

SEGURIDAD EN TÚNELES DE CARRETERA

29 Septiembre 2011 (por la tarde)

TC C.4: EXPLOTACIÓN DE TÚNELES DE CARRETERA

INFORME DE INTRODUCCIÓN

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO.....	3
MIEMBROS DEL COMITÉ QUE HAN PARTICIPADO EN EL INFORME	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. GESTIÓN DE LA EXPLOTACIÓN EN TÚNELES	5
2.1. Gestión estratégica de la Seguridad en Túneles.....	5
2.2. Técnicas para ejercicios de emergencia en túneles de carretera	6
2.3. Gestión del mantenimiento e inspecciones técnicas en túneles de carretera	8
2.4. Aspectos del ciclo de vida del equipamiento eléctrico en túneles de carretera.....	8
3. TEMAS ESTRATÉGICOS EN LA SEGURIDAD EN TÚNELES.....	9
3.1. Evaluación del riesgo	9
3.2. Mejora de la seguridad en túneles existentes	11
3.3. Formación del conductor.....	13
3.4. Emisión de vehículos y demanda de caudal de aire	14
3.5. Características de los incendios de diseño en túneles de carretera	14
4. DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE EXPLOTACIÓN Y SEGURIDAD EN TÚNELES.....	16
4.1. Manual de Túneles de Carretera.....	16
4.2. Diccionario de túneles de carretera.....	17
5. ARTÍCULOS PRESENTADOS SOBRE EL ENFOQUE SOSTENIBLE EN TÚNELES DE CARRETERA	17
6. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS Y POSIBLES NUEVOS TEMAS PARA EL COMITÉ	18
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CONCLUSIONES PRELIMINARES	18

RESUMEN EJECUTIVO

Cada vez más los túneles están siendo construidos para atravesar barreras naturales o áreas urbanas. Los túneles existentes tienen cada vez mayor tráfico y un número significativo de ellos necesita ser reacondicionado. En todos los casos es necesario tanto un equipamiento eficaz como una explotación eficiente y segura del túnel. Desde su creación en 1957, el Comité Técnico de PIARC C.4 sobre Explotación de Túneles del Carretera, ha estado estudiando distintos aspectos sobre geometría de túneles de carretera, equipamiento, explotación, impacto medioambiental y seguridad.

Esta sesión, sobre la Seguridad de Túneles del Carretera, presentará las actividades y los resultados del comité técnico C.4 durante los cuatro últimos años. Se tratarán con más detalle varias publicaciones que justifican el debate con la audiencia.

Durante el ciclo de PIARC 2008-2011, se ha realizado un gran esfuerzo para tratar de la mejor forma posible los aspectos de explotación y gestión de túneles con el objeto de mejorar la seguridad de sus usuarios. Por tanto, se espera que esta sesión aporte conclusiones sobre estudios tanto en situación normal como de emergencia. Se abordará la problemática de cómo tener en cuenta, y en caso de ser posible, cómo mejorar el comportamiento del usuario a través del diseño y la explotación del túnel, así como las mejores técnicas para la rehabilitación de túneles.

La sesión se terminará con un debate entre los asistentes sobre futuras líneas de trabajo y nuevos temas a tratar por el comité de Explotación de Túneles del Carretera durante los próximos años.

MIEMBROS DEL COMITÉ QUE HAN PARTICIPADO EN EL INFORME

Pierre Schmitz, Bélgica
Robin Hall, Reino Unido
Alexandre Debs, Canadá-Quebec
Ignacio Del Rey, España
Didier Lacroix, Francia

1. INTRODUCCIÓN

Durante el ciclo PIARC 2008-2011, el Comité Técnico C.4 de Explotación de Túneles de Carretera, fijó los siguientes aspectos prioritarios:

- Mejora en la explotación y el mantenimiento del túnel
- Gestión y mejora de la seguridad de túnel
- Influencia del comportamiento de los usuarios del túnel
- Optimización de la ventilación de túnel y gestión del incendio
- Evaluar, organizar y diseminar la información existente sobre la explotación y la seguridad del túnel

Las líneas estratégicas se seleccionaron de acuerdo a estos temas y como resultado para este ciclo se propusieron diversos informes técnicos, artículos, seminarios internacionales y talleres. Las actividades técnicas se llevaron a cabo por cinco grupos de trabajo, que prepararon distintos productos para su discusión y aprobación por el Comité. El Informe de Actividad de PIARC da una relación detallada de estas actividades y resultados.

Los informes técnicos y otros resultados publicados o preparados durante este ciclo se recogen a continuación:

Grupo de Trabajo 1 – Explotación de Túneles de Carretera

- Recomendaciones para la gestión estratégica de la seguridad en túneles
- Técnicas para los ejercicios de preparación ante emergencias en túneles de carretera
- Gestión del mantenimiento e inspecciones técnicas de túneles de carretera
- Aspectos sobre el ciclo de vida del equipamiento eléctrico en túneles de carretera

Grupo de Trabajo 2 - Seguridad en Túneles de Carretera

- Técnicas actuales de evaluación de riesgos en túneles de carretera
- Mejora de la seguridad en túneles existentes

Grupo de Trabajo 3 - Influencia del Comportamiento del usuario en Túneles

- Formación de los conductores

Grupo de Trabajo 4 - Calidad del aire, incendio y ventilación

- Emisiones de vehículos y determinación de la demanda de aire de ventilación
- Características del incendio de diseño en túneles de carretera

Grupo de Trabajo 5 – Gestión del Conocimiento

- Manual de Túneles de Carretera
- Diccionario de Túneles de Carretera

Otras actividades preparadas durante este ciclo incluyen:

- 3 jornadas sobre seguridad en túneles, explotación y reacondicionamiento, en Montreal (Canadá), Auckland (Nueva Zelanda) y San Petersburgo (Rusia);
- 1 seminario en Buenos Aires (Argentina) sobre Túneles y Aplicaciones ITS, y 1 seminario en Xiamen (China) sobre Construcción, Explotación y Gestión de Túneles de carretera;

- 1 sesión técnica especial sobre el Mantenimiento y Explotación invernal en Túneles de Carretera, durante el Congreso Internacional de PIARC de Invierno en Quebec (Canadá).

La sesión sobre Seguridad en Túneles de Carretera comenzará con una descripción de las actividades del comité C.4 durante el ciclo 2008-2011. Después se centrará en temas específicos especialmente seleccionados para ser tratados en dicha sesión, al tratarse de aspectos relevantes para ser aclarados y discutidos en el Congreso:

- Mejora de la seguridad en túneles existentes mediante la gestión de la explotación y la formación;
- Construcción y explotación sostenible en túneles de carretera;
- Escenarios de incendio de diseño en la construcción y rehabilitación de túneles.

La discusión final se basará en la recopilación de los puntos de vista de todos los participantes sobre las futuras líneas de trabajo y los nuevos temas para el Comité Técnico Sobre Explotación de Túneles de Carretera durante el siguiente ciclo de PIARC 2012-2015.

Las siguientes secciones de este informe proporcionan una introducción de cada uno de los temas que se presentarán y tratarán en la sesión.

2. GESTIÓN DE LA EXPLOTACIÓN EN TÚNELES

Mientras en ciclos anteriores la atención se centraba en el diseño de sistemas y equipamientos para el túnel, el comité C.4 ha dedicado un esfuerzo considerable al desarrollo de guías sobre distintos aspectos de la gestión de la explotación de túneles.

2.1. Gestión estratégica de la Seguridad en Túneles

Para proporcionar un servicio eficaz y seguro se precisa realizar una adecuada gestión de los túneles de carretera, lo que incluye abordar:

- El espacio de tráfico rodado – con normas de infraestructura y procedimientos para la circulación segura por el túnel.
- La infraestructura, el equipo y los sistemas - el activo físico proporcionado para constituir el equipamiento de los túneles de carretera y así facilitar la circulación segura y fiable por el túnel.
- Las personas - esto incluye personal de explotación, usuarios, servicios de emergencia, servicios de primera intervención ante incidentes o incidencias o contratistas.

La gestión eficaz de cualquier túnel de carretera no sólo requiere una actuación eficiente durante su explotación. Además precisa la gestión de las emergencias de forma eficaz durante los incidentes, así como procedimientos adecuados y el enlace con los servicios de la emergencia. Después de cualquier incidente, ejercicio, procedimiento o incluso “amagos” se deben usar estas lecciones para mejorar y prevenir nuevos eventos. (Nota: se ha empleado el término “amagos” para definir a incidentes que suceden, o están próximos a suceder, tanto en los accesos como dentro del túnel y que no causan ningún herido, víctima o daño significativo al activo, pero que podría haber tenido graves consecuencias)

El nivel de servicio y calidad disponible para el usuario obviamente depende de la naturaleza y forma de trabajo de los operadores del túnel y de los equipamientos de seguridad instalados. También depende de la gestión y la coordinación entre los

operadores del túnel, el personal de mantenimiento y el equipo de seguridad. Por lo tanto, la gestión y supervisión del funcionamiento de estas actuaciones son de gran importancia. La gente encargada de realizar tareas debe estar apropiadamente cualificada, ser experta y competente para la tarea y comprometida en la formación continuada.

El comité C.4 ha generado un informe para recoger la situación actual en los distintos países en este campo. Así, el informe promueve la buena práctica mediante la descripción de distintos modos con los que conseguir una gestión eficaz en túneles de carretera. El informe define la organización, estructura y funciones de la gestión estratégica de la seguridad del túnel. Se incluyen algunas recomendaciones generales sobre la organización, el reclutamiento y su realización.

La asignación de responsabilidades en la gestión del túnel varían de país a país y pueden incluso variar entre túneles dentro de un mismo país, pudiendo ser cubiertas bien por una entidad pública o una empresa privada e, incluso, puede ser desarrollada por una organización responsable de un túnel concreto o de varios túneles. Este informe proporciona consejo igualmente aplicable tanto a organizaciones públicas como a privadas y aceptable (de forma complementaria), a cualquier modelo de gestión o sistema empleado en un túnel de carretera.

Se espera que esta nueva guía ayude tanto a las Autoridades Administrativas como a los gestores y explotadores de Túneles a mejorar la gestión de la seguridad de sus túneles. Sin embargo, hay que advertir que la gestión de un túnel es un proceso dinámico que se verá modificado en el futuro al aparecer nuevas normas y técnicas de trabajo.

2.2. Técnicas para ejercicios de emergencia en túneles de carretera

Los ejercicios o simulacros deberían estar considerados como una parte integral del plan de emergencia del túnel y no como eventos aislados. El comité C.4 ha elaborado un informe para presentar técnicas para la organización de ejercicios de emergencia en túneles de carretera. Se trata de una guía para definir, paso a paso, los objetivos, la preparación, la realización y la evaluación de ejercicios del modo más eficiente y productivo. El informe también incluye información práctica sobre los recursos y el personal involucrado, el coste y los resultados a alcanzar.

La siguiente lista, presentada a modo de ejemplo, recoge los aspectos clave a tener en cuenta para la preparación de un ejercicio, y que permite percibir la utilidad de esta guía:

1. Lograr un acuerdo en el Comité de Organización respecto del alcance y el objetivo del ejercicio
2. Organizar un equipo multidisciplinar para planificar el ejercicio y acordar los objetivos para cada una de las áreas a entrenar
3. Preparar un esquema y desarrollar después los casos principales del ejercicio y los horario asociados
4. Determinar y confirmar la disponibilidad de las agencias externas implicadas, tales como los medios de comunicación o agencias voluntarias
5. Realizar una lista de las instalaciones necesarias para el ejercicio y confirmar su disponibilidad; por ejemplo, transporte, edificios y equipamiento
6. Asegurar que todas las comunicaciones que se usarán durante el ejercicio han sido probadas antes del mismo. Realizar una verificación previa de las radios y teléfonos móviles, en las posiciones en las cuales serán usados, en fechas lo más próximas posibles a la de realización del ejercicio
7. Comprobar que están identificados y correctamente informados los supervisores para cada etapa del ejercicio

8. Asegurar que la dirección del personal está claramente identificada y correctamente informada y que tiene comunicaciones buenas e independientes con los encargados del ejercicio todo el tiempo
9. Si el ejercicio une un número de actividades o funciones que son dependientes unas de otras, es preciso confirmar que cada una individualmente ha sido probada de antemano.
10. Asegurar que todos los participantes han sido informados.
11. Asegurar que todos los participantes son conscientes de los procedimientos a seguir si se produce una verdadera emergencia durante el ejercicio.
12. Si está previsto que haya espectadores invitados, incluyendo a los medios de comunicación, asegurar que estén claramente identificados y correctamente ordenados, y garantizar que sean informados del progreso del ejercicio. Asegurar su seguridad.
13. Para el ejercicio más largo, organizar instalaciones de catering y servicios higiénicos.
14. Asegurar que los organismos externos se encuentran aseguradas ante un posible accidente durante el ejercicio
15. Advertir a los medios de comunicación locales, a las centralitas/mandos de los Servicios de Emergencia/Rescate y a cualquier vecino que pudiera estar preocupado o afectado por el ejercicio. Colocar señales de aviso como "Ejercicio en curso" si fuese necesario.
16. Asegurar que los coordinadores, encargados de personal, supervisores y los participantes son conscientes de cuándo y dónde se va a realizar el informe "in-situ", y hacerles llegar una planificación para la realización del informe completo.
17. Ponerse de acuerdo y preparar un juego detallado de recomendaciones, cada uno acompañado del encargado de las acciones y la escala de tiempo.
18. Preparar un informe claro y conciso resumiendo el ejercicio para distribuir a todas las organizaciones y grupos que participaron, junto con las recomendaciones principales.
19. Transmitir a todo el Comité de organización el resultado del ejercicio y acordar el programa de ejercicios futuro.

Es esencial realizar una revisión de los procedimientos de respuesta ante un ejercicio de los Servicios de Emergencia/Rescate y de las agencias involucradas. Esto proporciona una oportunidad de evaluar la eficacia, aprender de la experiencia adquirida y también ofrece una fuente de información para ayudar en la planificación de futuro, la formación y la ejecución. La mejor forma de realizar este proceso es realizar informes para todos los niveles en los organismos involucrados y preparar un informe conjunto. La realización de informes "in-situ" (inmediatamente después de que tenga lugar el evento) puede ser un modo útil de recopilar reacciones inmediatas que no pueden ser reflejadas en el informe posterior (el realizado transcurrido un cierto tiempo). Todas las acciones identificadas en el informe deberían ser tenidas en cuenta por la persona/agencia designada e incorporadas en una escala temporal. Los intervinientes pueden querer designar a un coordinador neutral para la redacción del informe. Es importante mantener una atmósfera sin presiones para que la gente no tenga miedo de ser honesta sobre sus experiencias y problemas.

Un ejercicio multidisciplinar completo puede ser tan costoso como largo de preparar y realizar. Por tanto, es particularmente útil, realizar un informe después del ejercicio. El informe debería estar bien presentado y ser breve, de modo que, incluso el director más ocupado, no tenga excusa para no leerlo. El informe debería abarcar el propósito, los objetivos, los escenarios, el proceso de planificación y las observaciones tanto positivas

como negativas sobre el ejercicio, terminando con recomendaciones para el futuro. Es también importante tener en cuenta las recomendaciones y elaborar un informe de seguimiento que esté planificado para un tiempo no superior a los seis meses de su publicación y que recoja las acciones llevadas a cabo y lo que se haya planificado.

2.3. Gestión del mantenimiento e inspecciones técnicas en túneles de carretera

Los túneles se suelen considerar una infraestructura de la carretera, que consiste en un pavimento de asfalto, una estructura y componentes de drenaje, pero también son complejas instalaciones técnicas, con cientos de sistemas y subsistemas que deben funcionar, algunas veces, en condiciones meteorológicas extremas.

Actualmente los túneles de carretera son complejos y presentan más similitudes con algunas plantas industriales que con el resto de la red de carreteras. Generalmente están equipados con una amplia gama de equipamiento mecánico, eléctrico, de control y de comunicaciones para asegurar la seguridad de los usuarios. Este equipamiento tiene que tener un mantenimiento regular para poder funcionar correctamente y estar disponible siempre que se necesite.

Este equipamiento puede clasificarse en dos grupos: dispositivos de tipo electromecánico (iluminación, ventilación, suministro de energía, etc.) y dispositivos operacionales más sofisticados (vigilancia remota, comunicaciones, gestión técnica centralizada, etc.). El primer grupo de instalaciones tiene un ciclo de vida en torno a varias décadas. El segundo grupo utiliza tecnologías cada vez más complejas (incluyendo la electrónica) y a menudo tiene un ciclo de vida de tan sólo una década. Este equipamiento requiere mayor mantenimiento y un conocimiento técnico más especializado.

La presencia de este equipamiento impone al operador de túneles de carretera mayor exigencia en la realización de acciones de mantenimiento diversas y a intervalos regulares. Existen varias opciones: mantenimiento correctivo y/o preventivo, empleo de recursos internos y/o externos junto con algún mantenimiento subcontratado. Ante estas distintas opciones, el operador puede desarrollar una estrategia de mantenimiento con el objetivo de buscar el equilibrio entre los recursos disponibles (personal y presupuesto) y las exigencias operativas del equipamiento. Los resultados de la estrategia escogida deberían ser evaluados realizando inspecciones técnicas regulares.

El comité C.4 ha preparado un informe con recomendaciones sobre el mantenimiento de túneles de carretera, centrado en su equipamiento. Los aspectos relacionados con instalaciones como salidas de emergencia, el sistema de drenaje, etc. y el pavimento se describen muy brevemente, sin abordar las condiciones para el mantenimiento de las estructuras de ingeniería civil primarias (túnel, estaciones de ventilación, locales técnicos y edificios, etc.) La información y recomendaciones recogidas en el informe son el resultado de contribuciones individuales así como de sugerencias hechas durante las reuniones del grupo de trabajo. Además, se enviaron cuestionarios a todos los países miembros del Comité de Túneles y sus respuestas han permitido tener una perspectiva más amplia de prácticas de mantenimiento actuales.

2.4. Aspectos del ciclo de vida del equipamiento eléctrico en túneles de carretera

Los Costes asociados al ciclo de vida (en inglés, LCC) se han convertido en un aspecto importante a tener en cuenta tanto por los gestores del túnel, como por las agencias gubernamentales.

El adecuado conocimiento de los procesos de vida útil de los sistemas puede emplearse para optimizar los gastos de inversión en los equipamientos en la fase de proyecto, además de facilitar la organización de las tareas de mantenimiento periódico.

El comité C.4 ha preparado un informe que revela la utilidad de la gestión del coste de vida del equipamiento tanto en la fase de proyecto como para el mantenimiento de equipamiento. Si se tiene en cuenta que las decisiones de inversión a menudo se realizan según las tecnologías disponibles y que los gastos en equipamiento han aumentado notablemente durante estos años, el informe ayuda a entender el proceso de ciclo de vida y el proceso del envejecimiento del material.

Para ello se realizó un cuestionario con difusión internacional para recopilar información sobre cómo se comportan los gestores de túneles hoy en día en cuanto al mantenimiento y sustitución de componentes del sistema se refiere. Los resultados muestran que la vida media de los equipos es generalmente de entre 10 y 25 años, dependiendo del tipo.

Se encontraron grandes diferencias en la vida de los equipos, que no sorprenden a nadie: los sistemas electrónicos y de supervisión del equipamiento, como los sistemas SCADA, tienen una vida relativamente limitada. Los sistemas mecánicos y de suministro de energía / cableado tienen una esperanza de vida más alta, que alcanza los 20 años y más. La vida útil del equipamiento de iluminación es sorprendentemente corta porque el impacto de la atmósfera del túnel probablemente deteriora el material más rápido de lo esperado. El resto de los sistemas típicos en los túneles como los de seguridad o señalización se encuentran en la zona central de la escala, con una vida media de aproximadamente 15 años.

El informe presenta algunos antecedentes teóricos sobre aspectos de LCC, que podrían ser de ayuda para futuras investigaciones. Se ha puesto énfasis en relación a las condiciones del entorno, que tienen un alto impacto sobre el proceso envejecimiento: se trata la temperatura como un factor clave; mostrando cómo el mantener bajas las temperaturas en los cuartos técnicos supone en el fondo "una buena inversión". Además se dan detalles adicionales para dos de los sistemas típicos en túneles: iluminación y SCADA.

El informe muestra la utilidad de considerar factores especiales que influyen en las expectativas de vida de los sistemas y componentes como pueden ser la temperatura, la humedad, la sollicitación mecánica y el entorno. La influencia de la temperatura a menudo se subestima. Usando la ecuación de Arrhenius, se puede demostrar la influencia de la temperatura ambiente en el envejecimiento. Por ello se debe prestar especial atención a la temperatura ambiente a la que se somete el equipamiento y las salas de control.

3. TEMAS ESTRATÉGICOS EN LA SEGURIDAD EN TÚNELES

Durante el ciclo 2008-2011, el comité C.4 ha preparado un gran número de informes sobre asuntos de importancia estratégica para el diseño y la explotación de túneles. Estos se han elaborado a partir de los resultados de anteriores ciclos de trabajo.

3.1. Evaluación del riesgo

La evaluación (del inglés, evaluation) del riesgo es una parte fundamental del proceso de evaluación global (del inglés assessment) del riesgo. Se trata del procedimiento que se centra en la definición del riesgo tolerable, por lo general comparando el riesgo calculado

con criterios de aceptación de riesgo predefinidos. La definición de estos criterios de aceptación no es universal, pero está integrada en un entorno específico legal, social y cultural y depende de muchos aspectos. Aunque no haya criterios de riesgo mundialmente aceptados para túneles de carretera, hay algunos en uso, establecidos en algunos países para ciertas aplicaciones.

La evaluación del riesgo puede hacerse de muchas formas, incluyendo enfoques cualitativos como la evaluación del resultado obtenido con sistemas de notación de riesgo y la evaluación siguiendo las directrices de un diseño prescriptivo; y enfoques cuantitativos donde el análisis de riesgo ha sido usado para obtener el riesgo en términos de valores esperados o curvas FN. Así, el informe se centra en los procesos de evaluación cuantitativa, en particular para el riesgo social, donde se describen los conceptos fundamentales relativos a la práctica adoptada en los distintos países.

Este informe debería leerse junto con el informe de PIARC “Análisis de Riesgos en Túneles de Carretera”, que se elaboró durante el ciclo 2004-2007. Para hacerlo más completo, algunos elementos claves del trabajo anterior también se han incluido en este informe, incluyendo una actualización del estudio de los métodos prácticos de evaluación de riesgo.

El riesgo social en un túnel particular puede ser evaluado a partir de criterios absolutos o relativos; o ambos que es lo habitual en la práctica. La evaluación a partir de criterios absolutos requiere un estado umbral de acuerdo con un riesgo objetivo establecido para el proyecto. Para ser aceptable, en este caso, el riesgo calculado para el túnel debe estar por debajo del riesgo objetivo. La evaluación, a partir de criterios relativos, normalmente requiere el establecimiento de un umbral de riesgo de referencia que sería el que presentaría un túnel equivalente con un nivel aceptable de riesgo, normalmente porque cumple con todas las normas relevantes y directrices. En este caso, para ser aceptable, el riesgo calculado para el túnel debe estar suficientemente por debajo del de referencia.

En el caso del valor de riesgo, expresado como valor esperado (EV, el riesgo en términos de víctimas anuales esperadas), la evaluación es más sencilla, aunque la definición del valor umbral, si no está aceptado a nivel nacional, suele precisar una consideración detallada según el contexto del proyecto específico y además alcanzar el visto bueno de todos los participantes relevantes. Este enfoque es más fácil de aplicar, pero no tiene en cuenta la distribución de consecuencias (accidentes con muy baja probabilidad/muy altas consecuencias contribuyen poco al valor esperado). Si se considera oportuno, se puede incluir un factor de aversión de riesgo para compensar esto, de modo que los incidentes con alto número de víctimas sean menos admisibles que los incidentes más frecuentes y con menos víctimas.

Para el riesgo expresado en forma de una curva FN, se proporciona información gráfica sobre la frecuencia de los incidentes y la distribución del número de víctimas en esos incidentes. En algunos países, los criterios de evaluación absolutos se definen con líneas de aceptación sobre el diagrama FN y estas líneas de referencia normalmente están vinculadas a un método de análisis específico o modelo de riesgo. Las líneas de aceptación en el diagrama FN a menudo tienen un límite superior e inferior entre los que está definida la zona ALARP, donde el riesgo debería reducirse tanto como fuera posible. Normalmente el riesgo en esta zona debería reducirse siempre que el coste de la reducción no sea desproporcionado respecto al beneficio económico.

Como en el caso de los criterios absolutos para el riesgo en términos de EV, la definición de las curvas/fronteras de aceptabilidad en el diagrama FN no es sencilla y es a menudo un proceso a largo plazo en el cual todos los intervinientes deben formar parte. El enfoque comparativo con las curvas FN es muy útil para la comparación de alternativas en función del riesgo, pero las gráficas FN pueden ser difíciles de interpretar y tienen que ser leídas con mucho cuidado, en particular en las zonas de cruce de las curvas.

Para aumentar la robustez de la evaluación de riesgos, a menudo las distintas estrategias de evaluación de riesgo descritas se combinan entre ellas y con otros enfoques como el análisis de escenarios, donde se investigan (modelan) escenarios específicos para ayudar a optimizar el nivel de provisión de seguridad para encontrar criterios de riesgo como las condiciones ambientales admisibles o el tiempo de evacuación; y el análisis de rentabilidad donde las medidas de seguridad pueden ser priorizadas para asegurar que los recursos invertidos puedan conseguir la máxima reducción de riesgo.

Según la información presentada en este informe, se recomienda que la evolución y el análisis de riesgo sean sólo algunos de los elementos empleados en la toma de decisión de la gestión de la seguridad del túnel y, se da por sentado, que el usuario sabe que la determinación de los criterios de evaluación de riesgo depende en gran medida del método de análisis de riesgo escogido y del alcance y circunstancias bajo las que se aplica el procedimiento de evaluación de riesgo.

Aunque los modelos de riesgo traten de acercarse todo lo posible a la realidad y aporten datos reales, es importante tener en cuenta que los modelos nunca pueden predecir verdaderos acontecimientos y que hay un grado de incertidumbre y falta de precisión en los resultados. Teniendo en cuenta esta incertidumbre, los resultados de un análisis de riesgo cuantitativo no deben ser considerados exactos sino una medida del orden de magnitud y deberían ser apoyados con estudios de sensibilidad o similar. La evaluación de riesgo por la comparación relativa (p.ej. de un estado existente con un estado de referencia de un túnel) puede mejorar la robustez de las conclusiones obtenidas pero siempre teniendo cuidado en la definición del túnel de referencia. Finalmente, la interpretación de los resultados del análisis de riesgo requiere la experiencia suficiente y la comprensión de los métodos y las estrategias de evaluación usados.

Desde un punto de vista legal se puede afirmar que un enfoque sistemático, empleando la evaluación de riesgo a partir de un análisis de riesgo sistemático y bien preparado, favorece el proceso de toma de decisiones representando una defensa ante una posterior investigación legal que implique a los que toman las decisiones, sus asesores y las decisiones adoptadas.

3.2. Mejora de la seguridad en túneles existentes

Los túneles existentes tienen que ser mejorados de vez en cuando para adoptar las prácticas de seguridad más actuales. Para apoyar tales actividades, es importante entender las prioridades y métodos para mejorar la seguridad, en relación a la infraestructura, la prevención de accidentes y la explotación. El comité C.4 ha preparado un nuevo informe que tiene en cuenta estos temas y proporciona directrices útiles.

Para túneles actualmente en explotación, se debe evaluar el nivel de seguridad para identificar si la mejora es necesaria o no y como las medidas de mejora pueden ser puestas en práctica del modo más rentable para mejorar la seguridad.

Hay algunos temas que tienen que ser tratados antes de realizar los trabajos. De hecho se deberían identificar los puntos débiles de un túnel existente mediante:

- Un enfoque sobre como identificar esos puntos débiles
- Una lista con los puntos débiles típicos y medidas posibles

Es decir, existe la necesidad de realizar el reacondicionamiento de una forma metódica; lo que lleva a plantearse:

- ¿Cómo identificar las posibles actuaciones?
- ¿Cómo definir las prioridades para la puesta en práctica de las medidas de seguridad?
- ¿Pueden ponerse en práctica medidas de mitigación?

En este sentido, las recomendaciones de este informe pretenden:

- Detallar un enfoque general de cómo actuar;
- Describir los puntos débiles clave más comunes y las medidas asociadas posibles, y describir las medidas de seguridad alternativas.

El resultado final de este informe es una herramienta práctica basada en ejemplos específicos. El informe se centra en particular en los temas de seguridad que hay detrás de grandes actuaciones además de temas de reparaciones de gran alcance y estrategias de mantenimiento que son otro campo de mejora de la seguridad del túnel, incluso si la obsolescencia del túnel es la razón del programa de renovación.

El enfoque propuesto en este informe permite identificar los problemas clave de un túnel existente, reducir las consecuencias de los incidentes, definir prioridades para la puesta en práctica de medidas de seguridad, y elegir medidas de compensación.

Se propone una metodología de cinco pasos para realizar y preparar tales trabajos:

- Paso 1: "Establecer un marco de seguridad ", el objetivo es definir el marco regulador aplicable más apropiado a un túnel existente;
- Paso 2: "Investigar la situación actual" con puntos claves y la metodología propuesta para evaluar el estado actual del túnel;
- Paso 3: "Evaluación del nivel de seguridad actual del túnel", con directrices generales sobre la evaluación del nivel de seguridad en túneles;
- Paso 4: "Definir un programa de mejora de la seguridad" con puntos claves para definir un alcance coherente de trabajos adaptados al túnel existente considerado;
- Paso 5: "Evaluar el nivel de seguridad futuro" para evaluar el futuro nivel de seguridad del túnel alcanzado tras los trabajos.

También, es crucial tener en cuenta que cada túnel es único, por lo que las exigencias deberían ser ajustadas al contexto específico mediante:

- Búsqueda de la combinación óptima de Seguridad-Coste-Tiempo (análisis de valor);
- Necesidad de un enfoque multidisciplinar;
- Implicación de un proceso complejo e iterativo.

Está claro que la solución para un túnel no puede ser aplicada a otro ya que las soluciones típicas y genéricas no proporcionan ninguna reacción relevante. El presente informe pretende únicamente proporcionar una metodología común para mejorar el nivel de seguridad de túneles existentes.

El informe se centra en un enfoque global para elaborar programas de renovación y por tanto no se trata de:

- Un método específico para evaluación de riesgos; el informe sobre "Evaluación de Riesgos" describe este tema más detalladamente;
- Un método fijo para cada caso, ya que se debe adoptar la evaluación apropiada teniendo en cuenta el contexto del túnel, la práctica local y una evaluación específica;
- Sustituir la renovación de sistemas existentes o trabajos profundos;
- Abordar la evaluación de aspectos de mantenimiento incluso aunque los temas de mantenimiento puedan ser parte de la estrategia del programa de reacondicionamiento.

3.3. Formación del conductor

El informe de PIARC "Factores humanos y la seguridad desde el punto de vista de los usuarios" publicado en 2008 recoge el conocimiento sobre el comportamiento de los usuarios de túneles de carretera. También proporciona una presentación detallada de las recomendaciones basadas en este conocimiento para el diseño y la explotación de túneles. Un punto específico sacado a colación en la conclusión del informe del 2008 era el hecho de que "los conductores tiene que comprender el comportamiento que deben tener en los túneles".

El comité C.4 ha abordado este tema durante el ciclo 2008-2011, preparando un informe sobre "La educación de los Conductores". El informe va dirigido a aquellas organizaciones e individuos que desarrollan y realizan programas de formación y entrenamiento para usuarios de túneles de carretera. Hace referencia a programas nacionales, regionales y locales. Su objetivo es aportar a los participantes, los métodos e instrumentos para poner en práctica este tipo de programas. Se ha prestado gran atención al proceso educativo para ayudar a los usuarios a entender mejor el comportamiento que deben de adoptar los conductores en túneles. El informe está estructurado para reflejar la experiencia real de los usuarios viajando por un túnel en tres circunstancias: durante circunstancias normales, durante incidentes menores y durante incidentes principales.

El trabajo empieza con una breve revisión de los aspectos principales relacionados con nuestro conocimiento del comportamiento humano en túneles de carretera. Después el informe desarrolla propuestas de elementos educativos para los encargados de la formación, seguido de instrucciones prácticas dirigidas a los usuarios. El documento finalmente ofrece varias sugerencias y ofertas que pueden ser útiles para la realización de actividades de comunicación y formación.

Las conclusiones principales del informe se resumen a continuación:

- La comprensión del comportamiento humano en túneles de carretera es importante para estructurar este tipo de acciones.
- Los conductores de vehículos de mercancías y otros conductores profesionales (taxis, transporte público,...) podrían desempeñar un papel de liderazgo en incidentes, en particular en situaciones donde los usuarios tienen que ser evacuados. Por lo tanto, esta categoría de usuarios se considera un grupo objetivo especial en el desarrollo de programas de formación e información.
- Las organizaciones responsables de desarrollar y poner en práctica programas de entrenamiento pueden referirse al capítulo 3 titulado "Qué debe enseñarse a los usuarios de un túnel". Este capítulo describe el conocimiento general disponible

con respecto a la experiencia de conducción en túneles. También proporciona a las personas que siguen un curso de formación los conocimientos básicos que tienen que ser asimilados durante la misma.

- Las instrucciones para ser comunicadas a usuarios por los medios seleccionados (folletos informativos, mensajes de radio,...) han de ser muy breves.
- En lo que se refiere a la formación, los programas pueden ser desarrollados para que se lleven a cabo a nivel nacional o local (por ejemplo, donde uno o varios túneles pertenecen a la misma red o explotador).
- En lo que se refiere a la comunicación, es importante mantener una consistencia entre los programas de educación y formación nacionales y locales.

3.4. Emisión de vehículos y demanda de caudal de aire

El objetivo típico de un sistema de ventilación de un túnel es controlar la calidad del aire dentro del túnel durante la explotación normal del tráfico y el movimiento del humo en caso de fuego en el túnel. Mientras que el caso de fuego es a menudo decisivo para dimensionar el sistema, en otros casos como en túneles rurales en altura o en túneles urbanos con altos niveles de tráfico y congestión frecuente, la demanda de aire fresco durante la explotación normal puede ser decisiva. La capacidad del sistema de ventilación del túnel depende de la demanda de aire fresco necesaria para diluir las emisiones de los vehículos de forma que se mantengan aceptables los niveles de calidad del aire.

Como la normativa de emisión para vehículos nuevos cada vez es más restrictiva y la flota de vehículos sufre una renovación continua, la base de datos para calcular las emisiones de los vehículos y la consecuente demanda de aire fresco tiene que ser actualizada en consecuencia.

El comité C.4 ha elaborado un nuevo informe para ayudar a definir la mínima cantidad de aire fresco necesaria para asegurar niveles adecuados de calidad de aire y visibilidad en el túnel. Este informe proporciona los factores de emisión para los agentes contaminantes de gases de combustión, CO, NOx y PM, así como los factores de emisión apropiados para partículas no provenientes de la combustión para coches de pasajeros, vehículos comerciales ligeros y vehículos pesados. El informe sustituye completamente al anterior informe sobre emisiones de vehículos y demanda de aire fresco publicado por PIARC en 2004.

3.5. Características de los incendios de diseño en túneles de carretera

Un "Incendio de Diseño" proporciona la definición de las características del fuego usadas para el dimensionamiento del equipamiento de los túneles, los escenarios a considerar al desarrollar planes de emergencia y el impacto del fuego sobre la estructura. Puede ser tan sencillo como definir la tasa máxima de liberación de calor, o puede incluir consideraciones sobre las fuentes de ignición posibles y la tasa de crecimiento del fuego.

En lo relativo a la seguridad de las personas, la tasa de crecimiento del fuego afecta a las condiciones en el túnel durante la fase de "autoevacuación". Entender cómo de rápido puede crecer un fuego es un factor clave en el diseño de los sistemas de ventilación, supresión, y detección así como en la determinación de las estrategias de evacuación. La tasa máxima de liberación de calor debe tenerse en cuenta durante la fase de extinción. El objetivo durante esta fase es asegurar condiciones adecuadas en relación al control del humo y la radiación del fuego, durante el tiempo necesario para la extinción.

El diseño estructural utiliza el concepto "temperatura - tiempo" para el análisis de la estructura, en vez de la tasa de liberación de calor. Evaluando la distribución de temperaturas en una estructura, se puede estimar la resistencia estructural y los pasos a seguir en el diseño para evitar el riesgo del colapso progresivo.

Normalmente se ha adoptado un enfoque prescriptivo, en el que se toma un tamaño de fuego específico. Estos fuegos han sido del orden de 5 a 30 MW dependiendo del tipo de vehículo. Sin embargo, a partir de los incendios severos ocurridos en túneles de carretera europeos a finales de los años 90, se ha realizado un importante esfuerzo para evaluar el riesgo de los incendios y los posibles tamaños de fuego que pueden ocurrir en diferentes vehículos y escenarios. Las magnitudes de estos fuegos han puesto en entredicho la validez de las suposiciones antes hechas para diseñar el tamaño de un fuego usado en el dimensionamiento de túneles de carretera y ha generado mucho debate en la comunidad.

El comité de Explotación de Túneles de Carretera recomendó un tamaño máximo de incendio de 30 MW en su publicación de 1999 "Fuego y Control de Humo en Túneles de Carretera". Para Vehículos pesados (HGVs) y vehículos con materias peligrosas, el informe indicaba niveles más altos de tasa máxima de liberación de calor, basados en una prueba de fuego de un HGV que indicó un pico de HRR de aproximadamente 100-120 MW, pero no daba ninguna recomendación específica. Estudios europeos recientes han proporcionado más ideas de los aspectos generales sobre fuegos en túneles, se han realizado proyectos específicos de investigación europeos como FIT Y UPTUN, y experimentos a escala real para intentar definir la posible magnitud de los fuegos que pueden ocurrir.

Sin embargo, además de haber postulado la utilización de mayores incendios de proyecto, relativamente poco de este trabajo ha sido adoptado en códigos y normas, debido en gran medida a la complejidad del tema, y a la falta de acuerdo sobre los datos disponibles. Quizás la fuente de información con mayor potencial sea la de datos experimentales, pero los datos disponibles han sido recopilados de túneles que tienen características geométricas algo diferentes a los túneles de carretera normales. Estos datos han tendido a sugerir tamaños de fuego muy grandes con una tasa de crecimiento rápida. Sin embargo, estos datos deberían ser evaluados en el contexto de tamaños de túneles más grandes, típicos de túneles de carretera, y con la influencia del sistema de ventilación al inicio del fuego.

La propuesta de incendios de mayor tamaño, como consecuencia de estos incidentes y ensayos, conduce a un enfoque más amplio sobre la elección del fuego de diseño. El enfoque prescriptivo está basado en exigencias amplias declaradas en términos de valores fijos. La alternativa, el enfoque basado en prestaciones, está por lo general basada en objetivos explícitamente indicados que dan libertad para desarrollar diseños innovadores que satisfagan estos objetivos. El enfoque basado en prestaciones puede ser usado en túneles nuevos y existentes para establecer el tamaño del incendio y los objetivos de seguridad de vida, para apoyar el desarrollo de alternativas a exigencias basadas en códigos prescriptivos, o para evaluar la seguridad del túnel en su totalidad.

El objetivo de este informe es proporcionar una guía y recomendaciones sobre las alternativas a considerar a la hora de definir los incendios de diseño, principalmente en relación a la seguridad de las personas.

4. DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE EXPLOTACIÓN Y SEGURIDAD EN TÚNELES

4.1. Manual de Túneles de Carretera

Desde su creación en 1957, el comité de Explotación de Túneles de Carretera (originalmente llamado "Comité de Túneles de Carretera") ha proporcionado recomendaciones técnicas relacionadas con una completa gama de aspectos relacionados con los túneles de carretera, como la geometría, el equipamiento y su mantenimiento, la explotación, la seguridad y el medio ambiente. Estas recomendaciones son ampliamente seguidas en todo el mundo y a menudo, en muchos países, son usadas como base para pliegos de condiciones específicos. Las recomendaciones están recogidas en 33 informes publicados por el comité durante los últimos 15 años. Además de estos resultados, se han publicado muchos artículos en Rutas/Carreteras. El Manual de Túneles de Carretera es "un compendio" de toda la información diseminada en estos informes y artículos.

El manual tiene en cuenta exclusivamente los aspectos operacionales de estos trabajos (geometría, equipamiento y su mantenimiento, explotación, seguridad, medio ambiente). No tiene en cuenta los aspectos relacionados con la ingeniería civil del túnel (geología, geotecnia, estructuras, capas, impermeabilización, drenaje, etc.), salvo lo relacionado con sus efectos sobre la operación y mantenimiento de los túneles de carretera.

El manual comprende dos partes principales.

La primera parte trata los aspectos generales de los túneles de carretera. El capítulo 1 expone los principales aspectos estratégicos a tener en cuenta antes de tomar una decisión relacionada con la elección o el diseño de un túnel. Este capítulo se dirige en particular a los encargados de tomar decisiones o del dimensionamiento, en aquellos los países que comienzan a abordar la construcción o el reacondicionamiento de un túnel. El capítulo 2 trata un asunto crucial, la seguridad en túneles. En concreto, tiene en cuenta los métodos para el análisis del riesgo. El capítulo 3 trata el factor humano que afectan a la explotación de túneles de carretera. Los incendios severos ocurridos en 1999 y 2000 confirmaron la importancia de tener en cuenta el comportamiento humano en la etapa de diseño. El capítulo 4 examina la gestión y el mantenimiento de los túneles para los que, además de la seguridad, la durabilidad es un punto clave. El capítulo 5 trata los aspectos ambientales de la explotación de un túnel de carretera, no sólo en lo relativo a contaminación atmosférica, sino también a contaminación acústica y del agua.

La segunda parte del manual trata elementos particulares sobre exigencias de explotación y de seguridad en túneles. El capítulo 6 se centra en las características geométricas de los túneles y su influencia sobre la explotación y la seguridad. El capítulo 7 trata los elementos estructurales que ayudan en la explotación y la seguridad y que deben ser tenidas en cuenta en las primeras etapas del proyecto de un túnel, y cuyo impacto no debe ser subestimado, especialmente en lo relativo al coste. El capítulo 8 repasa los diferentes tipos de equipamientos en túneles y da recomendaciones a lo largo de todo su ciclo de vida. Finalmente, el capítulo 9 trata el comportamiento de materiales, estructuras y equipamiento ante el fuego.

El manual termina con un Glosario que recoge el contenido del Diccionario de Túneles de PIARC.

Este manual ha sido diseñado para ser un documento "vivo", capaz de seguir los frecuentes desarrollos tecnológicos adoptados desde el diseño a la explotación de los

túneles, y capaz de integrar fácilmente los nuevos informes que el comité irá generando durante los siguientes ciclos. En esta primera versión (2008-2011), los miembros de comité han procurado definir la estructura del manual e integrar en él los documentos existentes más relevantes, en forma de texto nuevo o enlaces. A largo plazo, se espera repasar y revisar los textos antiguos para permitir su inserción directa en el manual sin la necesidad de estos enlaces.

Está planteado proporcionar acceso público a este manual durante el Congreso. Estará disponible en el sitio web de PIARC en inglés, francés, chino y japonés.

4.2. Diccionario de túneles de carretera

En los diccionarios PIARC y lexicón hay más de 200 términos relacionados con túneles de carretera. Durante el ciclo 2008-2011, el comité C.4 ha repasado todos estos términos y sus definiciones y se han propuesto nuevas definiciones para 150 de ellos. Estos 150 términos y sus definiciones han sido traducidos a 20 idiomas.

5. ARTÍCULOS PRESENTADOS SOBRE EL ENFOQUE SOSTENIBLE EN TÚNELES DE CARRETERA

Aunque los túneles normalmente son una pequeña parte de la red de carreteras, requieren considerable energía para su iluminación, ventilación y otros servicios, así como una cantidad significativa de energía en términos de materiales y el esfuerzo relacionado con la construcción para la construcción de la propia estructura. La explotación de túneles implica la liberación de agentes contaminantes al entorno, tanto gaseosos (gases de escape del motor, polvo) como líquidos (hidrocarburos, agua sucia). Esta sesión especial tratará temas relacionados con el diseño, la construcción, la explotación, el mantenimiento y la gestión de túneles para reducir al mínimo los niveles de dióxido de carbono, manteniendo un régimen de explotación seguro y sano. En particular se debatirán, las compensaciones entre la mejora del medio ambiente local (p.ej. mediante chimeneas de dispersión de agentes contaminantes o la filtración de gases) y el global (en términos de consumo de carbón). Se tratará también el efecto de instrumentos legislativos y directrices (como la Directiva Europea sobre seguridad de túneles de carretera) para intentar mejorar la seguridad de los túneles en relación a temas medioambientales.

En esta sesión se presentarán siete artículos.

Cuatro artículos recopilan el esfuerzo realizado para reducir el impacto sobre el medio ambiente con técnicas de filtración de aire, y la reducción del consumo y de la dependencia de la red de suministro de energía:

- Resultado de las pruebas de filtración de aire en el túnel este de la carretera M5 (Australia)
- Uso de la tecnología LED para la iluminación de túneles (España)
- Viabilidad del uso de métodos de tri-generación junto con la ventilación del túnel (Australia)
- Investigación en campo y métodos de predicción para la ventilación natural de túneles (Japón)

Además, se tratarán las medidas de seguridad sostenibles en tres artículos, proponiendo nuevas tecnologías para reducir el nivel de riesgo en países muy fríos. Los artículos se centrarán en mostrar la importancia de considerar criterios de diseño compatibles con el nivel de desarrollo de las sociedades, estableciendo criterios de tolerancia para el riesgo

en una metodología integrada de evaluación de riesgo que use un análisis cuantitativo. Uno de los artículos tratará los gastos del ciclo de vida y la durabilidad de la construcción del túnel en relación con varios métodos de realización del proyecto actualmente usados internacionalmente:

- Supervisión termal del aislamiento de la estructura de un túnel de autopista (Escandinavia)
- Criterios de seguridad sostenibles en túneles, caso del túnel de Buenavista (Colombia)
- Métodos de realización de proyectos y sostenibilidad

6. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS Y POSIBLES NUEVOS TEMAS PARA EL COMITÉ

Se han propuesto los siguientes temas y estrategias para el programa del comité de Explotación de Túneles de Carretera (que se hará TC 3.3) en el siguiente ciclo:

- Tema 3.3.1 "Explotación sostenible en túneles de carretera" - Identificar métodos para asegurar la explotación sostenible de túneles de carretera a través de la revisión de las prácticas actuales.
- Tema 3.3.2 "Seguridad integrada en túneles de carretera" - Esbozar lecciones aprendidas de la práctica actual sobre la gestión de la seguridad y el análisis de accidentes en túneles de carretera e incendios por todo el mundo
- Tema 3.3.3 "Redes de carreteras subterráneas"- Plantear conclusiones sobre la práctica actual sobre explotación y seguridad en redes de carreteras subterráneas.
- Tema 3.3.4 "Comunicación del conocimiento sobre la explotación y la seguridad en túneles" – Desarrollo más completo del Manual de Túneles de Carretera y de otras medidas para comunicar el conocimiento a países emergentes y en desarrollo.

Estos temas, estrategias y resultados serán presentados y debatidos en la sesión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Los 9 informes técnicos mencionados en la "Introducción" de este informe han sido publicados o preparado un borrador durante el ciclo 2008-2011 y son las referencias principales para esta sesión.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Cada vez más, los túneles se construyen para atravesar barreras naturales o zonas urbanas. Los túneles existentes están experimentando un aumento en los niveles de tráfico y una cierta proporción necesita un reacondicionamiento. En todos ellos es además necesaria una explotación eficiente y segura. Durante más de 50 años desde su creación en 1957, el comité de Explotación de Túneles de Carretera (antes el comité de Túneles del Carretera) ha estado comprometido con temas relacionados con la explotación de túneles de carretera.

Durante el ciclo 2008-2011, se han terminado y publicado 3 informes del ciclo anterior y 9 nuevos informes se han preparado para su publicación:

- Recomendaciones para la gestión estratégica de la seguridad en túneles

- Técnicas para ejercicios de emergencia en túneles de carretera
- Gestión del mantenimiento y de las inspecciones técnicas en túneles de carretera
- Aspectos del ciclo de vida del equipamiento eléctrico en túneles de carretera
- Práctica actual para la evaluación del riesgo en túneles de carretera
- Mejora de la seguridad en túneles existentes
- Formación de los conductores
- Emisiones de vehículos y demanda de caudal de aire de ventilación
- Características del incendio de diseño en túneles de carretera

Además, se ha creado “un compendio on line” para potenciar la difusión de las guías y recomendaciones producidas por el comité y se ha realizado en 20 idiomas un nuevo Diccionario PIARC de Túneles de Carretera PIARC.

En términos generales, desde los incendios ocurridos hace 10 años en los túneles Alpinos, PIARC ha tratado una gran variedad de asuntos de seguridad. Estos asuntos han involucrado tanto temas estratégicos como elementos concretos de túneles de carretera. Sin embargo, es evidente, que todavía hay lagunas en estas recomendaciones. Algunas de ellas han salido a la luz en el proceso general de consolidar la guía en el Manual de Túneles de Carretera. Otras lagunas están relacionadas con temas nuevos. El Comité de Explotación de Túneles de Carretera ha examinado esta situación y ha identificado aspectos que valdría la pena tratar en el siguiente ciclo. Por supuesto, sería muy apropiado el desarrollo futuro de una guía integrada en el Manual. Se han sugerido nuevos asuntos relacionados con la sostenibilidad y temas excepcionales que son importantes para un enfoque integral de la seguridad en túneles de carretera (sistemas fijos de extinción, medidas para apoyar a personas con movilidad reducida, etc.). Otra propuesta es abordar la problemática de las redes urbanas subterráneas con intercambiadores y elementos multimodales. Hay un número creciente de estas redes, que comparándolas con los túneles “convencionales” de carretera, plantean una gama de desafíos adicionales para el diseño y la explotación.