

INTRODUCCIÓN

La ventilación de los túneles puede realizarse tanto por medios naturales como mecánicos o forzados. La ventilación natural se produce por el flujo de aire generado por los vehículos en movimiento (efecto émbolo), por el viento exterior y por las diferencias de presión y temperatura en las bocas del túnel, que producen una corriente de aire a través del túnel. Los sistemas de ventilación mecánicos o forzados se basan en ventiladores para producir una corriente de aire y pueden utilizar conductos y trampillas para distribuirla. Con independencia de los equipos de ventilación mecánica deberá de tenerse siempre en cuenta la existencia, con mayor o menor intensidad, de las corrientes de aire naturales mencionadas.

La clasificación general de los sistemas de ventilación se realiza en función de la dirección del flujo de aire respecto a la del tráfico. Si la dirección de la ventilación sigue el eje del túnel, se clasifica como longitudinal, y si lo hace de forma perpendicular a éste, como transversal.

Algunos sistemas de ventilación se utilizan de la misma forma, tanto para el modo normal de explotación como para el de la gestión de humo en caso de incendio, mientras que otros lo hacen de forma diferente, por lo que una clasificación simple resulta a menudo inadecuada para realizar una descripción precisa de cada sistema específico. Así y a modo de ejemplo, en el supuesto de un túnel con un sistema de ventilación longitudinal para el modo de explotación normal y con extracción puntual de humo a conductos dotados de trampillas gestionadas remotamente en caso de incendio, el sistema debería ser conocido como “*longitudinal con extracción de humo localizada*”.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE AERODINÁMICA

La ventilación de los túneles se basa en la aplicación de uno de los dos siguientes principios:

- Dilución del aire contaminado/humos, o
- Captura y extracción del aire contaminado/humos.

La dilución es habitualmente un método eficaz para la explotación normal, en cuyo caso el objetivo es mantener la calidad del aire y de la visibilidad por encima del valor límite. Véase por ejemplo el informe de la AIPCR sobre *Túneles de Carretera: Emisiones de vehículos y demanda de aire para ventilación [9]*. A menudo es posible utilizar el mismo principio de ventilación para las condiciones de explotación normal con tráfico y de explotación normal para actuaciones de mantenimiento aunque con diferentes criterios para la calidad y la visibilidad del aire deseadas.

En situación de emergencia la gestión del humo se consigue perfectamente mediante la renovación del aire, por ejemplo mediante la extracción del aire y de los humos. Sin embargo, la dilución puede incrementar la sostenibilidad, por ejemplo mediante la reducción de la concentración de gases tóxicos. De esta forma el aire viciado se reemplaza por aire limpio o libre de humo, que puede introducirse en el túnel utilizando la ventilación forzada o a través de las bocas.

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Ventilación longitudinal

Los sistemas longitudinales aseguran un flujo de aire longitudinal a lo largo del eje del túnel. El aire puede ser introducido o extraído a través de un número limitado de puntos, tales como las bocas o los pozos de ventilación.

Un ejemplo de este tipo de sistema es el que utiliza ventiladores de chorro (jet) instalados en la clave del túnel para generar el flujo de aire a través del mismo (Figura 1).

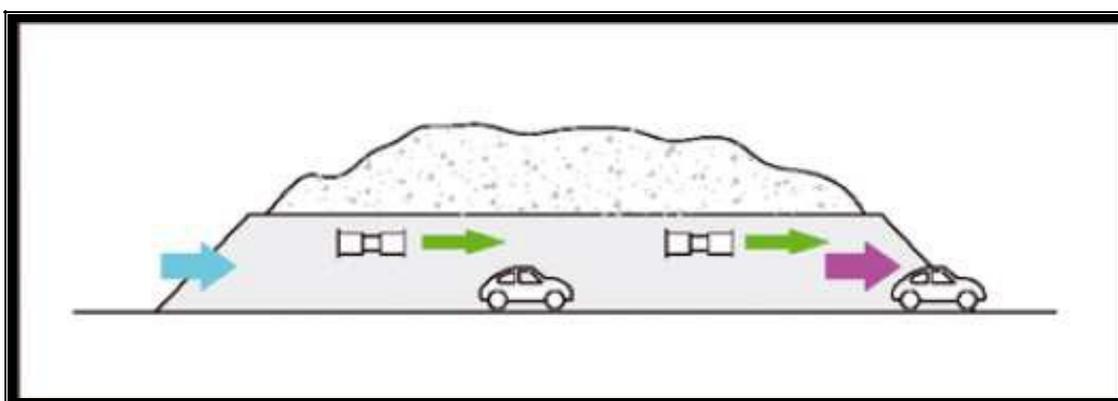


Figura 1. Ventilación longitudinal con ventiladores de turbina o chorro

La corriente de aire longitudinal igualmente puede ser producida por inyecciones puntuales de aire, por ejemplo desde un pozo de ventilación. Si no se fuerza la dirección con la inyección puntual del aire se puede generar un flujo longitudinal en ambas direcciones, por ejemplo hacia ambas bocas del túnel. Alternativamente, el inyector tipo Saccardo inyecta el flujo con un ángulo plano en el espacio destinado al tráfico a fin de facilitar una dirección de la corriente de aire en el túnel predefinida (Figura 2)

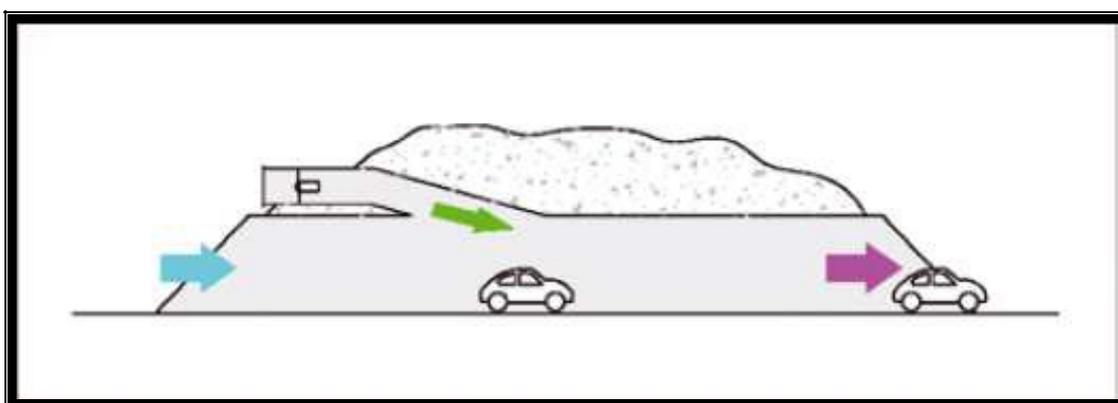


Figura 2. Ventilación longitudinal con inyector tipo Saccardo

Ventilación semitransversal

Habitualmente se conoce como sistemas de ventilación semitransversal a aquellos sistemas en los que, en condiciones normales de explotación, el flujo de aire es inyectado o extraído de forma repartida a lo largo de toda la longitud del túnel (Figura 3). Habitualmente, la extracción o inyección de flujo se realiza a caudal constante a lo largo del túnel. Al describir estos sistemas es importante distinguir si el aire es extraído o inyectado. En modo extracción, los sistemas semitransversales de

esta tipología no son eficaces para el control de humos.

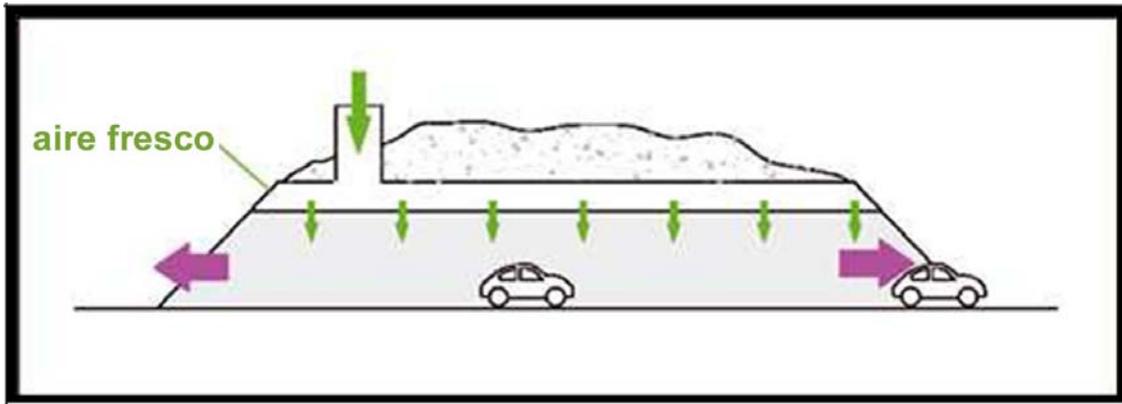


Figura 3. Ventilación semitransversal en condiciones de explotación normal. Inyección de aire fresco

Desarrollos recientes de los sistemas semitransversales utilizan trampillas exutorias controladas remotamente para realizar la extracción puntual de los humos (Figura 4). En este caso, únicamente se abren las trampillas cercanas al fuego, dejándolo el resto cerradas. De este modo se incrementa claramente la eficacia de la extracción si la velocidad longitudinal del aire puede controlarse desde el inicio del incendio mediante ventiladores de chorro (jet). El humo puede ser así extraído desde un punto cercano al fuego, evitando su esparcimiento y el inconveniente de los sistemas semitransversales tradicionales en los que la extracción del humo se realiza a través de secciones más largas del túnel.

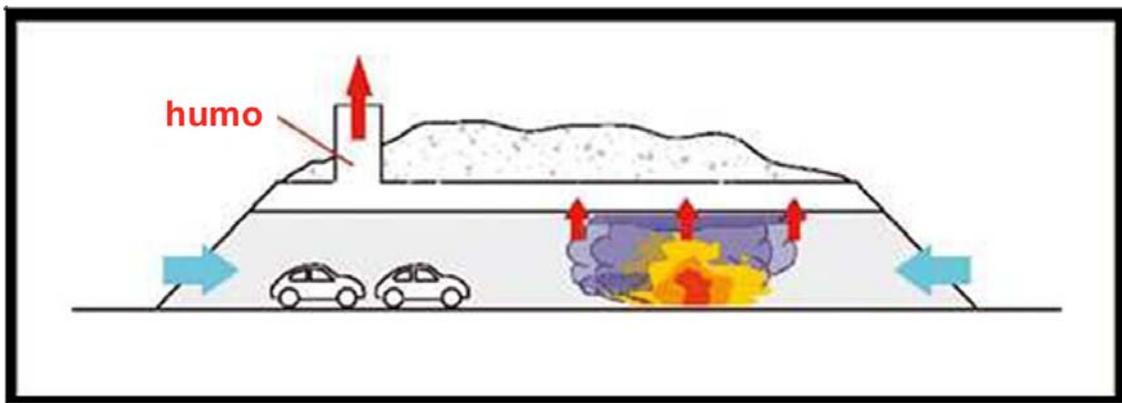


Figura 4. Ventilación semitransversal con trampillas exutorias operadas remotamente

(Nota: En caso de incendio, solo se abren las trampillas cercanas al fuego. Todas las demás permanecen cerradas).

Los sistemas de ventilación semitransversales pueden ser equipados con ventiladores reversibles que permiten la inyección de aire durante la explotación normal y la extracción en caso de incendio. Deberá evaluarse el tiempo que se precisa para invertir el modo de funcionamiento de los ventiladores en caso de emergencia, así como la eficacia global del sistema de control de humos. Para la extracción puntual del humo es necesario que las trampillas estén controladas remotamente. Para la extracción puntual masiva, véase el apartado “Extracción puntual masiva”.

Ventilación transversal

Los sistemas transversales utilizan un conducto de inyección para el aire fresco y otro de extracción para el aire contaminado, pudiendo así distribuir uniformemente tanto el aire en el túnel y como su extracción. Habitualmente el aire se inyecta a un nivel bajo, cerca de la calzada, y se extrae a lo largo del falso techo del túnel, lo que supone una ventaja para extraer el humo en caso de incendio (Figura 5)

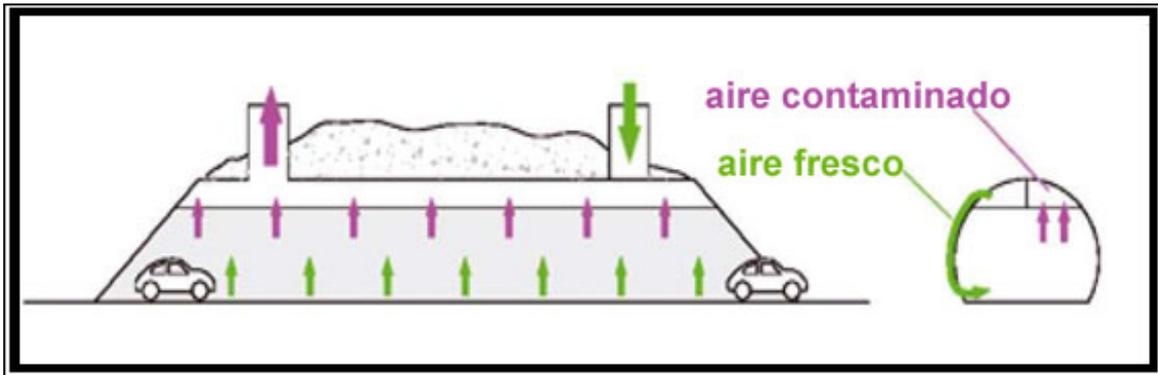


Figura 5. Sistema de ventilación transversal con suministro y extracción de aire uniforme

Recientemente, los sistemas transversales también han evolucionado incorporando trampillas controladas remotamente que permiten la extracción puntual del humo, ver Figura 6. El flujo de aire longitudinal puede ser controlado mediante ventiladores de turbina adicionales o con el empleo de la ventilación de los cantones adyacentes (en túneles largos con más de un cantón de ventilación), estableciendo una corriente de aire en la dirección necesaria mediante la utilización de diferentes regímenes de presión. En este último caso, debe realizarse un análisis dado que la inyección de aire fresco o la extracción pueden no ser suficientes para controlar la velocidad longitudinal a causa de la diferencia de presión entre las dos bocas. Durante un incendio, a menudo la inyección de aire fresco se reduce a lo largo del túnel para mantener la estratificación y crear una velocidad longitudinal hacia el fuego. Cuando exista la posibilidad, la inyección de aire fresco debe ser aún más restringida en el cantón del incendio.

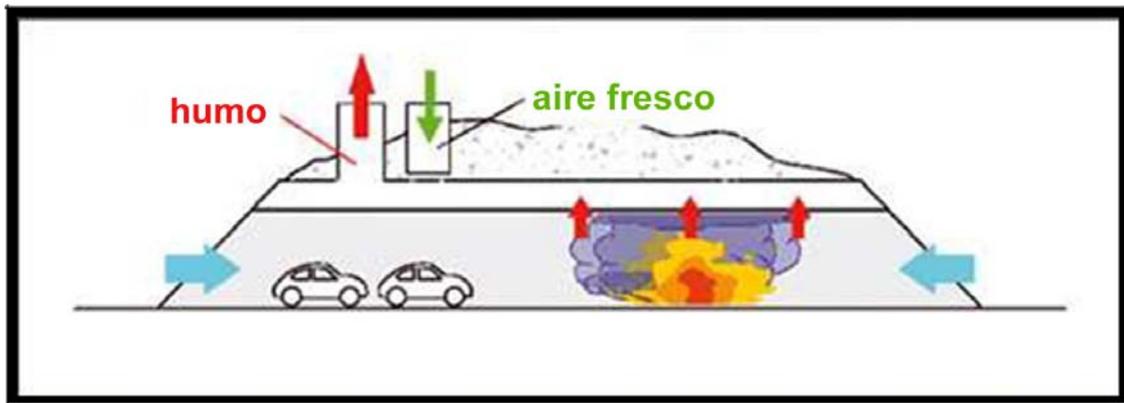


Figura 6. Ventilación transversal con trampillas exutorias operadas remotamente

(Nota: En caso de incendio, solo se abren las trampillas cercanas al fuego. El resto deben permanecer cerradas)

En algunos sistemas de ventilación transversal, los conductos de aire fresco pueden tener un ventilador reversible a fin de proporcionar capacidad de extracción adicional en caso de incidente.

Extracción masiva por un punto

La extracción masiva se lleva a cabo mediante la extracción de grandes cantidades de aire directamente a través de un punto fijo del túnel (ver 1999 AIPCR report [1], p. 181). La extracción por un punto puede crear un flujo de aire longitudinal desde las dos bocas del túnel hasta el punto de extracción (ver Figura 7), pudiendo ser necesario el uso de ventiladores de turbina adicionales para garantizar la creación del flujo de aire deseado.

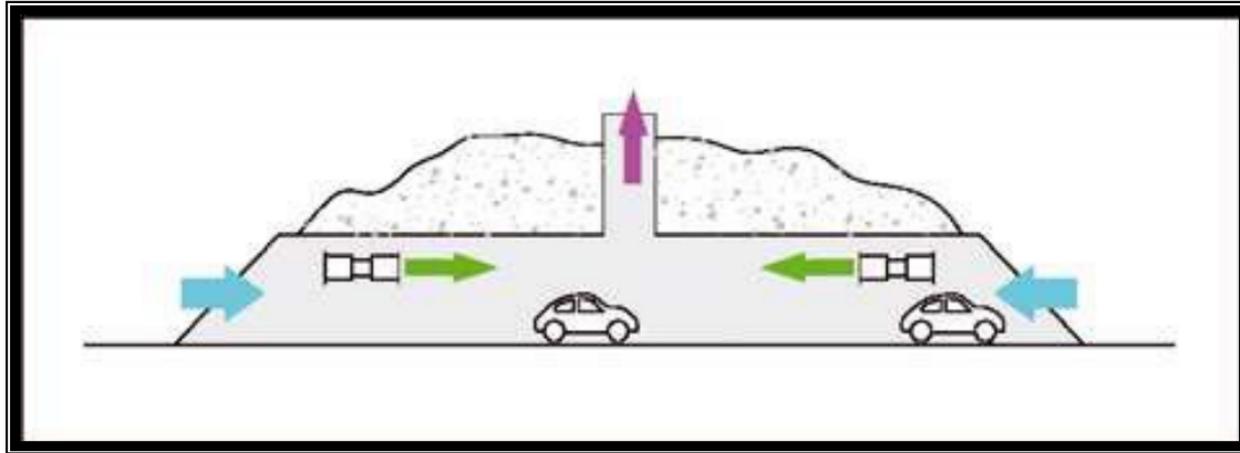


Figura 7. Sistema de extracción masiva por un punto

Sistemas de ventilación combinados

Un túnel puede incluir simultáneamente diversos sistemas de ventilación. Así un túnel a lo largo de su longitud puede estar dividido en varios cantones, unos equipados con ventiladores de chorro para ventilación longitudinal, y por ejemplo en otro en el que se utilice ventilación transversal. En tales casos los sistemas de ventilación de los cantones adyacentes a la localización del incendio se utilizan para optimizar la gestión de los humos.