

Desarrollo de nuevos algoritmos de ventilación en la M-12 (Túnel más seguro de Europa según EUROTAP 2006)

Juan Manuel Sanz Sacristán, jefe de sección Instalaciones del Transporte de Euroestudios

Introducción

Uno de los factores clave en la seguridad de un túnel radica en la de mantener unas condiciones ambientales adecuadas, para lo que se debe dimensionar adecuadamente la ventilación.

Tan importante como el diseño e instalación de la ventilación son los sensores de análisis de la calidad ambiental dispuestos, los sistemas de control y comunicaciones y los algoritmos que activan y regulan los distintos ventiladores.

Túnel de la M-12 y ventilación dispuesta

La autopista m-12 facilita el acceso a la nueva terminal T4 del Aeropuerto de Barajas desde la

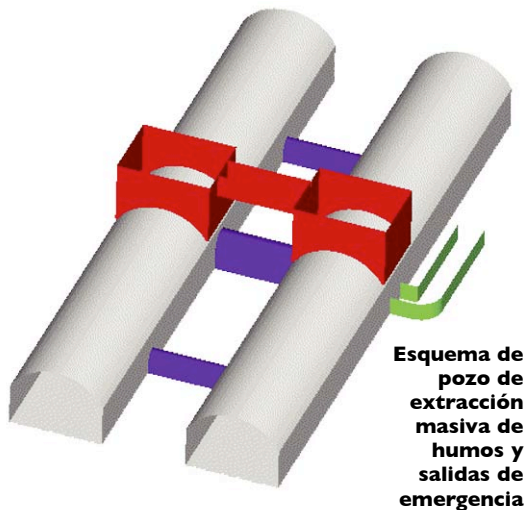
M-40, la M-11, la A-1, la R-2 y las antiguas terminales y cuenta con un túnel, de dos tubos unidireccionales, de 1.800 metros de longitud, que discurre bajo el Parque Juan Carlos I, que ha sido declarado el "más seguro de Europa" por el informe EuroTap 2.006.

La ventilación dispuesta es del tipo longitudinal con pozo de extracción masiva de humos, en caso de incendio, en su punto central.

En el proyecto desarrollado por EUROESTUDIOS se han dispuesto 20 ventiladores reversibles de chorro, por parejas, en el tubo de bajada y 16 en el de subida. Las características de los ventiladores son las siguientes: 1200 mm de diámetro, 954 N de empuje nominal, 27,1 m/s de velocidad de chorro y 21,3 KW de potencia eléctrica. En el pozo de extracción masiva de humos se han situado dos ventiladores que pueden actuar sobre cualquiera de los dos tubos, mediante la configuración de unas compuertas de apertura-cierre motorizadas. Sus características son las siguientes: 1800 mm de diámetro, 600 Pa de presión estática, 60 m³/s de caudal y 75 KW de potencia eléctrica.

La ventilación se controla desde los servidores dispuestos en el Centro de Control, situado en las inmediaciones del túnel, a partir de los datos suministrados por los sensores de concentración de gases contaminantes,





Esquema de pozo de extracción masiva de humos y salidas de emergencia

opacímetros y anemómetros dispuestos a lo largo del túnel, así como del sistema fibroláser de detección de incendios y las estaciones meteorológicas situadas en ambos extremos. El sistema dispone de una serie de Remotas de Control distribuido, conectadas entre sí y con el Centro de Control mediante una red Fast Ethernet, y con los elementos de actuación y de toma de datos mediante un Bus de Campo del tipo Profibus. En caso de fallo del Centro de Control o del sistema de comunicaciones, las Remotas de Control, situadas en cada uno de los cuartos técnicos, disponen de un software de control para situaciones degradadas en las que activan la ventilación de la forma más segura en función de la información que reciben.

Algoritmos de ventilación basados en "casos"

Se entiende por algoritmos de ventilación a aquellas rutinas informáticas dispuestas en los equipos de control del túnel que activan, configuran y regulan todos los equipos que componen el sistema de ventilación de un túnel.



Interior de túnel. Disposición de ventiladores por parejas.

Los equipos sobre los que se debe actuar dependen del tipo y configuración de la ventilación dispuesta. En general se suele conseguir la regulación de la ventilación de un túnel mediante la actuación sobre la velocidad y/o sentido de giro de los ventiladores y la apertura, cierre o regulación de diversas compuertas.

Situación previa

Normalmente los algoritmos de ventilación se han basado en una serie de "casos" preestablecidos, en los que se deciden las actuaciones que se realizarán ante las distintas situaciones que se ha previsto puedan acontecer.

En este tipo de control de la ventilación el primer paso consiste en definir en que circunstancias se puede encontrar el túnel. Para cada uno de esos "casos" se realizan los cálculos de ventilación y se establece la respuesta que se considera más adecuada para cada una de esas situaciones.

Normalmente se realizan tablas para la dilución de contaminantes durante la explotación del túnel (en función del nivel de concentración de contaminantes se activa un determinado caudal de ventilación) y otras para caso de incendios (en función de la posición del incendio se configura una determinada respuesta).

Principales inconvenientes los algoritmos basados en casos

A lo largo del tiempo se han ido observando muchos inconvenientes a este tipo de algoritmos, de los que cabe destacar los siguientes:

- La respuesta a las posibles situaciones del túnel se realiza de forma discreta, en saltos preseleccionados de antemano. Para obtener una adecuada precisión en la respuesta en necesario establecer muchos casos por lo que el sistema obtenido será muy complejo de calcular, programar y verificar en obra.
- La ventilación óptima depende de una serie de circunstancias que no se pueden medir fácilmente (por ejemplo el área frontal de los vehículos que circulan por el interior del túnel o la potencia del incendio) por lo que se deben realizar diversas suposiciones, que pueden ser acertadas o no.

- Como la ventilación adecuada del túnel depende de un número muy alto de factores variables que, aunque se pueden medir, es muy difícil de analizar y considerar simultáneamente, se deberá optar entre un sistema muy complejo (consideración de muchas variables simultáneamente) o establecer simplificaciones.
- En general los cálculos se realizan con diversos coeficientes de seguridad, por lo que habitualmente se dispondrá una mayor ventilación de la necesaria y, en consecuencia, un mayor gasto de energía durante toda la explotación del túnel.
- Los cálculos teóricos deben contrastarse con la realidad y verificarse mediante ensayos con el túnel acabado, por lo que se compli- can las correspondientes comprobaciones.
- Si alguna de las hipótesis realizadas en el cálculo de la ventilación no se cumple en la realidad la ventilación no será adecuada, pudiendo tener una situación inestable.

En resumen: estos sistemas suelen establecer una mayor ventilación de la necesaria, con lo que se obtiene una mala eficiencia energética y suelen ser complejos de programar y, sobre todo, de comprobar su adecuado funcionamiento.

Algoritmos de ventilación implementados en la M-12

Con la idea de establecer un túnel con elevadas prestaciones de seguridad y con criterios de fiabilidad, simplicidad y economía se optó, en el desarrollo, construcción y puesta en servicio de los túneles de la M-12, por implementar unos algoritmos de ventilación en el que se varían el número de ventiladores activados en función de los efectos realmente alcanzados.



Pozo de extracción masiva de humos

Algoritmos desarrollados

Los algoritmos desarrollados para la M-12 y que están implementados de forma satisfactoria son los siguientes:

- Gestión de la velocidad longitudinal del aire.
- Gestión del valor y de la tendencia de concentraciones de gases contaminantes.
- Gestión del valor y de la tendencia de la opacidad.
- Actuación de la ventilación en caso de incendio.

Además se han previsto y programado las relaciones y niveles de prioridad entre ellos. Los niveles de prioridad, en grado descendente, son los siguientes: incendio, concentración de gases u opacidad (según aquel que tenga un mayor peligro para la salud de las personas) y, en último lugar, velocidad longitudinal del aire en el túnel.

Se procede a explicar las principales características de los mismos:

a) Gestión de la Velocidad. Activa o desactiva un número limitado de ventiladores para asegurar una corriente permanente de aire en el interior de los dos tubos, con el objeto de garantizar la renovación de aire así como que todo el aire pasa por los sensores ambientales dispuestos de forma discreta.

b) Gestión del valor y tendencia de concentraciones de gases. Incrementa o reduce el número de ventiladores encendidos en función del valor absoluto de los valores

medidos y de la tendencia (creciente o decreciente) con el objeto de asegurar que la concentración de gases tóxicos se encuentra en todo momento por debajo de los valores fijados como seguros.

c) Gestión del valor y tendencia de la opacidad. Incrementa o reduce el número de ventiladores encendidos, de forma análoga a la del punto anterior, pero respecto al valor y tendencia en el tiempo de la visibilidad.

d) Actuación de la ventilación en caso de incendio. El sistema activa, en un determinado sentido, un número de ventiladores prefijados en función del punto donde se ha localizado el incendio y de la situación del tráfico en ese momento (fluido o congestionado) y a partir de ese momento incrementa o reduce el número de ventiladores encendidos, a intervalos regulares, en función de los valores proporcionados por los anemómetros de interés y con el objetivo de mantener la velocidad longitudinal próxima a la velocidad prefijada (que será la velocidad crítica en caso de tráfico fluido y algo inferior en caso de tráfico congestionado).

Principales ventajas de los algoritmos desarrollados

Aunque ya se han mencionado algunas de las ventajas de estos algoritmos, se quieren destacar algunas de ellas:

- Estos algoritmos facilitan la programación del sistema, su puesta a punto y verificación.

- Se mejoran las condiciones de seguridad durante la explotación ya que el sistema, actúa ante la tendencia creciente de concentraciones de gases o partículas, impide que se alcancen niveles no deseados.
- Se reduce el consumo de energía y desgaste de ventiladores, ya que únicamente se enciende el número necesario para cada situación.
- En caso de incendio se garantiza que la velocidad del aire en el interior del túnel es la deseada, regulándose el sistema de forma permanente por lo que es inmune a variables no consideradas durante el diseño. En determinadas condiciones el sistema puede responder adecuadamente a potencias de incendio superiores a las previstas ya que el dimensionamiento se realiza para circunstancias desfavorables y con ciertos coeficientes de seguridad que el sistema será capaz de activar en caso extremo.

Verificación de las ventajas de los algoritmos dispuestos

Durante la fase de la puesta en marcha del túnel previa a su apertura se realizaron diversas pruebas de la ventilación dispuesta y de los algoritmos de control, tanto en vacío como con humos calientes.

Desde la apertura del túnel al tráfico se ha realizado un seguimiento periódico del sistema y se ha comprobado su adecuado funcionamiento y sus ventajas.



Centro de Control del túnel y de la autopista M-12



Estratificación y control del humo durante el ensayo realizado

Durante las pruebas de humos calientes, realizada el día 25 de enero de 2006, se verificó que el sistema era capaz de mantener la estratificación y control de los humos en caso de un incendio de pequeña magnitud (2,5 MW equivalente a la mitad potencia del incendio de un turismo) lo que entraña una especial dificultad, ya que los gases no están muy calientes y, en consecuencia, tienen menor fuerza ascensional.

El sistema se ha mostrado de especial interés para afrontar las distintas potencias de incendio en un túnel con cierta pendiente que hace que varíen en gran medida las velocidades críticas y el empuje necesario para contrarrestar el “efecto chimenea” del humo.

Asimismo se ha comprobado que el sistema minimiza los transitorios del conjunto ya que, en el presente túnel, desde que se activa un ventilador hasta que se produce la corriente de aire estable se emplea un tiempo de unos dos minutos. Si se configura adecuadamente el algoritmo se llegan a encender más ventiladores de los necesarios, al no haberse alcanzado en el intervalo de tiempo programado el valor objetivo, que posteriormente se apagan al alcanzar los valores deseados (lo que minimiza el tiempo de respuesta).

Conclusiones

Se concluye que los algoritmos desarrollados en la M-12 suponen una gran mejora en la explotación y seguridad de los túneles y que se debe seguir avanzando en esta línea.

Los sistemas actuales de control y comunicaciones facilitan y simplifican la implementación de algoritmos que antiguamente se consideraban complejos.

Estos algoritmos permiten adaptar la ventilación a las circunstancias reales del túnel y variarla automáticamente en función de las respuestas alcanzadas.

Cada vez se dispone de más y mejores sensores que facilitan una mayor información de lo que está sucediendo en el interior del túnel y, en consecuencia, se pueda dar una respuesta más precisa. En este sentido, EUROESTUDIOS (dentro de sus programas de I+D+i) está desarrollando un equipo para medir, en tiempo real, la potencia de un incendio en un túnel, que facilitaría establecer de forma más precisa la activación inicial de la ventilación.