

La Ventilación como Elemento Fundamental en la Seguridad frente a Incendios en Túneles

*del Rey Llorente, I.¹; Espinosa Antelo, I.¹; Fernández Martín, S.¹;
Grande Pérez, A.¹; Alarcón Álvarez, E.²*

¹CEMIM. Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial.

²Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

La movilidad geográfica es, sin lugar a dudas, uno de los aspectos sociales que más se ha potenciado en los últimos años tanto en el ámbito nacional como mundial. Debido a las grandes dificultades orográficas que se dan en la Unión Europea es preciso desarrollar complejos proyectos donde los túneles son un elemento clave.

Paradójicamente, los recientes incendios acaecidos en túneles en todo el mundo han generado dudas acerca de la necesidad de incrementar el número y, sobre todo, la longitud de túneles pero han supuesto un aliciente para profundizar en el estudio de los criterios de seguridad adoptados hasta ese momento.

En concreto, dentro del conjunto de instalaciones disponibles en los túneles de carretera el sistema de ventilación juega un papel fundamental por su relación con los criterios de seguridad.

En este sentido, el mayor conocimiento de los fenómenos que intervienen en los procesos de producción y evolución de los humos permiten definir criterios de dimensionamiento y funcionamiento de la ventilación más sofisticados.

Sin embargo para poder asegurar la calidad del conjunto es preciso, por una parte, partir de una correcta definición a nivel de Proyecto de la solución constructiva la definición de criterios de actuación precisos a adoptar en caso de incendio y por último el establecimiento de procedimientos de supervisión globales.

En el artículo propuesto se abordan desde una perspectiva global las distintas etapas de definición y control que deben realizarse para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, se profundiza en los modelos numéricos empleados para el dimensionamiento y se recogen aspectos de la experiencia resultante de ensayos in-situ realizados. Como ejemplo se presentan resultados para distintos túneles de carreteras en España.

1 INTRODUCCIÓN

La movilidad geográfica es, sin lugar a dudas, uno de los aspectos sociales que más se viene potenciando en los últimos años tanto dentro como fuera de nuestras fronteras. En nuestro país, las difíciles condiciones orográficas hacen necesario desarrollar complejos proyectos donde los túneles son un elemento clave.

Los recientes incendios acaecidos en túneles en todo el mundo han despertado inquietud en cuanto a la seguridad de este tipo de infraestructuras, lo que a su vez ha servido para profundizar en el estudio de los fenómenos que intervienen en el desarrollo y control del fuego y los medios disponibles para paliar sus peligrosos efectos. En este sentido los riesgos relacionados con la seguridad se abordan mediante una aproximación global, basada en primer lugar en la prevención y, posteriormente, la reducción de consecuencias.

Dentro del conjunto de instalaciones disponibles en los túneles para abordar el segundo aspecto, el sistema de ventilación juega un papel fundamental por su relación con los criterios de seguridad.

Por otra parte, el mayor conocimiento de los fenómenos que intervienen en los procesos de producción y evolución de los humos así como la complejidad de las nuevas obras permiten definir criterios de funcionamiento de la ventilación cada día más sofisticados.

Este crecimiento de capacidad (y complejidad) está fuertemente ligado al desarrollo de sistemas de control del túnel que a su vez simplifican las labores de los operadores, incrementando la velocidad, y habitualmente la eficacia, de las actuaciones en caso de incendio. No obstante, cada vez resulta de mayor trascendencia la verificación del comportamiento adecuado, tanto de las instalaciones de ventilación como del sistema de control asociado a las mismas, lo que se consigue con la aplicación de procedimientos de supervisión detallados y de tipo global (integrando ambos sistemas e incluso otros relacionados) para asegurar la calidad del conjunto.

La imagen que se tiene habitualmente sobre los ensayos de ventilación en túneles suele corresponderse a lo que se conoce como ensayos de fuego. En realidad, la mayor parte de las pruebas realizadas en un túnel corresponden a verificaciones de la funcionalidad de todos los sistemas que en él existen. Sin embargo, a diferencia de lo que suele pensarse, una verificación exhaustiva de su comportamiento requiere periodos de tiempo considerables en la fase de puesta en marcha que han de ser previstos. Solamente después de realizar todo el conjunto de verificaciones que garanticen el correcto funcionamiento global del túnel deberían llevarse a cabo ensayos específicos como los de humos fríos o calientes, simulacros, etc.

2 GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA DE VENTILACIÓN

Los objetivos del sistema de ventilación son básicamente el mantenimiento de unos niveles de confort y seguridad en situación de servicio y el control de los humos en caso de incendio. Sin embargo, el incremento de los niveles de seguridad exigidos a estas infraestructuras junto con la reducción obligada de los niveles de emisiones de los vehículos hace que sea el segundo aspecto el que prima cada vez más en los condicionantes de proyecto. En cualquier caso, a la hora de plantear el funcionamiento del sistema de ventilación, ambos escenarios deben estar presentes.

Para conseguir los objetivos descritos en el apartado anterior existen distintos sistemas de ventilación empleados en la actualidad. De forma general se clasifican los sistemas de ventilación en función de la dirección, en la sección del tráfico, en la que circula el aire preciso para diluir los contaminantes. Si bien no es objeto de este artículo la descripción de las distintas tipologías existentes, para poder entenderlo es preciso comprender la existencia de dos clasificaciones generales (Fig. 1):

Los sistemas de tipo longitudinal son aquellos que se comportan como un tubo único y, por tanto, el flujo de aire se realiza únicamente en sentido longitudinal. Si bien existen distintas configuraciones la más habitual es la compuesta por aceleradores, típicamente localizados en la parte superior del túnel. Este tipo de ventilación está especialmente indicado para túneles con un sentido único de circulación incluso para grandes longitudes. En caso de incendio, se impulsan los humos hacia la boca de salida de los vehículos, evitando el retroceso de los humos a la zona en la que se produce la retención de los coches.

Los sistemas de tipo (semi-)transversal en los que existen distintos circuitos de ventilación para la inyección y/o extracción de aire lo que permite diluir las materias nocivas producidas o realizar extracciones de humos en caso de incendio. Éste es probablemente el sistema de ventilación más completo aunque conlleva los mayores gastos tanto de instalación como de mantenimiento y explotación. Su gran inconveniente reside en la dificultad de controlar la velocidad longitudinal del aire (y por consiguiente la nube de humos en caso de incendio) en caso de fuertes diferencias de presión entre bocas.

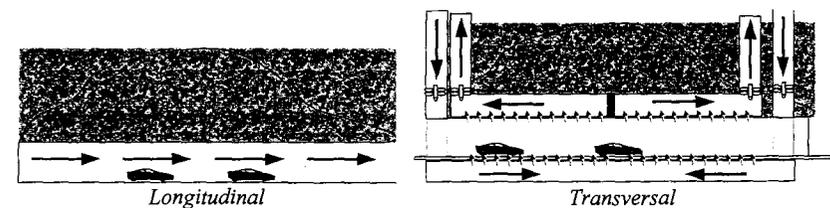


Fig. 1. Tipologías de sistema de ventilación.

3 CRITERIOS PARA EL CONTROL DE LA VENTILACIÓN

En situación de servicio los objetivos del sistema de control de la ventilación son dos: mantener las condiciones de seguridad y confort para los usuarios y minimizar los gastos de explotación, reduciendo su tiempo de funcionamiento.

Desde el punto de vista de la seguridad en caso de incendio, los objetivos a cumplir son los siguientes:

- Mantener controlada la nube de humos lo más lejos posible de los usuarios.
- Evitar la extensión del incidente a zonas próximas al túnel pero no implicadas en el incendio (locales técnicos, otro tubo en túneles comunicados, galerías de escape, etc.)
- Apoyar en las tareas de salvamento (tanto de personas como bienes) a los equipos de rescate.

Desde el punto de vista de la seguridad en caso de incendio, los objetivos a cumplir son muy distintos en función del tipo de sistema de ventilación empleado. Así pueden darse las siguientes estrategias.

3.1. Sistemas de tipo longitudinal

Como ya se explicó anteriormente el sistema de ventilación longitudinal presenta la particularidad de que la velocidad del aire es única en toda su longitud. Esto implica la imposibilidad de extraer o diluir los contaminantes generados por el incendio. De forma general, para túneles unidireccionales el principio de actuación es sencillo: arrastre de los humos en el sentido del tráfico a gran velocidad.

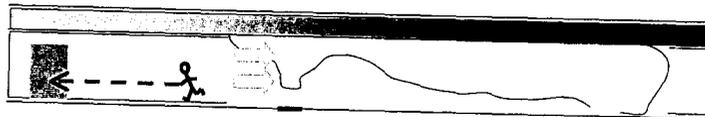


Fig. 2. Principio de actuación. Sistema longitudinal.

Sin embargo, este principio general pierde su validez en caso de circulación en tráfico bidireccional o con tráfico denso. En esos casos es posible definir la actuación en una doble fase:

- Estratificación de los humos mediante la reducción de la velocidad en el interior del túnel.
- Una vez evacuado el túnel proceder a expulsar los humos a alta velocidad hacia una de las bocas.

Este tipo de actuaciones son tremendamente complejas ya que conseguir una velocidad reducida en situación de incendio no tiene porqué implicar simplemente la desconexión de la ventilación. En efecto, tanto la situación inicial (ventilación, intensidad y composición del tráfico, etc) como las condiciones de diferencia de presión entre bocas y el efecto chimenea debido a la flotabilidad de los gases calientes generan corrientes de aire variables a lo largo del tiempo de difícil predicción.

3.2. Sistemas de tipo (semi-) transversal

La estrategia en este tipo de sistemas pasa por la utilización de trampillas telecomandadas sobre las que se puede actuar desde el centro de control. Su utilización está condicionada a lograr los siguientes objetivos:

- Concentración de la zona de extracción en las proximidades del foco.
- Confinamiento de la nube de humos (reflejado en la obtención de una velocidad del aire a cada lado del foco dirigida hacia él).
- Reducción, en la medida de lo posible, de la velocidad del aire en las cercanías del foco.

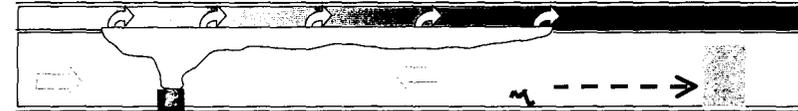


Fig. 3. Principio de actuación. Sistema transversal.

La principal dificultad en este tipo de sistemas es el control de la corriente longitudinal en el túnel. Esto exige actuaciones complejas en las que es preciso definir las actuaciones sobre los distintos elementos del sistema de ventilación (extractores, trampillas, registros, etc).

4 EL PLAN DE ENSAYOS PARA SISTEMAS DE VENTILACIÓN

De forma general, los ensayos sobre el sistema de ventilación incluyen las comprobaciones de los equipos de forma individual, de la capacidad para cumplir los requisitos exigidos (**ensayos de caracterización**) y su **funcionalidad global** como sistema del túnel.

Es importante tener en cuenta que, mucho antes de su emplazamiento en obra, los equipos de ventilación ya son, o deben ser, sometidos a numerosas pruebas en el proceso de fabricación.

Una de las más importantes es la de determinación de las curvas características de los equipos que se realiza en bancos de ensayos y que deben estar sujetos a las normativas existentes.



Fig. 4. Banco determinación de curvas características.

Posteriormente a las verificaciones de montaje e instalación in-situ deben realizarse pruebas individuales que incluyen las maniobras básicas de arranque y parada de ventiladores, supervisión de protecciones eléctricas y mecánicas de seguridad, maniobras de apertura y cierre en trampillas y registros, así como todas aquellas comprobaciones relacionadas con el sistema de control: transmisión y recepción de señales de órdenes, de estado y de alarma así como los protocolos de comunicación.

Una vez finalizadas estas comprobaciones cualquiera de los elementos de los que consta el sistema de ventilación debe ser capaz de funcionar tanto en modo local como remoto. El resto de verificaciones a realizar está fuertemente condicionado por el tipo de sistema de ventilación instalado en el túnel: longitudinal o basado en conductos.

En cualquier caso es evidente que cualquier comprobación a realizar debe partir de una clara definición de objetivos y apoyarse en una metodología contrastada. Por ello se considera de interés la descripción de distintos tipos de pruebas y resultados que pueden llevarse a cabo entendiéndose que, lógicamente, deben ser acordes con las características del sistema a verificar.

5 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

5.1. Ventilación de tipo longitudinal

En sistemas de tipo longitudinal una vez que los equipos de ventilación han sido verificados individualmente, los ensayos de caracterización tienen por objetivo la verificación de que las magnitudes hidráulicas (velocidad del chorro) y eléctricas (potencia consumida) entre otras (nivel sonoro, tiempos de inversión, etc) se corresponden con las especificadas en proyecto.

La particularidad de los sistemas de ventilación longitudinal es que la corriente de aire, con caudal constante a lo largo de la longitud del túnel, es impulsada por ventiladores de chorro. Basándonos en esta generalización, el equilibrio en el sentido del eje longitudinal del túnel viene dado por la siguiente expresión:

$$S \cdot \sum (\Delta P_{\text{fricción}} + \Delta P_{\text{sing}} + \Delta P_{\text{emb}} + \Delta P_{\text{atm}} + \Delta P_{\text{vent}}) = \sum m \frac{dv_a}{dt} \quad (1)$$

donde :

- $\Delta P_{\text{fricción}}$: Pérdida de carga debido a la fricción del aire
- ΔP_{sing} : Pérdidas de carga debido a singularidades
- ΔP_{atm} : Variación de presión debido a condiciones meteorológicas
- ΔP_{embolo} : Diferencia de presión debido al efecto émbolo
- ΔP_{vent} : Incremento de presión debido al empuje de los ventiladores
- S : Área de la sección transversal del túnel

Dado que todos los términos de la expresión anterior dependen directamente de la velocidad de aire en el túnel, salvo el debido a las condiciones meteorológicas, que en el intervalo de tiempo de un evento accidental será un valor constante, las comprobaciones se basan en la medida de aquella magnitud en el túnel.

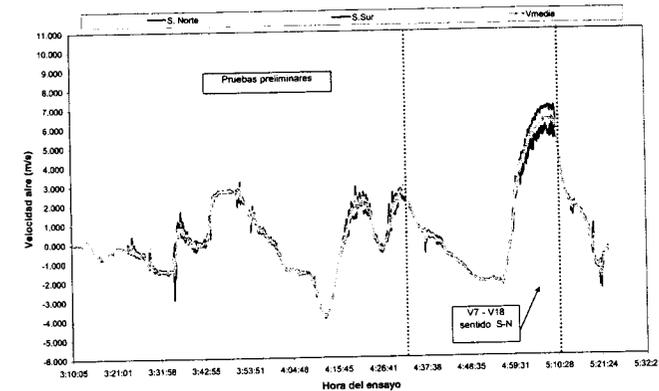


Fig. 5. Registro de velocidad del aire en el túnel

Un primer paso consiste en la definición de escenarios de verificación que comprenden las distintas actuaciones a realizar sobre la ventilación y que estarán orientados a cubrir los objetivos definidos. La instrumentación precisa para estas medidas suele requerir un importante número de sondas de velocidad en distintas secciones del túnel (Fig. 6).

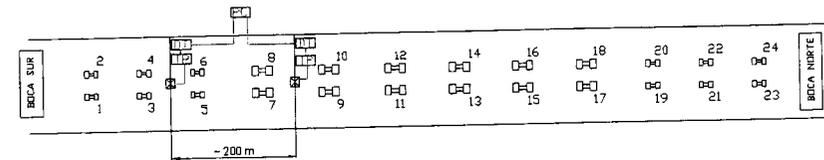


Fig. 6. Disposición secciones de medida y numeración ventiladores

En algunos casos la disposición de las sondas puede estar condicionada por las condiciones en las que deban realizarse los ensayos. Así, por ejemplo, en el caso de túneles en servicio, puede ser necesario adoptar configuraciones adaptadas a no siempre las mejores condiciones (Fig. 7).

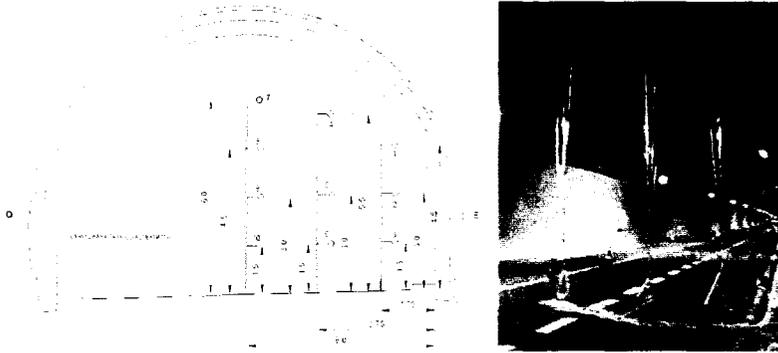


Fig. 7. Disposición de sondas de medida

Para interpretar y analizar los resultados obtenidos en las distintas pruebas, se emplean modelos de tipo unidimensional en régimen permanente o transitorio con los que es posible simular el comportamiento de la velocidad del aire para distintas secuencias de ventilación; teniéndose en cuenta las variaciones producidas por factores como los vehículos y los ventiladores.

5.1.1. Determinación de parámetros aerodinámicos del túnel

Uno de los primeros ensayos que deben realizarse consiste en la determinación de los parámetros característicos del túnel, habitualmente reflejados en el coeficiente λ , parámetro habitualmente empleado en los cálculos de proyecto para representar las pérdidas de carga lineales debido a la rugosidad de las paredes y las singularidades geométricas del túnel.

El procedimiento consiste en generar una velocidad inicial constante mediante el encendido de un cierto número de ventiladores durante un tiempo limitado para posteriormente proceder a su desconexión. La consiguiente deceleración de la velocidad del aire debida a las pérdidas de presión del túnel es empleada para ajustar un valor aproximado de los parámetros buscados.

En la Fig. 8 se muestran los resultados del ajuste sobre medidas reales de distintos valores del coeficiente de rozamiento del túnel.

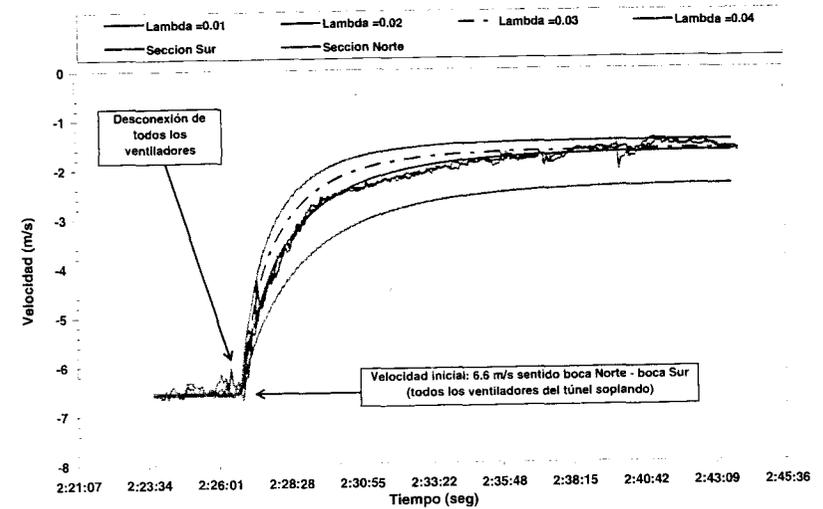


Fig. 8. Determinación del coeficiente de rugosidad equivalente del túnel

5.1.2. Determinación del rendimiento de la instalación

Una vez ajustados los parámetros hidráulicos del túnel, la utilización de los modelos numéricos permite estimar el empuje real de los ventiladores una vez instalados. Para ello se realizan distintas secuencias de arranque de ventiladores de uno en uno o por parejas procediendo posteriormente a la desconexión de todos ellos.

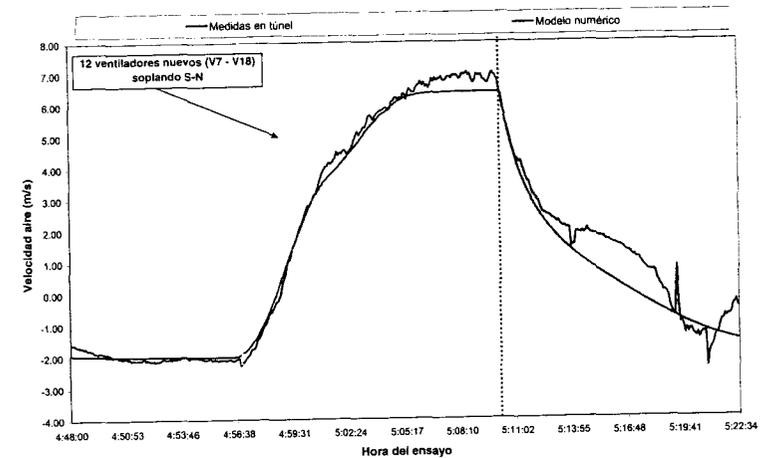


Fig. 9. Estimación del empuje de los ventiladores.

A modo de curiosidad en la Fig. 9 se observa la influencia del paso de vehículos en el túnel una vez se ha realizado la desconexión de los aceleradores debido a que las medidas se realizaron con la calzada parcialmente cortada al tráfico.

5.1.3. Calibración de anemómetros

Un ensayo de gran importancia que lamentablemente no suele realizarse durante la puesta en marcha del túnel es la verificación de las lecturas de los anemómetros instalados. Como es bien sabido la distribución de velocidades en una sección del túnel debido al régimen turbulento no presenta un valor uniforme. Por tanto, la velocidad medida por los anemómetros situados cerca de la pared infravalora su valor. Para determinar la relación del valor leído por los equipos con la velocidad media es preciso realizar medidas de contraste y modelizar el comportamiento del fluido (Fig. 10).

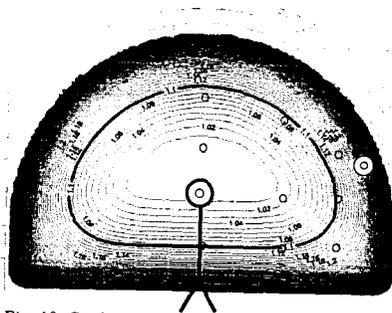


Fig. 10. Coeficientes de ajuste de anemómetros fijos.

La principal dificultad de estos ensayos es la incertidumbre asociada. Sin embargo, este tipo de pruebas permiten verificar el correcto funcionamiento de los equipos y, posteriormente, obtener lecturas de velocidad razonablemente comparables entre unos anemómetros y otros.

5.2. VENTILACIÓN BASADA EN CONDUCTOS

En sistemas de ventilación más complejos como los de tipo transversal o semitransversal existen uno o más conductos de ventilación independientes que pueden funcionar con distintas configuraciones en función del criterio de actuación definido.

Por ello, los ensayos de caracterización tienen por objeto verificar el comportamiento del sistema bajo distintas configuraciones, como por ejemplo, distintas posiciones de trampillas, o inyección frente a extracción (Fig. 11) y caracterizar su comportamiento hidráulico verificando que los caudales y presiones aportados por el o los ventiladores se ajustan a lo esperado. Para ello se mide la presión estática y dinámica en distintos puntos del conducto según distribuciones espaciales adecuadas (log-linear, log-Tchebycheff, etc).

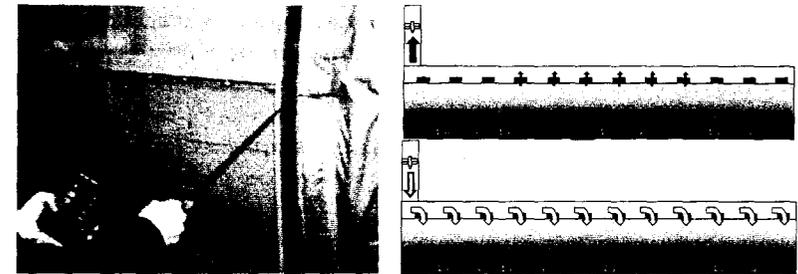


Fig. 11. Determinación del caudal de extracción.

6 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN GLOBAL

Una vez se ha comprobado que todos los subsistemas funcionan adecuadamente es preciso evaluar el comportamiento del túnel completo ante distintas situaciones (escenarios), para lo cual se deben planificar ensayos en los que se modifiquen las condiciones hipótesis de proyecto. Éstos deben estar basados en la comprobación del funcionamiento en régimen permanente, lo que permitirá evaluar su funcionamiento una vez el sistema haya alcanzado una situación estable.

6.1. VENTILACIÓN DE TIPO LONGITUDINAL

El principal objetivo de este tipo de pruebas es la verificación de la velocidad del aire en el túnel con distintas configuraciones (número de ventiladores) encendidos en ambos sentidos.

Sin embargo, también pueden tener como finalidad la verificación del adecuado comportamiento del conjunto formado por el sistema de control y el de ventilación. Así, por ejemplo, la Fig. 12 muestra el resultado del ensayo de verificación de un sistema de tipo longitudinal basado en el control en dos fases (ver apartado 3.1), cuyo objetivo es accionar los ventiladores de forma que se mantenga la velocidad del aire en un valor reducido en torno a cero. Los carteles indican procesos de toma de decisión del algoritmo y las actuaciones sobre la ventilación correspondientes.

6.2. VENTILACIÓN BASADA EN CONDUCTOS

En sistemas basados en conductos el principal objetivo es la comprobación de la capacidad del sistema para controlar la corriente longitudinal de la nube de humos y para lograr su confinamiento (convergencia del aire de una parte y otra del fuego) aplicando en los distintos cantones los regímenes de ventilación predefinidos para los escenarios de incendio considerados y así mantener la velocidad del aire junto al foco en un valor reducido.

Para realizar las medidas se disponen anemómetros portátiles en el interior del túnel y se realizan las actuaciones necesarias sobre el sistema de ventilación para simular distintos escenarios predefinidos.

En la Fig. 13 se muestran los registros temporales de la velocidad del aire obtenidos durante la simulación de algunas pautas de actuación en las verificaciones del túnel de Somport.

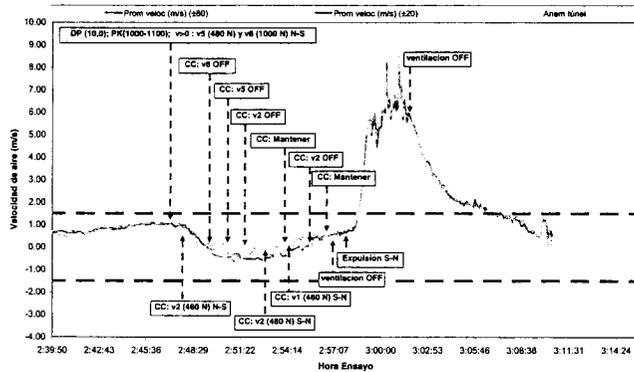


Fig. 12. Verificación del sistema de control continuo.

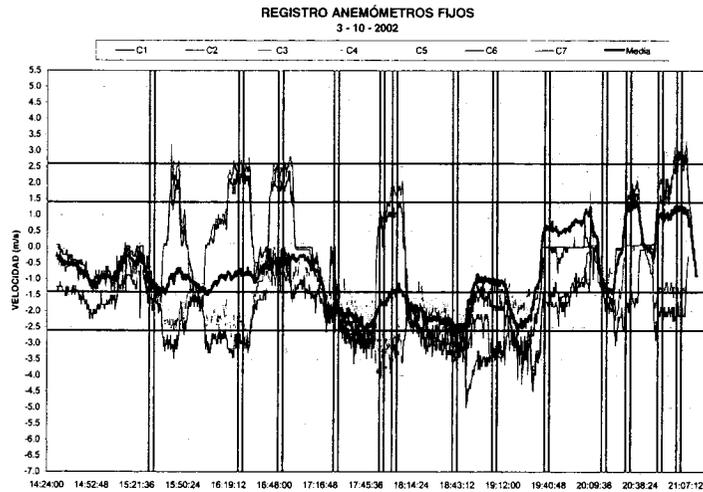


Fig. 13. Registros de anemómetros en distintas posiciones longitudinales.

En ella pueden apreciarse las situaciones de ventilación desconectada (todos los anemómetros indican un mismo valor de velocidad al funcionar como tubo recto) y las pautas (diferentes velocidades según la posición del anemómetro). Entre líneas se encuentran los periodos de ensayo en los que se considera que se ha alcanzado un régimen permanente y por tanto es posible evaluar la validez de la pauta seleccionada.

A partir de los registros de velocidad del aire durante la simulación de la pauta de actuación se evalúan los resultados en régimen permanente representándolos en gráficas como la mostrada en la Fig. 14, donde el eje de abscisas corresponde a la longitud del túnel y el eje de ordenadas al caudal (velocidad media por sección) en el tubo. En estos casos la distribución de caudal en el túnel no es uniforme sino que está condicionada por el caudal extraído o inyectado y por la posición de apertura de las trampillas.

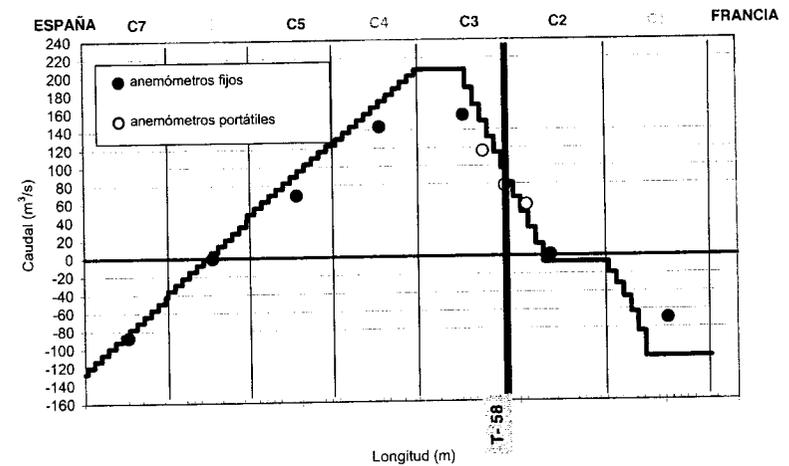


Fig. 14. Contraste con modelo numérico para verificación de pautas de actuación.

Mediante puntos se representan los valores discretos correspondientes a los valores promedio de las velocidades obtenidas con los anemómetros fijos (en color oscuro) y portátiles (en color claro), mientras que la curva representa el ajuste de la distribución teórica para la configuración de apertura de trampillas y funcionamiento de ventiladores ensayado.

7 ENSAYOS DE HUMOS FRÍOS

Con los ensayos de humos fríos no se pretende representar los efectos térmicos ligados al escenario de incendio, sino evaluar el comportamiento del sistema en relación con la convergencia de las velocidades a ambos lados del fuego en sistemas (semi-) transversales o la capacidad de control o arrastre de la nube de humos en los longitudinales.

No obstante, si bien este comportamiento puede ser contemplado mediante la realización de pruebas de verificación global, la función de gas trazador que tienen los humos fríos permiten estudiar situaciones transitorias difíciles de evaluar de otra forma, como por ejemplo:

- En sistemas longitudinales: tiempo y dispersión de la nube de humos en caso de producir la inversión del sentido de ventilación.
- En sistemas (semi-)transversales: tiempos de respuesta del sistema ante distintas situaciones iniciales o situaciones degradadas (redundancias)
- Entrenamiento del personal de explotación y servicios de emergencia simulando condiciones de incendio.

Para realizar el ensayo se disponen bandejas con botes de humo frío (Fig. 15) que mediante un sistema de apertura controlada producen una cantidad determinada. Habitualmente los botes empleados presentan una temperatura de salida considerable pero que se atenúa muy rápidamente. Por ello en las primeras fases, si la corriente longitudinal es reducida, pueden darse situaciones de estratificación. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con los humos calientes, ésta se pierde muy rápidamente.

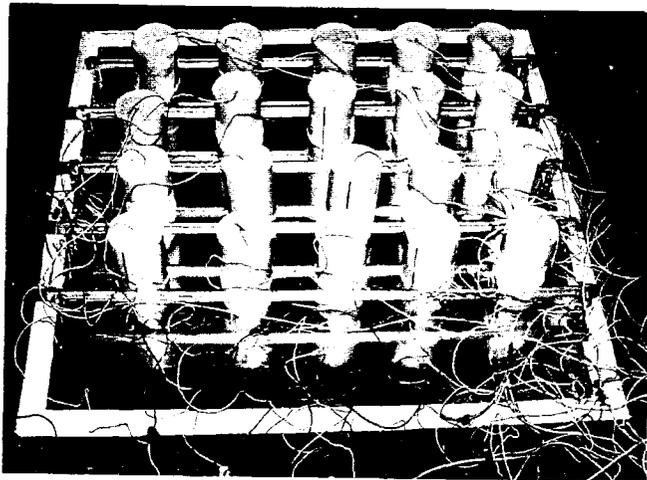


Fig. 15. Sistema de generación de humos fríos

Dependiendo de los objetivos fijados, la instrumentación puede ser muy diversa. Sin embargo la grabación en vídeo es el medio más apropiado para su estudio. Por ello se deben emplear cámaras fijas en distintas posiciones así como móviles que se desplazan con la nube de humos.



Fig. 16. Generación de humos

Por otra parte, la colocación de anemómetros portátiles, sondas bidireccionales así como la utilización de los registros obtenidos en el centro de control de las medidas de los propios equipos del túnel (anemómetros, opacidad, temperatura, etc) son herramientas importantes para interpretar los resultados, entre los que se encuentran los registros temporales de velocidad del aire en el túnel, las actuaciones sobre la ventilación o el desplazamiento de la nube de humos en los distintos escenarios (Fig. 17).

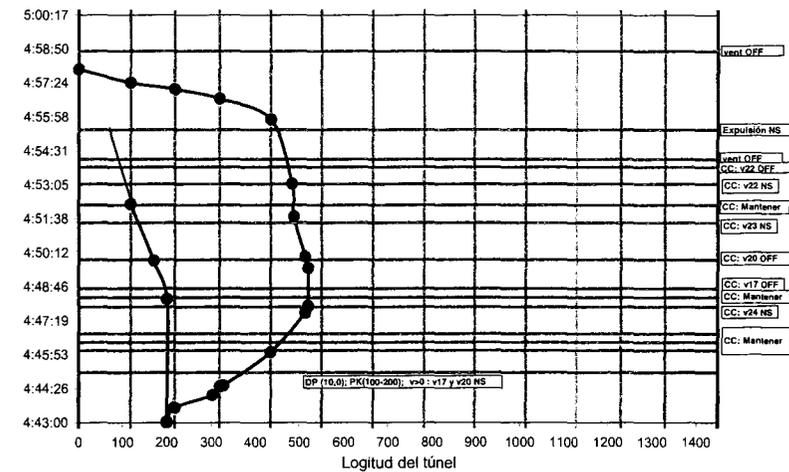


Fig. 17. Evolución del frente de humos.

8 CONCLUSIONES

El sistema de ventilación es uno de los pilares fundamentales de la seguridad en caso de incendio. Sin embargo, la permanente búsqueda por parte del proyectista tanto de la eficacia del sistema como de la reducción de los tiempos de respuesta lleva a sistemas de mayor complejidad tanto de desarrollo como de implementación.

La verificación del comportamiento adecuado tanto de las instalaciones de ventilación como del sistema de control asociado a las mismas es uno de los aspectos fundamentales para garantizar que, más allá de lo especificado en los proyectos, el sistema de ventilación se comporta según lo esperado.

Un adecuado Plan de Ensayos debe incluir un gran número de verificaciones previas a las pruebas específicas como son las de humos fríos o calientes, las cuales representan muchas veces un tratamiento más próximo a los simulacros que a propios ensayos aerodinámicos.

La herramienta principal para asegurar la calidad de la evaluación son los procedimientos de supervisión detallados y de tipo global (integrando ambos sistemas e incluso otros relacionados) complementados por el análisis y la verificación a través de modelos numéricos que permiten caracterizar el funcionamiento del sistema.

Solamente después de realizar todo el conjunto de verificaciones que garanticen el correcto funcionamiento global del túnel deberían llevarse a cabo pruebas específicas como las de humos fríos o calientes, simulacros, etc.

9 AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este artículo forma parte de los trabajos realizados con el apoyo del Ministerio de Fomento y, en particular, a la ayuda recibida dentro de la Acción Estratégica para las infraestructuras de transporte con título "ENSAYOS IN SITU DE INSTALACIONES DE VENTILACIÓN EN TÚNELES PARA SITUACIONES DE SERVICIO E INCENDIO".

10 REFERENCIAS

- [1] Alarcón, E.. "Accidentes y sistemas de seguridad en túneles". Seguridad frente a incendio en túneles. (Serie Seminarios Academia de Ingeniería), Madrid. 2002
- [2] Casale, E.; Moulet J.M. "Essais incendie au tunnel de Puymorens" Tunnels et ouvrages souterrains N° 127 Enero 1995
- [3] Del Rey, I. "Principios para el control de la ventilación en túneles", Universidad Politécnica de Madrid, Tesis doctoral. 2002

- [4] Perard, M.; Hericher, M.; Sergent, M. "Exercices periodiques organises dans le cadre de la circulaire N° 2000-63" Expose technique Reunión GTFE 21 y 22 de junio de 2001
- [5] Perard, M.; Brousse B. "Full size test before opening two French tunnels" 8th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels. Liverpool, UK, 743-756 (Julio 1994)
- [6] Retana, P. "Regimenes transitorios de ventilación. Aplicación a la seguridad frente a incendios", Universidad Politécnica de Madrid, Tesis doctoral. 1999
- [7] Swedish National Testing and Research Institute, 1994. "Proceedings of the International Conference of Fires in Tunnels". Börås. Communication limited. London. UK
- [8] Voeltzel, A.; Casale E.; "FIRE tests in tunnels" Draft PIARC WG6 Marzo 2001
- [9] Brousse, M. "Essais d'incendie dans les tunnels de l'autoroute A.14" Curso La sécurité dans les tunnels routiers: un enjeu majeur, un domaine en évolution Diciembre 1997
- [10] Brousse, B.; Voeltzel, A.; Le Botlan Y.; Ruffin, E. "Ventilation and fire tests in the Mont Blanc tunnel to better understand the catastrophic fire of 24 March 1999" Third International Conference October 9-11, 2001, Washington