

Diseño de galerías de escape en túneles de autovía



POR MANUEL ROMANA RUIZ,
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
VALENCIA, STMV.

1. Introducción

Cuando se trata de discutir las reglas de diseño de las galerías de escape entre dos túneles de autovía, se encuentran pocos precedentes. En general, los túneles que no son recientes no tienen dos tubos y el concepto era inaplicable. En los túneles con dos tubos, y menos de 500 m no se encuentran galerías, y en los de longitud superior a 500 m suele haber pocas. En los últimos 15 años la situación ha cambiado, y es completamente normal la construcción de galerías de escape conectando los dos tubos de los túneles de más de 500-600 m de longitud.

En este artículo vamos a examinar el tema desde varios puntos de vista, ciñéndonos a la obra civil y no refiriéndonos a las instalaciones. Hay que decir, sin embargo, que actualmente es imperativo que las galerías de escape dispongan de iluminación e instalaciones de seguridad, y se está imponiendo el concepto de una ventilación suplementaria que haga que en el interior de la galería haya un aporte de oxígeno independiente y una sobrepresión respecto al túnel que evite la entrada de humo.

2. Apartaderos laterales

Los apartaderos laterales (en inglés *layby*; en francés *garage*) permiten que algunos vehículos aparquen lateralmente

sin perturbar al tráfico. Obviamente esta función no es necesaria donde haya unos arcenes para una parada de emergencia. La actual Norma española de trazado prescribe arcenes de 2,5 m a la derecha. Si se combinan estos arcenes con una acera montable será posible aparcar casi todos los tipos de vehículo sin perturbar el tráfico, y los apartaderos laterales resultan innecesarios. Pero, en los túneles antiguos con una plataforma de anchura reducida, los apartaderos cumplen una función de seguridad, y además tienen otras funciones:

- Facilitan el acceso a instalaciones específicas (pozos, cavernas de ventilación, etc.).
- Permiten el cambio de sentido.
- Pueden acoger postes SOS, nichos de emergencia y

otras instalaciones de seguridad.

En España poco túneles tienen apartaderos laterales. Se trata de túneles con gran longitud, algo estrechos, y con un tráfico intenso. Podemos citar los siguientes:

- Túneles de Guadarrama ($L \approx 3$ km), donde sirven para conectar con la caverna central de ventilación en el túnel ascendente (sur a norte) y en las cercanías de las bocas (IMD $\approx 30\,000$ vehículos).
- Túneles de Malmasin ($L \approx 1,6$ km), donde se construyeron como medida posterior de seguridad. Se proyectó uno en cada túnel (Romana, 1989), en la parte central y frente a la galería central que permite el paso de vehículos entre ambos túneles. Esta disposición facilita las maniobras (IMD $\approx 50\,000$ vehículos).
- Túneles de Vallvidrera ($L \approx 3$ km), donde estaban previstos, además de las galerías, pero separadas de ellas. Los túneles de Vallvidrera, con tres carriles (el central reversible), soportan un tráfico intenso (IMD $\approx 30\,000$ vehículos).
- Túneles del Cadi ($L \approx 5$ km), donde están situados muy próximos. El túnel del Cadi no tiene arcenes pero hay una franja central entre los carriles.

En general, los explotadores de los túneles satisfechos de los apartaderos laterales, si los tienen, y ponderan su utilidad para las labores de conservación. Sin embargo, su uso es reducido, y los vehículos que los utilizan no superan el 25% de los que se averían o accidentan, porque resulta difícil conducir el vehículo en esas condiciones hasta el apartadero (Datos del Grupo de Trabajo sobre Seguridad del Comité de Túneles de la AIPCR sobre los

Es imperativo que las galerías de escape dispongan de iluminación e instalaciones de seguridad

túneles de Chamoise en Francia, Fréjus entre Francia e Italia y Oslo en Noruega).

La única norma que hace obligatorios los apartaderos laterales es la francesa (2000) y especifica una distancia máxima entre ellos de 800 m. Los considera obligatorios en los túneles de más de 1 000 m (si no hay arcén lateral de emergencia), tanto para los túneles de sentido único como de doble circulación, si bien permite prescindir de ellos en los túneles de doble sentido, no

urbanos y de bajo tráfico. Las dimensiones recomendadas (PIARC, 1999) serían de 3 m x 12 m para vehículos ligeros y 3 m x 24 m para vehículos pesados (véase la figura 1).

3. Galerías de cambio de sentido

En los túneles con tráfico intenso, un cambio de sentido puede ser peligroso. Sin embargo, se arguye que podría permitir la salida de los vehículos cuando el túnel es de doble sentido de circulación y se bloquea con un accidente o incendio.

La Norma francesa requiere unas galerías de cambio de sentido, con una distancia máxima de 800 m, en los túneles de doble sentido de circulación, y en los túneles gemelos de sentido único sin galerías de comunicación, sea cual sea la intensidad de tráfico y con una

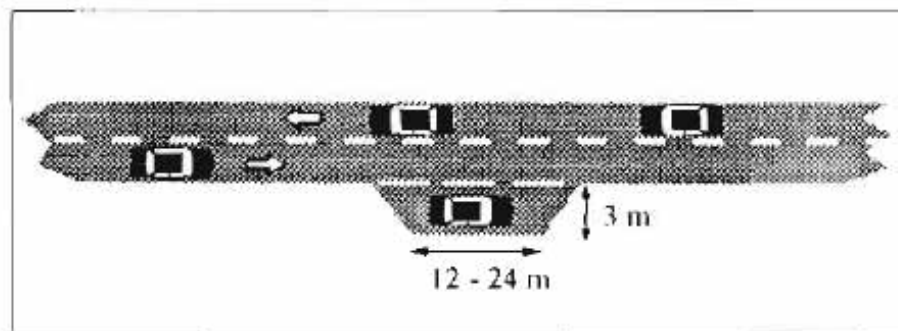


Figura 1. Esquema de un apartadero lateral (PIARC, 1999). Sin escala.

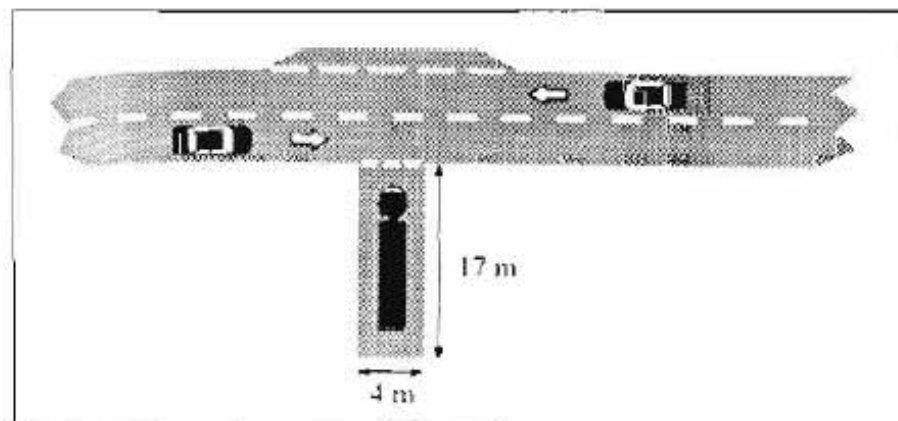


Figura 2. Esquema de una galería de cambio de sentido (PIARC, 1999). Sin escala.



Figura 3. Incendio experimental de un vehículo ligero en un túnel de autopista cerca de Mónaco. Tomado de PIARC, 1999.

longitud superior a 1 000 m. PIARC (1999) las recomienda sólo en los túneles largos (más de 2 km) con muy poco tráfico ($IMD=2\,000/3\,000$ vehículos). Sus dimensiones normales son de 4 m (anchura) por 17 m (profundidad) o más. (Véase la figura 2).

En España sólo se han instalado en el túnel de Somport, que por su carácter binacional debe cumplir también la normativa francesa. Pero, en conjunto, la utilidad de estas galerías parece dudosa, porque en caso de atasco de tráfico será difícil que todos los vehículos completen la maniobra en un tiempo razonable después de que se produzca un incendio. Sin embargo, podrían servir para evacuar lentamente un túnel cortado por un accidente, un desprendimiento, etc.

Un caso especial es el de los túneles noruegos, muchos de los cuales tienen unas intensidades de tráfico muy reducidas y muy poco equipamiento de seguridad y control. Por ejemplo, el túnel de Laerdal, puesto recientemente en

servicio, tiene 20 km de longitud (es en este momento el túnel carretero más largo del mundo) y una IMD de 2 000 vehículos. Se han dispuesto varios ensanches simétricos del túnel, que configuran unas glorietas de planta circular, donde se puede dar la vuelta completa sin maniobras, lo que permite evacuar el túnel, si éste se interrumpe por cualquier motivo.

Distancia entre las galerías de escape en los túneles de carretera

4.1. Datos básicos

Para determinar racionalmente la distancia entre las galerías de escape, es preciso conjugar dos datos: el tiempo que transcurrirá hasta que el humo de un incendio ocupe la sección entera del túnel, impidiendo la supervivencia, y la velocidad de desplazamiento de las personas atrapadas en el interior del túnel. Es evidente

que la distancia entre las galerías debe ser tal que permita alcanzarlas antes de que el humo ocupe toda la sección del túnel.

Respecto al comportamiento del humo en el incendio, coexisten dos puntos de vista ligeramente diferentes, que vamos a describir brevemente.

Durante mucho tiempo (y basándose en los datos de unas pruebas japonesas publicadas en forma resumida) se ha creído en la *estratificación* del humo en la parte superior de la sección del túnel. Esa capa de humo superior se expandiría a una velocidad horizontal entre 2 y 2.5 m/s (en ausencia de todo tipo de ventilación, incluso natural) hasta una distancia máxima de unos 800 m: distancia que se alcanzaría en unos 400 segundos (unos 7 minutos). Además, la estratificación sólo se mantendría (incluso en ausencia de movimiento horizontal del humo) por un periodo máximo de algo menos de 10 minutos. Por lo tanto, según esta teoría, la estratificación se mantendría mientras la capa de humo no alcanzara una distancia horizontal de 800 m ni hubieran transcurrido diez minutos desde el comienzo del incendio. La figura 3 muestra un ejemplo de estratificación del humo en un incendio experimental. Por debajo del humo queda una cantidad de aire con una altura tal que permite la evacuación.

Los ensayos de incendios experimentales en el *Memorial Tunnel* en los EE.UU. han demostrado que, en ausencia de ventilación mecánica y en un túnel de pendiente acusada (3,2%), el proceso de estratificación es más confuso, y el humo puede llegar a descender al suelo a partir de 3 y 4 minutos (para un incendio de gran potencia) o de 5 y 6 minutos (pa-

Movimiento característico del humo en los ensayos de ventilación en dos incendios en el Memorial Tunnel (EE.UU.), en régimen de ventilación natural

Ensayo n°	Potencia térmica (MW)		La capa de humo empieza a bajar (min)	El humo ocupa toda la sección (min)	Velocidad máxima del humo (m/s)
	Nominal	De punta			
501	20	15,5	≥ 5	≥ 6	3,8
502	50	52,1	3	4	5,2

Figura 4. Comportamiento del humo en dos incendios experimentales en el Memorial Tunnel (EE.UU.). Tomado de PIARC, 1999.

ra un incendio de potencia media). Los datos se presentan en la figura 4 (tomada de PIARC, 1999).

Este asunto no ha sido ensayado sistemáticamente en España; pero existen observaciones aisladas que confirmarían la estratificación para los incendios en túneles de gran altura, pero no en túneles de sección muy estricta.

Naturalmente en túneles con ventilación transversal y absorción de humos por el techo se dispone de más tiempo: pero la experiencia confirma que finalmente el humo llena toda la sección.

Respecto a la velocidad a la que puede desplazarse una persona en un túnel de carretera, se admiten velocidades entre 1 m/s y 2 m/s para una persona normal válida, que disminuyen a 0,5 m/s para una persona discapacitada y hasta 0,3 m/s para un invidente (o una persona con los ojos vendados). Para valorar estas cifras conviene recordar que una persona en buena forma física puede recorrer 6 km en una hora a paso vivo, lo que corresponde a una velocidad de 1,66 m/s, y que la velocidad del récord mundial de los 1 500 m lisos es aproximadamente 7 m/s.

Comentando estos datos, Tetzner, Foit y Thamm (2001) hacen notar que la distancia entre las galerías de escape (o salidas de emergencia) pres-

crita en la normativa alemana (Rabt, 1994) es de 350 m (para túneles con ventilación natural o longitudinal) y está basada en el concepto de estratificación del humo. Estas galerías son obligatorias sólo en los túneles de una longitud superior a 700 m. Asumiendo una velocidad entre 1 y 1,5 m/s, un tiempo de movilización de 2 minutos y un intervalo posterior a 3 minutos, antes de que el humo llene todo el túnel (a los 5 minutos del comienzo del fuego) una distancia realista de escape estaría entre 180 y 270 m, que es claramente inferior a la distancia prescrita entre galerías, y podría plantear serios problemas en los túneles de lon-

gitudes próximas a los 700 m (por ejemplo, los autores citan como peligrosas longitudes de túnel de 400-600 m, donde no se construirían galerías intermedias).

Hay que tener en cuenta dos consideraciones suplementarias: hay un tiempo previo entre el comienzo del fuego y el momento en que el automobilista, una vez recibidas y aceptadas las instrucciones de abandonar el vehículo, inicia efectivamente la evacuación; por otra parte, la situación del fuego y el recorrido del humo pueden ser desfavorables, obligando a que sea necesario huir no por la galería o salida más próxima, sino por la contraria.

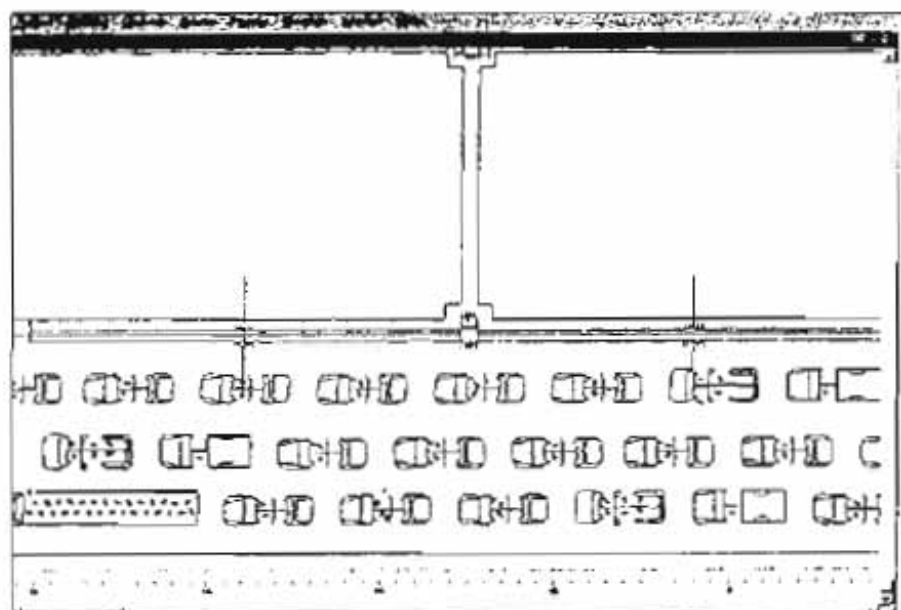


Figura 5. Situación inicial de la simulación de escape de un túnel de autopista (Li y otros, 2001)

Li, Kennedy y Harvey (2001) han utilizado el programa SIMULEX para modelizar la evacuación de un túnel de carretera a través de galerías de conexión con un túnel paralelo. Los resultados, naturalmente, son sólo cualitativos, pero pueden deducirse unas consecuencias concretas muy interesantes. El programa SIMULEX (Thompson y Marchand, 1995) simula el escape de la gente de un edificio complejo hacia un punto seguro. Se modeliza el movimiento de cada persona individual basándose en datos reales, y ha sido razonablemente validado por sus autores.

El túnel modelizado tiene dos tubos de sentido único de circulación, de tres carriles cada uno. Su longitud es de 1 000 m, y tiene galerías de conexión entre tubos. De hecho se parece bastante a los túneles de El Pardo en la M-40, de 700 m de longitud, 1,1 m ó 2,1 m de anchura (dos casos diferentes) y separaciones de 125, 250, 375 y 500 m (7, 3, 2 ó 1 galerías). Hay unas aceras elevadas de 90 cm de ancho y con tres escalones de acceso a las galerías.

El tráfico supuesto tiene un 10% de vehículos pesados (1 persona), un 5% de autobuses (30 personas) y un 85% de coches (2 personas) y microbuses (4 a 6 personas). En total se suponen 1 513 personas en el túnel. El número es alto, pero necesario si se quiere obtener una modelización de interés práctico.

El tiempo de escape de un individuo es la suma de 4 tiempos parciales:

- tiempo de reacción inicial, que se ha supuesto variable en función de la distancia al incidente, desde 14 segundos a 60 m hasta 112 segundos a 1 000 m.
- tiempo de camino hasta la galería de escape (no se in-

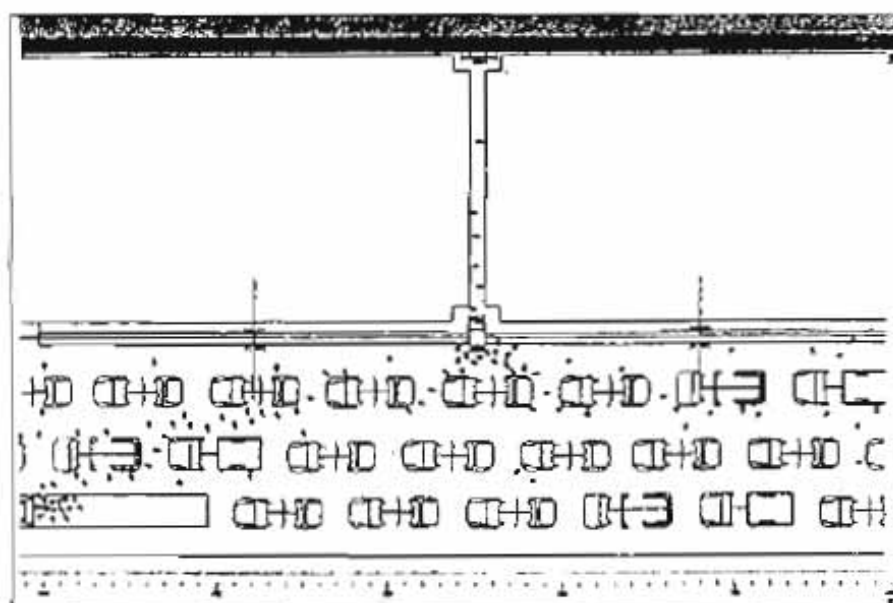


Figura 6. Situación a los 14 segundos en la simulación de escape en un túnel de autopista (Li y otros, 2001).

- dica la velocidad supuesta).
- tiempo de espera en cola a la entrada de la galería de escape.
- tiempo de recorrido de la galería hasta el otro túnel.

Los resultados son interesantes. La figura 5 muestra la situación inicial (tiempo 0) de vehículos y personas, y la figura 6 la situación a los 14,7 segundos, cuando se ha iniciado ya la evacuación. Puede observarse que la entrada de la galería es un punto singular con aglomeración. Se han supuesto galerías de 1,1 m de ancho. La figura 7 es una ta-

bla donde se recogen los resultados de las 8 simulaciones. Los tiempos de escape son claramente menores en todos los casos para una galería de 2,1 m de ancho.

Los mismos resultados se presentan en la figura 8. Los tiempos totales de escape crecen con la distancia entre galerías, como es lógico. Pero una galería ancha, a 500 m de distancia, implica el mismo tiempo que una galería estrecha, a 375 m de distancia, de acuerdo con las consideraciones del apartado anterior, el objetivo debería ser un tiempo

Caso	Ancho de galerías (m)	Distancia entre galerías (m)	Número de galerías en el túnel	Tiempo de escape (min:seg)
1	1 100	125	7	4:26
		250	3	7:53
		375	2	9:39
		500	1	15:03
2	2 100	125	7	3:19
		250	3	4:47
		375	2	6:38
		500	1	9:33

Figura 7. Tiempos totales de escape para diversas simulaciones variando el ancho y la distancia entre galerías de escape en un túnel de carretera (Li y otros, 2001).

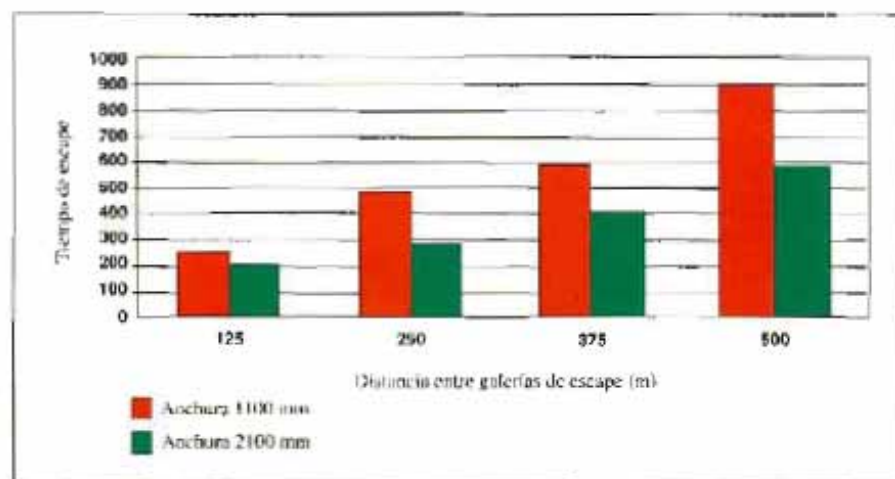


Figura 8. Histograma de los tiempos totales de escape en función de la distancia entre galerías y para dos anchos distintos de galería (1.1 y otros, 2001)

de escape inferior a 400 segundos, lo que se conseguiría con galerías anchas a 375 m (distancia estricta), y mejor con galerías anchas a 250 m.

4.2. Precedentes

Tiene interés, y muchas veces se usa como justificación, conocer las regulaciones de los países de nuestro entorno, o con unas condiciones que puedan asimilarse de alguna manera a las españolas. Repasaremos algunos casos.

Alemania

La norma RABT de 1995 especifica unas galerías de salida de emergencia en cual-

quier túnel (de uno o dos tubos) de más de 700 m de longitud, con una ventilación natural o longitudinal. La distancia máxima es de 350 m entre galerías. Para los túneles con dispositivos de extracción de humos (ventilación transversal), no se requieren galerías de escape. Actualmente estas disposiciones están siendo revisadas en Alemania, y probablemente se reducirá la distancia a 300 m.

Austria

Tras el desastre del túnel de Tauern (1999), el Ministerio Federal de Transporte, Innovación y Tecnología está mejo-

rando la seguridad de todos los túneles de más de 500 m de longitud. La distancia máxima entre galerías de escape es de 500 m.

Estados Unidos

La Norma NFPA-502 para túneles de carretera recomienda las galerías de escape, pero no especifica la distancia entre ellas. Es frecuente que se proyecten los nuevos túneles con distancias entre 100 y 200 m (sobre todo en un entorno urbano).

Francia

Tras el desastre del túnel del Mont Blanc (1999), se han revisado a fondo, y de forma muy constructiva, todas las condiciones de seguridad en los túneles. En este contexto los Ministerios de Interior y de Infraestructuras, Transporte y Vivienda han emitido una circular (25 de agosto de 2000) sobre la seguridad en todos los túneles. Las salidas de emergencia son obligatorias, con distancias máximas de 200 m en todos los túneles urbanos y de 400 m en los túneles no urbanos (aunque pueden existir adaptaciones de la norma en los túneles no urbanos de poco tráfico a partir de 500 m de longitud).

Cuando la profundidad del túnel es inferior a 15 m, se requiere una comunicación directa con el aire libre. Si es mayor de 15 m, puede optarse en los túneles con dos tubos por conectarlos entre sí, conectar los escapes a una galería independiente o construir refugios con protección contra incendios. Las dos últimas alternativas (galería general de escape o refugios) son de aplicación a los túneles de un solo tubo de doble sentido de circulación.

Suecia

En los túneles de Sodra Länker, en la circunvalación de Estocolmo, la máxima distancia entre galerías de escape es de



Túnel en Oslo (Noruega)

100 m en los túneles principales y de 150 m en las rampas de acceso.

Suiza

Hay consenso en aceptar una distancia máxima de 300 m entre las galerías de escape; pero esta medida es muy difícil de implementar en la mayoría de los túneles suizos (con longitudes importantes y grandes recubrimientos) que son de doble sentido de circulación. La distancia de 300 m ha sido recomendada en el año 2000 por un Grupo de Trabajo sobre Túneles.

4.3. Recomendaciones

PIARC (1999) recomienda que se establezcan unas galerías de escape como comunicaciones entre los tubos (cuando se trata de dos tubos de sentido único de circulación), a una galería paralela al túnel (cuando se trata de un solo tubo), o al aire libre (en túneles con poco recubrimiento).

No se dan cifras concretas de distancia entre las galerías de escape; pero se citan, a modo de ejemplo, las de la nueva circular francesa (200 m en túneles urbanos y 400 m en túneles no urbanos). Para túneles urbanos se recomiendan distancias entre 100 y 200 m.

La Instrucción IOS 98 dice que "salvo justificación en contrario, en túneles (de carretera) paralelos de longitud mayor de 1 km se construirán conexiones a distancias [...] adaptadas [...] al tráfico [...] ventilación y seguridad".

De hecho, antes de que se promulgase la Instrucción IOS 98 ya se construían galerías de conexión en algunos casos. Por ejemplo, en la autopista Campomanes-León hay una galería de conexión en los túneles de Barrios (de 1 600 m de longitud), con una distancia de 800 m; y tres galerías de conexión en los túneles del Negrón (de 4 160 m de



En los túneles de El Pardo se han establecido galerías de escape con distancias inferiores a 300 m.

longitud) con una distancia de 1 040 m.

Teniendo en cuenta los puntos examinados en los apartados anteriores, parece que una distancia de 400 m entre escapes puede resultar excesiva. De hecho, la práctica reciente española ha establecido galerías de escape con distancias inferiores a 300 m (túneles de Malmasin en Bilbao, túnel de Vallvidrera en Barcelona, túneles de El Pardo en la M-40 en Madrid). Una buena cifra sería de 200 a 275 m, según la longitud total del túnel.

5. Tipos de galerías de escape en túneles de carretera

En muchos casos los gálibos prescritos son muy estrictos.

Parece que una distancia de 400 m entre escapes puede resultar excesiva

Por ejemplo la normativa norteamericana especifica un ancho de 1,1 m, que en la práctica es el de un pasillo en una vivienda privada.

La nueva normativa austriaca especifica que todas las galerías deben tener la dimensión apropiada para "vehículos de servicio", con un gálibo de 3,4 x 3,6 m. Pero, cada 1 000 m, la galería debe tener capacidad para camiones.

La nueva normativa francesa exige que se disponga una galería apta para "vehículos de emergencia" cada 800 m, como conexión entre los dos tubos de un túnel doble. Las galerías para los peatones deben tener como mínimo una anchura de 1,80 m y una altura de 2,20 m, lo que permite el paso de "maquinaria contra incendios". En el caso de comunicaciones directas con el exterior (túneles con menos de 15 m de desnivel respecto al terreno) los escapes para peatones pueden tener una anchura mínima de 1,40 y una altura de 2,20 m. Las galerías de conexión para vehículos grandes deben tener una calzada de 3,50 m con una altura libre de 3,50 m en todo su ancho. El ancho total entre has-

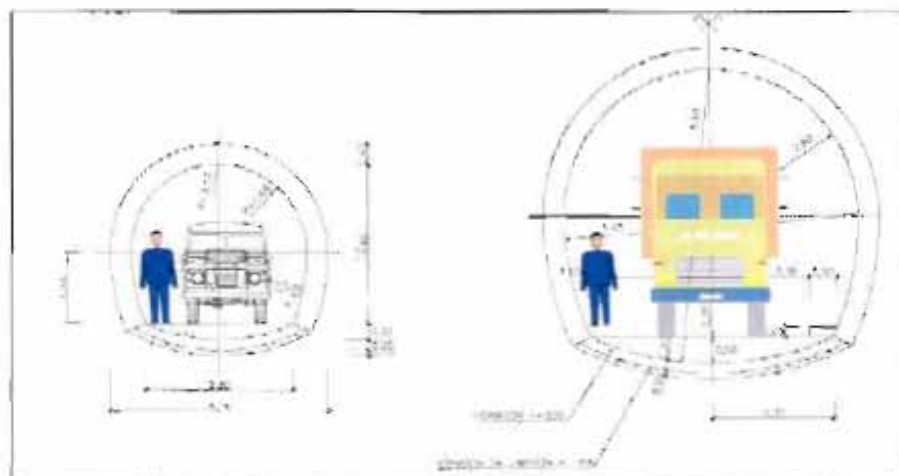


Figura 9. Galerías de escape en los túneles de El Pardo en la M-40 (Madrid). Hay una con gálibo para vehículos ligeros y otra para pesados (Ingeotec, 1999).

tiales deberá ser al menos de 5 m.

En la práctica debe tenerse en cuenta que una galería demasiado estrecha no es por eso más barata y puede dificultar la evacuación, creando un obstáculo en la entrada. Por lo tanto, conviene seguir la normativa austriaca, dando a todas las galerías el gálibo apropiado para una ambulancia, una grúa, un todo terreno, etc.; y a una galería (cada 700-800 m, como máximo), el gálibo apropiado para un camión de bomberos (esto es, una altura libre prácticamente igual a la mínima del gálibo del túnel).

En general, las galerías se espaciarán de forma regular entre ellas, dejando en el entorno del centro del túnel la galería de conexión con gálibo grande, apta para coches de bomberos. Esa galería ancha resultará única para los túneles de longitud inferior a 1 500 m. Para facilitar su utilización, será conveniente establecer un apartadero lateral en el otro hastial del túnel, enfrente a la boquilla, que permite el giro directo sin maniobras.

Puesto que la entrada de las galerías es el punto crítico para la evacuación, convendrá facilitar el paso fijando su rasante a la altura de la acera del túnel, que, si existe, debe ser

montable. No debe haber ningún escalón en todo el circuito de escape.

Con los gálibos recomendados, y teniendo en cuenta que las galerías son de calzada única, la sección tipo será muy apuntada, de anchura menor que su altura. Dado que la conexión entre la galería y el túnel principal puede ser un punto de debilidad menos resistente, es recomendable que se utilicen secciones curvas. Los hastiales rectos son posibles, pero probablemente las secciones curvas resultarán más adecuadas. Y el coste, para estas secciones reducidas, es prácticamente constante con independencia del área de la sección.

6. Puertas. Protecciones

La tendencia actual es a establecer puertas con protección contra el fuego y barra antipánico. Si estas puertas están enrasadas con los hastiales del túnel, su existencia no afecta a la continuidad de las paredes, y muchos proyectistas adoptan esta disposición.

Sin embargo, si la puerta está ligeramente retranqueada (por ejemplo, de 1 a 1,5 m) respecto al hastial, entre la

puerta y la cera del túnel queda un pequeño vestíbulo que facilita el flujo de las personas que escapan. Además, ese vestíbulo puede aprovecharse para otras funciones (por ejemplo, poste SOS, extintor, armario de control, etc.). La norma francesa prescribe un área mínima de 5 m² para un vestíbulo presurizado intermedio entre el túnel y la salida de emergencia.

Las puertas deben ser fáciles de franquear desde el interior del túnel hacia el escape. Pero en el caso de galerías de conexión entre tubos, la salida brusca de personas al túnel donde no se ha producido el incidente puede causar accidentes y atropellos. PIARC recomienda que las puertas de salida no puedan abrirse sin intervención del centro de control, una medida difícil de implementar.

En las galerías con gálibo grande puede convenir colocar dos puertas: una de al menos 2 m de ancho para el escape de personas y otra de grandes dimensiones para el uso de camiones.

La nueva normativa francesa es muy precisa respecto a las puertas:

- En las comunicaciones directas con el exterior, las puertas tendrán una anchura mínima de 0,90 m y una altura mínima de 2 m.
- En las comunicaciones entre túneles, las puertas deberán tener una anchura mínima de 1,40 m y una altura mínima de 2 m.
- En las comunicaciones entre túneles para paso de vehículos, las puertas tendrán una anchura mínima de 3,50 m y una altura mínima de 3,50 m. Además, se añadirán unas puertas más pequeñas, de al menos 0,9 m de anchura y 2 m de altura, para el paso de los peatones.

De forma general, las puertas permanecerán cerradas, para evitar el paso del humo; pero deben poderse abrir por los peatones que escapan del túnel, sin intervención del personal de control. Además, el sentido de apertura será siempre del túnel hacia el interior de la galería de escape.

Los escapes deben estar señalizados. Es normal utilizar el logotipo universal de un hombre corriendo, huyendo de una llama en el suelo detrás de él. Estas señales suelen ser las que se emplean en edificios; resultan de tamaño reducido y pueden no ser percibidas fácilmente. Peor aún, se tiende a colocarlas sobre la puerta a

una altura tal que el humo las tapará en cuanto se establezca la capa superior estratificada.

La experiencia demuestra que los usuarios frecuentemente ignoran la existencia de las salidas de emergencia en los túneles, incluso cuando son usuarios habituales de los túneles urbanos. Teniendo todo esto en cuenta, es preciso proyectar y construir galerías de escape de forma que su entrada resulte evidente, marcando su contorno con colores contrastados y visibles, y señalizarlas con unas señales grandes, situadas algunas a poca distancia del suelo. El retranqueo de las puertas, con la creación de un pequeño espacio visible intermedio entre

el túnel y la galería de emergencia, resulta apropiado para estos fines.

7. Ejemplos

A título de ejemplo se presentan, en la figura 9 las galerías de escape construidas en los túneles de El Pardo de la M-40 de Madrid, y en la figura 10 las proyectadas para los túneles de El Perdón en la futura autovía Pamplona-Estella.

8. Referencias

INGEOTEC (1991). "Proyectos de licitación y de cons-

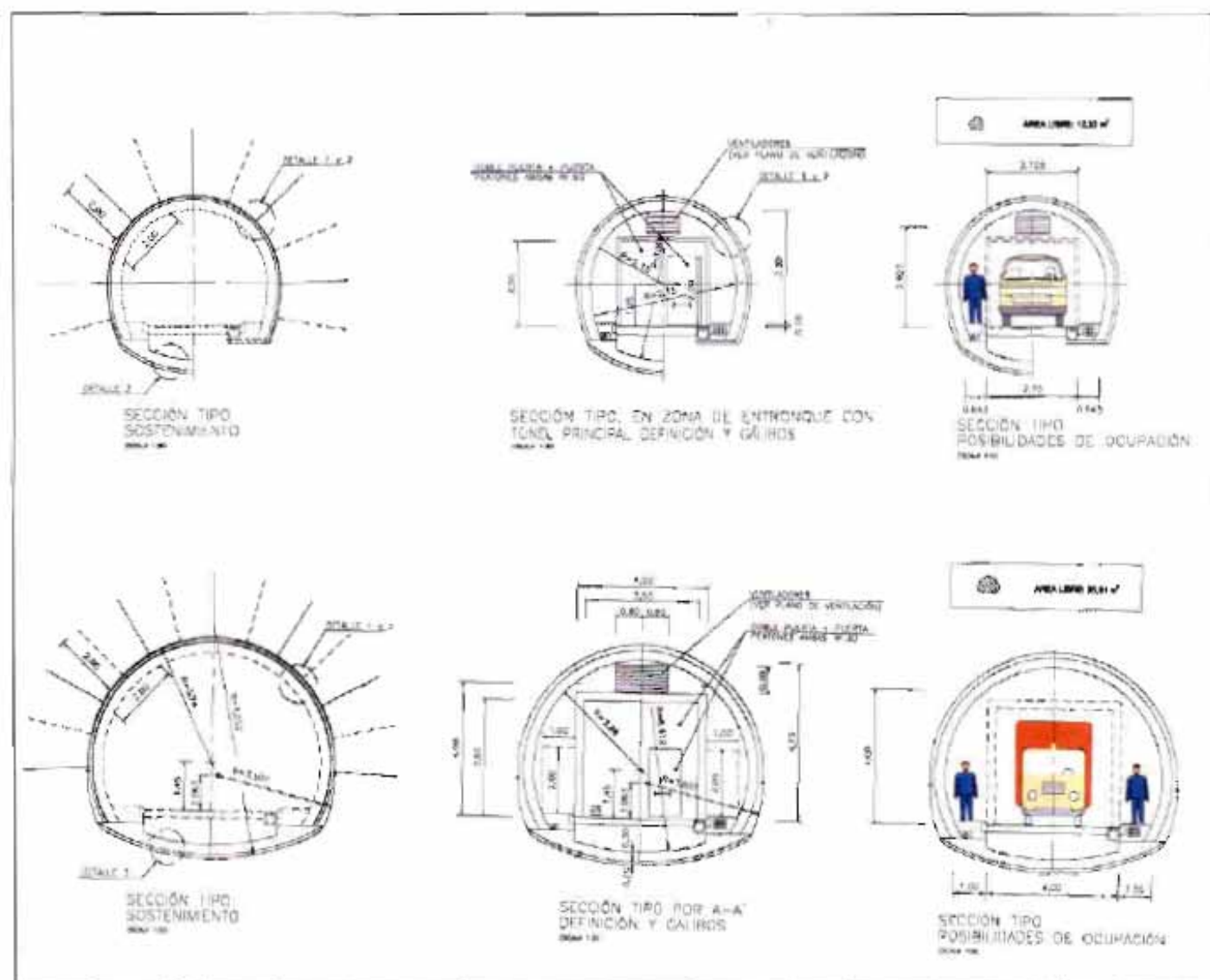


Figura 10. Galerías de escape en los túneles de El Perdón (Ingeotec, 2000).



Galería de escape de un túnel japonés.

tion of escape from road and rail tunnels using Simulex". 4th Int. Conference on Safety in Road and Rail Tunnels. (A. VARDY editor). University of Dundee and Independent Conferences, pp. 323-334.

NFPA 502 (1998). "Standard for road tunnels, bridges and other limited access highways", National Fire Protection Association, Quincy Ma.

PIARC (1999). "Fire and smoke control in road tunnels". PIARC Committee in Road Tunnels (C5). Ed. PIARC.

trucción de los túneles del Par- do en la M-40. Madrid". No publicado.

INGEOTEC y SERS (2000). "Proyecto de los túneles de El Perdón en la autovía Pamplona-Estella". No publicado.

LI S., KENNEDY B. y HARVEY N. (2001). "Simula-

RABT (1994). Forschungs- gesellschaft für Strassen und Verkehrswesen. Colonia.

ROMANA M. (1989). "Pro- yecto de medidas de seguri- dad, nuevo revestimiento y nuevas instalaciones de venti- lación e iluminación de los tú- neles de Malmasin". No publi- cado.

TETZNER D. y FOIT W. (2001). "Minimum protection measures in the case of fire in road tunnels". 4th Int. Con- ference on Safety in Road and Rail Tunnels. (A. VARDY editor). University of Dundee and Independent Technical Conferences, pp. 1 161-1 170.

THOMPSON P.A. y MAR- CHANT E.W. (1995). "A com- puter model for the evacuation of large building populations". Fire Safety Journal nº 24. ■