

SISTEMAS DE EXTINCIÓN - POSIBLES BENEFICIOS Y “TRADE-OFFS”

Jimmy Jönsson,
Arup Fire, Madrid, España

Abstract

En la actualidad los sistemas de extinción en túneles son un tema de gran interés en la comunidad internacional relacionada a túneles.

Existe también un gran interés en la utilización de sistemas de extinción de incendios de agua nebulizada, de diluvio y de espuma. Algunos programas de investigación como UPTUN y SOLIT han ofrecido una base potencial de conocimiento para entender mejor el rol de los sistemas de extinción en túneles.

Algunos de los retos y debates relacionados al diseño y uso de estos sistemas generan la necesidad de más investigación; entre ellos se encuentran los siguientes temas:

- El efecto de la ventilación en la efectividad de los sistemas de agua nebulizada y por spray.
- La efectividad de algunos sistemas ante incendios producto del fluido de líquidos inflamables.
- El uso de una operación automática de sistemas de supresión o bien la activación manual mediante un operador.

El artículo trata un tema muy relevante sobre los beneficios integrales de los sistemas de extinción por agua y de si el uso de estos puede permitir reducir las medidas de ventilación de emergencia y de protección de los elementos constructivos.

El diseño de sistemas activos de protección de incendios en túneles vehiculares ofrece serias posibilidades de investigación. Los beneficios potenciales de reducir el tamaño de los incendios con estas medidas son: menos generación de humos, sistemas de control de humos más eficientes y de menor coste y menos sistemas de protección.

Arup Fire está utilizando herramientas para cuantificar y evaluar riesgos, y de este modo alcanzar investigaciones provechosas para poder responder a estas dudas.

El artículo engloba varios temas claves relacionados al diseño de sistemas de extinción de incendios y analiza beneficios potenciales para los diferentes sistemas de protección.

Introducción

En la actualidad y a nivel mundial los sistemas de extinción contra incendios en túneles de carreteras/viarios están creando un gran interés entorno a su uso. Los sistemas a base de agua se han utilizado extensivamente en el diseño de túneles en Australia, Japón y en un número limitado de otros países; y tradicionalmente estos sistemas han sido sistemas tipo diluvio.

La llegada del concepto de agua nebulizada así como de los sistemas de espuma/agua para proteger túneles ante incendios ha causado un interés reciente en la comunidad internacional. Estos sistemas han sido respaldados por programas de investigación como UPTUN [1] y SOLIT [2].

También ha surgido un cambio de actitud en estándares internacionales reconocidos para túneles como PIARC [3] y NFPA 502 [4]. Actualmente estos estándares están promoviendo la consideración de sistemas de supresión ante incendios con un mayor grado de interés como parte de las medidas de protección en el diseño de túneles.

Otro factor es que incendios importantes y otros incidentes ocurridos en túneles de carreteras han atraído atención internacional hacia los riesgos de estos túneles. Accidentes de tráfico, incendios y demás eventos han ocasionado la pérdida de algunas 713 vidas en el mundo entre 1995 y el 2006 [5].

Los escenarios de incendio usados para el diseño de túneles de carreteras se basa por lo general en un tamaño de incendio entre 30-50MW que determina los requisitos de control de humo, el posible uso de jet-fans longitudinales o de sistemas semi-transversales. En el último caso, la cantidad de aire de extracción controla el tamaño de los conductos que indirectamente afectan el tamaño del túnel a excavar. Esto tiene un impacto importante en los costes de construcción del túnel.

La base de un uso de escenarios de incendio de 50MW (normalmente usada en Australia) pareciera que nunca ha sido estudiada apropiadamente. Mientras que por medio de UPTUN y otras investigaciones se conoce que incendios de vehículos pesados (HGV por sus siglas en inglés) pueden alcanzar 100-200MW, algunos sostendrían que un valor de 50MW toma en consideración la efectividad de los sistemas de supresión por diluvio utilizados en Australia. Al mismo tiempo otros sostendrían que un sistema por diluvio no controlaría un incendio de 50MW, y que si el incendio no se controla a un tamaño menor, el control se perdería. En base a la efectividad de los sistemas de diluvio, se defiende una postura para utilizar un incendio de diseño de menor tamaño de entre 20-30MW.

La pregunta sobre los escenarios de incendio en túneles de carreteras con sistemas de extinción requiere de investigaciones serias. Beneficios potenciales de un tamaño reducido del escenario de incendio son: la reducción de las cantidades de extracción de humos que podría conllevar a una reducción de costes en el control de humos y en la construcción del túnel.

Actualmente el autor está realizando investigaciones dirigidas a cómo responder estas preguntas de una mejor manera, utilizando herramientas para evaluaciones cuantitativas de riesgos y análisis de coste-beneficio, particularmente en relación a la seguridad humana y al desempeño económico para un túnel de carreteras típico con peaje.

El autor también es consciente de la necesidad de un acuerdo claro entre todas las partes sobre el rango de escenarios de incendio en el que los escenarios de incendio se basan, al considerar temas como congestión del tráfico, fallos potenciales de sistemas claves, vehículos errantes y otros eventos de poca probabilidad y altas consecuencias.

El fin es proveer una guía para los dueños de túneles, desarrolladores y operadores así como para equipos de diseño y autoridades sobre los beneficios potenciales en los aspectos de diseño - inclusive ventilación - sobre la instalación de sistemas de extinción de incendios.

Sistema de extinción

General

Existen diferentes opciones de instalaciones de extinción en túneles. El agente de extinción y su manera de descarga, así como la actuación del sistema ya sea automática o manual pueden ser diferentes. Generalmente los sistemas de extinción se dividen en zonas de 20-30m. Generalmente el sistema se diseña para que tres zonas operen simultáneamente.

La zona media es donde se asume que se ubica el fuego y las dos zonas adyacentes se activan para asegurarse de que el sistema cubre toda la zona de incendio.

A continuación se describen solamente algunos sistemas típicos:

Sistemas de diluvio

Son un requisito común en las especificaciones para túneles de carreteras en Australia con una longitud mayor a 360m, tal como se describe en las guías de la RTA NSW [6].

El sistema tiene rociadores abiertos diseñados para proveer 10mm/min de densidad de agua en la superficie de la carretera. En Australia estos sistemas se diseñan para que se activen manualmente por un operador en el cuarto de controles central. Generalmente el operador atiende las señales de alarma desde un sistema de detección automática de incidentes por video (VAID por sus siglas en inglés), un sistema de detección lineal u otros tipos de llamadas manuales de alarma o cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV por sus siglas en inglés). El objetivo es ocasionar rápidamente una descarga de agua mientras el incendio sea aún pequeño y menor a 10-20MW.

El mejor ejemplo de la operación de este sistema durante un incendio grande es el incendio en el túnel Burnley [7]. En esta ocasión, el sistema de diluvio y el sistema semi-transversal de control de humos se activaron rápidamente, y juntos, ambos controlaron volúmenes de humo hasta una zona de 100m aguas abajo del incendio, tal como se diseñó.

Sistemas de agua nebulizada

La cantidad de agua que debe ser almacenada y utilizada para el mantenimiento y pruebas anuales es una preocupación importante en muchos países, además del tratamiento que debe tener el agua una vez que se descarga y se deja fluir en el medio ambiente.

Una instalación de agua nebulizada utiliza mucho menos agua debido a un rocío más fino que el de los sistemas convencionales de rociadores y de diluvio, logrando así un

control más eficiente. Como resultado se obtienen tuberías, aljibes y bombas más pequeñas así como una reducción en la demanda de agua y los volúmenes de agua de drenaje.

Algunas preguntas quedan pendientes en relación al desempeño de los sistemas de agua nebulizada. El impacto de las velocidades de la ventilación en el agua nebulizada de un túnel es una interrogante que mantiene su relevancia. En Estocolmo, Carvel [8] presentó algunos cálculos que sugieren que velocidades de ventilación altas tenían un efecto en detrimento del desempeño del agua nebulizada. La situación aparente es que se necesita más investigaciones para resolver estas interrogantes.

No obstante, se entiende que se han instalado sistemas de agua nebulizada en Europa en los túneles de Madrid M30 y París A86.

Sistemas de espuma

Otro posible sistema de extinción es el basado en una mezcla de agua y espuma. Las inquietudes comunes con el uso de extinción con agua están relacionadas con el impacto en los incendios de líquidos inflamables. Los sistemas a base de espuma y agua parecen ofrecer beneficios en el control de incendios, inclusive los de líquidos combustibles con el beneficio de una reducción en la cantidad de agua utilizada.

Cuestiones de diseño

Para el diseño de la ventilación en los túneles viarios y el control del humo en caso de incendio en particular hay una serie de cuestiones que debe considerarse, a saber:

- ¿Cuál es la longitud del túnel y qué disposiciones hay de volúmenes de tráfico, combinación de vehículos y gestión del tráfico?
- ¿Qué tipo de ventilación se proporciona para las operaciones normales de tráfico, incluido el tráfico congestionado y detenido?
- ¿Cuáles son las pendientes de los túneles, la ubicación de los portales y los túneles confluyentes para entrada y salida?
- ¿Para qué tamaño máximo de incendio debe diseñarse el sistema de control?
- ¿Qué disposiciones de salida se proporciona en el túnel, incluyendo las salidas y los pasos transversales, y cuáles son los criterios de aceptación de las condiciones adecuadas de seguridad (temperatura, visibilidad, etc)?
- ¿Debe proporcionarse un sistema de extinción?
- ¿Habrán operarios de túnel especializados a tiempo completo para activar manualmente los sistemas de extinción y ventilación?

La especificación mínima para el control de humo (si es apropiado disponer un sistema longitudinal) es típicamente un sistema de ventiladores para proporcionar una

velocidad crítica de 3 m/s que mantenga la zona situada aguas arriba del incendio libre de humo para incendios de un tamaño como máximo del incendio de diseño.

La implicación de un sistema semejante es que no se producirá tráfico congestionado o detenido aguas abajo del incendio (en un túnel de un único sentido) o que el humo se controlará o diluirá suficientemente aguas abajo del incendio para permitir la evacuación de las personas.

Más recientemente en Australia el control del humo en túneles de más longitud se ha basado en un sistema semi-transversal. El aire se inyecta a ambos lados de la zona de incendio tanto aguas arriba como aguas abajo, con extracción en la cubierta mediante un sistema de conductos resistentes al fuego, estaciones de ventilación remotas y chimeneas de extracción.

Tamaño de incendio de diseño

Es clave definir el tamaño de incendio de diseño en el que deben basarse los requisitos de diseño del túnel (ventilación, protección pasiva contra incendio, etc.)

Un requisito característico del proyecto es basar el diseño del control del humo en una velocidad máxima de emisión de calor de 30-50MW [9] [10] para grandes túneles urbanos en los que circule una mezcla de coches y camiones, hasta vehículos pesadas (HGV, por sus siglas en inglés). Sin embargo, sabemos por trabajos de Carvel [8] y otros [11] que los incendios que implican a HGV y vehículos múltiples pueden alcanzar velocidades máximas de emisión de calor del orden de 100-200MW.

La asunción implícita es que de algún modo la disposición de un sistema de extinción limitará el tamaño del incendio a no más de 50MW. Sin embargo no parece que haya una base técnica para esta suposición, ni para suponer que un sistema de extinción que se active cuando el incendio haya crecido hasta 20, 30 ó 40MW controlará el fuego o lo reducirá hasta 10-20MW.

El incendio de diseño es la base para todas las ventajas potenciales que pueden aplicarse a los requisitos del proyecto. Un sistema de extinción afectará directamente al tamaño del incendio pero hay una serie de factores que son de importancia, de los cuales los tres siguientes se considera que repercuten en gran medida en el tamaño del incendio:

- ***tiempo de activación***

Ésta es obviamente una cuestión muy importante. El tiempo de activación depende en gran medida de la estrategia de evacuación y ventilación. Para algunas hipótesis

de incendio (incluyendo la ventilación transversal y semi-transversal) un enfoque normal es activar el sistema de extinción una vez que la evacuación ha concluido. De este modo se mantiene una capa libre de humo durante el periodo de evacuación. El inconveniente de ello es que el incendio crecerá durante este periodo; la cuestión es hasta qué tamaño. Para un túnel con un sistema de ventilación longitudinal el sistema de extinción debería activarse lo más rápido posible.

- **velocidad de crecimiento**

La velocidad de crecimiento del incendio depende principalmente de la velocidad de ventilación y la combustión de los materiales. Hay normalmente una fase inicial con un aumento lento de la HRR antes de que el crecimiento se incremente rápidamente. El desarrollo inicial del incendio depende de la ubicación del fuego, la fuente de ignición, etc. La Figura 1 muestra unas cuantas curvas de HRR diferentes a partir de varias series de ensayos [12]. El incremento en HRR para los incendios de crecimiento más rápido osciló entre 17-29 MW/min. Puede verse que en menos de 5 minutos se alcanzó un HRR de más de 50MW (y en menos de 10 minutos un HRR de más de 100MW). Esto muestra claramente la importancia del tiempo de activación.

- **efectividad de la extinción**

Debe haber seguramente un límite que defina cuándo un sistema de extinción puede controlar de modo efectivo un incendio. Esto depende probablemente del tipo de sistema usado, pero el sistema (sea cual sea) probablemente deberá activarse antes de que se alcance un tamaño de incendio de 50MW.

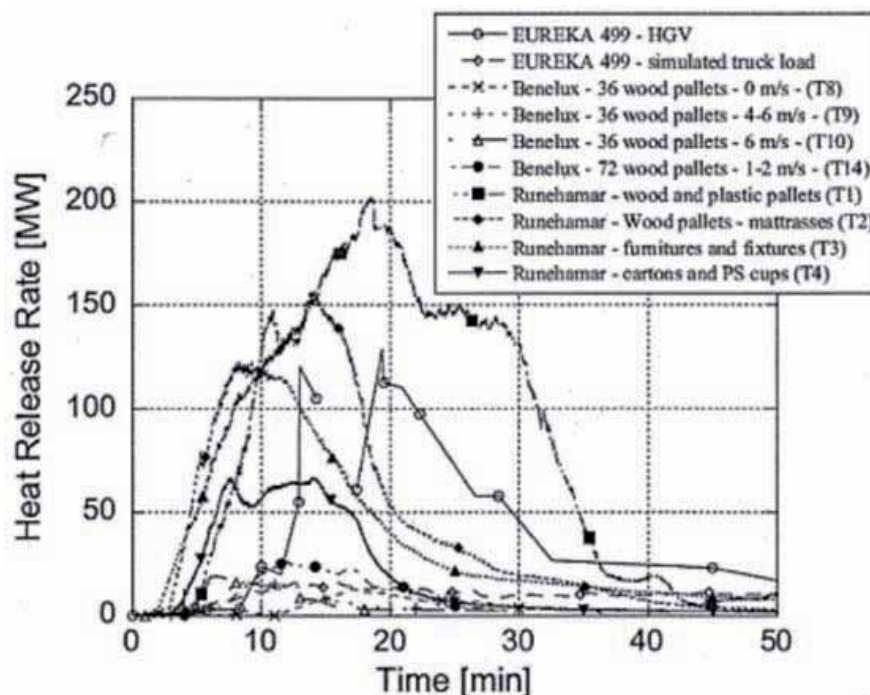


Figura 1. Curvas de emisión de calor (HRR).

Parece claro que sigue habiendo cuestiones sin resolver e incertidumbres en relación con la determinación de un tamaño de incendio de diseño típico para un túnel viario (un aspecto que requiere claramente más investigación). No obstante, lo que se desprende es que la instalación de un sistema de extinción debería ser capaz de justificar la reducción del tamaño de incendio de diseño a no más de 50 MW, y rebajarlo potencialmente a unos 20 MW, con temperaturas del humo no superiores a 100 °C (212 °F). Esto reportaría un ahorro considerable en el diseño de la ventilación.

Ventajas potenciales (Trade Off's)

La instalación de sistemas de extinción eficaces en los túneles viarios conlleva una serie de beneficios potenciales. Entre ellos estarían:

- ***Seguridad de la vida humana***

Es discutible que un sistema de extinción automática de incendios tipo diluvio o por nebulización ofrezca beneficios en cuanto a la seguridad de la vida humana en los túneles viarios, y hay diversidad de opiniones al respecto, basadas en lo expuesto recientemente en congresos sobre el tema. Claramente, depende del diseño del túnel y de los procedimientos operativos. No obstante, en edificios los rociadores reducen el tamaño del incendio, las cantidades de humo y las temperaturas del mismo, y hay pruebas suficientes de su efectividad en cuanto a la seguridad de la vida humana. Por lo tanto, este sería probablemente el caso también en los túneles viarios, si bien aún no disponemos de pruebas suficientes.

- ***Daño a las instalaciones***

Sabemos que los sistemas de extinción tienen el potencial de reducir los daños producidos en los revestimientos del túnel, los firmes, así como el sistema y los equipos instalados dentro del túnel. Esto quedó ilustrado en el incendio del Túnel Burnley [7], ya que se reabrió en 4 días pues hubo daños mínimos causados por un fuego de grandes dimensiones y crecimiento rápido que se controló también rápidamente. La ausencia de un sistema de extinción en el túnel I5 Santa Clarita [13], el Túnel del Canal (sistemas de extinción para la zona de carga ferroviaria) [14], el Túnel del Mont Blanc [5] y otros y la extensión de los daños y el tiempo requerido para la reparación, la reinstauración de los sistemas, la puesta en servicio de nuevo y la rectificación sugieren claramente que la extinción reporta beneficios por lo que se refiere a la reducción de daños en las instalaciones.

- ***Continuidad operativa / Continuidad de la actividad***

Si un sistema de extinción puede reducir el tiempo necesario de reparación y puesta en servicio de nuevo tras un incendio, los ingresos procedentes

del peaje del túnel que no se perderán pueden ser considerables. En el Túnel Burnley [7] los ingresos por peaje perdidos fueron del orden de 3 millones de dólares australianos, según informaciones periodísticas, y probablemente habrían aumentado en alrededor de 1 millón de dólares australianos diarios si no se hubiese restablecido las operaciones con rapidez.

- ***Lucha contra incendios***

Los cuerpos de bomberos prefieren siempre combatir un incendio cuando hay un sistema de extinción en funcionamiento. En Australia han sido siempre los máximos defensores de la extinción en túneles. Desde el diseño de los túneles CityLink [7] a finales de la década de 1990, tienen el convencimiento de que les permite abordar el incendio con más rapidez, dedicando menos recursos (ya que las condiciones que suponen un riesgo para la vida humana se reducen), y ayuda a reducir la exposición de los bomberos a estas mismas condiciones que suponen un riesgo para la vida humana, reportando claros beneficios en cuanto a seguridad e higiene de los ocupantes (OH&S, por sus siglas en inglés).

- ***Ventilación***

Respecto al diseño de la ventilación, se cree que hay posibilidad de reducir también las cantidades de aire en el control de humos y basar el diseño en un incendio de 20-30 MW, más que un incendio de 50MW o con frecuencia de 100-200MW.

Esta cuestión adquiere mayor importancia allí donde se requiere un sistema semi-transversal o enteramente transversal. Dos cuestiones en particular: 1) si los conductos y sus soportes deben ser resistentes al fuego y si es así, si puede reducirse la clase de resistencia al fuego donde hay instalado un sistema de extinción, 2) el área de la sección transversal del túnel requerida para alojar los conductos, ya que menos espacio para los conductos supondría un ahorro significativo en los costos de construcción.

El autor continúa investigando el beneficio que supondría con el fin de calibrar la totalidad de los beneficios económicos para el diseño de la ventilación.

- ***Revestimiento del túnel***

En Australia y muchos otros países, el nivel de resistencia al fuego (FRL, por sus siglas en inglés) del revestimiento del túnel se especifica en términos de rendimiento basado en FRL de 2 horas respecto a la curva de hidrocarburos en las zonas críticas (aquellas en las que el hundimiento sería catastrófico) y FRL de 4 horas de acuerdo con ISO834 en las demás zonas.

Este rendimiento se logra por diversos medios, que a veces se combinan, entre ellos los siguientes:

- Hormigón de sacrificio
- Fibras de polipropileno
- Revestimiento pasivo sobre el hormigón

Puede decirse que habiendo instalado un sistema de extinción puede preverse una reducción de FRL, se podría modificar el diseño requerido para la curva de hidrocarburos o podría haber otras ventajas.

En general, es evidente que puede haber una serie de beneficios potenciales, tanto en términos de diseño como de pérdidas, incluyendo la seguridad de la vida humana, si se instala sistemas de extinción en los túneles.

En concreto puede defenderse que si un diseño de túnel sin sistema automático de extinción tipo diluvio es adecuado y cumple las normas nacionales, si se proporciona un sistema de extinción las medidas tales como la ventilación pueden diseñarse para un menor tamaño de incendio de diseño con las consiguientes ventajas económicas.

Análisis de Coste-Beneficio

Los beneficios de los sistemas de extinción de incendios en los túneles viarios en términos de las ventajas que reporta necesitan investigarse con más profundidad, y dicha investigación está en marcha.

No obstante, en función de la protección de las instalaciones y la continuidad operativa para un proyecto de vía de peaje típica, parece claro que una evaluación de riesgos y un análisis económico ofrecen datos valiosos sobre los beneficios de un sistema de extinción con agua de tipo diluvio. Este es un primer paso antes de examinar con más detalle los sistemas de ventilación y de control de humo.

En los edificios se ha demostrado que los sistemas de rociadores ofrecen beneficios reales en cuanto a la seguridad de la vida humana, al controlar o extinguir los incendios y reducir la probabilidad de que se den condiciones insostenibles que afecten a los ocupantes del edificio.

Respecto a los túneles viarios, el beneficio de los sistemas de extinción en términos de seguridad de la vida humana es más complejo de evaluar y no se ha estudiado bien. Actualmente incluso PIARC [3] y NFPA [4] están sugiriendo que los sistemas de ex-

tinción deberían tomarse en consideración. Puede decirse que los principales beneficios proceden del hecho de reducir los daños al revestimiento de los túneles y los sistemas instalados, así como reducir cualquier interrupción operativa en caso de incendio.

Un primer enfoque del análisis de coste-beneficio de los sistemas de extinción en los túneles viarios expuesto en este documento se centrará en la protección a las instalaciones y la continuidad operativa. Se basa en un túnel viario urbano de 6 km hipotético pero típico en Australia que tenga instalado un sistema automático de extinción de incendios tipo diluvio dividido por zonas. En Australia un túnel así en la mayoría de los casos estaría financiado por empresas privadas y funcionaría como vía de peaje. El análisis de coste-beneficio expuesto en este documento es necesariamente una versión simplificada a efectos ilustrativos. Sin embargo, pone de relieve las principales cuestiones.

Algunos supuestos de diseño y operativos clave son los siguientes:

- Dos túneles, cada uno uni-direccional
- Longitud del túnel = 6km
- Anchura del túnel (carriles) = 12m
- Circulación = 100,000 vehículos/día en cada túnel
- Combinación de vehículos
 - 93% coches
 - 7% camiones
- Peaje de vehículos
 - AUD\$5 para coches
 - AUD\$15 para camiones
- Sistema de diluvio
 - Densidad de 10mm/min
 - Area de sección = 720m² (60m x 12m)
 - Diseño conforme a AS2118 – 2006
 - Aljibes, bombas para alcance de 4 horas
 - Activación manual por parte del operador del centro de control
 - Coste capital de AUD \$25 millones (2009 dólares australianos)
 - Mantenimiento anual por AUD \$3 millones (2009 dólares australianos)
 - Vida esperada del sistema = 30 años
- Frecuencias de incendios (en base a PIARC 1999 [9])
 - Incendios de coches – 1.5 incendios por 100millones de veh.km
 - Incendios de camiones – 8 incendios por 100millones de veh.km
 - Incendios de camiones (con algún daño al túnel) 1 incendio por 100 millones de veh.km.

- Incendios de camiones (daños serios a la estructura del túnel) – 0.2 incendios por 100 millones de veh.km

Para un túnel de este tamaño y flujos de tráfico, los ingresos se calcularían de la siguiente manera:

- Total de vehículos diarios = $100,000 \times 2 = 200,000$ veh/día
- Total de coches/día = $93\% \times 200,000 = 186,000$ coches/día
- Total de camiones/día = $7\% \times 200,000 = 14,000$ camiones/día
- Ingresos/día = $14,000 \times \text{AUD\$ } 15.00 = \text{AUD \$}210,000$
- Ingresos/día = $186,000 \text{ AUD \$ } 5.00 = \text{AUD \$}930,000/\text{día}$
- Ingresos totales/día = $\text{AUD \$}930,000 + \text{AUD \$}210,000 = \text{AUD \$}1,140,000$

El siguiente paso en el análisis de costes trata de establecer la frecuencia de los incidentes/incendios claves y la estimación del tamaño de estos. La frecuencia para este túnel depende de su longitud, del número de vehículos diarios y la frecuencia de estos.

Coches por año por los túneles

$$= 186,000 \text{ (veh/año)} \times 6 \text{ (km)} \times 365 \text{ (días/año)}$$

$$= 4.07 \times 10^8 \text{ camiones/año}$$

Coches por año por los túneles

$$= 14,000 \text{ (veh/año)} \times 6 \text{ (km)} \times 365 \text{ (días/año)}$$

$$= 0.306 \times 10^8 \text{ camiones/año}$$

Para las cuatro categorías de incendio, el tamaño de los incendios, los daños al túnel (costes de reparación y reemplazo) y las interrupciones operacionales son estimados. Estos se basan en la información limitada existente de incendios como el del Túnel Burnley [7], el túnel Santa Clarita [13], el Mont Blanc [5], el 'Channel Tunnel Fire' [14] y otros datos de la literatura.

Se han hecho estimaciones para este túnel con y sin un sistema por diluvio instalado; ver las tablas a continuación.

Incendio	Sin Diluvio				
	Tamaño (MW)	Daños (AUD \$M)	Interrupción (Días)	Interrupción (AUD \$M)	Coste total (AUD \$M)
Coche	5	0.5	1	1.14	1.64
Camión (peq.)	10	2.0	5	5.7	7.7
Camión (daños al túnel)	30	10	10	11.4	21.4
Camión (daños a estructura)	100-200	200	250	285	485

Tabla 1, Estimaciones de daños, sin sistema de diluvio.

Incendio	Con diluvio				
	Tamaño (MW)	Daños (AUD \$M)	Interrupción (Días)	Interrupción (AUD \$M)	Coste total (AUD \$M)
Coche	2	0.1	0.25	0.285	0.385
Camión (peq.)	5	1.0	1.0	1.14	2.14
Camión (daños al túnel)	15	2.5	2.5	2.85	5.35
Camión (daños a estructura)	25	5.0	5	5.7	10.7

Tabla 2. Estimación de daños, con diluvio.

En base a estas frecuencias de ambos sistemas de extinción, las pérdidas de cada tipo de incendio pueden ser calculadas tomando en cuenta las pérdidas estimadas para cada tipo de evento. Esto se ilustra las tablas siguientes.

Incendio	Frecuencia de incendio (Incendio/Año)	Sin diluvio	
		Pérdidas/Incendio (AUD \$M)	Pérdidas totales/Año (AUD \$M)
Coche	6.11	1.64	10.0
Camión (peq.)	2.45	7.7	18.9
Camión (daños al túnel)	0.31	21.4	6.6
Camión (daños a estructura)	0.061	485	29.6
PÉRDIDAS TOTALES/AÑO (AUD \$M)			65.1

Tabla 3. Estimación de pérdidas sin diluvio

Incendio	Frecuencia de incendio (Incendio/Año)	Con diluvio	
		Pérdidas/Incendio (AUD \$M)	Pérdidas totales/Año (AUD \$M)
Car	6.11	0.385	2.4
Truck (small)	2.45	2.14	1.7
Truck (damage to tunnel)	0.31	5.35	5.2
Truck (damage to structure)	0.061	10.7	0.7
PÉRDIDAS TOTALES/AÑO (AUD \$M)			10.0

Tabla 4. Estimación de pérdidas con diluvio

Las diferencias en pérdidas por año entre AUD \$65.1 millones y AUD \$10.0 millones, y los valores por año, parecen ser altos. Sin embargo, en túneles urbanos de 6km de longitud con un tráfico de 100,000 vehículos por día en cada dirección con

7% de camiones incluyendo HGV's, la probabilidad de incendios es relativamente alta. Los promedios por año están dominados por relativamente pocos incendios y por el hecho de que aún para interrupciones cortas de las operaciones, las pérdidas en los ingresos por peajes de más de \$1 millón por día pueden acumularse rápidamente.

La otra parte importante es en relación a estos incendios (ocasionados por camiones) que afecten los equipos de instalaciones inclusive la iluminación, la señalización, los conductos de ventilación o los revestimientos estructurales. En estos casos el tiempo de reparaciones y costes sería significativo, y el tiempo para la investigación de incidentes, solicitudes de información gubernamentales, pruebas, entregas y puesta en marcha tendrían un valor importante a la hora de considerar tiempos y costes.

Si asumimos que el sistema de diluvio es 90% fiable, y que un 10% de las ocasiones que se necesite que opere el sistema, éste falla en controlar el incendio, entonces tendríamos que sumar un 10% al monto siendo éste $10\% \times \text{AUD } \$65.1 \text{ millones} = \text{AUD } \6.5 millones para sumar a la pérdida del sistema de diluvio. Esto indica que las pérdidas por año con el sistema de diluvio son en términos de pérdidas/año = $\text{AUD } \$10.0 \text{ millones} + \text{AUD } \$6.5 \text{ millones} = \text{AUD } \16.5 millones .

Por lo tanto la diferencia en pérdidas por año entre instalar un sistema de diluvio y su no-instalación, son considerables en base a este análisis preliminar si el coste capital total del sistema de diluvio es de AUD \$25 millones y el mantenimiento anual es de AUD \$3 millones.

La recompensa en la inversión, aún sin la reducción en el diseño de la ventilación y las provisiones de revestimiento de protección son substanciales.

Las investigaciones a realizar deben continuar con análisis financieros más sofisticados a medida que los datos de partida claves y las hipótesis se detallan más. Está claro que un análisis de sensibilidad también es necesario para estudiar diferentes factores claves como:

- (i) Volumen de tráfico - si el volumen de tráfico disminuye, la pérdida por interrupciones de la actividad sería menor, específicamente para el caso sin diluvio.
- (ii) Frecuencia de incendio – una reducción en la frecuencia de incendios afectaría ambos casos (sin/con diluvio) y disminuiría la pérdida total. Sin embargo, aunque se reduce la frecuencia con un factor de cinco, todavía es beneficioso tener el sistema de extinción.

- (iii) Estimaciones de interrupción de la actividad – esto todavía es un factor crítico para las pérdidas de ingresos asociadas con la interrupción de la actividad, especialmente para el caso “sin diluvio”. Pero aunque el tiempo de reparaciones etc. después de un incendio grave se reduciría desde 250 días a 100 días, este análisis hipotético de coste beneficio muestra que la instalación de un sistema de extinción es aún una opción atractiva.
- (iv) Costes de reparación/instalación – las estimaciones de costes relacionadas con la reparación e instalación están basadas en una revisión de casos de incendios en túneles, del tipo de incendio en el túnel de Burnely, el incendio de Santa Clarita, y el incendio de Mont Blanc.
- (v) Costes de peaje – el coste usado en el análisis está basado en datos para Australia. Cambios del coste tendrían un efecto en el análisis. Sin embargo, es probable que los costes de peajes suban en el futuro.

En resumen, parece que existe una ‘prima facie’ en términos de riesgo y beneficio de costes para apoyar la adopción de sistemas de diluvio en túneles de carreteras con peajes en Australia. Se requiere de más investigaciones y modelos financieros más sofisticados para mostrar una relación de coste y beneficios más exactos que luego también podría crear una base para reducir los incendios de diseño y por lo tanto ahorrar en gastos y provisiones de protección estructural y sistemas de ventilación.

Conclusión

Existe un interés global cada vez mayor sobre los sistemas de extinción en túneles de carreteras, inclusive sistemas tipo diluvio y sistemas de agua nebulizada. De gran valor son los beneficios financieros y de diseño que provienen de la instalación de sistemas de extinción.

Un beneficio significativo es divisible en la oportunidad de reducir los requerimientos de ventilación y de los acabados de protección en base a una reducción del tamaño del incendio o en la disminución de la probabilidad de existencia de un incendio severo. Un análisis preliminar coste-beneficio muestra ventajas con el uso de instalaciones de sistemas de extinción tipo diluvio, por lo menos de manera conceptual.

Se necesita realizar más investigaciones, particularmente en el diseño de escenarios de incendio y de los efectos de instalaciones de extinción, con el fin de justificar los beneficios percibidos en términos de la reducción de los requisitos de diseño como

lo son los sistemas de control de humos/ventilación y la protección estructural para los túneles de carreteras.

Referencias

- [1] UPTUN 251: Engineering Guidance for Water Based Fire Fighting for the Protection of Tunnels and Subsurface Facilities, EU Research Project, 2006
- [2] SOLIT – Safety of Life in Tunnels – Water Mist Fire Suppression Systems for Road Tunnels, Final Report 2007
- [3] PIARC, Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC Report, Paris, 2007
- [4] NFPA 502 – Standard for Road Tunnels, Bridges and Limited Access Highways, 2008
- [5] Underground Transportation Systems in Europe – Safety, Operations and Emergency Response, US Department of Transportation – Federal Highways Administration, Washington DC, June 2006
- [6] Road Tunnel Design Guideline – Fire Safety Design, Part 1 – Concept Design, Road Traffic Authority, NSW, Dec 2006
- [7] Johnson, P., & Barber, D., Burnley Tunnel Fire – The Arup View, www.arup.com, April 2007
- [8] Carvel, R., Design Fires for Tunnel Water Mist Suppression Systems”. Third International Symposium on Tunnel Safety and Security, Stockholm, Sweden, March 12-14, 2008.
- [9] PIARC, “Fire and smoke control in road tunnels”, PIARC Committee on Road Tunnels, (C5), 1999
- [10] Johnson, P., Gildersleeve, G. & Boverman, D., Design Fires – How Do We Know We Have Them Right? Society of Fire Safety Conference, Sydney, March 2009
- [11] Ingason, H., & Lönnemark, A., Heat Release Rates from Heavy Goods Vehicle Trailer Fires in Tunnels, *Fire Safety Journal*, 40, p 646-668, 2005
- [12] Lönnemark, A., “On the characteristics of Fires in Tunnels”, Doctoral Thesis, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, 2005
- [13] Wittasek, N., I5 Tunnel Fire – The Arup View, www.arup.com, November 2007
- [14] Hoffman, N., & Johnson, P., Channel Tunnel Fire, UK/France, The Arup View, www.arup.com, October 2008