

TÉCNICAS DE EVACUACIÓN DE HUMOS Y GASES EN TÚNELES

GENERALIDADES

1. ¿Para qué sirve un túnel de tráfico?

En cierto modo, que la mayoría de los usuarios considere que los túneles son unos elementos poco habituales en su vida, teniendo en cuenta que nuestra convivencia con estas obras de ingeniería es mucho más corriente de lo que se puede imaginar, supone que se ha conseguido el principal objetivo desde el punto de vista de la seguridad: que el túnel no se perciba como un elemento diferente al resto de las infraestructuras existentes en la actualidad.

Esta cotidianeidad se debe a que, a pesar de la orografía considerablemente montañosa, resulte esporádico en nuestro país atravesar grandes túneles de carretera (apenas una treintena de más de 1000 metros y seis de más de tres kilómetros de longitud) pero, sin embargo, a nadie le resulta extraña la presencia de túneles urbanos de menor longitud o de túneles de ferrocarril. Todo ello sin mencionar un sistema tan habitual de transporte como el Metro o la red subterránea de trenes de cercanías que existe en algunas grandes ciudades.

Y si, para el usuario, no hay grandes diferencias entre unos y otros tipos de túneles, para todas aquellas personas que trabajan en él desde el punto de vista del proyecto, construcción, mantenimiento, explotación y protección las diferencias son abismales. Sólo hay que observar las diferentes condiciones existentes entre los distintos tipos de túneles:

- los túneles de carretera donde se presenta un tráfico aleatorio compuesto de gran número de vehículos de pequeñas dimensiones, lo que crea la necesidad de estudiar su comportamiento con modelos tanto macro como microscópicos, en los que las emisiones de los vehículos suponen la situación habitual de servicio del túnel y el caso de incendio depende en gran medida del tipo de vehículos que circulan por el túnel (y por tanto de la potencia del incendio que puede generarse).
- Los túneles urbanos con características similares a los anteriores pero con peculiaridades en cuanto al tráfico (retenciones aún en tráfico de un sólo sentido) y geometría (reducidísimo espacio para las instalaciones).
- Los túneles de ferrocarril que presentan una circulación determinista y muchas veces regular, con vehículos de gran longitud y pequeño número pero gran cantidad de viajeros a socorrer en caso de incendio.
- Los túneles de metro o trenes suburbanos con características similares pero que presentan en toda su red, incluidas las estaciones, una permanencia continua bajo tierra con los riesgos consiguientes.
- Los funiculares o trenes especiales de alta montaña con escasas instalaciones por el reducido espacio y la gran antigüedad de los mismos.

División Difusión y Comunicaciones

- Otros tipos de túneles como los "people mover" de los aeropuertos que permiten el desplazamiento de equipajes, viajeros y asistencias bajo las pistas hasta zonas alejadas de embarque al avión sin interferir con el tráfico de superficie.

Como se ha podido observar, las diferentes características de los distintos tipos de túneles no permiten generalizar su estudio sino que hace necesario profundizar en las peculiaridades de cada uno ya que para muchos de ellos se alcanzan soluciones únicas.

En lo que sigue se va a tratar fundamentalmente el caso de los túneles carreteros.

2. Filosofía de actuación

La construcción de una red amplia de infraestructuras para una región supone un indudable enriquecimiento. En España, para lograr este objetivo y debido a una orografía considerablemente montañosa, ha sido necesario potenciar la creación de túneles de carretera y ferrocarril aunque solo recientemente se ha comenzado a prestar atención a aspectos considerados secundarios como la seguridad, el mantenimiento o la explotación.

En España, afortunadamente, la eterna lucha entre coste y seguridad va decantándose a favor de la segunda en gran parte debido a la presión de la opinión pública, no siempre objetiva ni razonable.

Así, los estudios relativos a los sistemas de ventilación en túneles se enfocan actualmente desde tres puntos de vista:

- La seguridad de las personas, en primer lugar, creando vías de evacuación y escape de los usuarios, señalización más clara, instalaciones para la alerta temprana en caso de accidente, sistemas de ventilación más seguros en caso de incendio, etc.
- La reducción de los daños producidos a la estructura en caso de incendio con actuaciones rápidas de los equipos de bomberos procurando facilitar las labores de auxilio y extinción. Al igual que el aspecto anterior es evidente que la rapidez de actuación es determinante en la evolución del incendio.
- El mantenimiento de unos niveles de confort en el interior del túnel frente a las emisiones de gases contaminantes (CO, humos, NO_x, etc) y cada vez más, el cuidado de los niveles de contaminantes expulsados por las bocas en áreas urbanas (mediante, por ejemplo, el uso de precipitadores electrostáticos)

El procedimiento habitual para la elección del sistema de ventilación pasa por la definición y posterior estudio de los distintos casos que pueden presentarse en el túnel.

3. Escenarios

Habitualmente los escenarios se definen al plantear el conjunto de casos posibles que pueden presentarse en el interior del túnel. De una forma general éstos pueden dividirse en escenarios de servicio o de accidente.

Los escenarios de servicio surgen por las diferentes condiciones que se presentan en el funcionamiento "normal" de un túnel, es decir, teniendo únicamente en cuenta

División Difusión y Comunicaciones

variaciones de aspectos como la composición del tráfico de los vehículos, las condiciones atmosféricas en las bocas, los límites de contaminación admisibles, las características de emisión de gases de los vehículos, etc. A pesar de que este tipo de escenarios no suele tener implicaciones desde el punto de vista de la seguridad, la definición de los mismos debe permitir un correcto dimensionamiento del sistema. Un defecto en el mismo puede producir falta de confort en el usuario e incluso un aumento del riesgo de accidente, mientras que un sobredimensionamiento eleva los costes de explotación y mantenimiento.

Dentro de los escenarios de accidente el más habitual es aquél en que no se produce incendio. En este caso, la finalidad del sistema de ventilación es el mantenimiento de unos niveles de contaminación que permitan la evacuación de los usuarios o el control de la situación en un breve periodo de tiempo.

Sin embargo, el gran peligro inherente al desarrollo de un incendio en un túnel hace que este tipo de escenarios sea dimensionante desde el punto de vista del sistema de ventilación y se centre básicamente en permitir el salvamento de los usuarios.

Los diferentes objetivos del sistema de ventilación para estos tipos de escenarios modifica los límites considerados admisibles para las concentraciones de contaminantes en el túnel. Así, los umbrales permitidos para servicio son menores que para accidente sin fuego los cuales, a su vez, son menores que para el caso de accidente con fuego.

4. El papel de la ventilación

Como ya se ha visto en apartados anteriores, los cometidos del sistema de ventilación no corresponden únicamente al funcionamiento habitual del túnel, manteniendo los niveles de contaminación dentro de unos niveles considerados admisibles, sino que también debe ser capaz de permitir la evacuación en caso de accidente y el control de la nube de humos en caso de accidente con fuego. Sin embargo, el sistema de ventilación a instalar en un túnel también debe mantener unas condiciones aceptables en un gran número de recintos auxiliares que, cada vez más, son necesarios para albergar las instalaciones del túnel, el personal de explotación, etc.

5. Sistemas de ventilación

5.1 Ventilación principal

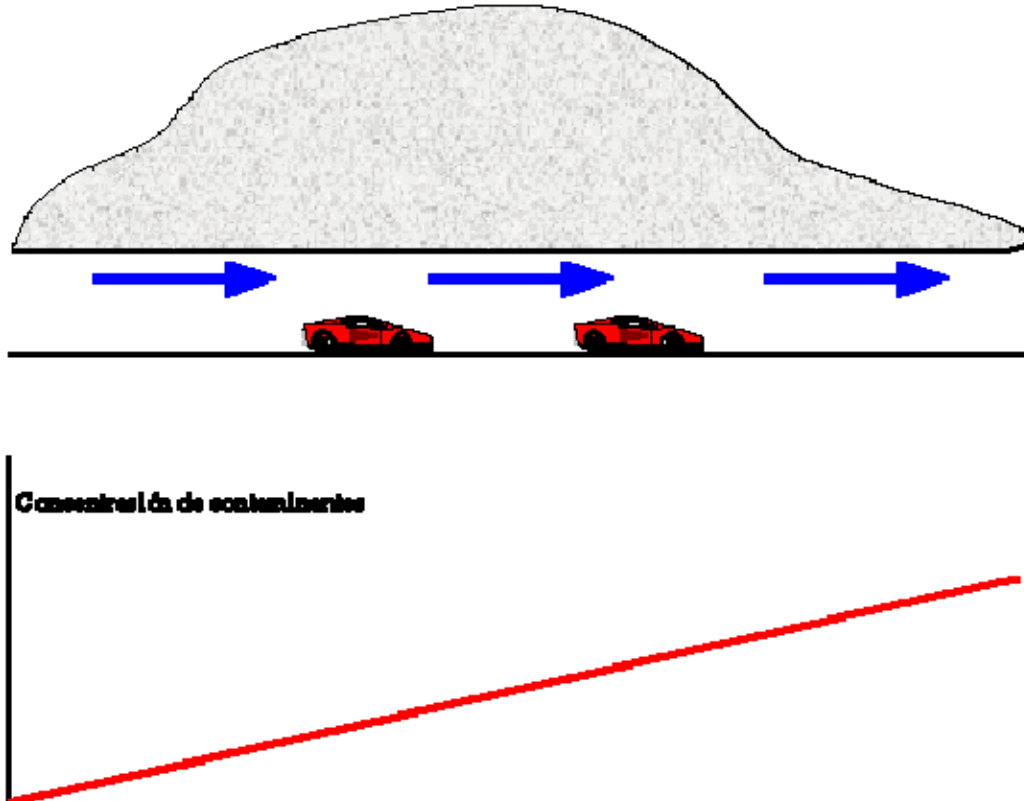
Para conseguir los objetivos descritos en el apartado anterior existen distintos sistemas de ventilación empleados en la actualidad. De forma general se clasifican los sistemas de ventilación en función de la dirección, en la sección del tráfico, en la que circula el aire preciso para diluir los contaminantes. Siguiendo este principio se obtienen diversas posibilidades que se exponen a continuación.

5.1.1 Ventilación longitudinal natural

No corresponde propiamente a un sistema de ventilación al no disponerse instalaciones de ventilación ya que la dilución de contaminantes se produce únicamente por efectos meteorológicos o del tráfico creando una

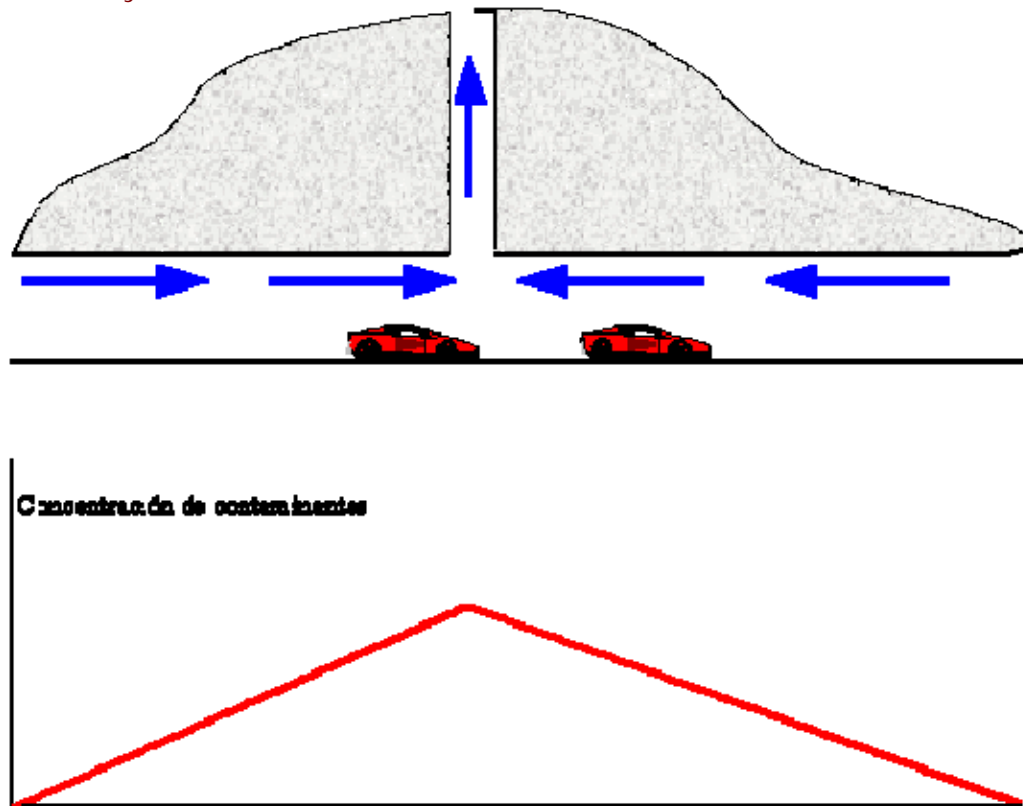
División Difusión y Comunicaciones

corriente suficiente de aire en el túnel. Suele emplearse solamente en túneles muy cortos (no superior a 300 metros) ya que no existe ningún control sobre la ventilación en caso de accidente.



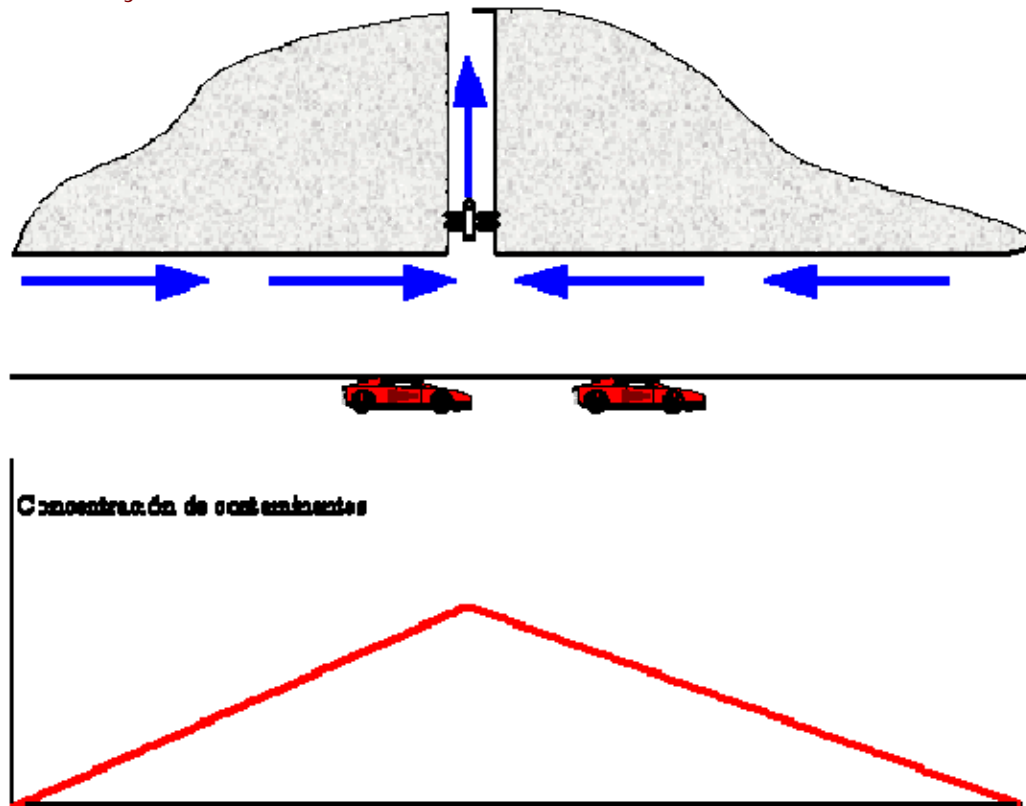
5.1.2 Ventilación longitudinal natural con pozo

Este sistema, prácticamente en desuso, es muy similar al longitudinal natural pero se potencia el efecto atmosférico creando un pozo de ventilación gracias al cual, debido al efecto atmosférico, parte del aire viciado se extrae del túnel. De esta forma, manteniendo la misma concentración máxima admisible se dobla la longitud del túnel permitida. Sin embargo, en caso de algunas circunstancias meteorológicas pueden aparecer funcionamientos incorrectos del sistema.



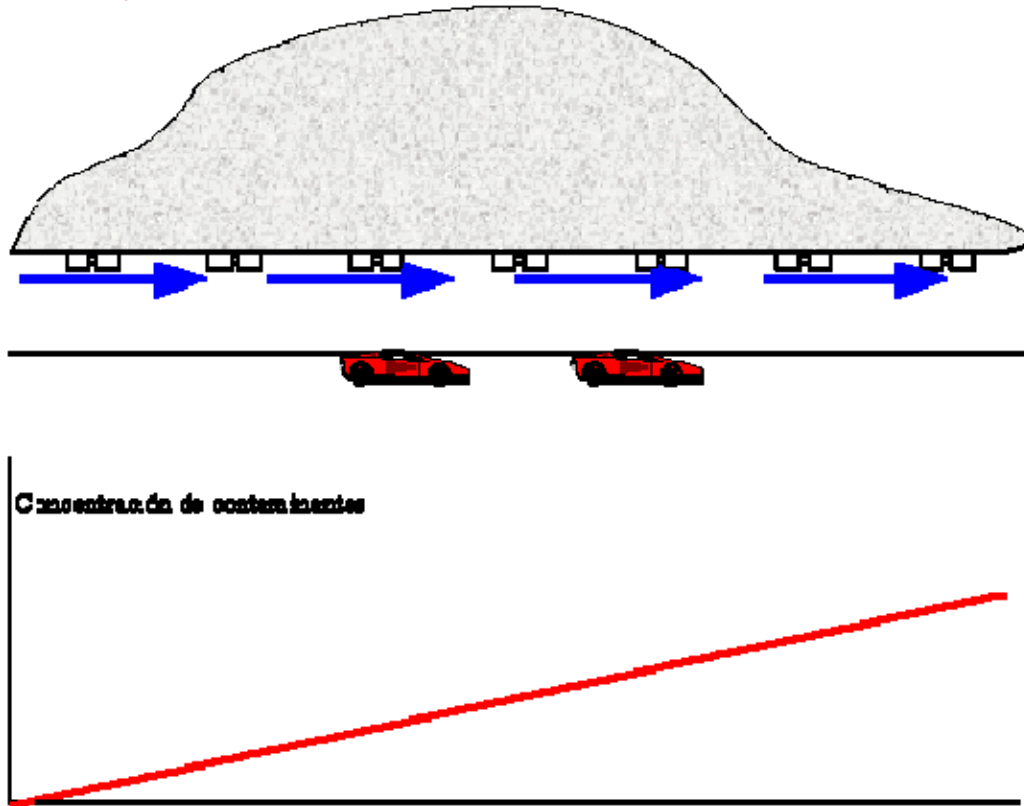
5.1.3 Ventilación longitudinal con ventiladores en pozo

Partiendo del concepto anterior este sistema permite el control correcto del flujo de aire con contaminantes en la dirección deseada. Es posible tener configuraciones en las que a través del pozo se sople aire fresco o se aspire aire viciado. En cualquier caso, el segundo tipo es más favorable ya que evita las molestias de un fuerte chorro en la mitad del túnel y en zonas urbanas no sale aire contaminado a través de las bocas.



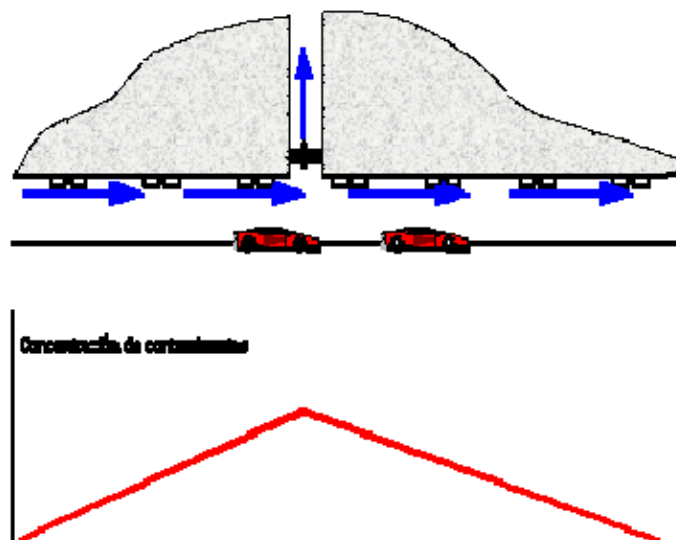
5.1.4 Ventilación longitudinal por ventiladores de chorro

En este tipo de túneles se disponen pequeños ventiladores de chorro situados a lo largo del túnel los cuales generan una corriente longitudinal de aire en el mismo. 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. En túneles bidireccionales es muy conveniente que los ventiladores sean de tipo reversible para facilitar el control de los humos en caso de incendio. Su gran ventaja es un reducido coste tanto inicial como de explotación.



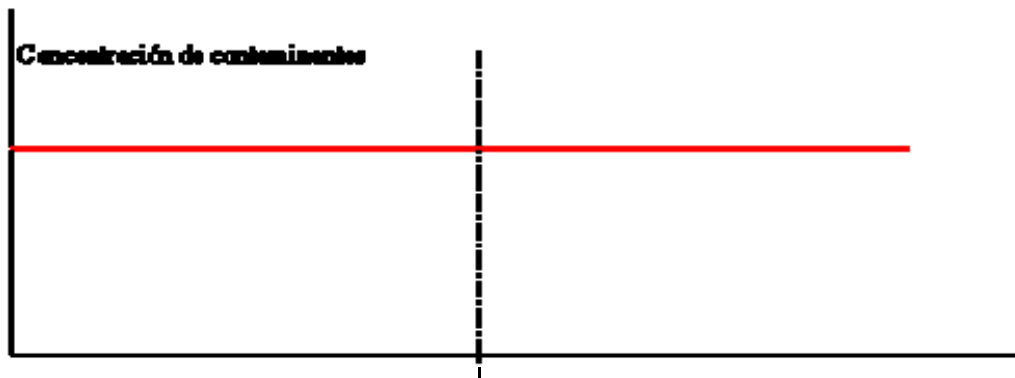
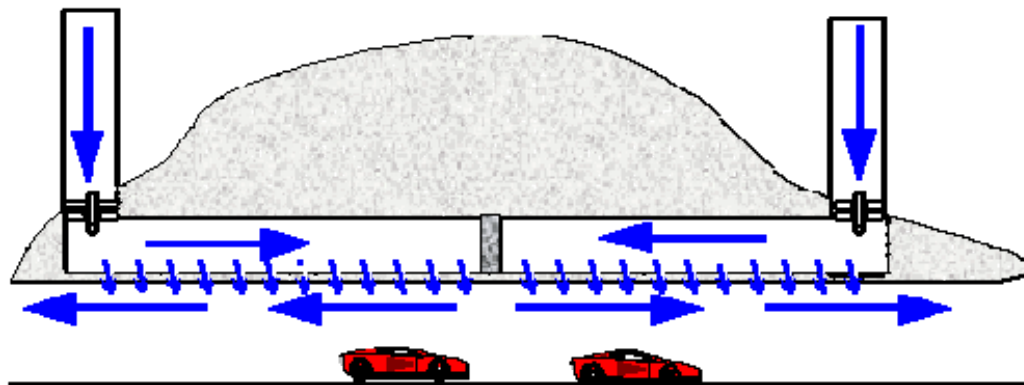
5.1.5 Ventilación longitudinal por ventiladores en pozo y aceleradores

Es un sistema de ventilación que tiene la ventaja de que el pozo de extracción permite doblar la longitud máxima del túnel y a la vez controlar la nube de contaminantes en caso de incendio.



5.1.6 Ventilación semi-transversal con inyección de aire fresco

Con este tipo de ventilación se pretende dar a cada zona del túnel la cantidad de aire fresco necesario para diluir los contaminantes que allí se producen. El aire fresco se introduce a lo largo de todo el túnel a través de una serie de aberturas que comunican un conducto auxiliar con el túnel. El conducto auxiliar habitualmente va situado en un falso techo del túnel. El aire contaminado sale a través de las bocas. Para prevenir el caso de incendio este tipo de ventilación puede estar preparada para invertir el sentido del aire y pasar a una aspiración a lo largo del túnel o en zonas localizadas. Para ello se disponen trampillas que se pueden abrir o cerrar según el caso.



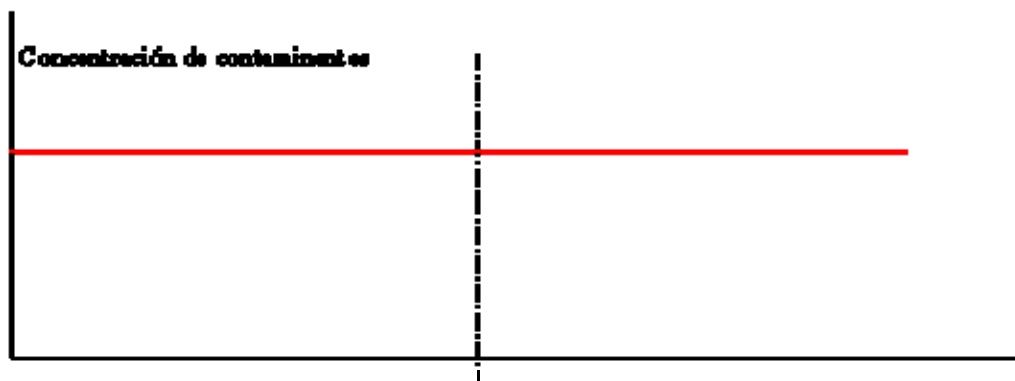
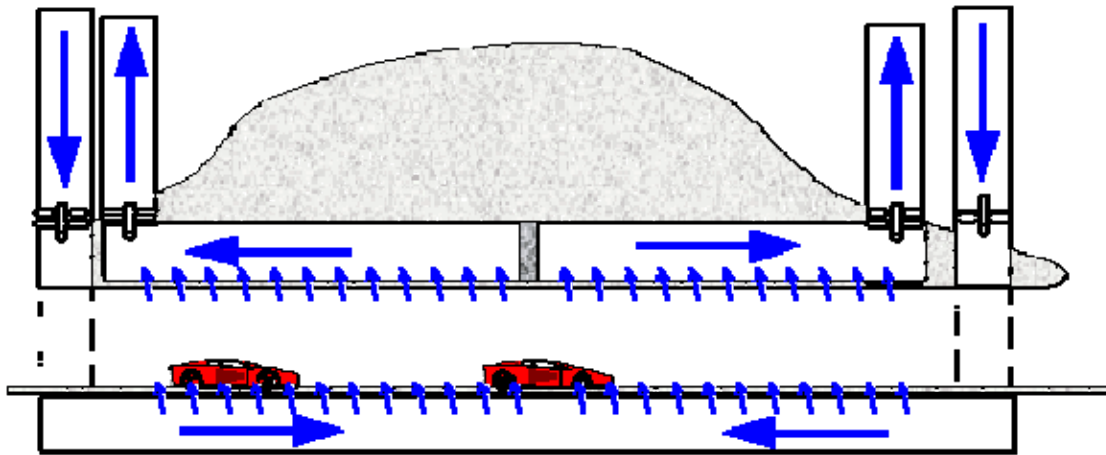
5.1.7 Ventilación transversal total

Con este tipo de ventilación cada tramo del espacio de tráfico debe recibir exactamente la cantidad de aire fresco necesario para diluir las materias nocivas producidas. Igualmente, el sistema debe ser capaz de extraer aire viciado con el fin de que en el túnel no se produzca ninguna corriente longitudinal dentro del espacio del tráfico. El aire fresco se suele repartir mediante aberturas situadas al nivel de la calzada o en la parte superior

División Difusión y Comunicaciones

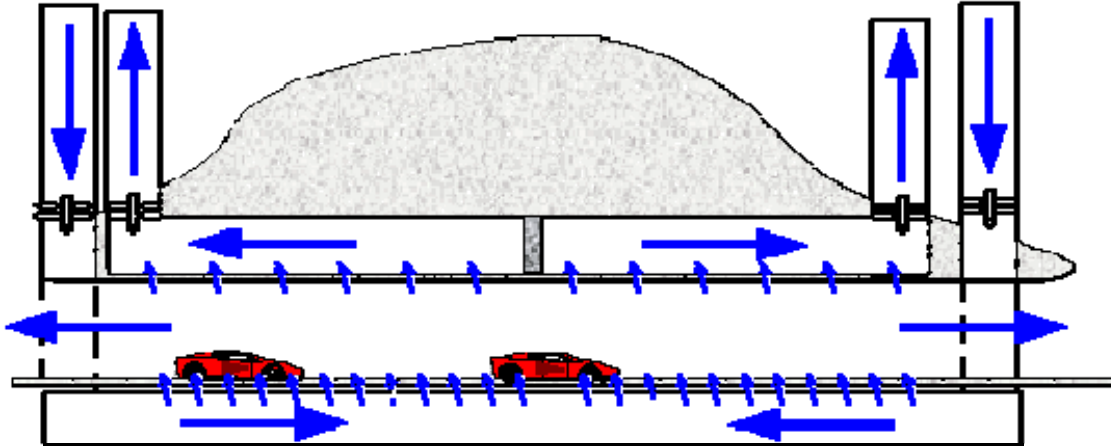
mientras que el aire viciado se extrae por la parte superior del túnel. Las aberturas para la extracción de aire viciado deben situarse siempre en la parte superior del túnel para permitir la extracción de los humos en caso de incendio.

Este es probablemente el sistema de ventilación más completo aunque conlleva los mayores gastos tanto de instalación como de mantenimiento y explotación. Existen dudas también sobre su capacidad para 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.



5.1.8 Ventilación pseudo-transversal

La ventilación pseudo-transversal está basada en la transversal total con la diferencia de que la cantidad de aire extraído es menor que la del aire inyectado, saliendo por las bocas la diferencia entre ambos. Esto permite reducir los gastos de explotación y de construcción al dimensionarse los conductos de extracción para un menor caudal. Sin embargo, la capacidad del sistema de extracción en caso de incendio se ve reducida.



5.1.9 Mixtos

A la hora de llevar a la práctica estos principios las limitaciones económicas, de espacio o simplemente las peculiaridades de cada túnel obligan a buscar soluciones intermedias. Una alternativa interesante consiste en diferenciar el funcionamiento del túnel en caso de servicio y en caso de incendio. Por ejemplo, una distribución de tipo longitudinal mediante aceleradores puede completarse con un sistema de extracción con trampillas telecomandadas para los casos de incendio.

5.2 Ventilación secundaria

Existen otros conjuntos de ventilación a los que se presta a veces menos atención que a los anteriores aunque son fundamentales en el funcionamiento del túnel especialmente para los casos de incendio.

5.2.1 Refugios y nichos

Para túneles de gran longitud se considera imprescindible la disposición a lo largo del túnel y a unas distancias no excesivas de locales en los que los usuarios puedan utilizar en caso de incendio. Hay dos tipos distintos de locales que deben cumplir la misión de salvaguardar temporalmente a los usuarios: los nichos y los refugios.

Los nichos, de reducidas dimensiones están pensados para albergar a una o dos personas y en ellos se sitúan instalaciones de seguridad como los postes SOS o los hidrantes para los servicios de emergencia. Su uso es de duración limitada y, aunque se ventilan, no suelen someterse a grandes exigencias de tiempo en relación con su resistencia al fuego.

Los refugios, en cambio, son locales de dimensiones mayores con capacidad para un número más elevado de personas donde guarecerse en caso de incendio hasta la llegada de los equipos de rescate. Por ello deben estar dotados de un sistema de ventilación suficiente para las personas

División Difusión y Comunicaciones

que vayan a permanecer además de generar una ligera sobrepresión para impedir la entrada de humos al local.

Generalmente se exige que estos refugios tengan una salida diferente a la entrada para evitar su conversión en trampas mortales.

Normalmente, estos locales tienen un sistema de ventilación independiente del sistema principal que se alimentan mediante tuberías dispuestas en la calzada a lo largo de todo el túnel. Las estaciones de ventilación que sirven estos conductos poseen ventiladores que en caso de incendio actúan al máximo de su capacidad y en caso de servicio garantizan un aporte de aire "de limpieza".

5.2.2 Locales técnicos

Otros locales que están habitualmente dispuestos en el interior del túnel son los locales técnicos para los transformadores de los sistemas eléctricos que dan servicio a instalaciones como la de iluminación del túnel, dispositivos de señalización, detectores de CO y humos, etc. El calor generado por los transformadores se disipa mediante sistemas de ventilación independientes que operan de modo automático cuando la temperatura de estos recintos se incrementa.

5.3 Tipos de ventiladores

El ventilador es una turbomáquina que absorbe energía mecánica en el eje y la emplea en transportar gases a unas presiones suficientemente bajas para poder considerarlo incompresible.

Los ventiladores se clasifican en función de la dirección del flujo en el rodete como axiales si el flujo sale en la dirección del eje de giro del rodete o centrífugo (de flujo radial) si el flujo sale en dirección normal a aquél. Dentro de los ventiladores axiales existen dos configuraciones diferentes empleadas habitualmente en túneles, los ventiladores axiales de gran potencia y los ventiladores de chorro.

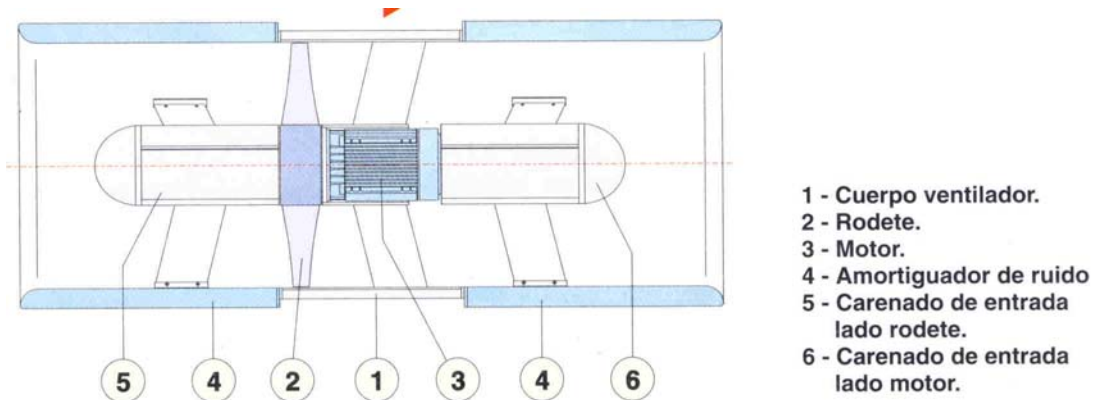
5.3.1 Ventiladores de chorro

Este tipo de ventiladores a los que, también se denomina aceleradores son los empleados típicamente para los sistemas de ventilación longitudinal. Estos equipos constan de un núcleo central donde va situado el rodete el cual sirve de soporte a los álabes, fijos, que se acopla el eje de giro del motor eléctrico. El conjunto se completa con silenciadores que se acoplan a ambos lados del ventilador para reducir el ruido producido. Estos ventiladores pueden ser reversibles o unidireccionales en función del tipo de álabe empleado y la capacidad del motor de invertir su sentido de giro.

Los aceleradores se colocan dentro del túnel (habitualmente en el techo, aunque en casos de gálibo reducido se acoplan a las paredes laterales)

División Difusión y Comunicaciones

aportando la energía necesaria al fluido para mover el aire en el interior del túnel. La velocidad de giro de este tipo de ventiladores es normalmente constante y por tanto el caudal impulsado y la cantidad de movimiento aportada. La regulación necesaria se consigue aumentando o disminuyendo el número de ventiladores encendidos simultáneamente.



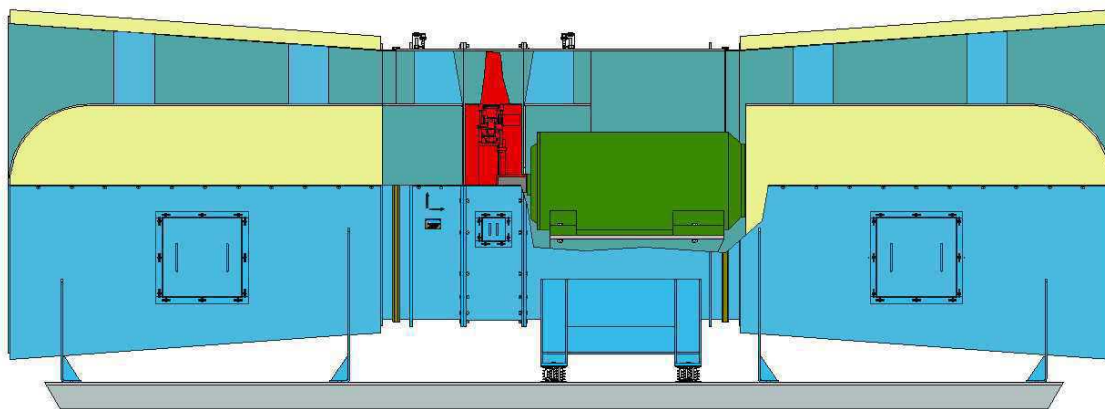
5.3.2 Axiales de gran potencia

Los ventiladores axiales de gran potencia son los empleados habitualmente en los sistemas de ventilación parcial o completamente transversal. La gran diferencia con los ventiladores de chorro es que ocupan toda la sección del conducto de ventilación, con lo que trabajan según una curva de funcionamiento que relaciona la presión aportada frente al caudal que lo atraviesa.

Existen varios sistemas de regulación de la curva característica de la instalación aunque los más empleados en la ventilación de túneles son dos: la modificación del ángulo de los álabes del rodete y la regulación de la velocidad de giro del motor mediante variadores de velocidad. O una combinación de ambas.

El punto de funcionamiento en el que trabajará el ventilador se determina mediante el estudio de la variación de presión en el conducto (curva característica de la instalación) y de la curva de funcionamiento del ventilador.

Los rendimientos de este tipo de ventiladores suele ser bastante elevados (80-85%) en su punto de funcionamiento óptimo.

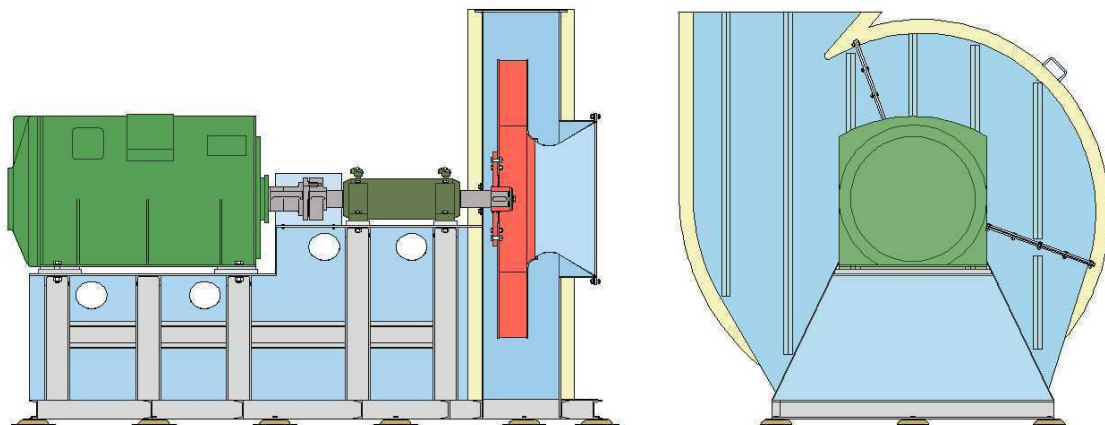


5.3.3 Centrífugos

Los ventiladores centrífugos son un tipo de ventiladores radiales. Normalmente se emplean para generar grandes presiones con caudales reducidos por lo que es especialmente utilizado en la ventilación de locales técnicos y refugios de seguridad ya que el caudal a aportar no es grande pero las pérdidas de carga de la instalación es elevada (grandes longitudes de conductos suficientemente pequeños para poder situarlos bajo la calzada)

La curva de funcionamiento de estos ventiladores es similar a la de los ventiladores axiales de gran potencia aunque normalmente no requieren emplear sistemas de regulación tan refinados como estos por los que, a lo sumo, se les suele dotar de sistemas de funcionamiento a dos velocidades distintas para cubrir los regímenes de servicio o incendio.

Los rendimientos de este tipo de ventiladores son menores que los axiales alcanzándose valores cercanos al 70%.



6 Sistemas de detección

El sistema de ventilación depende en gran medida del seguimiento de los parámetros que intervienen en su control para poder intervenir de forma correctiva y preventiva para asegurar el cumplimiento de los niveles de calidad del aire exigidos. Para ello se emplea un numeroso tipo de equipos que permiten monitorizar el comportamiento del túnel.

6.1 Control de aforo

Desde el punto de vista de la ventilación es fundamental conocer el número, sentido y comportamiento de los vehículos dentro del túnel, tanto por la influencia del efecto émbolo en el sistema de ventilación como por la información que puede aportar para la detección de incidentes dentro del túnel. Uno de los sistemas más empleados para el control de aforos es la colocación de espiras bajo la calzada, de forma que se registra no sólo el número de vehículos que circulan por aquélla sino la velocidad de éstos.

6.2 Opacidad

En el túnel se generan gran número de partículas suspendidas en el aire que absorben la luz existente reduciendo la visibilidad. El principal portador de partículas en el túnel es el humo de los motores Diesel, sin embargo, cada vez se está estudiando más el polvo generado por el desgaste de los neumáticos y de la carretera. Otro factor a tener en cuenta en la reducción de visibilidad por la opacidad es la niebla.

Para cuantificar la opacidad se mide el debilitamiento de un haz luminoso sometido a la atmósfera del túnel en función de la distancia atravesada por aquél. Esta determinación se realiza empleando la ley de Beer Lambert según la cual:

$$f = f_0 \cdot e^{-kL}$$

donde f es el flujo luminoso a la salida, f_0 el flujo luminoso a la entrada, L la longitud atravesada por el flujo y k el llamado coeficiente de extinción.

Otra magnitud usada habitualmente es la densidad óptica relacionada con el coeficiente de extinción según:

$$k = OD \cdot \ln(10) = 2.3 \cdot OD$$

Existen distintos aparatos para la medición de la opacidad del aire en un túnel que pueden diferenciarse según:

- Sistemas de medición directa: Estos aparatos emplean directamente el principio de la debilitación del rayo de luz por la atmósfera del aire. Para medir correctamente es necesario que un haz de luz de unos 100 metros de longitud atraviese el aire lo que dificulta su instalación y mantenimiento.

División Difusión y Comunicaciones

- Sistemas de medición por difusión: Este tipo de aparatos aprovechan la difusión de luz que provocan las partículas del aire. En estos equipos, se aspira una corriente de aire del tubo del túnel y se lleva al aparato medidor. Este flujo de aire genera en el rayo de luz la llamada luz dispersa de las partículas. La mayor desventaja de este sistema de medición es la inestabilidad de la medida debido al envejecimiento y ensuciamiento de la óptica y las fotocélulas.
- Sistemas de medición por difusión compensados por puente de Wheatstone óptico: Similares a los anteriores, el puente de Wheatstone óptico permite compensar las posibles variaciones de tensión y señal, envejecimiento de los elementos, etc.

6.3 CO

El CO es un gas de alta toxicidad, no irritante, incoloro e inodoro cuya presencia no es detectable por los sentidos de los seres humanos. El efecto tóxico se basa en la unión reversible con la hemoglobina de la sangre formando la carboxihemoglobina (COHb) la cual impide el intercambio de oxígeno entre los glóbulos rojos y el aire.

Para el control de la concentración de CO se emplean tres tipos de fenómenos: absorción de la radiación infrarroja, combustión catalítica y oxidación electroquímica. Sin embargo, el más empleado es el tercer sistema que se basa en la tonalidad térmica debida a la oxidación catalítica del CO. Una bomba de membrana introduce aire a través del aparato. El aire filtrado es calentado mediante una resistencia, de tal forma, que si el aire contiene CO se produce una sobretemperatura al transformarse por oxidación catalítica el CO en CO₂. El exceso de temperatura es convertido en una señal de tensión que se puede registrar.

6.4 Velocidad y sentido del aire

Además del valor de la velocidad del aire en el interior del túnel es interesante conocer el comportamiento del aire en las proximidades de las bocas del túnel. Por ese motivo, se suelen instalar estaciones meteorológicas que registran el valor de la velocidad mediante un anemómetro de cazoleta (la medida se obtiene a través de la velocidad de giro respecto de su eje de una serie de cazoletas movidas por el aire) y el sentido mediante una veleta, así como las presiones barométricas.

En el interior del túnel se pueden emplear también anemómetros de cazoleta pero son más apropiados los anemómetros de rueda alada que permiten determinar el sentido de circulación del aire y el valor se da con mayor precisión. Estos aparatos consisten en un marco circunferencial con una pequeña y ligera turbina cuyos álabes giran al paso del aire generando una corriente eléctrica continua de intensidad proporcional a la velocidad del aire.

División Difusión y Comunicaciones

Existen anemómetros electrónicos basados en la modificación del tiempo de tránsito de una onda de ultrasonidos entre dos puntos que formen un ángulo determinado con el flujo. La onda que circula en el mismo sentido que el flujo tarda menos tiempo en recorrer un mismo camino que la enviada en sentido contrario. La diferencia de tiempos permite determinar la velocidad del aire en el túnel. El coste de este tipo de equipos es superior pero presenta una mayor fiabilidad en el valor medido.

6.5 Sistemas de detección de incendio

En caso de incendio, uno de los aspectos más importantes para poder actuar de forma rápida y precisa es disponer de un sistema capaz de localizar la posición del incendio en el interior del túnel.

Un método muy empleado para la medición lineal de temperatura es un cable sensor detector colocado a lo largo de todo el techo del túnel y que compara la temperatura en cada punto del túnel con la temperatura tipo en su interior. Otro método, más sofisticado consiste en un cable de fibra óptica a través del cual circula un haz láser y permite medir la vibración producida por la temperatura a lo largo del cable. Los cambios de temperatura son recibidos por un detector que permite localizar el punto del incendio y su evolución a lo largo del tiempo.

6.6 Circuito cerrado de televisión

La disposición de un circuito cerrado de televisión permite a los operarios del centro de control realizar una observación continua del estado del tráfico en el túnel. La imagen recibida a través de la matriz de cámaras es llevada a un centro de control donde el operario puede centrarse en la zona de observación.

6.7 Sistemas de detección de incidentes

Los modernos sistemas de procesamiento de la imagen permiten analizar en tiempo real el comportamiento del tráfico en el interior del túnel empleando programas que verifican la creación de colas en el interior del túnel detectando procesos de retención que pueden indicar la existencia de un accidente. El programa activa en caso de considerarlo oportuno los sistemas de alarma que llamen la atención del operario del centro de control.

7. Equipamientos de seguridad

Otros equipamientos de seguridad que se suelen disponer en el túnel son los siguientes:

- Postes SOS
- Extintores
- Hidrantes
- Iluminación de emergencia
- Sistemas de radiocomunicaciones
- Megafonía
- Señalización vertical y horizontal

- Hilo radiante
- Otras

8. Dimensionamiento rápido de sistemas de ventilación en régimen permanente

Los estudios en situación de régimen permanente permiten realizar un pre-dimensionamiento del sistema de ventilación sobre el que apoyar la construcción del túnel. Hay que tener en cuenta que las distintas instalaciones del túnel están profundamente relacionadas. A modo de ejemplo, una reducción no prevista inicialmente de la sección de los conductos de ventilación o en la longitud del túnel haría aumentar la potencia (y por tanto el tamaño) de los ventiladores, lo cual modifica el dimensionamiento de las estaciones de transformación y de la instalación del cableado. A su vez éstos harían necesario locales técnicos mayores y más ventilados lo que incrementa las necesidades de espacio en las bocas del túnel o en las estaciones intermedias de ventilación modificando la definición geométrica inicial. Este tipo de comportamiento cíclicos hace necesario disponer de herramientas de cálculo rápidas que, sin llegar a contemplar el comportamiento global del túnel permitan seguir un proceso de corrección.

El principio general para realizar este tipo de dimensionamiento es el siguiente:

- Un primer paso es la definición del sistema de ventilación a emplear. Esta fase que parece de gran sencillez y, sobre todo, básica para el resto de los cálculos, necesita el tanteo de soluciones intermedias con estudios multidisciplinarios.
- Un segundo paso consiste en definir la geometría de partida del túnel, sus características hidráulicas básicas, el tráfico esperado, unas condiciones climatológicas tipo entre las bocas y la influencia de otros efectos como el llamado "efecto chimenea" que está generado por diferencia de altura entre bocas y diferencias de temperatura.
- Para las condiciones de tráfico previstas se determina la emisión base de los vehículos y se corrige en función de la pendiente en el túnel, su altura media, la velocidad esperada de los vehículos, etc.
- En función de unos límites admisibles establecidos y teniendo en cuenta las emisiones ya determinadas se calcula las necesidades de caudal que debe aportar el sistema de ventilación.
- La práctica habitual para determinar la cantidad de aire necesario para ventilar el túnel en caso de servicio es considerar el caudal necesario para procurar 5 renovaciones por hora y por kilómetro de túnel.
- Con el caudal de aire determinado es posible calcular las pérdidas de carga que este caudal produce en el circuito hidráulico a estudiar.
- En caso de ventilación mediante aceleradores las pérdidas de carga producidas a lo largo del túnel deben ser vencidas por el empuje que los ventiladores de chorro introducen.
- Para los sistemas de ventilación transversal es necesario determinar la presión que deben aportar los ventiladores para ser capaces de inyectar el aire desde el exterior hasta el interior del túnel.

9. LÍNEAS DE TRABAJO Y EXPERIENCIA

Existe abundante experiencia internacional recogida en normativas y documentos relacionados con la seguridad frente al incendio en túneles, entre las que cabe citar:

- Japón; [PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE: "Road Tunnel Technology in Japan" Octubre 1991]
- Alemania; [RICHTLINIEN FÜR DIE AUSSTATTUNG UND DEN BETRIEB VON STRABENTUNNELN: Forschungsgesellschaft für Straben- und Verkehrswesen" 1994]
- Holanda; [ROYAL INSTITUTE OF ENGINEERS (KIVI) "Ventilation of Road Tunnels", 1991]
- Francia; [CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS (CETU) "Dossier pilote des tunnels - Document équipements - Section ventilation]
- Francia; LACROIX, D. "New French recommendations for fire ventilation in road tunnels" 1997
- Austria; [FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS VERKHER UND STRASSENWESEN (FVS) - RVS 9261, 9262 "Design guidelines tunnel ventilation", 1997]
- Países nórdicos; [NORDISK VEJTEKNISK FORBUND (NVF) "Ventilation of road tunnels" 1995
- Noruega; [PUBLIC ROADS ADMINISTRATION "Norwegian design guide - Road Tunnels" 1990]
- Suecia; [SWEDISH NATIONAL ROAD ADMINISTRATION "Tunnel 95 - General Technical Specification" 1996]

www.proteccioncivil.org/es

Enrique Alarcon

Ing. de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid - España