

# **OPERACION DE TUNELES DE CARRETERA**

19 de Septiembre de 2007 (pm)

## **COMITE TECNICO TC 3.3 OPERACION DE TUNELES DE CARRETERA**

### **INFORME DE INTRODUCCIÓN**

## CONTENTS

RESUMEN EJECUTIVO.....	3
Miembros del COMITÉ que han contribuido a este informe .....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Grupo de Trabajo 1 – Explotación de túneles .....	4
1.2. Grupo de Trabajo 2 – Gestión de la seguridad en túneles.....	4
1.3. Grupo de Trabajo 3 – Factores humanos en la seguridad de túneles.....	4
1.4. Grupo de Trabajo 4 –Detección, comunicaciones, equipamientos de seguridad:.....	5
1.5. Grupo de Trabajo 6 – Ventilación y control de incendios .....	5
1.6. Presentación de la Sesión del Congreso sobre Operación de Túneles de carretera	5
2. DETECCIÓN DE INCIDENTES MEDIANTE EL PROCESADO DE IMAGENES DE VIDEO.....	6
3. VALORACIÓN DE LOS SISTEMAS FIJOS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS.....	7
3.1. Interés permanente de PIARC y anteriores posiciones sobre el tema .....	7
3.2. Nuevos desarrollos .....	8
3.3. Discusiones y recomendaciones.....	9
4. FACTORES HUMANOS Y SEGURIDAD DE TÚNELES, EN RELACIÓN CON LOS USUARIOS .....	9
5. RECOMENDACIONES PARA TUNELES VIALES URBANOS .....	12
6. DIRECTIVAS PARA EL FUTURO .....	13
6.1. Medidas de seguridad.....	13
6.2. Análisis de riesgos .....	14
6.3. Comportamiento humano.....	14
6.4. Gestión de túneles, entrenamiento y explotación.....	14
6.5. Gestión del tráfico .....	15
6.6. Seguridad frente a incendios .....	15
6.7. Ventilación .....	15
6.8. Miscelánea.....	15
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	16
CONCLUSIONES TENTATIVAS .....	16

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Más y más túneles se construyen para cruzar barreras naturales o en áreas urbanas. Los túneles existentes aumentan su tráfico y cierto número de ellos necesitan una puesta al día. En todos los casos se necesitan equipamientos efectivos y una gestión segura y eficiente. Durante 50 años, desde su creación en 1957, el Comité Técnico sobre Túneles de PIARC ha estudiado diversos aspectos: geometría, equipamientos, explotación, impacto ambiental y seguridad.

Esta Sesión sobre Operación de Túneles de Carretera presentará las actividades y la producción del Comité Técnico TC 3.3 durante los últimos cuatro años. Se examinarán con más detalle diversas cuestiones que justifican un debate con la audiencia. Otras cuestiones relacionadas con la seguridad se estudiarán en la Sesión Especial 15 sobre Gestión de la Seguridad en Túneles de Carretera.

En esta sesión se examinarán diversos progresos recientes en el equipamiento técnico, incluyendo la detección de incidentes usando imágenes de video procesadas, y los sistemas fijos de lucha contra incendios. Aunque PIARC ha sido siempre reticente al uso de los sistemas tradicionales con rociadores de agua antes de que hayan sido evacuados los usuarios, los sistemas de agua nebulizada presentan nuevas posibilidades: su uso será discutido con un enfoque caso por caso porque no se cree que en todos los casos aporten mayor seguridad adicional y más económica.

Una nueva área a estudiar está relacionada con el comportamiento de los usuarios y de los operadores de túneles, así como de los equipos de emergencia. La Sesión sacará consecuencias del estudio de situaciones normales y de emergencia. Discutirá como tener en cuenta, y si es posible mejorar, el comportamiento de los usuarios durante las fases de diseño y explotación de un túnel. Debido a su gran intensidad de tráfico, los túneles urbanos suscitan cuestiones específicas que serán estudiadas teniendo en cuenta los puntos de vista de los usuarios, de los operadores y de las comunidades locales.

## **MIEMBROS DEL COMITÉ QUE HAN CONTRIBUIDO A ESTE INFORME**

Art Bendelius, USA  
Didier Lacroix, Francia  
Jean-Claude Martin, Francia  
Manuel Romana-Ruiz, España  
Pierre Schmitz, Bélgica  
Urs Welte, Suiza  
Alan West, Reino Unido  
Evert Worm, Holanda

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el ciclo 2004-2007 de PIARC, el Comité Técnico TC 3.3 sobre Operación de Túneles de Carretera ha estudiado una serie de objetivos clave dentro de los siguientes términos de referencia:

- Conseguir túneles más seguros
- Mejorar la explotación y el mantenimiento de los túneles
- Ventilación y supresión de incendios
- Toma en consideración de los factores humanos en la seguridad de los túneles

Se seleccionaron estrategias de acuerdo con estos objetivos y se planificaron productos en forma de informes técnicos, artículos, y seminarios internacionales. Las actividades técnicas fueron realizadas por 5 grupos de trabajo que prepararon documentos para su discusión y aprobación por el Comité. El Informe de Actividades de PIARC da cuenta detallada de estas actividades y productos. Solo se mencionarán a continuación los informes técnicos publicados o preparados durante de este ciclo:

### 1.1. Grupo de Trabajo 1 – Explotación de túneles

Informe publicado en formato de imprenta:

- Buenas prácticas para la explotación y mantenimiento de túneles de carretera, *Good practice for the operation and maintenance of road tunnels* (2005)

Informe preparado para el Congreso PIARC de Paris:

- Guía para organizar, reclutar y entrenar los equipos humanos de explotación de túneles, *Guide for organising, recruiting and training road tunnels operating staff*

Informe en terminación:

- Recomendaciones para operadores y propietarios de túneles urbanos, *Recommendations to owners and operators of urban road tunnels*

### 1.2. Grupo de Trabajo 2 – Gestión de la seguridad en túneles

Informes preparados para el Congreso PIARC de Paris

- Análisis de riesgos en túneles, *Risk analysis for road tunnels*

Informe en terminación:

- Herramientas para la gestión de la seguridad de túneles, *Tools for road tunnel safety management*

### 1.3. Grupo de Trabajo 3 – Factores humanos en la seguridad de túneles

Informe preparado para el Congreso PIARC de Paris, en colaboración con el Grupo de Trabajo nº 4:

- Factores humanos de la seguridad de túneles de carretera en relación con los usuarios, *Human factors and road tunnel safety regarding users*

Informe en terminación:

- Gestión de la interfaz operador/equipos de emergencia en túneles de carretera, *Management of the operator / emergency teams interface in road tunnels*

#### 1.4. Grupo de Trabajo 4 –Detección, comunicaciones, equipamientos de seguridad:

Informes publicados en formato de imprenta:

- Diseño de la sección transversal para túneles de carretera bidireccionales, *Cross section design for bi-directional road tunnels* (2004)
- Sistemas de gestión de incidentes de tráfico utilizados en túneles de carretera, *Traffic incident management systems used in road tunnels* (2004)

Informe preparado para el Congreso PIARC de París:

- Señalización direccional en una carretera que incorpore túneles, *Direction signing on a route incorporating tunnels*

Informes en terminación:

- Apartaderos y estaciones de emergencia en túneles de carretera, *Lay-bys and emergency stations in road tunnels*
- Video-detección en túneles de carretera: beneficios y limitaciones, *Video detection in road tunnels: benefits and limitations*

#### 1.5. Grupo de Trabajo 6 – Ventilación y control de incendios

Informes publicados en formato de imprenta:

- Túneles de carretera: Emisiones y demanda de aire para la ventilación, *Road tunnels: Emissions and air demand for ventilation* (2004)
- Sistemas y equipamientos para el control de incendios y humos en túneles de carretera, *Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels* (2007)

Informes preparados para el Congreso PIARC de París

- Túneles de carretera: Una guía para la optimización del impacto de la calidad del aire sobre el medio ambiente, *Road tunnels: A guide to optimising the air quality impact upon the environment*
- Túneles de carretera: Una valoración de los sistemas fijos de lucha contra incendios, *Road tunnels: An assessment of fixed fire fighting systems*

Informe en terminación:

- Túneles de carretera: estrategias operacionales para la ventilación, *Road tunnels: Operational strategies for ventilation*

#### 1.6. Presentación de la Sesión del Congreso sobre Operación de Túneles de carretera

Los productos principales del Grupo de Trabajo 2 y los últimos resultados del Grupo de Trabajo 3 se presentarán y discutirán en la Sesión Especial 15 sobre “Gestión de la seguridad en túneles de carretera”, *“Management of road tunnel safety”*, junto con las actividades de las partes más implicadas en esta cuestión fuera de PIARC

La Sesión sobre Operación de Túneles de Carretera, *Road Tunnel Operations*, comenzará con una revisión de las actividades del Comité Técnico TC 3.3 durante el ciclo 2004-2007. Después se dedicará a los estudios en cuatro campos, no cubiertos en la Sesión especial 15. Los siguientes temas fueron seleccionados porque constituyen elementos críticos que justifican su clarificación y discusión en el Congreso:

- Detección de incidentes mediante imágenes de video procesadas
- Valoración de los sistemas fijos de lucha contra incendios
- Factores humanos de la seguridad en túneles en relación con los usuarios
- Recomendaciones para túneles viales urbanos

El objetivo de la discusión final será recoger los puntos de vista de los participantes sobre las direcciones futuras y los nuevos tópicos a tratar por el Comité Técnico sobre Operación de Túneles de Carretera durante el próximo ciclo de PIARC 2008-2011.

Las siguientes secciones de este informe suponen una introducción a cada uno de los temas a presentar y discutir durante esta Sesión.

## **2. DETECCIÓN DE INCIDENTES MEDIANTE EL PROCESADO DE IMAGENES DE VIDEO**

El procesado de las imágenes de video se ha extendido recientemente en los túneles. Sus aplicaciones principales son:

- Supervisión de incidentes
- Supervisión del tráfico
- Control del tráfico

El uso para aplicaciones de tráfico es aceptado ampliamente y está bien documentado; el uso para detección y supervisión de incidentes es más crítico y, de momento, ha sido más criticado.

Hay, en túneles de carretera, las siguientes aplicaciones:

- Detección de incendios
- Detección de humos
- Detección de incidentes

Los sistemas de detección de incendios y humos por video, que permitirían la eliminación de los sistemas estándar de detección (como detectores lineales térmicos, detectores de humos) tienen ahora una gran demanda, por razones de coste y por una mejor-esperemos- calidad de detección. Hay túneles equipados con ambos sistemas: basados en el video y convencionales.

La mejora de los sistemas de video es continua, pero aun hay problemas pendientes, especialmente la gran frecuencia de falsas alarmas. Las siguientes situaciones pueden producir falsas alarmas: (1) entrada de nieblas y vapores en los portales, (2) gran descarga de gases de vehículos pesados, (3) suciedad en las lentes de las cámaras.

Además los sistemas de procesado de video no fueron desarrollados con altos estándares de seguridad, y por lo tanto los sistemas, incluyendo cámaras, conexiones, cableado, interruptores, procesado y presentación de imágenes, no siempre son seguros ni están controlados adecuadamente. Aún deben establecerse y distribuirse procedimientos adecuados para distinguir entre falsas alarmas, alarmas menores y alarmas reales (de forma similar a los procedimientos convencionales de detección de incendios).

En esta Sesión se presentarán los trabajos del Grupo de Trabajo 4 del TC 3.3, sobre la detección de incidentes mediante procesamiento de imágenes de video, refiriéndose a todos sus aspectos. Se tratarán los siguientes elementos específicos:

- Discusión general de los componentes típicos
  - Cámaras
  - *Backbone*
  - Electrónica
  - Software/Algoritmos
- Incorporación a los sistemas existentes de gestión del tráfico
  - Uso con los sistemas de televisión en circuito cerrado (CCTV)
  - Interfaz con los sistemas existentes
  - Eliminación de la detección por espiras
- Mantenimiento
- Procedimientos de aceptación
- Errores/Falsas alarmas (niebla, vapor, portales)
- Ensayos de control, adaptación de estándares

### **3. VALORACIÓN DE LOS SISTEMAS FIJOS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

#### 3.1. Interés permanente de PIARC y anteriores posiciones sobre el tema

En el contexto de este Informe de Introducción y del trabajo realizado por el Grupo de Trabajo 6 del TC 3.3 el término Sistemas Fijos De Lucha Contra Incendios (*Fixed Fire Fighting System, FFFS*) incluye sistemas de extinción de incendios tales como rociadores, *sprinklers*, sistemas de diluvio, *deluge systems*, agua nebulizada, *water mist*, y cualquier otro sistema fijado permanentemente a las paredes del túnel que pueda emitir un producto supresor del fuego, como por ejemplo agua

La discusión sobre estos sistemas se inició, en el seno de PIARC, en el Congreso Mundial de Carreteras de Sydney [1]. En 1999 en Congreso Mundial de Carreteras de Kuala Lumpur, se expresaron reparos a la instalación de estos sistemas debido al hecho de que muchos incendio en túneles se inician en los compartimentos cerrados de los motores de los vehículos. Además se dijo claramente que estos sistemas en la mayoría de los casos no podían extinguir los incendios importantes, en contra de lo que normalmente se suponía.

Por ejemplo PIARC, en la publicación de 1999 "*Fire and Smoke Control in Road Tunnels*" (Control de incendios y humos en Túneles de Carretera)[2], presentó su posición sobre estos sistemas :

"La razón por la que la mayoría de los países no usa rociadores en los túneles es que la mayoría de los incendios comienzan en el compartimiento del motor y los rociadores no resultan útiles hasta que el incendio aparezca en el espacio abierto (del túnel)."

"Además el uso de rociadores plantea una serie de problemas:

- (1) El agua puede originar una explosión del combustible...si no está combinada con los aditivos apropiados
- (2) Existe el riesgo de que, con el fuego extinguido, los gases inflamables sigan produciéndose y puedan causar una explosión
- (3) El vapor caliente puede causar daños a las personas

- (4) La capa de humos se enfría y pierde la estratificación, invadiendo toda la sección libre del túnel
- (5) Se reduce la visibilidad
- (6) El mantenimiento puede ser caro”

PIARC también aclaró en la publicación de 1999 [2] que los rociadores (*sprinklers*, FFFS) pueden ser usados para enfriar vehículos y reducir la extensión del fuego desde el primer vehículo en llamas a otros vehículos próximos. En relación con el proceso de evacuación durante un incendio en un túnel, PIARC expresó que los rociadores o los sistemas de diluvio (*sprinklers or deluge systems*, FFFS) – si están instalados – pueden no ser activados hasta que todos los ocupantes del túnel hayan sido evacuados.

### 3.2. Nuevos desarrollos

En los últimos años se ha realizado una gran cantidad de estudios e investigaciones sobre los FFFS, con objeto de resolver la gran cantidad de objeciones propuestas y de ganar una mayor comprensión sobre el comportamiento y la eficacia de estos sistemas en los túneles.

A pesar de las mejoras obtenidas aún hay sólidas razones para la prudencia y la valoración de las ventajas de la instalación de un sistema fijo de lucha contra incendios en un túnel de carretera. Se recomienda firmemente que se realice un estudio de viabilidad del FFFS acompañado por un análisis de riesgos y un estudio coste-beneficio en cada proyecto concreto.

La gestión de los riesgos de incendio para los túneles de carretera, y sus usuarios, ha sido un aspecto clave en el diseño y operación de túneles. Se ha desarrollado un conjunto de técnicas y tecnologías para enfrentarse con los riesgos de incendio. En conjunto estas técnicas y tecnologías han originado que los túneles de carretera sean una de las partes más seguras dentro de una moderna red de carreteras, con menores índices de accidentes, heridos y muertos, que en cualquier otra parte de la red.

Los incendios en túneles, en el periodo 1999-2001, que originaron pérdidas de vidas, heridos, y daños a la infraestructura fueron más graves que si hubiesen ocurrido en una carretera al aire libre. Sin embargo las circunstancias que contribuyeron a cada uno de los incendios estuvieron dentro de los escenarios típicos- fue la naturaleza y extensión de las consecuencias las que resultaron inesperadas ya que los escenarios iniciales no eran ni extraños ni improbables.

Estos incendios recientes y significativos nos han recordado que las consecuencias de un incidente en un túnel pueden –en ciertas circunstancias- ser más graves que si ocurriera en una carretera al aire libre, consecuencias graves para los usuarios y para la infraestructura del túnel.

Ello ha reiterado las peticiones para que mejoren las técnicas y tecnologías de gestión del riesgo de incendios en túneles.

Una “familia” de técnicas y tecnologías con renovado interés actual (y que están siendo activamente promocionadas) es la de los Sistemas Fijos De Lucha Contra Incendios (*fixed fire fighting systems*, FFFS). Tales sistemas se han usado en edificios durante muchos años, han sido adaptados para su uso en túneles de carretera en los últimos 20 años, y algunos tipos son objeto actualmente de investigaciones intensivas y se están instalando recientemente.

El objetivo actual del uso de FFFC es retrasar el desarrollo y crecimiento del incendio, para minimizar, o eliminar completamente, el riesgo de extensión de un vehículo a otro, mejorando así las condiciones para el escape y el rescate de los usuarios de túneles.

### 3.3. Discusiones y recomendaciones

En esta presentación se discutirá el impacto funcional de los FFFS dentro de los sistemas de seguridad de túneles contra incendios. Se ofrecerá además información sobre el uso actual de FS en túneles de carretera en varios países. También se ofrecerá información sobre los tipos de sistemas disponibles.

La instalación de un FFFS solo debería hacerse cuando su eficacia esté asegurada por un enfoque de ingeniería de sistemas sobre la seguridad del túnel. Los FFFS son una de las muchas herramientas disponibles para dar protección al usuario, y a la infraestructura, – y la consideración de la adecuación de los FFFS debería hacerse siempre sobre la base de que son una de las muchas opciones disponibles para dar seguridad a los túneles.

Debe recalarse que la seguridad en túneles exige una visión conjunta de todo el sistema, que comprende la infraestructura, la explotación, los usuarios y los vehículos. La valoración de cualquier equipamiento, como los FFFS, debería hacerse como parte de tal sistema completo y sobre la base de los posibles escenarios de incendio.

Puesto que el éxito de los FFFS depende de una rápida activación del sistema en el momento oportuno – en relación con el auto rescate de los usuarios del túnel – otros aspectos pueden ser relevantes durante el proceso de diseño. Ejemplos de los factores relevantes son la financiación adecuada del mantenimiento (legal y contractualmente), la “cultura” de mantenimiento y ensayo y la competencia y efectividad de las respuestas operacionales. Dichos factores son importantes además de cuestiones técnicas tales como velocidad de detección de incidentes, precisión en la localización y tiempos de respuesta antes estos incidentes.

La conclusión es que, dado que el uso de FFFS puede afectar aspectos fundamentales de un incendio y sus consecuencias – incluyendo la velocidad de desarrollo del fuego y de producción de calor, la humedad, la estratificación, la visibilidad, la temperatura del aire circundante, y la posibilidad de una explosión (*flash over*) – representa una tecnología que debe ser considerada solamente como una parte del sistema global de seguridad de un túnel.

## 4. FACTORES HUMANOS Y SEGURIDAD DE TÚNELES, EN RELACIÓN CON LOS USUARIOS

Después de los incendios en los túneles de Mt. Blanc, Tauern y Gotthard la seguridad en los túneles de carretera se convirtió en un tópico de actualidad en los países europeos. El resultado fue la evaluación de las regulaciones nacionales existentes y la elaboración de una Directiva Europea sobre los Requisitos Mínimos de Seguridad en los Túneles de la Red Transeuropea [3].

En muchos países los propietarios de túneles se dieron cuenta del hecho de que los ingenieros ocupados en la construcción, las instalaciones o la explotación de túneles pueden diseñar instalaciones magníficas, prever medidas y señalización para ayudar a los usuarios en condiciones normales y/o en situaciones críticas; sin embargo nunca se ha comprobado si los usuarios entendían realmente dichas medidas y señalización y usarían los equipamientos y señales de la forma prevista por los diseñadores.

Después de los incendios citados la Unión Europea financió una serie de redes temáticas y proyectos de investigación para profundizar en los factores que determinan la seguridad en túneles, incluyendo entre ellos el comportamiento humano.

El año 2000 el Comité Técnico de PIARC sobre Operación de Túneles de Carreteras (TC 3.3) decidió iniciar un Grupo de Trabajo dirigido a los Factores Humanos, Grupo que ha producido, entre otras, recomendaciones para los conductores profesionales y no profesionales. En 2004 dicho Grupo de Trabajo inició un proyecto para preparar recomendaciones para el diseño y la explotación de túneles teniendo en cuenta el comportamiento humano. En una etapa posterior este proyecto se terminó en colaboración con el Grupo de Trabajo 4 “Detección, Comunicaciones, Equipamientos de seguridad” t.

El resultado de este trabajo conjunto es un informe titulado “Factores Humanos Y Seguridad de Túneles, en Relación con los Usuarios”, *“Human Factors and Road Tunnel Safety regarding Users”*.

Los capítulos principales son:

- Aspectos generales del comportamiento humano
- Comportamiento humano en túneles de carretera en situaciones normales
- Comportamiento humano en situaciones críticas
- Medidas adicionales recomendadas para mejorar la seguridad en túneles de carretera en situaciones normales
- Medidas adicionales recomendadas para prevenir el agravamiento condiciones críticas de tráfico en túneles de carretera

El adjetivo “adicional” en el título de los dos últimos capítulos se refiere a requisitos suplementarios a los mínimos exigidos en la Directiva Europea. Dichos requisitos mínimos incluyen ya muchas interfaces entre el proyecto y la explotación de un túnel, de una mano, y los usuarios de otra. Ejemplos: distancia máxima entre apartaderos, y entre estaciones de emergencia; equipamiento de las estaciones de emergencia y especialmente la indicación, mediante una señalización uniforme, de los apartaderos y estaciones de emergencia y su equipamiento.

El capítulo sobre “Aspectos generales del comportamiento humano” presenta modelos que describen los procesos humanos de decisión, con el objetivo de dar a los profesionales de los túneles un marco teórico dentro del cual se pueda entender el comportamiento humano

El capítulo “Comportamiento humano en túneles de carretera en situaciones normales” contiene observaciones sobre el comportamiento de los usuarios de túneles durante la aproximación al túnel, la entrada, el trayecto por el interior y la salida.

El capítulo “Comportamiento humano en túneles de carretera en situaciones críticas” contiene párrafos sobre la congestión, las averías, los accidentes; y también sobre comportamiento humano durante los incendios.

Basándose en los modelos teóricos, y en los resultados de encuestas, experimentos y estudios del comportamiento humano real, el informe recomienda medidas adicionales para mejorar la seguridad en situaciones normales y medidas para prevenir el agravamiento de las situaciones críticas del tráfico.

El procedimiento seguido fue que, para cada medida, los grupos de trabajo:

- formularon los objetivos
- describieron las medidas mínimas incluidas en la Directiva Europea
- discutieron los posibles desajustes entre objetivos y medidas y/o la efectividad de las medidas teniendo en cuenta los factores humanos
- formularon medidas adicionales a recomendar.

Respecto a las situaciones normales el documento recomienda medidas adicionales sobre:

- educación e información,
- información a los conductores antes de la última salida de la carretera antes de llegar al túnel,
- señalización direccional,
- información a los conductores que se acercan a un túnel,
- señales relacionadas con las condiciones atmosféricas,
- diseño de los portales de los túneles,
- diseño geométrico de la sección transversal ,
- diseño interior,
- guiado del tráfico.

Las medidas adicionales recomendadas en el caso de situaciones críticas fueron:

- señales en la carretera y en la aproximación a un túnel sobre la congestión, el cierre de un carril o el cierre total del túnel,
- apartaderos y estaciones de emergencia,
- facilidades para que los usuarios puedan extinguir los incendios menores,
- alertas a los usuarios de túneles
- indicaciones sobre las salidas e itinerarios de escape, en emergencias,
- guiado de los usuarios después de las salidas de emergencia del túnel,
- información a los usuarios del túnel situados en el tubo no afectado.

Las conclusiones primarias son las siguientes:

- el diseño y explotación de un túnel debe tener en cuenta los factores humanos;
- los conductores necesitan una mejor formación sobre su comportamiento en los túneles;
- una porción no pequeña de la carretera antes de la entrada en un túnel (si es posible de 150-200 m) no debería contener señales ni paneles de información;
- tales señales deben ser conspicuas y estar repetidas para su facilidad de comprensión;
- las instalaciones de seguridad de un túnel deberían poder ser reconocidas fácilmente en condiciones normales de tráfico;
- las señales de alarma deberían provenir de fuentes múltiples y redundantes.

## 5. RECOMENDACIONES PARA TUNELES VIALES URBANOS

Un túnel vial se define frecuentemente como urbano por las dificultades que el tráfico intenso causa para una gestión eficiente del tráfico mismo y para el mantenimiento del túnel.

Los túneles modernos en áreas urbanas tienen un cierto número de sistemas técnicos con componentes críticas para la explotación segura del túnel. Por lo tanto la explotación segura y el mantenimiento están íntimamente relacionados.

Los equipamientos de los túneles tienen varios niveles técnicos y de complejidad. A veces es posible realizar el mantenimiento en espacios técnicos que son fácilmente accesibles desde fuera del túnel. Pero en algunos casos es absolutamente necesario entrar en el túnel y eso requiere el cierre de uno o más carriles de tráfico.

El mantenimiento de los equipamientos del túnel es absolutamente necesario; de otra parte, en túneles con mucho tráfico, el operador tiene dificultades para encontrar periodos de tiempo adecuado para el mantenimiento, especialmente de los sistemas instalados en la sección de tráfico. Un mantenimiento demasiado frecuente puede ser valorado desfavorablemente por los usuarios.

Por lo tanto esta presentación estudiará algunos problemas específicos relacionados con el tráfico intenso y la dificultad para el cierre de túneles urbanos. Comparará las prácticas de mantenimiento más adecuadas incluyendo la elección de equipos y sistemas durante el diseño del túnel.

Esta presentación se propone también considerar las necesidades del operador del túnel, las de los usuarios, y las de la comunidad, y presentar propuestas para la minimización de los conflictos potenciales entre todas esas diferentes necesidades. Estas propuestas se refieren a todos los aspectos del diseño del túnel que puedan tener impactos negativos sobre la explotación: diseño de equipamientos y sistemas, especificaciones y requisitos de mantenimiento.

Las cuestiones a discutir son:

- respecto a los túneles:
  - ¿cuáles son los requisitos para los equipamientos, en relación con su seguridad, disponibilidad y durabilidad, que deben cumplirse para garantizar una explotación segura?
  - ¿cuáles son los requisitos para los equipamientos de un túnel urbano, para facilitar las actividades de mantenimiento con la menor perturbación para el tráfico?
- respecto al control de tráfico:
  - ¿qué condiciones de tráfico (normal, congestión, emergencias, catástrofes) debe ser controladas con seguridad, y con qué periodo de tiempo?
- respecto al mantenimiento
  - ¿qué procedimientos de mantenimiento pueden asegurar que un túnel urbano está mantenido con eficacia y eficiencia, teniendo en cuenta la seguridad del personal y de todos los usuarios?

- respecto a la organización
  - ¿qué medidas de organización deben tomarse para que el personal de mantenimiento pueda trabajar con eficacia y eficiencia?
  - ¿qué medidas de información deben tomarse en relación con los usuarios, los medios, el público en general, los políticos y la prensa?
- respecto al aprendizaje a partir de diversos eventos
  - ¿qué podemos aprender de la experiencia, y como podemos aplicarla en el diseño de nuevos túneles?

## 6. DIRECTIVAS PARA EL FUTURO

Durante 50 años, desde su creación en 1957, el Comité de PIARC sobre túneles de carretera (ahora el Comité Técnico TC 3.3 sobre Operación de Túneles de Carretera) se ha ocupado de temas relacionados con la explotación de túneles. Durante estos años el Comité ha sido responsable de la publicación de más de 40 publicaciones. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de trabajo realizado, aún queda mucho por hacer en las áreas de explotación, gestión, seguridad, comportamiento humano, detección, comunicaciones, ventilación y control de incendios.

Hemos intentado, en esta sección, compilar una lista de trabajos futuros potenciales en el área de la operación de túneles de carretera. Los miembros del C 3.3 y de sus grupos de trabajo consideran estos elementos como necesarios en dicha área durante el próximo ciclo PIARC (2008-2011). Se han clasificado para facilitar su revisión, pero no están listados por ningún orden de prioridad. Estos elementos posibles para futuros trabajos se presentan aquí para su discusión en esta Sesión.

### 6.1. Medidas de seguridad

- Desarrollar una política para las personas discapacitadas en relación con los incidentes en túneles de carretera, incluyendo una adaptación relevante de la infraestructura.
- Estudiar métodos para la prevención de accidentes dentro de los túneles (incluyendo el uso de sistemas inteligentes, sanción automática de las faltas, disminución de la monotonía de los túneles largos, consideración especial de las zonas con mayor frecuencia de accidentes en las inmediaciones de las bocas, etc.)
- Establecer metodologías para los proyectos de rehabilitación y de adaptación: etapas de proyecto, conexión con los requisitos de la Directiva Europea.
- Evaluar el riesgo derivado del exceso de equipamiento en los nuevos túneles en comparación, con los túneles antiguos existentes.
- Examinar métodos para reducir el tiempo que necesitan los servicios de rescate. Posible consideración, de automatizar las acciones iniciales.
- Desarrollar recomendaciones para la gestión del tráfico de mercancías peligrosas en túneles de carretera.
- Dar recomendaciones para el diseño de aceras y pasillos de emergencia.
- Considerar la problemática de seguridad en túneles en relación con el terrorismo.

## 6.2. Análisis de riesgos

- Puesta al día de las estadísticas de accidentes en túneles de carretera.
- Compilar descripciones completas de los efectos sobre la seguridad de cada uno de los diferentes sistemas de seguridad.
- Desarrollar un documento sobre la aceptación de niveles de riesgo en túneles de carretera. Podría convertirse en una base para la ingeniería de seguridad contra incendios.
- Desarrollar recomendaciones para los métodos de análisis de riesgos, incluyendo evaluación del nivel de seguridad, uso de los métodos RAM(S) de análisis de seguridad (confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad-seguridad; *reliability – availability – maintainability – safety*), análisis simplificados de riesgos, aplicación donde no puedan alcanzarse los estándares de la Unión Europea.

## 6.3. Comportamiento humano

- Continuar el desarrollo de recomendaciones en relación con el comportamiento humano en túneles de carretera desarrollando documentos de enseñanza para las escuelas de conducción y para otros cursos de educación (por ejemplo para conductores profesionales) y un folleto para campañas de información.
- Desarrollar pictogramas internacionales estandarizados.
- Determinar como convencer a los conductores para que guarden suficiente distancia entre coches (tiempo de reacción) en túneles.
- Determinar como asegurarse de que los conductores entiendan lo que se espera de ellos en caso de incidentes, cuando se cierra un túnel, cuando es necesaria la evacuación, etc.
- Conducir un estudio de la estética del túnel en relación con la seguridad vial incluyendo diseño, colores, dibujos, contrastes y nivel de iluminación.

## 6.4. Gestión de túneles, entrenamiento y explotación.

- Terminar el estudio sobre responsabilidades en la gestión de la seguridad, incluyendo organización de tareas (por ejemplo director de explotación, oficial de seguridad) y las competencias necesarias.
- Desarrollar procedimientos para ejercicios y entrenamiento de los equipos de rescate de emergencia y para los operadores.
- Publicar un manual integrado para el análisis posterior de los incidentes.
- Desarrollar recomendaciones para mejorar la explotación de un túnel basadas en datos reales de tráfico, incidentes, y mantenimiento.
- Desarrollar recomendaciones para el equipamiento de centros de control, incluyendo criterios y procedimientos para la centralización, en un centro, del control de varios túneles.
- Preparar recomendaciones puestas al día sobre gestión del mantenimiento, incluyendo, incluyendo inspección y reparación de túneles.
- Desarrollar requisitos mínimos operativos para situaciones de avería y para incidentes, incluyendo condiciones mínimas de explotación segura, situaciones de cierre del túnel o de un tubo, criterios para la reapertura del túnel.
- Desarrollar herramientas para la fijación de valores objetivo de varios parámetros (como coste de, frecuencia de incidentes, volumen de tráfico, etc.).
- Estudiar la reducción de costes operacionales (puesta al día de los anteriores informes de PIARC).
- Evaluar métodos de estudio del coste total de túneles, incluyendo una encuesta sobre costes y durabilidad de los equipamientos para optimizar de forma global los costes iniciales y de explotación.

#### 6.5. Gestión del tráfico

- Evaluar la optimización de los trabajos de mantenimiento/reequipamiento en relación con mantener el tráfico o desviarlo, para túneles de un solo tubo o de dos tubos.
- Desarrollar criterios para el proyecto de túneles urbanos, para tener en cuenta la congestión producida por las condiciones a la salida (por ejemplo glorietas, semáforos, etc.) o dentro del túnel (por ejemplo enlaces subterráneos) incluyendo la consideración de sistemas inteligentes de tráfico.
- Desarrollar métodos para prevenir la formación de atascos dentro de los túneles.

#### 6.6. Seguridad frente a incendios

- Terminar la puesta al día de los fuegos de diseño.
- Continuar el seguimiento de todos los desarrollos en los sistemas fijos de lucha contra incendios, incluyendo recomendaciones para su aplicación.
- Evaluar el papel de la ingeniería del fuego basada en el desempeño en el diseño de la seguridad de túneles frente a incendios.
- Comparar el rendimiento económico de los sistemas de protección contra incendios en túneles con la reducción de riesgos en los vehículos pesados (por ejemplo mayor resistencia y menor capacidad máxima de los depósitos de combustible, sistemas de auto extinción de incendios, etc.)

#### 6.7. Ventilación

- Puesta al día de la demanda de ventilación teniendo en cuenta las nuevas reducciones en la emisiones de gases por los vehículos y consideración de los nuevos gases contaminantes.
- Continuar el estudio de las partículas en aire del túnel, incluyendo métodos para su minimización.
- Evaluar los sistemas de control de la ventilación de túneles urbanos complejos con múltiples entradas y salidas.

#### 6.8. Miscelánea

- Revisar todos los informes técnicos sobre túneles de PIARC para integrarlos y ponerlos al día en un número menor de informes (como consecuencia los elementos dimensionales serían los mismos para todos los informes, podrían suprimirse las redundancias, y los huecos se identificarían fácilmente y podrían ser objeto de nuevos estudios).
- Preparar una evaluación retrospectiva, al término de la construcción del túnel, de los criterios originales de diseño. Suponiendo que todo trabaje adecuadamente ¿se cumplen los criterios de diseño?

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Los informes técnicos mencionados en la introducción a este informe (apartado 1º) han sido publicados o elaborados durante el ciclo 2004-2007 y son la referencia principal para esta Sesión. Además este informe hace referentes a los siguientes documentos:

- [1] PIARC Technical Committee on Road Tunnels (C-5), Report to the XVII<sup>th</sup> World Road Congress, Sydney, Australia, Report 17.05.B, October 1983.
- [2] PIARC Technical Committee on Road Tunnels (C-5) "Fire and Smoke Control in Road Tunnels", PIARC, Paris, France, Report 05.05.B, 1999.
- [3] "Minimum Safety Requirements for Tunnels in the Trans-European Road Network", Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council, 29 April 2004; Official Journal of the European Union L, pp. 56–76, 7 June 2004.

## CONCLUSIONES TENTATIVAS

Más y más túneles se construyen para cruzar barreras naturales o áreas urbanas. Los túneles existentes soportan tráficos crecientes y un cierto número de ellos necesitan una puesta al día. En todos los casos se necesitan equipamientos efectivos y una gestión segura y eficiente. Durante 50 años el Comité de Túneles de carretera de PIARC (ahora el Comité Técnico de PIARC de Operación de Túneles de Carretera) ha estado implicado en la consideración de la problemática de explotación de túneles de carretera.

Durante el ciclo 2004-2007, se han terminado y publicado 5 informes del ciclo precedente, se han preparado 7 nuevos informes y otros 6 informes están en fase de terminación. Varios de los temas tratados en dichos informes merecen ser presentados y discutidos en este XXIII Congreso mundial de Carreteras, *XXIII<sup>d</sup> World Road Congreso*, y podrían dar origen a las siguientes conclusiones:

### Detección de incidentes mediante procesado de imágenes de video

La detección de incidentes mediante procesado de imágenes de video se está aplicando en un número creciente de túneles para producir alarmas cuando aparezcan situaciones potencialmente peligrosas. Generalmente se aplican en las cámaras de video usadas para la vigilancia del túnel.

Estos sistemas están siendo mejorados continuamente ya que aun hay problemas que resolver. El porcentaje de falsas alarmas es a menudo alto y los componentes del sistema no siempre están a prueba de errores y con un control adecuado. Deben establecerse procedimientos para distinguir entre alarmas reales, alarmas menores y falsas alarmas.

## Valoración de los sistemas fijos de lucha contra incendios

El uso de los sistemas fijos de lucha contra incendios ha sido una cuestión muy debatida durante muchos años. Los nuevos desarrollos tecnológicos han producido sistemas cuyo objetivo es ralentizar el desarrollo del incendio, minimizar su extensión y, finalmente, mejorar las condiciones de escape y rescate.

Los sistemas fijos de lucha contra incendios afectan a aspectos fundamentales del incendio, especialmente sus ritmos de crecimiento y expansión, así como a sus consecuencias últimas. Producen un impacto sobre la humedad, la estratificación, la visibilidad, la temperatura del aire circundante y la posibilidad de una explosión, *flash-over*. Por estas razones los sistemas fijos de lucha contra incendios deben considerarse solamente como una parte de un sistema integrado de lucha contra incendios. Su aplicabilidad y rendimiento económico en los túneles debe ser considerada caso por caso.

## Factores humanos y seguridad de túneles, en relación con los usuarios

El papel determinante de los factores humanos en la seguridad de túneles es evidente después de los dramáticos incendios de 1999-2001. Dichos factores deben ser tenidos en cuenta en todos los diseños de túneles y de sus sistemas operativos.

Es de la máxima importancia que los conductores y motoristas sepan como comportarse en túneles en situaciones normales y/o críticas, y reciban la educación adecuada a este efecto. Correlativamente las instalaciones del túnel dispuestas para los usuarios deberían ser fácilmente distinguibles y comprensibles.

## Recomendaciones para túneles viales urbanos

El intenso tráfico a través de los túneles urbanos causa dificultades específicas para la gestión eficiente del tráfico mismo y para el mantenimiento de los equipamientos. Estos problemas, que afectan a todo el área que rodea el túnel, deberían ser tenidos en cuenta desde las primeras fases de diseño de un túnel y en la explotación diaria.

Es necesario considerar las necesidades del operador del túnel, de sus usuarios, y de toda la comunidad. El diseño del equipamiento y sistemas, y los requisitos de mantenimiento, deberían intentar minimizar los conflictos potenciales entre las diferentes necesidades.