

LOS NUEVOS RETOS EN LA SEGURIDAD FRENTE A INCENDIO

I. del Rey, I. Espinosa, S. Fernández, A. Grande

CEMIM. Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial

E. Alarcón

Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales. Univ. Politécnica de Madrid

Resumen

A lo largo de los últimos diez años, han sido numerosos los proyectos europeos y nacionales dedicados a la seguridad frente a incendio en túneles. La mayoría de ellos han aportado gran cantidad de documentación, elaborada desde ámbitos multidisciplinares, que han servido para apoyar a la redacción de normativas y regulaciones de ámbito nacional y supranacional.

Sin embargo la aplicación de los resultados obtenidos siguen requiriendo su adaptación al esquema tradicional: redacción de proyecto - ejecución – explotación.

Uno de los retos actuales, reflejado en distintas recomendaciones y normativas, consiste en la mejora de los periodos y procedimientos de transición entre el fin de la ejecución (puesta en marcha) y el inicio de la explotación. También es importante reforzar la realimentación, con información real de la explotación, a los proyectistas que intervienen en los nuevos proyectos.

Más allá de estas consideraciones, el presente artículo se centra en numerosos aspectos, teóricamente resueltos, que sin embargo suponen desafíos a la hora de llevarlos a la práctica y que tienen una gran repercusión en la seguridad frente a incendio.

Palabras clave: Real Decreto 635, seguridad frente a incendio, prescriptivo, prestacional.

1. Introducción

A nivel internacional, durante la última década del siglo pasado se llevaron a cabo importantes esfuerzos para incrementar el conocimiento acerca de los fundamentos del comportamiento de humos e incendio en túneles, cuyos resultados quedaron exhaustivamente recogidos en el informe PIARC “Fire and Smoke control” (Ref. [5]), que puede considerarse una obra de referencia en este campo.

Este periodo culmina casualmente con los incendios catastróficos ocurridos en Centroeuropa (ref. [1]), y que suponen una fuerte presión por parte de la opinión pública lo que, a su vez, se plasmó en la voluntad política de generar, por un lado, normativas con las que determinar unos niveles de seguridad mínimos en los túneles de carretera (Directiva Europea, recomendaciones nacionales) y, por otro, el lanzamiento de grandes proyectos europeos de investigación (UPTUN, Fit, etc).

En cuanto al primero de estos aspectos, la trasposición de la Directiva Europea (ref. [2]) al ordenamiento jurídico español se concretó en la publicación, el 26 de mayo de 2006, del Real Decreto 635/2006, sobre los requisitos mínimos de seguridad en túneles de carretera, que se ha convertido en referencia fundamental para proyectistas, explotadores y servicios de emergencia (Ref. [3]).

Por otra parte, es necesario resaltar la importancia de la publicación, el 23 de marzo de 2007, del RD 393/2007 que aprueba la Norma Básica de Autoprotección, y que está fuertemente relacionada con la anteriormente citada. En este sentido, son muy interesantes los esfuerzos que se vienen realizando con el objetivo de potenciar las sinergias evidentes de la utilización de ambas herramientas (ref. [13]) frente a interpretaciones de búsqueda de incompatibilidades.

Si bien el R.D. 635 no es la única referencia a la hora de detectar los nuevos retos de la seguridad frente a incendio, por su influencia se ha comenzado analizando en primer lugar dicha referencia, dejando para apartados posteriores otros aspectos.

2. La Seguridad frente a incendio en el R.D. 635

En primer lugar es preciso resaltar que el contenido de los 15 artículos del Real Decreto van más allá de una mera descripción de los equipamientos en función de la clasificación de los túneles (recogida en el anejo II) sino que establece:

- Las responsabilidades de los agentes involucrados (autoridad administrativa, gestor del túnel y responsable de seguridad)
- la obligatoriedad de realizar inspecciones periódicas
- la posibilidad de emplear el análisis de riesgo como herramienta global de evaluación de la seguridad
- la posibilidad de emplear nuevas técnicas si se proporciona una protección equivalente o mayor que las tecnología actuales prescritas en el mismo
- la necesidad de realizar informes de incidencias constituyendo un marco normativo similar al de otros países del entorno europeo.

En cuanto a las medidas de seguridad de los que debe disponer cada túnel, el Real Decreto establece, de forma fundamentalmente prescriptiva, una clasificación basada en cuatro criterios: intensidad media diaria por carril, longitud, tipo de tráfico (uni- o bi-direccional) y su carácter urbano o rural. La influencia del incremento de riesgo debido a los parámetros de clasificación se refleja en la Figura 1, donde se aprecia que a mayor longitud e IMD los requisitos son mayores (nótese los recuadros de color acumulativos).

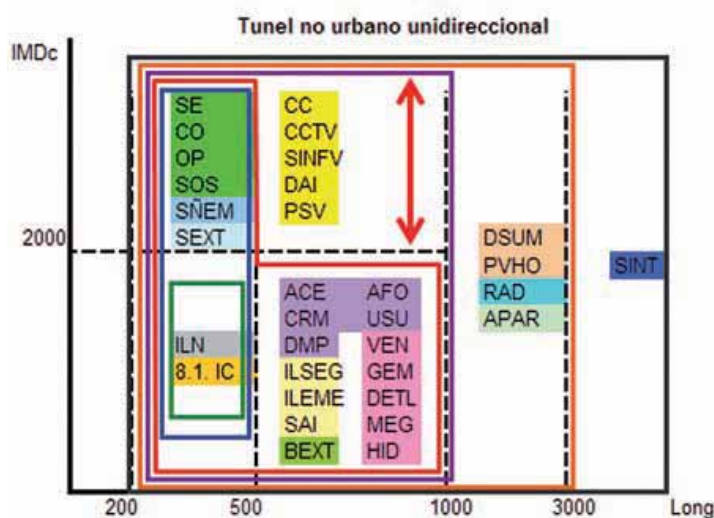


Figura 1.- Requisitos de seguridad. Túnel rural unidireccional. (Art. 2.21 R. D.)

Un repaso pormenorizado del conjunto de medidas de seguridad del Real Decreto refleja su doble finalidad, ya recogida en el propio informe de recomendaciones de UNECE: la prevención de accidentes y la mitigación de las consecuencias.

Sin embargo, resulta llamativo que, si se exceptúan los anexos al mismo, en todo el texto del articulado tan solo se recoge la palabra “incendio” en el artículo 15 relativo a los “Informes de Incidencias de accidentes e incendios”.

Más allá de esta consideración, anecdótica, es significativo que el Anexo I del Real Decreto se refiere al término “incendio” en los siguientes artículos:

- Artículo 2.5.1 Salidas de emergencia y vías de evacuación
- Artículo 2.9 Resistencia de la estructura a los incendios y al agua
- Artículo 2.11 Ventilación (en varios sub-apartados)
- Artículo 2.13 Red de hidrantes (referencia NBE-CPI-96 o posterior)
- Artículo 2.15.1 Sistema de control (modo degradado de funcionamiento)
- Artículo 2.16. Sistemas de vigilancia (detección de incendio y automatismo)
- Artículo 2.20 Resistencia de los equipos al fuego.

Reflejando que, sin minimizar la importancia de otros equipamientos o sistemas (radiocomunicaciones, señalización variable, cierre de túnel, DAI, etc), los enumerados representan elementos claves en la seguridad frente a incendio.

3. Marco prescriptivo VS. Prestacional

De forma ideal, se dice que una normativa se basa en los principios del proyecto basado en prestaciones si define explícitamente sus objetivos en cuanto a la seguridad frente a incendio y recoge claramente los niveles deseados de seguridad. Así, se consideraría aceptable cualquier proyecto que, al menos, cumpliese con los objetivos establecidos. Este enfoque permite, cuando se aplica correctamente, tener en cuenta las particularidades de la infraestructura en lugar de aplicar requisitos concretos de acuerdo a clasificaciones predefinidas.

Sin embargo, la aplicación de este tipo de planteamientos requiere de profesionales con formaciones intensivas el campo de la protección contra incendio, capacidad para manejar las herramientas computacionales e interpretar competentemente los resultados obtenidos.

La metodología propuesta puede resumirse en el esquema extraído del NFPA Fire Protection Handbook (ref. [17]) y que se ha recogido en la Figura 2

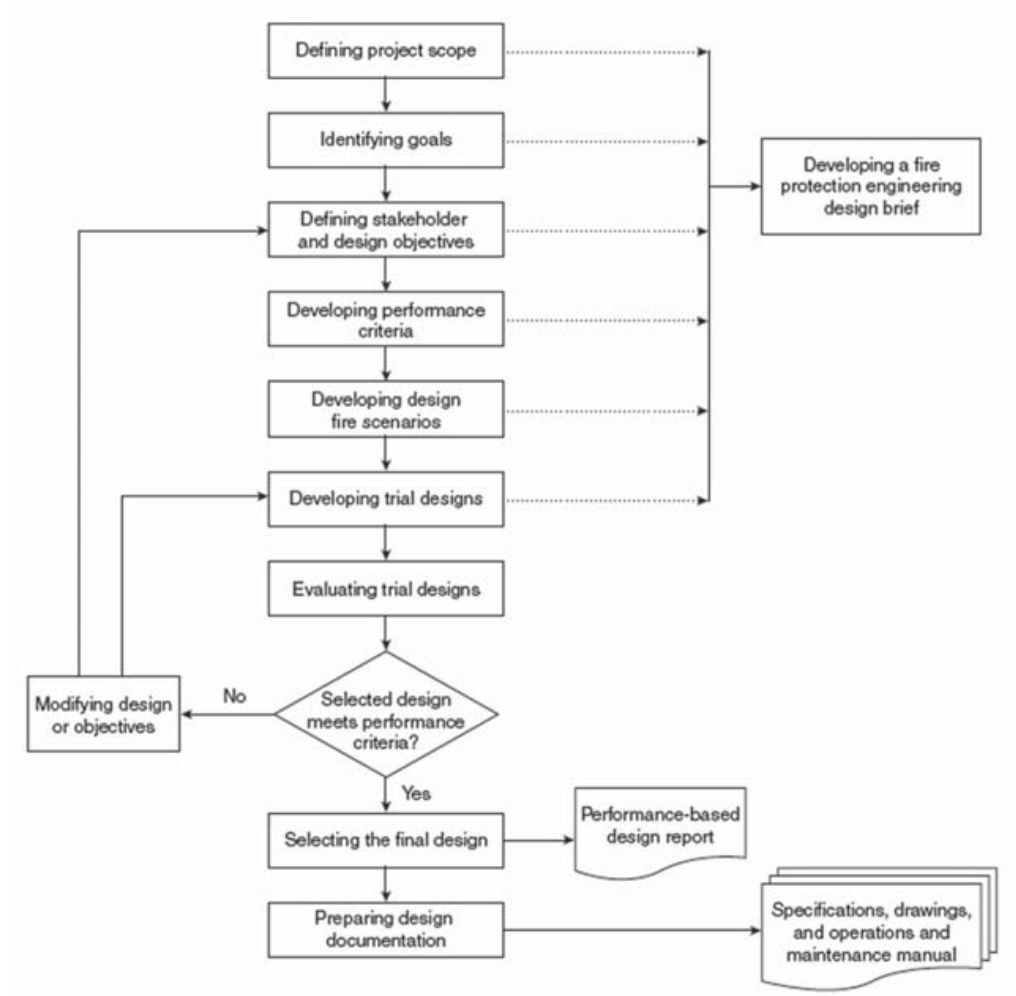


Figura 2. Metodología para el Proyecto y Análisis prestacional. NFPA FPH

Y que puede resumirse en los siguientes conceptos generales:

- Establecimiento de los objetivos de la seguridad frente a incendio
- Especificación de los parámetros de proyecto
- Verificación de la idoneidad de la solución propuesta en base a criterios de aceptabilidad concretos empleando herramientas y metodologías ingenieriles contrastadas.

Tal como se explicó anteriormente, el planteamiento general del Real Decreto responde a un marco prescriptivo en el que, según las características del túnel, se especifican un conjunto de medidas que incluyen tanto obra civil (apartaderos, refugios, sección transversal) como equipamiento (ventilación, control, etc.).

No obstante, es significativo que el propio Real Decreto, al igual que la Directiva Europea, plantea las bases para la aplicación de un enfoque prestacional.

Así, respecto de los objetivos, en su Artículo 1 (Objeto y finalidad) se refiere a “la finalidad de prevenir situaciones críticas que puedan poner en peligro la vida humana, el medio ambiente y las propias infraestructuras, así como proteger a los usuarios en caso de que se produzcan algunas de las citadas situaciones”.

En cuanto a los parámetros del proyecto, se hace referencia concreta en su artículo 1.1 a los parámetros de seguridad a tener en cuenta (longitud de tubos, IMD, trazado, tipo tráfico, etc.)

Y, por último, se propone el análisis de riesgos como herramienta para la evaluación de la seguridad en caso de ser necesario recurrir al planteamiento no prescriptivo (o por desviaciones significativas de los parámetros de seguridad).

Sin embargo, la aplicación eficaz de estas nuevas herramientas viene dificultada, por un lado, debido a la ausencia de una metodología concreta y detallada (ref. [3]) y por el otro, a la situación específica de nuestro país donde, a diferencia de lo que sucede en otros, donde la transposición de la Directiva ya ha sido completada o está en proceso (Francia, Austria, Suiza, Alemania, Noruega, etc.), no existen normativas específicas que recojan criterios de referencia para los proyectistas.

En definitiva, parece evidente que la consolidación de una metodología de análisis de riesgos armonizada (al menos a nivel nacional) supondrá, sin duda, uno de los retos más significativo de los próximos años.

Mientras tanto la profesión intenta suplir esta falta recurriendo a recomendaciones específicas de otros países, recomendaciones internacionales (ref. [6]) basadas en un enfoque global de la seguridad que, en el caso del incendio, pasa por la prevención del incendio y la protección en caso de producirse el incidente.

Por otra parte hay que incidir que otros objetivos, tales como la protección de los servicios de emergencia o la integridad estructural, aun no estando explícitamente citado entre los objetivos del Real Decreto, deben ser tenidos en cuenta, y se hace referencia a ellos más adelante.

En general, la metodología empleada se basa en estudios que permitan evaluar las condiciones de evacuación de los usuarios.

4. Evacuación de las condiciones de Evacuación

Cualquier estudio de este tipo consiste en el análisis de la evolución temporal de los diferentes procesos y que, en general, incluyen:

- La evolución del incendio, determinado por su tasa de crecimiento y su valor máximo y el movimiento de los humos en el interior del túnel.
- El desplazamiento de los usuarios hasta alcanzar las zonas seguras
- El grado de equipamiento y su actuación durante el incendio (detección, extinción, etc.)
- Las actuaciones automáticas (algoritmos) o manuales (procedimientos) sobre el sistema control y, por tanto, en el equipamiento del túnel.

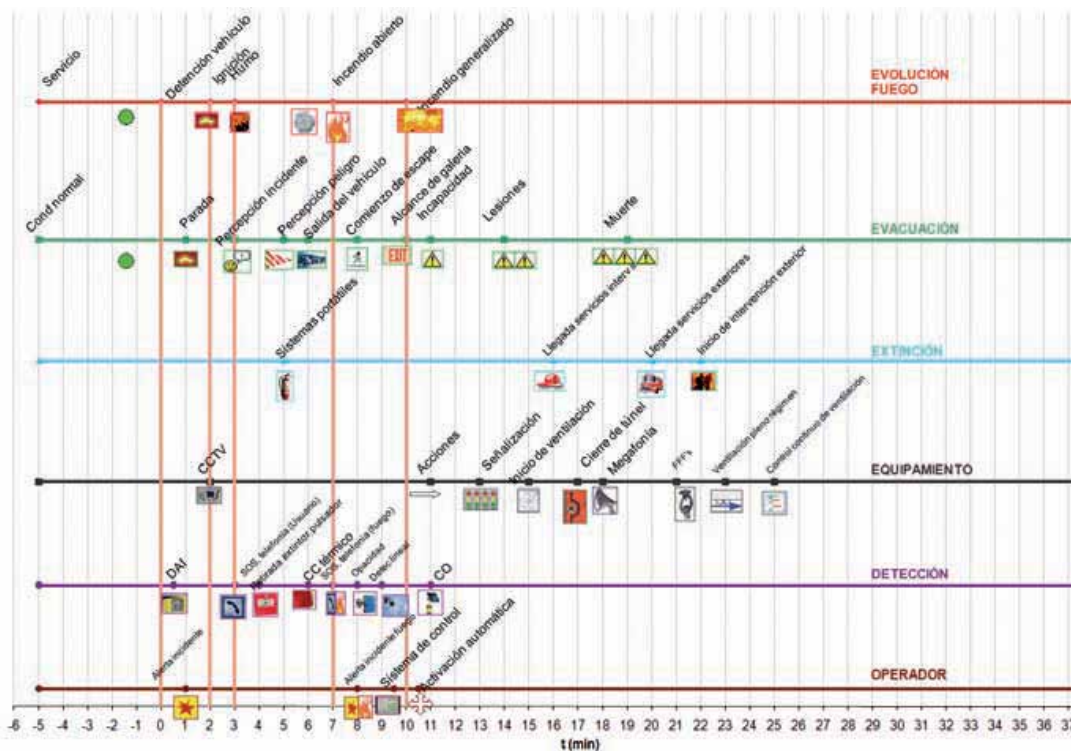


Figura 3. Ejemplo de procesos típicos en el desarrollo del incendio.

Lo que requiere de las siguientes etapas:

1. La selección de escenarios atendiendo a parámetros significativos (tipologías y condiciones de ventilación).
2. La elección de una curva de incendio tipo.
3. La simulación del movimiento y características de los humos en el túnel.
4. La estimación de las trayectorias de evacuación de los usuarios.
5. La comparación de las condiciones durante la evacuación frente a criterios de supervivencia cuantificables.

Algunas de las cuales siguen presentando dificultades aún no completamente resueltas.

4.1. Caracterización del incendio tipo

Para poder estudiar la relación entre el comportamiento de los humos y las condiciones de evacuación es crucial la caracterización del incendio lo que tradicionalmente se realizaba a través de la potencia calorífica liberada (dada habitualmente en MW) o según las tasas de generación de contaminantes.

Hasta hace unos años, en la mayoría de los países se tomaban como referencia las recomendaciones dadas por PIARC basadas en los distintos ensayos del proyecto EUREKA 499, y los realizados en Estados Unidos en el Proyecto de la Central Artery. Así, se ha venido empleando como carga de fuego típica la de un vehículo pesado con una potencia calorífica en torno a los 30 MW.

Este valor de potencia máxima ha sido el adoptado por numerosas normativas, incluido el R. D. que establece que "Los sistemas de ventilación deberán poder extraer el humo para un incendio tipo con potencia mínima de 30 MW y caudal mínimo de humos de 120 m³/s".

No obstante otros países como Francia, partiendo de la especificación de un incendio tipo de 30 MW empleado para sistemas de extracción de humos, obliga a considerar la posibilidad de emplear potencias mayores (hasta 200 MW) en sistemas de tipo longitudinal, especialmente en caso de túneles con tránsito de vehículos pesados con mercancías peligrosas.

Esta corriente se debe en parte a los ensayos realizados en el túnel de Runehamar (Noruega) dentro del proyecto UPTUN, cuyas cargas de fuego (ref. [12]) consistieron en imitaciones de vehículos pesados con materiales celulósicos y plásticos y además, con importantes condiciones de ventilación reflejaron potencias de incendio máximas muy superiores (Figura 4).

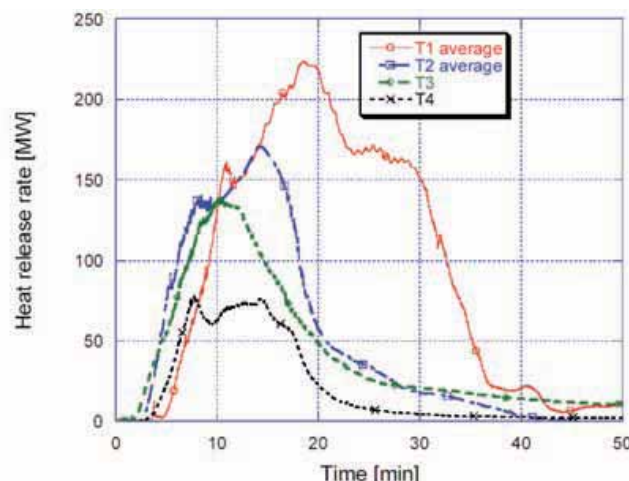


Figura 4.- Ensayos a escala real. Potencia de incendio

Sin embargo, el uso de metodologías prestacionales obliga a replantearse las definiciones tradicionales. En primer lugar, relacionando el concepto de incendio característico con las estrategias de ventilación y, en segundo, buscando definiciones asociadas a evolución temporal de las magnitudes frente a valores máximos de referencia.

Por ello, durante el presente ciclo (2009-2012) el grupo de trabajo 4 del Comité de Túneles de PIARC (integrado por uno de los autores de este artículo) y denominado "Calidad del aire, incendio y ventilación" tiene entre sus objetivos la elaboración de un nuevo informe donde se recoja el estado del arte en el tema y una propuesta de curva característica de incendio que sirva de referencia para años venideros.

En apartados posteriores se incidirá en la importancia de este aspecto y las distintas repercusiones que tiene en función del tipo de tráfico del túnel.

4.2. Modelos numéricos

Un análisis detallado de todos los procesos que intervienen requiere de herramientas con muy distintos grados de complejidad dependiendo de las características del túnel.

En el caso concreto de los modelos de incendio y comportamiento de humos, es muy interesante la clasificación recogida en el fascículo 4 sobre la "Investigación específica de peligros" de la "Guide des Dossier de sécurité des tunnels routiers" (ref. [8]).

En ella, se proponen tres niveles de modelización del comportamiento de humos:

- Nivel 1: análisis cualitativo (sin el uso de modelización específica, sino a través de ecuaciones, tablas o gráficos)
- Nivel 2: análisis cualitativo + modelos uni-dimensionales
- Nivel 3: análisis cualitativo + modelos uni-dimensionales+ modelos tri-dimensionales.

Indicando expresamente que: "en la gran mayoría de casos se elegirá el nivel 2", dejando para túneles con geometrías atípicas las modelizaciones tridimensionales. Este apartado tiene gran importancia ya que, cada vez más frecuentemente, se encuentran en los proyectos resultados de cálculos realizados con códigos CFD, no siempre documentados con rigor suficiente. En este sentido, en el propio fascículo 4 mencionado se dedica una parte del texto (apéndice D.3) a recoger aquellos aspectos que deberían ser incluidos en cualquier proyecto o informe con modelizaciones tridimensionales.

Para aquellos lectores interesados en niveles de calidad en el uso de modelos CFD se recomiendan los trabajos de ERCOFTAC y en concreto las guías para la utilización correcta y la comprensión de las incertidumbres de este tipo de modelos (ref. [14]).

4.3. Selección de escenarios significativos

La selección de escenarios significativos requiere fundamentalmente tener en cuenta las estrategias previstas para el control de los humos en el túnel y el desarrollo de los acontecimientos (ref. [16]).

Sin embargo, la mayoría de las normativas establecen una clara distinción acerca de los procedimientos atendiendo al tipo de tráfico:

- unidireccional sin retención.
- bidireccional o unidireccional con retención.

Esta clasificación debe considerarse la hipótesis de partida de cualquier estudio de análisis de riesgo ya que, a partir de su definición, tienen sentido el resto de parámetros del escenario.

Así, por ejemplo, tanto el Real Decreto como otras normativas internacionales establecen distintos requisitos para la interdistancia entre salidas de emergencia en función de clasificaciones similares a la anterior.

5 Túneles con tráfico unidireccional

5.1. Estrategia de ventilación

En el caso con tráfico unidireccional donde la circulación es fluida antes del incidente, la tendencia actual recomienda generar una corriente longitudinal de aire en el sentido del tráfico, de forma que el humo sea expulsado por la boca de salida. Esta estrategia es únicamente recomendable cuando aguas abajo del punto de fuego no se encuentran vehículos detenidos (Figura 5).

Para evitar que los humos retrocedan aguas arriba del incendio, donde necesariamente habrá vehículos detenidos, es preciso que la velocidad del aire alcance al menos un valor mínimo, habitualmente denominada 'velocidad crítica'.

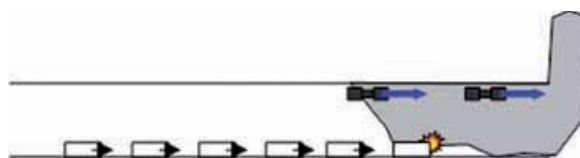


Figura 5. Estrategia para ventilación longitudinal y tráfico fluido

En algunos casos, la utilización de pozos permite realizar una ventilación de tipo longitudinal en túneles someros y de media longitud donde es posible ubicar puntos de salida del aire que eviten que, en caso de incendio, los humos barran todo el túnel pero en los que sea posible basar la salvación de los usuarios en el control por arrastre. De una parte es preciso determinar los caudales de aire precisos para lograr una velocidad del aire que impida el retroceso de los humos en la zona del foco y por el otro lado el confinamiento para evitar que la nube de humos sobrepase el punto de localización del pozo (Figura 6). Este esquema se ha aplicado con éxito en números túneles como, por ejemplo, los del Proyecto Calle 30 (ref. [15]).

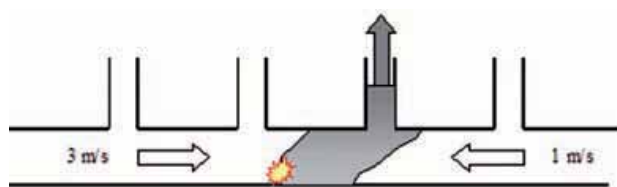


Figura 6.- Estrategia de ventilación con pozos de extracción

Es importante resaltar que, desde el punto de vista de la evaluación de las condiciones de evacuación, la estrategia longitudinal presenta una ventaja considerable ya que el nivel de seguridad conseguido en el túnel será máximo siempre que:

- El sistema se haya dimensionado apropiadamente.
- Se produzca una activación rápida del sistema de ventilación
- No se produzcan fallos de equipos.

5.2. Dimensionamiento

El dimensionamiento de un sistema longitudinal consiste en la determinación del número de ventiladores necesarios para lograr la velocidad del aire crítica en el escenario más desfavorable. Bajo estas hipótesis el número de aceleradores a instalar será tal que aporten el empuje suficiente para contrarrestar las pérdidas existentes a lo largo de todo el túnel. Así se debe cumplir la clásica ecuación de equilibrio:

$$\sum_{n=1}^{num_vent} \Delta P_n \geq \Delta P_{roz} + \Delta P_{sin\ g} + \Delta P_{vehic} + \Delta P_{chim} + \Delta P_{atm}$$

donde :

- ΔP_n : Empuje generado por el grupo n de ventiladores.
- $\Delta P_{roz} + \Delta P_{sin}$: Pérdidas de carga por rozamiento y singularidades.
- ΔP_{vehic} : Pérdidas de carga por vehículos detenidos en el túnel.
- ΔP_{atm} : Diferencia de presión entre bocas por condiciones atmosféricas.
- ΔP_{chim} : Efecto ascendente debido a efectos de flotabilidad por incendio.

Aunque la temperatura en el túnel debida al incendio influye en todos los términos, es especialmente importante su influencia en el empuje que aportan los ventiladores, ya que:

$$\Delta P_{vent} = \sum_{N_{vent}} \frac{\eta_{inst} \cdot F_{nom}}{S_{tun}} \cdot \left(1 - \frac{V_{crit}}{V_{chorro}} \cdot \frac{T(x)}{T_{amb}} \right) \cdot \frac{T_{amb}}{T(x)}$$

Donde $T(x)$ es la temperatura del aire en un punto x del túnel, es decir,:

$$T(x) = T_0 + \left(\frac{\dot{Q}_{conv}}{\rho_0 \cdot S_{tun} \cdot C_p \cdot V_{crit}} \right) \cdot e^{-\frac{h_{conv} \cdot Per}{\rho_0 \cdot S_{tun} \cdot C_p \cdot V_{crit}} \cdot x}$$

Donde se puede observar que la temperatura depende de la potencia máxima convectiva del incendio, además de otros términos que está vinculados a las características térmicas y geométricas del túnel.

Este efecto de reducción del empuje con la temperatura se representa en la Figura 7 para distintos valores de la velocidad de aire en el túnel.

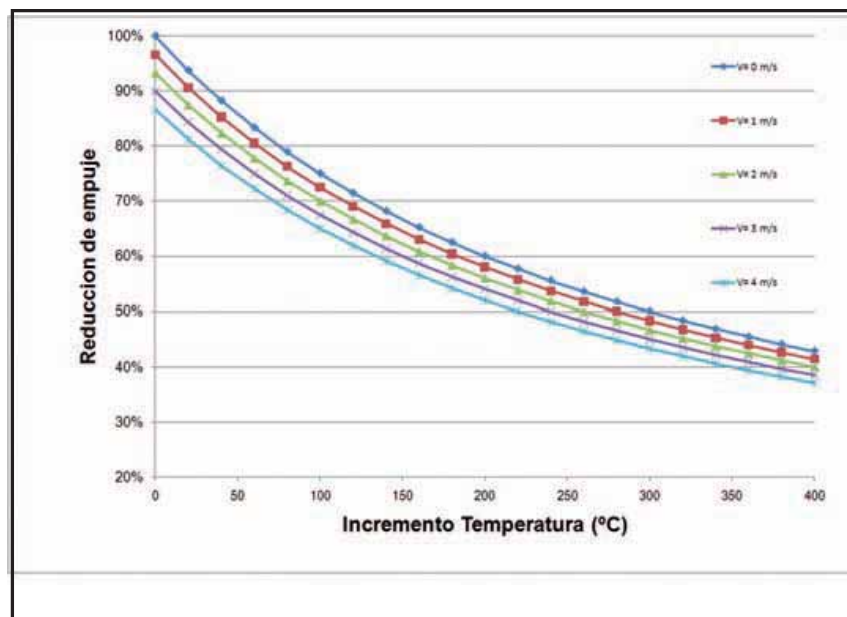


Figura 7. Influencia de la temperatura en el empuje efectivo de los aceleradores.

Este hecho obliga a verificar el cumplimiento de las condiciones de dimensionamiento suponiendo el incendio en distintas ubicaciones. La Figura 8 muestra el resultado de dimensionamiento para el caso concreto de un túnel de la VSM, donde puede apreciarse que el margen entre empuje proporcionado y resistente es, prácticamente siempre positivo.

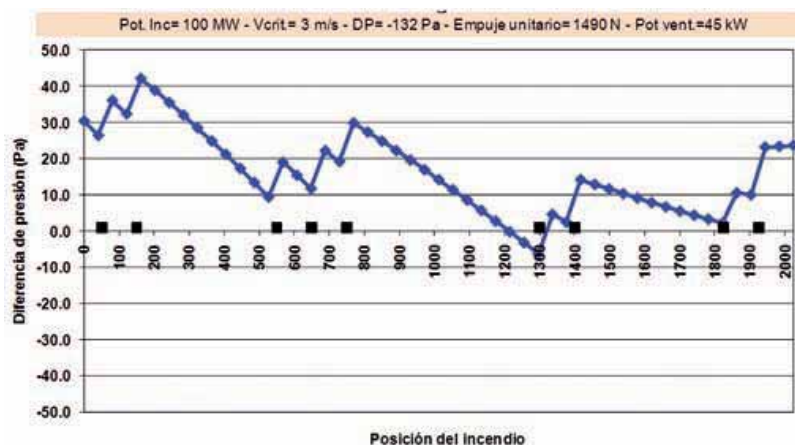


Figura 8.- Verificación del dimensionamiento. Margen de empuje.

En la Figura 9 se muestra el mismo tipo de resultados para distintas potencias de incendio máximas, donde puede apreciarse que cuanto mayor es ésta, el margen de empuje disponible frente a necesario es menor e incluso negativo.

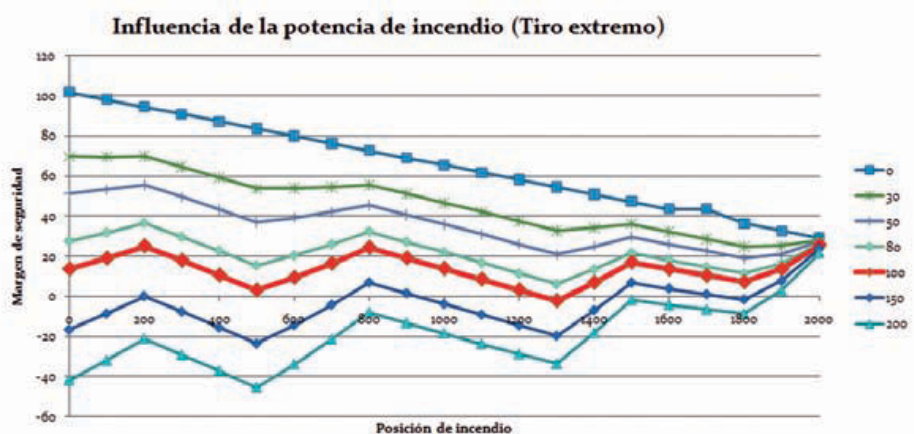


Figura 9.- Influencia de la potencia de incendio. Margen de empuje.

Así, los cálculos en régimen permanente pueden refinarse si para ello se emplea un estudio transitorio de las condiciones de evacuación, lo que precisa una definición concreta de la curva de incendio como evolución a lo largo del tiempo y emplear modelos en régimen transitorio que permitan comprobar el resultado de velocidad del aire en los escenarios predefinidos.

Así, por ejemplo, para un caso de incendio muy superior al de proyecto, se pueden obtener, para la posición de incendio y condiciones atmosféricas pésimas, las velocidades esperadas (a modo de ejemplo véanse los resultados mostrados en la Figura

10). Como puede observarse, las velocidades del aire estarían por encima de los 3 m/s (velocidad crítica) durante un periodo importante de tiempo.

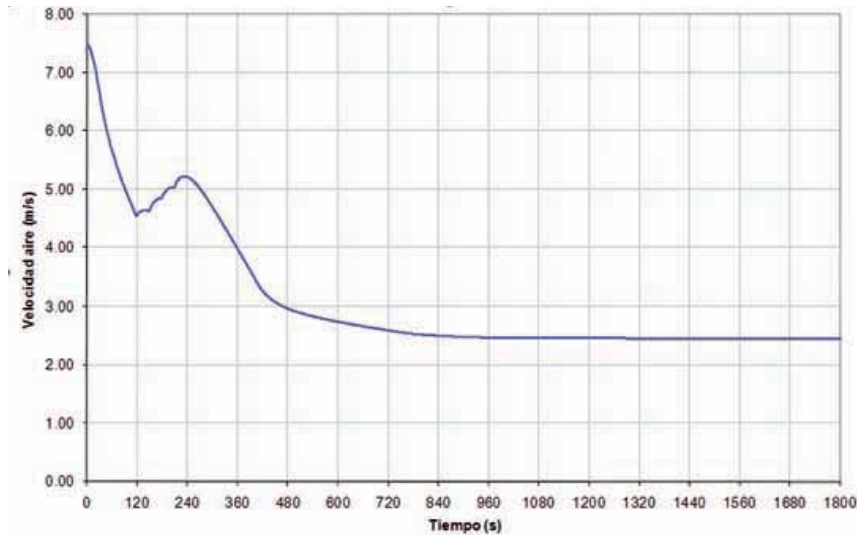


Figura 10. Evolución temporal de la velocidad del aire en el túnel.

Este tipo de estudios permite estimar las consecuencias de tener una potencia de incendio de magnitud superior a la de proyecto. En el caso del ejemplo anterior, el efecto de un mayor incendio al considerado consistiría en una reducción de la velocidad del aire en la zona del foco, lo que ocasionaría un ligero retroceso de humos (del orden de las decenas de metros) aguas arriba, lo que no implica una reducción de seguridad en este tipo de túnel.



Figura 11. Efecto de retroceso de humos por velocidad reducida

5.3. Sistema de control

El R.D. 635 del año 2006 establece la necesidad de profundizar en las características y prestaciones a exigir para los sistemas informáticos de control de ventilación en túneles tanto para las situaciones de servicio como de incendio.

En general, este tipo de sistemas tienen como objetivo fundamental lograr la reducción de los tiempos de respuesta por parte de los sistemas, y del personal de explotación, a la vez que aportar la mayor flexibilidad posible en las pautas de actuación manuales y automáticas.

Con el objetivo de optimizar el funcionamiento de la ventilación es posible desarrollar algoritmos de control que establecen actuaciones sobre los distintos equipos en función de las condiciones previas al inicio del incidente pero también la evolución de las mismas durante el mismo.

En el caso de túneles unidireccionales sin retención el sistema de control suele ser razonablemente sencillo y los desarrollos se centran principalmente en el apoyo al operador en la detección y ubicación del incendio que en sistemas de control continuo.

Sin embargo, aunque no es habitual, la utilización de modelos numéricos permite predecir debilidades originadas cuando se pueden dar condiciones de tiro natural muy importantes que, durante la fase de detección y actuación inicial pueden conducir a situaciones potencialmente peligrosas (avance de humos por encima de la cola e vehículos).

A modo de ejemplo, en la Figura 12 se pueden observar estos fenómenos transitorios mediante la velocidad del aire que podrían darse en el túnel debido a condiciones climatológicas adversas. En algunos casos puede precisarse el encendido de aceleradores como medida preventiva.

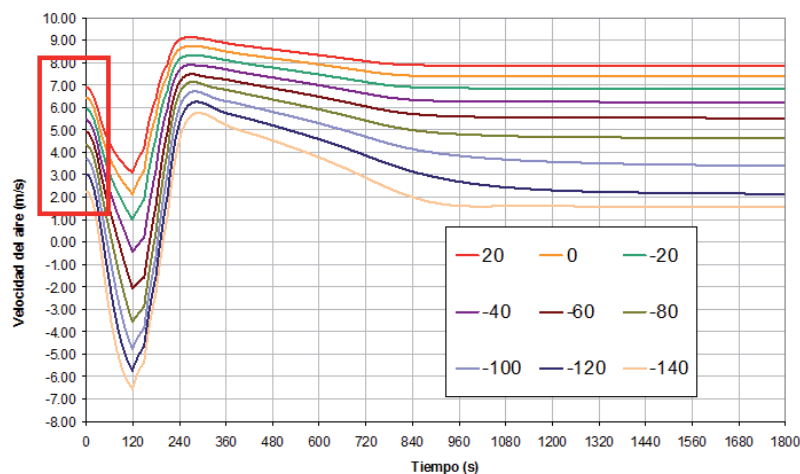


Figura 12. Efecto desfavorable debido a condiciones meteorológicas adversas

6. Túneles con tráfico bidireccional o unid. con congestión

6.1. Estrategia de ventilación

En el caso de túneles ventilados longitudinalmente con tráfico bidireccional, o unidireccional congestionado, la estrategia anteriormente indicada deja de ser recomendable, ya que implicaría impulsar los humos del incendio sobre usuarios del túnel.

En ese caso lo que se busca es facilitar la estratificación de los humos, de forma que se favorezca la evacuación de los usuarios del túnel y el acceso de los servicios de emergencia (Figura 13). Para ello, la ventilación longitudinal debe ser accionada de forma que compense la corriente de aire existente, manteniendo ésta en valores reducidos.

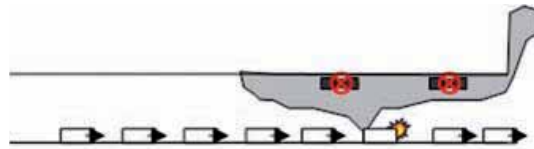


Figura 13.- Estrategia para evacuación en ventilación longitudinal y tráfico congestionado o bidireccional

Una vez se ha finalizado la fase de evacuación pueden generarse actuaciones de expulsión de los humos hacia uno de los lados. Para aquellos lectores que deseen profundizar en este campo, próximamente se publicará el informe PIARC “Operational Strategies for Road Tunnel Ventilation” (ref. [11]) que recoge las tendencias en control de ventilación.

6.2. Dimensionamiento

El correcto funcionamiento de sistemas de extracción pasa por cubrir los siguientes objetivos:

- Disponer de una capacidad de extracción de humos suficiente en la zona de incendio
- Disponer de capacidad suficiente para lograr el control de la corriente longitudinal en el túnel

El primer aspecto está directamente relacionado con la magnitud del incendio, es decir, el caudal de humos generado. En estos casos, la caracterización de la curva de incendio, entendida como: fase de crecimiento, etapa de potencia máxima y curva de decrecimiento es fundamental; ya que, salvo raras excepciones no resulta económicamente viable dimensionar sistemas de ventilación de extracción con capacidad suficiente para aspirar los caudales de humo generados por incendios de gran magnitud (100 ó 200 MW).

En estos casos, un estudio de las condiciones de evacuación es crucial para poder determinar el nivel de seguridad de la solución.

Para ello se emplean modelos numéricos que permitan estudiar las condiciones ambientales en el interior del túnel con gráficas como la mostrada en la Figura 14

que en la que se representan las trayectorias de evacuación de los usuarios (en amarillo y verde) donde se pueden observar distintos periodos de reacción en el que el usuario se mantiene en su posición (línea vertical de abscisa constante) para posteriormente desplazarse a una velocidad constante, de 1 m/s en trazo amarillo y 1.4 m/s en verde, bien hacia una boca o hacia la otra.

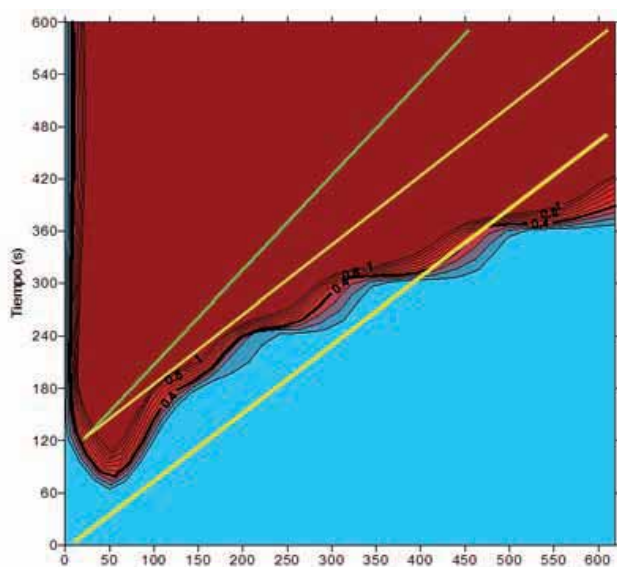


Figura 14.- Análisis de las condiciones de evacuación. Tráfico bidireccional

Si bien este tipo de modelos presentan incertidumbres considerables, son herramientas útiles para comparar distintas soluciones o tener estimaciones sobre la capacidad necesaria para el confinamiento de los humos.

El segundo aspecto, la capacidad de control longitudinal se puede conseguir bien con la disposición de aceleradores (existen referencias también del uso de toberas Saccardo con este objetivo) o con la actuación de los cantones situados lejos de la zona de incendio (por eso esta última solución tan solo es adecuada en túneles de gran longitud) que compensen desequilibrios en la corriente longitudinal.

Sin embargo, el aspecto más importante está relacionado con la definición de algoritmos específicos con este fin en el sistema de control, como se explica a continuación.

6.3. Sistema de control

Una de las grandes novedades, en relación con la seguridad frente a incendio, recogida en el Real Decreto, consiste en la obligación de disponer, para túneles con longitudes importantes, además de exutorios regulables, sistemas de control de la

corriente longitudinal. En concreto se dice (apartado 2.11.7 del anejo 2):

“Para los túneles de longitud superior a 1.000 metros, de tráfico bidireccional, con un volumen de tráfico superior a 1.000 vehículos por carril, dotados de un centro de control y de ventilación transversal o semitransversal, deberán adoptarse las siguientes medidas mínimas relativas a la ventilación:

- se instalarán reguladores de aire y humo que puedan funcionar separadamente
- la velocidad del aire longitudinal deberá controlarse constantemente
- el proceso de control del sistema de ventilación (reguladores, ventiladores, etc.) deberá ajustarse en consecuencia”

Este requisito, presenta un desafío considerable a la hora de especificar, implementar y probar sistemas de este tipo, si bien pueden lograrse resultados satisfactorios, como se muestra en la Figura 15, correspondiente a las pruebas reales del sistema de control del túnel de Vielha.

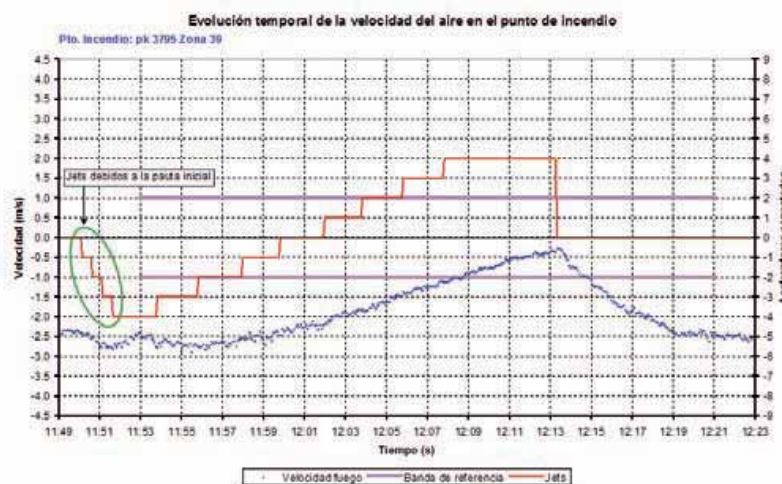


Figura 15.- Aplicación de sistemas de control de la corriente longitudinal.

Para obtener más información de este tema pueden consultarse artículos específicos (ref. [18]).

7. Otros aspectos de interés

En los apartados anteriores se han recogido un conjunto de aspectos cuya aplicación sistematizada a los túneles pueden considerarse retos en los próximos años. A continuación se recogen sucintamente algunos aspectos que los autores han considerado conveniente resaltar.

7.1. Interacción entre equipamientos

La participación de equipos multidisciplinarios durante la redacción de un proyecto presenta importantes ventajas al permitir una especialización y detalle muy considerable. Sin embargo, los inconvenientes de esta tendencia es la aparición de indefiniciones o incoherencias entre sistemas que, excepto con una aproximación generalista, son difíciles de detectar y anticipar antes de la fase de ejecución.

En concreto es habitual encontrar durante la ejecución dificultades específicas entre los sistemas de ventilación, suministro eléctrico y sistema de control, al provenir de entornos muy diferenciados.

En este artículo se ha considerado importante llamar la atención específicamente sobre la alimentación del sistema de ventilación.

Tradicionalmente el dimensionamiento del sistema de ventilación suele realizarse previamente al dimensionamiento del sistema de suministro eléctrico. Para ello, los proyectistas de cuadros, centros de transformación y acometida emplean como datos entrada la potencia instalada de, entre otros sistemas, los ventiladores.

En el caso de grandes equipos de ventilación (ventiladores axiales de conducto) se suelen proyectar variadores de frecuencia que, una vez configurados, permiten realizar arranques y paradas de equipos sin grandes sobrecargas en el sistema eléctrico.

Sin embargo, en el caso de túneles con ventilación longitudinal y aceleradores, no es habitual disponer, por motivos económicos pero también de mantenimiento, variadores de frecuencia sino arranque de tipo estrella triángulo y, en el mejor de los casos, arrancadores estáticos.

Así, los picos de arranque de los aceleradores pueden oscilar, como orden de magnitud, entre 7 veces la intensidad nominal para arranque estrella- triángulo y unas 3 veces para arrancadores estáticos.

Por su parte, los algoritmos de ventilación en caso de incendio suelen requerir arranques “inmediatos” lo que, si el número de equipos es muy importante, requiere tiempos de espera entre equipos reducidos.

El principal problema surge cuando las limitaciones del sistema de arranque de la ventilación obliga a adoptar “algoritmos” de arranque complejos a implementar en

el sistema de control ya que este tipo de planteamiento requieren estudios específicos (Figura 16), algoritmos complejos y tiempos de verificación importantes.

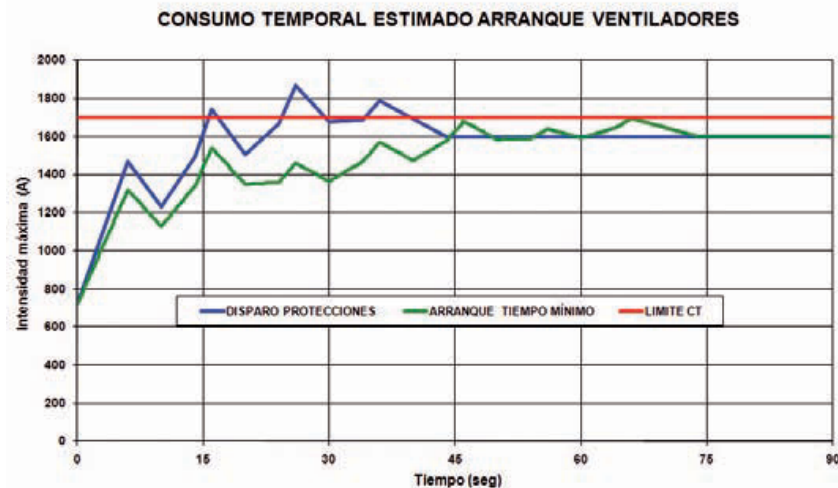


Figura 16.- Influencia de tiempos de arranque en consumos eléctricos.

Por otra parte, las consecuencias de un fallo tanto conceptual en estos sistemas suele tener consecuencias catastróficas (pérdida de las instalaciones en caso de incendio) por lo que se debería prestar gran atención en todas las fases.

7.2. Sistemas fijo de extinción

La discusión acerca de la utilización de sistemas de extinción en túneles viene produciéndose desde hace varias décadas. En base a algunos ensayos (principalmente los de Offeneg), el Comité de Túneles de PIARC una de las organizaciones más involucradas en la elaboración de recomendaciones de seguridad para túneles de carretera, se había venido posicionando en contra de su uso en su Congreso de Sydney en 1983 y posteriormente en otros informes PIARC (ref. [15]).

Sin embargo, fruto de la creciente discusión, la aparición de nuevas tecnologías y la aplicación con éxito en países como Japón o Australia, se procedió a elaborar un nuevo informe (ref. [110]), "Fixed" publicado en el año 2008 y, en el ciclo actual, se está trabajando en un nuevo documento para profundizar en este tema.

Como resultado de esta corriente, los sistemas fijos de extinción se están incorporando, dentro del enfoque prestacional referido, a los proyectos como una herramienta más para garantizar los requisitos mínimos de seguridad establecidos en el Real Decreto.

En concreto, como referencia de ensayos a gran escala caben citar los que, en el ámbito del proyecto de túneles de Calle 30, se realizaron en el túnel de ensayos de San Pedro de Anes, para evaluar la interacción entre sistemas de ventilación y agua nebulizada de alta presión (Figura 17).



Figura 17.- Realización de uno de los ensayos de incendio a escala real

Entre los objetivos de estos ensayos hay que resaltar el estudio de las condiciones de evacuación ante distintas actuaciones del sistema de ventilación y de extinción, la verificación de la capacidad de control o extinción bajo distintas condiciones de ventilación y el entrenamiento y evaluación por parte de los Bomberos del Ayuntamiento de Madrid

Durante los ensayos se adoptaron distintas condiciones de ventilación y cargas de fuego similares a las disponibles en los túneles de la M-30 y se evaluaron las condiciones de evolución de temperaturas, visibilidad (Figura 18) y velocidad del aire.

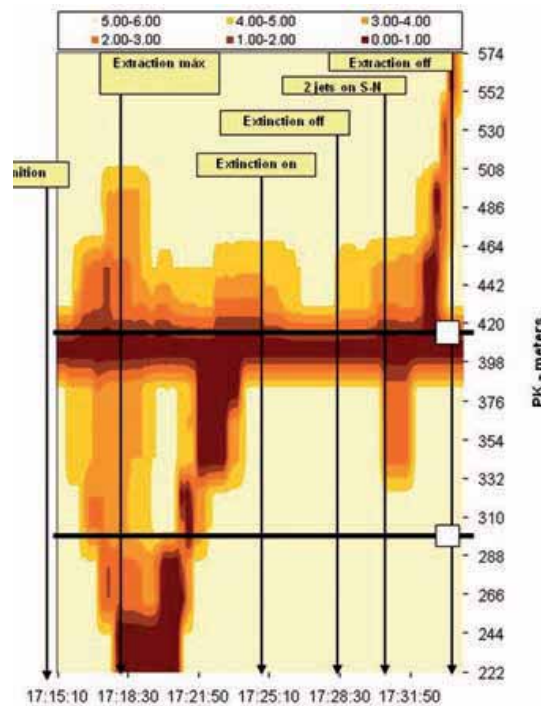


Figura 18.- Evolución temporal de la visibilidad en el interior del túnel

8. Conclusiones

La entrada en vigor del Real Decreto 635 del año 2006, sobre los requisitos mínimos de seguridad en túneles de carretera ha supuesto una referencia fundamental para administración, proyectistas, explotadores y servicios de emergencia.

Dicha normativa, originaria de la Directiva Europea, recoge la experiencia adquirida en los últimos años en importantes proyectos europeos dedicados a la seguridad frente a incendio en túneles.

Sin embargo la aplicación de los resultados obtenidos y la verificación de la idoneidad de las soluciones siguen requiriendo su adaptación al esquema tradicional: redacción de proyecto - ejecución – explotación.

El presente artículo intenta repasar, por una parte, aquellos aspectos (teóricamente resueltos) pero en los que los autores creen preciso incidir por su repercusión en la seguridad frente a incendio, y otros que, por su controversia o novedad se han definido como nuevos retos.

En concreto, aspectos como la correcta interpretación y definición del incendio de proyecto y la implementación adecuada de sistemas para el control de la ventilación se consideran elementos claves en los próximos años.

9. Referencias

- [1] Alarcón, E.: “La Seguridad de las Infraestructuras. El caso de los incendios en Túneles”. Real Academia de Ingeniería. 2002
- [2] DIRECTIVA 2004/54/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. Abril 2004
- [3] Real Decreto 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la red de carreteras del Estado. Mayo de 2006.
- [4] Del Rey, I.; Vega, J.; Fraile, A.; Alarcon, E. “Cuantificación de la seguridad en túneles”. IV Simposio de túneles. Andorra, Octubre 2005.
- [5] “Fire and Smoke Control in Tunnels”. PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 1999
- [6] “Integrated approach to road tunnel safety”. PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 2007
- [7] Del Rey I. et all. “Ventilation system design and large scale fire tests”.
- [8] “Guide des dossier de sécurité des tunnels routiers. Fascicule 4. Les études spécifiques des dangers (ESD)”. CETU. Sept 2003
- [9] “Systems and equipments for fire and Smoke control”. PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 2007
- [10] “Road Tunnels: An assessment of Fixed Fire Fighting Systems”. PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 2008
- [11] “Road Tunnels - Operational Strategies for Tunnel Ventilation” PIARC Committee on Road Tunnel Operations. Pendiente de publicación.
- [12] Ingason H.; Lonnemark A. “Heat release rates from heavy goods vehicle trailer fires in tunnels”. Fire Safety Journal. 2005.
- [13] Tovar, J.; “Autoprotección y gestión de túneles ferroviarios y carreteros”. Novedades en la Protección contra incendios en túneles. Fundación Fuego. Madrid. Dic. 2009
- [14] “Best Practice Guidelines” Special Interest Group on Quality and Trust in Industrial CFD. ERCOFTAC. 2000
- [15] Del Rey, I.; Alarcón, E.; Espinosa, I. “Ventilación en caso de incendio y gestión medioambiental en los túneles de Calle 30”. Ingeotúneles. Capítulo 23. 2009
- [16] “Le déroulement des opérations de sécurité lors d’un incendie en tunnel routier”. Les notes d’information du CETU (nº13). CETU. 2005.
- [17] Puchovsky M. “Performance-based codes and Standards for Fire Safety”. NFPA Fire Protection Handbook. 19th edition. 2003
- [18] Espinosa, I.; Maroño, J.L.; Del Rey, I. Alarcón, E. “Sistemas de control de

ventilación en túneles”. International Congress on “Smoke Control in Buildings and Tunnels”. 2008