

Algunos aspectos del proyecto de túneles de carretera que inciden en su seguridad

Tras los incendios de los Túneles del *Mont Blanc* y *Tauern*, ocurridos casi simultáneamente en 1999, y que han producido un elevado número de víctimas, se han modificado apreciablemente algunos de los criterios para proyectar túneles de carretera. En este trabajo, se realiza un análisis comparado de ambos accidentes y se presentan algunos aspectos que pueden ser tenidos en cuenta, durante la redacción de proyectos de túneles de carretera, para mejorar los niveles de seguridad a lo largo de la explotación de los túneles.

Para centrar los conceptos que tienen relevancia en la seguridad de los túneles de carretera parece oportuno realizar algunas *reflexiones históricas* sobre la propia seguridad de los túneles y sobre algunos hechos que han sido relevantes en los recientes incendios ocurridos en los túneles del *Mont Blanc* y *Tauern*.

La seguridad de los túneles de carretera

En numerosos foros internacionales en los que a lo largo de los últimos años se han debatido las condiciones de seguridad de los túneles, **se ha puesto de manifiesto que los tramos en túnel de una carretera ofrecen menos siniestrabilidad que los de cielo abierto**, y esta afirmación es válida tanto para los túneles de ferrocarril como para los de carretera.

En concreto, de acuerdo con las estadísticas austríacas de carreteras de 1.999, se estiman las siguientes probabilidades:

- 1 accidente por cada 1,1 millones de vehículos por kilómetro, en carreteras principales.
- 1 accidente por cada 3,0 millones de

vehículos por kilómetro, en túneles bidireccionales.

- 1 accidente por cada 6,0 millones de vehículos por kilómetro en túneles monodireccionales.

De acuerdo con estos datos se puede afirmar que un túnel de autovía es del orden de seis veces más seguro que un tramo de carretera a cielo abierto. Sin duda alguna, esta afirmación es cierta a largo plazo; pero el hecho de que en 1.999 se produjeron 51 víctimas mortales en los incendios de los túneles del *Mont Blanc* y *Tauern*, que representan más de la mitad de las víctimas mortales habidas en túneles desde 1.949, ha hecho que la conciencia social sufriera un impacto brutal y se cuestionase la seguridad en los túneles.

La posibilidad de que en un túnel se produzcan accidentes con un elevado número de víctimas radica, básicamente, en las consecuencias que se pueden derivar del incendio de un vehículo en el interior de un túnel.

Estas consecuencias se ven magnificadas por el propio túnel que, por un lado, produce un efecto horno que hace mucho más rápida la elevación de temperatura tras el incendio y, por otro, debido al elevado volumen de humos generado en el incendio, que pueden afectar muy negativamente a los usuarios implicados en el incendio.

Benjamín CELADA TAMAMES, Dr. Ing. de Minas. Catedrático de Obras Subterráneas. GEOCONTROL, S.A.
Manuel DE CABO RIPOLL, Ing. Técnico de Obras Públicas. GEOCONTROL, S.A.
Mario FERNÁNDEZ PÉREZ, Ing. de Caminos, Canales y Puertos. GEOCONTROL, S.A.

Palabras clave: ACCIDENTE, CARRETERA, EVACUACIÓN, EXPLOTACIÓN, INCENDIO, SEGURIDAD, TRÁFICO, TÚNEL, VENTILACIÓN.

En el **Cuadro 1** se muestran los datos más relevantes de los incendios ocurridos en los túneles de carretera, desde 1.949, que de alguna forma están documentados. Estos datos se han obtenido a partir de información procedente de la *PIARC* en 1.999, complementados con datos de otras fuentes.

De acuerdo con el contenido de este *Cuadro* el número de víctimas mortales producidas por incendios en túneles de carretera, desde 1.949 hasta 2.000, se eleva a 103; en los 36 incendios documentados.

Esta cifra debe incrementarse con las 8 víctimas mortales producidas tras el incendio ocurrido, el 6 de agosto de 2001, en un túnel de 8,5 km cerca de Graz (Austria).

Analizando los datos correspondientes a los incendios de túneles ocurridos entre 1.949 y 2.000 se obtienen las siguientes conclusiones:

- 1) La totalidad de las víctimas mortales, en incendios en túneles de carreteras, se han producido con posterioridad a 1978.
- 2) **En 33 de los 36 incendios inventariados;** es decir, en el 91,6% del total, se han visto involucrados vehículos pesados.
- 3) **Los vehículos pesados han originado 100 de las 103 víctimas mortales;** el 97% de las habidas en incendios de túneles entre 1949 y 2000.

Nº	AÑO	TÚNEL	LONGITUD (m)	Nº DE TUBOS	CAUSA DEL INCENDIO	PERSONAS AFECTADAS
1	1949	Holland (N.Y. USA)	2.600	1	Camión con Disulfito de Carbono	66 intoxicados
2	1965	Blue Mountain (USA)	1.302	2	Camión con aceite de pescado	---
3	1969	Moorflet (Alemania)	243	2	Rueda de un camión	---
4	1974	Chesapeake Bay (USA)	?	?	Cisterna con gasolina	1 intoxicado
5	1975	Guadarrama (España)	3.345	2	Camión con resina de pino	--
6	1976	Porte d'Italie (Francia)	425	2	Camión con fibras de poliéster	12 intoxicados
7	1978	Velser (Holanda)	768	2	Camión con flores y bebidas	5 muertos 5 heridos
8	1979	Nihonzoka (Japón)	2.045	2	Colisión con camión con Éther	7 muertos 3 heridos
9	1980	Kajiwara (Japón)	740	2	Camión que transportaba pinturas	1 muerto
10	1980	Sakai (Japón)	459	2	Choque de un camión	5 muertos
11	1982	Caldecott (California, USA)	1.028	3	Colisión con cisterna de gasolina	7 muertos
12	1983	Pecorile (Italia)	602	2	Camión con pescado	8 muertos
13	1983	Frejus (Francia)	12.870	1	Camión con plásticos	1 intoxicado
14	1984	S. Gotardo (Suiza)	16.321	1	Camión con plásticos	---
15	1984	Felbertauern (Austria)	5.130	1	Avería de los frenos de un autobús	---
16	1986	L'Armé (Francia)	1.105	1	Incendio de un coche	3 muertos
17	1987	Gumefens (Suiza)	343	2	Camión	2 muertos
18	1988	Herzogber (Austria)	2.007	1	Camión	---
19	1990	Mont Blanc (Francia/Italia)	11.600	1	Trailer con algodón	2 intoxicados
20	1990	Røldal (Noruega)	4.657	1	Calentamiento del motor de un camión	1 intoxicado
21	1993	Serra Ripoli (Italia)	442	?	Camión con rollos de papel	4 muertos
22	1993	Hoden (Noruega)	1.283	1	Choque de un coche con un camión con plásticos	---
23	1994	Castellar (Francia)	570	2	Camión con residuos de papel	---
24	1994	Huguenot (S. África)	3.914	1	Caja de cambios de un autobús	1 muerto 28 intoxicados
25	1994	S. Gotardo (Suiza)	16.918	1	Rotura de una rueda de un camión	---
26	1994	Kingsway (U.K.)	2.000	2	Incendio del motor de un autobús	---
27	1995	Pfander (Austria)	6.719	1	Choque de un camión que transportaba pan	3 muertos
28	1995	Hitra (Noruega)	5.645	1	Incendio del motor de un camión grúa	---
29	1996	Isola delle Femine (Italia)	148	1	Cisterna con gas	5 muertos 20 heridos
30	1996	Ekeberg (Noruega)	1.563	2	Pérdida de gasoil de un autobús	---
31	1997	S. Gotardo (Suiza)	16.918	1	Incendio del motor de un autobús	---
32	1997	S. Gotardo (Suiza)	16.918	1	Incendio del motor de un camión	1 intoxicado
33	1999	Mont Blanc (Francia/Italia)	11.600	1	Incendio de un camión con margarina	39 muertos
34	1999	Gleinalm (Austria)	8.320	1	Autobús	---
35	1999	Tauern (Austria)	6.041	1	Camión con botes de pintura	12 muertos
36	2000	Frejus (Francia)	12.870	1	Camión con televisores	---

CUADRO I.- Datos de los incendios más relevantes ocurridos en túneles de carretera entre 1949 y 2000.

- 4) Las causas más frecuentes del inicio de los incendios han sido choques, y recalentamientos de los motores de los propios vehículos pesados.
- 5) De las 102 víctimas mortales producidas, **35 (34%) han ocurrido en túneles monodireccionales; 63 (62%) en túneles bidireccionales**, y de 4 de ellas (4%) no se tienen datos suficientes.
- 6) El Túnel de *S. Gotardo*, que es el túnel bidireccional más largo del mundo hasta la inauguración del Túnel de *Laerdal* (Noruega) en 2001, ha tenido cua-

tro incendios; pero no ha tenido víctimas mortales y sólo se tiene constancia de que haya habido un intoxicado en estos incidentes.

Algunas lecciones obtenidas tras los incendios de los túneles del *Mont Blanc* y *Tauern*

Delacroix (1.999, 2.001) y *Eberl* (2.001) han publicado excelentes y detallados trabajos sobre las lecciones que deberían te-

nerse en cuenta tras los accidentes de los túneles del *Mont Blanc* y *Tauern*. Más recientemente *Voeltzer* (2.001) ha presentado, a los miembros del Grupo 6 de la *PIARC* un excelente estudio comparativo de ambos incendios: *Fire and smoke control in tunnels*.

A partir de esta información, a continuación se sintetizan algunos de los aspectos más relevantes de ambos incendios.

Características del tráfico

Ambos túneles permiten un tráfico bidireccional; aunque de características bastan-

te diferentes, tal como se indica en el *Cuadro II*.

Puede afirmarse que la intensidad de circulación en el Túnel del *Mont Blanc* era baja, en términos absolutos; pero la proporción de camiones muy elevada. En el caso del Túnel de *Tauern* la intensidad de circulación era elevada; pero la proporción de camiones, con ser importante, era sólo algo superior a la normal.

Funcionalidad de los túneles

El Túnel del *Mont Blanc* tiene dos carriles de 3,5 m y sendas aceras de 0,8 m; por lo que su anchura útil, a nivel de la calzada, era de 8,6 m.

El Túnel de *Tauern* es algo más ancho; pues aunque también tiene dos carriles, éstos son de 3,75 m y las aceras son de 1 m. Su anchura, a nivel de la calzada, es de 9,5 m.

Por lo que se refiere a la ventilación hay que señalar que había diferencias importantes entre las de los dos túneles. En el Túnel del *Mont Blanc*, la ventilación era del tipo pseudo-transversal, con cuatro conductos de aire fresco bajo la calzada y otro, reversible, para extracción de humos.

El aire fresco era impulsado por dos estaciones de ventilación, una en cada boca, que permiten insuflar 75 m³/s por cada conducto; es decir, un total de 600 m³/s. El conducto reversible podía extraer 150 m³/s, de cada mitad del túnel.

En 1980 se hicieron modificaciones de la ventilación, en la parte francesa, para motorizar la apertura y cierre de los conductos y esto redujo el caudal máximo de la ventilación. Una operación similar se empezó a hacer en la parte italiana en 1998 y estaba siendo finalizada, en marzo de 1999, cuando ocurrió el incendio.

De acuerdo con *Delacroix* (1999); se puede afirmar que: *el caudal de evacuación de humos en las dos mitades del túnel era inferior al exigido en la circular francesa de 1981 (80 m³/s-km) y mucho menor que el exigido en la nueva circular francesa 2000-63 del 25 de agosto de 2000, que exige un caudal de extracción de humos de 110 m³/s concentrado en 600 m de túnel.*

El Túnel de *Tauern* disponía de un sistema de ventilación transversal que, probablemente es el más seguro y eficaz en caso de incendio; aunque sensiblemente más caro, que el sistema semitransversal.

La ventilación en los 6.400 m de túnel estaba dividida en cuatro cantones; el cantón correspondiente a la boca Norte, que es donde se produjo el incendio, tenía 1.900 m de longitud y los otros tres 1.500m. En los dos cantones correspondientes a cada una de las bocas, el aire era impulsado y as-

Nº MEDIO DE VEHÍCULOS/DÍA	PORCENTAJE DEL TOTAL	MONT BLANC	TAUERN
Coches y motos	Cantidad	3.267	10.416
	(%)	60	74
Autobuses	Cantidad	78	200
	(%)	1	1
Camiones	Cantidad	2.128	3.484
	(%)	39	25
TOTAL	Cantidad	5.473	14.100
	(%)	100	100

CUADRO II.- Distribución del tráfico en los túneles del Mont Blanc y Tauern.

pirado por sendas estaciones de ventilación situadas en las bocas. La impulsión del aire en los dos cantones centrales corría a cargo de unos ventiladores situados en una caverna; conectada con el exterior mediante un pozo vertical, de unos 600 m de profundidad.

En cada cantón el máximo volumen de aire fresco que se podía insuflar era de 190 m³/s por kilómetro; mientras que el volumen aspirado podía llegar a 115 m³/s, cada kilómetro.

Según *Eberl* (2.001) de acuerdo con el testimonio de testigos presenciales, **el sistema de extracción de humos del Túnel de Tauern permitió mantener su estratificación, en el tramo del accidente, entre 15 y 20 minutos.** Este tiempo, durante el cual la calzada no estuvo cubierta de humos, permitió que salieran del túnel sanas y salvas unas 80 personas.

Por lo que se refiere a las condiciones de explotación también hay diferencias apreciables entre ambos túneles.

El Túnel del *Mont Blanc*, abierto al tráfico en 1.965, tiene 11.600 m de longitud; de los cuales dos tercios están en Francia y el resto en Italia. De su explotación, estaban encargadas dos compañías; una francesa, *Autoroute du Tunnel du Mont Blanc (ATMB)*, y otra italiana, *Società Italiana del Traforo del Monte Bianco (SITMB)*. Cada compañía era responsable del tráfico en una mitad del túnel.

El Túnel de *Tauern*, que fue abierto al tráfico en 1.975, tiene una longitud de 6.400 m y su explotación sólo dependía de un único Centro de Control.

Causas del accidente

Como en la mayor parte de los accidentes con un número de víctimas elevado, en los dos incendios del *Mont Blanc* y *Tauern* no debería hablarse de una única causa; ya que estos sucesos fueron posibles por que se concatenaron varias circunstancias desfavorables.

En cualquier caso, ambos incendios se iniciaron con la intervención de un camión que, en ambos casos, transportaba materias

susceptibles de una combustión rápida: margarina y harina, en un caso, y botes de pintura, en otro. Esto hizo que la potencia calorífica liberada en el Túnel del *Mont Blanc* tuviera un máximo comprendido entre 75 y 100 MW; mientras que la máxima potencia liberada en el incendio del Túnel de *Tauern* se evalúa en 50 MW.

También es común la circunstancia de que se acumularan vehículos en el lugar donde se inició el incendio; en el caso del Túnel del *Mont Blanc* porque la estrechez del túnel, la falta de visibilidad y el propio camión incendiado impidieron el paso de otros vehículos.

Detección del incendio

Según *Voetzel* (2001) el proceso de detección del incendio en ambos casos fue diferente; ya que en el Túnel del *Mont Blanc*, ninguno de los dos sistemas de detección de incendios instalado en cada una de las dos mitades del túnel pudo dar la alarma a tiempo, tras haberse iniciado el incendio a las 10:53 del día 24 de marzo de 1.999. El incendio fue conocido, indirectamente, por las señales de los opacímetros y por las imágenes de las cámaras de TV; aunque, en ambos casos, no se pudo precisar su posición. Una alarma de incendio fue pulsada en el refugio 21, el anterior en el que se detuvo el camión incendiado, cuatro minutos después de que el camión se hubiera parado.

Sin embargo, el Túnel de *Tauern* el sistema de detección de incendios, constituido por captadores colocados cada 8 m en el falso techo, funcionó perfectamente y el incendio fue detectado y localizado antes de que transcurrieran 2 minutos después de haberse iniciado a las 4:50 horas del 29 de mayo de 1.999.

Es de destacar que en el incendio del túnel de *Tauern* los opacímetros no dieron ninguna alarma; ya que estaban situados lejos del lugar del incendio.

Actuaciones inmediatas al incendio

En los apartados siguientes se presenta un resumen de las actuaciones, inmediatas al

incendio, que se llevaron a cabo en relación con el cierre de los túneles, transición de la ventilación normal a la de emergencia, evacuación y acceso al lugar del incendio.

Cierre de los túneles

Según afirmaron los operadores del Túnel del *Mont Blanc*, en la boca francesa, se pusieron los semáforos en rojo 2 minutos después de pararse el camión; mientras que, en la boca italiana, el túnel se cerró con una barrera. A pesar de los semáforos en rojo, tres coches entraron en el túnel por la boca francesa.

El túnel fue efectivamente cerrado al tráfico nueve minutos después de que penetrará en él el camión incendiado. En este tiempo entraron en el túnel 29 vehículos, una moto, una furgoneta y 18 camiones; 4 de ellos pasaron al camión incendiado, los otros 25 quedaron atrapados en el incendio.

Por el portal italiano, en ese tiempo, entraron varios vehículos: algunos cruzaron al camión incendiado, y 8 camiones y varios autobuses se pararon en el anchurón 22, 300 m antes del camión incendiado. Todos los coches pudieron dar la vuelta y salir por la boca italiana.

En el caso del Túnel de *Tauern* el operador del Centro de Control, tres minutos después de iniciado el incendio cerró efectivamente el túnel al tráfico, poniendo los semáforos de entrada en rojo.

Transición de la ventilación normal a la de emergencia

En el proceso de transición de la ventilación normal a la de emergencia hubo diferencias muy significativas en ambos túneles; tal como se expone en los apartados siguientes.

- Incendio del Túnel del *Mont Blanc*.

Ya se ha indicado que en el Túnel del *Mont Blanc*, los dos sistemas de detección de incendios no proporcionaron señales para poder localizar el incendio y las cámaras de TV tampoco sirvieron de gran cosa, debido a los humos que impedían la visibilidad.

El operador italiano no respetó los planes de emergencia establecidos; pues mantuvo el conducto reversible suministrando aire fresco; en vez de utilizarlo para extraer los humos del incendio.

En la parte francesa sí se siguieron los procedimientos establecidos para el caso de incendio; pero los resultados no fueron buenos, ya que los procedimientos establecidos suponían aumentar la velocidad del aire hacia la boca francesa, lo cual también contribuyó a avivar la propagación del incendio.

- Incendio del Túnel de *Tauern*.

Aquí, el sistema de detección de incen-

dios funcionó perfectamente; pues el incendio fue detectado y localizado antes de que pasaran dos minutos desde su inicio.

El operador del Centro de Control tras recibir la señal de alarma del sistema de detección de incendios a las 4:50, enfocó las cámaras de televisión hacia el lugar del accidente; pero no vio nada en particular. No obstante, llamó a la Policía de Carreteras que disponía de monitores que permitían ver, simultáneamente a los del Centro de Control, el interior del túnel.

La Policía de Tráfico confirmó al operador que se había producido un incendio y avisó a las ambulancias. A continuación, se cerró el túnel al tráfico y se envió un aviso de alarma a bomberos y ambulancias y, automáticamente, la ventilación pasó a régimen de incendio, extrayendo 218 m³/s de humos del cantón en el que se produjo el incendio.

La eficiente actuación del sistema de ventilación permitió mantener la estratificación de los humos entre 15 y 20 minutos, como ya se ha indicado.

Este tiempo, durante el cual la calzada no estuvo cubierta de humos, permitió que salieran del túnel sanas y salvas unas 80 personas. Sin embargo, por razones inexplicables, dos ciudadanos belgas permanecieron en su vehículo; además, el chofer griego de un camión volvió al lugar del accidente a recoger unos documentos y allí murió junto con los dos belgas. Un chofer alemán murió asfixiado a 800 m del lugar del accidente.

- Evacuación de los afectados

Hay que señalar que en los dos túneles no existían galerías de evacuación; el Túnel de *Tauern* no disponía de refugios, y en el del *Mont Blanc* existían refugios con suministro de aire fresco, cada 600 m, con protección contra fuego durante 2 horas.

Otra diferencia muy significativa entre ambos incendios estriba en su distancia a la boca más próxima; que, en el caso del Túnel del *Mont Blanc*, fue de 6.550 m hasta el portal francés y de 5.050 m hasta el italiano. En el incendio del Túnel de *Tauern*, éste se produjo a sólo 800 m del portal Norte; lo cual facilitó el escape de la mayor parte de los implicados.

- Acceso a los incendios

A las 10:57 un vehículo ligero de ATMB con cuatro bomberos entró en el túnel por la boca francesa, dos minutos después, otro vehículo de ATMB con dos personas le siguió; pero ambos vehículos quedaron bloqueados por el humo después de recorrer unos 5,1 km. El Centro de Control ordenó a estas personas que se resguardaran en el refugio del anchurón 17, donde fueron rescatadas siete horas después.

A las 10:58, el Centro de Control francés avisó a los bomberos de Chamonix, que llegaron al túnel a las 11:10; es decir 17 minutos después de la parada del camión incendiado. Los bomberos entraron en el túnel sin parar en el Centro de Control, y sin darse cuenta de que, a pesar de ir seis bomberos en el vehículo, solo disponían de cuatro aparatos autónomos de respiración. Su vehículo no pudo recorrer más que 3,7 km debido al humo, y los bomberos, después de intentar dar la vuelta sin éxito, se resguardaron en el refugio 12, que no estaba presurizado, permaneciendo en él 5 horas hasta que fueron rescatados. El Jefe del equipo de bomberos murió al poco de ser rescatado.

A las 11:02, 9 minutos después de que se parara el camión incendiado, el Centro de Control italiano avisó a los bomberos de Courmayeur. El primer vehículo de los bomberos italianos entró en el túnel a las 11:11, nueve minutos después de ser avisados, pero tuvo que detenerse en el anchurón 22 a las 11:16 debido al humo. Tras intentar llegar al incendio tres bomberos retrocedieron y se resguardaron en el refugio del anchurón 24, pues el humo había cambiado el sentido del avance y se movía hacia la boca italiana. Después de permanecer 3 horas en el refugio 24, fueron rescatados.

El incendio sólo pudo ser extinguido pasadas 53 horas desde su inicio; se produjeron 39 víctimas mortales e importantes daños a la estructura del túnel a lo largo de unos 900 m.

En el incendio del Túnel de *Tauern* los bomberos llegaron al túnel 15 minutos después de iniciarse el incendio; cuatro horas después del inicio del incendio los bomberos tuvieron que abandonar el lugar del incendio; debido al fuerte calor y al peligro de derrumbe del falso techo del túnel.

Posteriormente, el fuego fue extinguido por los bomberos hacia las 22:00; después de transcurrir algo más de 17 horas desde el inicio del incendio, destruyéndose 16 camiones y 24 coches y resultando afectado el falso techo del túnel en una longitud de unos 1.000 m.

Consecuencias de los incendios

En los apartados siguientes se resumen brevemente las consecuencias que produjeron los incendios de los túneles del *Mont Blanc* y *Tauern*; por lo que se refiere a las labores de reparación, interrupción del tráfico y pérdidas habidas.

- Reparación

El incendio del túnel del *Mont Blanc* afectó seriamente a un tramo del túnel de unos 900 m de longitud. Aunque, en varios pun-

tos, el revestimiento y sostenimiento quedaron seriamente dañados por el fuego y el terreno natural quedó al descubierto; no se produjeron problemas apreciables de estabilidad.

Por el contrario, la losa de la calzada resultó seriamente dañada por el fuego y, consecuentemente, en su reconstrucción se ha centrado una parte importante de las reparaciones; tal como se ilustra en la **Foto 1**.

La ventilación ha sido objeto de una remodelación importante; de tal forma que, cuando el túnel sea reabierto al tráfico, podrá aspirar un caudal del 150 m³ en 600 m de túnel.

Los refugios también han sufrido una fuerte remodelación, básicamente para unirlos con los conductos de ventilación; tal como se ilustra en la **Fig. 1**.

También se está haciendo una importante remodelación en las restantes instalaciones del túnel, poniendo un especial énfasis en mejorar la señalización y las comunicaciones. En la **Fig. 2** se presenta una imagen virtual de un tramo de túnel, tras su reapertura.

Por lo que se refiere a la fecha de apertura, el Ministro de Transportes francés, anunció el pasado 2 de octubre de 2001 que el Túnel del *Mont Blanc* será reabierto a finales de año; es decir, pasados dos años y 10 meses desde el incendio.

Actualmente, una de las mayores dificultades para la reapertura del Túnel del *Mont Blanc* se concreta en la fuerte oposición de la población próxima al túnel al paso de camiones por su interior. Por ello, se está barajando la posibilidad de regular el tráfico de camiones, adoptando un límite de 240 camiones por hora; en los dos sentidos de circulación.

El Túnel de *Tauern*, tras el incendio, tuvo que ser reparado en un tramo de unos 1.000 m; básicamente la reparación consistió en reponer el falso techo, en restaurar la calzada y sustituir las trampillas de aspiración de humos, que ahora tienen unas dimensiones de 2,3 m x 2,2 m, y están situadas a 48 m de distancia.

- Pérdidas estimadas

Ya se ha indicado que el incendio del Túnel del *Mont Blanc* costó la vida a 39 personas, y el del *Tauern* a 12. Por otro lado, las pérdidas materiales son difíciles de precisar en el caso del túnel del *Mont Blanc*; pues todavía no se ha abierto al tráfico y cuando se abra no se conocen en que condiciones de tráfico lo hará.

En cualquier caso, como una mera estimación orientativa, se puede indicar que las pérdidas materiales se elevarán a más de 107.000 MPTA, en el Túnel del *Mont Blanc*



Foto 1.- Reconstrucción de la calzada del Túnel del Mont Blanc.

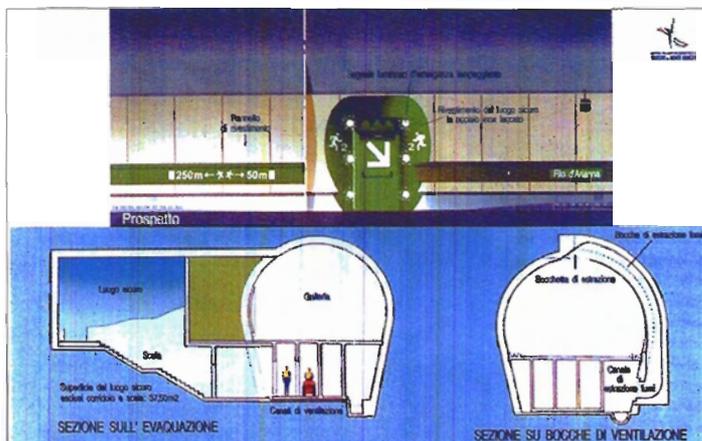


Fig. 1.- Esquema de la unión de los refugios del túnel del Mont Blanc a los conductos de ventilación.

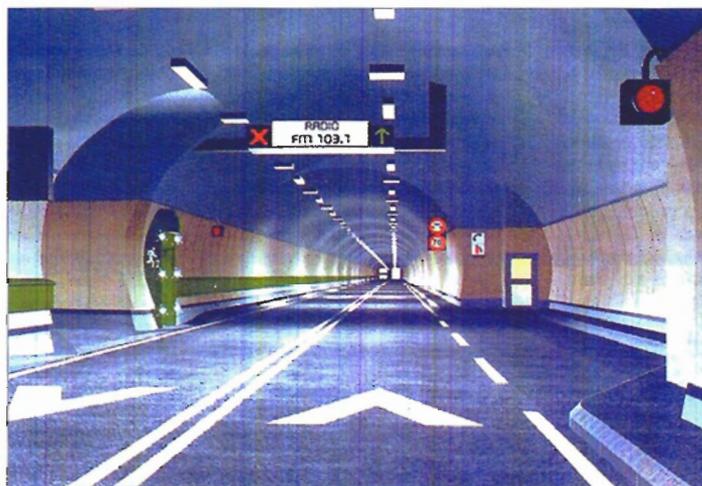


Fig. 2.- Imagen virtual del túnel del Mont Blanc.

y a unos 5.077 MPTA en el Túnel de *Tauern*; tal como se muestra en el **Cuadro III**.

Posibles criterios a seguir en la fase de proyecto

Como criterio general se admite que **un túnel debe mantener el grado de seguridad vial de la carretera de que forma parte**; lo cual, desde el punto de vista de los conductores, supone mantener niveles similares respecto a los siguientes aspectos:

- Facilidad en la conducción.
- Sensación de seguridad.
- Prevención de situaciones peligrosas.

La consecución de los niveles adecuados de seguridad en estos tres aspectos está muy condicionada por las circunstancias que se den durante la explotación del túnel; pero hay que tener presente que, a su vez, muchas de estas circunstancias están totalmente condicionadas por las soluciones adoptadas en la fase de proyecto.

Por otro lado, hay que considerar que,

TÚNEL	PÉRDIDAS POR FALTA DE INGRESOS (MPTA)	COSTE DE LA REPARACIÓN (MPTA)	TOTAL ESTIMADO (MPTA)
MONT BLANC	> 68.000	39.000	> 107.000
TAUERN	3.802	1.275	5.077

CUADRO II.-
Coste estimado de las pérdidas producidas en los incendios.

tras los accidentes ocurridos en los túneles del *Mont Blanc* y *Tauern*, se han revisado muchos de los criterios clásicos que definían la seguridad en los túneles de carretera.

Por todo ello, en los apartados siguientes se presentan algunos criterios referentes a los aspectos más relevantes en la seguridad de los túneles de carretera que deberían ser tenido en cuenta al redactar el proyecto de construcción.

Tipología del túnel

Como regla general se admite que un túnel no debe suponer un cuello de botella en la carretera de la que forma parte y, por lo tanto, todos los túneles de autovía o autopista deben corresponder a la tipología de doble tubo.

Bastante más compleja resulta la elección de la tipología del túnel en el caso de calzadas bidireccionales; ya que, en este caso, la decisión de adoptar una tipología bitubo o la de un túnel con varios carriles depende del tipo de vía de que se trate, de la intensidad de circulación, de la proporción de vehículos pesados, del trazado y la longitud del túnel, así como del tipo de tráfico que vaya a recibir: urbano o interurbano.

Se puede simplificar notablemente el problema recordando que, salvo el caso de los falsos túneles, la mayor parte de los túneles de carretera sólo tiene dos o tres carriles de circulación; lo cual modula apreciablemente la solución.

Como criterio orientativo se puede indicar que un túnel, con dos carriles y tráfico bidireccional, se empieza a saturar con una *IMD* comprendida entre 10.000 y 16.000 vehículos.

Si el túnel es de tres carriles, con el central reversible, la saturación se empieza a producir con una *IMD* comprendida entre 20.000 y 25.000 vehículos. A partir de una *IMD* del orden de 25.000 vehículos, la solución más operativa consiste en plantear un doble túnel con dos carriles en cada tubo.

Sección transversal

En el apartado 7.5.1. de la *Norma 3.1.-IC Trazado*, editada por el Ministerio de Fomento en 1.996, se definen las diferentes secciones transversales que deben ser utilizadas en el proyecto de túneles de carretera.

No obstante, en el artículo 7.5.1., se indica que *los túneles importantes serán objeto de un estudio específico* y también se señala que para poder adoptar una sección distinta a las normalizadas se deberá acompañar la correspondiente justificación.

Como criterios de diseño para llegar a definir una sección transversal, que resulte satisfactoria para los usuarios, se pueden seguir los siguientes:

- 1) *Separar los dos sentidos de tráfico en los túneles bidireccionales.* Esto supone proyectar una mediana, a lo largo de todo el túnel, adecuadamente pintada y equipada con ojos de gato, o una línea de pilotos iluminados para reforzar el efecto separador.
- 2) *Evitar el efecto pared.* Para ello, es conveniente que en ambos paramentos exista una acera y un arcén que permita mantener el borde del carril de circulación a más de 1,5 m de paramento del túnel.
- 3) *Disminuir las interferencias entre vehículos ligeros y pesados.* Estas interferencias son más importantes cuanto mayor es la pendiente del túnel; por ello, en estos casos, deberá estudiarse la posibilidad de dedicar un carril específico a la circulación de los camiones en el sentido ascendente de la circulación.
- 4) *Facilitar la información a los usuarios.* El cumplimiento de este objetivo puede facilitarse si se dispone en la sección transversal del túnel del espacio necesario para albergar paneles de información variable, con dimensiones adecuadas.
- 5) *Minimizar la afección al tráfico de los vehículos averiados.* Esto supone disponer de un arcén de anchura suficiente; para lo cual, dadas las restricciones de espacio existentes en un túnel, es de gran utilidad prever que las aceras tengan los bordillos biselados para que sean fácilmente montables al estacionar los vehículos averiados.

Como ejemplo práctico de la aplicación de estos criterios, en la *Fig. 3*, se muestra la sección transversal adoptada en el proyecto del Túnel de *Bracons* que, con una longitud de unos 4.200 m y una pendiente uniforme del 1,7%, formará parte de la nueva carretera entre *Vic* y *Olot*.

Revestimiento

Actualmente se considera que todos los túneles de carretera deben estar revestidos, y que el revestimiento no debe proyectarse para desempeñar un papel estructural a corto plazo; si no para garantizar la durabilidad del túnel en el tiempo y asegurar su funcionalidad durante la explotación.

Tradicionalmente el revestimiento de los túneles se ejecuta con hormigón encofrado; aunque, a lo largo de la última década, cada vez hay más ejemplos de túneles revestidos con hormigón proyectado, debido probablemente a la excelente calidad y los buenos rendimientos que se consiguen con el hormigón proyectado por vía húmeda.

En cualquier caso, una de las misiones más importante que debe asegurar el revestimiento es la impermeabilización del túnel. Ante este objetivo, el hormigón encofrado tiene una clara ventaja, en los túneles de gran afluencia de agua, frente al hormigón proyectado; ya que permite lograr una estanqueidad segura, eficaz y económica colocando una delgada lámina de impermeabilización entre el sostenimiento y el revestimiento.

Por otro lado, hay que tener presente que el hormigón visto tiene una reflectividad baja y, sobre todo, que se ensucia rápidamente a consecuencia de las partículas desprendidas por los tubos de escape y es muy difícil de limpiar. Ambas circunstancias explican la tendencia reciente de colocar sobre el revestimiento unas placas metálicas, con la superficie tratada, que presentan una buena reflectividad y se pueden limpiar fácilmente.

En el mercado existen básicamente dos tipos de chapas reflectantes; las fabricadas con acero y las que se fabrican con aluminio. A su vez, las de aluminio pueden tener un tratamiento superficial con resina de poliéster o estar vitrificadas.

Los distintos tipos de placas tienen diferentes precios según la calidad que ofrezcan y, como normalmente sucede, las más baratas suelen tener un comportamiento en el tiempo sensiblemente peor que las de más calidad.

En la *Foto 2* se muestra el estado de una chapa metálica pintada colocada en un túnel, que presenta un deterioro muy apreciable solo tres años después de colocada.

Ventilación

La ventilación de un túnel es esencial para mantener en buenas condiciones la atmósfera en su interior y, sobre todo, para conseguir minimizar los efectos de los humos producidos durante un incendio.

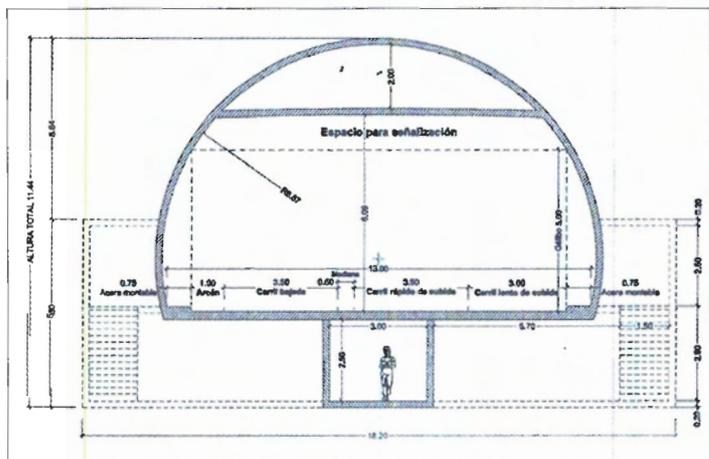


Fig. 3.- Sección transversal adoptada para el Túnel de Bracons.

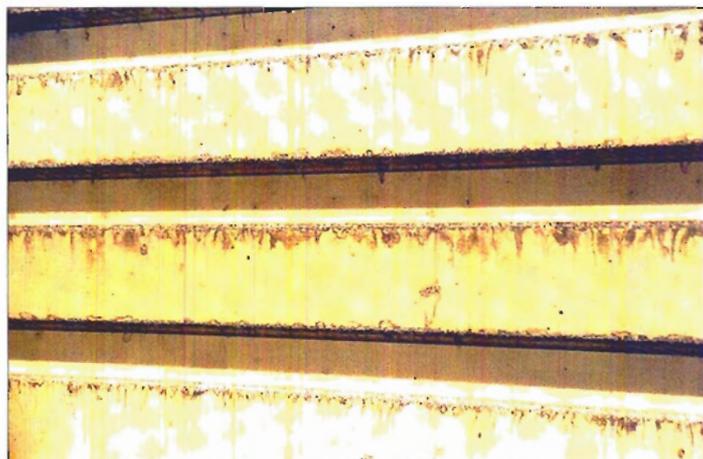


Foto 2.- Detalle de una chapa de acero pintado, apreciablemente deteriorada, después de 3 años de estar colocada en un túnel.

En los apartados siguientes se presentan los campos de utilización actualmente recomendados para los distintos tipos de ventilación existentes.

Aplicación de la ventilación natural

Con la ventilación natural, la renovación del aire se produce al crearse, en el túnel, una velocidad longitudinal del aire que es función, básicamente, de la diferencia de presión y temperatura entre las dos bocas.

La ventilación natural, puede ser muy importante en los túneles largos y con fuerte pendiente; aunque esta ventilación se caracteriza por su gran inestabilidad, al depender de las condiciones atmosféricas.

Por ello sólo se confía exclusivamente en la ventilación natural en los túneles de escasa importancia. Por exclusión se puede afirmar que la IOS-98 admite la ventilación natural en los túneles que tengan una longitud inferior a la indicada en el Cuadro IV.

Características básicas de los incendios en túneles de carretera

Cuando se produce un incendio en un túnel el hecho de que se trate de un recinto cerrado facilita que la sección del túnel se vea ocupada rápidamente por los humos

del incendio y que la temperatura aumente rápidamente; favoreciendo, a su vez la progresión del incendio.

En el Cuadro V se presentan los parámetros que caracterizan los incendios más frecuentes en los túneles.

Actualmente, en Europa, se acepta mayoritariamente que el incendio tipo que debe tomarse para dimensionar la ventilación de un túnel, por el que no se transporten líquidos inflamables, es el que disipa una potencia máxima de 30 MW y una caudal de humos de 80 m³/s.

Si el túnel va a ser autorizado para el transporte de hidrocarburos inflamables, el incendio de referencia que se suele tomar es de una potencia máxima de 200 MW, con una disipación de un tercio de esta potencia por radiación y una producción de humos de 200 m³/s.

Cuando se produce un incendio en un túnel el objetivo inmediato es mantener la estratificación de los humos en la bóveda del túnel, durante el mayor tiempo posible, para permitir el desalojo del túnel por parte de los usuarios.

Evidentemente la consecución de este objetivo está condicionada por la potencia del incendio y el correcto funcionamiento de la

ventilación. Tal como se ha indicado anteriormente; en el incendio del Túnel de Tauern, donde se liberó una potencia del orden de 50 MW, el buen funcionamiento de la ventilación permitió mantener la estratificación entre 15 y 20 minutos.

Aplicación de la ventilación longitudinal

En la ventilación longitudinal la renovación del aire se produce, al igual que con la ventilación natural, haciendo circular el aire a lo largo del túnel; pero en este caso, la velocidad longitudinal necesaria para renovar el aire se consigue mediante ventiladores de chorro, colocados a lo largo del túnel.

En el caso de que se produzca un incendio, el objetivo consiste en conseguir que el aire tenga una velocidad longitudinal superior a la necesaria para impedir el reflujó de los humos e inferior a la que provoca su desestratificación.

Esta velocidad, denominada crítica, suele estar comprendida entre 2,5 y 4 m/s y debe ser calculada para cada caso; pues depende de las características del túnel, del incendio y de las condiciones atmosféricas.

La ventilación longitudinal permite controlar bien los humos de los incendios en los túneles con circulación unidireccional;

CIRCULACIÓN		LONGITUD MÁXIMA DEL TÚNEL (m)
SENTIDO	INTENSIDAD	
UNIDIRECCIONAL	ALTA	300
	MEDIA	500
	BAJA	1.000
BIDIRECCIONAL	ALTA	100
	MEDIA	200
	BAJA	300

CUADRO IV.- Túneles en los que es posible utilizar sólo la ventilación natural.

TIPO DE VEHÍCULO INCENDIADO	POTENCIA CALORÍFICA DEL INCENDIO (MW)	CAUDAL DE HUMO PRODUCIDO (m ³ /s)	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	PROPORCIÓN DE CO (*) (ppm)
• Automóvil	5	20	200-400	200-400
• Autobús - camión	20 - 30	60 - 80	800 - 1.000	2.500 - 6.500
• Cisterna con prod. petrolíferos	100 - 300	150 - 200	1.200 - 1.400	> 6.500

(*) Medida a 25 m del incendio, en la dirección de la ventilación y a una altura de 1,5 m sobre la calzada.

CUADRO V.- Características de los incendios típicos de un túnel de carretera.

en los que el sentido de circulación debe coincidir con el de la ventilación. Sin embargo, en los túneles con circulación bidireccional, la ventilación longitudinal supone que, con gran probabilidad, parte de los usuarios se verán afectados por los humos a partir de cierta longitud del túnel.

La citada circular francesa 2000-63, establece los siguientes criterios para la aplicación de la ventilación longitudinal.

- *Túnel unidireccional no urbano.* Aplicable a túneles de hasta 5.000 m; por encima de esta longitud se exige una chimenea central para la renovación y extracción de los humos.
- *Túnel unidireccional urbano.* Aplicable a túneles de hasta 500 m de longitud para prevenir los efectos de una congestión de tráfico. A partir de esta longitud, se admite si se dispone de chimeneas cada 500 m u 800 m; si se dan condiciones especiales.
- *Túnel bidireccional no urbano.* Si el tráfico no es débil la ventilación longitudinal sólo puede aplicarse en túneles de menos de 1.000 m de longitud. En caso de tráfico débil se puede llegar a 1.500 m.
- *Túnel bidireccional urbano.* No se debe emplear la ventilación longitudinal.

Aplicación de la ventilación transversal o semi-transversal

En la ventilación transversal, el túnel se divide en cantones que se ventilan independientemente. En cada cantón existen dos conductos, normalmente materializados por un falso techo, uno de los cuales se destina a impulsar aire fresco y el otro para aspirar el aire viciado y los humos en caso de incendio.

De esta forma la renovación del aire no se hace longitudinalmente; sino transversalmente al eje del túnel.

En la ventilación semitransversal existe un único conducto que, en condiciones normales, se utiliza para insuflar aire fresco en el túnel y, consecuentemente, el aire viciado sale por el propio túnel, como en el caso de la ventilación longitudinal.

En caso de incendio, la ventilación se invierte en el cantón donde se produce; para poder aspirar los humos producidos, de forma similar a la ventilación transversal.

Para mejorar la eficacia en la captación de humos durante un incendio, en el túnel con dos plataformas de circulación de la A-86 en París, se está estudiando la colocación de cortinas neumáticas que confinarán y empujarán los humos producidos hacia las trampillas de aspiración; tal como se ilustra en la Fig. 4.

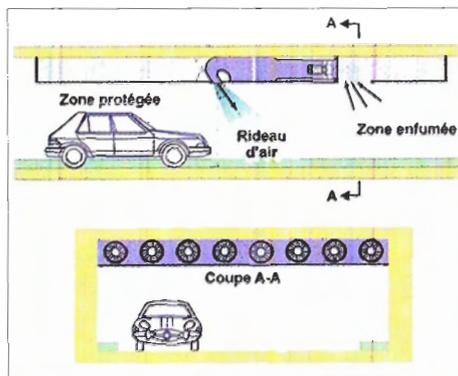


Fig. 4.- Cortinas neumáticas para confinar y dirigir los humos de un incendio.

La ventilación semi-transversal es sensiblemente más económica que la transversal, tanto de primera inversión como de explotación, y, si se invierte correctamente la ventilación en caso de incendio, proporciona una seguridad similar a la transversal. De hecho, la citada circular francesa 200-62, no distingue entre la ventilación transversal y la semi-transversal reversible.

Evidentemente, todos los túneles que no se puedan ventilar longitudinalmente deben tener un sistema de ventilación transversal o semi-transversal reversible.

Detección y localización de incendios

Todos los túneles con un sistema mecánico de ventilación deben equiparse con un sistema de detección y localización de incendios específico.

Después de las experiencias de los Túneles del *Mont Blanc* y *Tauern* ha quedado claro que los sistemas de detección indirecta de incendios, como son los opacímetros, medidores de CO y cámaras de TV, sólo pueden considerarse como sistemas redundantes del sistema específico de detección de incendios, al que no pueden sustituir.

Dada la gran importancia que tiene la actuación de los usuarios afectados por un incendio en los minutos siguientes a su inicio, resulta del máximo interés proyectar equipos de detección de alta eficacia y que detecten el incendio en el menor tiempo posible. Actualmente, el mercado ofrece equipos que pueden detectar y localizar un incendio en un túnel en menos de 1 minuto.

Evacuación del túnel

Por lo que se refiere a los conductores y viajeros afectados por un incendio en un túnel el criterio prioritario de actuación debe ser el de: **Abandonar el túnel lo antes posible.**

Si se fija como tiempo máximo de estan-

cia en el túnel tras un incendio el de cinco minutos, suponiendo que una persona normal se pueda desplazar a una velocidad media sostenible de 1m/s, resulta que en ese tiempo podrá recorrer como máximo 300 m desde el inicio del incendio; sin que se vea afectada por el humo.

Esta conclusión, en caso de un incendio de 30 MW, es probablemente optimista; si se tiene en cuenta que, rápidamente, la atmósfera del túnel se volverá agresiva, tendrá poca visibilidad y se producirá una confusión importante entre los usuarios.

En este orden de ideas la citada circular francesa 2000-63 establece que los túneles urbanos tendrán salidas de emergencia cada 200 m; esta distancia será menor en el caso de túneles de 3 carriles con frecuentes congestiones. En los túneles no urbanos las salidas de emergencia sólo son obligatorias si la longitud del túnel supera los 500 m y estarán situadas cada 400 m de túnel.

Las salidas de emergencia deben estar conectadas al tubo paralelo, en caso de que exista, al exterior o a alguna galería de evacuación, paralela al túnel. También se considera razonable conectar refugios con los conductos de impulsión de aire fresco; tal como se ilustra en la Fig. 1.

Los refugios no conectados con el exterior, aunque estén presurizados y con suministro de aire fresco, sólo se consideran como opción válida en casos absolutamente extremos.

Cierre temporal del túnel

Cuando se produce un incendio en un túnel una de las primeras medidas que se toman es cerrarlo al tráfico. A este respecto, como se ha indicado anteriormente, hay que recordar que tras cerrar al tráfico la boca de entrada del Túnel del *Mont Blanc*, después de declararse el incendio del 27 de marzo de 1.999, tres vehículos no respetaron los semáforos en rojo y entraron en el túnel. Probablemente esta actitud de los conductores se debió a que no vieron los semáforos en rojo.

Por otro lado, hay que tener presente que el cierre de un túnel al tráfico es posible que deba hacerse en malas condiciones de visibilidad y, en ese caso, la cola de vehículos que se forme puede dar lugar a graves accidentes.

De acuerdo con esto, a la hora de proyectar el sistema para cerrar al tráfico un túnel, es aconsejable pensar en soluciones próximas a las empleadas en los cierres de los pasos a nivel; combinando los semáforos rojos, fijos e intermitentes, con señales acústicas e iniciando la señalización del cierre a una distancia de la boca del túnel superior a 1 km.

A título de ejemplo, en la Fig. 5 se presenta la solución adoptada para la cierre del Túnel de L'Epine (Francia). Picard (2.001).

Transmisión de información a los usuarios

La transmisión de información a los usuarios dentro del túnel es de la máxima importancia para controlar la circulación en condiciones normales, prevenir situaciones peligrosas y dar consignas sobre las actuaciones a seguir, en caso de que se haya producido un incendio.

Desde este punto de vista los objetivos que, en la fase de proyecto de un túnel, deben tenerse presentes para mejorar la seguridad de los usuarios, se concretan en hacer posibles las siguientes actuaciones:

• **Recepción de información**

Actualmente la inmensa mayoría de los coches y camiones tienen radio, muchos usuarios disponen de teléfonos móviles y algunos vehículos están equipados con GPS. No hay duda de que, en los próximos años, una buena parte de ellos estarán localizados a tiempo real a través de redes de comunicación global.

Este escenario, totalmente real en los tramos a cielo abierto, es muy diferente en la mayor parte de los túneles por la dificultad que plantea la transmisión de las ondas en su interior.

Este problema se elimina de raíz instalando en los túneles un cable radiante, acoplado a los repetidores necesarios; opción que debiera, por su bajo coste, ser obligada en la fase de proyecto de todos los túneles relevantes.

• **Emisión de información escrita**

La tecnología actual ofrece la posibilidad de enviar mensajes escritos a los usuarios que circula por el interior de un túnel, mediante paneles de señalización variable que tienen una alta definición y visibilidad.

Esta información es muy útil y eficaz si se utiliza cuando hace falta y no se limita el uso de los paneles de señalización variable a emitir mensajes rutinarios, que poco tiene que ver con las características del tráfico a tiempo real.

La repercusión del coste de los paneles de señalización variable en el coste total del túnel es muy pequeña y, dada su gran eficacia

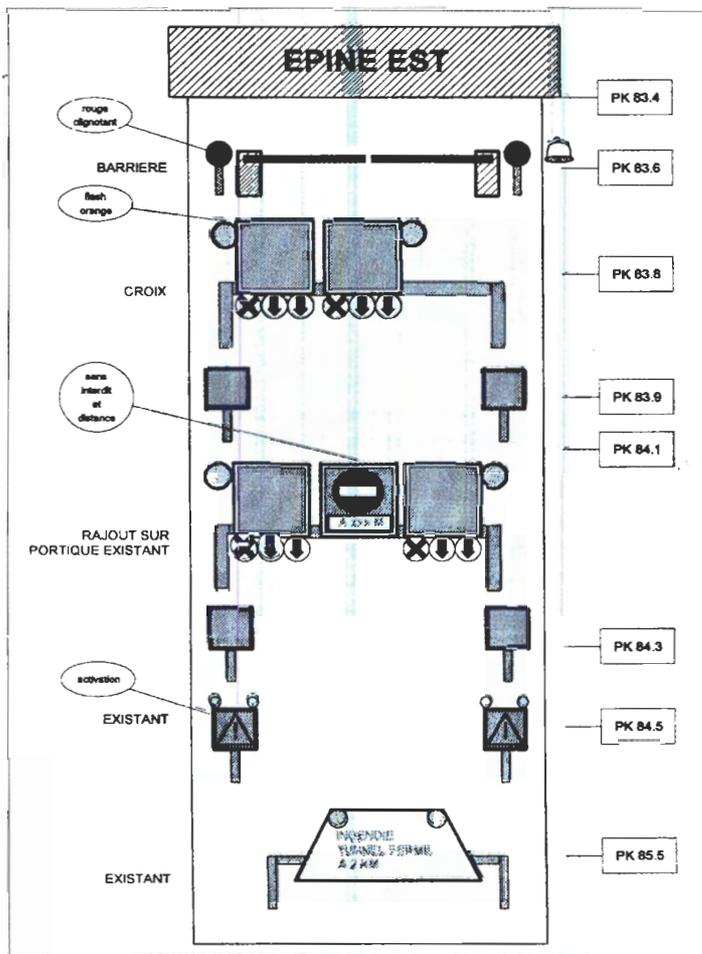


Fig. 5.- Dispositivo adoptado para cerrar al tráfico el túnel de L'Epine (Francia).

potencial, en todos los túneles relevantes debería preverse en la sección transversal el espacio necesario para su instalación.

• **Señalización de las instalaciones**

Tras el incendio del Túnel del Mont Blanc, Delacroix (1.999) puso un énfasis especial en la necesidad de que las instalaciones de los túneles relacionadas con situaciones de emergencia estuvieran adecuadamente señalizadas.

Este objetivo pasa por modificar e introducir nuevos pictogramas en la señalética actual, por aumentar el tamaño de las señales y por iluminar eficientemente los accesos y el interior de los túneles.

En este sentido el manual sobre: *Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles*, editado en 1.999 por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, resulta de especial utilidad; ya que dedica un capítulo importante y muy completo a la iluminación de túneles.

• **Megafonía**

Cuando se produce un incendio en un túnel, la visibilidad se hace nula y, por lo tanto, la

operatividad de las cámaras de TV y la señalización es de muy dudosa eficacia.

Es ese escenario, es muy poco probable que los usuarios afectados utilicen los postes SOS, si es que los encuentran, para solicitar información sobre las actuaciones a seguir.

Según Huijben (1993), si se abandona al público a sus propios recursos el tiempo de reacción ante un incendio en un túnel estará comprendido entre 5 y 7 minutos. Por el contrario, si desde el Centro de Control envían los mensajes adecuados, el tiempo de reacción se reduce hasta estar comprendido entre 1 y 3 minutos. Esta diferencia, en la mayor parte de los incendios en túneles, probablemente supondrá que el resultado sea la muerte o una afección ligera.

Por ello, para disminuir los efectos nocivos de un incendio en un túnel, se considera de la máxima importancia contar con un sistema de megafonía que permita transmitir avisos de forma eficaz.

Sin embargo, conseguir un buen sistema de megafonía en un túnel no es fácil, por dos razones básicas:

- 1) La reverberación en un túnel es muy alta; pues el sonido rebota en los paramentos y bóveda, normalmente muy lisos, sin que sea absorbido.
- 2) Los ventiladores del túnel frecuentemente superan los 90 dB (A).

Los sistemas de megafonía no pueden tener una potencia acústica desmesurada ya que, por encima de 110 dB (A) se producen daños en el oído humano, incluso con períodos de exposición inferiores a 30 segundos y una presión de sonido repentina superior a 105 dB (A) produce sensaciones de temor en los oyentes.

Por ello; se recomienda que el nivel máximo de presión acústica del sistema de megafonía, debe estar comprendido entre 100 y a 105 dB (A), medidos a una altura de 1,5 m sobre la calzada.

Manual de Explotación

La IOS-98 indica que para los túneles de Nivel I y II; es decir para todos excepto los cortos o de poco tráfico que no requieren de ningún tipo de instalación específica, será preceptiva la redacción de un *Manual de Explotación* que debe contemplar especialmente los aspectos relacionados con:



Foto 3.- Inicio del ensayo de incendio realizado el 26/03/1992 en el túnel del Padrún.



Foto 4.- Salida de humos que tapa completamente una de las bocas del túnel, en el ensayo de incendios realizado en el túnel del Padrún.

- El control de la circulación.
- El mantenimiento de las instalaciones y de la obra civil.
- Las actuaciones en caso de emergencia.

Debido a la importancia que tienen para garantizar una correcta actuación en la eventualidad de un incendio en un túnel, en los apartados siguientes se presentan algunos comentarios sobre los *Planes de emergencia* y los *Ensayos y Simulacros*.

Planes de emergencia

Cuando se produce un incendio en un túnel las decisiones importantes hay que tomarlas en pocos minutos y, en caso de que las acciones que se tomen no sean las correctas, las consecuencias pueden ser realmente graves.

Las experiencias, obtenidas en varios incendios recientes ocurridos en túneles, ponen de manifiesto que la probabilidad de tomar improvisadamente acciones apropiadas es nula y, por lo tanto, es absolutamente imprescindible tener previsto *a priori* las actuaciones que se deben llevar a cabo; lo cual debe estar materializado en el *Plan de Emergencia*.

En el *Plan de Emergencia* de cada túnel deben clasificarse los posibles incidentes, que se estima puedan ocurrir y, para cada uno de ellos, hay que establecer un protocolo de actuaciones en el que se defina el orden de las tareas a realizar, quién las debe efectuar y quién es el responsable de su supervisión.

Los protocolos de actuación deben ser

absolutamente simples y precisos de tal forma que el operario del Centro de Control que reciba el aviso de un incidente sólo tenga, tras comprobarlo, que poner en marcha un mecanismo prácticamente automático de actuaciones.

Ensayos y simulacros

La experiencia demuestra que, en caso de incidentes graves, algunas instalaciones del túnel no funcionan correctamente y que las que sí funcionan puede ser operadas de forma incorrecta; tal como se ha expuesto anteriormente.

Por ello se considera de la máxima importancia y efectividad prever la realización de ensayos y simulacros, que tiene por objeto comprobar el buen estado de las instalaciones de un túnel y el correcto funcionamiento de los planes de emergencia.

Dentro de los ensayos merecen una aten-



Foto 5.- Camión utilizado en los ensayos de incendio realizados en el Túnel del Mont Blanc, durante 2.001. (Cortesía: A. Voetzel).

ción especial los que se realizan sobre un incendio real en el propio túnel.

Como precedente muy interesante hay que recordar el ensayo realizado, por la Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias, en el Túnel del *Padrún* antes de su puesta en servicio.

Este ensayo fue llevado a cabo el 26-03-1992 y en él quemaron dos vehículos, un *Seat 1500* y un *Renault 8*. En la **Foto 3**, se muestra el inicio del incendio; y en la **Foto 4**, la salida de los humos por una de las bocas del tubo del túnel en el que se hizo el ensayo.

La realización de este ensayo permitió detectar algunos comportamientos inadecuados de las instalaciones del túnel, que fueron corregidos antes de la puesta en explotación del túnel, *Hacar* (1992).

Dentro del proceso judicial que se sigue en Francia tras el incendio del Túnel del *Mont Blanc*, se han tenido que hacer varios ensayos de incendio a escala real para tratar de reproducir las condiciones del incendio en el túnel.

Estos ensayos han sido recientemente presentados, *Brousse et al.* (2.001) y han consistido en quemar varios depósitos de hidrocarburos y un camión similar al que produjo el incendio; tal como se ilustra en la **Foto 5**.

La realización de estos ensayos ha permitido obtener conclusiones muy valiosas sobre las condiciones que se dieron durante el incendio del Túnel del *Mont Blanc*, y han demostrado que es posible hacer ensayos de incendios, a escala real, disipando una potencia máxima de 8 MW, sin dañar el propio túnel.

Bibliografía

- BROUSSE, B; VOELTZER, A; LE BOTLAN, Y; Y RUFFIN, E. **Ventilation and fire test in the Mont Blanc Tunnel to better understand the catastrophic fire of 24 march 1.999.** ITC. Washintong Oct. 2001.

- CUIGAS, X; WEATHERILL, A; TROTET, Y; CASALÉ, E. **The new ventilation systems of the Mont Blanc Tunnel.** *Safety in Road and Rail Tunnel.* Madrid 2-6 abril, 2001.

- DELACROIX, D. **The Mont Blanc tunnel fire. What happened and what has been learned.** *Safety in Road and Rail Tunnel.* Madrid 2-6 abril, 2001.

- DELACROIX, D. **Fire the Mont Blanc Tunnel: facts and lessons.** *Int. Tunnel Fire and Safety Conference.* Rotterdam (Holanda) 2-3 diciembre 1999.

- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. **Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles.** Ministerio de Fomento. Madrid 1999.

- EBERL, G. **The Tauern túnel incident. What happened and what has to be learned.** *Safety in Road and Rail Tunnel.* Madrid 2-6 abril, 2001.

- EGGER, M. **New túnel safety guidelines in Switzerland.** *Safety in Road and Rail Tunnel.* Madrid 2-6 abril, 2001.

- EUREKA 499 Report: **Fires in transport tunnels. Report on full scale tests.** *Studiengesellschaft Stahtanwendung.* Dusseldorf (Alemania), 1996.

- GRACIA I FORCADES, JOAN F. **Metodologías de intervención en incendios en túneles.** S.T.M.R. 1 Curso sobre incendios en Túneles. Madrid, 2001.

- HACAR, F; ABELLA, A; GARCÍA-ARANGO. **Incendios en túneles.** Ediciones Paraíso S. L. Oviedo, 1993.

- HUIJBEN, J.W. **Speech transmission in a túnel during a calamity with fire.** *Fire Security in Hazardous Enclosed Spaces.* Vernon, Noviembre, 1993.

- Kuratorium für Verkehrssicherheit. **Unfallstatistik 1998.** Helf 26. 4/99. Austria.

- MINISTERIO DE FOMENTO. **Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS-98).** Madrid 1999.

- PERARD, M. **Spacing and speed of vehicles in road tunnels.** *Safety in Road and Rail Tunnel.* Madrid 2-6 abril, 2001.

- PETER, F. **The causes, effects and control of real tunnel fires.** *Fire Expo 2000.* 8-10 mayo, 2000. Birmingham.

- PIARC Committee on Road Tunnels (C-5). **Fire and smoke control in road tunnels.** *World Road Association,* 1999.

- PICARD, A. **Safety improvements in the Dullin and the Epine tunnels following French long tunnels safety diagnosis.** *Safety in Road and Rail Tunnel.* Madrid 2-6 abril, 2001.

- VINOT, J.P. **Dossier pilote des tunnels.** CETU. Lion, 1990.

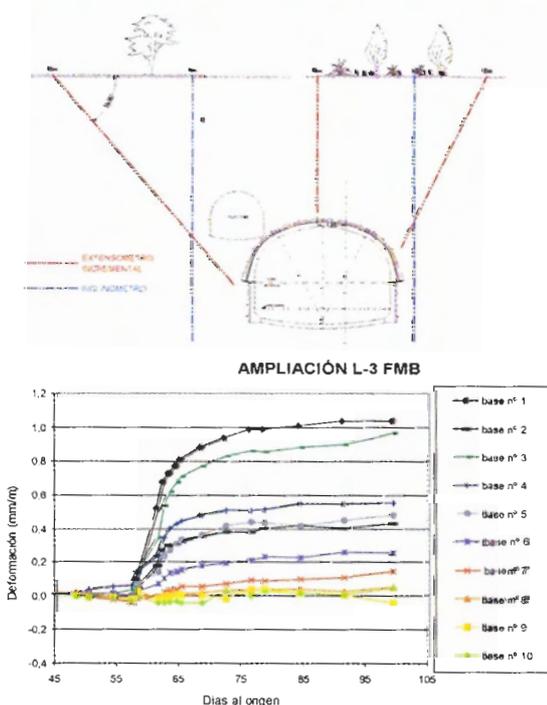
- VOELTZEL, A; CASALÉ, E. **Fire test in tunnels.** *Scetauronte - D.T.T.S.* Paris 29 de marzo de 2001.

- VOELTZEL, A; CASALÉ, E. **Compared analysis of the Mont Blanc Tunnel and the Tauern Tunnel Fires.** *PIARC WG 6: Comunicación privada.* 21 de septiembre de 2001.

AUSCULTACIÓN DE TÚNELES

ENSAYOS GEOTÉCNICOS. GEOFÍSICA

insITU TESTING S.L.



Auscultación de túneles Geotécnica y Geofísica

- Extensometría Incremental
- Inclínometría
- Ensayos de Gato Plano
- Tracción de Bulones
- Túnel Scanner:
- Canales Visual
- Perfilómetro y Termografía
- Dilatometría
- Presiometría
- Georradar
- Sísmica de Refracción
- Prospección Geoeléctrica
- Sísmica Onda Completa
- Medida del Estado Tensional



Avda. de los Pirineos nº 25, Nave 11
San Sebastian de los Reyes
28700 MADRID

Tel : 91-659.12.19 649.92.72.26
Fax : 91-659.12.49
E-mail: insitutest@jet.es