

Una propuesta de normativa sobre la obra civil necesaria para la seguridad en explotación de túneles de carretera

Proposed civil work regulations for road tunnel operation safety

Manuel Romana Ruiz. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Ingeniería del Terreno (Universidad Politécnica de Valencia).
Secretario del Comité Internacional de Túneles de la PIARC. mromana@stmr.com

Resumen: Se discute la situación creada por la necesidad de realizar una trasposición a la Normativa española de la Directiva sobre Seguridad en Túneles de Carretera aprobada por la Unión Europea en 2004. La situación española es compleja debido a que los túneles para vehículos automóviles son construidos y explotados por las administraciones autonómicas y municipales además de la red nacional que administra la Dirección General de Carreteras. De todos estos organismos es precisamente la Dirección General de Carreteras la que va más adelantada en esa cuestión, porque la mayor parte de las disposiciones de la nueva directiva ya estaban incluidas en la Normativa que aplicaba. El autor propone un texto como posible adaptación de la Directiva Europea a los túneles españoles.

Palabras Clave: Túneles de carretera, Explotación, Seguridad, Incendios, Galerías de escape, Diseño, Directiva Europea

Abstract: The article considers the adoption of the 2004 European Directive on Road Tunnel Safety within Spanish regulations. The Spanish situation is complex as road tunnels in this country are built and operated by regional and municipal authorities in addition to the national network managed by the Spanish Highways Department. The said Highways Department is the most advanced of all these authorities in this regard as the majority of the stipulations included in the new directive are already included in the Department's regulations. The author proposes a possible adaptation of the EC Directive to Spanish road tunnels.

Keywords: Road tunnels, Operation, Safety, Fires, Escape galleries, Design, EC Directive

1. Introducción

Con razón y sin ella, el aspecto puntual de seguridad vial que más preocupa a la opinión pública -y que levanta mayores titulares en los periódicos- es el de los incendios en túneles

Con razón, porque en los últimos años (a partir de 1997) se han producido varios graves incendios en túneles de carretera, con muertos, y eso puede indicar que comienza una serie nueva, quebrando posiblemente la estadística anterior, según la cual el incendio en túneles de carretera era un riesgo muy poco probable.

Sin razón, porque aunque fuera así, la accidentalidad en túneles de carretera seguiría siendo muy baja, comparada con la del resto de la red viaria.

1. Introduction

The road safety factor of greatest concern to the general public is that of tunnel fires and this aspect receives the largest amount of column space in the press.

This opinion could be said to be founded on the basis that over recent years (since 1997) there have been a series of serious road tunnel fires which have caused deaths and that this may indicate the onset of further incidents and undermine existing statistics which show the very unlikely risk of road tunnel fires.

The opinion could also be said to be unfounded as, even if this were the case, the number of accidents in road tunnels continue to be very low when compared to the rest of the road network.

En todo caso hay una evidente demanda social para que se tomen las medidas necesarias para reducir al máximo los riesgos que sufren los usuarios, en el caso de que se encuentren envueltos en un incendio mientras atraviesan un túnel. Y por otra parte parece evidente -nadie lo discute- que seguirán produciéndose incendios (pocos o muchos) inevitablemente, por lo que el riesgo seguirá existiendo siempre.

Fruto de esa demanda social, transformada en necesidad política, ha sido la *Directiva 2004/547CE del Parlamento Europeo y del Consejo (29/Abril /2004) sobre Seguridad en Túneles de la Red Europea de Carreteras*, Directiva, cuya versión en español ha sido publicada en el Boletín Oficial de las Comunidades Europeas con fecha 7 de junio de 2004, y es por lo tanto Derecho Comunitario, de obligado cumplimiento en España, y en todos los demás países de la Unión Europea.

La Directiva, como casi toda la legislación europea, ha sido un acuerdo de mínimos, elaborado por consenso, y especifica claramente que los Estados Miembros pueden, y deberían, no sólo adoptarla y cumplirla, sino dar un paso más allá estableciendo legislaciones nacionales que la extiendan al resto de la red viaria de cada país (y no sólo a la Red Europea de Carreteras) y amplíen sus exigencias de seguridad.

La situación actual española, en el tema de la seguridad en túneles, es compleja. La Dirección General de Carreteras ya tenía muchos de sus deberes hechos (como luego explicaré), y sólo tiene pendiente ahora una tarea: elaborar la Norma que aplique y desarrolle la Directiva Europea en la red viaria de titularidad estatal que gestiona. Las Administraciones Autonómicas tienen de hecho posiciones muy diversas, desde la construcción, a veces de túneles seguros, a veces de túneles donde se eliminan los arcenes y cuando se ponen en una decena de metros, se les llama anchurón. Muchas de las Administraciones locales han perdido la medida de la proporción y actúan a bote pronto: se gastan fortunas innecesarias en medidas de seguridad excesivas, o por el contrario para resolver el reformado del contratista no dudan en poner en servicio túneles a sabiendas de que incumplen la Directiva Europea. (Y si las palabras anteriores parecen excesivas, cada frase puede documentarse con un caso concreto, o varios)

Los deberes que ya lleva hechos la Dirección General de Carreteras son principalmente tres, en materia de trazado, de seguridad y de explotación.

El primero fue aprobar, y cumplir desde hace una decena de años, una Norma de Trazado que incluía disposiciones de trazado y de sección tipo de túneles muy modernas y eficaces para la seguridad, previsiones a las que ahora se está llegando en otros países europeos y en la propia Directiva Europea.

El segundo fue establecer, hace varios años, una "Nota de Servicio sobre elementos de seguridad en túneles", Nota

However, there is evident public pressure for the introduction of necessary measures to reduce user risks to the absolute minimum in the case where their vehicles are involved in a fire incident when passing through a tunnel. There is, similarly, no doubt that fires will continue to occur (regardless of frequency) and that the risk will always continue to be present.

In response to this public pressure, the European Parliament and Council have issued Directive 2004/547EC of 29 April 2004 on Tunnel Safety in the European Road Network. The Spanish version of this directive was published in May 2004 and this Community Law is of mandatory observance in Spain and all other EU countries.

The Directive, as with all European legislation, is an agreement of minimums, drafted by common consensus and one which clearly specifies that Member States should not only adopt and comply with the same, but that they should also go one step further and establish their own national legislation which may be extended to cover the entire road network of each country (and not only that of the European Road Network) and make stricter safety demands.

The current situation regarding tunnel safety in Spain is fairly complex. The Spanish Highways Department has already completed many of its duties (as referred to further on) and has only one outstanding task: that of preparing regulations which apply and develop the European Directive with regards to the Spanish road network under their administration. The regional autonomous authorities have taken up varying positions which range from the construction of safe tunnels to those which have eliminated emergency lanes and installed emergency lay-bys in their place. Many local authorities have lost all sense of proportion and acted in a knee-jerk fashion by spending inordinate amounts of money on excessive safety measures or have acted to the contrary and attempted to minimise disruption to contractual agreements by placing tunnels in operation in the full knowledge that these do not meet the European Directive. (While these accusations may appear somewhat excessive, each statement may be verified by at least one specific case).

The Spanish Highways Department have already undertaken three major changes in terms of design, safety and operation.

The first was to pass and enforce Design Specifications (Norma de Trazado) some ten years ago. These regulations included very modern and efficient safety stipulations concerning tunnel specifications and standard section and these stipulations have since been taken up by other European countries and by the EU Directive itself.

The second was the establishment of a "Service Note on tunnel safety elements". This note, applied in the manner of a Provisional Code, was published several years ago and

que se está aplicando regularmente, como si fuera una Instrucción Provisional, y que contenía ya requisitos más estrictos que los que ahora exige la Directiva Europea.

El tercero es el establecimiento gradual de un sistema de control de explotación de todos los túneles de carretera, existentes anteriormente o de nueva construcción.

Sin embargo tiene que adaptar, a plazo fijo, la Normativa Española a la Europea, especificando a qué partes de la red de carretera de interés general del Estado se va a aplicar.

2. El problema de la terminología

Un problema añadido de difícil solución es la terminología de la Directiva publicada. Ya sea por un prurito de novedad, ya sea por desconocimiento, ya sea por un deseo de consenso entre los diferentes idiomas oficiales, lo cierto es que los traductores de la Unión Europea han introducido una serie de términos que no se utilizan en español. Así por ejemplo las "pasarelas de emergencia" (¿una traducción directa del inglés *emergency walkways*?) sustituyen a nuestras aceras, y las "estaciones de emergencia" (esto sí que seguro es un término inglés traducido a la brava) se corresponden con nuestros postes SOS.

¿Hubiera podido corregirse el daño si nuestra Administración hubiera estado más atenta a lo que se cocía en los pasillos de Bruselas?. Quizá, pero ahora hay que apechugar con el empastre. La solución más fácil, aunque reiterativa, es utilizar simultáneamente una doble terminología: la tradicional y la nueva.

3. ¿Qué podría hacerse para tener en España criterios únicos y razonables de seguridad en túneles?

Puesto que en España los túneles para circulación de vehículos automóviles son proyectados y construidos por muy diversas administraciones es muy deseable un consenso entre ellas en un tema que preocupa al ciudadano que va a viajar en su coche y que en cada viaje tiene que atravesar túneles de muy diversa titularidad (empezando por los que pueda haber en su ciudad)

Ese consenso es especialmente importante en las cuestiones de obra civil, porque luego resulta imposible –por lo menos muy difícil y costoso– cambiar la sección de un túnel o añadirle salidas de emergencia, mientras que cambiar un ventilador o colocar más y mejores cámaras de vigilancia son operaciones simples y casi rutinarias.

Hay en este momento dos errores comunes: la creencia de que la seguridad se consigue comprando un buen programa informático (cuanto más complejo mejor, aunque lue-

already contained the strict requirements now demanded by the European Directive.

The third is the gradual establishment of an operational control system of all pre-existing and newly constructed road tunnels.

However, the department has a fixed period in which to adapt Spanish legislation to European standards and to specify those parts of the public road network which will come under the same.

2. The problem of terminology

An additional problem and one which is difficult to overcome is that of the terminology employed in the directive. Whether on account of an urge for innovation, lack of knowledge or an attempt to reach some sort of consensus between official languages, the EU translators have employed a series of terms which are not employed in Spanish. The translators have employed a literal translation of the English term "emergency walkways", instead of the Spanish term "aceras" which is more akin to pavements or footways and the term "estaciones de emergencia" which is again a literal translation of "emergency stations" instead of the Spanish SOS "posts".

If our authorities had been a little more aware of what was happening in the bureaucratic circles in Brussels, it might have been possible to offset this misuse of terms, but we now have to live with the consequences. One easy solution, though somewhat reiterative, would be to use both new and traditional terms simultaneously.

3. What can be done in Spain to ensure single and reasonable tunnel safety criteria?

Road tunnels are designed and built in Spain by many different administrative authorities. It is, therefore, of utmost importance that there be consensus between these authorities regarding a matter which concerns the general public who have to drive through tunnels which come under a whole host of administrative bodies (and starting with the very same tunnels which may exist in their nearest city).

This consensus is particularly important in questions of civil works as it is very difficult and costly, not to say impossible, to subsequently change the section of the tunnel or add emergency exits. However, when it comes down to changing a ventilator or placing more and better monitoring cameras, these are simple and nigh on routine operations.

There are two common errors at present: the belief that safety is achieved by buying the best computer programme available (and the more complicated the better even though

go no pueda aplicarse en la práctica) y la tendencia a eludir responsabilidades prohibiendo total o parcialmente la circulación de cualquier mercancía peligrosa. Eso puede llevar a reglamentos sin sentido que provocan situaciones mucho más peligrosas. Por poner dos ejemplos contrapuestos citaré el caso, positivo, de la circulación de mercancías peligrosas por la Autopista del Mediterráneo, que con muy buen criterio la Dirección General de Tráfico obliga a pasar por los túneles, para evitar el cruce de las poblaciones, y el caso, negativo, del túnel de Foix en Francia, donde para mantener la seguridad en el túnel las mercancías peligrosas deben pasar por la ciudad.

La seguridad de cualquier cosa, y especialmente la seguridad de una obra pública, empieza por el diseño. Esta es una verdad de Perogrullo que hay que repetir precisamente porque con frecuencia la ignoran algunos responsables.

Con estos conceptos parece que debería iniciarse en España una reflexión conjunta sobre la mejor manera de diseñar túneles viarios, urbanos y no urbanos, más seguros y que puedan adaptarse a los nuevos desarrollos técnicos y normativos, sin quedarse obsoletos desde el día de su inauguración.

Este artículo solo pretende ser una aportación a ese debate necesario. En una materia tan actual y de desarrollo tan reciente, y aún no contrastado, creemos que no es posible, ni conveniente, establecer reglas concretas muy detalladas. En general debe adoptarse un tono de recomendación para proyectistas y directores de obra. Pero se debe ser concreto y tajante en los aspectos geométricos. Se ha partido de la Norma de Trazado actualmente en vigor, completándola pero sin contradecirla en ningún punto.

4. Una propuesta de normativa sobre la obra civil necesaria para la seguridad en explotación de túneles

4.1. Vías de evacuación

Se incluyen, bajo este epígrafe los siguientes elementos:

- Pasarelas de emergencia
- Salidas de emergencia
- Medidas de acceso de los servicios de emergencia
- Refugios (prohibidos sino tienen salida al exterior)

4.1.1. Pasarelas de emergencia (aceras)

La Directiva especifica que pueden ser elevadas o no. En España son obligatorias en todos los túneles nuevos y para su diseño deben seguirse las prescripciones de la Norma de Trazado en vigor. Las aceras serán de un ancho mínimo de 90 cm., medidos a 60 cm de altura. Dentro de la acera

it will never be applied in practice) and the tendency to shirk responsibility by totally or partially banning the passage of all dangerous goods. This can lead to pointless regulations which give rise to far more hazardous situations. Here we can refer to two contradictory cases, the positive example shown by the Spanish Highways Department of ensuring that dangerous goods pass along the Mediterranean Motorway in Spain and are obliged to travel through tunnels to avoid crossing built-up areas, and the negative case of the Foix tunnel in France which is closed to vessels carrying dangerous goods in order to ensure tunnel safety though forcing these trucks to pass through the city.

The safety of anything, and particularly that of a public work, begins with its design. This is a platitude that has to be repeated as it is frequently ignored by those who are in a position to know better.

On the basis of these concepts, overall consideration should be given in Spain to the best way to design safer urban and non-urban road tunnels which may adapt to new technical developments and regulations and without running the risk of becoming out-dated from the very time of opening.

This article purely aims to contribute something to this necessary debate. We feel that it is neither possible nor convenient to establish hard and fast rules in this topical subject of very recent development and it would be better if these took the form of recommendations for designers and site managers. However, it is necessary to be specific and firm in matters concerning geometrical aspects. We have based this on the current Spanish Road Design Specifications (Norma de Trazado) and the service note and have supplemented but never contradicted them.

4. Proposed specifications for necessary civil works for safe tunnel operations

4.1. Escape routes

This section includes the following:

- *Emergency walkways*
- *Emergency exits*
- *Access for emergency services*
- *Shelters (only with exit leading to escape routes to the open)*

4.1.1. Emergency walkways

The Directive indicates that emergency walkways may be elevated or not. In Spain these are mandatory for all new tunnels and should be designed in accordance with current Spanish Design Specifications. Walkways should

podrá instalarse una barrera rígida adosada al hastial. Como norma general no se instalarán barreras flexibles, porque su correcto funcionamiento exige un espacio libre entre la barrera y la pared que resulta excesivo, dadas las dimensiones de las aceras.

El gálibo mínimo en altura de las aceras será de 2 m en toda su anchura.

Las aceras elevadas no tendrán una altura superior a 18 cm, con objeto de permitir, sin problemas, la apertura de las puertas de un coche adosado a la acera. Podrán ser montables, con un perfil triangular de pendiente mínima transversal de 2H:1V en su borde. En ese caso se procurará que el gálibo sobre la acera sea lo mayor posible, con un mínimo de 3 m.

En el caso de que existan arcenes de ancho igual o inferior a 1 m se pintará una banda de señalización amarilla en el arcén, al pié de la acera. Esta banda no existirá en el caso de que los arcenes sean de ancho 2,5 m. Si se construyen aceras no elevadas respecto a la calzada se separarán siempre del arcén de ésta mediante bandas de señalización, preferentemente sonoras, en las que conviene instalar además captafaros.

4.1.2. Salidas de emergencia para usuarios

Las salidas de emergencia tienen por objeto:

- permitir a los usuarios abandonar el túnel sin sus vehículos y llegar a un lugar seguro
- proporcionar acceso a pie a los servicios de emergencia, protección y evacuación
- en algunas salidas de emergencia proporcionar acceso a los vehículos de los servicios de emergencia, protección y evacuación

Las salidas de emergencia pueden ser:

- salidas directas del túnel al exterior
- conexiones transversales entre los dos tubos de un túnel
- salidas a una galería de emergencia que se desarrolle más o menos paralelamente al túnel y en sus cercanías
- refugios con una vía de evacuación separada del tubo del túnel

Según la Directiva en los túneles nuevos se habilitarán salidas de emergencia cuando el volumen de tráfico sea superior a 2.000 vehículos (definido incluyendo todos los vehículos de cualquier tipo) por carril. En los túneles ya existentes de longitud superior a 1.000 m, con un volumen de tráfico superior a 2.000 vehículos por carril, "se evaluará la viabilidad y eficacia de crear nuevas salidas de emergencia". La distancia entre dos salidas de emergencia no será superior a 500m.

have a minimum width of 90 cm, measured at a height of 60 cm. Rigid barriers may be installed on the walkway and fastened to the sidewall. Flexible barriers are not generally installed as, in order to work correctly, these require an excessive amount of clear space between the barrier and sidewall in view of the dimensions of the walkway.

The minimum height clearance of the walkways shall be 2 m throughout the entire width.

Elevated walkways should be no higher than 18 cm in order to allow the clear opening of doors to vehicles set along the kerbside. These may be ramped with a minimal triangular cross-sectional gradient at the edge of 2H:1V. In this case it is necessary to provide the greatest possible clearance above the walkway an no less than 3 m.

In the case of walkways of 1 m width or under, the floor of the walkway shall be painted with a yellow marking strip. This strip shall not be provided in walkways of 2.5 m width. Where non-elevated walkways are installed, these shall always be separated from the roadside by road markings and preferably by cat's eye type reflective studs and/or profiled road markings.

4.1.2. Emergency exits for tunnel users

Emergency exits:

- allow tunnel users to leave the tunnel without their vehicles and reach a safe place.
- provide access on foot to the emergency services.
- in some instances, provide access to emergency service vehicles

Examples of such emergency exits are:

- direct exits from the tunnel to the outside,
- cross-connections between tunnel tubes,
- exits to an emergency gallery,
- shelters with an escape route separate from the tunnel tube.

According to the Directive, emergency exits shall be provided in new tunnels when traffic volume exceeds 2000 vehicles per lane (this being taken to include all types of vehicle). In existing tunnels longer than 1000 m, with a traffic volume higher than 2000 vehicles per lane, the feasibility and effectiveness of the implementation of new emergency exits shall be evaluated. Where emergency exits are provided, the distance between two emergency exits shall not exceed 500 m.

The distances between emergency exits in new tunnels shall depend on the type of tunnel and be within the following distances:

Las distancias entre salidas de emergencia en túneles nuevos dependen del tipo del túnel y serán como mínimo:

- Túneles unidireccionales interurbanos: 400 m como máximo, 350 m recomendado
- Túneles unidireccionales urbanos (o con atascos durante más de 5 días al año): 200 m. como máximo
- Túneles bidireccionales interurbanos: 400 m como máximo, 300 m. recomendado
- Túneles bidireccionales urbanos (o con atascos durante más de 5 días al año); 150 m como máximo

Las salidas de emergencia podrán ser de tres tipos:

- Galerías directas de escape al exterior, al otro tubo del túnel o a una galería más o menos paralela al túnel, y pueden estar precedidas o seguidas de refugios.
- Refugios conectados con el exterior por circuitos de salida en los que se incluyan escaleras.
- Refugios conectados con el exterior por circuitos de salida en los que se incluyan galerías dentro de la sección excavada del túnel.

4.1.3. Galerías de emergencia directas

La sección transversal de todas las galerías de emergencia tendrá gálibo horizontal y vertical suficientes para permitir el paso de vehículos todo terreno. No se construirán aceas ni zonas sobreelevadas en el interior. Se preverán canaletas bajo la calzada de las galerías de emergencia para el paso de instalaciones de túnel, especialmente en el caso de conexiones transversales entre los dos tubos de un túnel o de salidas a una galería de emergencia. Estas canaletas podrán ser sustituidas por un suelo industrial en el caso de que sea necesario el paso de numerosas instalaciones.

La pendiente longitudinal de las galerías de emergencia no será superior al 10%, ni inferior a la necesaria para el drenaje por gravedad de los líquidos vertidos en la calzada. En general la pendiente transversal de las galerías de emergencia será nula, excepto en el caso excepcional en el que la galería incluya cunetas y/o disposiciones para el drenaje transversal.

El trazado en alzado de las galerías de emergencia será continuo, sin tramos con escaleras ni desniveles acusados. Se procurará que el trazado en planta sea regular.

En los hastiales de las galerías de emergencia podrán habilitarse accesos para elementos excavados con objeto de albergar instalaciones propias del túnel. En ese caso la solera de los cuartos que contengan estas instalaciones se enrasará con la de la galería sin solución de continuidad. Dichos cuartos estarán separados de las galerías por puertas debidamente controladas por el personal de explotación del túnel.

- *Unidirectional inter-urban tunnels: maximum 400 m, recommended 350 m*
- *Unidirectional urban tunnels (or congested over 5 days a year): maximum 200*
- *Bi-directional interurban tunnels: maximum 400 m, recommended 300 m*
- *Bi-directional urban tunnels (or congested over 5 days a year): maximum 150*

There are three types of emergency exit:

- *Direct escape exits to the outside; to another tunnel tube or gallery more or less parallel to the tube which may be preceded or followed by shelters.*
- *Shelters connected to the outside by exit routes including stairs*
- *Shelters connected to the outside by exit routes including galleries within the excavated section of the tunnel.*

4.1.3. Direct emergency galleries

The cross-section of all emergency galleries should have sufficient horizontal and vertical clearance to allow the passage of emergency vehicles. No walkways or elevated areas shall be built within these galleries. Channels should be set below the roadway in emergency galleries to allow the passage of tunnel installations, particularly in the case of cross-connections between the two tubes of a tunnel or exits to an emergency gallery. These channels may be substituted by industrial flooring when numerous installations have to be laid.

The longitudinal gradient of emergency galleries should not exceed 10% and should be sufficient to allow the gravity drainage of liquids spilled on the roadway. The cross-sectional gradient of these emergency galleries should generally be null except in special cases where the gallery includes gutters and/or transversal drainage.

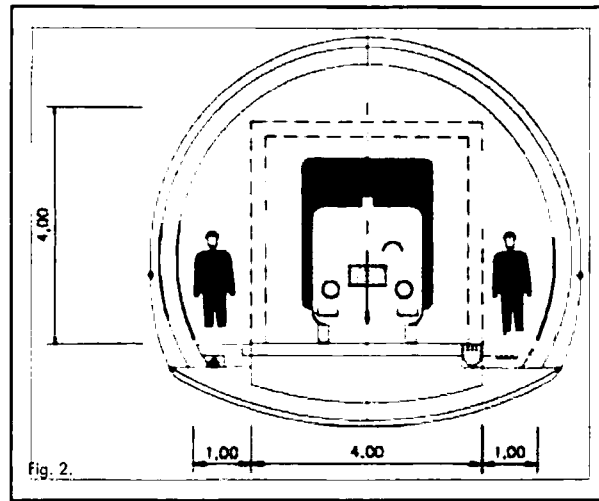
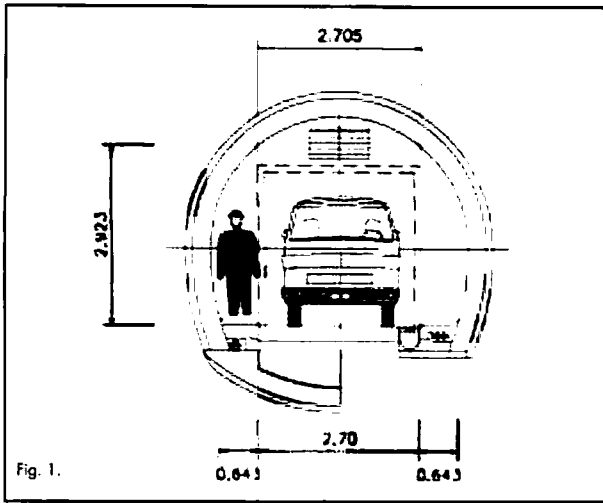
The elevational arrangement of emergency galleries should be continuous without steps or sharp rises or falls. The plan alignment should be regular.

Accesses may be set in the sidewalls of emergency galleries to house tunnel installations. In this case the floor of these installation areas should be set level with that of the emergency gallery and without ramped connections. The said areas should be separated from the galleries by doors which shall be duly controlled by tunnel operation personnel.

The figure 1 shows a typical cross-section of an emergency exit gallery for tunnel users.

The European Directive specifies that "in twin-tube tunnels where the tubes are at the same level or nearly, cross-connections suitable for the use of emergency services shall be provided at least every 1500 m".

In tunnels over 1000 m, one in every three emergency galleries, whether cross-connections between tubes or



En la fig. 1 se presenta, con carácter indicativo, la sección transversal de una galería del tipo de salida de emergencia para usuarios

La Directiva Europea específica que "en túneles de dos tubos en los que los tubos están al mismo nivel o casi, las conexiones (galerías) transversales deberán poder permitir el uso de (los vehículos de) los servicios de emergencia cada 1.500 m"

En túneles de más de 1.000 m de longitud, en una de cada tres galerías de emergencia, ya sean conexiones entre tubos o salidas al exterior, el gálibo permitirá el paso de vehículos de emergencia, tipo camión de bomberos. Cuando el número de galerías de emergencia sea dos al menos una de ellas será de este tipo.

En estas galerías pueden establecerse una acera sobreelevada (o dos) para la protección de los peatones, si existen condiciones especiales que así lo requieran, pero su uso no está especialmente recomendado.

En la fig. 2 se presenta, con carácter indicativo, la sección transversal de una galería del tipo de salida de emergencia para usuarios y vehículos de emergencia.

4.1.4 Refugios conectados con el exterior por circuitos de salida en los que se incluyan escaleras

Cuando el túnel tenga una profundidad reducida respecto al terreno las salidas de emergencia pueden incluir un tramo de desarrollo vertical mediante escaleras. Se recomienda que la altura máxima del tramo de escaleras no exceda de 15 m si las condiciones topográficas lo permiten. En estas salidas, cuando el tramo de escaleras exceda de 15 m se construirá un refugio entre el túnel y el tramo de escaleras con capacidad para 50 usuarios.

Cuando el tramo de escaleras se desarrolle dentro de un pozo, éste podrá aprovecharse para conectar con el exterior la ventilación del túnel y/o otras instalaciones. En ese

external exits, should have sufficient clearance to allow the passage of emergency vehicles and fire engines. When there are only two emergency galleries, at least one of these should be of this type.

An elevated walkway (or two) may be provided in these galleries to protect pedestrians where special conditions so permit, but this is not particularly recommended.

The figure 2 shows a typical cross-section of an emergency exit gallery for tunnel users and emergency vehicles.

4.1.4. Shelters connected to the outside by exit routes including stairs

When the tunnel is not set too far down from the outer lying land, the emergency exits may include stairways. It is recommended that the maximum height of the stairway does not exceed 15 m when the prevailing land conditions so permit. In those case where the total flight of stairs has to exceed 15 m, a shelter with a capacity for 50 users should be built between the tunnel and the stairway.

When the stairs are set in a stairwell, this may be employed to connect tunnel ventilation and/or other installations to the outside. In this case care should be taken to provide sufficient electrical and heat insulation between these connections and the circulating area of tunnel users.

These type of escape routes are preferably employed in urban and/or suburban tunnels and the exits to the same should be suitably protected from any outside traffic.

4.1.5. Shelters connected to the outside by exit routes including galleries within the excavated section of the tunnel

In bi-directional tunnels where it is not financially or geographically feasible to construct direct exits to the

caso se extremarán las precauciones para el aislamiento térmico y eléctrico entre estas conexiones y el espacio de circulación de los usuarios.

Este tipo de circuito se desarrollará preferentemente en túneles urbanos y/o periurbanos. Se aislará convenientemente la salida del circuito del tráfico exterior, si lo hubiera.

4.1.5 Refugios conectados con el exterior por circuitos de salida en los que se incluyan galerías dentro de la sección excavada del túnel

En los túneles bidireccionales donde no sea factible, topográfica y económicamente, la construcción de salidas directas al exterior podrán establecerse circuitos de salida a través de galerías incluidas en la sección excavada del propio túnel.

Se prohíbe la utilización para estas galerías de los espacios reservados a la ventilación en la parte superior de la sección del túnel. En general estas galerías se construirán bajo la calzada, (y en casos excepcionales adosadas lateralmente al túnel). El acceso a estas galerías se realizará mediante un tramo de escaleras descendentes y se construirá un refugio entre el túnel y dicho tramo de escaleras con capacidad para 50 usuarios. Todo el circuito tendrá un gálibo mínimo de altura de 2,70 m y una anchura mínima de 2,50 m., y estará aislado térmicamente de la sección del túnel.

En las figuras 3, 4 y 5 se presentan, con carácter indicativo, la sección transversal de una galería de este tipo de salida de emergencia para usuarios y su conexión con el túnel.

4.2. Conexiones entre las salidas de emergencia y el túnel

El acceso desde el túnel a las salidas de emergencia se realizará mediante entradas debidamente señalizadas y provistas de puertas con resistencia al fuego al menos durante 2 horas. Se recomienda que las puertas estén ligeramente retranqueadas respecto al hastial del túnel formando un pequeño atrio para reducir la posible formación de tapones durante la evacuación. Se procurará evitar la existencia de escalones en la entrada de la salida de emergencia y se estudiará la posibilidad de eliminar la acera elevada (cuando exista). En la zona de entrada de la galería se dispondrá una estación de emergencia (poste SOS) y una BIE del circuito de agua para extinción de incendios.

4.3. Apartaderos

La Directiva Europea prescribe la construcción de apartaderos laterales "en los túneles bidireccionales de longitud superior a 1.500 m, con un volumen de tráfico superior a 2.000 vehículos por carril.....caso de que no estén previstos

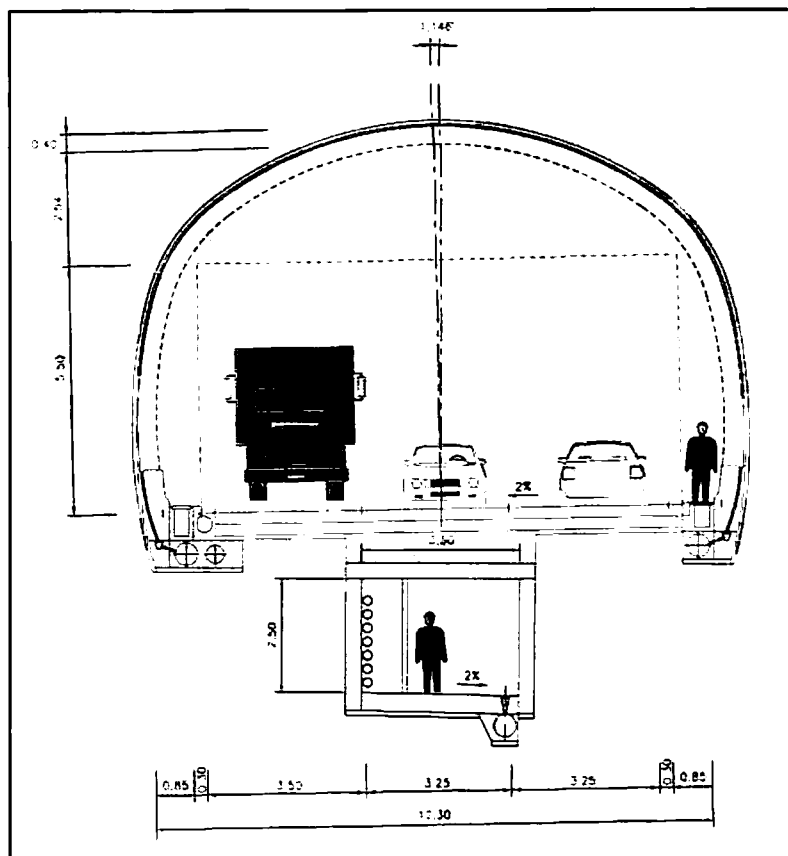


Fig. 3.

outside, exit routes may be established through galleries set within the excavated section of the tunnel.

These galleries may not be installed in areas reserved for ventilation in the upper part of the tunnel section. The galleries will generally be formed below the roadway (and in exceptional cases set alongside the tunnel). These exit galleries are reached from a descending flight of stairs and a shelter with a capacity for 50 users should be built between the tunnel and the stairway. The entire route shall have a minimum height clearance of 2.70 m and a minimum width of 2.50 m and shall be heat insulated from the tunnel section.

The figures 3, 4 and 5 show a typical cross-section of an emergency exit gallery of this type for users and its connection to the tunnel.

4.2. Connections between emergency exits and the tunnel

Emergency exits should be accessed from the tunnel by duly signed entrances equipped with doors capable of resisting fire for at least 2 hours. It is recommended that the doors be slightly recessed with respect to the sidewall of the tunnel to form a small porchway to reduce possible blockages during evacuation. Steps should not be installed at the entrance to the emergency exit and an evaluation

yendo las partes elevadas y los carriles normales de circulación, es al menos igual a la anchura de un carril normal". Según la Directiva la distancia entre apartaderos no será superior a 1,000 m.

Si se utiliza la sección transversal prescrita por la Norma de Trazado con un arcén derecho de 2,50 m y un arcén izquierdo de 1,00 m no es estrictamente necesaria la construcción de apartaderos. Sin embargo se recomienda su construcción, aun en este caso, cuando exista una conexión al exterior prevista para el posible uso de vehículos de emergencia. El apartadero se dispondrá enfrente de esas conexiones en el otro hastial del túnel con objeto de facilitar la maniobra, y en su caso el aparcamiento, de dichos vehículos de emergencia.

Cuando el ancho total de la suma de arcenes sea inferior a 3,50 m se construirán apartaderos en los túneles de longitud superior a 1.500 m, cumpliendo con las condiciones de la Directiva. No se construirán apartaderos en las inmediaciones de las bocas del túnel.

Las dimensiones mínimas de los apartaderos serán de 18 m de longitud por 3 m de anchura (por fuera de la planta normal del túnel). Si la índole del tráfico esperado lo aconseja se estudiará la conveniencia de establecer dimensiones superiores, especialmente en longitud. El gálibo mínimo en altura en toda la superficie rodable de los apartaderos será de 4,50 m. Es conveniente que se dé una continuidad mínima a las aceras dentro de los apartaderos.

Los apartaderos estarán debidamente señalizados y contarán con una estación de emergencia (poste SOS).

4.4. Estaciones de emergencia (Postes SOS)

Las estaciones de emergencia deben incluir diversos equipos de seguridad para la comunicación de los usuarios con los centros de control del túnel, proporcionarle extintores de uso individual para la extinción de incendios y servir de señal de alarma al centro de control del túnel sobre la aparición de una emergencia. Deben estar dotadas de teléfonos de fácil uso, de altavoces para la impartición de instrucciones, de extintores individuales y de mecanismos automáticos de aviso cuando se maneje un extintor.

Las estaciones de emergencia no deben estar instaladas en nichos o cabinas cerradas que puedan hacer creer a los usuarios que se trata de refugios donde protegerse de los incendios. A este fin las cabinas cerradas exhibirán una señal clara con la indicación de que no ofrecen protección contra incendios.

Pueden utilizarse distintas configuraciones para los postes SOS:

- Un nicho abierto en el hastial del túnel
- Un armario situado sobre el hastial del túnel

4.3. Lay-bys

The EC directive establishes that lay-bys shall be provided "for new bi-directional tunnels longer than 1500 m where traffic volume is higher than 2 000 vehicles per lane ... if emergency lanes are not provided". In a following article the directive states that where the construction characteristics of the tunnel do not allow it or allow only at disproportionate cost "lay-bys do not have to be provided if the total tunnel width accessible to vehicles, excluding elevated parts and normal traffic lanes, is at least equal to the width of one normal traffic lane". According to the Directive the distance between lay-bys should not exceed 1000 m.

When the cross-section established in the Spanish Design Specifications is employed with a right-hand walkway of 2.50 m and a left-hand walkway of 1.00 m, it is not strictly necessary to build lay-bys. However, these are recommended, even in this case, when there is a connection to the exterior which may be employed by emergency vehicles. The lay-by should be set opposite these connections alongside the other sidewall of the tunnel in order to aid the turning or parking of emergency vehicles.

When the total width of the walkways is less than 3.50 m, lay-bys should be installed in tunnels longer than 1500 m to comply with the conditions established in the Directive. No lay-bys should be built in the area of the tunnel entrances.

Lay-bys should be at least 18 m long by 3 m wide (outside the normal plan of the tunnel). Where traffic characteristics so require, an evaluation should be made of the suitability of establishing larger and, particularly, longer lay-bys. The minimum height clearance throughout the entire surface area of the lay-by should be 4.50 m. It is recommended that minimum continuity be established between walkways set within the lay-bys.

Lay-bys shall be duly signed and include an emergency station.

4.4. Emergency Station

Emergency stations are intended to provide various items of safety equipment. Stations enable communication between users and the tunnel control centres and are provided with individual fire extinguishers and alarms to the tunnel control centre for emergency warnings. The stations should be fitted with user-friendly telephones, loudspeakers for instructions, individual extinguishers and automatic warning signals when an extinguisher is handled.

Emergency stations should not be installed in closed cabins or recesses as this gives users the impression that these are fire shelters. To this end, any closed cabin should be clearly signed indicating that it does not offer protection from the effects of fire.

Emergency stations may be arranged as:

- Un poste de teléfono situado sobre el hastial del túnel con un elemento de aislamiento sónico cualquiera que sea la configuración elegida sea procurará que sea claramente visible y, al mismo tiempo, que no obstaculice indebidamente la circulación de los usuarios por las aceras.

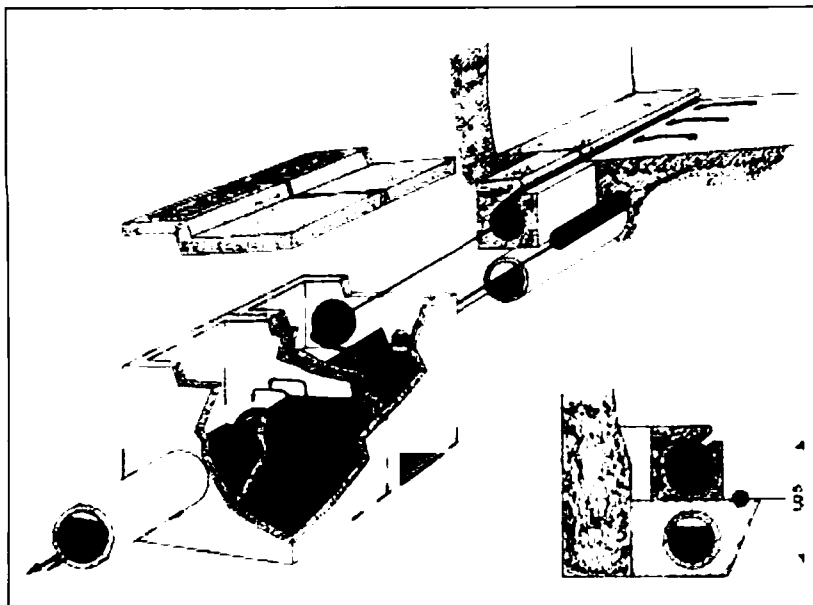


Fig. 6.

La distancia entre estaciones de emergencia no excederá de 150 m. y se dispondrán al tresbolillo entre ambas aceras del túnel. Además se instalarán estaciones de emergencia en el exterior en las cercanías de las bocas de los túneles y en el interior en las entradas a las vías de evacuación y en los apartaderos, cuando existan. De una manera general se procurará que en los tubos unidireccionales de los túneles la mayoría de las estaciones de emergencia se sitúen en el hastial de menor velocidad de circulación.

4.5 Drenaje de vertidos sobre la calzada

Quando se prevea la circulación habitual de transportes de mercancías peligrosas del tipo de líquido inflamable la Directiva Europea especifica que "deberá haber alcantariillas de ranuras bien diseñadas, u otros dispositivos...que permitan el vertido de los líquidos tóxicos e inflamables. Además el sistema de drenaje deberá diseñarse y mantenerse de manera que se evite el fuego y los líquidos inflamables y tóxicos se propaguen dentro de un tubo o entre tubos".

En la práctica esto se interpreta en el sentido de que conviene que el drenaje de este sistema separativo se realice mediante ranuras continuas o casi continuas, con objeto de reducir la zona de propagación del vertido en la calzada. Además se suelen proyectar sifones cortafuegos del tipo de los recomendados por el CETU francés. Estas disposiciones son caras y complicadas porque aumentan la sección de excavación y el sostenimiento y revestimiento de los túneles en la parte inferior de los hastiales. Además, para ser efectivas, se requiere un mantenimiento permanente y eficaz de los sifones cortafuegos. La figura 6 muestra un esquema de las ranuras de captación, las canalizaciones de drenaje y los sifones recomendados por el CETU.

De forma general conviene que se disponga un sistema de drenaje de los vertidos líquidos sobre la calzada. Este

- An open recess set in the sidewall.
- A box on the sidewall
- A telephone post set on the sidewall of the tunnel with surrounding sound-proofing

All emergency stations, regardless of arrangement, should be clearly visible and not unduly obstruct the passage of users on the walkways.

Emergency stations shall be provided near the portals and inside at intervals not exceeding 150 m and shall be staggered between both walkways of the tunnel.

Emergency stations shall also be installed outside the tunnel portals and inside at the entrances to escape routes and at lay-bys, where provided. The majority of emergency stations in unidirectional tubes should be set on the side of the slow lane.

4.5. Drainage of spills on the roadway

Where the transport of dangerous goods is permitted, the Directive establishes that "the drainage of flammable and toxic liquids shall be provided for through well-designed slot gutters or other measures within the tunnel cross sections. Additionally, the drainage system shall be designed and maintained to prevent fire and flammable and toxic liquids from spreading inside tubes and between tubes".

In practice this is interpreted as meaning that this separate drainage system should be installed in the form of continuous or almost continuous channels in order to restrict the spill area on the roadway. Provision is frequently made for fireproof traps of the type recommended by the French Centre for Tunnel Studies, CETU. These installations are expensive and complicated as they increase the excavating section, support and lining of the tunnels in the lower part of the sidewalls. In order to be effective these traps require permanent and effective maintenance. The figure 6 shows an arrangement of the slot gutters, drainage channels and traps recommended by the CETU.

It is recommended that the tunnel be equipped with a drainage system to remove liquids spilled on the roadway. This drainage system should be separate from the water drainage system and should lead to sealed storage tanks without any direct external run-off. The drains or channels depositing spilled liquids in the drainage system should be as wide as possible.

sistema de drenaje será separativo respecto al sistema de drenaje de las posibles filtraciones del terreno al túnel, y terminará en depósitos cerrados de almacenamiento sin vertido directo al exterior. Los sumideros o ranuras de entrada de los vertidos en el sistema de drenaje serán de la mayor amplitud posible

En los túneles en que se prevea la circulación frecuente de mercancías peligrosas del tipo de líquidos tóxicos y/o inflamables se estudiará la implantación de sifones cortafuegos del tipo CETU. Si se adoptan estos sifones se procurará que sean de fácil acceso para su revisión y mantenimiento y se colocarán bajo las aceras y, en caso necesario bajo los arcones. Se evitará que ninguna parte de estos sistemas esté bajo la calzada circulable. *En este estudio se tendrá en cuenta la recomendación de la Directiva Europea de que se pondere si en los túneles (existentes) "no se puedan cumplir estos requisitos o solo se puedan cumplir con costes desproporcionados".*

4.6 Abastecimiento de agua contra incendios

En todos los túneles de más de 250 m de longitud se dispondrá de un sistema de abastecimiento de agua cuya función principal es la extinción de incendios. Este sistema será consensuado con/ y aprobado por, los bomberos con competencia en la zona donde se sitúe el túnel.

Las bocas de agua equipadas (BIE) se situarán a distancias máximas de 250 m entre sí. Además se instalarán BIEs en el exterior de los túneles, cerca de las bocas, y en las entradas desde el túnel a las vías de emergencia.

El sistema contará con una tubería continua a lo largo del túnel, mallada a través de las galerías de comunicación entre los dos tubos, cuando existan. De una manera general se adoptará el sistema de "columna húmeda", con suministro permanente, en los túneles de longitud superior a 1,000 m, y el sistema de "columna seca" sin suministro permanente en los de menor longitud.

Cuando se adopte el sistema de columna húmeda se dotará al sistema de depósitos de agua de 120 m³ de capacidad dispuestos de forma que en cualquier BIE dentro del túnel pueda alcanzarse una presión de agua mínima de 6 atmósferas, con un caudal de 1 m³ /minuto durante dos horas.

Cuando se adopte el sistema de columna seca se colocarán dispositivos que permitan el suministro fácil de agua a partir de las redes de agua exteriores más próximas, caso de que existan, o de los depósitos móviles de los bomberos si no hay redes próximas.

4.7 Señalización fija de emergencia

Todos los elementos de seguridad se señalarán mediante las señales prescritas y definidas en el Anexo III de la Directiva Europea y que se resumen en las fig. 7.










		<p>Panel de aviso del túnel</p>	
		<p>Poste SOS</p>	
			<p>Apartadero</p>
		<p>Salidas de emergencia</p>	
<p>THIS ROOM DOES NOT ENSURE A PROTECTION IN CASE OF FIRE Please go to an emergency exit following the signs on the walls.</p>			<p>Aviso* en las cabinas de postes SOS</p>

Fig. 7. (*) Esta indicación se colocará de forma bien visible en el interior de los nichos que contengan estaciones de emergencia cuando estén cerradas y puedan confundirse con refugios. En todo caso se desaconseja esta disposición en nichos cerrados.

In those tunnels receiving frequent traffic of dangerous goods of flammable or toxic liquids, consideration should be given to CETU type fire traps. If these drainage traps are included they should have ready access for maintenance and repair and should be placed below the walkways or, where necessary, below the roadside. Care should be taken to ensure that no part of these drainage systems runs beneath the traffic lanes. In accordance with the EC Directive, where this requirement cannot be met or can be met only at disproportionate cost (in existing tunnels), this shall be taken into consideration when deciding whether to allow the transport of dangerous goods on the basis of an analysis of relevant risks.

4.8. Resistencia de los elementos estructurales al fuego

4.8.1 Normativas de aplicación

En España la Norma NBE-CPI 96 es, actualmente, de aplicación obligatoria en todos los edificios. No supone que los edificios sean indestructibles y establece dos categorías de protección:

- Fija tiempos mínimos de *estabilidad al fuego* de los elementos estructurales según la altura del edificio (que define la longitud de la ruta de escape de los usuarios de los pisos superiores)

90 minutos para alturas inferiores a 15 metros

120 minutos para alturas entre 15 y 28 metros

180 minutos para alturas superiores a 28 metros-Fija tiempos mínimos de *resistencia al fuego* de los elementos no estructurales de protección de la ruta de escape entre 60 y 90 minutos

- Además establece la utilización de la *curva de fuego ISO*

La Directiva europea prescribe que "la estructura principal de todos los túneles en los que el derrumbamiento local de la estructura pueda tener consecuencias catastróficas (por ejemplo túneles subacuáticos o túneles que puedan causar el colapso de estructuras próximas de importancia) garantizará un nivel suficiente de resistencia al fuego", pero no indica ningún criterio de cómo debe valorarse dicho "nivel suficiente"

No existe normativa internacional sobre la resistencia al fuego exigible a los túneles, pero la PIARC y la ITA (International Tunnelling Association) han publicado en 2004 documentos consensuados conjuntamente sobre la resistencia al fuego exigible en túneles de carretera. Estos criterios deben utilizarse como aclaración a la Directiva Europea mientras no se desarrolle una Normativa específica sobre este tema

4.8.2. Curvas de fuego

Las curvas de fuego que se utilizan más comúnmente para la definición de incendios de cálculo en los túneles de carretera aparecen en la siguiente figura y se describen a continuación:

- Curva RWS, prescrita en Holanda
- Curvas ZTV prescritas en Alemania (para carretera y ferrocarril)
- Curva HC que se define como curva de incendios de hidrocarburos, que se toma como característica en instalaciones petroleras

4.6. Water supply

A water supply shall be provided in all tunnels over 250 m long, mainly for the purposes of fire extinction. This system shall be verified and approved by the competent fire service attending the area of the tunnel.

Hydrants shall be provided near the portals and inside at intervals which shall not exceed 250 m.

The water supply system shall consist of continuous piping throughout the tunnel and interspersed through the cross-connection between the two tubes where these exist. A wet standpipe system constantly filled with water should generally be provided in tunnels over 1000 m long, while a dry standpipe system without constant supply may be employed in shorter tunnels.

When a wet standpipe system is employed, these should be provided with 120 m³ capacity water tanks in order to ensure that any hydrant within the tunnel may reach a minimum water pressure of 6 atmospheres with a 1m³/minute flow over two hours.

When a dry standpipe system is employed, installations should allow the ready supply of water from the nearest external water supply, where available, or from mobile fire-fighting water tanks where there is no outside water supply.

4.7. Emergency signs

All safety elements shall be indicated by the signs established and defined in Annex III of the EC Directive as summarized in the figure 7.

4.8 Fire resistance of structures

4.8.1. Applicable standards

In Spain the NBE-CPI 96 code is of mandatory application in all buildings. The code does not presume buildings to be indestructible and establishes two protection categories:

- Minimum structural fire stability according to the height of building (which defines the length of the escape route for users of upper floors)
 - 90 minutes for heights below 15 metres
 - 120 minutes for heights between 15 and 28 metres
 - 180 minutes for heights over 28 metres
- Minimum fire resistance times of non-structural protection elements of the escape route established between 60 and 90 minutes
- The code also establishes the use of the ISO fire curve

The European Directive establishes that "the main structure of all tunnels where a local collapse of the structure could have catastrophic consequences (e.g. immersed tunnels or tunnels

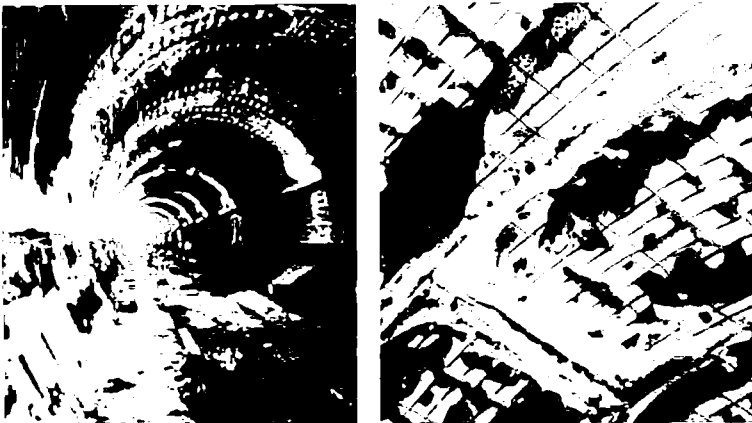


Fig. 8. Estado del túnel del Canal de La Mancha después de un incendio.

- Curva HC_{inc} que es la misma curva HC pero con las temperaturas multiplicadas en todos los puntos por el factor 13/11, y se emplea en diversos eurocódigos.
- Curva estándar ISO, utilizada en muchos códigos de incendios

4.8.3. Curvas de fuego a aplicar en el proyecto de túneles

Para el proyecto de túneles en los que esté prohibido el paso de camiones de cualquier tipo, y esté prescrita alguna protección contra incendios, se aplicará la Curva ISO, tal como viene descrita en la Norma NBE-CPI 96.

Para el proyecto de túneles en los que esté permitido el paso de camiones de cualquier tipo, y en los que esté prescrita alguna protección contra incendios, se aplicará la Curva HC_{inc} , que coincide a efectos prácticos con la Curva RWS

En el proyecto de las vías de escape en todos los túneles se aplicara la Norma NBE-CPI 96, que utiliza la curva de fuego ISO

4.8.4. Protección global contra incendios de la estructura de un túnel (sostenimiento y revestimiento)

No es necesario proteger globalmente la estructura de un túnel (sostenimiento y revestimiento) excepto si su colap-

Fig. 9. Incendio en el túnel del Mont Blanc.



which can cause the collapse of important neighbouring structures), shall ensure a sufficient level of fire resistance". However, it does not indicate any criteria regarding what this "sufficient level" is deemed to be.

There are no international codes on the fire resistance required of a tunnel, but the PIARC (World Road Association) and the ITA (International Tunnelling Association) jointly published in 2004 a document on the fire resistance demanded of road tunnels. These criteria should be employed as a clarification of the European Directive until such time as specific standards are established for this question.

4.8.2. Fire curves

The fire curves most commonly employed for the fire design of road tunnels are given in the following figures and are detailed below:

- The Dutch RWS curve
- The German ZTV curves (for road and railway)
- HC curve, defined as hydrocarbon fire curves and taken as the characteristic curves in oil installations.
- HC_{inc} curve, which is the same hydrocarbon curve but with the temperatures multiplied in all points by a factor of 13/11 and employed in several Eurocodes.

4.8.3. Fire curves to be applied in tunnel design

The ISO curve, as described in Spanish Code NBE-CPI 96, shall be applied in the design of all tunnels where the passage of all types of lorries is prohibited and where some type of fire protection is envisaged.

The HC_{inc} curve, which coincides for practical purposes with the RWS Curve, shall be employed in the design of those tunnels permitting the passage of all types of lorries and where some type of fire protection is envisaged.

The Spanish NBE-CPI 96, which employs the ISO fire curve, shall be applied in the design of escape routes to all tunnels.



Fig. 10. Incendio en el túnel de Tavern.

so en algún punto pueda tener consecuencias catastróficas (por ejemplo túneles subacuáticos o túneles que puedan causar a su vez el colapso de estructuras próximas con riesgo posible para las personas o con interrupción de un servicio esencial)

En los tramos de túnel en los que se cumpla alguna de las condiciones anteriores de riesgo se protegerá la estructura mediante la aplicación de barreras térmicas, de resistencia suficientemente contrastada para las curvas definidas anteriormente

4.8.5. Protección del hormigón en la estructura de un túnel

Cuando, en la estructura de un túnel, se utilice el hormigón armado, las armaduras estarán protegidas contra el fuego, de acuerdo con las prescripciones del Eurocódigo de aplicación en su caso. Preferentemente esta protección se realizará aumentando el recubrimiento de dichas armaduras.

Los paramentos de hormigón de la estructura de un túnel se protegerán contra el "spalling" (rotura de lajas superficiales de hormigón) mediante la aplicación de barreras térmicas o mediante el uso de aditivos en el hormigón (por ejemplo fibras de polipropileno) cuya utilidad haya sido suficientemente contrastada.

4.8.6. Protección de las vías de escape

Las vías de escape de cualquier túnel se diseñarán con una protección de los usuarios de acuerdo con las prescripciones de la Norma NBE-CPI 96, (que utiliza la curva de fuego ISO) y por un tiempo mínimo de 120 minutos, que podrá ser aumentado en el caso de vías de escape de gran longitud o que incluyan escaleras. ♦

4.8.4. Global fire protection of the tunnel structure (support and lining)

It is not necessary to protect the entire tunnel structure (supports and lining) unless tunnel collapse at any point may have catastrophic consequences (underwater tunnels or tunnels where any failure may lead to the collapse of neighbouring structures with possible risk to human life or interruption of an essential service).

In those tunnel sections which meet any of the preceding risk conditions, the structure shall be protected by the installation of thermal barriers with sufficient fire resistance in accordance with the previously defined curves.

4.8.5. Protection of structural concrete in the tunnel

When reinforced concrete is employed in the structure of a tunnel, the reinforcement shall be protected against fire in accordance with that stipulated in the applicable Eurocodes. This protection is preferably carried out by increasing the cover to the reinforcement.

The concrete facing of the tunnel structure is protected against spalling by the application of thermal barriers or by the use of suitably approved concrete additives (e.g. polypropylene fibres).

4.8.6. Protection of escape routes

The escape routes of any tunnel shall be designed with user protection in accordance with the Spanish NBE-CPI 96 code (employing the ISO fire curve) and over a minimum period of 120 minutes, which may be increased in the case of very long escape routes or those including stairs. ♦

Referencias/References

-Dirección General de Carreteras (2000) Norma de Trazado IC 3.01/Spanish Highways Department (2000) Design Specifications IC 3.01.

-Dirección General de Carreteras (2002). Nota de Servicio sobre elementos de seguridad en la Red de Carreteras /Spanish Highways Department (2002) Service Note on safety elements of the Road Network.

-Unión Europea (2004) Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la Red Transeuropea de Carreteras/European Parliament and Council Directive 2004/54/EC on Tunnel Safety in the European Road Network.