fricción 10 por 100, turbulencia 90 por 100. Espumas: EN 1568 menor de 20, 20 a 200, más de 200; UNE 23603 3 a 30, 30 a 250, 250 a 1.000; UNE 23600 2 a 20, 20 a 200, más de 200; dosis media y alta 1 a 3 por 100, baja y media 3 a 6; mezcla de 7 a 27 grados; lanza de 3,5 a 10 bares, máximo 14; 7,5 en bomba dan 3,5 en lanza; más del 95 por 100 es agua; media expansión alcanza 5 a 6 metros. Polvos: 25 a 30 micras; 13,5 kilogramos dan 4.500 metros cuadrados; estables bajo 50 grados; tensión hasta 1.000 voltios; ABC lleva fosfato monoamónico. Halón 1211 manual, 1301 inundación; IG-01 argón, IG-55 Argonite mitad y mitad, IG-541 Inergen 52-40-8. Hidráulica: densidades relativas mercurio 13,6, hierro 7,8, grava 2,2, hielo 0,85, aceite 0,8, madera 0,5; una atmósfera son 760 milímetros de mercurio, 1,033 kilogramos por centímetro cuadrado, 1,013 bares y 10,33 metros de columna de agua; un bar 100.000 pascales y 1,019 kilogramos por centímetro cuadrado; presión de vapor del agua 0,0173 a 15 grados y 1,033 a 100; Reynolds laminar menor de 2.000, turbulento mayor de 4.000; K de surtidor 0,9 a 0,98; lanzas a 7 kilogramos: 25 de 50 a 230 litros por minuto, 45 de 150 a 500, 70 de 300 a 750, con alcances 31, 38 y 39 metros. Bombas hasta 5.000 revoluciones; aspiración teórica 10,33 metros, práctica 7 a 8, geométrica máxima 8 a 8,5 para evitar la cavitación, que produce 1.000 kilogramos por centímetro cuadrado; paralelo suma caudales, serie suma presiones. Pérdidas: lineales con longitud, cuadrado del caudal, quinta potencia del diámetro; un kilogramo por cada 10 metros de desnivel; manguera de 45 a 500 litros pierde 2,5 bares por tramo, la de 70 pierde 0,35, la de 25 a 200 litros pierde 9. Ecuación de línea: bomba igual a lanza más altura más pérdidas. Lanza en espera en cortina; apertura y cierre lentos contra el golpe de ariete.

Cuadros y esquemas para el estudio impreso

Esquema 1. Tetraedro del fuego y mecanismos de extinción



Triángulo = combustible + comburente + energía (combustiones sin llama, incandescencia). Tetraedro = triángulo + reacción en cadena (combustión con llama).

Cuadro 1. Clases de fuego (norma EN 2) y agentes extintores

Clase	Combustible	Ejemplos	Agentes adecuados	Evitar
A	Sólidos con brasas (fuegos profundos)	Madera, papel, tela, carbón, plástico, caucho	Agua (muy efectiva), polvo ABC, espuma, CO2 en superficiales, halones	Polvo BC (no eficaz)
B	Líquidos y sólidos licuables, sin brasas	Gasolina, gasóleo, alcohol, grasas, ceras, parafinas	Espuma (principal), polvo BC y ABC, CO2, halones; agua pulverizada solo control	Chorro compacto (el líquido flota y propaga)
C	Gases	Butano, propano, metano, acetileno, hidrógeno	Polvo, halones (principal en gases), CO2; agua solo para control y dispersar nubes	Extinguir sin cortar el suministro
D (M)	Metales	Al en polvo, Na, K, Mg	Polvos especiales por metal: G1 o pireno, Met-L-X, Na-X, Lith-X	Agua (desplazan el hidrógeno y explotan), CO2 y halones; el Mg arde incluso en CO2 y N2
F (K americana)	Aceites y grasas de cocina	Freidoras, aparatos de cocina	El manual no detalla agente	Agua a chorro sobre grasa caliente

Clase	Combustible	Ejemplos	Agentes adecuados	Evitar
E (antigua)	Fuegos eléctricos	Desaparece: la electricidad no es combustible	Cortada la corriente, la clase la fija el combustible (normalmente A)	Agua con tensión (conductora)

Cuadro 2. Límites de inflamabilidad y temperaturas características (según el manual)

Sustancia	Límite inferior %	Límite superior %	T. inflamación °C	T. autoinflamación °C
Hidrógeno	—	—	-259	580
Metano	5	15	-188	537
Gas natural	—	—	-180	482
Propano	2,2	9,5	-104	450
Butano	1,8	8,4	-60	287
Acetileno	2,5	81	—	—
Monóxido de carbono	12,5 (tabla: 15,5)	74,2 (tabla: 74)	—	—
Amoniaco	16	25	—	—
Gasolina	1,5	7,6	-39	285
Gasoil	0,6	6,5	60	330
Alcohol etílico	4,3	7,1	18	425
Acetona	2,5	19,3	-18	540
Madera	—	—	225	280
Aceite	—	—	232	343

Inflamación (flash point): mínima temperatura con vapores suficientes para inflamarse con foco externo. Ignición o incendio: unos grados más, la llama se mantiene al retirar el foco. Autoinflamación: arde sin foco externo. Rango de inflamabilidad = entre ambos límites; punto estequiométrico = velocidad máxima, explosión.

Cuadro 3. Gases de la combustión: propiedades y efectos

Gas	Origen típico	Frente al aire	Inflamable (%)	Efecto
CO monóxido	Combustión incompleta, déficit de O2	Más ligero	12,5 a 74,2 (tabla 15,5 a 74); llama azul	Carboxihemoglobina, afinidad 260 veces mayor que el O2; hipoxia; unión reversible
CO2 dióxido	Combustión completa	Más pesado (1,52)	No	Asfixiante, no tóxico; 6 % máximo admisible; 20 % muerte en 20 a 30 min
HCN cianhídrico	Cianuros con agua o ácidos; N en combustibles	Más pesado; olor a almendras amargas	5 a 40	Inhibe la citocromooxidasa: anoxia química
H2S sulfhídrico	Alcantarillas; olor a huevos podridos	Más pesado	4,5 a 45	Perceptible bajo 30 ppm; paraliza el olfato a 100; 20 a 50 ppm malestar, asfixia, muerte

Gas	Origen típico	Frente al aire	Inflamable (%)	Efecto
NH3 amoniaco	Refrigeración, combustión de compuestos con N	Olor muy penetrante	16 a 25	Irritante
Cl2 cloro	Número atómico 17	2,5 veces más pesado; amarillo verdoso	No; explosivo con H2 e hidrocarburos	Irrita mucosas, espasmo de laringe, cloracné
Fosgeno (CG)	Llamas sobre PVC, cables, freón	Ebullición 8 °C; olor a heno	No, comburente	Muy tóxico; en pulmón da HCl y CO
SO2 dióxido de azufre	Combustibles con azufre	Incoloro, olor asfixiante	No	Irritante inmediato ("gas amigo"); edema pulmonar tardío
HF fluorhídrico	Fluorados	Ebullición -188 °C (flúor)	No	Ataca al vidrio, atraviesa la piel, hipocalcemia
Acroleína	Humo de tabaco, escapes	Líquido, ebullición 52,5 °C	Sí, fácil	Irritante

Color del humo (orientativo): blanco = vegetales con mucho O2; negro = gran carga térmica y poco O2 (sintéticos, hidrocarburos); amarillo = azufre; amarillo verdoso = cloro; violeta = yodo; azul = hidrocarburos.

Cuadro 4. Agentes extintores: mecanismo, uso y limitaciones

Agente	Mecanismo principal	Clases	Cifras clave	Limitaciones
Agua	Enfriamiento (540 cal/g al vaporizar); sofocación por vapor; dilución en polares	A; B y C solo control	Expansión 1.500 a 1.700 veces (1.770 o 1.880 según pasaje); chorro compacto aprovecha 10 a 20 %; nebulizada 4 a 200 bar; eficaz en líquidos con inflamación > 38 °C	Conductora; más densa que los combustibles líquidos; reacciona con Na y Al (X o XX en panel naranja); hiela y dilata bajo 4 °C
Espuma	Sofocación y enfriamiento	B (principal), A	EN 1568: baja < 20, media 20 a 200, alta > 200; dosis 1 a 3 % (media y alta), 3 a 6 % (baja y media); mezcla 7 a 27 °C; lanza 3,5 a 10 bar, máx. 14; 7,5 bar en bomba = 3,5 en lanza	Polares solo aplicación indirecta (salvo AFFF); incompatible con polvos; > 95 % es agua
Polvo BC (químico seco)	Inhibición	B, C; tensión hasta 1.000 V	Bicarbonato Na o K; 25 a 30 micras; 13,5 kg = 4.500 m2; estable bajo 50 °C	No eficaz en A; incompatible con espuma; no enfría: reignición; residuo y abrasión
Polvo ABC (antibrasa)	Inhibición + sella brasas	A, B, C	Fosfato monoamónico forma capa pegajosa (ácido metafosfórico)	Igual que BC salvo la clase A
Polvo clase D	Sofocación	D	G1 o pireno, Metal Guard, Met-L-X, Na-X, Lith-X	Específico para cada metal
CO2	Sofocación (enfriamiento secundario)	A superficial, B, C; alta tensión	1,5 veces más pesado; nieve a -79 °C; botellas bajo 31 °C; 22 % para extinguir; inundación total 3 a 4 t	No en D (se descompone y reaviva); no equipos delicados; poca penetración; congelaciones

Agente	Mecanismo principal	Clases	Cifras clave	Limitaciones
Halones 1211 y 1301	Inhibición y sofocación	A, B, C, eléctricos y gases	1211 manual y local; 1301 (menos tóxico) inundación total	Fabricación prohibida (ozono); tóxicos si no extinguen pronto; no fuegos profundos
Inertes IG	Sofocación por dilución	Inundación total	IG-01 argón 100 %; IG-55 Argonite N2 50 y Ar 50; IG-541 Inergen N2 52, Ar 40, CO2 8	Coste; evacuar antes

Fórmulas

Presión en bomba = presión en punta de lanza + altura geométrica (bar) + pérdidas de carga

1 bar = 10 m de columna de agua = 100.000 Pa = 1,019 kg/cm2

1 atm = 760 mm Hg = 1,033 kg/cm2 = 1,013 bar = 10,33 m c.a.

Altura geométrica: +1 bar por cada 10 m de subida, -1 bar por cada 10 m de bajada

Pérdidas de carga proporcionales a L x Q2 / D5 (longitud, cuadrado del caudal, inversa de la quinta potencia del diámetro)

Presión hidrostática: P = densidad x g x h

Caudal: Q = S x v ; continuidad S1 x v1 = S2 x v2

Torricelli: v = raíz de (2 x g x h) ; caudal real de lanza Q = K x S x raíz de (2 x g x h), K de 0,9 a 0,98

Bernoulli: P / peso específico + v2 / (2 x g) + z = constante

Pascal (prensa hidráulica): F1 / S1 = F2 / S2

Arquímedes: empuje = densidad del líquido x g x volumen sumergido

Reynolds: laminar < 2.000 ; turbulento > 4.000 (bomberos siempre turbulento)

Rendimiento de la bomba = potencia útil / potencia consumida

Calor: Q = m x ce x diferencia de temperatura ; 1 cal = 4,1868 J ; 1 J = 0,24 cal

Fahrenheit = Celsius x 1,8 + 32 ; Kelvin = Celsius + 273,15

Término	Significado	Unidad o valor
P	Presión (fuerza por superficie)	bar, kg/cm2, Pa
h, z	Altura o cota de la columna de agua	m (10 m = 1 bar)
Q	Caudal (volumen por tiempo)	L/min o m3/s
S	Sección de paso o de la boquilla	m2

Término	Significado	Unidad o valor
v	Velocidad del fluido	m/s
K	Factor de surtidor (contracción de la vena)	0,9 a 0,98
L, D	Longitud y diámetro de la manguera	m, mm
g	Aceleración de la gravedad	9,81 m/s2
densidad (rho)	Masa por volumen	kg/m3 (agua 1.000)
peso específico (gamma)	Peso por volumen	N/m3
ce	Calor específico (agua 1 cal/g °C = 4,182 J/g °C)	cal/g °C

Cuadro 5. Hidráulica práctica: pérdidas de carga, lanzas y aspiración

Pérdida de carga por tramo de manguera, en bar (según el manual):

Caudal (L/min)	Manguera 25 mm	Manguera 45 mm	Manguera 70 mm
100	2,5	0,15	—
200	9	0,37	—
300	20	0,85	0,15
400	—	1,7	—
500	55	2,5	0,35
700	—	5	—
1.000	—	10	1,2
2.000	—	—	4
4.000	—	—	15

Pérdidas locales a 235 L/min: reducción 45 a 25 = 0,17 kg/cm2; bifurcación 45 a dos de 25 = 0,031. Las pérdidas se deben en un 10 % a las paredes y en un 90 % a la turbulencia.

Lanza	Boquilla (mm)	Caudal a 7 kg/cm2 (L/min)	Alcance a 5 / 7 / 10 / 12 kg/cm2 (m)
25	5,5 a 12	50 a 230	29 / 31 / 33 / 35
45	9,75 a 17,75	150 a 500	34 / 38 / 42 / 45
70	13,75 a 21,75	300 a 750	36 / 39 / 44 / 50

Aspiración	Valor
Altura teórica máxima (nivel del mar)	10,33 m
Según altitud: 600 / 1.000 / 1.600 / 2.000 / 2.500 m	9,58 / 9,11 / 8,45 / 8,04 / 7,56 m
Pérdida por temperatura del agua: 10 / 20 / 30 / 40 °C	0,125 / 0,236 / 0,43 / 0,745 m
Altura práctica	7 a 8 m
Altura geométrica máxima (evitar cavitación)	8 a 8,5 m
Cavitación: presión local sobre álabes	hasta 1.000 kg/cm2
Bombas: revoluciones máximas habituales	5.000 rpm

Aspiración	Valor
Acoplamiento en paralelo / en serie	suma caudales / suma presiones

Ideas clave

> El fuego se apaga por debajo del 15 % de oxígeno; el aire tiene 21 % en volumen y 23 % en peso. Tetraedro: combustible, comburente, energía de activación y reacción en cadena; la velocidad se duplica cada 10 °C. Deflagración: 1 a 340 m/s, sobrepresión 5 a 10 veces; detonación: supersónica, 20 a 40 veces (hasta 100). El CO tiene 260 veces más afinidad por la hemoglobina que el oxígeno; el fosgeno nace del PVC y el freón. Agua: 540 cal/g al vaporizar, 80 cal/g de fusión; 1 litro roba 80 kcal de 20 a 100 °C; se dilata 1.500 a 1.700 veces. Espumas EN 1568: baja < 20, media 20 a 200, alta > 200; 7,5 bar en bomba dan 3,5 en lanza. Las pérdidas de carga crecen con la longitud, el cuadrado del caudal y la inversa de la quinta potencia del diámetro. Aspiración teórica 10,33 m, práctica 7 a 8 m; paralelo suma caudales, serie suma presiones; lanza en espera en cortina.

Capítulo 4. Incendios estructurales: fundamentos y técnicas (tema 3)

Incendios · temas 3 a 7

Este capítulo pertenece al grupo Incendios del temario específico y cubre el tema 3: incendios estructurales, fundamentos y técnicas. La fuente distribuida por el servicio es el libro "Incendios estructurales. Guía táctica visual", quinta edición, en sus partes 1 (Fundamentos) y 2 (Técnicas: protección de personas, aplicación de agua y ventilación). Es un libro muy visual, con poco texto por página, y este capítulo recoge todo lo que dice. Donde la guía es escueta se complementa con la parte 3 del Manual de Incendios del CEIS Guadalajara (incendios de interior y ventilación), que aporta las fases del incendio, los fenómenos de rápido desarrollo, los riesgos, la lectura del humo y el detalle de la ventilación por presión positiva. El capítulo sigue el orden de la guía y termina con las cifras clave. En el examen de bombero de Gipuzkoa de 2026 se preguntaron la prioridad de zonas por supervivencia de víctimas, el confinamiento de ocupantes, la ventilación por presión positiva, el movimiento del humo por flotabilidad y diferencial de presión, la relación entre abertura de ventilación, tasa de liberación de calor y caudal táctico, y la técnica que se aplica solo con chorro estático.

4.1. Clasificación de incendios según la ventilación y según el combustible

Concepto. Según las condiciones de ventilación, la guía distingue:

- Incendio no confinado (INC): el movimiento del efluente del incendio no está limitado por un continente; ventilación plena.
- Incendio confinado: el movimiento del efluente está limitado por un continente. Tiene tres variantes. Incendio confinado ventilado (ICV): la abertura es suficiente para la alimentación y desarrollo del incendio en el instante dado; el régimen es de incendio limitado por el combustible; con combustible suficiente puede evolucionar a infraventilado aunque no cambie la abertura. Incendio confinado infraventilado (IIV): la abertura es insuficiente para la alimentación y el desarrollo del incendio en el instante dado; el régimen es de incendio limitado por la ventilación. Incendio confinado no ventilado (INV): sin abertura de ventilación; al inicio es limitado por el combustible y evoluciona a limitado por la ventilación si hay combustible suficiente.

Concepto. Según el combustible involucrado:

- Incendio de contenido (ICN), también llamado incendio estructural: el combustible está albergado en el interior de la edificación y no forma parte de ella. Es el ámbito general de la guía.
- Incendio de continente (ICT), también llamado incendio de estructura: el combustible forma parte integrante de la edificación, ya sean elementos portantes, cerramientos, aislamiento o elementos en patinillos y huecos. Muchas veces concurre con incendios de contenido, como origen o como consecuencia. Su variante es el incendio de envolvente (ICE), incendio de continente cuya propagación principal se produce por los cerramientos de fachada. Los incendios de continente pueden requerir planteamientos tácticos distintos de los propuestos en la guía.

4.2. Incendio limitado por el combustible y por la ventilación. Fases y evolución

Concepto. En el incendio limitado por el combustible (ILC) el crecimiento y la tasa de liberación de calor dependen de las características, disponibilidad y geometría del combustible: más combustible involucrado implica mayor potencia; una abertura de ventilación mayor no implica mayor potencia. En el incendio limitado por la ventilación (ILV) el crecimiento y la tasa de liberación de calor dependen de la disponibilidad de oxígeno: más combustible no implica mayor potencia; una abertura mayor sí implica mayor potencia. La potencia durante la fase de estabilización de un ILV depende del tamaño de la abertura.

Fases. Toda evolución tiene cuatro fases: incipiente, crecimiento, estabilización y declive. En el incendio no confinado y en el confinado ventilado todas las fases son limitadas por el combustible: en la incipiente y en el crecimiento parte de la carga no participa; en la estabilización todo el combustible participa y la liberación de calor está limitada por la carga; en el declive el incendio agota el combustible. En el confinado infraventilado, sin tránsito por flashover, las fases incipiente y de crecimiento son limitadas por el combustible, la estabilización es limitada por la ventilación (por el tamaño del hueco) y el declive vuelve a ser limitado por el combustible. En el confinado no ventilado la estabilización está limitada por la ausencia de ventilación y en el declive el incendio se extingue porque la liberación de calor no sostiene la combustión.

Complemento CEIS. El estudio clásico de laboratorio distingue crecimiento, pleno desarrollo y decaimiento. En el crecimiento los gases se acumulan arriba y aparece el efecto de flotabilidad; se forman dos estratos, el superior de gases de incendio con presión superior a la exterior y el inferior de aire frío y denso con presión inferior; el límite aproximado es el plano neutro, donde la presión es igual a la exterior. La radiación del colchón de gases sigue la ley de Stefan-Boltzmann, cuarta potencia de la temperatura: a 500 grados se radia 64 veces más que a temperatura ambiente. Si la inflamación del colchón es puntual se producen rollover; si es generalizada, flashover. En el pleno desarrollo la temperatura alcanza su límite y se mantiene; la potencia ya no la determina el combustible sino la falta de oxígeno. En incendios ventilados se mantienen los estratos; en confinados el plano neutro cae hasta el suelo y la visibilidad es nula. En el decaimiento el recinto pierde temperatura. Un bloque de poliestireno se consume a razón de 50 gramos por segundo en abierto. Cargas de combustible de 200 megajulios por metro cuadrado bastan para alcanzar estados limitados por la ventilación.

4.3. Flashover, flashover inducido por la ventilación y otros fenómenos de rápido desarrollo

Flashover (FO). Ignición casi simultánea de la mayoría de los combustibles directamente expuestos dentro de un recinto de incendio. Requiere aporte suficiente de oxígeno y combustible. Antes del flashover la capa de gases se encuentra por encima de su límite superior de inflamabilidad; su calentamiento amplía el rango de inflamabilidad y hace que la mezcla entre en rango. Escenarios: gran volumen anexo capaz de suministrar oxígeno al recinto; hueco de ventilación suficiente; rotura de ventana o puerta u operación de ventilación no coordinada, que produce el flashover inducido por la ventilación (FOV), en el que la ampliación del rango por calentamiento y la entrada de aire hacen que la mezcla entre en rango. La NFPA 921 lo define como la fase transitoria en la que las superficies expuestas a la radiación alcanzan su temperatura de inflamación casi simultáneamente y el incendio se generaliza. Para combatir su aproximación: reducir la temperatura del colchón de gases, diluirlo con vapor de agua y barrer los gases con ventilación forzada sin turbulencias excesivas.

Incendio infraventilado (CEIS). Incendio de interior que alcanza el estado limitado por la ventilación sin pasar por flashover. Sin flujo de aire continuo el plano neutro desciende al suelo, la visibilidad es nula y desaparece el colchón de aire fresco. La fracción de combustible, proporción de combustible disponible en el colchón de gases, es alta porque no se ha consumido en un flashover, lo que confiere un elevado potencial de crecimiento frente a la ventilación. Con edificaciones muy aisladas y combustibles sintéticos, es el esce-

nario más frecuente a la llegada. Los experimentos de Underwriters Laboratories con mobiliario moderno dieron unos dos minutos desde la apertura de ventilación hasta el flashover inducido; tras la apertura el flujo inicial casi laminar evoluciona a flujos de salida turbulentos y rápidos. Por eso al iniciar la progresión hay que prestar especial atención al control de la ventilación.

Backdraft (CEIS). 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 falta de oxígeno (NFPA 921). Parte también de un incendio infraventilado, pero el aumento de potencia es repentino, no paulatino. Al abrir, una lámina de aire fresco, la corriente de gravedad, entra por abajo bajo el flujo caliente de salida; la fricción crea zonas de mezcla que avanzan hacia el fondo hasta alcanzar una fuente de ignición. Hace falta una fracción de combustible realmente alta, superior al 15 por 100 según autores. Es erróneo asociarlo al monóxido de carbono: su temperatura de ignición es 609 grados y su límite inferior de inflamabilidad el 12 por 100, pero las concentraciones en incendios difícilmente pasan del 5 por 100. Indicadores, ninguno inequívoco: incendio infraventilado en recinto confinado; pulsaciones, el incendio parece respirar y exhalar, con silbidos en rendijas; colchón de gases denso con tonos anaranjados y amarillentos en el exterior. Enfoques: apertura en cubierta (sin corriente de gravedad; viable en entramados ligeros de madera, no en forjados habituales), limitar el aporte de aire y esperar el decaimiento, ataque indirecto desde una apertura que pueda cerrarse, y si es inminente, provocarlo con el personal en el exterior en posición defensiva.

Explosión de humo (CEIS). Deflagración por la presencia de una fuente de ignición en una mezcla de gases de incendio y aire dentro de su rango de inflamabilidad, acumulada en espacios ocultos sin fuentes de ignición. El desencadenante no es la ventilación sino la fuente de ignición, normalmente al accionar circuitos eléctricos o por contacto con elementos incandescentes. Indicador: humo caliente no muy denso en espacio confinado fuera de la zona de incendio, mezcla homogénea. Intervención: evitar fuentes de ignición, enfriar con ataque indirecto y ventilar la mezcla.

4.4. Movimiento de humo y calor, flujo de gases y capas de gases

Concepto. El movimiento de humo y calor en un recinto se explica por dos efectos que pueden darse a la vez, con predominio de la flotabilidad:

- Flotabilidad: los gases se expanden con la temperatura, reducen su densidad y flotan sobre los fluidos más densos (aire y humo más frío), desplazándose hacia capas más altas hasta encontrar un entorno de la misma densidad. Si encuentran un obstáculo, como el techo, contornean la superficie empujando a capas más bajas a los fluidos más pesados. El CEIS lo explica porque una masa menos densa recibe más presión en su cara inferior que en la superior; en el incendio la diferencia de densidad se debe a la temperatura, pues el nitrógeno se mantiene en proporción similar. Aire a 20 grados: 1,2 kilogramos por metro cúbico; gases a 500 grados: 0,46.
- Gradiente de diferenciales de presión: los diferenciales respecto a la presión atmosférica exterior se generan por el incendio, el viento, la ventilación forzada y otros fenómenos; los fluidos se mueven de mayor a menor presión por el camino más corto. Si solo actuara la presión, las capas superiores (mayor presión) bajarían; no ocurre por la flotabilidad.

Equilibrio de masa. En un sistema cerrado la masa que abandona el recinto es igual a la que entra más la masa de combustible que se transforma en gas, término menor y despreciable. Así, la masa de aire arrastrada al interior es igual a la masa de humo que sale; pero por la expansión térmica el volumen de aire que entra es menor que el volumen de humo que sale.

Flujo de gases (FG). Movimiento del volumen de gases debido a diferencias de presión y temperatura, operaciones de ventilación o sistemas de protección. La ruta de gases fría va desde la entrada hasta el foco; la ruta caliente la forman los gases de incendio en busca de la salida. Flujo bidireccional (FGB): generado por una ventilación natural horizontal, entrada abajo y salida arriba por la misma abertura. Flujo unidireccional (FGU): por ventilación natural vertical o por ventilación forzada. Flujo turbulento: por una ventilación

forzada defectuosa. La identificación del flujo es crítica para el planteamiento táctico: modificarlo permite mejorar la supervivencia y el acceso, encaminar los efluentes a zonas de menos riesgo e influir sobre la potencia. Ejemplo: flujo unidireccional de entrada por la puerta principal, salida por la parte alta de la caja de escalera y bidireccionales en la puerta de la vivienda y la ventana; instalar una cortina de bloqueo protege la escalera y establece un flujo unidireccional para el ataque.

Capas de gases. En el recinto hay dos capas en equilibrio hidrostático: la caliente, de gases de incendio, menos densa, arriba; y la fría, de aire y humo frío diluido, abajo. La frontera es la interfase. El plano neutro, situado por encima de la interfase, delimita las zonas de diferencial de presión positivo (flujo de salida arriba) y negativo (flujo de entrada abajo). La interfase queda por debajo del plano neutro por las turbulencias y la fricción entre capas.

Arrastre de aire por chorros. El movimiento del agua arrastra aire; el caudal arrastrado depende del caudal de agua, la velocidad de las gotas y la apertura del cono. Un chorro sólido tiene arrastre casi despreciable y no genera depresiones ni sobrepresiones. Un cono genera depresión junto a la lanza, arrastrando aire al cono, y sobrepresión a media distancia; el arrastre aumenta con el caudal y la presión. Un chorro sólido en movimiento rápido (giros o cabeceos) se comporta como un cono. Un chorro sólido que impacta contra techo, dintel o pared se comporta como sólido hasta el impacto y como cono a partir de él, con depresión junto al impacto y sobrepresión a media distancia.

4.5. Potencia de incendio: tasa de liberación de calor

Concepto. La potencia o tasa de liberación de calor (TLC) es la cantidad de calor liberada por unidad de tiempo. En incendios limitados por el combustible es la suma de las tasas instantáneas de cada paquete de combustible: valores indicativos máximos de paquetes comunes: papelera 0,1 megavatios; silla 0,3; un metro cuadrado de combustible 1 megavatio; sillón 3 megavatios; sofá 5 megavatios; televisor 0,3. En incendios limitados por la ventilación la potencia máxima depende del tamaño de la abertura: un metro cuadrado de abertura puede generar unos 2 megavatios; la gráfica de la guía da del orden de 2 megavatios para 1 metro cuadrado, unos 4 para 2 metros cuadrados y unos 6 para 3 metros cuadrados, con valores algo distintos para aberturas cuadradas (ventana) y rectangulares (puerta).

4.6. Supervivencia de víctimas: dosis, FED, visibilidad y zonificación

Concepto. La supervivencia de víctimas indica la probabilidad de permanecer con vida en un entorno de incendio para quien no puede alcanzar por sí mismo un lugar seguro. La dosis de gases tóxicos inhalada es la concentración por el tiempo; en un incendio confinado la concentración crece exponencialmente y la dosis es la integral en el tiempo. La fracción de dosis efectiva (FED) igual a 1 es la dosis necesaria para que fallezca el 50 por 100 de la población. Relación entre FED, visibilidad, supervivencia y tiempo desde el inicio: FED 0,1, 10 metros de visibilidad, 99 por 100 de supervivencia, tiempo T; FED 0,3, 3 metros, 90 por 100, tiempo 2T; FED 5, 1 metro, 5 por 100, tiempo 3T.

Parámetros. La supervivencia depende de parámetros térmicos (temperatura a distintas alturas, radiación) y respiratorios (gases tóxicos, deficiencia de oxígeno), integrados en la FED. Se establecen cuatro clases según el factor más limitante, con un orden de prioridad de búsqueda y rescate para maximizar las víctimas con vida:

- Supervivencia alta: más del 99 por 100; FED menor de 0,1; visibilidad mayor de 10 metros; flujo térmico menor de 2 kilovatios por metro cuadrado; altura de la capa a 150 grados mayor de 1,8 metros. Prioridad 4. Zonas libres de humo, habitualmente separadas del incendio por dos puertas cerradas.
- Supervivencia media: del 90 al 99 por 100; FED entre 0,1 y 0,3; visibilidad entre 3 y 10 metros. Prioridad 2. Zonas con humo diluido o plano neutro alto, habitualmente separadas del incendio por una sola puerta cerrada.

- Supervivencia baja: del 5 al 90 por 100; FED entre 0,3 y 5; visibilidad entre 1 y 3 metros; flujo térmico entre 2 y 6 kilovatios por metro cuadrado; altura de la capa a 150 grados entre 0,5 y 1,8 metros. Prioridad 1. Zonas con fuerte densidad de humo y plano neutro muy bajo, habitualmente con puertas abiertas al motor del incendio.
- Supervivencia mínima: menos del 5 por 100; FED mayor de 5; visibilidad menor de 1 metro; flujo térmico mayor de 6 kilovatios por metro cuadrado; altura de la capa a 150 grados menor de 0,5 metros. Prioridad 3. Plano neutro a ras de suelo; habitualmente el recinto de origen. El orden de búsqueda y rescate es, por tanto: primero baja, segundo media, tercero mínima y cuarto alta.

Propuestas de zonificación. En viviendas unifamiliares de hormigón y obra de fábrica y en bloques de vivienda de hormigón: primero las zonas con puertas abiertas al motor del incendio (baja); segundo las zonas separadas por una sola puerta cerrada y la planta por encima del incendio (media), y en bloques también la última planta si la escalera está inundada de humo; tercero el recinto del incendio (mínima); cuarto las zonas por debajo del incendio y las separadas por dos puertas cerradas o una puerta resistente al fuego (alta). En bloques con estructura de madera o baja estanqueidad la planta por encima del incendio y la última planta con escalera inundada pasan a supervivencia baja, y el resto de plantas por encima quedan en media.

Complemento CEIS. Los estudios de Underwriters Laboratories dan un rango de supervivencia de 6 a 12 minutos desde el inicio para víctimas en una estancia con puerta abierta, alcanzándose el régimen limitado por la ventilación a los cinco minutos; los parámetros respiratorios resultaron más críticos que los térmicos. Para los intervinientes, 140 grados es la máxima temperatura de aire respirado que permite sobrevivir brevemente; las zonas superiores superan fácilmente 600 grados mientras el colchón inferior ronda 100; 10 kilovatios por metro cuadrado es el umbral de trabajo para bomberos equipados y 20 implican daños al equipo y a la persona.

4.7. Lectura de incendios

Concepto. La guía propone un proceso deductivo en cinco pasos. Uno, información previa: aviso, información inicial, uso y ocupación, confinamiento o evacuación, entorno, localización, hora y meteorología. Dos, constatación en 360 grados: edificio, ocupación, tipología y material, exteriorización del incendio, distribución interior, estabilidad, capacidad portante, caída de elementos, colapso estructural. Tres, reacción: reacciones inmediatas, rescates inminentes, estabilización de elementos, ataque ofensivo exterior. Cuatro, análisis: motor del incendio, localización y extensión, contenido o continente, limitado por combustible o ventilación, flujo de gases, entrada de aire, salida de humo y llama, distribución de humo. Cinco, razonamiento: potencia, caudal táctico, instalación hidráulica, supervivencia de víctimas, clasificación de escenarios, prioridad de actuación, modo táctico, modelo cuadrangular.

Complemento CEIS: método B-SAHF. Propuesto por el oficial australiano Shan Raffel; se pronuncia "be safe": edificio, humo, flujo de gases, calor y llama. Indicadores del humo: el color informa del combustible, del tipo de combustión y del nivel de pirólisis: negros, combustión incompleta con mucha carbonilla y combustible disponible; claros, combustión completa o etapas iniciales; amarillentos u ocres, alto contenido de gases de pirólisis en recintos calientes sin oxígeno, posible backdraft; blanquecinos, vapor de agua. La opacidad se vincula a la carbonilla: humos opacos y oscuros indican fracción de combustible alta. La densidad, masa por volumen, no debe confundirse con la opacidad: humo caliente es poco denso y flota con facilidad, e indica altas temperaturas y cercanía al recinto; humo frío es denso, se mezcla y pierde opacidad, propio de fases iniciales o de zonas alejadas. El espesor del colchón crece si no hay salida suficiente; la altura del plano neutro condiciona la visibilidad y la táctica; la existencia de plano neutro implica que el incendio está ventilado. El volumen mide la cantidad de combustión, y el visible desde fuera depende de los huecos; no confiarse si no hay humo, porque un incendio limitado por la ventilación puede tener presiones negativas. Flujos: las aberturas con flujo puro de entrada están al comienzo de la ruta, en zonas bajas, y garantizan visibilidad; las de flujo puro de salida, al final de la ruta en zonas altas, están totalmente desaconsejadas para

el acceso; las de nivel de incendio son bidireccionales. El viento convierte en entradas las aberturas de sotavento y en salidas las de barlovento y sobrealimenta el incendio. Flujo de salida turbulento indica diferencial de presión importante; pulsaciones y silbidos, posible backdraft.

4.8. Técnicas de protección de personas

Concepto. La guía valora cada técnica con las "4R": Riesgo para los intervinientes, Rapidez de ejecución, cantidad de Recursos y Rango de efectividad, entendiendo por mayor rango las acciones que mejoran las condiciones en toda la estructura.

- Ataque al incendio para la protección de víctimas (ATI): cesa la producción de gases, baja la temperatura y mejora la supervivencia en las áreas abiertas al motor del incendio. Indicado con gran número de víctimas, recursos limitados y áreas grandes, complejas o abiertas. Exige motor localizado y alcanzable en poco tiempo. El ataque en presión positiva ofensivo (APP) con ventilación coordinada (antes, durante o después del agua) aumenta los beneficios; el ataque ofensivo exterior (AOE) no extingue pero mejora muy pronto las condiciones.
- Ventilación defensiva (VD): aísla el motor y limpia las zonas inundadas de humo. Mismas indicaciones; exige que el motor pueda aislarse. En recintos inundados la presión positiva es preferible a la natural; en cajas de escalera la presión positiva obtiene mejores resultados aunque la natural también vale.
- Confinamiento de ocupantes (CNO): los ocupantes permanecen en el recinto con puertas y ventanas cerradas. La evacuación asistida es costosa en tiempo y recursos, mientras que el confinamiento permite concentrarse en el ataque y en las zonas críticas. Solo puede aplicarse en zonas de supervivencia alta sin deterioro previsible. En el ejemplo de la guía, con motor en planta segunda de un bloque de cinco, es aplicable a la planta baja, la primera y la cuarta.
- Evacuación asistida (EVC): los ocupantes alcanzan un lugar seguro en el exterior con ayuda de los equipos; costosa, solo con recursos suficientes; indicada en zonas de supervivencia media y alta sujetas a deterioro rápido. En el ejemplo empieza en la tercera, sigue en la cuarta y eventualmente primera y baja.
- Desplazamiento y refugio (REF) o evacuación parcial: los ocupantes alcanzan un lugar seguro dentro del edificio. Lo aplican hospitales, residencias y otros edificios no evacuables; menos costoso que la evacuación; mismas indicaciones. Preferiblemente refugiar en un sector de incendio distinto y al mismo nivel; si es inevitable el mismo sector, por debajo o al menos a dos puertas del incendio.
- Búsqueda y rescate por el interior (BRI): localización de víctimas y traslado al exterior. Los rescates inminentes (RIM) son rescates urgentes, rápidos, sin instalación hidráulica ni buceo en humo, en la zona con visibilidad desde la entrada. En el nivel del incendio, hasta controlarlo, se opera con línea de agua en carga o equipo adicional de ataque; por encima del incendio, con un equipo adicional que lo tenga bajo control; extinguido, no hace falta. Los equipos pueden quedar expuestos a la ruta caliente; usar puertas contra incendios, otras puertas o cortinas de bloqueo. Orden: baja, media, mínima, alta.
- Búsqueda y rescate por fachada (BRF): acceso exterior con escalera de mano o vehículo de altura, generalmente sin línea de agua; un equipo adicional de ataque aumenta la seguridad, sobre todo por encima del incendio; las zonas deben estar aisladas, sin ruta caliente entre incendio y acceso; como paso previo, cerrar la puerta más cercana.

4.9. Aplicación de agua: caudal táctico, ataque 3D y técnicas

Caudal. El caudal táctico es la cantidad punta de agua por unidad de tiempo necesaria para extinguir un incendio concreto con un nivel de seguridad aceptable. En compartimentos de tamaño pequeño a medio depende de la tasa de liberación de calor; para técnicas de extinción 3D el caudal táctico recomendable es de 25 litros por minuto por megavatio. En incendios limitados por la ventilación la potencia depende de la abertura: un metro cuadrado puede generar 2 megavatios y requiere 50 litros por minuto. El caudal opera-

tivo aplica el principio de precaución al valor potencial máximo de las aberturas: considerar al menos 10 metros cuadrados de abertura, es decir 20 megavatios y 500 litros por minuto, en incendios residenciales. El CEIS cita a Grimwood y Barnett, con 24 litros por minuto por megavatio en vivienda y 5 litros por minuto por metro cuadrado en superficies amplias, y recuerda que las lanzas actuales logran gotas óptimas a 6 o 7 bares sin necesidad de alta presión; el agua tiene un calor específico cuatro veces superior al de los gases de incendio.

Ataque 3D. Combinación clásica de técnicas de ataque interior, especialmente útil en incendios no ventilados e infraventilados de compartimentos pequeños a medianos. Secuencia: uno, control de gases (CGS), agua pulverizada en la capa caliente para enfriar, diluir e introducir un balasto térmico reduciendo su inflamabilidad; dos, rociado de superficies (RSP), agua sobre las superficies del combustible para enfriar y evitar su pirólisis; tres, atenuación de llamas (ALL), agua pulverizada sobre los gases inflamados para atenuar y extinguir las llamas. Los tres pasos se repiten hasta alcanzar una posición desde la que sea posible el ataque final, cuatro, mediante ataque directo (ADI), agua directamente sobre las superficies que arden para enfriar el combustible y detener la pirólisis, o ataque indirecto (AIN), saturación del recinto con vapor.

Técnicas de cono. Ataque directo: ofensivo, desde interior o exterior; objetivo control de la propagación, atenuación o extinción; aplicación continua o de larga duración con chorro en movimiento, de chorro sólido a cono cerrado, caudal variable. Ataque indirecto: ofensivo, desde interior o exterior pero siempre desde fuera del recinto; objetivo atenuación e incluso extinción; una primera aplicación larga, reposo y otras más cortas, chorro en movimiento cubriendo todo el recinto, cono medio y caudal medio. Atenuación de llamas: ofensiva, eminentemente interior; reduce la radiación sobre intervinientes y combustible; pulsaciones cortas o barridos más profundos con cono más cerrado; las aplicaciones lejanas y en profundidad reducen la exposición y mejoran el resultado. Control de gases: defensiva, eminentemente interior; genera un entorno de seguridad; misma forma de aplicación. Rociado de superficies: defensiva, interior o exterior, para el control de la propagación (frente al ataque directo, ofensivo y orientado a la extinción); aplicación continua con chorro en movimiento, de cono medio a chorro sólido. El CEIS añade que el enfriamiento de gases tradicional usaba pulsaciones de menos de un segundo con cono de 45 grados y 75 grados sobre la horizontal, y que la tendencia es alargarlas de 1 a 5 segundos, barrer de 1 a 5 metros, cerrar el cono a 30 grados y bajar el ángulo a 30 grados buscando la esquina superior del fondo; el impacto de las gotas en paredes es negativo porque rompe el equilibrio térmico y baja el plano neutro; tras cada aplicación hay que dejar un tiempo de reposo.

Ataque a chorro sólido. Selección según recinto y posición: recinto no ventilado, aplicar paquetes de chorro sólido (PCS); recinto ventilado con flujo bidireccional hacia la entrada, la opción idónea es el ataque ofensivo interior (AOI), aunque también puede aplicarse chorro sólido en avance (CSA) a caudal reducido, unos 250 litros por minuto; recinto ventilado con flujo bidireccional en entrada y fachada, chorro sólido en avance; recinto ventilado con flujo bidireccional en fachada, ataque ofensivo exterior (AOE).

- Ataque ofensivo exterior o "ablandado" (AOE): aplicación de agua al recinto desde el exterior a través de una abertura de ventilación sin bloquear el intercambio de gases; su objetivo no es la extinción sino la atenuación; se ejecuta en etapas tempranas y mejora la supervivencia y el ataque interior posterior; al principio equivale a control de gases o atenuación de llamas y después produce rociado de superficies y ataque directo por rebote. Chorro sólido con caudal medio a alto, chorro estático buscando un punto profundo de la capa caliente; parar cuando la saturación de vapor impida el intercambio o el impacto sea nulo; repetir pulsaciones. El CEIS lo resume como chorro sólido contra el techo, caudal medio, pulsaciones de media a larga duración, lanza estática.
- Paquetes de chorro sólido o "water loads" (PCS): pulsaciones de chorro sólido que rompen contra una superficie dentro de la capa caliente; objetivo reducir la inflamabilidad y atenuar las llamas de la capa caliente; técnica interior, ofensiva cuando atenúa llamas y defensiva cuando reduce la inflamabilidad; comparable al control de gases o la atenuación de llamas; sirve en la progresión y como ataque dentro del recinto; especialmente indicada con capa de gases estática, incendio no ventilado o muy infraventilado. Chorro sólido de caudal medio a alto, chorro estático hacia un punto profundo,

buscando más profundidad a medida que se contrae la capa; el operador de lanza en posición estática; repetir pulsaciones. Es la técnica que se aplica solo con chorro estático y operador estático.

- Ataque ofensivo interior o "stop and flow" (AOI): chorro sólido que rompe contra una superficie dentro de la capa caliente; objetivo reducir la inflamabilidad, atenuar llamas y proyectar agua sobre el combustible; ofensiva, interior; indicada con capa de gases dinámica, incendio ventilado con flujo bidireccional. Chorro sólido de caudal medio a alto en movimiento constante desde la esquina más profunda hasta casi la vertical en varios segundos; el operador permanece parado y la lanza describe un giro cenital, no lateral; repetir barridos según la anchura.
- Chorro sólido en avance o "flow and move" (CSA): igual que el anterior pero el operador avanza hacia el motor del incendio; especialmente indicado en incendio ventilado con abertura posterior y anterior al motor, generando una ventilación hidráulica ofensiva (VHO) y flujo unidireccional; con flujo bidireccional sin abertura posterior requiere caudales menores. Chorro sólido de caudal medio a alto en movimiento constante impactando varios metros por delante del operador con un patrón continuo de ida y vuelta.

4.10. Instalaciones hidráulicas

Tramos. Tramo de ataque, tramo SOS o prolongación, línea de acción inmediata, punto base, tramo de transporte, tramo de abastecimiento desde el punto hidrante, punto de acometida y tramo de acometida. Con vehículo de altura hay tramo de transporte y de ataque en el vehículo.

Pérdidas de carga por fricción. Dependen de longitud, caudal, coeficiente de viscosidad, diámetro y un coeficiente de la instalación. Simplificación habitual: pérdida en bares igual a k prima por longitud en metros por el cuadrado de caudal partido por 100 (caudal en litros por minuto), dividido por 1.000. Valores de referencia de k prima: 35 para 25 milímetros, 4,2 para 38, 1,8 para 45 y 0,20 para 70; conviene verificarlos para cada manguera. Ejemplo: manguera de 38 de 20 metros a 400 litros por minuto pierde 1,34 bares. En tramos de ataque y transporte hasta 500 litros por minuto, la manguera de 25 pierde mucho más que la de 38 y esta más que la de 45; la de 70 y la de 100 son para transporte, acometida y abastecimiento hasta 1.000 litros y para abastecimientos largos o de gran caudal (por cada 100 metros).

Altura y presiones. Pérdida por altura igual a la diferencia de cota en metros dividida por 10, en bares; aproximación de bomberos: 0,3 bares por planta. Cada lanza tiene una presión óptima de trabajo en punta de lanza, presión dinámica medida a la entrada con la lanza abierta al caudal nominal; operar por encima de la presión nominal empeora las prestaciones, aumenta la reacción y puede ser un problema de seguridad. Presión en bomba igual a presión en lanza más pérdida por altura más suma de pérdidas de los tramos. Ejemplo: acometida de 30 metros de 70, transporte de 60 metros de 45, ataque de 20 metros de 38, lanza de 400 litros por minuto a 6 bares en planta sexta: 0,1 más 1,8 más 1,3 más 1,8 más 6 igual a 11 bares. Presiones de referencia con transporte de 45 y ataque de 38 de 20 metros, lanza de 500 litros a 6 bares, en envolvente cerrada con 10 metros de manguera por planta: 8 bares en planta baja, 9 en la primera, 10 en la segunda y tercera, 11 en la cuarta, 12 en la quinta, 13 en la sexta y séptima, 14 en la octava, 15 en la novena, 16 en la décima y undécima, 17 en la duodécima y 18 en la decimotercera; con columna seca (3 metros de manguera por planta) los valores son menores, de 8 a 13 bares hasta la planta dieciséis. Con lanza de 400 litros los valores bajan aproximadamente un bar: 7 en planta baja y 11 en la sexta.

4.11. Ventilación

Clasificación. Según el factor predominante: ventilación natural (VN), en la que el incendio establece el flujo, y forzada, en la que intervienen ventiladores, extractores o viento; la ventilación por presión positiva (VPP) es la forzada más habitual. Según la posición de entradas y salidas: vertical (VV), cuando las salidas están por encima del motor o las entradas por debajo; horizontal (VH), cuando entradas y salidas están al mismo nivel que el motor. Según si el flujo alimenta el motor: defensiva (VD), el flujo no atraviesa el motor

y no lo alimenta; ofensiva (VO), el flujo atraviesa el motor, lo alimenta y lo hace crecer si está limitado por la ventilación, por lo que hay que prever el control del incendio antes, durante o muy poco después de comenzar la ventilación; confinamiento del incendio (CNI), sin aberturas, incendio no ventilado, el motor queda privado de oxígeno y con el tiempo la potencia es casi nula.

Ventilación natural. Cajas de escalera: salidas tantas y tan grandes como sea posible; entradas tantas y tan grandes como sea posible, lo ideal al menos el doble que la salida. Grandes volúmenes, ventilación vertical: superficie mínima de salida el mayor de estos valores: 4 metros cuadrados, 1 metro cuadrado por cada 100 metros cuadrados de local o 1 metro cuadrado por megavatio; entradas al menos el doble. Vivienda, ventilación horizontal: las aberturas actúan como entrada y salida; referencia el mayor de 1 metro cuadrado por cada 20 metros cuadrados de local o 2 metros cuadrados por megavatio. El caudal aumenta con el tamaño de la entrada y de la salida y con la diferencia de cota y de temperatura; practicar salidas en la zona más alta y caliente y entradas en la más baja. El CEIS cifra en hasta el 50 por 100 la atmósfera combustible expulsada por ventilación natural.

Ventilación por presión positiva. Los ventiladores se colocan a la distancia óptima del fabricante según la entrada; para una puerta convencional de 2 por 0,8 metros, entre 2 y 4 metros; más o menos distancia pierde flujo, aunque, salvo valores extremos, la distancia importa menos que el tamaño de la entrada y sobre todo de la salida. Indicaciones por escenario: caja de escalera con ventilación defensiva: salidas tantas y tan grandes como sea posible solo en la zona con humo, lo ideal al menos el doble que la entrada; entrada tan grande como sea posible hasta una puerta doble de 4 metros cuadrados. Bloque o vivienda con ataque en presión positiva: salidas solo en el recinto de incendio, al menos tan grandes como la entrada; entrada hasta una puerta simple de 2 metros cuadrados. Bloque con ventilación defensiva: salidas solo en la zona con humo; entrada hasta puerta simple. Presurización de caja de escalera sin pérdidas: ninguna salida; una puerta simple funciona bien y reducir la entrada al tamaño del ventilador aumenta la presión. Presurización con pérdidas: reducir las salidas; entrada de puerta simple; no reducir la entrada, pues solo vale sin pérdidas. Caudal y presión varían inversamente con el tamaño de la salida para una entrada fija: con salida igual a la mitad de la entrada el caudal es del 50 por 100 y la presión del 80 por 100; con salida igual a la entrada, caudal 70 por 100 y presión 50 por 100; con salida doble, caudal 90 por 100 y presión 10 por 100. Reducir la salida para aumentar presión; aumentarla para aumentar caudal. Modificar la entrada por encima o por debajo del tamaño óptimo del ventilador no mejora ni caudal ni presión; la mayoría están optimizados para una puerta convencional. Combinación de ventiladores: dos en serie a la entrada, uno tras otro, incrementan el caudal solo un 5 a 10 por 100 porque el segundo no impulsa eficientemente un flujo ya rápido; dos en V a la misma distancia convergiendo con 20 a 30 grados, un 30 a 40 por 100; dos en serie a lo largo del flujo, uno principal en la entrada y otro secundario en la puerta de la vivienda o donde cae el caudal, hasta el 100 por 100, útil con aperturas en altura no clausurables y para la limpieza final apagando el principal térmico y dejando el secundario eléctrico para eliminar el monóxido; dos o más en paralelo para cubrir una entrada grande; dos en V a distintas alturas es poco práctico porque el inferior pierde rendimiento por fricción con el suelo. Configuraciones a evitar: ventilador en el interior, ausencia de salida y ventilador interior apuntando a la abertura generan turbulencias, rompen el plano neutro y, con el motor activo, favorecen un flashover inducido; abertura única de gran tamaño da ventilación débil, no usar con el motor activo; presión negativa tiene ventajas en construcción poco estanca y dispersión de sustancias peligrosas aunque el ventilador puede dañarse; manga presurizada en abertura única exige controlar el incendio antes y vigilar la manga; entrada expuesta a la salida puede producir cortocircuito de humo; extracción de un local cerrado con ventilador auxiliar bajo el flujo del principal, solo con incendio controlado y locales pequeños.

Complemento CEIS sobre VPP. El aporte de aire puede aumentar la potencia hasta un 60 por 100 según experimentos, por lo que debe coordinarse con la aplicación de agua; el acceso se hace con el aire fresco a la espalda. Favorece la extinción por efecto barrido o pistón (el aire denso empuja los gases sin mezclarse) y por enfriamiento y dilución en las zonas turbulentas. La VPP ofensiva genera una ventana temporal favorable antes de que el incendio responda; ventajas: visibilidad, supervivencia (el aire cae y forma colchón respirable), reducción de temperatura y expulsión de combustible; debe ser muy rápida para que no se mez-

clen los fluidos, formando una cuña de avance. Pasos de la VPP ofensiva: apertura de salida, apertura de entrada, inicio, valoración, progresión rápida, control del incendio. Pasos de la defensiva, decisión táctica del mando que implica confinamiento: confinamiento, apertura de salida, apertura de entrada, inicio, valoración, progresión rápida, búsqueda y rescate. Seguridad: abrir la salida antes de arrancar, no situar personal en la ruta caliente, vigilar el viento, no emplear con backdraft inminente ni con combustibles volátiles o en polvo. La mayoría de los ventiladores de 18 a 20 pulgadas rinden entre 25.000 y 30.000 metros cúbicos por hora; la capacidad crece sobre todo con el diámetro.

Cortina bloqueadora de humo (CTH). Cortina textil semibloqueada instalada en la puerta de acceso a la vivienda o al recinto que modifica el flujo de gases e incluso confina el incendio. Usos: control del movimiento de gases y propagación (sin cortina los gases escapan a la escalera y pasillos; con cortina quedan retenidos); atenuación del incendio (sin flujo de oxígeno el incendio queda limitado por la ventilación con potencia casi nula si no hay otra apertura); asegurar la ruta de acceso (bloquea el flujo caliente por encima del personal, que de otro modo accede a lo largo de un flujo bidireccional); lectura del incendio: cortina permanentemente hacia el interior indica otro hueco de ventilación exterior; cortina en equilibrio tras un pequeño movimiento de igualación de presiones (unos 3 segundos según el CEIS) indica incendio no ventilado; cortina permanentemente hacia el exterior indica ventilación exterior expuesta al viento; y reducir el tamaño de la entrada en operaciones de VPP para acercar el ventilador cuando no hay espacio. El CEIS añade que garantizan el confinamiento en puertas poco resistentes, sirven en dinteles sin puerta y dejan pasar la manguera por abajo; la antiventilación reduce la potencia y evita la salida de gases, pero baja el plano neutro hasta el suelo; en la progresión se realiza el control de puerta, con un bombero que la mantiene entornada al ancho de la manguera.

4.12. Cifras y datos clave

Clasificación por ventilación: no confinado INC, confinado ventilado ICV (limitado por el combustible), infraventilado IIV y no ventilado INV (limitados por la ventilación). Por combustible: contenido o estructural ICN, continente o de estructura ICT y envolvente ICE. Cuatro fases: incipiente, crecimiento, estabilización y declive. En ILC más combustible es más potencia y la abertura no importa; en ILV la abertura manda: 1 metro cuadrado, unos 2 megavatios, 50 litros por minuto; caudal táctico 25 litros por minuto por megavatio; caudal operativo residencial al menos 10 metros cuadrados, 20 megavatios, 500 litros por minuto. Paquetes: papelera 0,1, silla 0,3, sillón 3, sofá 5 megavatios, 1 metro cuadrado de combustible 1 megavatio. Flashover: capa por encima del límite superior que entra en rango por calentamiento; inducido por ventilación unos 2 minutos tras abrir según Underwriters Laboratories; backdraft necesita fracción de combustible superior al 15 por 100; monóxido ignición 609 grados y límite inferior 12 por 100 pero concentraciones bajo el 5 por 100. Supervivencia de víctimas 6 a 12 minutos; aire respirable máximo 140 grados; umbral de trabajo 10 kilovatios por metro cuadrado, daños a 20. FED 1 mata al 50 por 100; FED 0,1, 10 metros de visibilidad, 99 por 100, tiempo T; 0,3, 3 metros, 90 por 100, 2T; 5, 1 metro, 5 por 100, 3T. Zonas: alta más del 99 por 100 (menos de 2 kilovatios por metro cuadrado, capa a 150 grados sobre 1,8 metros, dos puertas cerradas), media 90 a 99 (una puerta cerrada, planta superior), baja 5 a 90 (2 a 6 kilovatios, capa entre 0,5 y 1,8 metros, puertas abiertas al motor), mínima menos del 5 (más de 6 kilovatios, capa bajo 0,5 metros, recinto de origen). Prioridad de búsqueda: 1 baja, 2 media, 3 mínima, 4 alta. Confinamiento de ocupantes solo en supervivencia alta sin deterioro previsible; evacuación asistida y refugio en media y alta con deterioro rápido; refugio preferible en otro sector al mismo nivel o a dos puertas. Flotabilidad predomina sobre el gradiente de presión; aire 1,2 kilogramos por metro cúbico, gases a 500 grados 0,46; masa que entra igual a masa que sale, volumen que entra menor que el que sale. Flujo bidireccional en ventilación natural horizontal, unidireccional en vertical y forzada. Plano neutro por encima de la interfase. Chorro sólido casi no arrastra aire; el cono sí; el sólido en movimiento rápido o tras impactar se comporta como cono. Ataque 3D: control de gases, rociado de superficies, atenuación de llamas y ataque final directo o indirecto; control de gases y rociado son defensivas; atenuación, directo e indirecto son ofensivas. Chorro sólido: paquetes de chorro sólido con chorro y operador estáticos para capa estática (no ventilado); ataque ofensivo interior "stop and flow" con operador parado y giro cenital para capa dinámica con flujo bidireccional; chorro sóli-

do en avance "flow and move" con operador avanzando, unos 250 litros por minuto a caudal reducido, ventilación hidráulica ofensiva; ataque ofensivo exterior o ablandado, chorro estático desde fuera, atenúa pero no extingue. Enfriamiento de gases moderno: pulsaciones de 1 a 5 segundos, cono 30 grados, ángulo 30 grados. Pérdidas: k prima 35 para 25, 4,2 para 38, 1,8 para 45, 0,20 para 70; 38 de 20 metros a 400 litros por minuto pierde 1,34 bares; altura 0,3 bares por planta; ejemplo de bomba 11 bares; referencia con 500 litros: 8 bares en planta baja, 13 en la sexta, 18 en la decimotercera. Ventilación natural: salida de grandes volúmenes el mayor de 4 metros cuadrados, 1 por cada 100 metros cuadrados o 1 por megavatio; vivienda 1 por cada 20 metros cuadrados o 2 por megavatio; entradas el doble de la salida. VPP: ventilador a 2 a 4 metros de una puerta de 2 por 0,8; entrada máxima puerta simple 2 metros cuadrados (doble 4 en escaleras defensivas); salida doble que la entrada da 90 por 100 de caudal y 10 por 100 de presión, salida mitad da 50 por 100 de caudal y 80 por 100 de presión; dos en serie a la entrada más 5 a 10 por 100, en V con 20 a 30 grados más 30 a 40 por 100, en serie a lo largo del flujo hasta más 100 por 100; ventiladores de 18 a 20 pulgadas de 25.000 a 30.000 metros cúbicos por hora; la VPP puede aumentar la potencia hasta un 60 por 100; abrir la salida antes de arrancar; no usar con backdraft inminente. Cortina hacia dentro, otro hueco exterior; en equilibrio, no ventilado; hacia fuera, viento. B-SAHF: edificio, humo, flujo, calor, llama.

Cuadros y esquemas para el estudio impreso

Cuadro 1. Clasificación de los incendios de interior (guía táctica)

Sigla	Tipo	Definición	Régimen	Fases limitadas por
INC	No confinado	El efluente no está limitado por un continente	Limitado por el combustible (ILC)	Todas por combustible
ICV	Confinado ventilado	Abertura suficiente para alimentar el incendio en ese instante	ILC (puede pasar a IIV con combustible suficiente)	Todas por combustible
IIV	Confinado infraventilado	Abertura insuficiente en ese instante	Limitado por la ventilación (ILV)	Incipiente y crecimiento por combustible; estabilización por ventilación (tamaño del hueco); declive por combustible
INV	Confinado no ventilado	Sin abertura de ventilación	ILC al inicio, después ILV	Estabilización por ausencia de ventilación; se extingue en el declive
ICN	De contenido (estructural)	El combustible está dentro del edificio y no forma parte de él	Ámbito general de la guía	—
ICT	De continente (de estructura)	El combustible forma parte del edificio (portantes, cerramientos, aislamiento, patinillos)	Puede exigir tácticas distintas	—
ICE	De envolvente	Continente cuya propagación principal es por la fachada	Variante de ICT	—

ILC: más combustible = más potencia; la abertura no importa. ILV: más abertura = más potencia; más combustible no. Cuatro fases: incipiente, crecimiento, estabilización, declive. Complemento CEIS: crecimiento, pleno desarrollo, decaimiento; radiación del colchón según la cuarta potencia de la temperatura (a 500 °C radia 64 veces más que a ambiente).

Cuadro 2. Fenómenos de rápido desarrollo

Fenómeno	Definición breve	Condiciones o signos	Actuación
Rollover	Inflamación puntual del colchón de gases	Lenguas de fuego en la capa superior	Enfriar gases (control de gases)
Flashover (FO)	Ignición casi simultánea de los combustibles expuestos del recinto; el incendio se generaliza (NFPA 921)	Capa por encima del límite superior que entra en rango al calentarse; hace falta O2 y combustible suficientes	Bajar temperatura del colchón, diluir con vapor, barrer gases con ventilación forzada sin turbulencias
Flashover inducido por ventilación (FOV)	Flashover provocado por la entrada de aire (rotura de ventana, apertura de puerta, ventilación no coordinada)	Incendio infraventilado; UL: unos 2 min desde la apertura hasta el flashover; flujo laminar inicial que se hace turbulento	Control estricto de la ventilación al iniciar la progresión; agua coordinada

Fenómeno	Definición breve	Condiciones o signos	Actuación
Incendio infraventilado	Alcanza el ILV sin pasar por flashover	Plano neutro en el suelo, visibilidad nula, fracción de combustible alta; el escenario más frecuente a la llegada	Antiventilación, control de puerta, enfriamiento de gases antes de abrir
Backdraft	Deflagración por aporte repentino de aire a un confinado con productos incompletos (NFPA 921)	Fracción de combustible > 15 %; pulsaciones ("respira"), silbidos en rendijas, humo denso anaranjado o amarillento; no es por el CO (ignición 609 °C, LII 12 %, concentraciones < 5 %)	Apertura en cubierta (entramados ligeros), limitar aire y esperar decaimiento, ataque indirecto desde apertura cerrable, o provocarlo con personal fuera en defensiva
Explosión de humo	Deflagración de una mezcla en rango acumulada en espacios ocultos, al aparecer una fuente de ignición	Humo caliente poco denso fuera de la zona de incendio; se dispara al accionar circuitos o por contacto con incandescentes	Evitar fuentes de ignición, enfriar con ataque indirecto, ventilar la mezcla

Cuadro 3. Supervivencia de víctimas y prioridad de búsqueda

Clase	FED	Visibilidad	Flujo térmico / capa a 150 °C	Zona típica	Prioridad
Alta (> 99 %)	< 0,1	> 10 m	< 2 kW/m2 / capa > 1,8 m	Libre de humo; dos puertas cerradas o una resistente al fuego; plantas bajo el incendio	4
Media (90 a 99 %)	0,1 a 0,3	3 a 10 m	—	Humo diluido, plano neutro alto; una puerta cerrada; planta superior al incendio	2
Baja (5 a 90 %)	0,3 a 5	1 a 3 m	2 a 6 kW/m2 / capa 0,5 a 1,8 m	Humo denso, plano neutro muy bajo; puertas abiertas al motor	1
Mínima (< 5 %)	> 5	< 1 m	> 6 kW/m2 / capa < 0,5 m	Plano neutro a ras de suelo; recinto de origen	3

FED 1 = muere el 50 %. Tiempo: FED 0,1 a T, 0,3 a 2T, 5 a 3T. Orden de búsqueda: baja, media, mínima, alta. En bloques de madera o poca estanqueidad la planta superior y la última con escalera inundada pasan a baja. Intervinientes: 140 °C máximo de aire respirado; 10 kW/m2 umbral de trabajo; 20 kW/m2 daños. UL: víctimas con puerta abierta sobreviven 6 a 12 min.

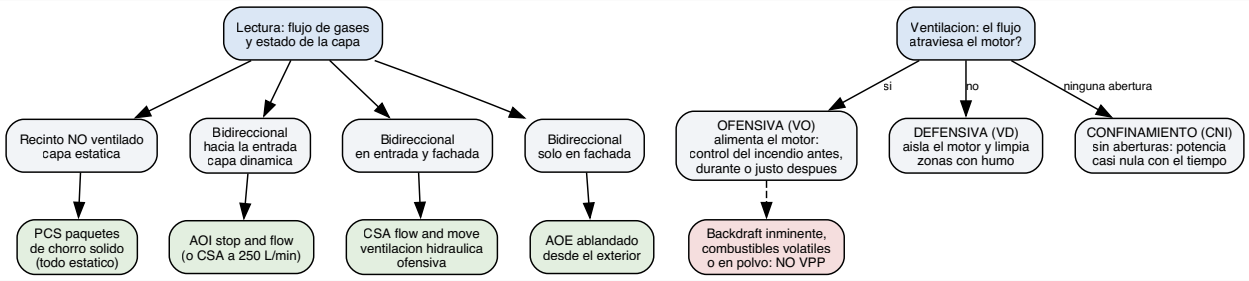
Técnica de protección	Sigla	Cuándo
Ataque al incendio para proteger víctimas	ATI	Muchas víctimas, pocos recursos, áreas grandes; motor localizado y alcanzable
Ventilación defensiva	VD	Igual, si el motor puede aislarse; presión positiva mejor que natural
Confinamiento de ocupantes	CNO	Solo supervivencia alta sin deterioro previsible
Evacuación asistida	EVC	Media y alta con deterioro rápido; exige recursos
Desplazamiento y refugio	REF	Edificios no evacuables; otro sector al mismo nivel, o por debajo o a dos puertas
Búsqueda y rescate interior / fachada	BRI / BRF	Rescates inminentes (RIM) sin línea ni buceo; en nivel del incendio con línea en carga; BRF con zonas aisladas y puerta cercana cerrada

Cuadro 4. Técnicas de aplicación de agua

Técnica	Sigla	Carácter	Escenario	Chorro y operador
Control de gases	CGS	Defensiva, interior	Paso 1 del ataque 3D: enfriar y diluir la capa caliente	Pulverizada; pulsaciones 1 a 5 s, cono 30°, ángulo 30°, barrido 1 a 5 m, reposo entre aplicaciones
Rociado de superficies	RSP	Defensiva, interior o exterior	Paso 2: evitar la pirólisis, controlar propagación	Continua, chorro en movimiento, de cono medio a sólido
Atenuación de llamas	ALL	Ofensiva, interior	Paso 3: reducir radiación sobre personas y combustible	Pulsaciones cortas o barridos profundos, cono cerrado
Ataque directo	ADI	Ofensiva, interior o exterior	Paso 4 final: agua sobre lo que arde	Continua, en movimiento, de sólido a cono cerrado
Ataque indirecto	AIN	Ofensiva, desde fuera del recinto	Paso 4 alternativo: saturar el recinto con vapor	Una aplicación larga, reposo, cortas; cono y caudal medios
Paquetes de chorro sólido	PCS	Ofensiva o defensiva, interior	Capa de gases estática: no ventilado o muy infraventilado	Chorro sólido estático a un punto profundo del techo; operador estático (la única técnica con chorro y operador estáticos)
Ataque ofensivo interior "stop and flow"	AOI	Ofensiva, interior	Capa dinámica; ventilado con flujo bidireccional hacia la entrada	Sólido en movimiento constante, giro cenital de la esquina profunda a la vertical; operador parado
Chorro sólido en avance "flow and move"	CSA	Ofensiva, interior	Ventilado con abertura anterior y posterior: ventilación hidráulica ofensiva; con solo flujo bidireccional, caudal reducido (~250 L/min)	Sólido en movimiento, impacto varios metros por delante; operador avanza
Ataque ofensivo exterior "ablandado"	AOE	Ofensiva, exterior	Etapas tempranas; flujo bidireccional en fachada; atenúa, no extingue	Sólido estático a un punto profundo por la abertura sin bloquearla; pulsaciones medias a largas

Chorro sólido casi no arrastra aire; el cono sí (depresión junto a la lanza, sobrepresión a media distancia); un sólido en movimiento rápido o tras impactar se comporta como cono.

Esquema 1. Elección de la técnica y del modo de ventilación



Cuadro 5. Ventilación natural y por presión positiva

Situación	Salida	Entrada	Notas
Natural, caja de escalera	Tantas y tan grandes como sea posible	Al menos el doble de la salida	Salidas en zona alta y caliente, entradas en la baja
Natural vertical, gran volumen	Mayor de: 4 m2, 1 m2 por 100 m2 de local o 1 m2 por MW	Al menos el doble	El caudal crece con cota y temperatura
Natural horizontal, vivienda	Mayor de: 1 m2 por 20 m2 o 2 m2 por MW	Las mismas aberturas	Flujo bidireccional
VPP escalera defensiva	Solo en zona con humo; ideal doble que la entrada	Hasta puerta doble (4 m2)	Ventilador a 2 a 4 m de puerta de 2 x 0,8 m
VPP ataque en vivienda o bloque	Solo en el recinto de incendio; al menos igual a la entrada	Hasta puerta simple (2 m2)	Coordinar con el agua: puede subir la potencia hasta 60 %
Presurización de escalera sin pérdidas	Ninguna	Puerta simple; reducirla al ventilador sube la presión	Con pérdidas: reducir salidas, no la entrada

Relación salida / entrada	Caudal	Presión
Salida = mitad de la entrada	50 %	80 %
Salida = entrada	70 %	50 %
Salida = doble de la entrada	90 %	10 %

Combinación de ventiladores	Ganancia de caudal
Dos en serie en la entrada, uno tras otro	5 a 10 %
Dos en V convergiendo 20 a 30°	30 a 40 %
Dos en serie a lo largo del flujo (principal en entrada, secundario en la vivienda)	hasta 100 %
Dos o más en paralelo	Para entradas grandes
Dos en V a distintas alturas	Poco práctico (fricción con el suelo)

Evitar: ventilador dentro, sin salida, abertura única grande con motor activo, entrada expuesta a la salida (cortocircuito de humo). Ventiladores de 18 a 20 pulgadas: 25.000 a 30.000 m3/h. Pasos VPP ofensiva: salida, entrada, inicio, valoración, progresión rápida, control. Defensiva: confinamiento primero y termina en búsqueda y rescate. Cortina de humo: hacia dentro = otro hueco exterior; en equilibrio (unos 3 s) = no ventilado; hacia fuera = viento.

Fórmulas

Caudal táctico (3D) = 25 L/min por MW (Grimwood y Barnett: 24 L/min por MW en vivienda; 5 L/min por m2 en superficies amplias)

Potencia en ILV = unos 2 MW por m2 de abertura -> 1 m2 = 2 MW = 50 L/min

Caudal operativo residencial = al menos 10 m2 de abertura = 20 MW = 500 L/min

Pérdida por fricción (bar) = k' x L (m) x (Q / 100)2 / 1.000, con Q en L/min

Pérdida por altura (bar) = desnivel (m) / 10 ; aproximación 0,3 bar por planta

Presión en bomba = presión en lanza + pérdida por altura + suma de pérdidas de los tramos

Ejemplo: 30 m de 70 + 60 m de 45 + 20 m de 38, 400 L/min a 6 bar en planta sexta = 0,1 + 1,8 + 1,3 + 1,8 + 6 = 11 bar

Paquetes: papelera 0,1 MW ; silla 0,3 ; televisor 0,3 ; sillón 3 ; sofá 5 ; 1 m2 de combustible 1 MW

Manguera	k'	Uso
25 mm	35	Ataque (pierde mucho)
38 mm	4,2	Ataque; 20 m a 400 L/min pierden 1,34 bar
45 mm	1,8	Ataque y transporte hasta 500 L/min
70 mm	0,20	Transporte, acometida y abastecimiento hasta 1.000 L/min

Presiones de referencia en bomba (transporte de 45 y ataque de 38 de 20 m, lanza de 500 L/min a 6 bar, 10 m de manguera por planta): planta baja 8 bar, 1.ª 9, 2.ª y 3.ª 10, 4.ª 11, 5.ª 12, 6.ª y 7.ª 13, 8.ª 14, 9.ª 15, 10.ª y 11.ª 16, 12.ª 17, 13.ª 18. Con columna seca (3 m por planta): de 8 a 13 bar hasta la planta 16. Con lanza de 400 L/min, aproximadamente 1 bar menos.

Ideas clave

> INC e ICV están limitados por el combustible; IIV e INV por la ventilación: en estos la abertura manda (1 m2 = 2 MW). Caudal táctico 25 L/min por MW; caudal operativo residencial 500 L/min (10 m2, 20 MW). Prioridad de búsqueda: baja, media, mínima, alta; confinar ocupantes solo en supervivencia alta sin deterioro. Backdraft: fracción de combustible > 15 %, pulsaciones y silbidos; el CO no es la causa. Ataque 3D: control de gases, rociado de superficies, atenuación de llamas y ataque final directo o indirecto. PCS es la única técnica con chorro y operador estáticos; AOI operador parado y giro cenital; CSA operador en avance. VPP: abrir la salida antes de arrancar; salida doble que la entrada da 90 % de caudal; nunca con backdraft inminente. Pérdidas: k' 35 (25 mm), 4,2 (38), 1,8 (45), 0,20 (70); 0,3 bar por planta; B-SAHF = edificio, humo, flujo, calor, llama.

Capítulo 5. Incendios en túneles (tema 5)

Incendios · temas 3 a 7

Este capítulo pertenece al grupo Incendios del temario específico y cubre el tema 5, incendios en túneles. La fuente es la parte 4 del Manual de Incendios del CEIS Guadalajara y Grupo Tragsa, edición de 2015, con cuatro capítulos: caracterización (partes e instalaciones del túnel y características específicas del incendio), técnicas de intervención (tendidos, rescate, ventilación, orientación), valoración y casos prácticos. El capítulo sigue ese orden y termina con las cifras clave.

5.1. Partes y tipos de túneles

Concepto. La Real Academia define túnel como paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación. El estudio de los incendios en túneles tiene valor pedagógico porque ilustra las técnicas de incendios de interior y ventilación y ayuda a plantear otros incendios específicos (chimeneas, vertederos, vehículos, edificios de gran altura). Partes:

- Clave: la parte más alta, habitualmente curva, plana en túneles rectangulares.
- Gálibo: altura o anchura libre sobre la calzada; siempre menor que la altura de la clave o la anchura del túnel.
- Hastiales: laterales izquierdo y derecho, forrados con chapa cuando no hay revestimiento de hormigón; rectos o curvos.
- Bocas: pórticos de entrada y salida.
- Calzada: firme por donde circulan los vehículos.
- Aceras: a cada lado, planas y libres de obstáculos, con anchura mínima para dos personas en paralelo y pasamanos en el hastial como guía táctil cuando el humo impide ver.
- Cunetas: a ambos lados, recogen el agua filtrada.
- Apartaderos: permiten detenerse sin bloquear el carril; en un túnel bidireccional se disponen a partir de 1.500 metros de longitud, y si la intensidad media diaria supera los 2.000 vehículos, cada 1.000 metros.

Tipos. Por ubicación: urbanos y no urbanos. Por forma de construcción: en trinchera (excavación a cielo abierto recubierta con forjado), recubiertos (se excava, se disponen uno o dos tubos y se rellena), excavados (en roca o suelo con sostenimiento posterior) y prefabricados (piezas ensambladas, normalmente para salvar cursos de agua). Por cometido: terrestres, fluviales y marinos. Por tránsito: carreteros y ferroviarios. Por dirección: de sentido único (cada sentido en un tubo, común en autovías y autopistas) y de dos sentidos (un único tubo). Por revestimiento: con revestimiento de hormigón, más resistente a desprendimientos y con flujo de aire más laminar, y sin revestimiento, con el terreno a la vista.

5.2. Instalaciones de seguridad

Señalización. Para túneles anteriores a 2006 la señalización de emergencia era un único pictograma sobre la propia salida. El Real Decreto 635/2006 obliga a señalización fotoluminiscente a lo largo del túnel que indique las distancias a las salidas de evacuación más próximas en ambos sentidos; en su anexo III fija la misma señal para todas las salidas de emergencia y su colocación en las paredes a distancias no superiores a 25 metros y a una altura entre 1 y 1,5 metros sobre la vía de evacuación, indicando las dos salidas más próximas y su distancia. A la entrada debe haber una señal con la longitud del túnel y sus medidas de seguridad; en túneles de más de 3.000 metros se indica cada 1.000 metros la longitud restante.

Vías de evacuación. No protegidas: discurren por el propio túnel sin separación física; único camino en túneles de poca longitud. Protegidas: separadas físicamente, recinto independiente; obligatorias en túneles que superen los 400 metros. Distancias entre accesos a vías protegidas según el Real Decreto 635/2006: túnel unidireccional interurbano sin retenciones, 400 metros; unidireccional urbano o interurbano con retenciones, 200 metros; bidireccional interurbano sin retenciones, 400 metros; bidireccional urbano o interurbano con retenciones, 150 metros. Se considera interurbano con retenciones si estas se producen más de cinco días al año y no hay control de acceso. Las salidas de emergencia pueden ser salidas directas al exterior, conexiones transversales entre tubos y salidas a galería de emergencia. Los elementos delimitadores de las vías protegidas deben cumplir estabilidad al fuego, resistencia al fuego (sin paso de llamas ni gases), no emisión de gases inflamables y resistencia térmica: la cara no expuesta no debe incrementar su temperatura más de 180 grados en ningún punto, ni la media más de 140, ni alcanzar en ningún caso 220 grados. Tipos de galería: dos tubos paralelos con galerías de interconexión periódicas para personas y vehículos, usando el tubo no incendiado como vía protegida; galería paralela presurizada; galería bajo la calzada, con acceso por salidas y rampas, excavada a la vez que el túnel; galería en la clave, típica de ventilación semitransversal o transversal, aprovechando el conducto de aire limpio presurizado; galería ascendente hacia la superficie; y sin galería, con salidas directas al exterior en puntos intermedios. El plan de emergencias, incluido en el manual de explotación, es obligatorio en todos los túneles de carretera salvo los no urbanos de menos de 200 metros. Factores humanos: equipos de evacuación entrenados con simulacros y conductores con respuestas automáticas que neutralicen el bloqueo.

Energía, iluminación y comunicación. El suministro debe prever doble abastecimiento, generadores de emergencia y un sistema de alimentación ininterrumpida que cubra hasta que arranquen. Iluminación de servicio normal con zonas de transición en túneles urbanos e interurbanos de más de 200 metros; iluminación de emergencia en túneles urbanos o interurbanos con retenciones de más de 200 metros y en interurbanos de más de 500 metros. Comunicación: postes SOS con interfono cada 50 o 100 metros, en el lado derecho en unidireccionales y en ambos lados en bidireccionales. Para equipos de emergencia la banda más efectiva es VHF, pero no penetra la roca, así que el sistema más común es el cable radiante, que en España da cobertura TETRA para bomberos, policías municipales y sanitarios y TETRAPOL para cuerpos de seguridad, además de ocho canales de FM comercial y dos de mantenimiento. El sistema de antenas distribuidas exige zonificar, una antena y un amplificador por zona y cableado con fibra óptica.

Detección. Obligatoria en interurbanos sin congestión a partir de 500 metros y en urbanos e interurbanos con congestión a partir de 200 metros. Suele instalarse en la clave un cable fibroláser que cambia la transmisión de luz al calentarse. Sistemas homologados: cable de cobre con aislamiento que se funde, variación de presión en tubo de aire, sensores de temperatura distribuidos y fibra óptica. No homologados: análisis de imágenes de circuito cerrado (DAI), incremento de monóxido de carbono e incremento de opacidad; los detectores de llama son poco empleados.

Lucha contra incendios. Fuentes de abastecimiento con bombeo y armarios con mangueras, lanzas, espumógeno, dosificador y extintor. Todos los puestos de emergencia deben tener al menos un teléfono de emergencia y dos extintores, situados cerca de las bocas y a intervalos no superiores a 150 metros en túneles posteriores a 2006 y 250 metros en preexistentes. Otras instalaciones: bocas de incendio equipadas, columna seca, grupos de presión, rociadores o nebulizadores e hidrantes cada 250 metros.

Ventilación. Natural, por efectos climatológicos o del tráfico, solo en túneles muy cortos y nunca permitida con tráfico bidireccional. Forzada o artificial: el Real Decreto 635/2006 la exige en todos los túneles de más de 500 metros y en los urbanos de entre 200 y 500 metros con control automático; debe controlar calor y humo en incendio y contaminantes en tráfico denso o congestionado, y el proyecto debe permitir extraer el humo de un incendio tipo de potencia mínima de 30 megavatios y caudal mínimo de humos de 120 metros cúbicos por segundo. Tipos:

- Longitudinal: ventiladores axiales impulsan el aire de una boca a otra, en unidireccionales en el sentido del tráfico para aprovechar el efecto pistón; reversibles en bidireccionales. Crea condiciones adecuadas aguas arriba del foco y muy desfavorables aguas abajo. Ventaja: gran ahorro de energía; inconveniente:

en congestión es difícil controlar la ventilación. Se usa en unidireccionales sin congestión prevista. La longitudinal con extracción masiva de humo añade pozos intermedios de expulsión y permite túneles más largos.

- Semitransversal: aire fresco impulsado por un conducto en la clave separado por falso techo, con difusores aproximadamente cada seis metros; el aire viciado sale por las bocas; en incendio se invierte el flujo y se extrae humo por las toberas concentrando la extracción en la zona del incendio. Para bidireccionales largos o unidireccionales muy largos con congestión.
- Transversal: aire fresco y viciado circulan por conductos separados en la clave con tabique divisorio; se impulsa por abajo y se aspira por arriba en la zona del fuego; la extracción se concentra cerca del foco y se cierran entradas de aire en esa zona. Es el sistema mecánico más seguro; para bidireccionales largos o unidireccionales con congestión, muy largos o con múltiples enlaces. Inconvenientes de ambos: coste, dificultad de puesta en marcha, gasto energético y redundancias. Semitransversal y transversal crean una capa de humo cerca de la clave; para mantenerla estratificada el aire debe circular a baja velocidad, alrededor de 1 metro por segundo y siempre menos de 2; si aumenta se pierde la estratificación. Flujos de aire: velocidades bajas, menos de 1 metro por segundo, humo estratificado cerca del fuego, aunque las paredes lo enfrían y puede llenar toda la sección; moderadas, de 1 a 3 metros por segundo; altas, más de 3 metros por segundo, que rompen la estratificación.

5.3. Características específicas de los incendios en túneles

Temperatura. Influye en la distancia que puede recorrer el equipo y en la duración de la operación. Pruebas del túnel Runehamar de 2003 (Lönnermark e Ingason, 2005): la temperatura sobre la columna convectiva superó los 1.000 grados durante los diez minutos siguientes a la ignición; las tasas máximas de liberación de calor fueron 202, 157, 119 y 66 megavatios; diez minutos después de la ignición, aguas abajo, todas las temperaturas del colchón de gases superaban los 200 grados hasta 200 metros del fuego; a los quince minutos se alcanzaron máximos de 153 grados aguas arriba y 785 aguas abajo a 70 metros, y de 95 aguas arriba y 570 aguas abajo a 100 metros; tras 50 minutos las temperaturas no bajaron de 100 grados. En esas condiciones un equipo no puede llegar al fuego aguas abajo. Varios estudios sitúan en torno a 100 grados la temperatura de gases que podría soportar un equipo de bomberos.

Radiación. Depende de la superficie afectada y la temperatura; las llamas radian más que el humo pero localmente, mientras que la capa de humo afecta a zonas alejadas y puede propagar el incendio a vehículos a más de 100 metros. En Runehamar, aguas arriba, la radiación a 5, 10 y 20 metros fue de 80, 14 y 2 kilovatios por metro cuadrado en la prueba 1; 35, 18 y 3 en la 2; 20, 9 y 2 en la 3; 40, 10 y 4 (a 15 metros) en la 4. Durante los siete minutos siguientes a la ignición los niveles a 10 metros aguas arriba superan los 5 kilovatios por metro cuadrado; a esa distancia es posible el ataque directo con chorro, por lo que hay que llevar el agua con gran rapidez. Si la intervención supera los siete minutos, solo cabe acercarse a 20 metros y atacar con agua pulverizada para bajar radiación y temperatura y poder avanzar. Aguas abajo la radiación es mayor. El nivel aceptable de radiación para un equipo de bomberos se fija en 5 kilovatios por metro cuadrado.

Tamaño del fuego. Factores: tipo de vehículo, carga, ventilación, altura del túnel, acceso al agua y equipo personal. Con radiación admisible de 5 kilovatios por metro cuadrado y distancia óptima de ataque de 10 metros, la tasa de liberación de calor es de unos 20 megavatios. Un bombero puede afrontar un siniestro de 20 a 30 megavatios, que corresponde a un máximo de dos turismos, un autobús y un coche, o un camión articulado cuyo incendio no se extienda a la carga. Datos de vehículos: turismo, pico de 1,5 a 8,5 megavatios, promedio 4,1, tiempo al pico de 10 a 38 minutos; dos vehículos, de 5,6 a 10 megavatios; tres vehículos, 8,9; autocar, 41 gigajulios, 29 a 30 megavatios, pico a los 7 u 8 minutos; camión articulado, 10 a 244 gigajulios, 13 a 202 megavatios, pico a los 8 a 18 minutos.

Propagación. Extinguir antes de que se propague a los vehículos cercanos es prioritario; más vehículos implican más calor, temperatura, humo y gases. En Runehamar la propagación a un objetivo situado a 95 metros con 202 megavatios tardó 6 minutos; a 84 metros con 157 megavatios, unos 3 minutos; a 66 metros con 119 megavatios, 4,5 minutos. La propagación puede producirse muy poco después del inicio, y los equipos deben entrenarse para bloquear el fuego antes.

Comportamiento de las personas. Los ocupantes suelen quedarse en el coche esperando información o que el tráfico se mueva; en el incendio del túnel de Mont Blanc de 1999 se encontraron víctimas con el cinturón puesto. Durante la evacuación prefieren moverse por el túnel hacia la entrada antes que usar las salidas de emergencia. La supervivencia depende de la magnitud del incendio y la concentración de gases; cuatro personas sobrevivieron más de una hora en el túnel de Seljestad, en Noruega.

5.4. Técnicas de intervención: tendidos y aplicación de agua

Tendidos. Frecuentemente se necesita un despliegue de mangueras de 45 milímetros, en seco hasta zonas cercanas al incendio, con caudal adecuado. Caudal necesario según vehículo (Ingason 2001 y Sipp 2002): turismo, 10 metros cuadrados, 2,5 a 5 megavatios, 226 litros por minuto, una línea; furgoneta, 35 metros cuadrados, 15 megavatios, 462 litros por minuto, dos líneas; camión, 200 metros cuadrados, 100 megavatios, 1.250 litros por minuto, cuatro líneas, considerando líneas de 360 litros por minuto. Formas de despliegue: plegado en doble con despliegue exterior, plegado en abanico más plegado de ataque en Cleveland y carros portamangueras de 45. Se recomienda colocar en la manguera anterior a la de ataque una reducción de 45 milímetros más una bifurcación de 70-45 milímetros, para tener una segunda línea de ataque, progresión desde ese punto si el tendido se calculó mal y una línea de auxilio.

Efectividad del agua. En túneles se emplean técnicas de enfriamiento del colchón de gases, cuya efectividad depende del porcentaje de evaporación: el agua que no se evapora solo absorbe la energía del aumento de temperatura, mientras que la que se convierte en vapor a la temperatura de equilibrio absorbe hasta siete veces más. Las gotas deben evaporarse en el aire, sin tocar superficies. El porcentaje de evaporación asociado a una aplicación efectiva debe oscilar entre el 50 y el 70 por 100. Tamaño de gota: reducido, más tiempo en suspensión y mejor absorción pero menos alcance; grande, más alcance pero cae antes e intercambia peor; óptimo, entre 0,3 y 0,7 milímetros, equilibrio entre alcance y absorción. La temperatura no es homogénea, así que el punta de lanza estudia selector de caudal, ángulo de cono y ángulo respecto al suelo.

Distancia óptima de ataque. Vehículos pesados en túnel de ventilación longitudinal, distancia máxima de 10 metros; coches, distancia máxima de 5 metros.

Equipos de respiración autónoma. Las intervenciones tienden a superar los 40 minutos, con incertidumbre por falta de información, pérdida de orientación e imprevistos en el rescate; hay que elegir equipos para largas estancias. Clasificación con consumo nominal de 40 litros por minuto: circuito abierto monobotella, 45 minutos de autonomía y 15 a 20 minutos reales, para trabajos en bocas y estancias no superiores a 20 a 30 minutos; circuito abierto bibotella, 90 minutos de autonomía y 30 a 40 reales, para estancias que no excedan de 60 minutos, como túneles unidireccionales y bidireccionales de menos de 500 metros o bitubo de más de 500 metros con acceso seguro por galerías o tubo no afectado; circuito cerrado de regeneración de oxígeno (peróxido potásico u oxígeno enriquecido), 4 horas de autonomía que bajan a unas 3 con consumos de 60 a 70 litros por minuto, para larga duración en túneles de más de 4 kilómetros o de más de 1 kilómetro sin acceso seguro. En las bocas siempre se usa ERA por la alta toxicidad de los humos que salen; en galerías y tubos no afectados también, salvo certeza de atmósfera respirable.

5.5. Rescate, evacuación y control de la ventilación

Rescate y evacuación. Una de las primeras medidas es evacuar a las personas atrapadas. Los usuarios no están acostumbrados a desplazarse a pie por el túnel, con visibilidad inferior a la exterior, y desconocen el plan de emergencias; la evacuación deriva en autoevacuación, por lo que la señalización, la iluminación de

emergencia, las salidas y las galerías bien ventiladas son determinantes. El umbral para el rescate de una persona está entre 2 y 2,5 kilovatios por metro cuadrado durante varios minutos; con trajes y ERA adecuados los equipos soportan hasta 5 kilovatios por metro cuadrado con exposición menor de 30 minutos. Parámetros relevantes: visibilidad, directamente relacionada con la toxicidad (a menor visibilidad mayor toxicidad) y con el tamaño del incendio; y radiación, donde solo la capa de humo influye claramente en la evacuación.

Control de la ventilación. El aire lleva oxígeno al foco: con gran aporte el incendio está condicionado por el combustible y se quema violentamente hasta consumirse; sin gran aporte se producen muchos productos no quemados con efecto muy negativo aguas abajo. El control de la ventilación es indispensable para controlar, extinguir y rescatar, conociendo volumen, dirección y camino del flujo. La apertura de una salida establece flujo desde la zona de mayor presión (por encima del plano neutro) hacia el exterior y entrada de aire fresco por debajo del plano neutro, lo que aumenta la visibilidad, reduce la temperatura en zonas, controla la potencia y conduce el flujo según la táctica. En el flujo de gases se distingue la ruta fría, de la entrada al foco, con buena visibilidad, baja temperatura, alta concentración de oxígeno (que aumenta la potencia en incendios limitados por la ventilación) y buenas condiciones de supervivencia, y la ruta caliente, de los gases hacia la salida, con baja visibilidad, alta temperatura, gases tóxicos e inflamables y condiciones críticas. En túneles se produce flujo unidireccional porque hay al menos dos aperturas. No se recomienda un único modo de ventilación: para incendios de vehículo pesado de más de 3.500 kilogramos o gran derrame, un flujo mínimo que mantenga la estratificación, alrededor de 1 metro por segundo; para turismos o incendios pequeños, un flujo mayor, con velocidad máxima entre 1 y 3 metros por segundo. Extinguido el fuego, se controla el flujo según las necesidades de bomberos.

Presión positiva en túneles. Los ventiladores generan una masa de aire que presuriza y establece un flujo unidireccional que desplaza o extrae los gases, mejorando visibilidad, temperatura y radiación; pero el aire fresco aumenta la potencia del incendio, así que la ventilación se coordina con la aplicación de agua. El volumen desplazable con ventiladores portátiles es muy limitado; como norma se usan en la misma dirección del movimiento natural de los gases para limitar el back-layering (retroceso de humo) y sin superar la velocidad crítica para no aumentar en exceso la tasa de liberación de calor. La velocidad de los gases debe situarse entre 1 y 3 metros por segundo: por debajo de 1 la capa de gases baja rápidamente al suelo; por encima de 3 se rompe la estratificación y aumenta la potencia.

5.6. Orientación y progresión en túneles

Técnicas. Orientación y progresión con tendido de manguera, rastreo con cuerda o elemento guía, orientación sin elemento guía, orientación con cámara térmica y combinaciones. Dificultades: grandes distancias con altas temperaturas, radiación y falta de visibilidad, y falta de control de los tiempos de ERA.

- Sin elemento guía: solo si no hay otra técnica más segura, en rescates urgentes o sin medios. Mantener la orientación en todo momento, empezar por un lateral del tubo y nunca abandonarlo, avanzar hasta el objetivo, rastrear zonas auxiliares sin cambiar de pared y saber siempre dónde está la salida. Las aceras suelen tener dos tipos de baldosa, con rugosidad distinta en cada lateral, que sirve de referencia táctil para evacuar siempre en el mismo sentido.
- Rastreo con cuerda guía: más indicado para búsqueda de víctimas que para progresión, y para zonas auxiliares (vías de evacuación, nichos, cuartos). Algunos túneles tienen la línea Ariadna, cable guía a lo largo del tubo al que hay que ir unidos; la concesionaria facilita el punto de unión o se usa un cabo de anclaje; no está en las zonas auxiliares.
- Con tendido de manguera: técnica sencilla, avance con elemento de ataque y protección que sirve de guía. Precauciones: mantener la referencia del lateral, calcular con exactitud la distancia (la manguera debe cubrirla y algo más), elegir el diámetro adecuado, sortear obstáculos y volver a la referencia inicial, y rastrear las vías de evacuación laterales con cuerda auxiliar dejando el tendido en el tubo para no introducir gases ni generar estrés. El rastreo de víctimas solo con manguera es lento y complicado.

- Cámara térmica: no sustituye a las técnicas tradicionales; mejora la toma de decisiones, la búsqueda, la evaluación, la localización del foco y de puntos calientes, la identificación de potenciales flashover, los puntos de ventilación, entrada y salida y la revisión. Como el tubo no tiene espacios ocultos ofrece visión nítida y la salida se ve siempre. Si falla puede desorientar. Con spalling del hormigón, la producción de vapor por el cambio de estado del agua intersticial entre 100 y 150 grados perjudica la visión y da la sensación de que ha dejado de funcionar; pasado un tiempo vuelve a la normalidad, por lo que hay que mantener la calma.
- Combinación: es la mejor herramienta. Conviene un equipo de tres personas: dos progresan de forma tradicional con tendido por el lateral y una porta la cámara térmica. El tendido sirve de línea de salida y se combina con cuerda en zonas anexas para rastreos en abanico entre laterales. La ventilación, aunque difícil en el tubo, permite visión a corta distancia y aumenta la velocidad y la eficacia.

5.7. Valoración de incendios en túneles

Aspectos generales. Es una labor compleja por ser un escenario dinámico. El recalentamiento de la infraestructura es más rápido y violento por el confinamiento, acelera la pirólisis y el incendio crece con rapidez; los incendios de vehículos se propagan con gran rapidez durante los primeros 5 a 10 minutos, por lo que la intervención debe producirse dentro de los 10 minutos siguientes a la alarma. La información fiable tarda y puede ser errónea; la valoración debe ser continua e integral: lectura del incendio, acciones prioritarias, efecto de las acciones y estado de los recursos.

Antes de la intervención. Recabar localización exacta, acceso más próximo, tipo de túnel (ferroviario o carretera, uno o dos tubos), características del incidente, mercancías peligrosas, itinerario y alternativa por colapso de tráfico, forma de acceso aguas arriba o abajo en contacto con el centro de control, confirmación con el alertante, acciones del centro de control (ventilación, accesos, evacuación) y otros equipos.

En el lugar. Identificar el acceso óptimo, el más cercano al fuego y aguas arriba; ubicación de vehículos siniestrados y de emergencia; estado de la evacuación; personas atrapadas aguas abajo. Fases: valoración inicial, que define acciones prioritarias (control y evacuación de ocupantes asegurando la ruta de escape mediante aislamiento del incendio o limpieza y presurización de escaleras con VPP; rescate inminente de víctimas críticas, prioritario a cualquier otra acción incluida la propia valoración; control temprano de la propagación, designando un equipo si el riesgo es inminente; y corte del suministro eléctrico) y establece el plan de acción con sectorización, planteamiento táctico y reparto de funciones, comunicado a todo el personal; el primer equipo interior conviene que acompañe al mando. Ingason y Bergqvist señalan que el plan debe considerar los cálculos de inversión del flujo de aire, la velocidad de movimiento, el alcance de los equipos de respiración, los requerimientos mínimos de agua y la distancia mínima de extinción. Valoración exterior, accediendo por el tubo aguas arriba. Valoración interior, para recabar información básica y carga de combustible, sin llegar al foco, delegable en el equipo de progresión. Valoración continua, que corrige el plan y atiende a los recursos. Valoración final, tras la vuelta a la normalidad: descartar puntos calientes, comprobar la estabilidad estructural y el restablecimiento eléctrico, con hoja escrita de recomendaciones. Bergqvist (2005) resume las dificultades y soluciones: visión general del incidente (equipos de monitoreo), extensa evacuación (formación, equipos de respiración adecuados, mejor diseño de salidas), gases nocivos (observación del humo y planificación de la ventilación), evaluación de riesgos (listas de verificación), llegar al fuego (mejorar visibilidad, orientación, ERA), comunicación entre bomberos (radio y móviles), agua en el lugar (toma de agua permanente) y extinción (agua pulverizada, detección temprana).

Lectura del incendio. Parámetros: características del túnel, del humo, de las llamas, nivel de temperatura y flujo de gases, evitando simplificaciones. Túnel: bidireccional, con vehículos a ambos lados del foco, frente a unidireccional, con los vehículos aguas arriba; bitubo o con infraestructura de acceso frente a monotubo. Los tres tipos representativos en España son monotubo sin accesos de evacuación, monotubo con accesos y bitubo con conexión. Otros condicionantes: dimensiones, accesos, colapso circulatorio, límites de evacuación y comunicaciones: a 80 megahercios el alcance por radio es de 200 a 300 metros, hasta 400 megaher-

cios es de 800 metros; pueden usarse repetidores móviles, telefonía IP o el cable radiante. Amenazas del entorno: viviendas aledañas en casco urbano, área forestal en montaña. Equipamiento: cumplimiento estricto de autoprotección. Pavimento: puede formar parte del combustible, como en el incendio del túnel de Mont Blanc del 24 de abril de 1999. Tráfico: más fácil con poco tráfico. Humo: color (combustible y nivel de pirólisis), opacidad (carbonilla de combustión incompleta), densidad (humo frío y caliente), espesor del colchón (la altura del plano neutro condiciona visibilidad y táctica) y volumen (estado de desarrollo; el visible desde fuera se relaciona con la ventilación). Llamas: color (nivel energético), duración (combustible, temperatura y oxígeno) y exposición (radiación y alcance). Temperatura: se valora con pulsaciones muy cortas de agua (capacidad de evaporación) y con cámara térmica, además de la sensación térmica del equipo. Flujo de gases: el acceso por una apertura con flujo de entrada (aguas arriba) garantiza buena visibilidad y ausencia de toxicidad, calor e inflamabilidad; el acceso por una apertura con flujo de salida (aguas abajo) está totalmente desaconsejado por altas temperaturas, fenómenos de rápido desarrollo y muy baja visibilidad.

5.8. Casos prácticos

Túnel con dos tubos comunicados. Detener el tráfico en ambos tubos. Los bomberos entran por el tubo no afectado, por el que solo circulan vehículos de extinción. Si el incendio es de un vehículo, sofocarlo desde aguas abajo y simultáneamente evacuar la zona libre de humo aguas arriba. Los refuerzos de segunda y tercera rotación ayudan en control y extinción o en evacuación y rescate aguas abajo. En zona urbana los vehículos aguas abajo pueden tener dificultades para salir cuando llegue el humo; se emplean técnicas de VPP una vez extinguido el incendio, y si no está controlado se invierte la dirección del flujo para ventilar sin aumentar la potencia y ayudar a los atrapados aguas abajo.

Túnel de un solo tubo con circulación bidireccional. Evaluar y asegurar que la dirección del flujo de aire es favorable. Atacar el incendio; si no es posible, dejar espacio para la evacuación. Evacuar a los ocupantes de la zona libre de humo aguas arriba y habilitar la boca aguas abajo para rescatar a los atrapados cerca de esa zona. Terminado el rescate aguas arriba y extinguido el fuego, expulsar el humo con ventilador. Si es imposible sofocar el fuego, invertir el flujo para eliminar el humo aguas abajo y mejorar la visibilidad para rescatar.

5.9. Cifras y datos clave

Apartaderos en túnel bidireccional a partir de 1.500 metros, cada 1.000 metros si la intensidad media diaria supera 2.000 vehículos. Real Decreto 635/2006: señalización fotoluminiscente cada 25 metros como máximo a 1 a 1,5 metros de altura; señal de longitud restante cada 1.000 metros en túneles de más de 3.000; vías de evacuación protegidas a partir de 400 metros; accesos cada 400 metros en interurbanos sin retenciones, 200 en unidireccionales urbanos o con retenciones y 150 en bidireccionales urbanos o con retenciones (retenciones más de cinco días al año); resistencia térmica 180 grados máximo puntual, 140 de media, nunca 220; plan de emergencias obligatorio salvo no urbanos de menos de 200 metros; iluminación de emergencia por encima de 200 metros (urbanos o con retenciones) o 500 (interurbanos); detección a partir de 500 metros sin congestión y 200 con congestión; puestos de emergencia con teléfono y dos extintores cada 150 metros (nuevos) o 250 (preexistentes); hidrantes cada 250 metros; postes SOS cada 50 o 100 metros; ventilación artificial obligatoria por encima de 500 metros y en urbanos de 200 a 500; incendio tipo de 30 megavatios y 120 metros cúbicos por segundo de humos; difusores semitransversales cada 6 metros; la transversal es el sistema más seguro; la natural nunca con tráfico bidireccional. Radio: 80 megahercios 200 a 300 metros, 400 megahercios 800 metros; cable radiante con TETRA y TETRAPOL, ocho canales de FM y dos de mantenimiento. Estratificación: 1 metro por segundo, siempre menos de 2; flujos bajo 1, de 1 a 3 y más de 3 metros por segundo; ventilación en túnel entre 1 y 3 metros por segundo, 1 para pesados de más de 3.500 kilogramos, 1 a 3 para turismos, en la dirección natural de los gases contra el back-layering. Runehamar 2003: más de 1.000 grados en diez minutos; 202, 157, 119 y 66 megavatios; 200 grados

hasta 200 metros aguas abajo; a 70 metros 153 arriba y 785 abajo; a 100 metros 95 y 570; más de 100 grados tras 50 minutos; los bomberos soportan gases a unos 100 grados; radiación a 10 metros más de 5 kilovatios por metro cuadrado durante siete minutos; nivel aceptable 5 kilovatios por metro cuadrado; ataque directo a 10 metros, pulverizada a 20; umbral de rescate de víctimas 2 a 2,5 kilovatios por metro cuadrado, bomberos hasta 5 durante menos de 30 minutos; potencia afrontable 20 a 30 megavatios, dos turismos o autobús y coche; turismo 1,5 a 8,5 megavatios, autocar 29 a 30 y 41 gigajulios, camión 13 a 202; propagación a 95 metros en 6 minutos con 202 megavatios. Caudales: turismo 10 metros cuadrados, 2,5 a 5 megavatios, 226 litros por minuto, una línea; furgoneta 35 metros cuadrados, 15 megavatios, 462, dos líneas; camión 200 metros cuadrados, 100 megavatios, 1.250, cuatro líneas de 360 litros por minuto; mangueras de 45 con reducción y bifurcación 70-45 antes del tramo de ataque; evaporación efectiva del 50 al 70 por 100; el vapor absorbe hasta siete veces más; gota óptima 0,3 a 0,7 milímetros; distancia máxima de ataque 10 metros a pesados y 5 a coches. ERA: intervenciones de más de 40 minutos; monobotella 45 minutos (15 a 20 reales), bibotella 90 (30 a 40 reales) hasta 60 minutos de estancia y túneles de menos de 500 metros o bitubo con acceso seguro, circuito cerrado 4 horas (3 con 60 a 70 litros por minuto) para más de 4 kilómetros o más de 1 kilómetro sin acceso seguro; siempre ERA en bocas. Spalling: vapor a 100 a 150 grados ciega la cámara térmica. Equipo de progresión de tres: dos con tendido por el lateral y uno con cámara. Propagación rápida en los primeros 5 a 10 minutos; intervenir dentro de los 10 minutos desde la alarma; acceso óptimo aguas arriba y flujo de entrada; nunca por flujo de salida; Mont Blanc 24 de abril de 1999 (pavimento, cinturones puestos); Seljestad, cuatro supervivientes tras más de una hora. Bitubo: parar el tráfico en ambos, entrar por el tubo sano; monotubo bidireccional: comprobar flujo favorable, invertirlo si no se puede extinguir; VPP tras la extinción.

Cuadros y esquemas para el estudio impreso

Cuadro 1. Instalaciones de seguridad: umbrales del Real Decreto 635/2006 y del manual

Instalación	Umbral o exigencia	Detalle
Señalización fotoluminiscente	Todo el túnel	Cada 25 m como máximo, a 1 a 1,5 m de altura; indica las dos salidas más próximas y su distancia
Señal de longitud restante	Túneles > 3.000 m	Cada 1.000 m; en la entrada, longitud y medidas de seguridad
Vías de evacuación protegidas	Túneles > 400 m	Recinto independiente separado físicamente
Distancia entre accesos a vía protegida	Según tipo	400 m unidireccional o bidireccional interurbano sin retenciones; 200 m unidireccional urbano o con retenciones; 150 m bidireccional urbano o con retenciones (retenciones: > 5 días al año)
Resistencia térmica de delimitadores	Cara no expuesta	No subir más de 180 °C en ningún punto, ni 140 °C de media; nunca 220 °C
Plan de emergencias	Todos salvo no urbanos < 200 m	Incluido en el manual de explotación
Iluminación de emergencia	> 200 m urbanos o con retenciones; > 500 m interurbanos	Doble suministro, generadores y SAI
Postes SOS	Cada 50 o 100 m	Lado derecho en unidireccionales, ambos en bidireccionales
Detección automática	> 500 m sin congestión; > 200 m con congestión	Cable fibroláser en clave; homologados: cobre fusible, tubo de aire, sensores distribuidos, fibra óptica
Puestos de emergencia	Teléfono + 2 extintores	Cada 150 m (posteriores a 2006) o 250 m (preexistentes), cerca de las bocas
Hidrantes	Cada 250 m	Además BIE, columna seca, grupos de presión, rociadores
Ventilación forzada	> 500 m; urbanos de 200 a 500 m con control automático	Incendio tipo de 30 MW y 120 m3/s de humos
Apartaderos (bidireccional)	> 1.500 m	Cada 1.000 m si la IMD > 2.000 vehículos
Radiocomunicación	Cable radiante	TETRA (bomberos, policía local, sanitarios), TETRAPOL (cuerpos de seguridad), 8 canales FM y 2 de mantenimiento; 80 MHz alcanza 200 a 300 m, 400 MHz 800 m

Cuadro 2. Sistemas de ventilación y velocidades de flujo

Sistema	Funcionamiento	Dónde se usa	Ventajas	Inconvenientes
Natural	Clima y efecto pistón del tráfico	Solo túneles muy cortos	Sin coste	Nunca con tráfico bidireccional

Sistema	Funcionamiento	Dónde se usa	Ventajas	Inconvenientes
Longitudinal	Ventiladores axiales de boca a boca, en el sentido del tráfico (reversibles en bidireccionales); variante con extracción masiva por pozos	Unidireccionales sin congestión prevista	Gran ahorro de energía; buenas condiciones aguas arriba	Muy desfavorable aguas abajo; difícil de controlar con congestión
Semitransversal	Aire fresco por conducto en la clave con difusores cada 6 m; en incendio se invierte y extrae humo por las toberas	Bidireccionales largos; unidireccionales muy largos con congestión	Extracción concentrada en la zona del incendio	Coste, puesta en marcha, energía, redundancias
Transversal	Conductos separados de aire fresco (abajo) y viciado (arriba) en la clave; se cierran entradas junto al foco	Bidireccionales largos; unidireccionales con congestión, muy largos o con enlaces	El sistema mecánico más seguro	Los mismos que el semitransversal

Velocidad del aire	Efecto sobre el humo	Uso táctico
< 1 m/s	Estratificado cerca del fuego; las paredes lo enfrían y puede llenar la sección; la capa baja rápido al suelo	Estratificación: alrededor de 1 m/s y siempre < 2
1 a 3 m/s	Moderada; mantiene condiciones aceptables	Rango de trabajo en túnel: 1 m/s para pesados > 3.500 kg o gran derrame; 1 a 3 m/s para turismos
> 3 m/s	Rompe la estratificación y aumenta la potencia	Evitar; ventiladores portátiles en el sentido natural de los gases contra el back-layering

Cuadro 3. Potencia, caudales y datos de referencia (Runehamar 2003)

Vehículo	Superficie	Potencia	Caudal necesario	Líneas (360 L/min)
Turismo	10 m2	2,5 a 5 MW (pico 1,5 a 8,5; medio 4,1; pico a los 10 a 38 min)	226 L/min	1
Furgoneta	35 m2	15 MW	462 L/min	2
Camión	200 m2	100 MW (articulado 13 a 202 MW, 10 a 244 GJ, pico a 8 a 18 min)	1.250 L/min	4
Autocar	—	29 a 30 MW, 41 GJ, pico a 7 u 8 min	—	—
Dos / tres turismos	—	5,6 a 10 MW / 8,9 MW	—	—

Parámetro	Valor
Potencia afrontable por un equipo	20 a 30 MW (dos turismos, o autobús y coche, o camión sin extensión a la carga)
Radiación aceptable para bomberos	5 kW/m2 (< 30 min con traje y ERA); umbral de rescate de víctimas 2 a 2,5 kW/m2
Distancia óptima de ataque	10 m a pesados (ataque directo, primeros 7 min); 5 m a turismos; pasados 7 min, 20 m con agua pulverizada

Parámetro	Valor
Temperatura de gases soportable por un equipo	Unos 100 °C
Runehamar: temperatura sobre la columna	> 1.000 °C en los 10 primeros minutos; picos 202, 157, 119 y 66 MW
Runehamar: aguas abajo a los 10 min	> 200 °C hasta 200 m del fuego
Runehamar: a 70 m / 100 m a los 15 min	153 arriba y 785 abajo / 95 arriba y 570 abajo (°C)
Runehamar: propagación	95 m en 6 min con 202 MW; 84 m en 3 min con 157 MW; 66 m en 4,5 min con 119 MW
Ventana de intervención	Propagación rápida en los primeros 5 a 10 min; intervenir antes de 10 min desde la alarma
Evaporación efectiva	50 a 70 %; el vapor absorbe hasta 7 veces más que el agua no evaporada; gota óptima 0,3 a 0,7 mm
Tendido tipo	Mangueras de 45 en seco; antes del tramo de ataque, reducción 45 + bifurcación 70-45 (segunda línea y auxilio)

Cuadro 4. Equipos de respiración autónoma según el túnel

Equipo	Autonomía nominal (40 L/min)	Autonomía real	Indicación
Circuito abierto monobotella	45 min	15 a 20 min	Trabajos en bocas; estancias de 20 a 30 min
Circuito abierto bibotella	90 min	30 a 40 min	Estancias hasta 60 min: túneles < 500 m o bitubo > 500 m con acceso seguro por galerías o tubo sano
Circuito cerrado (regeneración de O2)	4 h	Unas 3 h con 60 a 70 L/min	Túneles > 4 km o > 1 km sin acceso seguro

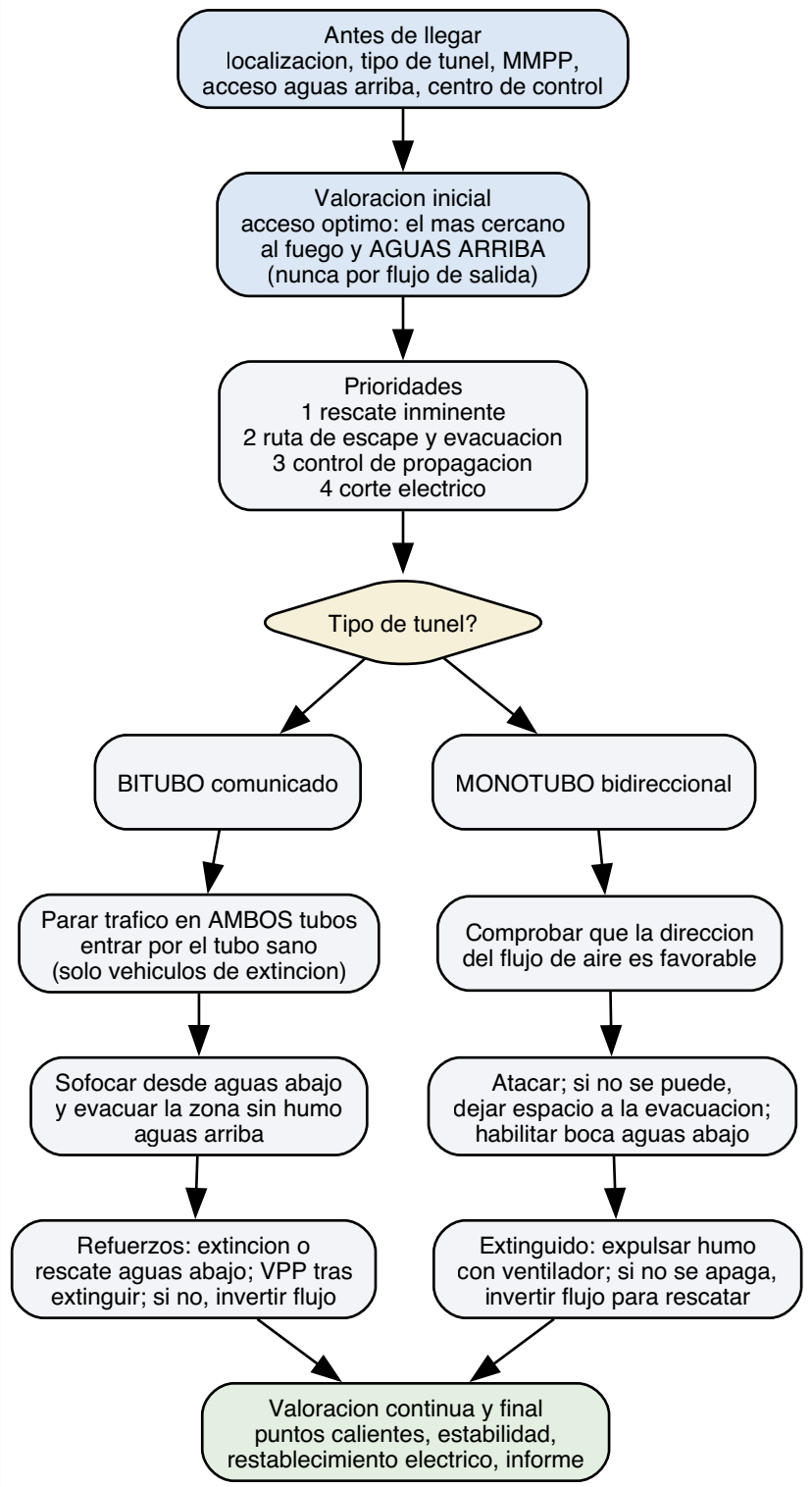
Las intervenciones tienden a superar los 40 min. En bocas siempre ERA; en galerías y tubos no afectados también, salvo certeza de atmósfera respirable.

Cuadro 5. Técnicas de orientación y progresión

Técnica	Uso	Precauciones
Sin elemento guía	Solo sin otra opción, rescates urgentes	Empezar por un lateral y no abandonarlo; baldosas de distinta rugosidad en cada acera
Cuerda guía o línea Ariadna	Búsqueda de víctimas y zonas auxiliares (nichos, vías de evacuación)	La línea Ariadna recorre el tubo, no las zonas auxiliares; ir unidos con cabo de anclaje
Tendido de manguera	Progresión: ataque, protección y guía a la vez	Calcular la distancia con margen; diámetro adecuado; volver a la referencia tras un obstáculo; rastrear laterales con cuerda auxiliar
Cámara térmica	Mejora decisiones, foco, puntos calientes, flashover, ventilación	No sustituye lo tradicional; el spalling (vapor a 100 a 150 °C) la ciega temporalmente: calma

Técnica	Uso	Precauciones
Combinación (la mejor)	Equipo de tres: dos con tendido por el lateral y uno con cámara	Tendido como línea de salida; cuerda para rastreos en abanico

Esquema 1. Valoración y táctica según el tipo de túnel



Ideas clave

Vías protegidas a partir de 400 m; accesos cada 400, 200 o 150 m según tipo; ventilación forzada por encima de 500 m. Incendio tipo de proyecto: 30 MW y 120 m3/s de humos; transversal es el sistema más seguro; natural nunca en bidireccional. Estratificación con aire a 1 m/s (siempre < 2); trabajar entre 1 y 3 m/s; > 3 m/s rompe la capa y sube la potencia. Radiación aceptable 5 kW/m2 (víctimas 2 a 2,5); ataque directo a 10 m en los 7 primeros minutos, luego pulverizada a 20 m. Un equipo afronta 20 a 30 MW: dos turismos o un autobús y un coche. Turismo 226 L/min, furgoneta 462, camión 1.250. Intervenir dentro de los 10 min desde la alarma; acceso siempre aguas arriba, con flujo de entrada. ERA: monobotella 45 min (15 a 20 reales), bibotella 90 (30 a 40), circuito cerrado 4 h para > 4 km o > 1 km sin acceso seguro. Bitubo: parar el tráfico en ambos y entrar por el sano; monotubo: flujo favorable, invertirlo si no se puede extinguir.

Capítulo 6. Incendios industriales (tema 6)

Incendios · temas 3 a 7

Este capítulo pertenece al grupo Incendios del temario específico y cubre el tema 6, incendios industriales. La fuente es la parte 5 del Manual de Incendios del CEIS Guadalajara y Grupo Tragsa, edición de 2015, con cinco capítulos: caracterización (normativa, tipos de establecimientos, niveles de protección, estructuras, características de los incendios y espumas), técnicas, valoración, tácticas y caso práctico. El capítulo sigue ese orden y termina con las cifras clave.

6.1. Normativa y definiciones

Concepto. El 29 de septiembre de 2006 quedó derogada la Norma Básica de la Edificación de protección contra incendios, NBE-CPI 96, sustituida por el artículo 11, seguridad en caso de incendio, del Código Técnico de la Edificación. El Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, aprobó la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias que puedan originar emergencias, que obliga a elaborar, implantar y mantener planes de autoprotección con contenido mínimo y crea un catálogo de actividades, entre ellas las industriales. La norma más relevante es el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, que aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RSCIEI), cuyo objeto es conseguir un grado suficiente de seguridad en caso de incendio en establecimientos de uso industrial.

Concepto. A efectos del reglamento son industrias las actividades de obtención, reparación, mantenimiento, transformación o reutilización de productos industriales, envasado y embalaje, y de aprovechamiento, recuperación y eliminación de residuos o subproductos. Un recinto de almacenamiento es el que, de forma fija o temporal, cubierto o no, se dedica en exclusividad a albergar productos de cualquier tipo. El reglamento se aplica a zonas de edificios o exteriores donde los vehículos se almacenan como mercancía o flota, a los equipos e instalaciones de un proceso productivo o almacenamiento, y a los almacenamientos de cualquier establecimiento cuando su carga de fuego total sea igual o superior a tres millones de megajulios, es decir, 720.000 megacalorías. También se aplica a industrias anteriores cuando su riesgo intrínseco, situación o características impliquen riesgo grave. Los establecimientos industriales son industrias, almacenamientos industriales, talleres de reparación y estacionamientos de vehículos y sus servicios auxiliares, y se clasifican por su ubicación en relación con el entorno y por su nivel de riesgo intrínseco.

6.2. Tipos de establecimientos y nivel de riesgo intrínseco

Ubicados en un edificio.

- Tipo A: el establecimiento ocupa parte de un edificio en el que existen otros establecimientos, industriales o de otros usos.
- Tipo B: ocupa por completo un edificio adosado a otros o a una distancia igual o inferior a tres metros de otros edificios; también las naves adosadas con estructura compartida si tienen cubierta independiente y se justifica que su colapso no afecta a las colindantes.
- Tipo C: ocupa por completo uno o varios edificios a más de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos, sin mercancías combustibles ni elementos intermedios entre ellos.

En espacios abiertos.

- Tipo D: espacio abierto que puede estar totalmente cubierto pero alguna de sus fachadas carece totalmente de cerramiento lateral.

- Tipo E: espacio abierto parcialmente cubierto, hasta un 50 por 100 de su superficie, con alguna fachada de la parte cubierta sin cerramiento lateral. Si coexisten configuraciones se considera cada parte por separado; si no coincide con ninguna, se asimila a la equiparable.

Nivel de riesgo intrínseco. Se determina por la configuración (A, B, C, D, E) y por sectores o áreas de incendio: en los tipos A, B y C el sector de incendio es el espacio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo establecido; en D y E la superficie ocupada constituye un área de incendio abierta definida por su perímetro. Por usos, la carga de fuego se categoriza en nivel alto (industrias químicas, talleres y fábricas de pintura, barnices y pirotecnia) y medio y bajo (el resto). El cálculo detallado usa la densidad de carga de fuego ponderada y corregida del edificio, Qe, media ponderada por superficie de las densidades Qs de cada sector, en megajulios o megacalorías por metro cuadrado. La densidad de cada sector Qs se obtiene sumando, para cada combustible, su masa Gi en kilogramos por su poder calorífico qi por el coeficiente adimensional Ci de peligrosidad por combustibilidad, multiplicando el conjunto por el coeficiente Ra de riesgo de activación de la actividad y dividiendo por la superficie A del sector. Con varias actividades, la de mayor riesgo de activación determina Ra cuando ocupa al menos el 10 por 100 de la superficie.

6.3. Niveles de protección y comportamiento de los materiales

Sistemas activos. Detección automática (humo, llama, calor) o manual (pulsadores). Alerta y señalización: timbres y megafonía; letreros verdes indican vías de evacuación y letreros rojos salidas no adecuadas; iluminación mínima con baterías. Los sistemas automáticos avisan por medios electrónicos al servicio de bomberos; el aviso telefónico ha de ser personal. Extinción con agentes en botellas o conducidos a bocas de incendio, hidrantes o rociadores, automáticos por temperatura o cambio brusco de ella. Presurización de cajas de escaleras en edificios de media o gran altura, con ventiladores axiales de gran caudal desde la parte inferior a un respiradero superior, para que el humo no entre en la escalera y evitar el efecto tobera; exige puertas cortafuego cerradas, preferiblemente pivotantes.

Sistemas pasivos. Integrados en el proyecto para facilitar la evacuación y confinar el incendio: anchos mínimos de pasillos, escaleras y puertas; distancias máximas a lugar seguro; puertas que abren en el sentido de la evacuación; recorridos protegidos con materiales incombustibles; mínimo número de escalones; sectores de incendio, incluido el edificio completo como sector, con tamaños máximos y elementos de cierta resistencia. La estabilidad al fuego exigida por el RSCIEI a elementos portantes y escaleras de evacuación: nivel bajo, tipo A planta sobre rasante R 120 y sótano R 90, tipo B R 90 y R 60, tipo C R 60 y R 30; nivel medio, tipo A sótano no admitido y sobre rasante R 120, tipo B R 120 y R 90, tipo C R 90 y R 60; nivel alto, tipo A no admitido, tipo B sótano no admitido y sobre rasante R 180, tipo C R 120 y R 90. Si el edificio tiene otros usos se aplica el valor más exigente.

Materiales (UNE 23727-90). Cinco grupos: M0 incombustible (piedras naturales salvo pizarra bituminosa, morteros, hormigones, cerámicos, vidrios, fibras, amianto-cemento, metales); M1 no inflamable (madera aglomerada ignifugada, PVC rígido, estratificados de melamina y urea-formol); M2 difícilmente inflamable (poliéster reforzado con fibra de vidrio, moquetas de lana, poliolefinas ignífugas); M3 moderadamente inflamable (madera en listones de más de diez milímetros, aglomerado de más de catorce milímetros, poliamidas, resinas epoxi, PVC estratificado, ABS, moquetas de poliamida); M4 fácilmente inflamable (aglomerado de menos de catorce milímetros, polimetacrilato, moquetas acrílicas, tejidos acrílicos, espuma de poliuretano, poliestireno expandido).

6.4. Estructuras de acero, hormigón armado y madera

Acero (M0). No arde ni aporta carga térmica; dilata mucho, generando esfuerzos en toda la estructura; gran conductor, se calienta en su totalidad y puede propagar el incendio a lugares alejados; ligero, el hormigón armado es unas diez veces más pesado a igual resistencia; gran superficie expuesta y espesores pequeños, se calienta con facilidad. A partir de 350 grados pierde resistencia y a 500 grados supera los márgenes de

seguridad: la resistencia es el 50 por 100 y entra en estado plástico, se deforma y se pliega sin romperse. Daños habituales: propagación por conducción, empuje por dilatación de horizontales en cabeza de pilares (arqueo y pandeo) y de muros (vuelco), pérdida de apoyo y caída de cerchas. El enfriamiento posterior también puede provocar colapso; una vez frío recupera sus características salvo el cambio de forma. Protección: forrado con trasdosados de yeso o escayola, cajeados de ladrillo o morteros aislantes proyectados.

Hormigón armado (M0). No arde; dilata muy poco; conduce muy mal el calor, solo se calienta la parte afectada; pesado, necesita mucho calor; poca superficie expuesta. Pierde resistencia de forma similar al acero, significativa a partir de 300 grados y 50 por 100 a 500 grados, pero tarda mucho más en alcanzarlas, hasta tres veces más tiempo. El hormigón protege la ferralla; cuando el recubrimiento se resquebraja, con cambio de color, las armaduras quedan sin defensa y se facilita el colapso. Protección: forrados o, lo más eficaz, aumentar el recubrimiento en construcción.

Madera (M3). Combustible, aporta carga térmica; dilata muy poco; mala conductora; ligera, con humedad que debe evaporar antes de descomponerse, por lo que absorbe mucho calor; poca superficie expuesta. Arde de forma concéntrica, de fuera hacia dentro; la parte carbonizada no resiste pero aísla; la madera sana no se altera e incluso se endurece; colapsa por pérdida de sección resistente. Protección con barnices intumescentes, que actúan como retardadores.

6.5. Características de los incendios industriales

Concepto. Se clasifican por el estado de agregación y naturaleza del material: incendios de maquinaria y de materiales sólidos, líquidos, gaseosos o pulverulentos.

Maquinaria. Riesgos eléctricos y de mercancías peligrosas por combustibles y aceites; a menudo con extinción propia. Causas: cortocircuitos por cables gastados, líneas recargadas, mantenimiento defectuoso e incendio de aceites de generadores y transformadores por fricción o fuga, con gases altamente tóxicos.

Sólidos. La gravedad depende de la naturaleza del sólido, la cantidad y la continuidad. Salvo sólidos que polimerizan o combustión espontánea, tienen menor peligrosidad que líquidos, gases o pulverulentos, porque la energía debe primero llevarlos a estado gaseoso. Se emplean estrategias de desalimentación y pérdida de continuidad antes del ataque, o se deja arder de forma controlada limitando la propagación.

Líquidos y gases. Se clasifican por la forma del incidente: incendio de charco, de tanque y dardo de fuego; pueden acompañarse de bola de fuego (BLEVE) o nubes tóxicas.

- Incendio de charco o pool fire: vertido de líquido inflamable que se extiende con espesor reducido; en cubeto, charco más profundo y de menor superficie vaporizante. Los vapores más pesados que el aire forman una nube inflamable desplazada por el viento a ras de suelo; si encuentra ignición dentro de los límites de inflamabilidad, el frente de llama retrocede hasta el vertido. Por ello se prohíben fumar o soldar, se usan herramientas antiestáticas y antideflagrantes y se definen recintos ATEX de atmósferas explosivas donde se prohíben móviles y elementos no certificados.
- Incendio de tanque: involucra mucho más combustible; da lugar al rebosamiento por ebullición o boilover, asociado a tanques de crudo con restos de agua decantada en el fondo. Se queman primero las fracciones volátiles; los componentes pesados forman una capa que aumenta de temperatura y espesor, y una onda de calor de más de 200 grados se propaga hacia abajo hasta tocar el agua, que se vaporiza súbitamente y provoca una erupción violenta que dispara la radiación y extiende el incendio; ejemplo, la explosión del pozo Oil Rig 380 frente a Louisiana en septiembre de 2010.
- Dardo de fuego o jet fire: fuga accidental de gases o vapores inflamables (rotura de tubería de un vaporizador o de impulsión de un compresor) que forma un chorro turbulento mezclado con aire; si la nube alcanza ignición, el frente retrocede hasta la fuga y el dardo se mantiene mientras dure la emisión.

Pulverulentos. La forma física acelera la combustión por la superficie de contacto: sólidos finamente divididos con partículas mayores de 0,5 milímetros arden rápido sin peligro de explosión; en estado pulverulento, partículas menores de 0,5 milímetros, la combustión es muy rápida y puede ser pirofórica o explosiva, con temperaturas y energías de ignición muy bajas. La decisión clave es el agente extintor según la naturaleza del polvo, el sitio, los equipos próximos y los medios. Agua: la más frecuente, nebulizada o en fina pulverización, eficaz en polvos vegetales y sintéticos; no en metales que reaccionan (aluminio, magnesio) ni con tensión; no penetra en masas de más de un metro de profundidad, por lo que conviene añadir humectantes. Espuma física: uso limitado, no penetra y su sofocación es pequeña por el aire de los huecos. Polvo químico seco: para polvos metálicos, que reaccionan enérgicamente con otros agentes; aplicación manual y fuegos pequeños. Anhídrido carbónico, nitrógeno y vapor de agua: salvo metales reactivos y sin turbulencias; eficaces con el polvo confinado (depósitos, silos, bodegas), manteniendo el gas mucho tiempo, incluso días o semanas, con aportaciones suplementarias. Halones 1211 y 1301: solo incendios pequeños, no con metales reactivos, prohibidos pero aún presentes; sustituidos por gases inertes que inertizan la nube.

6.6. Espumas en incendios industriales

Generación. La espuma combina espumógeno, agua y aire y es uno de los principales agentes sobre líquidos inflamables; su efectividad depende de los equipos, la composición y la fiabilidad del concentrado, que rara vez se revisa porque no hay métodos no destructivos de verificación. Sistemas de mezcla:

- Premezcla: agua y espumógeno ya mezclados, como en extintores o camiones.
- Proporcionador o hidromezclador: genera la mezcla con un tubo sumergido en el depósito y un volante que regula la proporción, generalmente entre el 1 y el 6 por 100. Partes: carcasa, boquilla que reduce el racor de entrada a unos 8 milímetros, colector, cámara de mezcla, línea de succión, válvula de retención que impide que el agua entre en los bidones, derivación o bypass y válvula de compensación. El agua se ramifica en dos circuitos; la reducción de la boquilla acelera el agua y crea depresión en la cámara (efecto Venturi) que aspira el emulsor.
- Tanque a presión sin membrana: depósito presurizado de espumógeno con proporcionador; parte del agua entra al depósito y parte extrae la mezcla por Venturi.
- Tanque de membrana: el agua presiona una membrana llena de espumógeno y lo expulsa hacia el proporcionador.
- Sistema de bombeo: depósito, bombas de espumógeno, controlador, proporcionador, sondas de presión, manómetros y bypass; dosifica según la demanda y devuelve el sobrante.
- Proporcionador de presión balanceada en línea: igual que el anterior cuando depósito y bomba están alejados.
- Boquillas autoaspirantes: el proporcionador forma parte de la boquilla de descarga, en monitores.
- Bombas hidráulicas: difusión volumétrica, con bomba dosificadora proporcional al caudal de agua y válvula de tres vías.
- Sistemas portátiles como el Pro-Pak: multiexpansión para rastrojos, fuegos secos, vivienda, vehículo, por inundación o cubrición; caudal máximo 45 litros por minuto a 7 bares, presión mínima 3 bares, unos 16 kilogramos, inyector incorporado, autonomía de 7 minutos al 3 por 100, 21 minutos al 1 por 100 y 3 horas y 30 minutos al 0,1 por 100, con caudal ajustable desde el mango. Los métodos de dosificación son dos: los que usan la energía de presión del agua (Venturi), que producen una pérdida de presión del 35 por 100 en la corriente (eductor de lanza, inductores en línea, dosificadores alrededor de la bomba), y los que emplean bombas auxiliares o presión de caída en proporción fija.

Tipos de espuma. Baja expansión: ratio hasta 20 a 1; para líquidos inflamables, controlan, confinan y extinguen la mayoría de los fuegos de clase B y también clase A por su enfriamiento. Calidad: capa hermética a vapores, excelente adherencia, gran retención de agua, burbujas minúsculas y tenaces, elevada resistencia al calor. Más estables con agua dulce o de mar a 12 a 27 grados; los contaminantes reducen su calidad. No

aplicar sobre tensión eléctrica (conductora), sobre gases licuados como butadieno, propano o cloruro de vinilo, ni sobre materiales que reaccionan con el agua, clase D o carburo de calcio. La densidad de aplicación, en litros de solución por minuto y metro cuadrado, determina el éxito y el número de lanzas: para derrames, cinco litros por minuto y metro cuadrado con espumas sintéticas de triple expansión y polivalentes; más densidad reduce el tiempo; menos lo alarga o impide la extinción. Ejemplos: derrame de 56 metros cuadrados, 280 litros por minuto, una lanza de 400 o dos de 200; derrame de 100 metros cuadrados, 500 litros por minuto, una de 400 y una de 200 o tres de 200. Media expansión: de 20 a 1 hasta 200 a 1; diseñadas para suprimir la vaporización de químicos peligrosos; la expansión óptima para químicos reactivos con el agua y orgánicos de bajo punto de ebullición está entre 30 a 1 y 50 a 1; para zonas confinadas (sótanos, minas, barcos, alcantarillados, salas de máquinas); textura suave, excelente fluidez, útil para prevenir incendios en derrames. Alta expansión: más de 200 a 1; para espacios confinados (garajes, bodegas, sótanos, minas, hangares); actúa por enfriamiento y sofocación pero con poco contenido en agua, uno a mil (un litro de agua y concentrado da 1.000 litros de espuma), gran parte se destruye por el fuego; requiere ventilación en el lado opuesto para que el humo salga y la espuma entre; la capa debe alcanzar unos sesenta centímetros por encima del incendio; en exterior tiene poca efectividad salvo en expansión 1 a 300. Fórmula NFPA del caudal de alta expansión: velocidad de descarga en metros cúbicos por minuto igual al volumen a proteger dividido por el tiempo de descarga en minutos (de dos a ocho según riesgo), multiplicado por el coeficiente de contracción normal 1,15 y por el de fugas, entre 1,0 y 1,2; orientativa cuando el fuego ya se ha extendido.

6.7. Técnicas: ataque defensivo, ataque con agua, espumas y ventilación

Ataque defensivo contra la propagación. Se basa en presurizar espacios y refrigerar superficies. La presurización evita que el humo entre en las zonas presurizadas; es complicada en tipos D y E, con cubierta al aire libre, y en A, B y C, porque los caudales de los motoventiladores no bastan para grandes volúmenes; los planes de prevención deben contemplar zonas de presurización como cortafuegos, vías de evacuación o confinamiento seguro; en naves colindantes funciona bien si acompaña a la ventilación natural, y es nefasta si va en contra. La refrigeración de superficies retrasa la afectación por radiación y convección. Según la NTP 420 son controlables caudales másicos de 1 kilogramo por segundo para dardos y 2 kilogramos por segundo para charcos, correspondientes a dardos de 10 a 15 metros de longitud y charcos de 50 metros cuadrados. Agua de enfriamiento según NFPA-15, por metro cuadrado de recipiente o de superficie proyectada: calor radiante, 4 a 8 litros por minuto y metro cuadrado; llama directa incipiente, 10; llama de dardo, 1.000 a 2.000 litros por minuto de caudal del chorro. Los manuales proponen un mínimo de 4 a 20 litros por minuto y metro cuadrado, evaluando cada escenario; la NFPA-11 es el estándar de espumas.

Ataque directo con agua. Chorro pleno a la base del fuego durante un tiempo moderado, porque afecta a las capas térmicas, el vapor se condensa y el humo cae al suelo con riesgo de quemaduras. Caudales: el gasto de agua es el volumen empleado; el caudal medio, el gasto entre el tiempo, poco significativo porque se aplica a intervalos; el caudal disponible, el máximo en punta de lanza; el caudal crítico, el mínimo para extinguir; el caudal óptimo, el que extingue con el mínimo gasto. Un caudal bajo durante más tiempo no equivale a uno alto durante menos. Las lanzas actuales logran gotas óptimas a 6 o 7 bares; no es cierto que la alta presión con bajo caudal iguale a la baja presión con alto caudal. Si el caudal disponible es inferior al crítico el incendio solo decae al agotarse el combustible; aumentar el caudal reduce el tiempo, mucho justo por encima del crítico y poco después. El caudal a emplear debe ser cercano al óptimo y suficiente para la seguridad frente a fenómenos rápidos; depende de potencia, cantidad de combustible, área y estado. Grimwood y Barnett (2005), sobre más de 5.000 incendios, dan 24 litros por minuto por megavatio en vivienda y 5 litros por minuto por metro cuadrado en superficies amplias de más de 100 metros cuadrados. Modo de aplicación: las temperaturas de ignición de la mayoría de los combustibles superan los 150 grados, así que enfriar hasta unos 150 grados cesa la combustión; la máxima acción de enfriamiento es al convertirse en vapor, con relación volumétrica de 1 a más de 1.600; el vapor ayuda a ventilar espacios cerrados y a evitar el flashover; el chorro pleno es muy ineficiente por la poca superficie expuesta.

Ataque indirecto. Extinción por saturación en vapor de espacios confinados, desde el exterior o a través de puerta o ventana, con chorro nebulizado de ángulo estrecho al techo moviéndose por paredes y gases; el vapor absorbe calor y desplaza oxígeno en poco tiempo y con poca agua. No aconsejable con víctimas atrapadas ni cuando no puede contenerse la propagación, por el efecto pistón de la expansión del vapor.

Espumas. Impiden la ignición de los gases de pirólisis al aislarlos del oxígeno y enfrían; también pueden actuar por inundación, siempre con alta expansión y con ventilación en el extremo opuesto, porque las contrapresiones reducen la expansión. Cubrición simple: la lanza golpea el suelo justo delante de la superficie para que el chorro arrastre la espuma sobre el combustible. Cubrición por rebote: contra un obstáculo como una pared para que escurra suavemente; cuando la aplicación directa dispersaría el incendio o generaría reacción. Caudal de espuma según presión de trabajo: a 2,8 kilogramos por centímetro cuadrado, 160 litros por minuto, 40 metros cúbicos por minuto y expansión máxima 1 a 260; a 4,2, 195 litros, 56 metros cúbicos, 1 a 290; a 5,6, 223 litros, 70, 1 a 320; a 7, 245 litros, 80, 1 a 330; a 8,4, 259 litros, 94, 1 a 360.

Ventilación. Horizontal natural: sin gran compromiso de combustible, con carga controlada por la línea de agua o durante una búsqueda primaria; prever ventilación bidireccional para las víctimas; asegurar que no incrementa la mezcla inflamable; aberturas insuficientes catalizan la pirólisis. Vertical natural: efecto chimenea con succión hacia escaleras y ascensores por la diferencia de temperatura; el humo, con monóxido letal, viaja varios pisos por conductos. Presión positiva: el aire introducido genera gradiente positivo y expulsa el humo hacia menor presión; el ataque se plantea desde las posiciones a favor de las corrientes afluentes; nunca introducir líneas de ataque por las aberturas de salida, porque impide la evacuación de humo y empuja los productos hacia la toma de aire por donde accede el personal.

6.8. Valoración de incendios industriales

Lectura. Se fundamenta en recursos, plan de actuación y condiciones de la zona, condicionadas por combustible, estructura y riesgos. La estabilidad estructural determina el tiempo disponible: el acero soporta temperaturas medias prolongadas pero un pico reduce el límite elástico y puede colapsar; el hormigón soporta picos por su inercia térmica pero las exposiciones prolongadas fisuran y exponen la armadura; la madera aporta combustible pero mantiene estabilidad hasta perder sección; conviene considerar también el sistema de equilibrio, las uniones y las juntas de dilatación. Entorno: en naves D y E, con parte de la cubierta al aire y buena visibilidad, son poco habituales la propagación, la acumulación de gases, las altas temperaturas y el colapso; en A, B y C se trabaja como en vivienda pero con estructura fácilmente colapsable. El factor más importante es el tipo y cantidad de combustible, de nivel medio o bajo salvo químicas, pinturas, barnices y pirotecnia.

Acciones prioritarias. Evacuación: debe existir un plan de autoprotección con punto de encuentro y responsable; a la llegada suele estar hecho el recuento, y si no, es lo primero que se comunica al mando. Búsqueda y rastreo: prioridad táctica, aunque a veces exige control previo del incendio; ataque y búsqueda simultáneos multiplican el éxito; útiles la cámara térmica y las herramientas de mano; dos estrategias frente a los gases: extraer a la víctima o retirar el peligro; la VPP defensiva interesa en edificios complejos, múltiples víctimas o cuando no se pueden simultanear tareas; en espacios amplios sin visibilidad y baja temperatura, cuerdas guía. Riesgos inminentes: colapsos estructurales, especialmente múltiples o en cadena en naves que comparten estructura, y tipo de industria y material. Propagación: relevante para servicios con pocos efectivos, dado el tamaño y poder calorífico. Recursos por orden de importancia: rescate, propagación y extinción. Para rescate, evacuación o confinamiento se reserva siempre un mínimo de miembros, con apoyo de vehículo de altura, muy útil en industriales; el control de la propagación es primordial tras el rescate y previo a la extinción; la extinción exige cuantificar agua, caudal mínimo, intervinientes, puntos de ataque y relevos. Valoración dinámica: en naves A, B o C se actúa como en interior si no hay peligro de colapso, extinguiendo por enfriamiento y a veces sofocación; en E y F, casi sin cubierta, son incendios alimentados desde el exterior y el corte de propagación se hace retirando combustible. Los recursos propios de la empre-

sa, previstos en su plan, son valiosos porque conocen instalaciones, combustibles y vías de escape. El plan se reevalúa ante colapso, cambio de ventilación o falta de recursos; muchos incendios industriales son de larga duración y cambian en minutos.

6.9. Tácticas de intervención

Prioridades. Rescate de víctimas; control de la propagación y extinción; reparación de daños; vuelta a la normalidad. Primero las vidas, después los bienes; el mando decide si prima evitar la propagación o extinguir.

Planteamientos. VPP defensiva: decisión táctica del mando, confinamiento del área de incendio para evacuar gases del resto; el flujo no atraviesa el foco; mejora la supervivencia de ocupantes fuera de la zona afectada, permite buscar con visibilidad y limpia pasillos y escaleras de escape. VPP ofensiva: el flujo atraviesa el foco y abre una ventana temporal para avanzar antes de que el incendio crezca; ventajas: visibilidad, supervivencia (el aire fresco cae y forma colchón respirable), reducción de temperatura y menos combustible en los gases; debe ser muy rápida. Control exterior de propagación: desde zona segura o con vehículo de altura, poco caudal durante bastante tiempo humedeciendo toda la zona, lanzas en cortina. Ataque directo exterior: en los primeros momentos, con difícil acceso o extrema peligrosidad por colapso, deflagración o explosión; chorro sólido a pared o techo con caudal medio. Ataque directo interior: enfría el foco e interrumpe la pirólisis; cono abierto, porque el chorro directo produce mucho más vapor y quemaduras. Ataque indirecto: inundación con vapor desde el exterior; ventajas: posición segura; inconvenientes: pérdida total de visibilidad, quemaduras a víctimas, desplazamiento de gases a otras estancias; aplicación prolongada con conos cerrados, intervalos medios a largos y caudal medio-alto; patrón en T (dos tiempos en la horizontal superior y uno en la vertical central, para las primeras pulsaciones o fuerte gradiente térmico) y patrón en O (circunferencia completa, para aplicaciones sucesivas o recintos amplios), con reposo entre aplicaciones. Inundación en espuma: complicada por las dimensiones; las empresas suelen tener sistemas automáticos; siempre con alta expansión. Cubrición con espuma: cuando la carga baja y el agente no alcanza el foco por penetración, con baja o media expansión. Ataque en presión positiva contra la propagación: recomendable en naves A y B y menos en C; evita el paso a colindantes con pocos efectivos; contraindicaciones: caudal de aire necesario muy alto y mal sellado de las naves; nunca contra la ventilación natural; pueden aprovecharse escaleras presurizadas de naves colindantes. Ataque en presión positiva para la progresión: limpia pasillos y escaleras, con salida de gases distinta de la entrada e incendio confinado; riesgo de backdraft si se desplazan gases a zonas desconocidas, por lo que hay que vigilar el patrón unidireccional.

Caso práctico. Nave de logística de acero con grandes luces, rodeada de una nave de madera, una cerrajería con alto combustible y las oficinas de las tres naves; sin víctimas y con parte de la estructura ya colapsada. Nave afectada (tipo A): el mando decide no entrar, extinguir desde el exterior y priorizar la propagación. Nave de madera: ataque en presión positiva contra la propagación, presurizándola con un ventilador a favor del viento dominante antes de que le llegue humo, retirada del producto colindante por los recursos de la empresa y vehículo de altura refrescando. Cerrajería: ataque exterior contra la propagación humedeciendo paredes colindantes y retirando combustibles, controlable por un binomio. Oficinas: ataque directo exterior con sus propias bocas de incendio equipadas, protegiéndolas y apoyando desde altura la extinción.

6.10. Cifras y datos clave

NBE-CPI 96 derogada el 29 de septiembre de 2006 y sustituida por el Código Técnico, documento de seguridad en caso de incendio; Real Decreto 393/2007 Norma Básica de Autoprotección; Real Decreto 2267/2004 Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales, aplicable a almacenamientos con carga de fuego igual o superior a tres millones de megajulios o 720.000 megacalorías. Tipos: A parte de un edificio compartido; B edificio completo adosado o a tres metros o menos; C edificio completo a más de tres metros sin combustibles intermedios; D espacio abierto con cubierta total y una fa-

chada sin cerramiento; E espacio abierto cubierto hasta el 50 por 100. Sector de incendio en A, B y C; área de incendio en D y E. Riesgo alto: químicas, pinturas, barnices, pirotecnia. Ra según la actividad de mayor riesgo si ocupa al menos el 10 por 100. Estabilidad al fuego de R 30 a R 180: bajo tipo C sótano R 30, alto tipo B sobre rasante R 180. Materiales M0 a M4: hormigón y metales M0, PVC rígido M1, lana M2, madera gruesa M3, poliuretano y poliestireno M4. Acero: pierde resistencia desde 350 grados, 50 por 100 y estado plástico a 500; hormigón: desde 300 grados, 50 por 100 a 500 pero tarda hasta tres veces más y pesa diez veces más que el acero; madera arde concéntricamente y colapsa por pérdida de sección. Pulverulentos: partículas menores de 0,5 milímetros pueden ser explosivas; el agua no penetra más de un metro. Boilover: onda de calor de más de 200 grados sobre agua decantada; Oil Rig 380, Louisiana, septiembre de 2010; charco pool fire, dardo jet fire, BLEVE bola de fuego; recintos ATEX. Proporcionador: 1 a 6 por 100, boquilla de unos 8 milímetros, ocho partes; los dosificadores Venturi pierden el 35 por 100 de presión. Pro-Pak: 45 litros por minuto a 7 bares, mínimo 3 bares, 16 kilogramos, 7 minutos al 3 por 100, 21 al 1 por 100, 3 horas y media al 0,1 por 100. Espumas: baja hasta 20 a 1, media de 20 a 200 a 1 con óptimo de 30 a 50 a 1 para químicos reactivos, alta más de 200 a 1 con uno a mil y capa de sesenta centímetros, exterior solo 1 a 300; agua de 12 a 27 grados; densidad de aplicación 5 litros por minuto y metro cuadrado (56 metros cuadrados 280 litros, 100 metros cuadrados 500 litros; lanzas de 200 y 400); fórmula NFPA con tiempo de 2 a 8 minutos, contracción 1,15 y fugas 1,0 a 1,2; expansión de 1 a 260 a 2,8 kilogramos hasta 1 a 360 a 8,4. NTP 420: 1 kilogramo por segundo para dardos de 10 a 15 metros y 2 para charcos de 50 metros cuadrados; NFPA-15: 4 a 8 litros por minuto y metro cuadrado por radiación, 10 por llama incipiente, 1.000 a 2.000 litros por minuto por dardo; manuales 4 a 20 litros por minuto y metro cuadrado. Caudales: gasto, medio, disponible, crítico (mínimo para extinguir) y óptimo (mínimo gasto); lanzas óptimas a 6 o 7 bares; Grimwood 24 litros por minuto por megavatio en vivienda y 5 litros por minuto por metro cuadrado en más de 100 metros cuadrados; enfriar a 150 grados detiene la combustión; vapor 1 a más de 1.600. Ataque indirecto no con víctimas; patrones en T y en O; ataque directo interior con cono abierto; exterior con chorro sólido a pared o techo. Orden de recursos: rescate, propagación, extinción. VPP contra propagación en naves A y B, nunca contra la ventilación natural; inundación siempre con alta expansión y ventilación opuesta; cubrición con baja o media.

Cuadros y esquemas para el estudio impreso

Cuadro 1. Tipos de establecimiento industrial (RD 2267/2004, RSCIEI) y estabilidad al fuego exigida

Tipo	Ubicación	Definición	Unidad de riesgo
A	En edificio	Ocupa parte de un edificio con otros establecimientos (industriales o no)	Sector de incendio
B	En edificio	Ocupa un edificio completo adosado o a 3 m o menos de otros; naves adosadas con cubierta independiente si su colapso no afecta a las colindantes	Sector de incendio
C	En edificio	Ocupa uno o varios edificios a más de 3 m del más próximo, sin combustibles intermedios	Sector de incendio
D	Espacio abierto	Puede estar totalmente cubierto, pero alguna fachada carece por completo de cerramiento	Área de incendio (perímetro)
E	Espacio abierto	Cubierto parcialmente, hasta el 50 % de la superficie, con alguna fachada sin cerramiento	Área de incendio (perímetro)

Estabilidad al fuego R (minutos) de elementos portantes y escaleras de evacuación, sobre rasante / sótano:

Nivel de riesgo intrínseco	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Bajo	R 120 / R 90	R 90 / R 60	R 60 / R 30
Medio	R 120 / sótano no admitido	R 120 / R 90	R 90 / R 60
Alto	No admitido	R 180 / sótano no admitido	R 120 / R 90

Riesgo alto por uso: químicas, pintura, barnices, pirotecnia; el resto medio o bajo. El RSCIEI se aplica a almacenamientos con carga de fuego total igual o superior a 3.000.000 MJ (720.000 Mcal). Con varias actividades, la de mayor riesgo fija Ra si ocupa al menos el 10 % de la superficie.

Cuadro 2. Materiales (UNE 23727-90) y comportamiento estructural

Clase	Comportamiento	Ejemplos
M0	Incombustible	Piedra natural (salvo pizarra bituminosa), morteros, hormigón, cerámica, vidrio, fibras, amianto-cemento, metales
M1	No inflamable	Madera aglomerada ignifugada, PVC rígido, estratificados de melamina y urea-formol
M2	Difícilmente inflamable	Poliéster con fibra de vidrio, moquetas de lana, poliolefinas ignífugas
M3	Moderadamente inflamable	Madera en listones > 10 mm, aglomerado > 14 mm, poliamidas, epoxi, PVC estratificado, ABS, moqueta de poliamida
M4	Fácilmente inflamable	Aglomerado < 14 mm, polimetacrilato, moquetas y tejidos acrílicos, espuma de poliuretano, poliestireno expandido

Propiedad	Acero (M0)	Hormigón armado (M0)	Madera (M3)
Arde / carga térmica	No / no aporta	No / no aporta	Sí / aporta

Propiedad	Acero (M0)	Hormigón armado (M0)	Madera (M3)
Dilatación	Mucha: empuja pilares y muros	Muy poca	Muy poca
Conducción	Gran conductor: se calienta entero, propaga a distancia	Muy mala: solo la zona afectada	Mala; la capa carbonizada aísla
Peso y sección	Ligero, poco espesor, mucha superficie expuesta	Unas 10 veces más pesado a igual resistencia	Ligera; evapora humedad antes de descomponerse
Pérdida de resistencia	Desde 350 °C; a 500 °C queda el 50 % y entra en estado plástico	Desde 300 °C; 50 % a 500 °C pero tarda hasta 3 veces más	Por pérdida de sección resistente (arde de fuera a dentro)
Daños típicos	Arqueo y pandeo, vuelco de muros, caída de cerchas; también al enfriarse	Recubrimiento resquebrajado con cambio de color deja la ferralla sin defensa	Colapso al perder sección; la madera sana se endurece
Protección	Trasdosados de yeso, cajeados de ladrillo, morteros proyectados	Forrados; mayor recubrimiento en obra	Barnices intumescentes

Cuadro 3. Fenómenos en líquidos, gases y pulverulentos

Fenómeno	Qué es	Riesgo clave	Actuación o agente
Incendio de charco (pool fire)	Vertido de líquido inflamable de poco espesor; en cubeto más profundo y menos superficie	Vapores más pesados que el aire forman nube a ras de suelo; la llama retrocede hasta el vertido	Zonas ATEX: sin móviles ni chispas; herramientas antiestáticas; espuma de baja expansión, 5 L/min por m2
Incendio de tanque y boilover	Tanque de crudo con agua decantada en el fondo; arden las fracciones volátiles y una onda de calor > 200 °C baja hasta el agua	Vaporización súbita: erupción violenta que dispara la radiación (Oil Rig 380, Louisiana, 2010)	Refrigerar, distancia, prever el rebosamiento
Dardo de fuego (jet fire)	Fuga de gas o vapor inflamable en chorro turbulento que se enciende y se mantiene mientras dure la emisión	Radiación intensa y dirigida; dardo de 10 a 15 m = 1 kg/s controlable (NTP 420)	Cortar el suministro; refrigerar recipientes con 1.000 a 2.000 L/min de chorro
BLEVE y bola de fuego	Explosión del recipiente con líquido en ebullición; acompaña a charcos y tanques	Bola de fuego y proyección	Refrigerar el recipiente y alejar personal
Pulverulentos	Partículas < 0,5 mm: combustión muy rápida, pirofórica o explosiva, con energías de ignición muy bajas (> 0,5 mm arden rápido sin explosión)	Nube de polvo en suspensión; el agua no penetra masas > 1 m	Agua nebulizada con humectantes (vegetales, sintéticos); polvo químico seco en metálicos; CO2, N2 o vapor en silos confinados durante días; nunca agua en Al o Mg ni con tensión
Maquinaria	Cortocircuitos, líneas recargadas, aceites de transformadores y generadores	Riesgo eléctrico y gases muy tóxicos	Corte de tensión; suele haber extinción propia

Cuadro 4. Espumas en la industria

Expansión	Ratio	Uso	Datos
Baja	Hasta 20:1	Líquidos inflamables (clase B) y también A por enfriamiento	Capa hermética a vapores; agua a 12 a 27 °C; no sobre tensión, gases licuados (butadieno, propano, cloruro de vinilo) ni clase D o carburo de calcio
Media	20:1 a 200:1	Suprimir vaporización de químicos peligrosos; zonas confinadas (sótanos, minas, barcos, alcantarillas)	Óptimo 30:1 a 50:1 para reactivos con agua y orgánicos de bajo punto de ebullición
Alta	> 200:1	Inundación de espacios confinados (garajes, bodegas, hangares)	1 L de agua y concentrado = 1.000 L de espuma; capa 60 cm sobre el fuego; ventilación en el lado opuesto; en exterior solo 1:300

Presión en lanza (kg/cm2)	Caudal de solución (L/min)	Espuma producida (m3/min)	Expansión máxima
2,8	160	40	1:260
4,2	195	56	1:290
5,6	223	70	1:320
7	245	80	1:330
8,4	259	94	1:360

Proporcionador: dosifica del 1 al 6 % por Venturi (boquilla de unos 8 mm); ocho partes: carcasa, boquilla, colector, cámara de mezcla, línea de succión, válvula de retención, bypass y válvula de compensación; los dosificadores Venturi pierden el 35 % de presión. Pro-Pak: 45 L/min a 7 bar, mínimo 3 bar, unos 16 kg; autonomía 7 min al 3 %, 21 min al 1 %, 3 h 30 min al 0,1 %. Aplicación: cubrición simple (golpear el suelo delante) o por rebote (contra pared); inundación siempre con alta expansión.

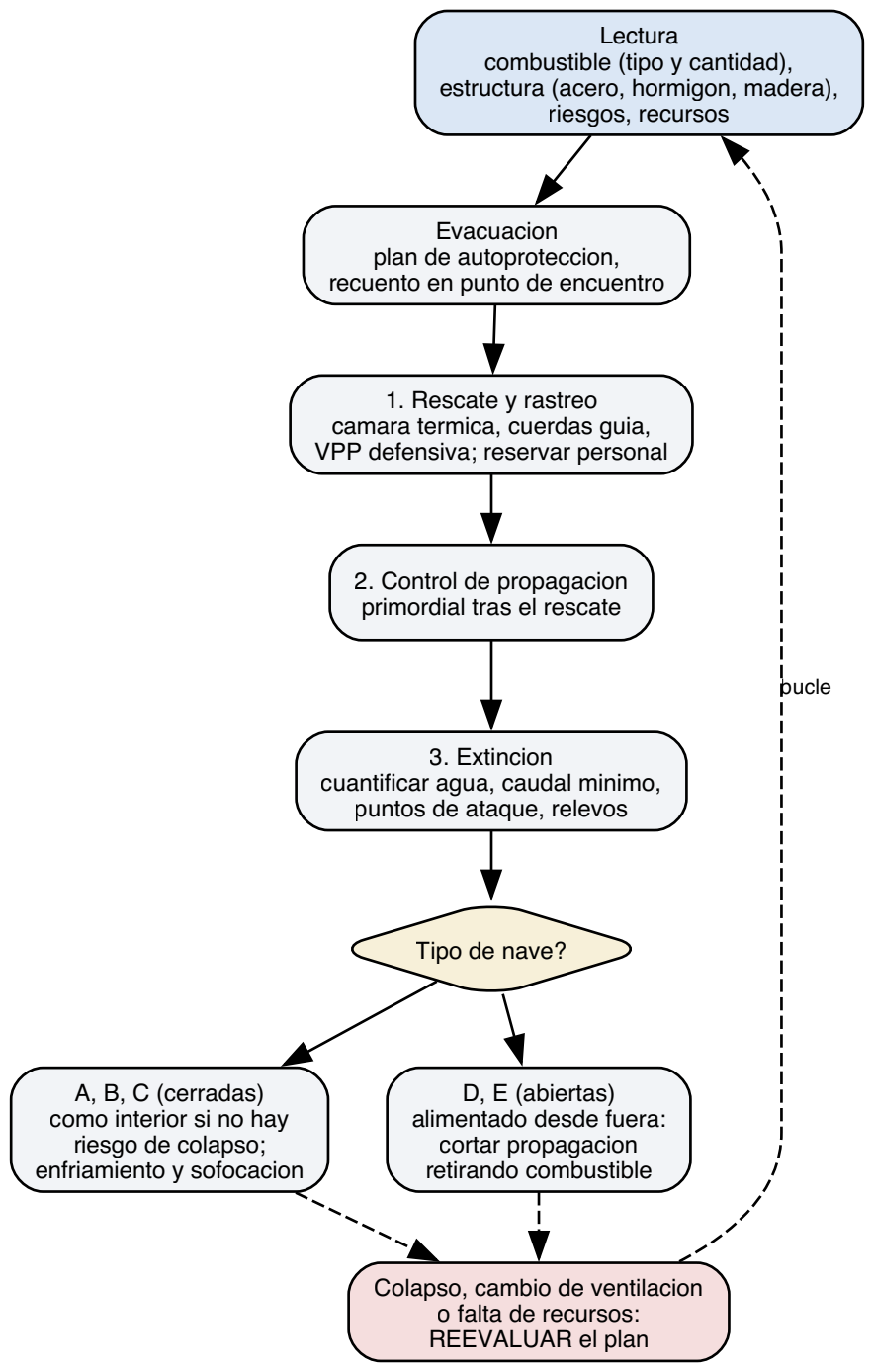
Cuadro 5. Tácticas de intervención

Táctica	Cuándo	Cómo
VPP defensiva	Decisión del mando; edificios complejos, múltiples víctimas	Confinar el área del incendio y ventilar el resto; el flujo no atraviesa el foco
VPP ofensiva	Ventana temporal antes de que el incendio crezca	El flujo atraviesa el foco; muy rápida; mejora visibilidad, temperatura y combustible en gases
Control exterior de propagación	Naves colindantes, pocos efectivos	Desde zona segura o altura; poco caudal mucho tiempo, lanzas en cortina, humedecer todo
Ataque directo exterior	Primeros momentos, acceso difícil, riesgo de colapso o explosión	Chorro sólido a pared o techo, caudal medio
Ataque directo interior	Foco accesible sin peligro de colapso	Cono abierto: el chorro directo produce mucho vapor y quemaduras
Ataque indirecto	Recinto confinado sin víctimas y propagación contenible	Vapor desde el exterior; conos cerrados, caudal medio-alto; patrón en T (primeras pulsaciones) o en O (recintos amplios)
Inundación con espuma	Grandes volúmenes; sistemas automáticos de la empresa	Siempre alta expansión, ventilación en el extremo opuesto
Cubrición con espuma	Carga baja y foco inaccesible por penetración	Baja o media expansión

Táctica	Cuándo	Cómo
VPP contra la propagación	Naves A y B (menos en C)	Presurizar la colindante a favor del viento antes de que llegue el humo; nunca contra la ventilación natural
VPP para la progresión	Pasillos y escaleras con incendio confinado	Salida distinta de la entrada; vigilar patrón unidireccional (riesgo de backdraft en zonas desconocidas)

Orden de recursos: rescate, propagación, extinción. En naves D y E (cubierta al aire) son raros la acumulación de gases, las altas temperaturas y el colapso; en A, B y C se trabaja como en vivienda pero con estructura fácil de colapsar.

Esquema 1. Valoración y prioridades en un incendio industrial



Fórmulas

Qs = (suma de Gi x qi x Ci) x Ra / A (densidad de carga de fuego del sector, MJ/m2 o Mcal/m2)

Qe = media ponderada por superficie de las Qs de cada sector (densidad del edificio)

Densidad de aplicación de espuma (derrames) = 5 L/min por m2 -> 56 m2 = 280 L/min ; 100 m2 = 500 L/min

Alta expansión (NFPA) = (volumen a proteger / tiempo de descarga en min, de 2 a 8) x 1,15 (contracción) x fugas (1,0 a 1,2)

Caudal táctico (Grimwood y Barnett) = 24 L/min por MW en vivienda ; 5 L/min por m2 en superficies > 100 m2

Enfriar el combustible hasta unos 150 °C detiene la combustión ; agua a vapor = 1 a más de 1.600

Término	Significado
Gi	Masa de cada combustible (kg)
qi	Poder calorífico de cada combustible
Ci	Coeficiente adimensional de peligrosidad por combustibilidad
Ra	Coeficiente de riesgo de activación de la actividad (la de mayor riesgo si ocupa al menos el 10 %)
A	Superficie del sector (m2)

Referencia de caudal de refrigeración	Valor
NTP 420: caudal másico controlable	1 kg/s en dardos (10 a 15 m); 2 kg/s en charcos (50 m2)
NFPA-15: calor radiante	4 a 8 L/min por m2 de recipiente
NFPA-15: llama directa incipiente	10 L/min por m2
NFPA-15: llama de dardo	1.000 a 2.000 L/min de caudal del chorro
Manuales en general	Mínimo 4 a 20 L/min por m2
Caudales: crítico / óptimo	Mínimo que extingue / el que extingue con el mínimo gasto; lanzas óptimas a 6 o 7 bar

Ideas clave

RSCIEI = RD 2267/2004; Norma Básica de Autoprotección = RD 393/2007; NBE-CPI 96 derogada el 29-9-2006 por el CTE. Tipos A (parte de edificio), B (adosado o a 3 m o menos), C (más de 3 m), D (cubierto con fachada abierta), E (cubierto hasta 50 %). Sector de incendio en A, B y C; área de incendio en D y E; riesgo alto: químicas, pinturas, barnices y pirotecnia. Acero: pierde resistencia desde 350 °C, 50 % a 500 °C; hormigón desde 300 °C pero tarda hasta 3 veces más; madera colapsa por sección. Boilover: onda de calor > 200 °C sobre agua decantada; polvos < 0,5 mm pueden explotar; el agua no penetra más de 1 m. Espuma: baja hasta 20:1, media 20 a 200:1 (óptimo 30 a 50:1), alta > 200:1 con capa de 60 cm; derrames 5 L/min por m2. Orden de recursos: rescate, propagación, extinción; ataque indirecto nunca con víctimas; VPP nunca contra la ventilación natural. Estabilidad al fuego: de R 30 (bajo, tipo C sótano) a R 180 (alto, tipo B sobre rasante).

Capítulo 7. Incendios de vegetación e interfaz urbano-forestal (tema 7)

Incendios · temas 3 a 7

Este capítulo pertenece al grupo Incendios del temario específico y cubre el tema 7, incendios de vegetación e interfaz urbano-forestal. La fuente es la parte 6 del Manual de Incendios del CEIS Guadalajara y Grupo Tragsa, edición de 2015, con cinco capítulos: caracterización (conceptos, transmisión del calor, factores de comportamiento, combustibles, factores del propio incendio y humo), valoración (proceso, triaje de estructuras, seguridad), técnicas de intervención en interfaz, tácticas y casos prácticos. En el examen de bombero de Gipuzkoa de 2026 se preguntaron la longitud de llama, el uso racional del agua, el riesgo potencial según temperatura, humedad, viento y pendiente, el fuego de copas activo y pasivo, las espumas, los modelos de combustible de Rothermel y la protección de estructuras con o sin zona de seguridad. El capítulo sigue el orden del manual y termina con las cifras clave.

7.1. Conceptos y clasificación de los incendios de vegetación

Concepto. El ecosistema necesita el fuego para regenerarse, pero hoy es una amenaza para la biodiversidad y la población. En España, país más afectado de la Unión Europea, los incendios provocados por el ser humano superan el 96 por 100; según Greenpeace la superficie afectada superó las 18.000 hectáreas en 2013 y las 135.000 en 2012. Factores del incremento: falta de prevención, abandono rural y mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor. El incendio es el fuego que se extiende sin control y afecta a vegetación que no estaba destinada a arder; la falta de control es esencial, por lo que las quemas de pastos autorizadas no son incendios. En clima mediterráneo la sequía estival seca la vegetación y la hace altamente inflamable.

Tipos. Incendio forestal: fuego que se propaga sin control por terreno con especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, espontáneas o plantadas, con funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas o recreativas; también los que afectan a terrenos yermos, roquedos y arenales, construcciones al servicio del monte, terrenos agrícolas abandonados con signos de estado forestal, terrenos adscritos a repoblación y enclaves forestales en terrenos agrícolas. Incendio agrícola: en terreno de cultivo. Incendio de vegetación en suelo urbano: parques, jardines, cunetas urbanas, sin influencia forestal. Incendio de interfaz urbano-forestal: zona con edificaciones dentro o próximas a vegetación forestal, escenario de los llamados incendios de cuarta generación, en los que el fuego alcanza las edificaciones y se propaga por combustibles no forestales. Tres modos: estructuras insertadas en masa forestal de forma agrupada (urbanizaciones, pueblos), zonas de vegetación aisladas en áreas urbanizadas (parques) y estructuras aisladas en áreas forestales o agrícolas. El riesgo crece por la fuente de peligro (más igniciones) y la vulnerabilidad (población).

Por superficie. Conato: menos de 1 hectárea. Incendio: 1 hectárea o más. Gran incendio forestal (GIF): 500 hectáreas o más.

Por estrato. Suelo o subsuelo: por la materia orgánica en descomposición y las raíces, lento, en combustión incandescente por falta de oxígeno, detectable por el calor residual; se detiene con una línea de defensa hasta suelo mineral; en turberas o gayuba, escasos en España. Superficie: por el combustible sobre el suelo hasta 1,5 metros de altura (hojarasca sin descomponer, hierbas, arbustos y leños caídos no inmersos en la hojarasca); los más frecuentes. Antorcheo: incendio de superficie que por continuidad vertical corona copas aisladas. Copas pasivo: avanza por las copas acoplado al fuego de superficie, del que depende; si se eli-

mina el combustible de superficie se detiene. Copas activo: avanza por las copas independientemente de la superficie; primero arden las copas, con hojas ligeras y más viento, y después la superficie por detrás; necesita viento fuerte y continuidad horizontal y vertical; muy alta intensidad y difícil control.

Partes. Origen; cabeza, la parte más caliente y activa que marca la dirección; flancos izquierdo y derecho, paralelos a la propagación; cola, opuesta a la cabeza, más lenta, cerca del origen; perímetro; dedo, franja estrecha que se extiende y puede flanquear al personal; bolsa, área sin quemar entre el incendio y un dedo; isla, combustible sin quemar dentro del perímetro; focos secundarios, fuera del perímetro, generados por pavesas y piñas.

Formas y patrones. Progresión circular en terreno plano, combustible homogéneo y sin viento; elíptica con viento dominante en terreno plano o pendiente regular; irregular con viento variable, combustible heterogéneo o pendientes irregulares. Patrones de propagación: de combustible (influye si está vivo o muerto, subterráneo, superficial o aéreo, cantidad, grosor, continuidad, compactación, resinas y humedad; la oportunidad está en un cambio a modelo favorable); topográfico (pendiente, exposición y rugosidad; quema ollas y vaguadas enteras y cabeza y flancos se comportan igual; la oportunidad, cuando avanza en descendente); conducido por viento (aporta oxígeno y deseca; busca crestas y puntos altos; se detecta por la columna convectiva; oportunidad donde el viento deje de mandar, con ataque por flancos de cola a cabeza); y ambiente del incendio (gran incendio que crea su propia burbuja meteorológica; solo cabe ataque indirecto con ventana de actuación).

Legislación. La Constitución de 1978 transfirió a las comunidades autónomas la prevención y extinción; el Estado tiene competencias estadísticas, de estrategia forestal y de coordinación e interviene a petición o si afecta a varias comunidades. La Ley de Montes prevé campañas de concienciación, participación ciudadana, zonas de alto riesgo con planes de defensa, obligación de comunicar y colaborar, coordinación, mando único como director técnico de extinción, restauración de terrenos sin cambio de uso y responsabilidades administrativas. Se aplica también la normativa de Protección Civil.

7.2. Transmisión del calor y emisión de pavesas

Concepto. Intervienen la distribución de los combustibles, la pendiente, la compacidad o ahuecamiento de la capa y el viento. Conducción: contacto entre sólidos; la conductividad vegetal es baja y el contacto imperfecto, así que es poco eficiente; la compacidad la favorece (pinocha de pino silvestre, hojarasca de haya) pero la falta de aire limita la combustibilidad fuera de los periodos secos. Radiación: ondas electromagnéticas a través del aire; la continuidad horizontal y vertical y la relación superficie-volumen la favorecen; el ahuecamiento la favorece si los huecos no son excesivos (hojarasca de roble melojo, matorrales). Convección: el mecanismo más eficaz; el aire caliente asciende, cede calor a los combustibles superiores y desciende; convierte en disponibles los combustibles aéreos y pasa los fuegos de superficie a copas; con pendiente acelera la desecación cuesta arriba; cuesta abajo solo actúa la radiación y el fuego es mucho más lento.

Pavesas. Proyección de partículas incandescentes o inflamadas que originan focos secundarios; el fenómeno se llama salto de fuego. Se da sobre todo en pinares con fuego de copas, hasta medio kilómetro, en las horas centrales del día con temperaturas de 20 a 35 grados, humedad del 20 al 50 por 100 y viento moderado a vivo de 16 a 39 kilómetros por hora. Las proyecciones más peligrosas son las piñas del pino carrasco y la corteza del eucalipto. Las ráfagas y el relieve accidentado favorecen saltos largos.

7.3. Factores del comportamiento: topografía, meteorología y combustible

Gran triada. Topografía, ambiente (climatología y tiempo) y combustible vegetal.

Topografía. Es el componente más constante e influye en los otros dos. Configuración o relieve: condiciona el clima, los microclimas y los vientos. Exposición: las laderas de solana están más calientes y con vegetación más seca y menos cantidad; las de umbría, más frías y húmedas. Pendiente: el factor topográfico más

importante; en las zonas altas convección y radiación son más eficientes; a mayor pendiente, mayor velocidad ascendente y más lento el descenso; los fondos de barranco con laderas próximas se calientan más rápido y aceleran el ascenso del aire. Un fuego con fuertes vientos se propaga cien veces más rápido; la pendiente lo hace solo veinte veces mayor. La pendiente se mide en grados o porcentaje: 45 grados equivalen al 100 por 100. Altitud: a mayor altitud menos vegetación y combustible.

Meteorología. Interesan el tiempo previo (riesgo y cubierta), el actual (causa desencadenante) y el que transcurre durante el fuego. Variables: temperatura, viento, humedad relativa y estabilidad atmosférica.

- Temperatura: regula la desecación y la energía necesaria para la ignición; el periodo más fresco y húmedo es de madrugada, hacia las 6 de la mañana, y la máxima entre las 15 y las 17 horas. Temperatura del suelo (aumento mínimo), de la zona de combustible precalentado (de 1.000 a 1.400 grados en arbolado, unos 500 en matorral), de la zona de llamas (700 a 1.000 grados con grandes fluctuaciones) y de la columna de convección (decrece muy rápido con la altura; en arbustos tres cuartas partes a 3 metros).
- Humedad: absoluta, gramos de vapor por metro cúbico; relativa, proporción sobre el máximo a esa temperatura; al 100 por 100 el aire está saturado. Valores por debajo del 30 por 100 desencadenan condiciones muy favorables. Regla: cuando la temperatura baja 10 grados la humedad relativa se duplica, y cuando sube 10 grados se reduce a la mitad. Afecta a la disponibilidad de oxígeno (a más humedad menos oxígeno) y a la humedad de la vegetación, que alarga el presecado. Máximos nocturnos y mínimos tras el mediodía.
- Viento: movimiento del aire por diferencias de temperatura y presión, rotación terrestre y fuerza de Coriolis; sopla paralelo a las isobaras y es más fuerte cuanto más juntas están. Se mide en metros por segundo, kilómetros por hora o nudos: un nudo son 1,852 kilómetros por hora o 0,515 metros por segundo. La dirección es de donde procede, en grados: norte 0 o 360, este 90, sur 180, oeste 270. A más velocidad, más intensidad y propagación; aporta oxígeno, marca la dirección, seca los combustibles, transporta pavesas y acelera. Vientos locales: de ladera descendentes, de noche y madrugada (de las 18 a las 5 horas), lentos, de 1 a 10 kilómetros por hora, en láminas sin turbulencia; de ladera ascendentes, de día (de las 8 horas a la puesta de sol), de 6 a 13 kilómetros por hora, con turbulencias cuesta arriba e intensidad en cumbres; el cambio de descendente a ascendente puede reactivar en minutos un fuego controlado, a menudo con ruptura de la inversión térmica. Vientos de valle, paralelos al eje del valle, ascendentes de día y descendentes de noche. Brisas marinas, del mar hacia tierra de día y al revés de noche, más suaves de noche; brisa de montaña o viento catabático nocturno en solanas, y brisa de valle o anabático diurno. Olas de montaña: frente de ondas a sotavento con cúmulos lenticulares sobre las crestas; pueden dar vientos cálidos y secos por subsidencia. Foehn: vientos terrales muy cálidos, secos e intensos que soplan de arriba abajo; hasta 145 kilómetros por hora con humedad del 3 por 100, no suelen durar más de tres días; en Valencia y Murcia se llaman Poniente. Torbellinos o vórtices de fuego: columnas ascendentes rotatorias, horizontales o verticales; con vientos superiores a 7 u 8 kilómetros por hora se desplazan con el viento; duran minutos o más de una hora.
- Inversión térmica: el aire frío queda bajo el caliente, asociada a montaña; de tarde y noche contiene los incendios del valle; a media mañana la ruptura del cinturón térmico aporta aire súbito y aumenta velocidad y longitud de llama. Tipos: nocturna o de radiación (máxima al amanecer), frontal (paso de frentes), marina (aire marino fresco bajo aire cálido, más intensa de noche) y por subsidencia (anticiclón, aire cálido y seco durante días, típica de finales de verano y otoño).
- Tormentas: tormenta ígnea o de fuego, gran incendio que crea su propio sistema de viento con efecto chimenea, tornados y remolinos, y succiona aire hacia el interior; pyrocumulus o nubes de fuego; reventones o corrientes descendentes desde la columna de convección, precedidos de lluvia con evaporación, de una columna intensa y de una calma repentina.

Nivel de riesgo potencial. Condiciones: temperatura ambiental alta, más de 30 grados; humedad relativa escasa, menor del 35 por 100 (el resumen del manual dice menor del 30); velocidad del viento vivo, fuerte, muy fuerte o masivo, a partir de 30 kilómetros por hora. Riesgo grave con la coincidencia de dos condiciones; extremo con tres; extremo a nivel máximo con las tres más incendio en pendiente.

Combustibles. Los pinares son la masa más extensa: carrasco, piñonero, pinaster y laricio conectan su reproducción con el fuego y tienen mucha resina y aceites. Se clasifican por velocidad de propagación y resistencia al control en bajo, medio, alto y extremo. Características: tamaño y forma (fino de 0 a 5 milímetros, regular de 5 a 25, mediano de 25 a 75, grueso más de 75); compactación (más espacio, más aire y secado más rápido); densidad (a más densidad más calor absorbe y más resiste); sustancias químicas (resinas y aceites); humedad (mientras hay agua la reacción es endotérmica; en vivos máxima en primavera y mínima en verano; en muertos ligada al ambiente). Tiempo de retardo: tiempo que tarda un combustible muerto en equilibrar su humedad con el ambiente: de una hora, menos de 6 milímetros (hierbas, pinochas, hojas); de diez horas, de 6 milímetros a 2,5 centímetros (ramas pequeñas); de cien horas, de 2,5 a 7,5 centímetros (ramas mayores, restos de poda); de mil horas, de 7,5 a 20 centímetros (cepas y troncos). Cantidad de combustible o fitomasa, peso seco por superficie: pastos y arbustos de 1 a 10 toneladas por hectárea, matorrales de 10 a 40. Cantidad total, disponible (la consumida realmente) y restante. Continuidad horizontal (dirección y velocidad) y vertical (paso a copas).

Modelos de Rothermel. En los años setenta Rothermel, Anderson, Albini y otros desarrollaron en Estados Unidos trece modelos en cuatro grupos, llegados a Europa a mediados de los ochenta; en 1984 Rothermel y Burgan publicaron el sistema Behave, hoy Behave Plus, que los usa como primer dato de entrada. Grupo pastos, modelos 1 a 3: modelo 1, herbáceas finas, propagación rápida, matorral o arbolado en menos de un tercio, 1 a 2 toneladas por hectárea; modelo 2, herbáceas finas secas, matorral de uno a dos tercios, más intensidad y pavesas, 1 a 2 toneladas; modelo 3, pasto de un metro con un tercio o más seco, cereales sin cosechar, 4 a 6 toneladas. Grupo matorral, modelos 4 a 7: modelo 4, matorral de unos dos metros o repoblados jóvenes densos, fuegos rápidos por las copas del matorral, 25 a 35 toneladas; modelo 5, matorral de menos de un metro que cubre casi todo, fuegos no tan intensos por hojarasca y herbáceas, matorral joven con poco muerto, 25 a 35 toneladas; modelo 6, matorrales y restos secos de cortas de frondosas, más inflamable que el 5, requiere vientos superiores a 13 kilómetros por hora, 10 a 15 toneladas; modelo 7, matorrales de más de dos metros y pinares con sotobosque inflamable, propaga igual por suelo y matorral incluso con humedad alta, 10 a 15 toneladas. Grupo hojarasca bajo arbolado, modelos 8 a 10: modelo 8, bosques cerrados con hojarasca compacta y poco matorral, fuegos lentos de poca llama, peligroso solo en las peores condiciones, 10 a 12 toneladas; modelo 9, hojarasca menos compacta, pinares de hoja larga, incendios de otoño en frondosas, más rápido, 10 a 12 toneladas; modelo 10, bosques con plagas, viento o sobremaduros con material leñoso caído, más intensidad, ramas de 76 milímetros y coronamientos frecuentes, 10 a 12 toneladas. Grupo ramaje y restos de operaciones silvícolas, modelos 11 a 13: modelo 11, bosque claro con restos de poda y herbáceas rebrotando, pocos materiales de más de 76 milímetros, 25 a 30 toneladas; modelo 12, predominio de restos que cubren el suelo, más materiales de más de 76 milímetros, propaga hasta un cortafuegos, pavesas, 50 a 80 toneladas; modelo 13, muchos materiales de más de 76 milímetros, pavesas, 50 a 80 toneladas.

Inflamabilidad de especies (Elvira y Hernando, 1989). Muy inflamables casi todo el año: brezo, eucalipto, retama, tojo, pino carrasco, encina, romero, tomillo. Muy inflamables en verano: albaida, hierba yesquera, jara pringosa, espliego, cantueso, pino rodeno, pino piñonero, pino de Monterrey, alcornoque, frambuesa, esparto, ajedrea, aliaga. Medianamente inflamables: madroño, enebro, carrasca, quejigo.

7.4. Factores del propio incendio y lectura del humo

Concepto. Longitud de llama: máxima distancia entre la base y la punta de la llama, medida sobre un ángulo si está inclinada por viento o pendiente; referencia de la intensidad, en metros. Intensidad lineal: potencia por unidad de longitud de frente, determinante para el control. Velocidad de propagación: avance del frente en kilómetros por hora o metros por segundo; lineal (para situar líneas de control), perimetral (re-

cursos de extinción y remate) y areal (área y daño). Los grandes incendios generan su propio ambiente de temperatura, humedad y viento. Con estos factores se decide ataque directo, indirecto o mixto y si se está dentro o fuera de capacidad de extinción.

Humo. Informa de intensidad (color) y patrón (meteorología). Por origen: legítimos (quemas autorizadas, fábricas), ilegítimos (incendios, quemas ilegales) y falsos (polvo, polen). Por color: gris café, matorrales ralos; gris negro, matorrales densos, eucaliptos, pinares y encinares, alta intensidad; amarillo, coníferas como el pino insigne; blanco, pastizales, poca intensidad, combustible húmedo; blanco azulado, pastos secos. Por volumen: proporcional a cantidad, tipo y área de combustible. Por ángulo de elevación: vertical, de 80 a 90 grados, poco viento, propagación lenta, más fácil de controlar; diagonal, de 40 a 50 grados, vientos de veinte a treinta nudos, foco peligroso; tumbada, alrededor de 20 grados, fuertes vientos en la base con posible estabilidad atmosférica.

7.5. Valoración de la intervención y triaje de estructuras

Proceso. Cuatro etapas vinculadas por evaluación permanente: valoración preliminar, evaluación sobre el terreno, estimación de la capacidad de los recursos y triaje de estructuras. La valoración preliminar, antes de llegar, atiende a incendios anteriores en la zona (patrones parecidos), relieve (altitud, cañadas, chimeneas rocosas, barreras naturales y artificiales), combustibles predominantes, información meteorológica, hora actual y gestión de la información, ampliándola (usos, ganado, población, excursionistas) y actualizándola. La evaluación sobre el terreno, desde una posición con visión, respeta el orden de protección: personas, estructuras y vegetación; observa superficie (punto de inicio, cañadas, crestas, barreras), accesos y salidas (explorar a pie si se pierde visibilidad, entrar marcha atrás si no se podrá dar la vuelta, señalizar), materiales combustibles alrededor de las estructuras, estructuras y asentamientos (uso, habitadas, materiales, depósitos, leña, piscinas y pozos, disolventes, tendidos eléctricos), condiciones ambientales (el viento es la más importante; la temperatura seca y calienta) y perfil del incendio (distancia, velocidad, focos secundarios, longitud y altura de llama, remolinos y pavesas).

Triaje de estructuras. Clasificación de las viviendas y estructuras amenazadas según la eficiencia y seguridad de su defensa con el mínimo riesgo para bomberos. Parte de las peores condiciones y los mínimos medios y responde a dos preguntas: si sirve de algo defenderla y si puede hacerse con seguridad. Tipos de triaje: inmediato, ante frente muy próximo, con reconocimiento rápido y comunicación directa con el responsable; rápido, con tiempo para conocer número y características de estructuras, clima y evolución antes de que lleguen las llamas; completo, con holgura para dividir el área en zonas de prioridad 1 (la que necesitará triaje rápido), 2 y 3. Los más frecuentes en interfaz son los rápidos o inmediatos, con formularios. Tipos de estructuras: no amenazadas, amenazadas y salvables, y amenazadas no salvables, según vidas en peligro y zonas seguras. Tipología de Wright (2011): categoría 1, estructura defendible con preparación y contención: hay zona de seguridad clara y la estructura ofrece alguna posibilidad de protección; proteger activamente con ataque directo. Categoría 2, defendible con protección pasiva: hay zona de seguridad clara pero pocas posibilidades; proteger hasta la llegada del frente y después abandonar; examinar daños tras el paso. Categoría 3, no defendible con preparación y abandono de posición: no existe zona de seguridad aunque la estructura ofrece alguna posibilidad; preparar la zona moviendo o eliminando combustibles y abandonar antes de comprometer la seguridad, con puntos críticos que indiquen el momento. Categoría 4, no defendible con rescate y evacuación: sin zona de seguridad y sin posibilidades; abandonar asegurando que no hay nadie y ayudar a evacuar. Información necesaria: cómo es y de qué está hecha (la mayoría de las estructuras se ven afectadas por pavesas más que por llamas, sobre todo tejados y huecos; tejados resistentes al fuego hacen no prioritaria la estructura), dónde está (pendiente, cima, elementos cercanos), qué combustibles la amenazan (es importante que haya quince metros libres de combustible para considerarla salvable), perfil y evolución del incendio, medios disponibles (maquinaria pesada retira combustible, brigada ensancha cortafuegos, autobombas atacan focos) y garantías de seguridad (accesos, escapes, zonas seguras, comunicación, experiencia). Formularios de ejemplo (Duce, 2013): puntuación por pendiente (menos del 20 por 100 un punto, 20 a 35 tres, más de 35 cinco), combustible, superficie de defensa, carga aérea, tejado, paredes, acce-

sos, suministros aéreos o soterrados, tanques y sistemas de protección; de 0 a 15 puntos fácil de proteger, de 16 a 32 defendible con actuación, más de 33 muy difícil. Lista de síes: calles sin salida, tejado muy inflamable, árboles en contacto, ramas a menos de diez metros, vehículos a menos de diez metros, pendiente de más del 20 por 100, porche de madera, líneas a menos de diez metros: de 0 a 2 síes poca defensa necesaria, de 3 a 6 defensa con precaución, de 7 a 8 poca probabilidad de defensa.

Evaluación continua y seguridad. Se revisan el incendio, los medios (bomberos urbanos, aéreos, brigadas, maquinaria; su efectividad y uso seguro; avituallamientos y relevos) y el diseño táctico (indicadores como metros de frente, metros de tendido o estructuras protegidas; comunicados periódicos). No hay indicador objetivo del momento de abandonar; vigilar propagación más rápida de lo esperado, pavesas sobre la estructura, menos agua, fragilidad, rutas bloqueadas, ventanas rotas o fuego interior. Situaciones de riesgo: falta de información (incendio no evaluado, terreno desconocido, sin zonas seguras ni rutas, clima local desconocido), déficit de comunicación (sin estrategia, instrucciones confusas, no ver el incendio principal), intervención inadecuada (línea de defensa sin anclaje o ladera abajo hacia el fuego, ataque frontal, zona sin quemar entre intervinientes e incendio, descansos cerca del frente), cambios de clima, terreno (escape difícil, material rodando cuesta abajo) y nuevos focos que cruzan la línea. Principios: basarse en el comportamiento actual y previsto; atacar con decisión manteniendo control y seguridad, identificando zonas de seguridad y rutas de escape y situando observadores; transmitir con claridad y confirmar; no perder la calma ni la atención. Fórmula OCEL: Observación, Comunicación, Escape y Lugar seguro; evitar rutas cuesta arriba, con obstáculos o mucho combustible. La logística (avituallamiento, agua, sales, barritas) cobra importancia en intervenciones largas.

7.6. Técnicas de intervención en interfaz: ataque directo

Tipo de ataque según longitud de llama. Menos de 1,5 metros: ataque directo con herramientas manuales y autobombas, por cabeza y flancos. De 1,5 a 2,5 metros: ataque directo con tractor de cadenas, autobombas y medios aéreos, con posibilidad de recurrir al indirecto. De 2,5 a 3,5 metros: ataque indirecto por el frente. Más de 3,5 metros: ataque indirecto con contrafuego, con probables focos secundarios y fuegos de copas. El ataque directo se recomienda para llamas inferiores a 2,5 metros, sobre la llama con agua o espuma o con herramientas sobre el borde.

Uso de vehículos. Con vehículos en movimiento: ataque con vehículo ligero, todoterreno pickup con bomba de alta presión, siempre en movimiento por zona segura, atacando el frente desde un flanco con lanza de alta presión, atento a la propagación y a la altura de llamas, mientras la bomba rural espera en una ruta de escape vigilando y el resto repasa con batefuegos o mochilas; ataque con vehículo ligero y autobomba, cuando el ligero no basta, la bomba rural ataca en movimiento desde el flanco opuesto con un bombero a pie con manguera de 25 milímetros. Con vehículo detenido: cuando no se puede transitar por el frente, tendido desde el ligero parado con movimientos sobre la zona quemada, vigilando que el fuego no se propague hacia él; la bomba rural inmóvil en zona quemada. Tendido tipo: salida en alta presión, óptimo 20 bares en bomba y máximo 30, manguera de 25 milímetros, con reducción 25/45 más bifurcación 45/25 cada cuatro tramos. Actuación a pie: cuando no caben vehículos, con mochilas y batefuegos para puntos calientes inaccesibles; los tendidos largos son poco operativos. El batefuegos desplaza el oxígeno con golpes secos sobre la llama dejándolo unos momentos, evitando pavesas; la mochila moja el combustible.

Funciones. Número 1: aplica y dosifica el agua, punta de lanza. Número 2: apoya al 1, organiza la manguera, corta el agua en los empalmes y está en comunicación con la autobomba. Número 3: suministra manguera, se informa de la evolución y ayuda en los empalmes. Número 4: igual que el 3 y vigila nuevos focos y puntos calientes desde el perímetro. Número 5: jefe de la dotación, dirige, controla la evolución y es responsable de la seguridad de todos. Los puestos 1 a 4 rotan para evitar el agotamiento. Cada 100 metros de tendido se coloca una bifurcación 45/25 con reducción de 25; en tendidos descendentes se cierran para permitir empalmes en punta de lanza; en ascendentes, para no vaciar el tendido si hay que desconectar en bomba.

Despliegue. El jefe decide cómo progresar. Alimentación en punta de lanza: se conectan mangueras en la lanza; menos personal, menos deterioro, más movilidad y más agua en lanza al depender menos del conductor; al principio se aportan más mangueras de las necesarias. Empalmes en punta de lanza: con la parte interior de las rodillas, sin cortar el agua, pinzando la manguera a unos dos metros gracias a un bucle sobrante; el 2 despliega la nueva con los racores juntos, el 1 cierra la lanza, el 2 pinza, el 1 abre, desconecta y conecta la nueva, y el 2 afloja; con grandes presiones o tendidos descendentes largos se hacen dos pinzados. Alimentación en bomba: se conectan en la autobomba; menos cansado pero exige más personal, arrastra las mangueras y dificulta los empalmes en pendiente; es preferible el método en punta de lanza salvo pendientes acusadas, vegetación densa o zonas de agua.

Uso racional del agua. El agua es escasa por ausencia y difícil acceso; usar solo la necesaria para extinción y autoprotección, dejando siempre unos 1.000 litros en la autobomba. Prioridad al agua del lugar (depósitos, hidrantes, riegos), reservando la de las autobombas y rellenándolas cuanto antes. Criterios: aplicar el agua prioritariamente de manera directa sobre los combustibles, sobre todo pastos o combustible menudo y superficial, y sobre acumulaciones de leña junto a estructuras; es poco efectivo usarla en copas o combustibles aéreos sobre estructuras, sobre ventanas si no se sabe que soportarán el chorro y sobre combustibles muy pesados; no lanzar agua sobre la llama en los picos máximos de calor, esperar a que pasen y actuar antes sobre combustibles finos, que prenden en dos o tres minutos; los pesados tardan diez o quince minutos y las copas arden con alta intensidad; si hay que protegerse sin refugio, la propia estructura puede servir de zona segura.

Liquidación de perímetros. Eliminar la posibilidad de reproducción, con minuciosidad y método; su amplitud depende de viento y zonas habitadas y de los recursos. Zonas objetivo: matorrales, troncos, combustibles pesados, huecos de raíces, madera en descomposición, tocones (guardan brasas; aplicación cercana desde varios ángulos); acumulaciones de materia orgánica, turbas y mantillos, con combustión profunda en busca de oxígeno, típica de musgo; pendientes descendentes hacia zona no quemada, ensanchando la aplicación; zonas pedregosas que retienen calor, enfriándolas y apartando el mantillo. Se despliega un tramo nuevo para profundizar, con idas y vueltas por la misma zona; se puede dedicar una línea móvil a los puntos peligrosos; el tendido preventivo se deja con bifurcación y una o dos mangueras con lanza.

Recogida y plegados. Se desconecta la bomba y el punta de lanza regresa desconectando racores para desaguar. En llano se eleva la manguera sobre la cabeza o se pliega en rollo; pendiente arriba se conecta una bifurcación libre como desagüe y cada tramo queda doblado por la mitad; pendiente abajo se asciende sujetando la manguera por la mitad. Plegados provisionales, desde el pliegue central, con pliegues no mayores de 80 centímetros y 1,5 metros de margen para atar: en ocho (lazadas cruzadas, más enredos) y en lazo (circular, menos enredos). Plegado definitivo en rollo desde el pliegue central con doble pliegue inicial, una mitad medio metro más larga por el exterior, tensado con la rodilla y cinta elástica; el rollo doble es más compacto pero dobla la anchura.

7.7. Ataque indirecto, protección de estructuras, uso del fuego y otros medios

Líneas de control. Se aprovechan zonas de combustible escaso o nulo: limpiando una franja con herramientas o maquinaria, creando barreras húmedas con agua o espuma (lo crítico es el momento) o usando barreras del entorno (ríos, campos arados, pistas, caminos asfaltados).

Protección de estructuras. Perímetros de protección contra pavesas y focos secundarios: perímetro interior de 30 metros de radio y exterior de 30 a 60 metros; desplazar fuera los combustibles finos (hojarasca, arbustos, leña) y ramas, sobre todo en los 10 metros más próximos; en la zona alejada no tocar los menos inflamables. Antes del frente: limpiar el tejado, cubrir chimenea y entradas, aplicar agua o espuma al tejado y agua a paredes expuestas, cerrar puertas y ventanas, eliminar combustible y desplegar vehículos y tendidos alrededor. A la llegada del frente: ataque directo sobre combustibles finos; si pasa a pesados, retardantes y reservar el agua para focos y pavesas sobre la estructura; batefuegos y mochilas de apoyo; nunca perder la

ruta de escape ni la comunicación. El tendido sale desde detrás de la bomba y rodea la estructura, con otro para focos secundarios y otro de autoprotección con reserva de unos 1.000 litros. Tendidos: salida en baja presión, mínimo 5 y máximo 12 bares; ataque con hasta tres tramos de 25 y el resto de 45 más bifurcación; ataque opcional hasta tres tramos de 25 desde la bifurcación; autoprotección con 45 más bifurcación más 25. Los tendidos quedan llenos antes de que la bomba abandone la zona; si van sobre combustible se refrescan o cubren.

Uso del fuego. Controlado, por personal experimentado y autorizado por el director de extinción, con coordinación y comunicación permanentes. Indicado cuando no se puede esperar a que el frente llegue a la línea (evacuación con ruta en peligro), cuando no se sabe si la línea detendrá el avance o cuando la intensidad hace prever que afectará a la estructura. El mejor momento es pendiente arriba y viento a favor. Quema de ensanche: fuego en una línea de defensa paralela al borde del incendio a distancia segura (camino, cortafuegos) para quemar el combustible intermedio; cuando la franja es suficiente puede apagarse. Contrafuego: en una línea más ancha con combustible pesado y alto, consume combustible y cambia el comportamiento aprovechando la succión de la columna de convección del frente principal, para cambiar dirección, intensidad o velocidad o detenerlo. No usar el fuego si se duda del control posterior, sin personal capacitado, si no se sabe si todos están informados, si puede afectar a otras estructuras, si clima o relieve lo desaconsejan, sin líneas de control o si es mejor esperar otra oportunidad. Con viento contra el incendio que baja la pendiente se espera junto a la línea y se prende en su borde. Encendido en bandas (franjas de anchura variable; a más intensidad, bandas más estrechas) o en anillo (alrededor de la estructura, habitual en contrafuego, muy arriesgado porque la zona segura queda dentro).

Maniobra de autoprotección. Defensiva, solo en casos extremos cuando el incendio evoluciona inesperadamente y peligran las rutas de escape. Requiere una autobomba con al menos 1.000 litros como pantalla frente al calor con agua pulverizada; personal con uniforme U2 y ERA; la autobomba en paralelo frente a las llamas y el pickup detrás en perpendicular; los bomberos entre ambos con tendido de autoprotección en cono abierto; un acortinador cubre el ancho de la bomba justo al llegar el frente; se señaliza con botes de humo para los medios aéreos; puede valorarse un contrafuego. Tendidos: salida en alta presión, mínimo 8 y máximo 12 bares; acortinador y autoprotección con alta presión más reducción 25/45, bifurcación 45/25 y manguera de 25; pronto socorro dispuesto en la zona de bomba.

Medios aéreos. Muy efectivos combinados con terrestres, habituales en vegetación y menos en interfaz; limitados por relieve, vientos de más de 35 a 40 kilómetros por hora, falta de visibilidad, cables aéreos y medios bajo arbolado. Aviones: importan capacidad de carga, tiempo de respuesta, frecuencia y tipo de descarga, distancia y posibilidad de espumas y retardantes; conviene un avión de coordinación; modelos habituales en España CL-215 y Air Tractor 502, 503 y 802. En zonas habitadas las descargas se hacen con espumas o retardantes entre el frente y la estructura. Helicópteros: mayor precisión; los de más capacidad son más efectivos contra el avance y los pequeños más precisos sobre lenguas, focos y emergencias de medios terrestres; helibalde flexible o depósito rígido ventral con manga de 3 a 4 metros; modelos Bell 47, 204, 205, 206, 212 y 241, Alouette, Ecureuil, BK 117 y Sokol. Seguridad ante descargas: alejarse, o tumbarse boca abajo con el casco ajustado en la dirección de entrada del medio, herramienta alejada y sujeta, tras un parapeto, lejos de barrancos; las corrientes pueden atizar focos.

Maquinaria pesada. Muy efectiva, no en ataque directo sino en protección previa: cortafuegos, rutas de acceso y escape, zonas de seguridad, zonas de aterrizaje, mover combustible pesado. Bulldozers, tiltdozers, retroexcavadoras, apisonadoras; limitada por la lentitud de traslado y obstáculos como líneas eléctricas o gas; distancia segura, no trabajar por debajo en pendientes, comunicación con el operario.

Retardantes. Aditivos que mejoran la capacidad extintora, de corto o largo efecto. De corto efecto, útiles mientras hay agua: espumantes, que retienen aire en burbujas; frente a vegetación se usan espumas de media expansión para clase A, con el espumógeno al 0,1 al 1 por 100. Tres tipos: espumas húmedas, fluidas, con buena adherencia y penetración, se consumen en 5 a 10 minutos, para combustibles finos y compactos, líneas húmedas y liquidación, aplicadas justo antes del frente con anchura que triplique la longitud de llama; espumas fluidas, de 20 a 30 minutos, para finos y como aislante de aéreos, retrasan la ignición de pesa-

dos, para reforzar líneas y contrafuegos; espumas secas, muy adherentes y excelentes aislantes, penetran menos, duran 45 a 60 minutos, para tejados y depósitos. En ataque directo se dosifican al 0,3 por 100 como húmeda; en indirecto al 0,5 por 100, creando barreras al menos a 2 metros de quien enciende con anchura doble de la llama prevista; capa de al menos 1,5 centímetros. En estructuras se empieza por el tejado y se cubre toda, primero húmedas y después fluidas o secas, justo antes del frente, en dos o más capas si hay tiempo. En liquidación, inmediatamente tras controlar las llamas, del borde al centro, más allá del perímetro y en zona verde; en capas gruesas primero húmeda y después seca; las bolsas profundas se identifican por no tener espuma y emitir vapor. Viscosantes: gomas y mucílagos que aumentan la viscosidad, para descargas aéreas, al 0,5 por 100. De largo efecto: sales amónicas (sulfatos, fosfatos, polifosfatos) que siguen actuando evaporada el agua, al 20 por 100, con viscosantes, colorante rojo de óxido de hierro e inhibidores de corrosión; ahorran un tercio del transporte respecto al agua sola.

7.8. Tácticas de intervención

Objetivos, estrategia y tácticas. Tres objetivos generales: controlar el incendio, proteger propiedades y recursos naturales y mantener a salvo a las personas. El objetivo debe ser concreto, entendido, compartido, alcanzable, medible y flexible. La estrategia es el plan general, fruto de la evaluación de tiempo, gravedad y medios; clara, concreta, escueta, flexible y adaptable, con prioridad en la seguridad y después en la efectividad; se define con líneas de control y objetivos de contención respecto a estructuras y líneas. Las tácticas son las acciones que cumplen la estrategia. Tácticas de defensa de estructuras, centradas en las zonas anejas y en las acciones previas al frente: ofensiva, ataque directo cuando hay recursos y tiempo y el incendio no es virulento; defensiva, primero proteger las estructuras defendibles y después atacar, con medios limitados a la espera de refuerzos; ofensivo-defensiva, ambas a la vez con medios suficientes especializados. Tácticas de contención ante la llegada del frente: contención completa, control antes de que afecte a la estructura, posible con combustibles finos y baja intensidad, atacando con agua o retardantes o con quemas de ensanche; contención parcial, con llamas intensas, ataque directo con reserva suficiente, o reservar el agua para la estructura y aguantar en zona segura hasta que pase el frente; después proteger de pavesas, y si el tejado está afectado en más de un cuarto de su superficie el agua es ineficaz y se da por perdido; contención imposible, esperar en zona segura tras aplicar abundante agua y espuma si hay tiempo, y volver a evaluar y enfriar.

Casos prácticos. Pasto bajo sin desnivel: pickup con dos bomberos barriendo el frente desde el flanco con alta presión, cuatro bomberos rematando con mochila y batefuegos, la bomba rural pesada estacionada en lugar seguro vigilando cambios. Protección de núcleo urbano en interfaz dentro de un gran incendio, viviendas defendibles en cara sur con cortafuegos en cresta y matorral denso: táctica defensiva de contención completa con quema de ensanche mediante antorcha de goteo por zonas, vehículos en el camino superior controlando cada zona con tendidos, esperar el frente en la cresta y liquidar. Enclave aislado con matorral ligero y piscina: eliminar combustible fino y desramar en un radio de treinta metros, limpiar tejado, cerrar huecos, abastecerse de la piscina con motobomba, humedecer la zona limpia y la casa, línea con Pro-Pak para espuma, bomba detrás de la casa hacia la salida con dos tendidos de ataque y uno de autoprotección, pickup al frente, ataque directo a la llegada. Subsuelo por rayo: cámara térmica para localizar calor, excavar con palín, McLeod, azada o pulaski, humedecer, cortar raíces con combustión latente y limpiar combustible. Media ladera inaccesible con robledal joven: dos tendidos desde el camino inferior, una primera línea de tres bomberos rápida bajando calorías y cortando propagación por el flanco derecho y una segunda de dos rematando, mangueras subidas en rollo y empalmadas en la lanza con cizallamiento manual; desde la bomba ligera otro tendido con un bombero rematando rescoldos y de rescate y dos ascendiendo por el flanco izquierdo; plegado en ocho al terminar.

Protocolo de movilización del CEIS Guadalajara según gravedad. Leve: sin riesgos inminentes, abordable con una dotación, sin apoyos; primera salida con pickup y bomba rural pesada con cabo jefe de dotación y tres bomberos, aviso al jefe de guardia. Medio: riesgos inminentes o propagación descontrolada, requiere apoyos pero hay previsión de control; refuerzo interno y apoyos externos (comunidad autónoma, servicios

regionales limítrofes a través del 112, medios aéreos del Ministerio). Grave: gran envergadura, múltiples administraciones, medios insuficientes, sin previsión de control; movilización del jefe de guardia y del oficial jefe de servicio para el puesto de mando avanzado, refuerzos y apoyos incluida la Unidad Militar de Emergencias.

7.9. Cifras y datos clave

Más del 96 por 100 de los incendios en España son de origen humano; 18.000 hectáreas en 2013 y 135.000 en 2012. Conato menos de 1 hectárea, incendio 1 o más, gran incendio 500 o más. Superficie hasta 1,5 metros de altura; copas pasivo depende de la superficie, copas activo es independiente y necesita viento fuerte y continuidad horizontal y vertical. Pavesas hasta medio kilómetro, con 20 a 35 grados, humedad del 20 al 50 por 100 y viento de 16 a 39 kilómetros por hora; piñas de pino carrasco y corteza de eucalipto. El viento multiplica la propagación por cien y la pendiente por veinte; 45 grados son el 100 por 100 de pendiente. Madrugada más fresca hacia las 6, máxima de 15 a 17 horas; zona de combustible de 1.000 a 1.400 grados (matorral 500), llamas de 700 a 1.000. Humedad relativa menor del 30 por 100 muy favorable al fuego; baja 10 grados y se duplica, sube 10 y se reduce a la mitad. Riesgo: más de 30 grados, humedad menor del 35 por 100, viento a partir de 30 kilómetros por hora; dos condiciones grave, tres extremo, tres más pendiente extremo a nivel máximo. Un nudo son 1,852 kilómetros por hora y 0,515 metros por segundo; ladera descendente de 18 a 5 horas a 1 a 10 kilómetros por hora, ascendente de 8 horas al ocaso a 6 a 13; foehn hasta 145 kilómetros por hora y 3 por 100 de humedad, no más de tres días; torbellinos se desplazan con viento de más de 7 u 8 kilómetros por hora. Inversiones: nocturna, frontal, marina y por subsidencia. Combustible fino 0 a 5 milímetros, regular 5 a 25, mediano 25 a 75, grueso más de 75; retardo de 1 hora menos de 6 milímetros, 10 horas hasta 2,5 centímetros, 100 horas hasta 7,5, 1.000 horas hasta 20; pastos 1 a 10 toneladas por hectárea, matorral 10 a 40. Rothermel: trece modelos, cuatro grupos, Behave 1984; pastos 1 a 3 (1 a 2 y 4 a 6 toneladas), matorral 4 a 7 (25 a 35 y 10 a 15; el 6 necesita viento de más de 13 kilómetros por hora), hojarasca 8 a 10 (10 a 12), restos 11 a 13 (25 a 30 y 50 a 80; material de más de 76 milímetros). Humo vertical 80 a 90 grados, diagonal 40 a 50 con 20 a 30 nudos, tumbado 20 grados. Llama: menos de 1,5 metros directo manual, 1,5 a 2,5 directo con maquinaria y aéreos, 2,5 a 3,5 indirecto, más de 3,5 contrafuego; directo hasta 2,5 metros. Alta presión 20 bares óptimo y 30 máximo con manguera de 25 y bifurcación cada cuatro tramos; bifurcación cada 100 metros; funciones 1 a 5, el 5 es el jefe de dotación; reserva de 1.000 litros; finos prenden en 2 a 3 minutos, pesados en 10 a 15. Plegados no mayores de 80 centímetros, 1,5 metros de margen. Protección de estructuras: 30 metros interior, 30 a 60 exterior, 10 metros críticos, 15 metros libres para ser salvable; baja presión de 5 a 12 bares, tres tramos de 25 y resto de 45; autoprotección alta presión 8 a 12 bares, uniforme U2 y ERA. Tejado afectado más de un cuarto, perdido. Triaje inmediato, rápido y completo; categorías de Wright 1 a 4 según zona de seguridad y posibilidad; formularios 0 a 15, 16 a 32, más de 33; síes 0 a 2, 3 a 6, 7 a 8. OCEL. Medios aéreos limitados con más de 35 a 40 kilómetros por hora; CL-215, Air Tractor 802; Bell 212, Sokol; manga de 3 a 4 metros. Espumantes al 0,1 al 1 por 100; húmedas 5 a 10 minutos, fluidas 20 a 30, secas 45 a 60; directo al 0,3, indirecto al 0,5 a 2 metros del encendedor; capa de 1,5 centímetros; anchura triple de la llama en líneas húmedas y doble en contrafuego; viscosantes al 0,5; largo efecto al 20 por 100 con óxido de hierro y un tercio de ahorro en transporte. Contención completa, parcial e imposible; tácticas ofensiva, defensiva y ofensivo-defensiva. Protocolo CEIS: leve, medio y grave.

Cuadros y esquemas para el estudio impreso

Cuadro 1. Clasificación de los incendios de vegetación y partes del incendio

Criterio	Tipo	Definición o cifra
Superficie	Conato / Incendio / Gran incendio (GIF)	< 1 ha / 1 ha o más / 500 ha o más
Estrato	Suelo o subsuelo	Materia orgánica y raíces; lento, incandescente; se detiene con línea hasta suelo mineral
Estrato	Superficie	Combustible hasta 1,5 m de altura; los más frecuentes
Estrato	Antorcheo	Superficie que corona copas aisladas por continuidad vertical
Estrato	Copas pasivo	Avanza por copas acoplado al de superficie; se detiene si se elimina el combustible de superficie
Estrato	Copas activo	Independiente de la superficie; exige viento fuerte y continuidad horizontal y vertical; muy alta intensidad
Ámbito	Forestal / agrícola / urbano / interfaz	Interfaz: edificaciones dentro o junto a vegetación forestal ("cuarta generación")
Forma	Circular / elíptica / irregular	Sin viento en llano / viento dominante / viento variable o relieve irregular
Patrón	Combustible / topográfico / viento / ambiente	Oportunidad: cambio de modelo / avance descendente / donde el viento deje de mandar / solo indirecto con ventana

Parte	Qué es
Cabeza	Parte más caliente y activa; marca la dirección
Flancos	Laterales paralelos a la propagación
Cola	Opuesta a la cabeza, más lenta, junto al origen
Dedo	Franja estrecha que se extiende; puede flanquear al personal
Bolsa	Área sin quemar entre el incendio y un dedo
Isla	Combustible sin quemar dentro del perímetro
Foco secundario	Fuera del perímetro, por pavesas y piñas (salto de fuego, hasta 500 m)

Cuadro 2. Meteorología y nivel de riesgo potencial

Variable	Valores y reglas
Temperatura	Mínima hacia las 6 h; máxima de 15 a 17 h. Zona precalentada 1.000 a 1.400 °C en arbolado (500 en matorral); llamas 700 a 1.000 °C
Humedad relativa	< 30 % condiciones muy favorables al fuego; baja 10 °C y se duplica, sube 10 °C y se reduce a la mitad; máxima de noche, mínima tras el mediodía
Viento	1 nudo = 1,852 km/h = 0,515 m/s; dirección de donde procede (N 0 o 360, E 90, S 180, O 270); multiplica la propagación por 100 (la pendiente por 20)
Viento de ladera descendente	Noche y madrugada (18 a 5 h), 1 a 10 km/h, laminar

Variable	Valores y reglas
Viento de ladera ascendente	Día (8 h al ocaso), 6 a 13 km/h, turbulento; el cambio de descendente a ascendente reactiva el fuego en minutos
Brisas	Marina del mar a tierra de día; de valle anabática de día, de montaña catabática de noche
Foehn (Poniente)	Terral muy cálido y seco, hasta 145 km/h y 3 % de humedad, no más de 3 días
Torbellinos	Con viento > 7 u 8 km/h se desplazan; duran minutos u horas
Inversión térmica	Nocturna o de radiación (máxima al amanecer), frontal, marina, por subsidencia; su ruptura a media mañana aumenta velocidad y llama
Pavesas	Pinares con fuego de copas; 20 a 35 °C, humedad 20 a 50 %, viento 16 a 39 km/h; piñas de carrasco y corteza de eucalipto
Pendiente	Factor topográfico más importante; 45° = 100 %; cuesta arriba convección y radiación, cuesta abajo solo radiación

Riesgo potencial	Condiciones que coinciden	Las tres condiciones
Grave	2	Temperatura > 30 °C
Extremo	3	Humedad relativa < 35 % (el resumen del manual dice < 30 %)
Extremo a nivel máximo	3 + incendio en pendiente	Viento vivo, fuerte, muy fuerte o masivo, desde 30 km/h

Cuadro 3. Combustibles y modelos de Rothermel

Característica	Clases y cifras
Tamaño	Fino 0 a 5 mm; regular 5 a 25; mediano 25 a 75; grueso > 75 mm
Tiempo de retardo	1 h: < 6 mm (hierbas, pinocha); 10 h: hasta 2,5 cm (ramillas); 100 h: 2,5 a 7,5 cm (ramas, poda); 1.000 h: 7,5 a 20 cm (cepas, troncos)
Fitomasa	Pastos y arbustos 1 a 10 t/ha; matorrales 10 a 40 t/ha; total, disponible y restante
Humedad	En vivos máxima en primavera y mínima en verano; en muertos ligada al ambiente
Continuidad	Horizontal (dirección y velocidad) y vertical (paso a copas)
Inflamabilidad (Elvira y Hernando 1989)	Casi todo el año: brezo, eucalipto, retama, tojo, pino carrasco, encina, romero, tomillo. En verano: jara, espliego, pino rodeno, piñonero, Monterrey, alcornoque, esparto. Media: madroño, enebro, carrasca, quejigo

Modelo	Grupo	Descripción	Carga (t/ha)
1	Pastos	Herbáceas finas; matorral o arbolado < 1/3; propagación rápida	1 a 2
2	Pastos	Herbáceas finas secas con matorral 1/3 a 2/3; más intensidad y pavesas	1 a 2
3	Pastos	Pasto de 1 m con 1/3 o más seco; cereal sin cosechar	4 a 6
4	Matorral	Matorral de unos 2 m o repoblado joven denso; fuego rápido por copas del matorral	25 a 35
5	Matorral	Matorral < 1 m que cubre casi todo; joven con poco muerto; menos intenso	25 a 35

Modelo	Grupo	Descripción	Carga (t/ha)
6	Matorral	Matorral y restos secos de cortas de frondosas; más inflamable que el 5; exige viento > 13 km/h	10 a 15
7	Matorral	Matorral > 2 m y pinares con sotobosque inflamable; propaga incluso con humedad alta	10 a 15
8	Hojarasca bajo arbolado	Bosque cerrado, hojarasca compacta, poco matorral; fuego lento de poca llama	10 a 12
9	Hojarasca bajo arbolado	Hojarasca menos compacta; pinares de hoja larga; frondosas en otoño; más rápido	10 a 12
10	Hojarasca bajo arbolado	Bosque con plagas, viento o sobremaduro, leñoso caído (ramas de 76 mm); coronamientos	10 a 12
11	Restos silvícolas	Bosque claro con restos de poda y herbáceas rebrotando; pocos > 76 mm	25 a 30
12	Restos silvícolas	Predominio de restos que cubren el suelo; más > 76 mm; llega al cortafuegos; pavesas	50 a 80
13	Restos silvícolas	Muchos materiales > 76 mm; pavesas	50 a 80

Trece modelos en cuatro grupos (Rothermel, Anderson, Albini, años setenta); Behave (Rothermel y Burgan, 1984), hoy Behave Plus.

Cuadro 4. Longitud de llama, tipo de ataque, humo, tendidos y retardantes

Longitud de llama	Tipo de ataque	Medios
< 1,5 m	Directo por cabeza y flancos	Herramientas manuales y autobombas
1,5 a 2,5 m	Directo (posible indirecto)	Tractor de cadenas, autobombas, medios aéreos
2,5 a 3,5 m	Indirecto por el frente	Líneas de control
> 3,5 m	Indirecto con contrafuego	Focos secundarios y copas probables

Humo (ángulo de la columna)	Lectura
Vertical, 80 a 90°	Poco viento, propagación lenta, fácil control
Diagonal, 40 a 50°	Viento de 20 a 30 nudos, foco peligroso
Tumbado, unos 20°	Viento fuerte en la base, posible estabilidad atmosférica
Color	Gris café matorral ralo; gris negro matorral denso, eucalipto y pinar (alta intensidad); amarillo coníferas; blanco pastizal húmedo; blanco azulado pastos secos

Tendido tipo	Presión en bomba	Composición
Ataque directo (alta presión)	Óptimo 20 bar, máximo 30	Manguera de 25; reducción 25/45 + bifurcación 45/25 cada 4 tramos (cada 100 m)
Protección de estructuras (baja presión)	Mínimo 5, máximo 12 bar	Hasta 3 tramos de 25 y resto de 45 + bifurcación; autoprotección con 45 + bifurcación + 25

Tendido tipo	Presión en bomba	Composición
Autoprotección (alta presión)	Mínimo 8, máximo 12 bar	Acortinador y autoprotección con reducción 25/45, bifurcación 45/25 y 25; autobomba con al menos 1.000 L, uniforme U2 y ERA

Funciones de la dotación: 1 punta de lanza; 2 apoya, organiza manguera y comunica con la bomba; 3 suministra manguera; 4 igual y vigila focos; 5 jefe de dotación, responsable de la seguridad; 1 a 4 rotan. Empalmes en punta de lanza preferibles (menos personal, más movilidad) salvo pendiente acusada, vegetación densa o agua. Reserva siempre unos 1.000 L en la autobomba; combustibles finos prenden en 2 a 3 min, pesados en 10 a 15.

Retardante	Duración o dosis	Uso
Espuma húmeda	5 a 10 min	Finos y compactos, líneas húmedas (anchura triple de la llama) y liquidación; ataque directo al 0,3 %
Espuma fluida	20 a 30 min	Finos, aislar aéreos, reforzar líneas y contrafuegos; indirecto al 0,5 %, a 2 m del que enciende, anchura doble de la llama
Espuma seca	45 a 60 min	Tejados y depósitos; muy adherente, penetra menos
Espumógeno clase A	0,1 a 1 %; capa de al menos 1,5 cm	Media expansión frente a vegetación; estructuras: primero húmeda y luego fluida o seca, del tejado hacia abajo
Viscosantes	0,5 %	Descargas aéreas
Largo efecto (sales amónicas)	20 %, con viscosante, óxido de hierro rojo e inhibidores	Siguen actuando sin agua; ahorran un tercio del transporte

Cuadro 5. Triaje de estructuras y perímetros de protección

Categoría (Wright 2011)	Zona de seguridad	Posibilidad de protección	Acción
1. Defendible con preparación y contención	Sí, clara	Alguna	Proteger activamente con ataque directo
2. Defendible con protección pasiva	Sí, clara	Pocas	Proteger hasta la llegada del frente, abandonar y revisar daños después
3. No defendible; preparación y abandono	No	Alguna	Retirar combustibles y abandonar antes de comprometer la seguridad (puntos críticos)
4. No defendible; rescate y evacuación	No	Ninguna	Comprobar que no queda nadie y ayudar a evacuar

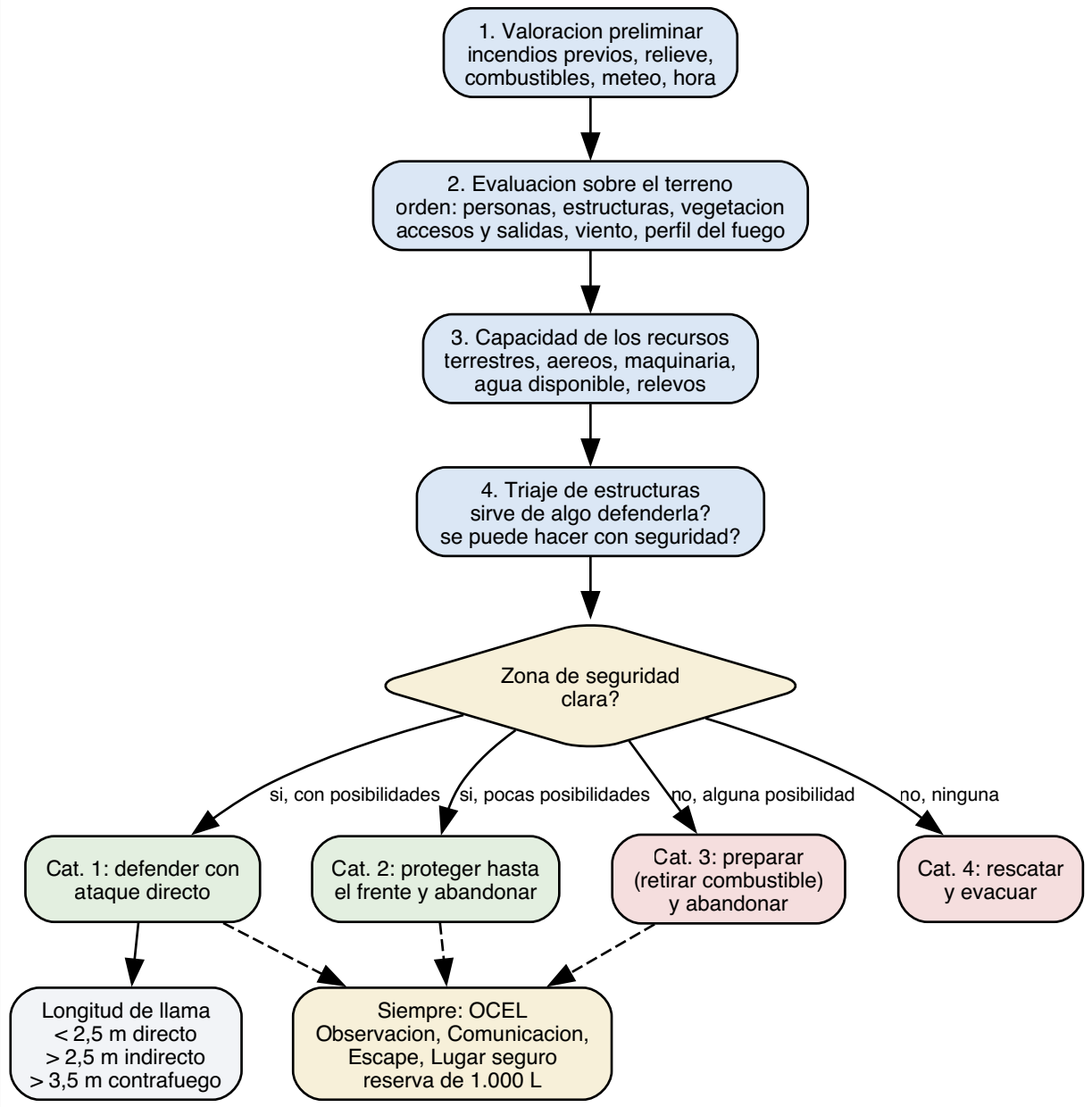
Herramienta	Escala
Tipos de triaje	Inmediato (frente muy próximo), rápido (hay tiempo de conocer estructuras y clima), completo (zonas de prioridad 1, 2 y 3)
Formulario de puntos (Duce 2013)	Pendiente < 20 % 1 punto, 20 a 35 % 3, > 35 % 5; total 0 a 15 fácil, 16 a 32 defendible con actuación, > 33 muy difícil
Lista de síes	Calle sin salida, tejado inflamable, árboles en contacto, ramas, vehículos o líneas a < 10 m, pendiente > 20 %, porche de madera: 0 a 2 poca defensa necesaria, 3 a 6 con precaución, 7 a 8 poca probabilidad
Distancias	15 m libres de combustible para considerarla salvable; perímetro interior 30 m, exterior 30 a 60 m; los 10 m más próximos son críticos; tejado afectado > 1/4, perdida

Herramienta	Escala
Antes del frente	Limpiar tejado, cubrir chimenea y huecos, agua o espuma al tejado y paredes, cerrar puertas y ventanas, tendido rodeando la estructura + focos + autoprotección
Contención	Completa (finos, baja intensidad; agua, retardantes o quema de ensanche), parcial (aguantar en zona segura y proteger de pavesas), imposible (esperar tras aplicar agua y espuma; reevaluar)

Cuadro 6. Seguridad: OCEL, situaciones de riesgo y señales de abandono

Elemento	Contenido
Fórmula OCEL (según el manual)	Observación, Comunicación, Escape y Lugar seguro; evitar rutas cuesta arriba, con obstáculos o mucho combustible
Principios	Basarse en el comportamiento actual y previsto; atacar con decisión manteniendo control; zonas de seguridad, rutas de escape y observadores; transmitir con claridad y confirmar; calma y atención
Falta de información	Incendio no evaluado, terreno desconocido, sin zonas seguras ni rutas, clima local desconocido
Déficit de comunicación	Sin estrategia, instrucciones confusas, no ver el incendio principal
Intervención inadecuada	Línea sin anclaje o ladera abajo hacia el fuego, ataque frontal, combustible sin quemar entre el personal y el fuego, descansos junto al frente
Entorno	Cambios de clima; terreno con escape difícil o material rodando; nuevos focos que cruzan la línea
Señales de abandono	Propagación más rápida de lo previsto, pavesas sobre la estructura, menos agua, fragilidad, rutas bloqueadas, ventanas rotas o fuego interior
Maniobra de autoprotección	Solo en casos extremos: autobomba (1.000 L) en paralelo al frente como pantalla de agua pulverizada, pickup detrás en perpendicular, bomberos entre ambos con cono abierto y acortinador; botes de humo para aéreos
Medios aéreos	Limitados con viento > 35 a 40 km/h; ante descarga: alejarse o tumbarse boca abajo con casco, herramienta lejos, tras parapeto; CL-215, Air Tractor 802; helibalde con manga de 3 a 4 m
Uso del fuego	Solo personal experto y autorizado por el director de extinción; quema de ensanche (línea paralela) y contrafuego (aprovecha la succión de la columna); mejor pendiente arriba y viento a favor; encendido en bandas o en anillo (muy arriesgado)

Esquema 1. Valoración e intervención en interfaz urbano-forestal



Ideas clave

Conato < 1 ha, incendio 1 ha o más, gran incendio 500 ha o más; más del 96 % de los incendios en España son de origen humano. Copas pasivo depende del fuego de superficie; copas activo es independiente y exige viento fuerte y continuidad horizontal y vertical. El viento multiplica la propagación por 100 y la pendiente por 20; 45° = 100 % de pendiente. Riesgo grave con 2 condiciones (> 30 °C, humedad < 35 %, viento desde 30 km/h), extremo con 3, máximo con 3 y pendiente. Humedad relativa: baja 10 °C y se duplica, sube 10 °C y se reduce a la mitad. Llama < 1,5 m manual; 1,5 a 2,5 m con maquinaria y aéreos; 2,5 a 3,5 indirecto; > 3,5 contrafuego. Alta presión 20 bar óptimo y 30 máximo; baja presión 5 a 12 bar; autoprotección 8 a 12 bar; reservar 1.000 L. Estructura salvable con 15 m libres; perímetros de 30 y 30 a 60 m; tejado quemado en más de 1/4 se da por perdido; OCEL.