

SEGURIDAD FRENTE A INCENDIOS EN TÚNELES: DISEÑO PARA TÚNELES FERROVIARIOS

SAFETY MEASURES AGAINST TUNNEL FIRE RAILWAY TUNNEL DESIGN

LUIS FORT LÓPEZ-TELLO, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Profesor Titular de Geotecnia. E.T.S.I.C.C.P. de la UPM. lfort@ciccp.es

RESUMEN: Se expone en primer lugar unas consideraciones sobre el cumplimiento de las prescripciones técnicas adoptadas por la administración ferroviaria española en el diseño de túneles largos de ferrocarril de la red de alta velocidad, presentando a continuación, en la línea de posible mejora de las condiciones de seguridad y aerodinámicas de explotación, posibles alternativas a proyectos de tramos de la red de alta velocidad española, que incluyen túneles largos, actualmente en fase de proyecto o en inicio de ejecución.

PALABRAS CLAVE: TÚNELES, ALTA VELOCIDAD, SEGURIDAD, INCENDIOS

ABSTRACT: The article puts forward a number of considerations regarding the observance of technical regulations established by the Spanish Rail Authority for the design of long railway tunnels for high-speed trains. The author then goes on to indicate possible measures which could be taken to improve safety conditions and operating aerodynamics, as well as possible alternatives to sections of the Spanish high-speed rail network involving long tunnels and which are currently at the planning stage or the early stages of work

KEYWORDS: TUNNELS, HIGH-SPEED, SAFETY, FIRE

1. INTRODUCCIÓN

La extensión de la red ferroviaria de alta velocidad en Europa y particularmente en España, está provocando el incremento en número y longitud de túneles a construir para la infraestructura de esta red.

Acrescentada por los graves accidentes ocurridos en los últimos años en túneles largos europeos, ferroviarios y carreteros, la preocupación por la seguridad para los usuarios de los mismos ha pasado a ser, como indiscutiblemente deber serlo, el principal objeto de consideración en el diseño funcional de túneles.

Los elementos de diseño de un túnel ferroviario que determinan básicamente la seguridad específica del mismo ante el riesgo más grave que le puede afectar, el incendio de un tren en su interior, son su sección libre y su longitud.

Esta pareja de elementos intrínsecos de diseño, unido a su condicionante de partida, la velocidad de proyecto del trayecto ferroviario en el que se localiza el túnel, da lugar a

los primeros dilemas conceptuales a los que tiene que enfrentarse el proyectista de una infraestructura ferroviaria de alta velocidad: posibilidad topográfica, en el trayecto considerado, de fraccionamiento de la longitud de un único túnel de base en dos o más de menor longitud, contemplada con la determinación de la sección libre necesaria para cada una de las morfologías posibles a seleccionar: túnel monotubo, bitubo ó tritubo.

2. CUESTIONES PRIMORDIALES DE DISEÑO

La solución en principio elegida para la redacción del Proyecto de este tipo de túneles ferroviarios de gran longitud de la red de alta velocidad, debe intentar dar respuesta en la mejor forma posible, adaptada a las posibilidades topográficas que ofrezca el trazado, a las cuestiones primordiales de diseño que plantea el cumplimiento de las Prescripciones técnicas adoptadas por la Administración ferroviaria es-

pañola (velocidad 350 Km/h, con reducción máxima por perfil, del 20% y circulación con doble vía en todo el trayecto):

- 1) Sección con superficie libre suficiente para cumplimiento de las condiciones aerodinámicas exigidas.

- a) por variación de presiones, para seguridad y confort de viajeros (1), (5), (7) y
- b) por razonamiento tren-aire-túnel, para velocidad de circulación de trenes (4).

- 2) Sistema de evacuación de trenes, en caso de accidente, que garantice efectuar ésta, con vehículo de rescate, en menos de 30 minutos, para que sea efectiva, permitiendo la explotación del tramo con doble circulación (2), (3).

Respecto a la tipología de túneles, las Bases Técnicas del GIF (Gestor de Infraestructuras Ferroviarias) indican (8):

"Para aquéllos túneles cuya longitud sea igual o inferior a 10 Km, se utilizará una sección de vía doble que cumpla los condicionantes geotécnicos, aerodinámicos y de explotación que se fijan.

En el caso de longitudes iguales o superiores a 20 Km, se construirán dos túneles de vía única en los que además de los condicionantes anteriores se tendrán muy en cuenta las medidas de seguridad que se expresan a continuación.

La tipología a adoptar en los túneles de dimensión intermedia requerirá un análisis riguroso de todos los factores implicados.

En cualquier caso será preciso hacer un análisis de situaciones de riesgo en el interior de los túneles, tanto en operación normal como en caso de emergencia"

Respecto a las medidas de seguridad:

"En el caso de túneles de longitud igual o superior a 20 Km deberán disponerse galerías de conexión entre ambos túneles de vía única, para la evacuación de personal en caso de emergencia. La distancia entre estas galerías no superará en ningún caso los 500 m

Con un intervalo no mayor de 20 Km, y preferiblemente distribuidas de modo uniforme a lo largo del túnel, se establecerán salidas de emergencia al exterior que permitan un eventual rescate"

En las condiciones de explotación:

"Además de los PAET situados en las bocas Norte y Sur deberán preverse puestos de banalización internos que comuniquen los dos túneles de vía única.

Estos puestos se instalarán uniformemente a intervalos no superiores a 20 Km"

El cumplimiento estricto de las Bases Técnicas del GIF, permite hacer las siguientes consideraciones:

- Tiempo de frenado medio aproximado, desde velocidad teórica (90% de la velocidad tipo de 350 km/h) de casi dos minutos y una distancia de parada próxima a los 5 Km.
- Tiempo medio para un recorrido de 5 Km, con velocidad teórica, es de un minuto aproximadamente.

Estas dos consideraciones justifican la tipología de túnel de vía doble para longitudes por lo menos de hasta 10 Km prescritas en las Bases Técnicas del GIF.

El mayor tiempo teórico de evacuación de una rama de alta velocidad de 200 m de longitud, calculado según la NFPA (2) es de 12 min, con lo que sumado al tiempo de espera para comienzo de la evacuación:

$$1 \text{ min} + 0,0001905 L_{tu}$$

deja un tiempo para llegada, llenado y salida de un tren de rescate de hasta t_2 minutos:

$$t_2 \leq 17 - 0,0001905 L_{tu}$$

Con una velocidad media (de acceso y salida) del tren auxiliar, de 100 Km/h y un tiempo de llenado del mismo de 5 min:

$$0,0012L_{tu} \leq 12 - 0,0001905 L_{tu}$$

$$L_{tu} \leq \frac{12}{0,0012950} = 8.630 \text{ m.}$$

3. CONSECUENCIAS DERIVADAS PARA EL DISEÑO

Quiere esto decir, que para túneles de hasta unos 8,5 Km de longitud, en líneas de alta velocidad, con velocidad tipo de 350 Km/h, la evacuación de un tren accidentado que se detenga en el interior del túnel, puede hacerse a través del mismo túnel, utilizando la otra vía, conectada en ambas bocas del túnel con las vías de espera de los trenes auxiliares, de los que el que correspondiese, según la localización del accidente (vía y punto kilométrico), arrancarían tres minutos después de haberse detenido el tren siniestrado.

Así, hasta esta longitud de túneles, no resulta necesaria la ejecución de una galería auxiliar, siendo por tanto la solución adecuada la de tubo único de gran sección, que ofrece mejores condiciones aerodinámicas, con picos de variación

de presiones que solamente se producen en el caso de cruce de trenes, y no para todas las circulaciones como resulta inevitable en el caso de túneles de vía única, de una solución bitubo.

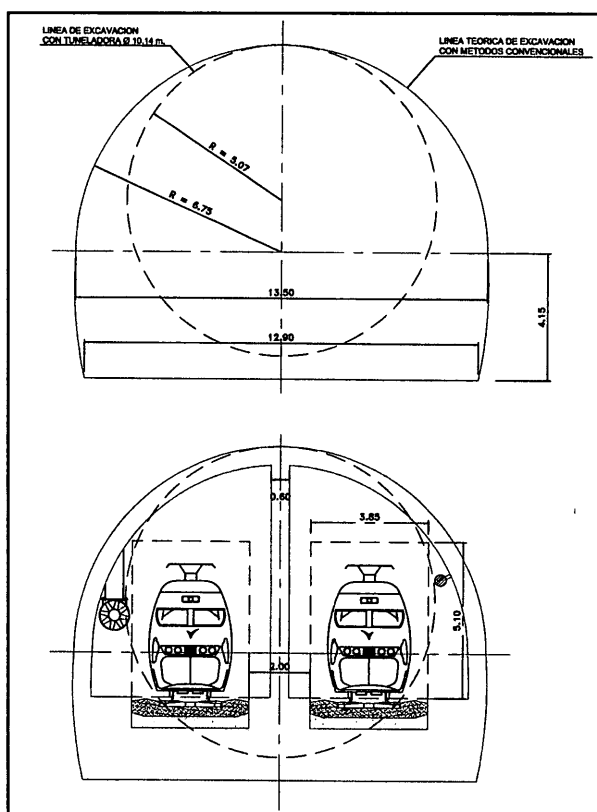
El riesgo de colisión frontal en el caso de túnel de vía doble, como causa del siniestro en su interior, es menor que el de colisión lateral en el de vía única, y ambos prácticamente despreciables, si bien la mayor gravedad, dentro de la enorme que también en ambos casos supondría este tipo de accidentes, representa su poco probable (cruce de trenes en el interior del túnel) ocurrencia, puede eliminarse aumentando ligeramente la sección del túnel para la disposición de un tabique discontinuo con puertas correderas que sirva de separación a los dos sentidos de circulación, en forma semejante a la planteada en el túnel "Groene Hart", actualmente en construcción, en la línea París-Amsterdam.

La sección libre necesaria para el cumplimiento de las condiciones aerodinámicas, con velocidad tipo de 350 Km/h, es del orden de los 100 m² (1), (6).

Para túneles de más de 20 Km de longitud, la tipología marcada por el GIF (8), es de bitubo. En este caso, para mantener la explotación en vía doble, resulta imprescindible la construcción de una galería de evacuación, comunicada a intervalos no superiores a 500 m (8), con los dos tubos de circulación de los trenes de alta velocidad (TAV), por la que circulará un tren auxiliar de rescate (VAL), que deberá acompañar, para que igualmente al caso descrito anteriormente, sea efectivo el rescate como máximo en 30 minutos, a todas las circulaciones principales que entren en el tramo comprendido entre los dos PAET (8), (2).

Los condicionantes (8) de seguridad, salidas al exterior, y de explotación, puestos de banalización, dispuestos unos y otros a intervalos no superiores a 20 Km, obliga prácticamente a limitar la longitud de estos túneles en solución tritubo (dos para explotación normal en alta velocidad, y otro de menos sección como galería de evacuación) a longitudes próximas a múltiplos de 20 Km.

Si el perfil del terreno lo permite, forzando las pendientes de la rasante, dentro del cumplimiento de reducción de la velocidad inferior al 20%, los dos condicionantes anteriores encuentran solución más adecuada fraccionando el túnel único en dos o más de longitudes menores, que permitan situar las salidas y los puestos de banalización aprovechando los espacios intertúneles. En el caso de que la longitud de los túneles fraccionados exceda inevitable y significativamente de 10 Km, la solución que cumpla las condiciones mínimas de seguridad y explotación anteriormente citadas, tendrá que ser tritubo, con dos tubos con sección suficiente para el cumplimiento de las condiciones aerodinámicas y de reducción de velocidad por rozamiento-aire-túnel, por los que circulen los trenes de alta velocidad, y otro con la sección estricta para la circulación de los trenes auxiliares de evacuación.



Sección túnel vía doble. Túnel de Abdalajis.

Alternativamente, si el gran túnel de base puede fraccionarse en túneles de longitud menor o próxima a 10 Km, la solución óptima, será la bitubo, con un tubo de gran sección para circulación en vía doble de los trenes de alta velocidad y otro, al igual que en la solución tritubo, de sección estricta para la circulación de trenes auxiliares de rescate.

4. APLICACIÓN A ACTUACIONES DE LA RED DE ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA

Unos ejemplos de aplicación de estas consideraciones se exponen a continuación para túneles en planeamiento o ejecución de la red española de alta velocidad.

Túnel de Abdalajis (AVE Córdoba-Málaga)

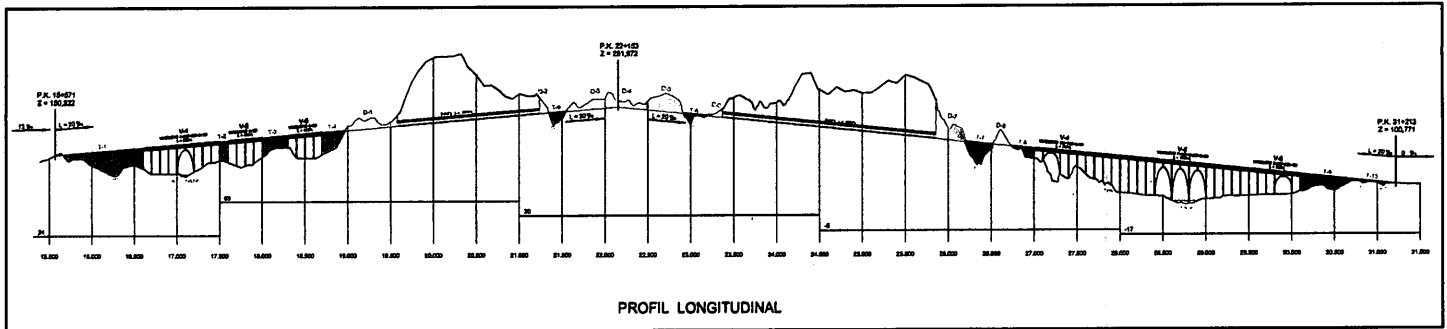
Longitud aproximada: 7,2 Km.

Solución previstas en Proyecto:

Bitubo con diámetro interior 9,06 m (sección libre 56,1 m²) y galerías de comunicación entre ambos tubos.

Posible alternativa:

Túnel único monotubo, de gran sección con tabique de separación de circulaciones (sección libre 103 m²).



Ave Figueras-Perpiñán.
Túnel de Perthus.
(Alternativa 2 túneles).

Esta alternativa ofrece mayor seguridad frente a incendios, mejores condiciones aerodinámicas a la generalidad de las circulaciones, menor rozamiento tren-aire-túnel y por tanto menor reducción en la velocidad de los trenes. Por otra parte el presupuesto de los túneles se reduciría en un 7% aproximadamente.

Túnel de Perthus (AVE Figueras-Perpignan)

Longitud aproximada: 8,4 Km.

Solución prevista en Proyecto:

Bitubo con diámetro interior 9,00 (sección libre 55,4 m²) y galerías de comunicación entre ambos tubos.

Posibles alternativas:

- a) Sin cambio de Rasante.

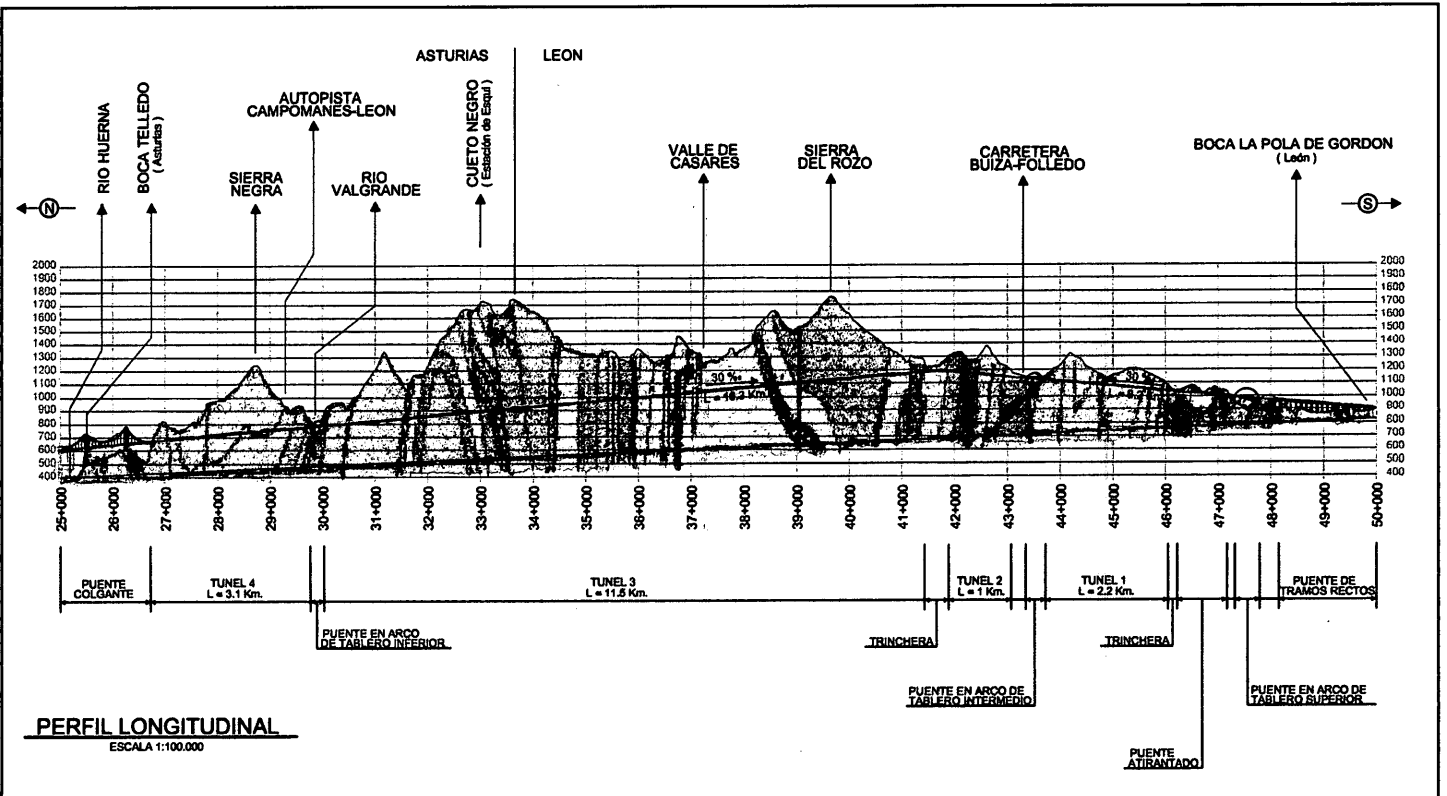
Túnel único monotubo de gran sección con tabique de separación de circulaciones (sección libre 103 m²).

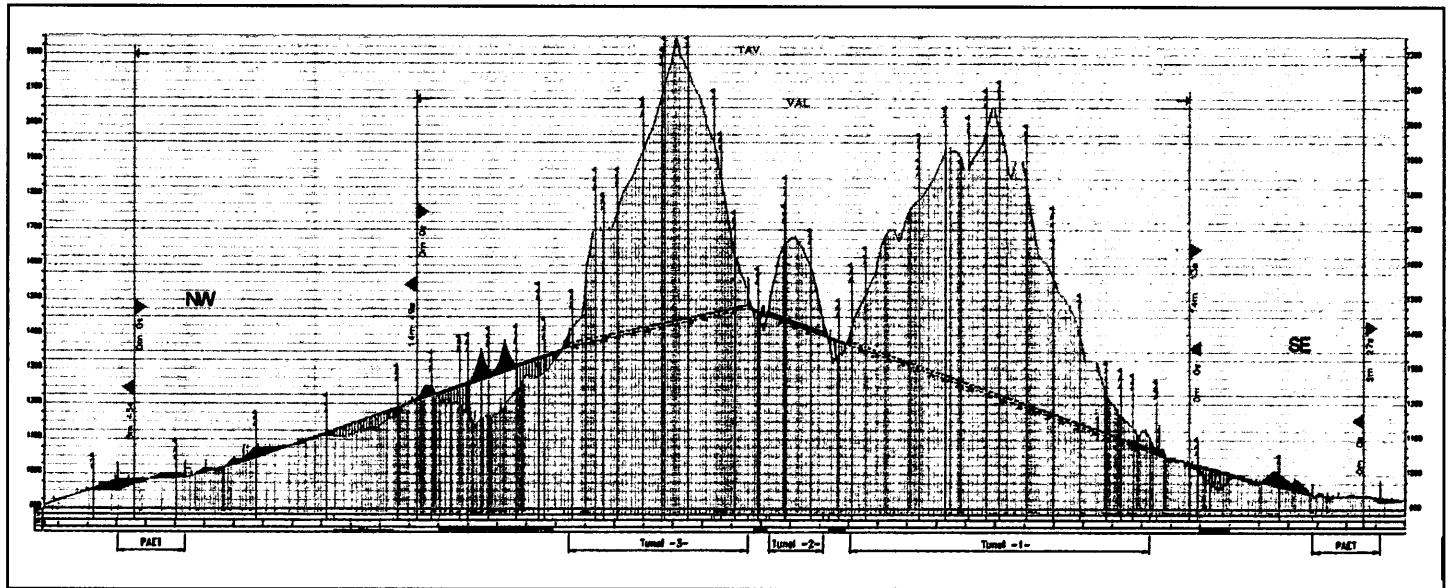
- b) Con cambio de Rasante (pendiente máxima 20%).

Dos túneles de 1,7 Km y 2,5 Km de un solo tubo de gran sección con tabique de separación de circulaciones (sección libre 103 m²) y 4,2 Km de trazado a ciclo abierto con desmontes máximos de 40 m y terraplenes de 20 m.

Estas alternativas presentan, especialmente la b), al quedar reducido el trazado en túnel a la mitad (4,2 Km frente a

Túnel de Pajares.





Túnel de Guadarrama.
Perfil del trayecto.

8,4 Km), mayor seguridad frente a incendios y por la amplitud de la sección, mejores condiciones aerodinámicas y menor reducción en la velocidad de los trenes por menor rozamiento tren-aire-túnel. El presupuesto de proyecto se reduce aproximadamente un 11% en la alternativa a) y un 15% en la alternativa b), teniendo en cuenta el encarecimiento a que obliga el cambio de rasante en las estructuras de los accesos al túnel.

Túnel de Pajares (AVE León-Asturias)

Longitud aproximada: 24,5 Km.

Solución prevista en el Estudio Informativo:

Bitubo con diámetro interior 8,5 m (sección libre 49,5 m²) y galerías de comunicación entre ambos tubos).

Posible alternativa:

Con cambio de rasante, sustituyendo la pendiente única ascendente (sentido Asturias-León) por dos tramos de 30 milésimas (16,3 Km ascendente y 8,2 Km descendente), que permite fraccionar el túnel único bitubo de 24,5 Km en cuatro túneles bitubo, un tubo de gran sección (Slibre = 104 m²) para circulación en doble vía de alta velocidad y otro de 6,35 m de diámetro interior como galería de seguridad para circulación de tren de auxilio, con 3,1 Km, 11,5 Km, 1,0 Km y 2,2 Km, reduciendo el tramo en túnel en 6,7 Km que se transforman en 2,1 Km de trincheras y 4,6 Km de viaductos.

Esta alternativa permitiría con una reducción de aproximadamente un 15% sobre el presupuesto estimado del Estudio Informativo, mejorar las condiciones de rescate y evacuación

de viajeros en caso de accidente, garantizando la presencia en menos de quince minutos de un tren de auxilio y la posibilidad de explotación en doble vía con libertad de circulación en ambos sentidos, a una velocidad superior a 280 Km/h (reducción menor del 20% sobre el tipo de 350 Km/h). Además la doble pendiente, ofrece un notable ahorro en el plazo de ejecución, al permitir el ataque por dos frentes.

Túnel de Guadarrama (AVE Madrid-Segovia)

Longitud aproximada: 28 Km.

Solución adoptada en Proyecto:

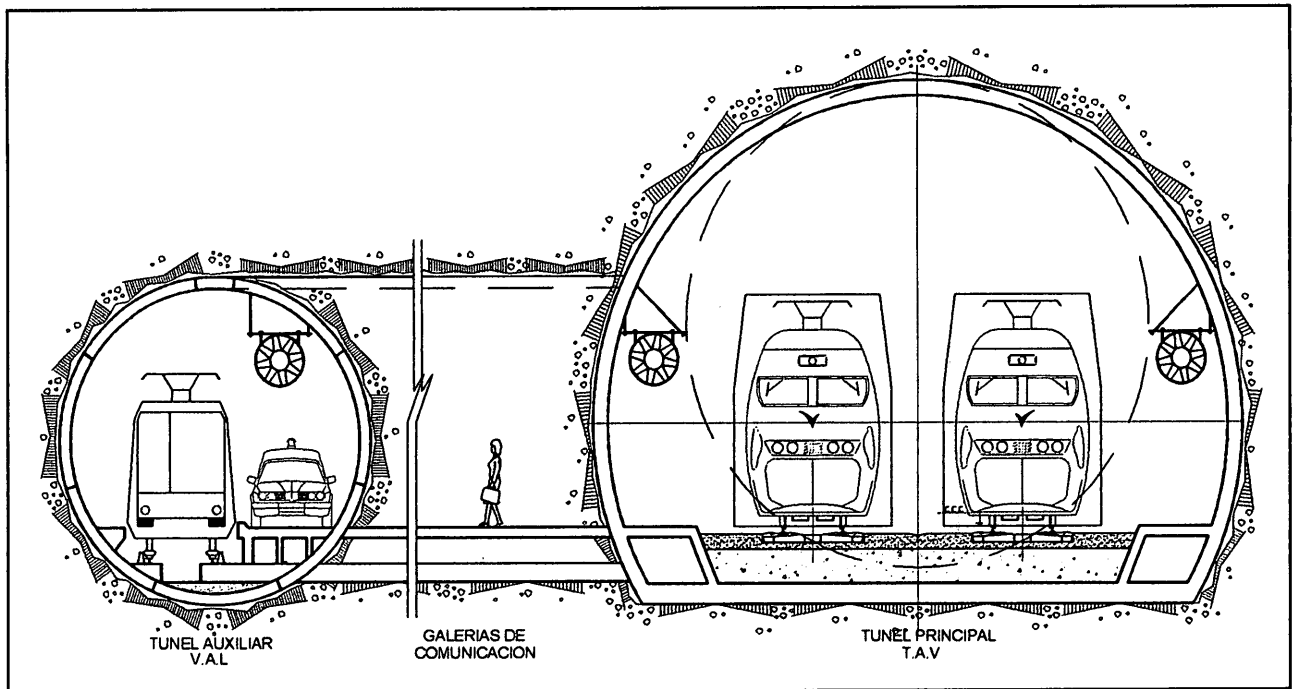
Bitubo, con diámetro interior 8,50 m (sección libre 49,5 m²) y galerías de comunicación entre ambos tubos.

Posible alternativa:

Alternativa Paraíso (3), con cambio de rasante, a pendientes de hasta 18,2 y 30 milésimas y ligeramente en planta (dentro del corredor), reduciendo el tramo en túnel, en 9,8 Km, que se transforman en 2 km de trincheras y terraplenes y 7,8 Km de viaductos y sustituyendo el túnel único bitubo por tres túneles bitubo, un tubo de gran sección (Slibre 86 a 101 m²) para circulación en doble vía de alta velocidad y otro de 6,35 m de diámetro interior como galería de seguridad para circulación de tren de auxilio, con 10,25 Km, 1,85 Km y 6,10 Km de longitudes respectivas.

Esta alternativa, compatible con la adoptada, ensanchando la sección excavada de 69,40 m² con tuneladora de 9,40 m de diámetro de perforación en una segunda fase, entre 40 y 55 m² (según los túneles), mediante perforación y voladura, ofrece una minimización del impacto me-

Túnel de Guadarrama. Sección transversal de los túneles.



dioambiental final, pues al proyectarse esta alternativa con túneles de gran gálibo y doble vía, determina la eliminación de estructuras auxiliares con salida al exterior, de funcionamiento, emergencia y evacuación, que adoptada, por exigencias medioambientales, deben existir necesariamente en soluciones de túneles de vía simple con longitudes superiores a 20 Km, y fundamentalmente un aumento en la seguridad y condiciones aerodinámicas de explotación.

El presupuesto de la alternativa Paraíso, ligeramente inferior al de la solución adoptada, sin las estructuras auxiliares que, obligadamente para mantener las exigencias de seguridad y de explotación de las Bases Técnicas del Concurso (8), será necesario incluir, representaría una reducción real del presupuesto final de aproximadamente un 20%.

5. CONCLUSIÓN

La aplicación conceptual de los resultados encontrados en la modelización con los programas Ouranos (1) y Transit (2) para el estudio de la alternativa Paraíso, en lo relativo a las condiciones aerodinámicas de circulación de trenes de alta velocidad en túneles largos y a las estrategias de evacuación y rescate en caso de incendio en el interior de éstos puede servir para la propuesta de soluciones más seguras, con mejores condiciones aerodinámicas y más económicas que las que con carácter general se están adoptando, bitubo de diámetro estricto. ■

BIBLIOGRAFÍA

- (1). Fort, L y Gil, F "Cálculos aerodinámicos en túneles de ferrocarril, simulaciones con el Programa Ouranos". R.O.P. marzo 2001.
- (2). Fort, L y Chasse, P "Simulación de incendio en túneles largos de ferrocarril. Estrategias de escape" R.O.P. febrero 2002. Texto en inglés publicado en Fourth Int. Conf. "Safety in Road and Rail Tunnels". Madrid. April 2001.
- (3). Fort, L "La seguridad, primordial requerimiento ecológico. Aplicación al diseño de infraestructuras ferroviarias". Texto en español, pendiente de publicación en R.O.P. desde marzo 2002. Texto en inglés publicado en V Int. Conf. "Safety in Road and Rail Tunnels" Hong Kong, May 2002. Texto en francés publicado en "Journées Internationales «Les Souterrains: des ouvrages qui vivent»". AFTES. Toulouse. Octubre 2002.
- (4). Melis, M et al "Diseño de túneles para trenes de alta velocidad. Rozamiento tren-aire-túnel y ondas de presión". R.O.P. noviembre 2001.
- (5). Pope, CW, Bennellick, DA & Henson, DA. III Int. Conf. "Safety in Road and Rail Tunnels". Basel. December 1999.
- (6). Harnois, J "Le tunnel de Groene Hart du Pays Bas". Travaux n°. 783 février 2002.
- (7). Ministerio de Fomento "Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros". D.G.F. 2001.
- (8). GIF "Nuevo acceso ferroviario N-NO: Madrid-Segovia-Valladolid/Medina del Campo. Tramo: Soto del Real-Segovia Bases Técnicas". 1998.