

El proyectista ante las exigencias de comportamiento al fuego de los túneles



Designing for fire behaviours in tunnels.
Challenges and lesson learnt

Comité de túneles de la Asociación Técnica de Carreteras
Subgrupo de Trabajo específico "Comportamiento al fuego"
Asociación Técnica de Carreteras (ATC)

Juan Ramón López Laborda
*Ingeniero de Caminos, Canales
y Puertos*

Diego Abril Saéz
Ingeniero Industrial

Revisor
José Ramón Ochoa Vega
Ingeniero de Minas

Resumen

En general, el nivel de seguridad de un túnel de carretera es comparable al de los tramos a cielo abierto. En efecto, el número de víctimas en carretera por km y vehículo es menor en túneles que en el resto de la red viaria. Sin embargo, existen determinados incidentes, que en caso de producirse en un túnel, podrían tener unas consecuencias mucho más graves que si se desarrollasen a cielo abierto. La Directiva 2004/54/CE y el Real Decreto 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en túneles de carretera recogen, de forma muy genérica, las exigencias en el comportamiento frente al fuego de la estructura y de los equipamientos. Además, en España no existe un marco de referencia único que establezca los requisitos a cumplir o fije los criterios metodológicos a seguir por lo que los proyectos de túneles recogen a veces soluciones diferentes e incluso incompatibles. Junto a esto, la incorporación a los túneles de complejos equipamientos de seguridad ha hecho obligatorio la intervención de profesionales de diferentes especialidades con visiones en algunos casos contrapuestas e incluso a la utilización, sin un análisis previo, de soluciones procedentes de otros ámbitos tecnológicos cuya aplicación en los túneles no siempre ha sido satisfactoria. Durante los últimos años la normativa sobre comportamiento al fuego de los materiales en general, incluyendo nomenclatura y sobre todo el enfoque metodológico, ha ido cambiando tanto en España como en Europa. En este artículo, se presenta el estado del arte en lo que respecta al comportamiento al fuego, especialmente de los equipamientos de seguridad, y se repasan determinados aspectos que pueden resultar de interés para el proyectista

Abstract

In general, safety level is comparable in road-tunnels and in open-space sections. In fact, casualty index per km and vehicle, results lower in tunnels than in the rest of the infrastructures. However, there are some accidents that in case of occurring in a tunnel could have much worse consequences than in the open space. Fire resistance requirements for tunnel infrastructures and services are gathered in the documents 2004/54/CE European Directive and "Real Decreto" 635/2006. Besides, in Spain there is not a unique reference for these requirements establishing or for procedure-to-follow definition, so tunnel safety projects could result in different or even non-compatible solutions. In addition, the inclusion of complex safety equipment for the time being has forced the participation of different professionals coming from several disciplines, in some cases with contradictory points of view. Solutions coming from other areas and that have not been successfully tested in tunnels are used without any previous analysis. Fire performance standards for construction materials have changed both in Spain and in Europe during the last years, mainly regarding to nomenclature and methodology. State of the art at this respect -fire resistant performance- is presented in this article, mainly dealing with safety equipment. In addition, several aspects that could result of the interest for the designer are also discussed herein below.

Prólogo

Los importantes incendios ocurridos en los túneles de carretera alpinos de gran longitud entre 1999 y 2005 provocaron la seria preocupación del público, las administraciones y la industria con respecto a la seguridad contra incendios de los túneles de carretera, habiéndose llevado a cabo numerosas investigaciones administrativas y judiciales, algunas de las cuales aún no se han resuelto.

Estas catástrofes dieron pie a la generación de numerosos estudios, incluyendo los llevados a cabo por asociaciones profesionales tales como AIPCR y la ITA (Asociación Internacional de Túneles, ITA en inglés). También provocaron el establecimiento de redes temáticas europeas y de proyectos de investigación tales como los denominados en inglés, FIT, Safe-T, UPTUN, DARTS, Safe Tunnel, Virtual Fires, Sirtaki, L-Surf y Eurotap.

Los incendios en túneles son sucesos infrecuentes, pero de consecuencias potencialmente graves. Desde hace ya tiempo los proyectistas y la ingeniería de túneles han tomado conciencia de este hecho y han desarrollado herramientas de análisis, criterios de proyecto y técnicas de respuesta que permiten alcanzar un grado de seguridad suficiente. Los problemas teóricos y prácticos que plantea el estudio experimental y la modelación de los incendios son importantes y conviene tener presente cuales son las posibilidades y limitaciones de las herramientas de que se dispone.

En general el fuego daña a los materiales habitualmente empleados en la construcción y en las instalaciones y equipamientos. Si son combustibles se suman a la carga del fuego y se consumen durante el incendio mientras que si no lo son disminuyen su capacidad resistente y su rigidez y se ven sometidos a deformaciones impuestas por la elevada temperatura que provoca el fuego. Por tanto la resistencia al fuego es una prestación que ofrecen los materiales no combustibles que, además, son capaces de soportar elevadas temperatu-

ras manteniendo un grado de resistencia suficiente para que no se produzca su ruina.

Por este motivo se hace precisa la disponibilidad de una reglamentación clara, concisa, homogénea y sin contradicciones que enmarque las exigencias que deben cumplir todos y cada uno de los componentes de los sistemas que constituyen las instalaciones y equipamientos de un túnel para garantizar sus prestaciones y durabilidad en una situación de incendio principalmente los que son esenciales o neurálgicos para la seguridad tanto de los usuarios como de los servicios de emergencia y de ayuda a la autoevacuación además de garantizar unas condiciones mínimas de explotación aceptables, evitando la existencia en el mercado de productos no homologados que a veces por mala práctica pasan a formar parte de este tipo de obra pública.

Con este planteamiento, dado que en un túnel intervienen aspectos muy multidisciplinarios que hacen que en muchas facetas se pueda estar en extremos opuestos bien por exceso de reglamentación o por falta de ésta, y lo que es más grave, como ya se ha dicho, con la existencia de contradicciones, que conllevan en muchas ocasiones a un desconocimiento de la normativa o bien a un incumplimiento de la misma, es por lo que el Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras decidió abordar este asunto dando lugar al artículo que ahora se presenta

uno de cuyos objetivos fundamentales es el de reflexionar y poner una señal de alarma sobre un tema al que muchas veces no se le presta la atención que se debe y que está atravesando una época de cambios que no todos conocen, así como el de crear un foro de debate que ayude a un mejor conocimiento del estado del arte en esta materia y a garantizar una buena práctica que mejore las condiciones de seguridad del túnel.

Profundizar sobre cada uno de los temas debe ser una continuación de lo que en el artículo se expone y objeto de debate interno entre los diferentes especialistas a los que afecta.

Por Rafael López Guarga
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente del Comité Técnico C5:
Túneles de Carretera de la Asociación
Técnica de Carreteras

Situación de partida para un proyectista informado

Hoy en día, a un proyectista, informado o no, le es fácil acceder a una panoplia de normas, disposiciones y recomendaciones de diferentes rangos y nacionalidades e incluso en la misma nacionalidad procedentes de distintos organismos que a veces se contradicen. Dependiendo de su origen geográfico, formación académica o sector en el que haya desarrollado



Figura 1. El proyectista como conjunto de profesionales que comparten experiencias

Rutas Técnica

su actividad profesional confiará más en una norma u otra o en el peor de los casos se referenciará en algún otro proyecto arrastrando sus vicios originales y así sucesivamente como si fuera el "gen egoísta" de Dawkins. El proyectista más informado confiará su suerte a conceptos más recientes en la seguridad de túneles como el diseño por prestaciones que sobrevuela imparable tapando el diseño por requisitos que tan cómodo resulta para algunos. Hay que aclarar que el término proyectista no se refiere a una persona individual, figura casi renacentista, sino a un conjunto de profesionales que comparten sus experiencias y conocimientos.

El nivel de seguridad de un túnel de carretera es comparable al de los otros tramos a cielo abierto. En efecto, el número de víctimas en carretera por km y vehículo es, por norma general, menor en túneles que en el resto de la red viaria. Sin embargo, existen determinados incidentes, que en caso de producirse en un túnel, tienen unas consecuencias mucho más graves que si se producen a cielo abierto. Entre estos incidentes se encuentran el vertido de sustancias tóxicas, las inundaciones, el incendio, etc, siendo éste último el que tiene una mayor influencia en la seguridad de los usuarios. De hecho, las mayores tragedias que se han registrado en túneles de carretera han sido debidas a un incendio, cuyo análisis ha dado lugar a un importante desarrollo normativo en este ámbito. (1)

Sin embargo, la Directiva 2004/54/CE (2) y el Real Decreto 635/2006 de requisitos mínimos de seguridad en túneles de carretera (3) recogen de forma muy genérica las exigencias en el comportamiento frente al fuego de la estructura y de los equipamientos. Además, en España no existe un marco de referencia único que establezca los requisitos a cumplir o fije los criterios metodológicos a seguir por lo que los proyectos de túneles recogen a veces soluciones diferentes e incluso incompatibles.

El RD 635/2006 hace dos referencias relacionadas con el comportamiento al fuego:

"Artículo 2.9 Resistencia de la estructura a los incendios y al agua.

2.9.1 la estructura principal de todos los túneles en los que el derrumbamiento local de la estructura pueda tener consecuencias catastróficas (por ejemplo, túneles subacuáticos o túneles que puedan causar el colapso de estructuras próximas de importancia) garantizará un nivel suficiente de resistencia al fuego"

Artículo 2.20. Resistencia de los equipos al fuego

El grado de resistencia al fuego de todos los equipos del túnel será el adecuado para mantener sus funciones de seguridad en caso de incendio en aquel"

Tomando como base estas dos referencias tan generales, el proyectista debe abordar un tema tan complejo y de consecuencias tan graves como es el diseño del comportamiento al fuego del túnel en su conjunto. La inexistencia de un marco único que establezca los requisitos a cumplir o fije los criterios metodológicos a seguir en los proyectos de túneles conlleva a que en ocasiones se recojan en una misma infraestructura soluciones incompatibles entre sí. Además, la incorporación a los túneles de complejos equipamientos de seguridad ha hecho obligatorio la intervención de profesionales de diferentes especialidades con visiones en algunos casos contrapuestas e incluso a la utilización, sin un análisis previo, de soluciones procedentes de otros ámbitos tecnológicos cuya aplicación en los túneles no siempre ha sido satisfactoria.

Durante los últimos años la normativa sobre comportamiento al fuego de los materiales en general, incluyendo nomenclatura y sobre todo requerimientos, ha ido cambiando tanto en España como en Europa. El Centro de Estudio de Túneles de Lyon (CETU) publicó en 2005 una Guía Metodológica sobre el Comportamiento al Fuego de Túneles de Carreteras (4) y en 2011 un complemento a la misma (5). El Manual de Túneles de la World

Road Association (6) incluye también referencias que pueden consultarse, habiéndose creado en otros ámbitos de la industria y la construcción grupos de trabajo relacionados con la seguridad frente a incendios.

¿Resistencia o comportamiento al fuego?

Cualquier producto que se incorpore a una obra de construcción, incluyendo tanto las de edificación como las de ingeniería civil, debe cumplir unos requisitos básicos de Seguridad en caso de incendio.

Informados de las condiciones que establece el Real Decreto de Seguridad 635/2006, el proyectista se marca la obligación de ser lo más riguroso posible al menos en cuanto a la definición de conceptos. Los artículos citados en el apartado anterior se refieren a la resistencia al fuego y obvian un aspecto mucho más amplio como es el comportamiento al fuego.

Con el término "Comportamiento al fuego" se entiende la respuesta de un elemento cuando se expone a un fuego específico o, si se utiliza la definición que se incluye en la norma UNE EN13.943, "cambio en, o mantenimiento de, las propiedades físicas y/o químicas de un objeto y/o estructura expuesta al incendio". (7)

Este concepto incluye tanto la reacción como la resistencia al fuego. Mientras que la reacción evalúa la respuesta de un producto que expuesto al fuego pudiera contribuir con su propia descomposición al desarrollo del mismo, la resistencia al fuego indica su capacidad para mantener determinadas propiedades en esta situación. Por lo tanto un determinado sistema o subsistema puede incluir productos que no incrementen la peligrosidad del incendio pero que no sean capaces de mantener sus funciones, por lo que el proyectista debe establecer los diferentes niveles de seguridad contra el fallo de los mismos basándose en las normas y/o su experiencia.

La norma UNE EN13.943 define ambos conceptos de la siguiente manera:

- Reacción al fuego: respuesta de una muestra cuando se expone a un fuego bajo las condiciones especificadas en un ensayo de fuego
- Resistencia al fuego: capacidad de una muestra de resistir un fuego o dar protección frente a él durante un tiempo.

La Comisión Europea a través de su Decisión 2000/147 (8), derogada, publicó la clasificación de productos en función de su reacción al fuego: las conocidas como Euroclases A1, A2, B, C, D, E y F, enumeradas de mejor a peor reacción al fuego, con lo que se pretendía unificar los diferentes métodos de clasificación y evaluación que existían en Europa. En España, el RD 842/2013 y el Reglamento Delegado UE 2016/364 son el marco actualmente vigente que recoge dicha clasificación. (9) (10)

Para clasificar los productos en función de su reacción al fuego es necesario:

- identificar los que no contribuyen al incendio o lo hacen de forma poco importante;
- medir el calor desprendido cuando se los quema totalmente;
- evaluar su contribución al desarrollo del fuego producido por un único objeto situado en la esquina de una habitación y próximo a ellos;
- evaluar su inflamabilidad expuestos a una llama pequeña, existiendo un conjunto de ensayos normalizados UNE que permite comprobar estos requisitos: ensayos de no combustibilidad, calor de combustión, un único objeto ardiendo y ensayo de inflamabilidad.

Adicionalmente, para cada una de las Euroclases, a excepción de la clase A, se deben declarar unas categorías relativas a la emisión de humos y a la caída de gotas/partículas inflamadas, distinguiéndose tres categorías (s1, s2 y s3), según la velocidad de propagación del humo SMOGRA, en lo referente a la emisión de humos, y otras tres



Figuras 2 y 3. Ensayo a escala real "Room Corner Test" con maquetas realizadas según ISO 9.705 y EN 14.390

categorías adicionales (d0, d1 y d3) en función de la posible producción de gotas durante un determinado tiempo, en lo referente a la caída de gotas.

Los cables eléctricos, de singular importancia en los túneles, se tratan de forma diferenciada en la normativa por lo que en este artículo se tiene la misma consideración.

El segundo concepto que debe considerarse para evaluar el comportamiento al fuego de un producto es su resistencia al fuego que permite conocer la capacidad de una muestra, en unas determinadas condiciones de ensayo, para resistir un fuego (de laboratorio). Debe tenerse en cuenta que el comportamiento real de un producto de construcción sometido a un incendio diferirá del obtenido en la muestra en condiciones de laboratorio.

Los criterios principales, pero no únicos, utilizados para evaluar la resistencia al fuego son: integridad (E), estabilidad o capacidad portante (R), aislamiento térmico (I), funcionalidad de los extractores de humo (F) y continuidad de alimentación eléctrica (PH)

La integridad (E) es la capacidad de un elemento de separación de contener el fuego cuando una de sus caras está expuesta al mismo; se expresa en minutos y para medirla, se establecen tres modos de fallo:

- grietas o fisuras que superen las dimensiones establecidas;
- ignición de una almohadilla de algodón;
- llama mantenida en la cara no expuesta.

La estabilidad o capacidad portante (R) es la capacidad de un elemento de construcción expuesto al fuego de mantener durante un periodo de tiempo y bajo unas determinadas cargas su estabilidad estructural sin llegar al colapso.

El aislamiento térmico (I) expresa el tiempo en minutos durante el que la muestra continúa manteniendo su función de separación sin que se produzca hacia su cara no expuesta una transferencia de calor significativa, medido a través del aumento de temperatura medio y máximo que se produce en esa cara. De esta manera se evita que se produzca la ignición en la cara no expuesta o en un elemento próximo a ella.

En los ensayos de los principales elementos de construcción que se incluyen en un túnel se utiliza la curva ISO-834 que se expresa mediante la siguiente fórmula.

$$T=345\log(8t+1)+20$$

Siendo T la temperatura del aire en grados Celsius y t el tiempo en minutos.

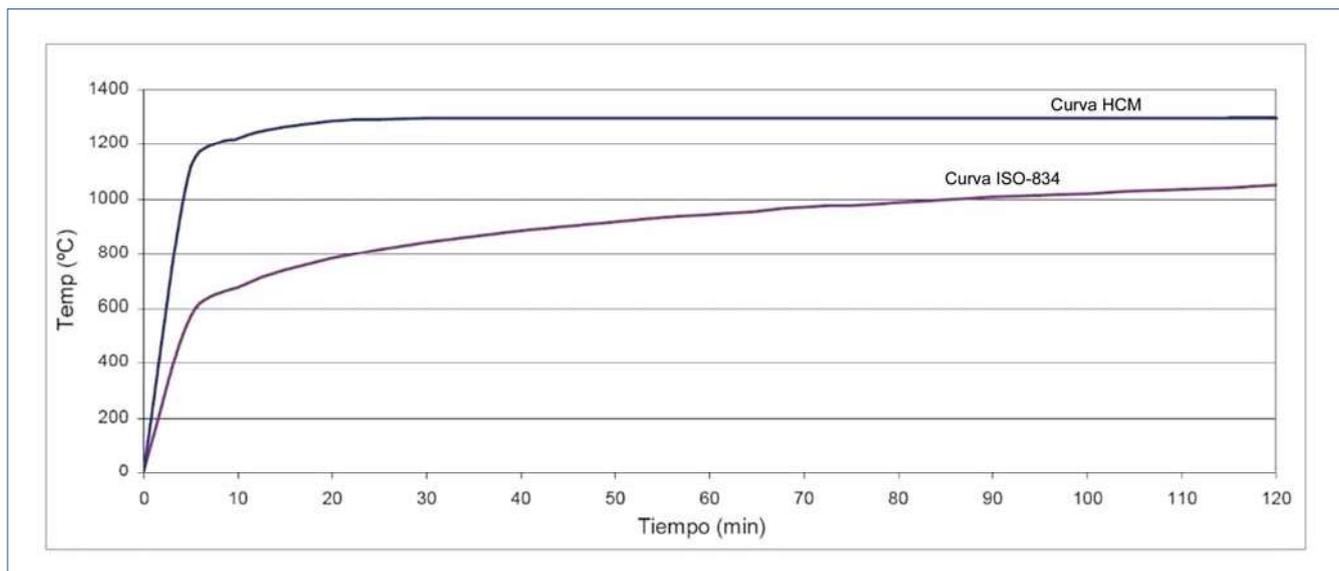


Figura 4. Curvas ISO-834 y HCM

Un incendio que siga esta función alcanzaría 700°C en apenas doce minutos y llegaría hasta los 1.153°C tras cuatro horas (240 minutos).

La función HCM o de hidrocarburos modificada, que aparece en las recomendaciones francesas, se puede expresar por la siguiente fórmula.

$$T=1,280(1,0,325e^{0,167t}+0,675e^{2,5t})+20$$

El aumento de la temperatura es inicialmente muy rápido, alcanzando más de 1.200°C tras los diez primeros minutos del incendio. A los 120 minutos la temperatura está estabilizada en 1.300°C.

Estas funciones se representan gráficamente por las siguientes curvas en el gráfico 4.

Para otros elementos, como los ventiladores, se utiliza el criterio de la funcionalidad (F) que permite evaluar su funcionamiento bajo unas condiciones de ensayo, que se realiza a temperatura constante eligiendo en un rango entre 200°C y 842°C.

Por último, la continuidad de la alimentación eléctrica (PH) se refiere a la capacidad de los cables eléctricos u ópticos de pequeño diámetro para mantener de forma fiable el suministro eléctrico. El ensayo se realiza a temperatura constante de 842°C.



Figura 5. Ensayo de Resistencia al Fuego según UNE-EN 50.200 para cableado. (Cortesía de Prysmian. Cable Afumex Class Firs)

El túnel, ¿local de pública concurrencia?

El proyectista debe tener presente que determinadas instalaciones deben ser legalizadas ante los servicios de industria competentes en la materia y que por lo tanto además del cumplimiento de disposiciones generales deben cumplir la reglamentación y los procedimientos de Seguridad Industrial que sean de aplicación. La omisión de esta responsabilidad hacia otros agentes que intervienen posteriormente en la obra es causa de problemas y puede retrasar su puesta en servicio.

Por tanto, en el momento de definir las características de determi-

nados sistemas o de los elementos que los componen hay que tener en cuenta ciertas normas específicas y entre ellas el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) (11) y sus Instrucciones Técnicas, especialmente la número 28 "Instalaciones en locales de pública concurrencia", dado que puede considerarse al túnel como un local de pública concurrencia, al ser su ocupación en muchas ocasiones superior a 100 personas, consideración que implica obligaciones en cuanto a los requisitos de comportamiento al fuego de los cables eléctricos, alumbrado y otras condiciones de seguridad.



Figura 6 Bomberos sofocando el incendio de un vehículo en un túnel



Figura 7. Camión de bomberos en el túnel de Mont Blanc

¿Dónde están los bomberos?

Las medidas de seguridad que deben adoptarse en un túnel están dirigidas a evitar que se produzca cualquier incidencia y si ésta se produce a minimizar sus consecuencias, en primer lugar en las personas y luego en los medios materiales. Ambos tipos de medidas son conocidas por los profesionales del ámbito de la seguridad y obliga a considerar el túnel de forma similar, con muchos matices, a una implantación industrial o a un edificio de concurrencia pública, debiéndose cumplir unas obligaciones legales que además de ayudar al enfoque de la seguridad pongan al proyectista a salvo de incumplimientos formales, evitándole problemas en posibles litigios.

En algunos túneles, además de disponer de instalaciones de protección contra incendios y de locales que albergan equipos, existen edificios dedicados al control, oficinas, talleres, almacenes de repuestos o garajes. Por tanto debe valorarse en cada caso la obligación de cumplir, además de las del propio sector de actividad, las normativas del ámbito industrial (12) (Reglamento de Seguridad contra incendio en establecimientos indus-

triales), las de la edificación (13) (CTE Seguridad en caso de incendio) y las de Protección Civil (Normas de Auto-protección).

Singular referencia merece el Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios, RIPCI, que establece las condiciones que deben cumplir los equipos para su instalación y mantenimiento. Este Reglamento, hasta hace poco, era de obligado cumplimiento para los equipos instalados en el túnel y por lo tanto el proyectista definía sus condiciones de acuerdo con lo que allí se prescribía, entre otros temas, el cumplimiento de las normas UNE y la periodicidad del mantenimiento, tomándose como referencia para definir la dotación de equipamientos el RD 635/2006. En junio de 2017 se publicó en el BOE un nuevo Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios (14) en el que se cita de forma novedosa en su artículo 1 "objeto y ámbito de aplicación" el RD 635/2006 seguramente para destacar su carácter diferencial como infraestructura respecto a los establecimientos industriales pero también por aspectos competenciales entre ministerios. Sin embargo parece una reseña innecesaria que añade cierta confusión y puede inter-

pretarse como si los equipamientos de los túneles quedaran fuera del Reglamento, que de ser así, dada la generalidad con la que el RD 635/2006 trata alguno de estos temas, podrían generarse situaciones de indefinición en asuntos como el mantenimiento, instaladores homologados u otros alcances.

Por fortuna, en cuanto a las especificaciones a cumplir por los equipos, el Reglamento Europeo de Productos de la Construcción (15) obliga a instalar equipos con marcado CE y el Manual de Explotación, obligatorio según el Real Decreto, debe recoger el plan de mantenimiento y en opinión del Comité de Túneles incluir el cumplimiento del RIPCI como referencia para las instalaciones de protección contra incendios que se proyecten.

Otro ejemplo de confusión al que se enfrenta el proyectista son las condiciones en las que va a suministrar agua a los bomberos; cuestiones como la garantía de disponibilidad de un volumen mínimo o el caudal y rango de presiones en los hidrantes aparecen desde los primeros pasos del proyecto. Para ello el RD 635/2006 remite a la derogada Norma Básica de la Edificación, cuyo alcance y condiciones de actuación de los servicios

Rutas Técnica

de emergencia difieren mucho de lo que ocurre en un túnel, lo que lleva a los conocidos valores de 240 m³ o 120 m³ de volumen de agua y a garantizar el funcionamiento simultáneo de dos hidrantes durante dos horas con caudal unitario de 60 m³/h y presión de 1 bar. Al derogarse la Norma Básica y entrar en vigor el Código Técnico de la Edificación ya no se recogen valores de caudal ni de presión, por lo que o se aplican los ya citados o los de otras normativas como la Circular francesa de agosto de 2000 (16), la NFPA (17), el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales, túneles o el nuevo RIPCI.

La clave, no son tanto los valores que se adopten sino el significado de los valores adoptados. No es posible realizar un buen proyecto o al menos un proyecto coherente sin conocer por ejemplo las estrategias de actuación de los bomberos o el tipo de mangas y lanzas que se utilicen en los parques más próximos; una presión de 1bar en el hidrante sólo será útil para llenar la autobomba pero no para acoplar las mangueras y actuar directamente si así lo consideran los bomberos en su plan de ataque. El valor utilizado por la mayoría de 120 m³ puede tener su origen en una normativa francesa de los años cincuenta que justifica este valor en función de las motobombas disponibles en los parques de la época, 60m³/h, y el tiempo para apagar un incendio, 2 horas. Sin embargo sabemos que algunos incendios duran más y la tecnología ha cambiado mucho en casi setenta años.

Con este ejemplo se pretende mostrar la falta de referencias claras para nuestro proyectista informado y cuando existen no siempre parecen las más adecuadas para el ámbito que nos ocupa.

Por lo tanto se recomienda que se proyecten las instalaciones contando con los profesionales que las van a utilizar, bomberos, servicios de emergencia, operadores de túneles, y teniendo en cuenta las lecciones aprendidas en los simulacros y ejercicios de autoprotección.



Figura 8. Brigada de bomberos acometiendo una tarea de extinción

Otras consideraciones que afectan a cables y ventiladores

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el proyectista debe tener en cuenta dos premisas básicas:

- En caso de incendio, las instalaciones no deben contribuir al mismo ni a propagarlo;
- Determinadas instalaciones (instalaciones críticas) deben mantener su funcionamiento en caso de incendio al menos durante un tiempo mínimo.

En general, los sistemas de seguridad del túnel se pueden clasificar en varios grupos:

- los destinados a evitar que se produzcan incidentes (iluminación, señalización, drenaje);
- los destinados a detectar rápidamente cualquier incidente que se produzca (circuito cerrado de televisión, detector automático de incidentes, detección lineal de incendios...);
- los destinados a facilitar la evacuación de los usuarios en caso de incidente (iluminación de evacuación, señalización de emergencia, megafonía...);
- los destinados a evitar la propagación y expansión del incendio (ventilación, drenaje vertidos tóxicos/inflamables...);
- los destinados a facilitar las labores de los servicios de emergencia (red de hidrantes, sistema de radiocomunicaciones, ...).

De todas estos sistemas, los que resultan críticos, una vez que el incendio ha comenzado, serían los destinados a facilitar la auto evacuación de los usuarios y los destinadas a evitar la propagación del fuego y del humo, siendo uno de los principales equipamientos de seguridad en un túnel el sistema de ventilación. Para fijar su resistencia al fuego una referencia habitual en los proyectos es la Instrucción Técnica anexa a la Circular francesa de agosto de 2000, que para el caso de ventilación longitudinal con prohibición de paso de mercancías peligrosas específica 200°C y 2 horas, elevándose a 400°C en el caso de admitirlo. La práctica habitual en los proyectos es prescribir 400°C y 2 horas independientemente del tipo de mercancía permitida. Aunque la temperatura que se alcanza en un incendio puede ser mayor, la pérdida de rendimiento del ventilador a altas temperaturas es tal que con los equipos actualmente disponibles un aumento en la seguridad exigiendo mayores prestaciones de resistencia al fuego sería mínimo, careciendo de interés en la práctica que el ventilador tenga una resistencia al fuego superior. Las normas UNE EN 12.101-3 y UNE 13.501, (18) (19) recogen las especificaciones que deben cumplir los ventiladores y la clasificación en función de su resistencia al fuego.

Por tanto, llegados a este punto, se debe ser muy exigente en que los ca-



Figura 9. Ventiladores en galería de evacuación en el túnel de Rañadoiro y a la derecha ventiladores en el túnel de Petralba (N-260)

bles de alimentación que suministran energía a los equipos de ventilación y a otros equipamientos e instalaciones de seguridad, como son la alimentación eléctrica o la iluminación de emergencia, no colaboren en aumentar los efectos del incendio y que mantengan de forma fiable su funcionalidad con una resistencia al fuego acorde con la del equipo al que acometen.

En la normativa específica de túneles de aplicación a nivel nacional (Directiva Europea 2004/54/CE y RD 635/2006) no se concreta qué tipo de cable debe utilizarse para alimentar cada equipo de seguridad. Sí que se definen los criterios generales, estableciendo el apartado 2.17 de la Directiva 2004/54/CE, "Los circuitos eléctricos, de medida y de control estarán diseñados de tal manera que un fallo local, debido, por ejemplo a un incendio, no afecte a los circuitos que no hayan sufrido daños"; y el 2.19.2 del RD 635/2006 que "Los circuitos eléctricos, los de medida y los de control estarán diseñados de tal manera que un fallo local, por cualquier causa, no afecte a los circuitos que no hayan sufrido daños", debiéndose por tanto exigir una resistencia al fuego suficiente para mantener las necesarias funciones de seguridad en caso de incendio.



Figura 10. Ventiladores en caverna. Túnel de Somport

En otras normas no específicas de túneles sí que se detallan las exigencias para cada tipo de cable según su uso. Es el caso del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), que en su instrucción técnica 28 "Instalaciones en locales de pública concurrencia" especifica que "los cables eléctricos destinados a circuitos de servicios de seguridad no autónomos o a circuitos de servicios con fuentes autónomas centralizadas, deben mantener el servicio durante y después del incendio, siendo conformes a la norma UNE-EN-50200 y tendrán emisión de humos y opacidad reducida". Estos circuitos deberían pro-

yectarse con cables AS+ o de alta seguridad.

Entre los circuitos críticos cabría destacar al menos:

- alimentación a ventiladores principales;
- iluminación de emergencia por interrupción del suministro eléctrico o de evacuación que no cuenten con equipos autónomos;
- conexiones entre cuadros principales y secundarios cuando de éstos dependa la alimentación a equipos críticos;
- sistemas de detección y alarma de incendios;

Rutas Técnica

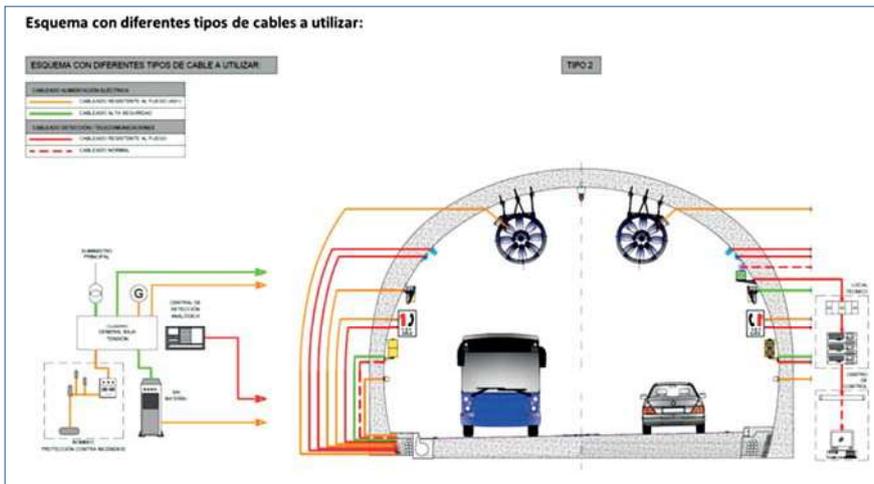


Figura 11. Croquis de propuesta de utilización de cables AS+



Figura 12. Ejemplos de cable AS y AS+ con nuevo marcado de clase de reacción al fuego. Cortesía de Prysmian

- redes troncales de comunicaciones (fibra óptica del sistema de comunicaciones de la GTC, vídeo vigilancia, etc.).

Sin embargo, las temperaturas máximas que pueden registrarse en un túnel en caso de incendio pueden

superar el nivel de resistencia de los cables normalizados (AS+), ensayados a una temperatura de 842°C, por lo que su instalación aérea a lo largo del túnel no asegura al 100% la resistencia frente a un incendio, siendo recomendable aplicar algún tipo de

protección adicional. Una manera de asegurar esta resistencia al fuego es realizar la instalación de los cables de forma subterránea o embebida en el hormigón de la sección perimetral del túnel.

Como ya se ha indicado al principio del artículo para evaluar el comportamiento al fuego se debe considerar tanto la reacción como la resistencia, siendo ambos aspectos en el caso de los cables de singular importancia por lo que deben ser objeto de especial atención por el proyectista, siendo sorprendente que sólo desde el 1 de julio de 2017, fecha de entrada en vigor del RIPCI, pueda asegurarse que los cables con marcado CE que se comercializan cumplan las mismas prescripciones en cuanto a su comportamiento al fuego independientemente de su procedencia. La consideración del túnel como local de pública concurrencia obliga a que los cables cumplan como mínimo con una clase de reacción al fuego determinada (Cca – s1b, d1, a1), exigencia que el proyectista debe de tener en cuenta, debiéndose verificar su cumplimiento en obra al recepcionar el material con el adecuado marcado (el requisito adicional a1 se refiere a la acidez de los gases emitidos durante el incendio). Respecto a la resistencia al fuego todavía no existe una armonización en la clasificación y el código de colores que se utiliza puede llevar a la confusión según la procedencia



Figuras 13 y 14. Colocación de tubos embebidos hasta la clave en el canto de la junta entre puestas del revestimiento. Túnel de Caldearenas en la A-23

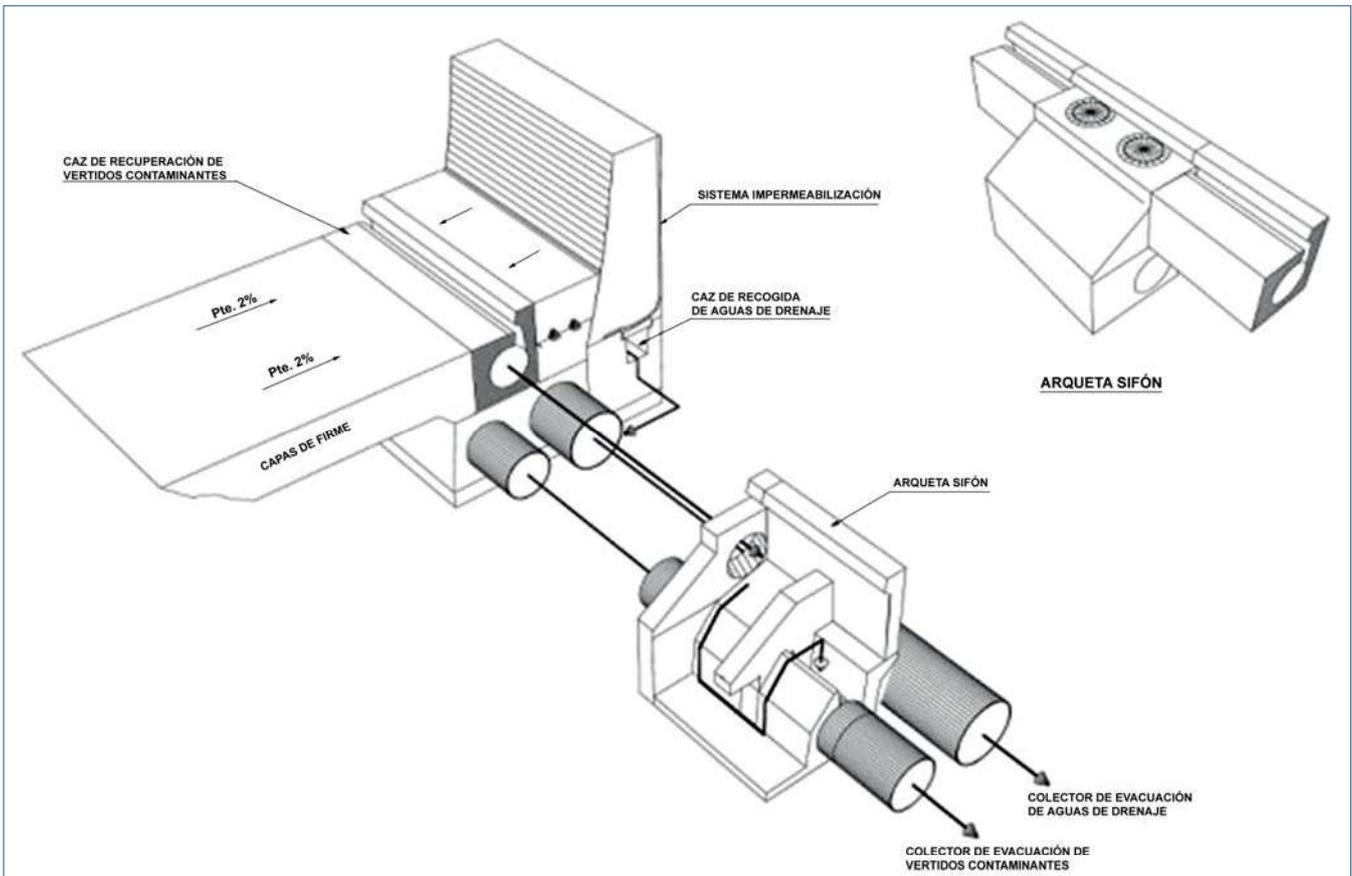


Figura 15. Sección Tipo de Sistema de recogida de vertidos contaminantes y potencialmente inflamables

del cable, por lo que se recomienda a todos los intervinientes en el proyecto y en la obra que estén especialmente atentos a estos temas.

Por último, en un túnel hay otras infraestructuras e instalaciones auxiliares cuyo comportamiento al fuego debe tenerse en cuenta en el proyecto como son las situadas en los locales técnicos, las arquetas y el sistema de recogida de vertidos potencialmente inflamables, disponiéndose por parte del CETU de una publicación interesante al respecto denominada "Guía de sistemas de protección pasiva contra el incendio". (20)



Figura 16 y 17. Protección pasiva contra incendios. A la izquierda colocación de placas y a la derecha material proyectado. Fotografías CETU

Los elementos estructurales

Aunque como se ha indicado en la introducción no es el objeto principal de este artículo el comportamiento en un incendio de los elementos estructurales del túnel, debe tenerse siempre en cuenta, siendo clave para la seguridad, de tal manera que se eviten co-

lapsos tanto en el interior como en los elementos exteriores o que afecten a equipamientos de seguridad críticos como son los conductos de ventilación, los falsos techos y los tabiques de separación de cantones de ventilación. Las consecuencias de un colapso suelen ser más graves en los túneles urbanos y en túneles sumergidos pero en todos los casos deben analizarse para que no se

dificulte la evacuación de los usuarios y el acceso de los servicios de emergencia, debiéndose también tener en cuenta el coste económico del cierre del túnel a consecuencia de los daños estructurales. Los conceptos de integridad, estabilidad y aislamiento térmico son de aplicación directa para los diferentes elementos estructurales, principales y secundarios, del túnel. (21)

Conclusiones y última esperanza

Con todo lo expuesto se pretende compartir el desasosiego que como proyectista produce la falta de referencias claras en el ámbito del comportamiento frente al fuego. La aplicación de normas y técnicas de otros sectores es un buen punto de partida pero éstas deben observarse bajo una mirada diferente y por lo tanto realizada por profesionales que desarrollen su especialidad dentro del ámbito de la seguridad de túneles, consiguiéndose de esta manera una mayor homogeneidad en los proyectos.

La esperanza es que en breve se disponga de una guía que desarrolle los aspectos que aquí se han presentado y otros muchos que no se han abordado, entre ellos las ventajas y desventajas de los diseños prestacionales. La propuesta ha sido lanzada en muchas ocasiones desde el Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras, ejemplo contrastado de desarrollo de trabajos, pero tal vez la capacidad de convicción no ha sido suficiente o el alcance de lo que se solicita merece una mayor implicación de las empresas y las administraciones.

Dado que los túneles que se proyectan son seguros, el camino hacia su excelencia se logra incorporando con mayor participación a los responsables de protección civil, a los bomberos locales y a los responsables de seguridad, así como las lecciones aprendidas en los simulacros, en los ejercicios de autoprotección y en las inspecciones. Las actuaciones que se están realizando para adaptar los túneles al Real Decreto es una buena oportunidad para avanzar en esta línea.

Para terminar conviene añadir que la situación a la que se enfrenta el proyectista nacional no es diferente a la del resto de los profesionales europeos ya que los problemas son esencialmente comunes. La participación

española en los comités internacionales es cada vez mayor y ello permite valorar con la perspectiva adecuada el nivel de los problemas que se plantean.

Referencias

- (1) V Simposio de Túneles ATC, Bilbao, 2009. Javier Borja López y Juan Ramón López Laborda. "El proyectista ante las exigencias del comportamiento al fuego de las instalaciones de los túneles"
- (2) Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
- (3) Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.
- (4) CETU. "Comportement au feu des tunnels routiers". 2010
- (5) CETU. "Complement au guide du comportement au feu". 2011
- (6) AIPCR. "Manual de túneles de carretera". 2007
- (7) UNE-EN ISO 13943:2012. Seguridad contra incendios. Vocabulario.
- (8) Decisión 2000/147/CE de la Comisión, de 8 de febrero de 2000, por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo en lo que respecta a la clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción. (Derogada).
- (9) Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.
- (10) Reglamento Delegado (UE) 2016/364 de la Comisión, de 1 de julio de 2015, relativo a la clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción de conformidad con el Reglamento (UE) 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- (11) Real Decreto 842/2002, del 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión
- (12) Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales.
- (13) Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- (14) Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- (15) Reglamento Europeo de Productos de Construcción (UE) N° 305/2011
- (16) Circulaire Interministerielle N° 2000- 63 du 25 Aout 2000, relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national. Ministère de L'Interieur/Ministère de L'Équipement, des Transports et du Logement.
- (17) NFPA 502:2017. Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways.
- (18) UNE-EN 12.101-3:2016. Sistemas de control de humo y calor. Parte 3: Especificación para aireadores mecánicos de control de humo y calor (Ventiladores).
- (19) UNE-EN 13.501. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación.
- (20) CETU, "Systèmes de protection passive contre l'incendie. 2017
- (21) IV Simposio de Túneles, Principado de Andorra, 2005. Manuel Romana Ruiz. "El comportamiento del hormigón de los túneles frente al fuego". ❖