

# Intervención en incendios en túneles



# INTERVENCIONES EN INCENDIO EN TÚNELES

## INDICE

### 1.- Introducción

### 2.-Tipos de túneles y sistemas de evacuación

#### *2.1.- Tipos de túneles*

#### *2.2.- Sistemas de evacuación*

### 3.- Evolución del incendio y sistemas de ventilación

#### *3.1.- Evolución del incendio*

#### *3.2.- Sistemas de ventilación*

### 4.- Principios generales de intervención

#### *4.1.- Análisis previo*

#### *4.2.- Información de salida*

#### *4.3.- De camino al siniestro*

#### *4.4.- Secuencia de acciones*

#### *4.5.- Conclusiones*

# INTERVENCIÓN EN INCENDIO EN TÚNELES

## 1.- INTRODUCCIÓN

Los túneles son infraestructuras enormemente costosas, sin embargo son la mejor opción constructiva para solucionar esencialmente dos problemas, por una parte reducir longitudes de desplazamiento atravesando obstáculos geográficos (montañas, ríos, etc.) y por otra parte descargar el tráfico en superficie y sortear, igualmente obstáculos (ciudades, aeropuertos, etc.).

Por lo general los túneles son estructuras muy seguras, existen muy pocos incidentes en túneles, pero debido al gran desarrollo longitudinal y otros aspectos que analizaremos, cuando sucede un incendio, este puede alcanzar situaciones catastróficas y dificultarse enormemente los trabajos de extinción. Así pues, nos enfrentamos a dos situaciones antagónicas: baja incidencia de incendios, contra elevado riesgo en la intervención.

## 2.- TIPO DE TÚNELES Y SISTEMAS DE EVACUACIÓN

### 2.1.- Tipo de túneles

Los túneles admiten una gran variedad de tipologías y de formas de clasificación; como todos sabemos por el uso podemos clasificarlos en ferroviarios y carreteros, pero dentro de estos las posibilidades son enormes, así tenemos, por ejemplo:

- Túneles urbanos e interurbanos
- Túneles mixtos, ferroviarios y carreteros
- Túneles unidireccionales y bidireccionales
- Túneles verdaderos o falsos túneles
- Túneles terrestres, fluviales y marítimos
- Según el número de carriles o vías
- De calzadas paralelas o superpuestas
- De elevada densidad de tráfico o de baja densidad de tráfico
- Considerados largos o cortos según cada normativa
- Dependiendo de la disposición de las vías de evacuación
- Según el tipo de ventilación, longitudinal o transversal...
- Según las restricciones de paso

Si a esto le añadimos las diferentes combinaciones entre ellos y enlazamos además con las diferentes posibilidades de acceso o evacuación (galerías transversales, paralelas, pozos, rampas,...), llegamos fácilmente a concluir que las posibilidades son interminables. Por ello, lo importante para cualquier servicio de bomberos, es conocer los túneles propios, es decir

aquellos a los que se da la primera respuesta, estudiarlos y establecer pre-planos de intervención ajustados a cada caso, en los que se defina los recursos a despachar, puntos de acceso y penetración según el punto de incendio, organización del mando, sectores, etc., sin detrimento de que existan procedimientos de intervención estándar (POE) genéricos para incendios en túneles.

Atendiendo a la complejidad de una intervención por incendio, podemos resumir los diferentes túneles según un CRITERIO y una TIPO:

CRITERIO A APLICAR	TIPO DE TUNEL	DESCRIPCIÓN
Por el uso o función	Carreteros	Tránsito de vehículos ligeros y pesados.
	Ferrovianos	A su vez pueden ser de metro o ferrocarril.
Por el emplazamiento	Urbanos	Atraviesan núcleos de población
	Interurbanos	Atraviesan obstáculos geográficos
	Subacuáticos	Atraviesan tramos bajo el agua.
Por la forma de construcción	Falsos túneles	Construidos a cielo abierto y luego recubiertos con diferentes soluciones.
	Túnel verdadero	Perforados en el terreno por diferentes métodos constructivos
Por el sentido de circulación	Unidireccionales	Un único sentido de circulación
	Bidireccionales	Doble sentido de circulación
Por el sistema de ventilación	V. Longitudinal	A lo largo del túnel
	V. Transversal	Por conductos de ventilación
	V. Semi-transversal	Mixta entre las anteriores

### Terminología común:

Existe una serie de terminología que es conveniente unificar a la hora de tratar el tema de incendios en túneles:

- **Bocas o portales:** las entradas/salidas de circulación al túnel.
- **Hastiales:** son las paredes del túnel.
- **Clave:** en túneles abovedados, el punto más alto.
- **Falso techo:** una estructura que separa la zona de circulación, de una cámara de ventilación.
- **Gálibo:** es la altura libre de circulación del túnel.
- **Altura:** distancia máxima a la clave o al techo.
- **Luz:** es el ancho del túnel.
- **Caz:** es el sistema de captación de líquidos para drenaje del túnel.
- **Galería:** estructuras de evacuación y acceso

- **Cuarto técnico:** es un local que aloja equipos relacionados con el funcionamiento del túnel.
- **Cantones:** sectores de ventilación en que se divide un túnel.
- **Aguas arriba:** en caso de incendio, parte limpia de la que viene la ventilación.
- **Aguas abajo:** en caso de incendio, parte sucia hacia donde se dirige el humo.
- **Centro de Control:** es el elemento de gestión del túnel y sus elementos de seguridad.

## 2.2.- Sistemas de evacuación

La **evacuación** de un túnel tiene como objetivo prevenir la afectación de los usuarios trasladándolos a un lugar seguro, teniendo en cuenta que en muchos casos, las vías de evacuación serán el acceso de los equipos de extinción y para rescates.

La normativa (RD 635/2006) regula las siguientes vías de evacuación:

- **Vías de evacuación no protegidas:** son aquellas que discurren por el propio túnel, sin existir una separación física del mismo, de forma que no constituyen un recinto independiente. Es la única solución en muchos túneles ferroviarios y admisible en túneles carreteros cortos.
- **Vías de evacuación protegidas:** son aquellas que constituyen un recinto independiente del túnel, de forma que el público pueda escapar aislándolo del humo. En túneles carreteros deben disponer de ella todos los túneles a partir de 400m.

Las salidas de emergencia en túneles carreteros, deben estar colocadas a una distancia determinada dependiendo del tipo de túnel (unidireccional o bidireccional) y de la IMD (Intensidad Media Diaria del tráfico), pero como máximo, han de estar cada 400m.

En cuanto a las salidas de emergencia, se admiten tres soluciones:

- Salidas directas del túnel al exterior
- Salidas transversales hacia el túnel paralelo
- Salidas a galería de evacuación

## Galerías de evacuación

Actualmente no se admite en túneles (salvo en la fase de construcción) el confinamiento del público en refugios, por tanto, deben dotarse los túneles carreteros con galerías de evacuación, existiendo varias posibilidades:

- Galerías transversales.

Cuando el túnel está constituido por tubos paralelos, se construyen galerías que comunican los tubos, de tal forma que el público se evacua del túnel incendiado al túnel limpio. Normalmente estas galerías se presurizan con aire procedente del túnel limpio.

- Galería paralela.

Discurren a lo largo del túnel, con salidas cada cierta distancia, deben contar con un sistema de ventilación propio y pueden adoptarse diferentes soluciones:

- Bajo la calzada del túnel, aprovechando conductos de ventilación o paso de servicios
  - En la clave, generalmente aprovechando conductos de ventilación, poco frecuente.
  - Túnel de servicio paralelo, construido a un costado del túnel
- Galería ascendente

Propias de túneles urbanos, generalmente falsos túneles, suben a lo largo de un pozo o una caja de escaleras, la exterior.

Como es lógico, las salidas de evacuación han de estar convenientemente indicadas y señalizadas, han de contar con un sistema propio de iluminación y garantías de resistencia al fuego y al ingreso de humos del incendio a través de un sistema de ventilación (presurización) propio.

### 3.- EVOLUCIÓN DEL INCENDIO Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Los incendios en túneles y galerías, básicamente son similares a los incendios en espacios cerrados como sótanos o viviendas, pero por su desarrollo longitudinal y sus modelos de ventilación, poseen algunas características diferentes que debemos conocer.

#### 3.1.- EVOLUCIÓN DEL INCENDIO

El desarrollo se inicia con un aporte abundante de oxígeno del entorno y una rápida elevación de temperaturas por efecto del rebote térmico contra las paredes al que se va sumando la radiación procedente de la capa de gases, los ensayos realizados confirman que la cantidad de calor total que emite un vehículo ardiendo dentro de un túnel es superior a la que emitiría al aire libre. En cuanto a la ventilación forzada, en general si el incendio es de grandes proporciones la ventilación va a incrementar la emisión de calor mientras que si es pequeño no aumenta apenas.

Salvo grandes incendios ferroviarios o de varios camiones, el incendio estará condicionado por la cantidad de combustible presente, ya que aporte de aire no le va a faltar.

Por este generoso aporte de oxígeno, no es de esperar que se produzcan explosiones de humo, salvo las que se pudieran ocasionar dentro de los propios vehículos. En cuanto a combustión generalizada, podría producirse en grandes incendio o por proximidad de los vehículos, vagones en trenes o ventilación débil que acumula calorías “aguas abajo” del foco (definimos “aguas abajo” como el sentido prioritario en el que se desplaza el humo, independientemente de la pendiente del túnel, y “aguas arriba” el sentido opuesto al de desplazamiento del humo).

Diferentes ensayo en túneles con baja velocidad de ventilación, han dado como resultado las potencias máximas de emisión de calor en un momento determinado para de diferentes vehículo (en megavatios) y las temperaturas máximas en la clave, reflejadas en la tabla siguiente.

<b>TEMPERATURAS MÁXIMAS ALCANZADAS (próximas al techo)</b>						
<b>POTENCIA</b>	<b>DISTANCIA AL FOCO</b>		<b>0m</b>	<b>50m</b>	<b>100m</b>	<b>250m</b>
5 MW	Vehículo Ligero		500°C	200°C	100°C	90°C
30 MW	Vehículo Pesado		850°C	550°C	250°C	150°C
150 MW	Cisterna Hidrocarburos		1.200°C	650°C	350°C	250°C

Estas temperaturas son en la proximidad del techo, a nivel de calzada, lógicamente serán mucho menores, por ello son tan peligrosas las aproximaciones a focos desde niveles superiores, lo que sucedería en incendios en estaciones ferroviarias urbanas y en el caso de accesos superiores en túneles urbanos, el bombero tiene que sobrepasar un estrato de gases calientes cuando accede desde un punto más elevado por el que salen gases, este paso de tener que realizarse, es crítico y debe evitarse en la medida de lo posible, accediendo por otra entrada “aguas arriba”, tratando de invertir la salida de gases, aplicando técnicas indirectas y si finalmente ha de penetrarse, tendremos que hacerlo con líneas de protección y lo más rápido posible.

Resumiendo, podemos concluir a la luz de ensayos y siniestros reales, que con una ventilación muy común en túneles de 2m/s, en un túnel carretero de dos carriles, el incendio pasa de ser conato a un fuego desarrollado en unos diez minutos, continúan ascendiendo las temperaturas de una forma más progresiva hasta alcanzar el máximo a unos veinte minutos y continuando la combustión hasta los cuarenta o sesenta minutos, dependiendo del tipo de vehículo, e indefinidamente si el incendio se transmite a otros vehículos.

Los **diez minutos** se consideran un tiempo máximo para la intervención en incendios en túneles, obviamente este tiempo es en el caso de una combustión normal, si el incendio se origina en un derrame de combustible, el desarrollo es instantáneo.

Una característica en la evolución de las temperaturas en túneles que ha podido comprobarse, es que durante el tiempo de desarrollo del incendio, en las proximidades del foco las condiciones de temperatura y en general de supervivencia son considerablemente mejores que a cierta distancia, hecho lógico si tenemos en cuenta que en este periodo del desarrollo del incendio, la demanda de aire que ejerce el foco es muy alta, este aporte que llega de aire fresco para alimentar el foco, mantiene las condiciones aceptables durante un tiempo.

En cuanto a la progresión de los humos, tienen un comportamiento peculiar, como ya hemos comentado, este comportamiento ha sido bien estudiado en túneles, analizamos primero la evolución en condiciones ideales para luego extrapolarlo a situaciones reales:

**La primera situación**, parte de la base de que no existe nada de ventilación y el humo se comporta sujeto a su propia dinámica. El humo caliente asciende hasta la clave y se estratifica en ambos sentidos a una altura del suelo dependiendo de la sección del túnel y de la velocidad con que se generan los gases (2 a 4m de altura), la velocidad de avance de este estrato de humos también es variable, en incendios reales suele oscilar sobre 2m/s, depende de la carga de combustible.

En determinado momento los humos se enfrían y caen al suelo ocupando toda la sección del túnel, en condiciones ideales esto suele suceder según algunas fuentes, a los 700m de distancia del foco en ambos sentidos y tarda en producirse unos diez minutos. A partir de este momento ésta pared de humo avanza ocupando toda la sección hasta unos 1.000m, quedando un espacio de supervivencia a ambos lados del fuego.

El combustible continúa ardiendo y por tanto demandando oxígeno que roba del espacio de supervivencia, reduciendo paulatinamente éste y viciando el aire hasta la total colmatación del túnel, 1.000m a ambos lados del foco. El aporte de oxígeno se ve reducido en este momento y la combustión pasa a una fase de latencia controlada por el aporte de oxígeno; esto sucede a los 30 minutos o una hora de desarrollo del incendio.

La situación no dura indefinidamente, el incendio consume el aire rellenando el espacio libre entre el foco y la distancia a que cayeron los gases, hasta ocuparlo todo.



**Pero lo normal** es que en un túnel exista una cierta ventilación predominante en uno de los sentidos, aplicando esta ventilación al caso anterior sucedería lo siguiente. Los humos ascenderían igualmente a la clave, avanzando pegados al techo en el sentido de la ventilación (“aguas abajo”), puede existir un fenómeno denominado “retroceso” de los humos en sentido contrario, dependiendo de la fuerza de ventilación este retroceso puede ser de unas pocas decenas, hasta centenares de metros. En cualquier caso los humos terminan enfriándose y cayendo aguas abajo como en el caso anterior, ocupando todo el túnel hasta salir por la boca opuesta, la diferencia es que ocurre solo en un sentido y que la situación permanece de esta forma durante todo el incendio.

Para que esto suceda de esta forma, es necesario que la velocidad de ventilación sea la adecuada, de tal forma que si la velocidad de ventilación es demasiado elevada, no se va a producir nada de “retroceso” pero los humos se van a desestratificar inmediatamente “aguas abajo”, por el contrario si la velocidad de ventilación es muy baja, los humos van a permanecer estratificados, pero el “retroceso” será mucho mayor, esta velocidad de ventilación que consigue mantener los humos estratificados el mayor tiempo posible con un mínimo de “retroceso”, es lo que se denomina **velocidad crítica**, y es la que se intenta conseguir con los sistemas de ventilación mecánica.

Las dos evoluciones vistas anteriormente serían desarrollos teóricos que solo pueden producirse en condiciones “perfectas”, en la realidad el esquema es mucho más complejo influyendo una serie de condicionantes, la realidad nos dice que los humos se precipitan mucho antes, sobre los 5 minutos del inicio y no suelen alcanzar distancias superiores a 300m, al menos que existan sistemas de extracción; también sabemos que es muy difícil conseguir ajustar la ventilación del túnel para conseguir la velocidad crítica.

Entre las condiciones que modifican la evolución de los humos están las siguientes:

- *La carga de fuego y características del combustible*

Dependiendo de lo que esté ardiendo, va a generar más o menos cantidad de humo y a mayor o menor velocidad. Por ejemplo, un vehículo pesado arde durante unos 70min y genera un caudal de 80m<sup>3</sup>/s, mientras que un vehículo ligero arde unos 30min y genera unos 40m<sup>3</sup>/s, por simples cálculos podemos deducir que el incendio de un solo coche es capaz de llenar de humo un túnel de 700m y dos carriles.

- *La Ventilación Natural*

La existencia de una ventilación natural en el túnel, tanto a favor como en contra de la ventilación forzada, va a interactuar y de una forma cambiante. Especialmente si incide viento en alguna de las bocas y en el sentido del eje principal del túnel.

- *Condiciones de temperatura y humedad*

Fundamentalmente la temperatura incide de forma que, si las paredes del túnel están muy frías, el estrato de humo va a transferir calor a las mismas, enfriándose antes y acelerando el descenso del plano neutro.

- *Presencia de obstáculos y diseño*

La rugosidad o curvas del túnel, los propios vehículos parados, irregularidades en la continuidad, pendientes, etc., son todos ellos factores que se van a oponer al desplazamiento del humo, precipitando igualmente su descenso. Influye mucho la pendiente a partir del 3%.

- *El efecto pistón*

Se denomina de esta forma al empuje que ejercen los vehículos al circular por el túnel, incluso detenida la circulación por el propio incendio, este efecto perdura durante cierto tiempo, incidiendo igualmente en el régimen establecido en el movimiento de humos. Cuando cesa el efecto pistón, pueden producirse cambios en la ventilación inicialmente instaurada.

### 3.2.- SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Rara vez nos encontraremos con un túnel en el que el aire contenido se mantenga sin movimiento; ello es así porque casi siempre estará presente al menos una ventilación, que denominamos **ventilación natural**, originada por la interacción de tres efectos:

- La diferencia de presión entre las bocas
- El viento dominante en el exterior, y
- La pendiente de la calzada

Esta ventilación natural se caracteriza porque puede variar a lo largo del día (por cambio de las condiciones climatológicas: temperatura, presión, viento), y porque no podemos actuar sobre ella, salvo contraponerla con la ventilación mecánica.

Como ya hemos mencionado, puede presentarse además una ventilación originada por el denominado **efecto pistón** por empuje o arrastre del aire producido por el movimiento de los vehículos que circulan en el interior del túnel. Será más marcado en los túneles unidireccionales

(donde todos los vehículos circulan en la misma dirección), y por supuesto cesará pocos minutos después de producido un incendio (por la detención de los vehículos).

Al margen de la ventilación natural y el propio efecto pistón, muchos túneles cuentan además con la posibilidad de influir de manera directa en la velocidad y sentido del movimiento del aire a lo largo del túnel, mediante el uso de ventiladores. Esta ventilación (que denominamos **ventilación mecánica o ventilación forzada**) tuvo su origen en la necesidad de facilitar la renovación de los gases y el aire viciado del interior del túnel, por aire fresco del exterior (es lo que se denomina *ventilación sanitaria*).

Sin embargo, y tras los graves incendios ocurridos en centro Europa en el entorno del año 1999 y 2000, la ventilación forzada de los túneles se ha transformado en un potente mecanismo para manejar los gases de incendio, y se configura, por tanto como una de las instalaciones de seguridad más importantes en el caso de que se origine un incendio en el interior de un túnel, es una herramienta táctica para la dirección y control de incendios en túneles.

#### *Objetivos de la Ventilación Forzada*

Vemos, pues, que la ventilación de un túnel debe estar diseñado para cumplir ciertas funciones, tanto en condiciones ordinarias como en caso de incendio:

1. **En condiciones ordinarias** (ventilación sanitaria). Persigue el confort de los usuarios, renovando el aire viciado y gases de escape mediante la introducción de aire fresco del exterior (el hecho de que muchos túneles ferroviarios no cuenten con ningún tipo de ventilación forzada es porque la propia naturaleza del transporte por ferrocarril, en el que la aportación de gases de escape es casi despreciable, hacía innecesaria la existencia de esta ventilación sanitaria).
2. **En caso de incendio**, la ventilación forzada persigue tres objetivos fundamentales:
  - Facilitar la **evacuación de los usuarios**, proporcionándoles la mayor cantidad de tiempo con condiciones respirables; para ello debe conseguir que el humo se mantenga estratificado en la dirección más favorable a la evacuación (aun cuando esta sea contraria a la ventilación natural). En el caso de los túneles unidireccionales, debemos perseguir que la corriente de humos estratificados progrese en el sentido del tráfico (aprovechando además el efecto pistón y evitando el retroceso ajustando la velocidad del colchón de gases a la denominada *velocidad crítica*); en túneles bidireccionales debe favorecerse el progreso de esa corriente estratificada en el sentido del tráfico predominante.

Los túneles deben contar con esta ventilación principal, que permite la evacuación de los usuarios a una zona segura, y además con la denominada ventilación secundaria, sobre presionando esas zonas seguras (galerías de evacuación, refugios de emergencia...) con respecto al túnel siniestrado, de manera que los gases generados en éste no puedan penetrar en esas zonas seguras.

- Facilitar el **acceso de los equipos de emergencia** (por las galerías de emergencia, o por el propio túnel, de espaldas a la corriente de gases)
- **Proteger las estructuras** y elementos del túnel evacuando el calor y disipándolo para que no se concentre en el punto del incendio. La evacuación masiva de gases calientes se produce en una segunda fase de la intervención, cuando ya se ha culminado la evacuación y la desestratificación de humos no es un factor determinante)

Todos los túneles interurbanos >1000m (>200/300m si tienen densidad de tráfico elevada), y todos los urbanos >200/300m precisan ventilación forzada, capaz de evacuar 4/3 de los gases generados por el mayor incendio previsible (el incendio de un camión generar unos 80m<sup>3</sup>/s de gases, por lo que la ventilación forzada debería ser capaz de evacuar 110m<sup>3</sup>/s)

### *Tipos de Ventiladores*

Los ventiladores empleados en túneles deben mantenerse en funcionamiento al menos durante dos horas a 400°C, con un rendimiento no menor al 60% del nominal. Pueden ser de dos tipos:

**1. Ventiladores axiales** (el flujo de aire absorbido e impulsado sale en la misma dirección del eje de giro de los álabes). Existen dos tipos:

- **Ventiladores axiales de chorro (aceleradores, o jets)** Colocados en la clave, o en la parte superior del túnel o de los hastiales, actúan sobre una pequeña porción de la sección del túnel, acelerando por arrastre el resto del volumen de aire. Pueden ser unidireccionales o reversibles, y el régimen de giro suele ser constante (la variación en la velocidad del aire del túnel se consigue mediante la activación de un número mayor o menor de aceleradores). Suelen disponerse en grupos, y se utilizan en sistemas de ventilación longitudinal
- **Ventiladores axiales de gran caudal**. Habitualmente se disponen ocupando toda la sección de grandes conductos de ventilación. El caudal y presión de aire que pasa a su través se ajusta variando el régimen de giro y/o la orientación de los álabes. Pueden contar con un inversor que permite que actúen en extracción o impulsión,

y son capaces de mover grandes caudales de aire a baja presión. Su uso habitual es en sistemas de ventilación transversal.

2. **Ventiladores centrífugos.** El flujo de aire sale en dirección perpendicular al eje de giro. Habitualmente pueden trabajar a dos diferentes regímenes de giro. Generan grandes presiones y se usan habitualmente para presurizar locales técnicos, galerías de evacuación y conductos de ventilación de gran longitud, son los utilizados en sistemas de ventilación convencionales en garajes y en climatización.

### *Sistemas de Ventilación Forzada*

Para poder manejar la ventilación de un túnel de forma eficiente en caso de incendio, y conseguir los objetivos que perseguimos con la misma, es preciso conocer previamente los distintos sistemas de ventilación forzada que pueden encontrarse. Se describen a continuación tanto los sistemas de ventilación del propio túnel (ventilación primaria), como los de galerías de evacuación y/o cuartos técnicos (ventilación secundaria), así como una mención a la ventilación utilizada durante la fase de construcción del túnel.

1. **Ventilación primaria (túneles).** El hecho que determina la ventilación en el interior del túnel es el lugar por el que circulan las corrientes de aire fresco y aire viciado. Así, y en función de si estas corrientes circulan por el propio espacio de circulación del túnel, o por conductos adyacentes al mismo, podremos encontrarnos con sistemas de ventilación longitudinales o sistemas de ventilación transversales.

- *Ventilación longitudinal (VL).*

El aire fresco y los gases viciados avanzan longitudinalmente por el propio espacio de circulación (o sección principal) del túnel. Existen varios sistemas de ventilación longitudinal:

**VL con aceleradores.** Habitual en túneles carreteros unidireccionales <3000m, o bidireccionales <1500m (en túneles más largos se acumula demasiado CO). En túneles bidireccionales deben ser reversibles para favorecer la ventilación en el sentido de mayor densidad de tráfico. En caso de incendio, suelen apagarse los grupos más cercanos al foco (especialmente aguas arriba), para evitar la desestratificación.

**VL con pozos de extracción.** La corriente longitudinal se genera mediante pozos de extracción por los que sale el aire viciado, y entrada de aire fresco por los extremos debido a la depresión generada. Su uso es habitual cuando se pretende ganar gálibo (no hay que

disponer aceleradores en la parte superior de la sección, p.ej., en algunos túneles urbanos), o cuando se pretende evitar que el humo salga por los extremos (p.ej., en túneles de metro, donde el humo debe alejarse de las estaciones.

**VL con aceleradores y pozos intermedios.** La limitación de longitud de túneles ventilados con aceleradores (1500 o 3000m en función de si son bidireccionales o unidireccionales) se supera mediante la disposición de pozos intermedios (de extracción, impulsión, o simples compensadores de presión), de tal forma que la longitud total del túnel se divide en diferentes secciones o “cantones” de ventilación. En caso de incendio, y para evitar que el humo pueda pasar de un cantón al contiguo, suele reforzarse la ventilación en la sección incendiada, anulando (o incluso invirtiendo) el cantón contiguo aguas abajo.

**VL con toberas Saccardo.** Se utiliza fundamentalmente en túneles ferroviarios o carreteros unidireccionales donde el escaso gálibo impide la colocación de aceleradores. El aire es impulsado y/o extraído mediante potentes estaciones de ventilación, acometiendo al túnel por unos conductos cercanos a las bocas, y formando un ángulo de 15º-20º con la sección principal. El aire de la sección principal del túnel es arrastrado por la corriente principal creada por estas toberas. No mantiene la estratificación de los humos.

- *Ventilación transversal (VT).*

El aire fresco y/o los gases no circulan por la sección principal del túnel (sección de circulación), sino que es impulsado y/o extraído por conductos o galerías longitudinales anexas, a través de trampillas. Además del uso específico para ventilación, el conocimiento de estos conductos es importante, pues en caso de emergencia pueden constituirse en vías de acceso/escape para los bomberos. Hay varios sistemas de ventilación forzada transversal:

**Transversal total.** Es con diferencia el sistema de ventilación forzada más completo. Se aplica a túneles carreteros muy largos (p.ej. Túnel de St. Ghotard –Suiza-, con 17 km de longitud y 10 secciones –cantones- de ventilación). Existe un conducto para el aire fresco (las toberas de impulsión pueden estar en suelo, paredes, o techo), y otro para el aire viciado (las trampillas de extracción están en el techo). La ventilación es absolutamente independiente de la sección principal de circulación.

En funcionamiento ordinario (sanitario), impulsión y extracción funcionan simultáneamente. En caso de incendio, se evita la inyección de aire en el cantón incendiado (se evita la propagación y la des estratificación de los humos), mientras que

en los cantones adyacentes se realiza la operación contraria (aumentar la inyección, y parar la extracción, generando así una sobrepresión en esa zona que evite la inundación de humo desde el cantón incendiado).

**Pseudo transversal.** No difiere sustancialmente de la transversal total, salvo por el hecho de que la capacidad de extracción es menor, y no es posible conducir todos los gases de incendio por los conductos de salida, debiendo salir parte de ellos por las bocas del túnel; el mantenimiento de la estratificación de los humos, y el manejo de estos en la dirección deseada es más complicado.

**Semi-transversal.** Llamado así porque está a medio camino entre una ventilación longitudinal y una transversal total. Sólo tenemos un conducto/galería anexo para circulación de aire.

En condiciones normales se utiliza para introducir aire limpio, mientras que el viciado sale por las bocas, en caso de incendio, se para la inyección de aire y se deja evolucionar de forma natural, o bien si existen varios cantones, se detiene en el cantón incendiado y cantones “aguas abajo” y se mantiene en el cantón “aguas arriba”.

En algunos sistemas más recientes, con ventiladores reversibles, en caso de incendio se puede inyectar aire, obligando al aire viciado a salir por la boca favorable en los cantones “aguas arriba” mientras se invierte realizando extracción en el cantón incendiado y en los cantones “aguas abajo”.

También se pueden interponer pozos intermedios de extracción para evitar la desestratificación.

Un túnel largo, puede dotarse de muy diversas soluciones técnicas para resolver el problema de la ventilación y en los casos más complejos, puede resultar en una combinación de varios sistemas, por lo que en estos casos, especialmente, se requiere de estudios individualizados sobre la gestión en caso de incendio.

**2. Ventilación secundaria (galerías, cuartos técnicos...).** Además de la ventilación principal del túnel vista hasta ahora, y que permitirá la evacuación de los usuarios a una zona segura, solemos encontrar en los túneles la llamada ventilación secundaria, encargada de presurizar esas zonas seguras (galerías de evacuación, refugios de emergencia...) o los cuartos técnicos, con respecto al túnel siniestrado. Esta presurización puede conseguirse mediante la inyección de aire del exterior a través de conductos, o mediante la impulsión de aire desde el tubo limpio (en túneles bi-tubo)

**3. Ventilación de obra.** La fase de construcción de un túnel es mucho más crítica que la de explotación propiamente dicha, pues si bien en el primer caso la ocupación del mismo es muy pequeña (tan sólo los operarios), también lo es que nos encontramos con un fondo de saco ciego en el que la boca del túnel se configura como único punto de entrada de aire fresco, salida de humos, evacuación de operarios y acceso de bomberos.

La ventilación de obra suele realizarse con sistemas de inyección de aire fresco en cabeza de perforación, que es conducido hasta allí mediante mangas textiles desde los ventiladores de impulsión dispuestos en la boca del túnel (la reversión del flujo no suele ser posible, pues si las mangas no son rígidas colapsarían por depresión). También existe ventilación de obra en extracción, menos frecuente.

El objetivo de esta ventilación es puramente sanitario y de mejora de las condiciones de trabajo (renovación del aire, eliminación de polvo y gases nocivos, regulación de la temperatura...). **En ningún caso es una ventilación diseñada para su uso en caso de incendio** (la normativa no toca este punto; entre otras cosas, las propias mangas textiles de impulsión pueden comenzar a arder si se produce un incendio en el interior del túnel).

La impulsión de aire en cabeza de túnel supondrá que, en caso de incendio y mientras se mantenga activa la ventilación, éste será alimentado por una corriente que empujará el fuego y el humo de cara a los equipos de intervención que pretendan acceder al interior. El caso contrario (aspiración de aire desde cabeza, dirigiendo humos y calor en sentido favorable al avance de los bomberos) sería mucho más favorable, pero solo puede realizarse si los conductos de ventilación son rígidos, y los ventiladores dispuestos en la boca del túnel son reversibles, permitiendo la extracción.

## 4.- PRINCIPIOS GENERALES DE INTERVENCIÓN

El objetivo del presente capítulo es establecer una secuencia de acciones básicas que nos permitan de una forma secuencial o, en algunas ocasiones simultánea, fijar la respuesta tipo de un Servicio de Extinción de Incendios ante una intervención de incendio en túnel.

### 4.1.- ANÁLISIS PREVIO

Para establecer la guía de respuesta (protocolo), es importante tener en cuenta que existirán aspectos de la actuación y pormenores de la misma muy definidos por el tipo de instalación, por tanto, la primera premisa que podemos establecer a la hora de definir un protocolo de



intervención para un túnel es: *el protocolo de intervención estará adecuado a cada tipo de túnel y sus instalaciones más singulares.*

El tipo de obra (trazado, dimensiones, interconexión de tubos, presencia de galerías, etc.), el uso (carretero, ferroviario, mixto), el tipo de explotación y las instalaciones singulares (evacuación, ventilación, centro de gestión, extinción); determinarán de forma contundente el protocolo de intervención, las acciones que debe contener, el reparto de tareas entre los diferentes intervinientes y su secuencia.

Podríamos resaltar como los condicionantes más importantes para definir el protocolo, los siguientes:

- El centro de gestión
- El uso y actividad del túnel
- Las vías de evacuación y acceso al túnel
- El tipo de ventilación

De ellos dependerá: la información de partida y la coordinación de actuaciones entre intervinientes, la óptima gestión de instalaciones singulares, el tipo de incidentes previsibles, los niveles de emergencia, la rapidez de la evacuación y diversidad en la penetración en el interior, así como el comportamiento o movimiento de los humos en el interior.

Otro requerimiento básico para definir el protocolo es el potencial operativo que tienen los medios propios de respuesta ante emergencias y el Servicio de Extinción que da cobertura al mismo.

Por último, el protocolo debe contemplar dos premisas:

- Activar un número importante de recursos en primera alarma. Dentro de un túnel las consecuencias de la propagación del incendio siguen una progresión geométrica y por tanto se intensifican mucho con el factor tiempo. Es por tanto, necesario no escatimar inicialmente los recursos y no esperar a una demanda desde el lugar cuando se haya comprobado la gravedad del incidente.
- En la medida posible, penetrar por el mayor número de accesos al interior del túnel. En el túnel las distancias son elevadas y el movimiento del humo muy rápido. Esta táctica nos permitirá ayudar a la auto evacuación del público, sistematizar la búsqueda de personas extraviadas y lo más inmediato, garantizar la entrada de recursos en situación favorable con respecto a el movimiento del humo.

#### 4.2.-INFORMACIÓN DE SALIDA

La información previa a facilitar al Servicio de Extinción es crucial y de suma importancia para abordar con éxito y eficiencia el incendio. Por ello, es preciso gestionar de forma óptima la información que se dispone en el Centro de Control y establecer conjuntamente con su responsable un catálogo de información que nos facilitarán en caso de incidente en el interior del túnel.

Las instalaciones además de ser instrumento para mitigar los efectos del incendio, proporcionan información útil para la intervención.

La información recomendable a obtener, sería:

1. Tubo o estructura con incendio

Como sabemos el túnel puede estar constituido por diferentes partes: tubo sur y norte, galerías de acceso, cuartos técnicos, etc.

2. Punto preciso.

Dentro del tubo precisar el punto km o lugar de referencia más próximo al lugar del incidente

3. Vehículo o instalación afectada

Dentro de los posibles elementos que pueden propiciar el origen de un incendio, básicamente hay tres posibilidades: los móviles (automóviles o trenes) y las instalaciones propias del túnel (normalmente CT) y las obras o trabajos de mantenimiento.

Dependiendo del origen del fuego, podemos deducir la carga de fuego previsible y por tanto la dificultad a la que nos enfrentaremos.

4. Personas afectadas

Este capítulo, que es el más relevante para nuestra intervención, podemos diferenciarlo en dos: El estado de la evacuación del público y trabajadores del interior de la zona afectada y la presencia de personas en las inmediaciones, bien por atrapamiento o falta de auto evacuación.

En este tema un equipo de operadores bien formado y consciente de las necesidades que puede haber en el rescate, puede facilitar una información precisa y, por tanto, muy relevante al Servicio de Extinción. Observar si ha habido personas que hayan evacuado por el tubo en dirección del avance del humo, si se han salido de los vehículos afectados por la colisión, si se están introduciendo por las salidas de emergencia; son datos que pueden determinar el éxito en el rescate.

## 5. Estado de la circulación

Al respecto es relevante conocer detalles del tipo:

- Si continúa la circulación de vehículos después del incidente.
- Si está cortada en el tubo afectado y continúa en el tubo paralelo.
- Si existen retenciones detrás del lugar del incidente.

El procedimiento del centro de control del túnel ante un incendio debería incluir el corte de circulación de todos los tubos que lo forman, al objeto de facilitar la evacuación y acceso de los servicios de bomberos a su interior.

## 6. Ventilación

Obviamente el conocimiento del tipo de ventilación y su hipotético funcionamiento, así como el de otras instalaciones de seguridad del túnel, deben ser motivo de reconocimiento previo por parte del personal del Servicio de Extinción. No obstante, en el momento del incendio y dentro de la información facilitada a bomberos, es necesario saber que la ventilación estaría actuando y dando el resultado deseado.

No se trata de conocer cuántos ventiladores están en funcionamiento, si no de precisar el dato del sentido de la corriente de humo y la presencia del mismo en galerías u otras instalaciones del túnel.

## 7. Propuesta de acceso óptimo

Este sería el punto clave que define una relación de coordinación avanzada entre la explotadora y su centro de gestión con el Servicio de Extinción.

Analizar y determinar, en los diferentes cantones del túnel, cuál sería el comportamiento de los humos generados en el incendio y en virtud de ello, cuáles serían los accesos óptimos para penetrar en el túnel, obteniendo los objetivos de proximidad y posición favorable ("aguas arriba") favorece de forma evidente una respuesta eficiente y coordinada ante el incendio.

### *4.3.-DE CAMINO AL INCENDIO*

Aunque el tiempo de respuesta sea breve, el Jefe de Dotación y la dotación tienen que predisponerse para la situación previsible que se encontraran en el interior del túnel y comenzar por preparar mentalmente su intervención. Además de confirmar la información recibida en la activación.

Por el último conviene repasar los aspectos singulares del protocolo de intervención y recordar las instalaciones de seguridad disponibles para el ataque a fuego.

#### 4.4.-SECUENCIA DE ACCIONES

Vamos a definir las acciones y el orden de ejecución de las mismas que constituyen la *propuesta de protocolo de intervención*:

##### Elección de Acceso y Sistema de Penetración

La correcta elección del acceso nos va a aportar más del 50% del éxito de la intervención

Dos objetivos son esenciales para la correcta elección del acceso:

- a) Actuar rápidamente sobre la zona inundada de humo donde esté confirmada la presencia de personas.
- b) Acceder al interior en la posición más favorable para atacar el incendio

De forma habitual intentaremos agotar la opción de penetrar en el túnel con la autobomba en sentido de la circulación del tráfico y "aguas arriba" del incendio. Obviamente, esta situación favorable no va a ser posible en muchas ocasiones. Tenemos, por tanto, que estar abiertos a otro tipo de opciones, incluso aquella que impliquen la entrada a pie, bien por salida o galería de emergencia o por boca del tubo.

De qué dependerá que podamos penetrar a pie:

- a) De la existencia de Bies o columna que nos permita tener tendido de extinción.
- b) De que podamos hacer un tendido y que el recorrido a realizar desde boca o salida de galería nos permita actuar con la capacidad de aire de nuestro ERA.

La situación que debemos descartar será la de penetrar con autobomba atravesando el tapón de humo, máxime si el vehículo no está habilitado mediante cámara térmica.

¿Que consideramos como la opción aguas arriba?: aquella zona que abarca desde la entrada al túnel y hasta el lugar dónde está el foco del incendio y queda opuesta al movimiento del humo.

Mediante este cuestionario podemos definir qué acceso será el más idóneo entre los posibles

##### Evaluación

La evaluación de un incendio comienza de camino al mismo, durante el trayecto, como hemos visto, empezamos a obtener información necesaria para atajar el incidente con éxito. En este momento además repasaremos los datos que conocemos de la instalación, la eventualidad del momento en que se produce y del comportamiento posible del incendio.

El proceso de evaluación nos propicia la obtención de información que debemos analizar para definir las prioridades de intervención y el plan de acción más adecuado.

#### Elementos a considerar en el proceso de evaluación de incendio en túnel:

Capítulo especial merece la evaluación de las condiciones de desarrollo del humo, por ser éste elemento singular en este tipo de incendios y de suma importancia para el desarrollo del incidente y la autoprotección de la dotación de bomberos.

Además de los ítems de evaluación mencionados el mando deberá saber interpretar el desarrollo del humo y las posibilidades de evolución negativa que pueda tener, pues su variación es muy dinámica y por tanto puede ser inmediata.

Que aspectos son más importantes a observar o deducir:

- En función de la corriente de aire y por tanto del funcionamiento existente de la ventilación, ¿nos encontramos "aguas arriba"?
- **Si**, magnifico.
- **No**, habrá que intervenir por otro acceso, según posibilidades.
- ¿Existe régimen laminar o turbulento?
  - o Dependerá del tiempo de desarrollo del incendio y la velocidad de la corriente de aire.
- ¿Existe retroceso?
  - o Tiene mayor longitud de 100 m, inquietante. Se observa crecimiento del back-layering, preocupante, situación de ventilación escasa.

Para poder trabajar con seguridad dinámica dada esta situación de posible cambio en el humo el mando de la dotación deberá prever:

#### Protección de Atrapados y Rescates Rápidos

Supongamos que hemos entrado con la autobomba, aguas arriba; lo primero a realizar, al bajarnos de la misma será la colocación del ERA. Obviamente, si la zona no está inundada de humo no se colocará la máscara.

La existencia de personas atrapadas en el interior, lo pueden ser por dos causas principales:

- a) Por estar atrapadas o encerradas en el interior de vehículos accidentados y deformados. En este caso corren riesgo en virtud de la propagación del fuego o inundación de la zona por humo.
- b) Por estar situadas en zonas inundadas de humo o cuya salida (como pueden ser cuartos técnico), de a zonas inundadas de humo y siempre que exista una elevada seguridad de su presencia. En este caso pueden estar inconscientes y necesitar ser rescatadas.

Tras realizar la evaluación y comprobar la existencia de personas atrapadas en la situación **a)** lo que procede es la protección mediante tendido de protección y en su caso protección respiratoria, salvaguardarlas del riesgo inmediato que supone el incendio.

En el caso de la situación **b)**, lo que procede es organizar el rápido rastreo para su localización y extracción a zona segura.

Si la intervención parte del exterior, pues las circunstancias no nos ha permitido penetrar con la autobomba, entraremos con equipación ERA, tendido o mangaje sin carga, portando camillas y rescatadores.

#### Control de la Propagación del Incendio

A continuación de la protección tenemos tres posibilidades:

1. Continuar con el control del incendio.
2. Propiciar y dirigir la autoevaluación.
3. Simultanear las dos acciones.

Aunque la extinción del incendio se lleva a cabo desde zona aguas arriba sin humo, siempre deberemos conectar la máscara antes de iniciarla.

La aplicación de agua al fuego generará más humo y enfriará el mismo propiciando la caída del régimen laminar y por tanto más presencia de humo en el entorno.

#### Evacuación

Cuando la 1ª dotación o tren de salida que accede al interior del túnel no es muy numerosa y, por tanto, no podemos simultanear acciones, se plantea un debate sobre qué acción conviene realizar antes: el control de la propagación o dirigir la evacuación o apoyar la auto-evacuación del público.

Si existen personas atrapadas, tal y como hemos contemplado en el capítulo anterior, a nuestro entender, la prioridad primera estará en protegerlas o hacer un rescate rápido. Pero, si esta circunstancia no se da y existe fuego desarrollado y personas en el recorrido del túnel:

*¿Por qué actuación comenzamos?*

No es sencillo responder a esta cuestión, pues ambas opciones serían válidas y optar por una en lugar de la otra dependerá de matices de la instalación del túnel y del tipo de incendio. Ponemos algunos ejemplos para aclararlo:

- a) Si el fuego solo afecta a un turismo y, por consiguiente su extinción no conlleva gran dificultad y tiempo, podríamos optar por priorizar la extinción sobre la evacuación, pues el resultado es más eficaz.
- b) Si el público está aguas abajo pero con estratificación del humo, por tanto, en principio, en el espacio de supervivencia. Dada la rapidez con la que esta situación puede variar en cuestión de minutos, sería más aconsejable dedicar nuestros esfuerzos a dirigir la evacuación y poner a las personas en lugar seguro para después realizar la extinción.

Como vemos hay circunstancias que inclinan la balanza en el sentido de la extinción o en el sentido de la evacuación.

La evacuación tiene dos variables que se pueden dar simultáneamente o por separado, nos referimos a la auto evacuación y a la evacuación asistida.

La primera conllevará una actuación de liderazgo y seguridad que el ciudadano espera de nosotros en estas ocasiones. Se trata de orientarle y dirigirle con autoridad y mensajes claros y concretos para orientar su actuación hacia el abandono inmediato de su vehículo y marcarle el camino más corto y seguro hacia una vía de evacuación segura.

La segunda, implicará mayor esfuerzo y recursos humanos, pues la movilidad de las personas afectadas estará reducida. Para esta situación será necesario emplear, sino la totalidad, si la gran mayoría de la dotación.

#### [Vigilar el Movimiento del Humo](#)

Ya mencionamos en el capítulo de la evaluación la importancia que tiene la observación de desarrollo o movimiento del humo desde primer instante que nos adentramos en el túnel. Esta acción deberá ser constante durante toda la intervención y aunque en especial se atribuya al Jefe de Dotación, cualquier miembro de la misma participa desde su posición en atender las variaciones que se produzcan en el colchón de humos generado por el incendio.

#### 4.5.-CONCLUSIONES

1. *El protocolo de intervención se adecuará a: el tipo de túnel y sus instalaciones más singulares.*
2. *Se establecerá un protocolo de coordinación con el Centro de Control que implique la información de salida más importante para el Servicio de Extinción, en especial el acceso óptimo a utilizar.*
3. *Buscar el acceso óptimo de acuerdo con:*
  - a. *Entrar aguas arriba.*
  - b. *Lo más próximo al foco o rescates localizados.*
4. *Ante la menor duda de que se propicie una evolución desfavorable en el movimiento y comportamiento del humo en un breve tiempo, optaremos por priorizar la evacuación sobre el resto de acciones posibles del protocolo.*
5. *Mantener una constante vigilancia sobre el comportamiento del humo.*
6. *Tener previsto desde el inicio un Plan de Auto-rescate.*