

■ Una técnica desarrollada en las universidades de Edimburgo y Torino pretende facilitar la compleja tarea del diseño de sistemas de ventilación de humos en túneles. Un modelo multiescala, que acopla un programa de Dinámica de Fluido Computacional (CFD) con un modelo de red simple (1D), generaría un uso más racional de los recursos computacionales, sin perder precisión.

■ Un análisis más completo, un cálculo vital. Una prevención necesaria.

## MODELO MOVIMIENTO DE HUMO EN TÚNELES

# PREVENCIÓN NECESARIA

ALEJANDRO PAVEZ V.  
PERIODISTA REVISTA BIT

**S**EGÚN PLANTEAN los expertos, los túneles representan un segmento fundamental del sistema mundial de transporte. Son puntos estratégicos de conexión que facilitan el traslado y las comunicaciones. Por tanto, es de vital importancia que se mantengan completamente operativos y cuenten con extremadas medidas de seguridad; sobre todo, en caso de accidentes e incendios. Sólo basta revisar la historia. Las lecciones están ahí. Acontecimientos del pasado han demostrado que el fuego representa una grave amenaza para la seguridad en los túneles. De hecho, según se explica en la tesis presentada por el Dr. Guillermo Rein, profesor e investigador del Instituto de Infraestructura y Medio Ambiente de la Escuela de Ingeniería en la Universidad de Edimburgo, en el X Seminario Internacional de Seguridad Contra Incendios organizado por DICTUC, "en las últimas décadas más de 400 personas en todo el mundo han muerto como

consecuencia de los incendios en túneles de carretera, ferrocarril y metro. Sólo en Europa, los incendios en túneles han traído las piezas vitales de la red vial a un punto muerto y han costado miles de millones de euros". Desastres como el túnel del Mont Blanc (Italia, 1999) y el más reciente de los tres incendios en el Canal de la Mancha (2008, 2006 y 1996), dan cuenta de ello.

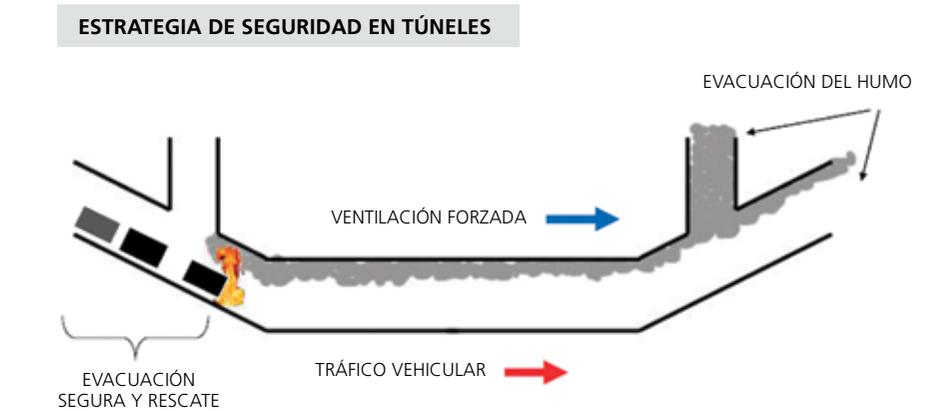
La experiencia habla de una necesidad de contar con un sistema capaz de prever las consecuencias de un incendio, especialmente de los mortales efectos que genera el humo. Una información vital para diseñar las estrategias de prevención y seguridad. No hay puntos intermedios. Cuando se produce un incendio en un túnel se debe garantizar la mantención de las condiciones aceptables de supervivencia para que haya una evacuación rápida y segura. Esa es la clave. Acá, las estrategias de seguridad y ventilación, deben jugar un rol trascendental. "Las situaciones de emergencia del

túnel con fuego deben ser manejadas por un sistema de seguridad global y las estrategias contra incendios deben ser capaces de integrar la detección, ventilación, evacuación, la reducción al mínimo de los posibles daños a los ocupantes, los equipos de rescate y de las estructuras”, se indica en la investigación. Contar con una información precisa, que sea capaz de dar cuenta de los riesgos y acerque lo más posible a los diversos escenarios que se pueden generar en un incendio, resulta más que importante. Este cálculo permitirá modular las consecuencias del siniestro y diseñar un conjunto de estrategias que se hagan cargo de la seguridad. Existen variadas alternativas para este cálculo. Lo presentado por Guillermo Rein, reúne justamente las propiedades de los sistemas más utilizados. Una nueva técnica computacional que asegura un diseño más eficiente de las estrategias de ventilación, con mayor precisión. Una prevención necesaria.

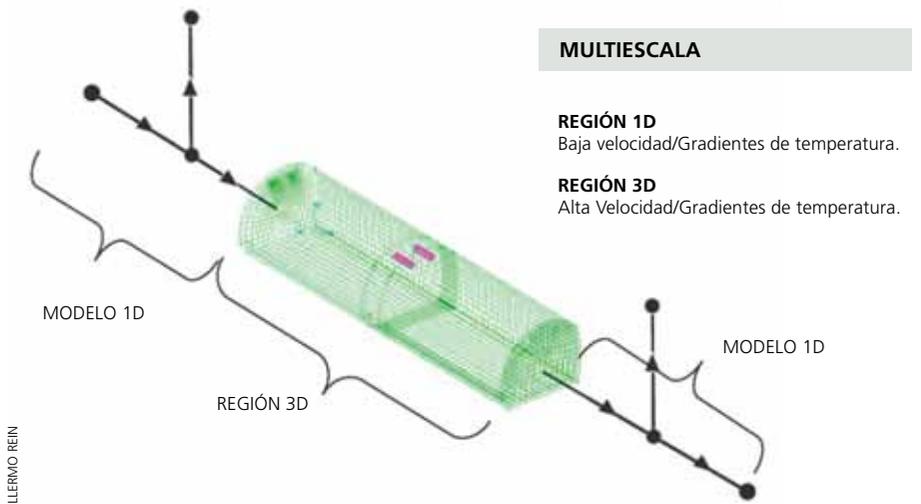
## FLUJOS

Ya hemos dicho que en relación a las estrategias de seguridad, el sistema de ventilación juega un papel crucial, ya que se encarga de mantener las condiciones necesarias para permitir la evacuación segura y los diversos procedimientos de rescate, así como la lucha contra el incendio. “Lo importante es que desde el punto del incendio, hacia atrás, se establezca una línea de evacuación segura. Para ello, es esencial que el humo se ventile en esa dirección, hacia adelante (flujo inverso del humo en contra de la ventilación longitudinal). Necesitas saber cuál es la velocidad crítica, la que tiene que haber dentro del túnel en caso de emergencia. Para garantizar que los humos se vayan en la dirección que hemos asumido en la estrategia. El incendio también puede tener un contraflujo, si la velocidad no es la adecuada el humo comienza a propagarse hacia la vía de evacuación y la línea de defensa”, indicó Rein en su intervención en el seminario organizado por Dictuc. Una charla titulada “Modelado computacional del movimiento del humo en infraestructuras de gran tamaño: túneles y atrios”, donde el profesor de la universidad de Edimburgo, presentó la tesis de Francesco Colella, en la que se plantea esta nueva técnica de modelación.

Como se ve, la respuesta del sistema de ventilación durante un incendio es un problema complejo. El flujo de aire dentro de un túnel depende de la combinación de las corrientes inducidas por el fuego y los dispositivos de ventilación activos (ventiladores de chorro,



**Cuando se produce un incendio en un túnel se debe garantizar la mantención de las condiciones aceptables de supervivencia para que haya una evacuación rápida y segura. Esa es la clave. Acá, las estrategias de seguridad y ventilación, deben jugar un rol trascendental.**



**La complejidad y alto costo de los modelos CFD completos y las imprecisiones de los modelos analíticos, son evitados al combinar eficientemente técnicas de modelación unidimensional (1D) y CFD (3D).**

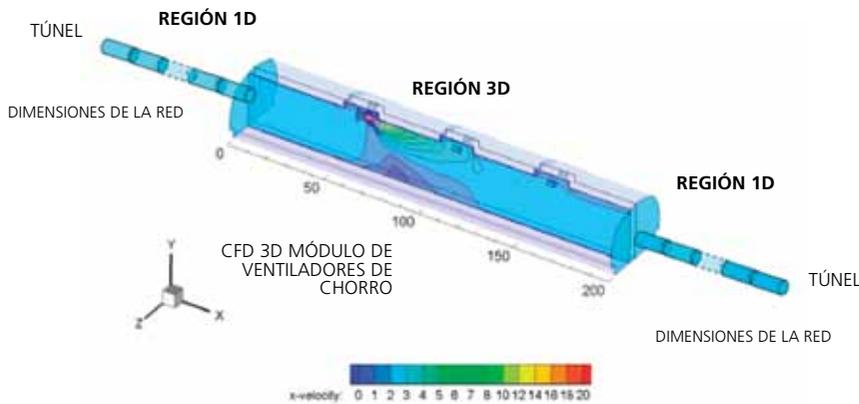
ventiladores axiales), el diseño del túnel, las condiciones atmosféricas en los portales y la presencia de vehículos. En su trabajo, Colella indica que “el cálculo de los flujos de ventilación de túneles en incendios, resulta más económico y eficiente cuando se hace a través de modelos numéricos, pero la precisión física de éstos son un problema”. Guillermo Rein complementa que “el diseño requiere saber qué sistemas activos de ventilación y qué tipos de ventiladores vamos a utilizar. Cuál es la amplitud, cuántas son las secciones y cuáles son las pendientes del túnel. Requiere saber dónde va a estar el incendio, la forma, el tamaño, posible localizaciones en el túnel y dependiendo de dónde es, se darán los resultados finales y

propondrá una solución”. De ahí que se utilicen distintos métodos de modelización, dependiendo de la precisión requerida y los recursos disponibles. “Uno de los modelos o tipologías que se usa son los modelos unidimensionales (1D) que sólo consideran la longitud del túnel, dividiéndolo en nodos y ramas, lo que aplica en la conservación de la energía”, puntualiza Rein.

Ahora bien, si es necesaria una mayor precisión de los flujos, se puede utilizar un sistema de Dinámica de Fluido Computacional 2D o 3D (CFD, por sus siglas en inglés). Herramienta computacional que puede observar todos los detalles del comportamiento del flujo, alrededor de las paredes, los dispositivos de

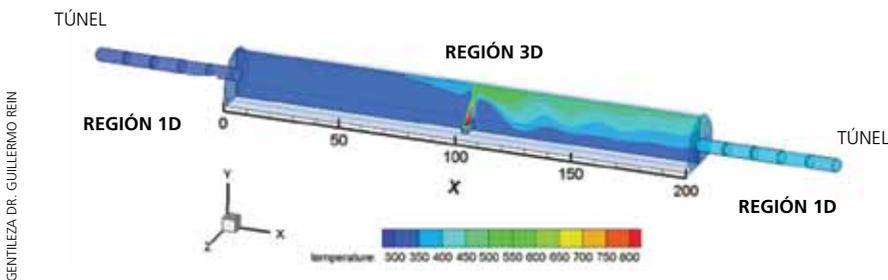
GENTILEZA DR. GUILLERMO REIN

## MULTIESCALA VENTILADORES DE CHORRO



**El modelo multiescala ha demostrado ser una técnica válida para la simulación de complejos sistemas de ventilación de túneles, es tan exacto y completo como los modelos CFD y puede ser adoptado con éxito para llevar a cabo estudios paramétricos y estudios de sensibilidad en los túneles largos.**

## MULTIESCALA - FUENTE DEL FUEGO



**El sistema permitiría determinar la evolución de las zonas peligrosas en el dominio del túnel o el momento correcto para la activación de los sistemas fijos de extinción de incendios. Genera una evaluación precisa del efecto de aceleración del fuego y una predicción del número mínimo de ventiladores de chorro necesarios para la emergencia.**

ventilación y las obstrucciones. Un sistema completo, pero con un inconveniente, según Rein: su alto costo. Por lo mismo, si el análisis requiere sólo las velocidades de flujo a granel, los modelos 1D pueden ser de utilidad. “El modelo de red en una dimensión (1D) modela las regiones de túnel donde el flujo está completamente desarrollado, mientras que el programa CFD detallado modela las regiones donde las condiciones de flujo requieren soluciones 3D. Dentro de las regiones o elementos que requieren modelos CFD se encuentran los sistemas de ventilación, incluyendo ventiladores a reacción (jet), conductos verticales, pórticos y el fuego”, aclara Guillermo Rein.

## MULTIESCALA

Ahora bien, según el académico, hay evidencia de que existen zonas de túneles muy largas donde el flujo está completamente desarrollado (campo o dominio lejano), y porciones relativamente cortas que muestran condiciones de flujo en tres dimensiones (campos cercanos). Para hacerse cargo de esto, Colella plantea una metodología multiescala que utiliza diferentes niveles de sofisticación computacional para modelar cada región del túnel, ahorrando tiempo computacional sin disminuir la precisión numérica. “La complejidad y alto costo de los modelos CFD completos y las imprecisiones de los modelos analíticos, son evitados al combinar eficientemente técnicas de modelación

unidimensional (1D) y CFD (3D). Comparado con la modelación convencional CFD, el modelo multiescala puede reducir hasta 100 veces el tiempo computacional, sin pérdidas significativas de precisión. Además, las simulaciones transitorias permiten un completo análisis de las respuestas de los sistemas de ventilación y su interacción con el fuego”, explica Rein.

“El modelo multiescala ha demostrado ser una técnica válida para la simulación de complejos sistemas de ventilación de túneles, es tan exacto y completo como los modelos CFD y puede ser adoptado con éxito para llevar a cabo estudios paramétricos y estudios de sensibilidad en los túneles largos”, señala Colella en su investigación. En términos prácticos, esta técnica facilita el diseño de sistemas de ventilación, para evaluar la redundancia del sistema y el rendimiento bajo diferentes condiciones de peligro. El sistema permitiría determinar la evolución de las zonas peligrosas en el dominio del túnel o el momento correcto para la activación de los sistemas fijos de extinción de incendios. Otra ventaja significativa, según el autor, es que genera una evaluación precisa del efecto de aceleración del fuego y una predicción del número mínimo de ventiladores de chorro necesarios para hacer frente a un tamaño determinado de fuego. La metodología se ha aplicado para estudiar la interacción entre el flujo transitorio de un incendio en crecimiento y un sistema de ventilación rampa-para arriba en los túneles Dartford en Londres, que están situados bajo el río Thames. Son dos túneles, cada uno de 7 m de diámetro y 1,2 km de longitud, donde se ha investigado diferentes escenarios de incendios, con un número variable de ventiladores a reacción operando. “Nuestra técnica es una metodología novedosa y rápida para simular de forma precisa los flujos de ventilación de túneles durante un incendio. El costo computacional menor es de gran valor ingenieril, especialmente para los estudios paramétricos y de sensibilidad, requerido en el diseño o evaluación de sistemas de seguridad contra incendios. La metodología multiescala representa la herramienta más factible para conducir simulaciones precisas en dominios de túneles extensos, cuando la limitante del costo computacional llega a ser muy restrictiva”, finaliza Guillermo Rein. Una prevención necesaria.

## EN CHILE

La situación chilena en cuanto al estudio y verificación del funcionamiento de los túneles en situación de incendio se ha limitado, de manera general, al desarrollo de algunas pruebas, que buscan acreditar el desempeño de los sis-

temas de ventilación y que permiten dar respuestas a situaciones concretas de eventuales siniestros en lugares específicos y de relativamente baja potencia. Sin embargo, dichas pruebas no garantizan las respuestas a las múltiples situaciones (lugares y potencias) de los incendios que podrían presentarse en distintas partes dentro de un túnel, explica el subgerente del área Ingeniería de Protección Contra el Fuego de DICTUC, Orelvis González. "Para esto se requieren estudios completos, como los presentados por el profesor Rein, en los que se combinen los resultados de experimentos puntuales con los de modelaciones de múltiples escenarios y se determinen las condiciones, tanto en los sistemas de ventilación como evacuación, que permitan asegurar su correcto funcionamiento en caso de incendio", puntualiza el especialista. En este sentido, agrega, "el diseño de los sistemas de protección contra incendios de túneles no debería desarrollarse sólo en base al cumplimiento de un estándar o siguiendo normas, sino que utilizando las normas como herramientas de diseño, pero complementándolas con el análisis de la dinámica

del fuego, cálculos de evacuación, modelos numéricos de tipo analítico, híbrido y de CFD (Computational Fluid Dynamics), que permiten describir la evolución del incendio y las estrategias de ventilación. Simultáneamente un análisis estructural y evaluación de los diferentes materiales de construcción a utilizarse como parte del proceso constructivo y operación futura de los túneles, permite establecer potenciales fallas estructurales en caso de un incendio, de acuerdo a los resultados del análisis de la dinámica del fuego".

En estos momentos DICTUC, en conjunto con la Universidad de Edimburgo, aplica los modelos multiescalas en túneles, combinando los resultados de experimentos in situ con los de las modelaciones de múltiples escenarios para determinar las condiciones tanto en los sistemas de ventilación como evacuación, que permitan asegurar su correcto funcionamiento en caso de incendio. ■

[www.dictuc.cl/ipf](http://www.dictuc.cl/ipf)

**ARTÍCULO RELACIONADO**

"Ensayos de sistemas contra incendios: Seguridad a toda prueba". Revista BIT 75, Noviembre 2010, pág. 84

**EN SÍNTESIS**

→ Cuando se produce un incendio en un túnel se debe garantizar la mantención de las condiciones aceptables de supervivencia para que haya una evacuación rápida y segura, eso es clave.

→ **Se debe contar con un sistema capaz de prever las consecuencias de un incendio, especialmente de los mortales efectos que genera el humo.**

→ El modelo de red en una dimensión (1D) modela las regiones de túnel donde el flujo está completamente desarrollado, mientras que el programa CFD detallado modela las regiones donde las condiciones de flujo requieren soluciones 3D.

→ **Se propone un modelo multiescala que combina eficientemente técnicas de modelación unidimensional (1D) y CFD (3D). Comparado con la modelación convencional CFD, el modelo multiescala puede reducir hasta 100 veces el tiempo computacional, sin pérdidas significativas de precisión.**

Encuéntrenos en  
**EXPOMIN 2012**  
Stand 300 TB

## Soluciones de Protección Pasiva Contra Fuego Promat



**Compartimentación**

Placas PROMATECT® H

**Protección de estructuras**

Placas PROMATECT® H  
PROMAPAIN® Wip

**Sellos de penetración**

PROMASEAL® Cintas  
COLLARINES  
PROMASEAL® Masillas  
PROMASEAL® Bulkhead

Promat Chile cuenta con una amplia gama de productos y soluciones para diferentes aplicaciones de Protección Pasiva Contra Fuego, las cuales pueden ser incorporadas en los diferentes tipos de edificaciones.



Minera Los Bronces, F-120



Jumbo La Florida, F-120



Edificio Titanium, F-120

