

## ***11.6. SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN LOS TÚNELES.***

El movimiento de aire en el interior de un túnel, puede ser debido al resultado de la interacción de las fuerzas naturales o puede ser debido a la acción de los mecanismos de ventilación artificial con que esté equipado dicho túnel. Es por ello, que distinguiremos entre ventilación natural y ventilación artificial o forzada.

### ***11.6.1. Ventilación natural.***

La ventilación natural está siempre presente en todos los túneles y en ausencia de un sistema de ventilación artificial, es la que determina el sentido de circulación del aire en el interior de estos. La ventilación natural de un túnel, se debe a la interacción de los efectos que producen los tres factores siguientes:

- a) Diferencia de presión entre las bocas del túnel.
- b) Viento dominante en el exterior del túnel.
- c) Pendiente del interior del túnel.

Para comprender mejor dichos efectos, vamos a analizar los tres factores por separado.

#### ***a) Diferencias de presión entre las bocas del túnel.***

Cuando el aire exterior existente en las dos bocas del túnel posee una presión diferente, el aire circulará por el interior del túnel en el sentido de mayor a menor presión, es decir, de la boca cuyo aire exterior se encuentre a mayor presión hacia la boca cuyo aire exterior se encuentre a menor presión. En este caso, el movimiento natural del aire se produce por el equilibrado de presiones. Este comportamiento del aire, no es más que un comportamiento meteorológico que se presenta constantemente en la atmósfera.

La localización geográfica de las bocas, condiciona en gran medida la diferencia de presión a la que se encuentran. Esto es así por lo siguiente: durante el día, en los valles, debido a la mayor insolación recibida, se forman zonas de altas presiones en contraposición con las zonas en pendiente de las laderas de las montañas, las cuales al ser menos calentadas poseen menor presión. También, las bocas que se encuentren en solanas tendrán más presión que las que se encuentren en umbrías.

Por lo tanto es de esperar, que cuando el día se ha caldeado, las bocas que dan a los valles o estén en solanas, estén sobrepresionadas respecto a las bocas que están a media ladera o en umbrías y que por tanto, se establezca una circulación del aire de la boca del valle o en solana, hacia la boca situada a media ladera o en umbría.

Por el contrario, durante la noche, es probable que este sentido de circulación se invierta en las bocas situadas en los valles, debido a que el enfriamiento de los mismos es más rápido que en la montaña (por efecto de la mayor contrairradiación de estos al espacio).

**b) *Viento dominante en el exterior del túnel.***

Cuando existe viento en el exterior del túnel, el aire llegará a alguna de las bocas del túnel con una cierta velocidad. Si la dirección del viento es más o menos similar a la del túnel, el aire tenderá a penetrar por la boca a la que llega. Esto, producirá una circulación del aire en el interior del túnel, en el mismo sentido y dirección que el viento del exterior. Por lo tanto, el sentido de evacuación de humos en el interior de un túnel, puede estar condicionado por el viento reinante en el exterior del mismo.

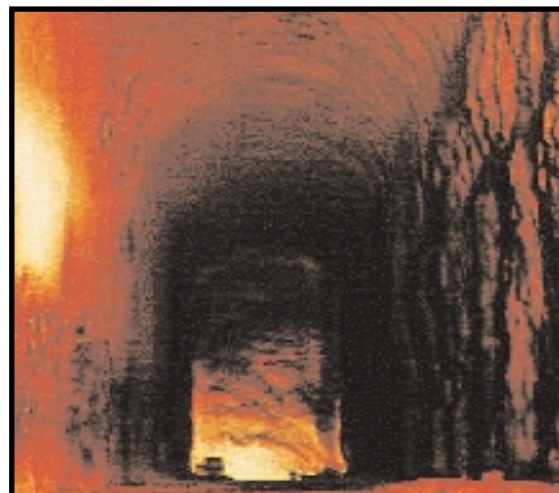
En el caso de presentarse un incendio dentro de un túnel, cuando existe en el exterior un viento de cierta magnitud, este puede condicionar totalmente el movimiento del humo.

**c) *Pendiente del interior del túnel.***

Si por cualquier circunstancia, el aire existente en el interior del túnel aumenta de temperatura, entonces el movimiento del aire seguirá un comportamiento convectivo, tendiendo por lo tanto a desplazarse pendiente arriba. Cuando la temperatura exterior es baja, el aire existente en el interior de los túneles suele estar más caliente que el del exterior (efecto abrigo), por lo que aquel, también tenderá a desplazarse pendiente arriba. El calor de los motores de los vehículos y los gases de combustión expelidos, también contribuyen a elevar la temperatura del aire en el interior del túnel.

De lo expuesto se deduce, que los movimientos convectivos pendiente arriba serán considerables en caso de presentarse un incendio y esto es algo que habremos de tener muy en cuenta a la hora de nuestra intervención.

En conclusión, debido a que la ventilación natural, se debe a la combinación de los tres efectos expuestos, el resultado final no se puede prever de antemano ya que, dependerá de las condiciones atmosféricas



*Túnel con ventilación natural y sin revestir*

que se den en cada momento y de si los efectos se suman o se contrarrestan. Así por ejemplo, un túnel en pendiente, en donde aparece un fuego, cabría esperar en principio que el humo se desplazara pendiente arriba, pero si la boca del túnel que está más arriba desemboca en un valle recalentado por el sol, lo más probable será que el humo descienda por la pendiente, para salir por la boca más baja. En este caso, el factor dominante habría sido, la diferencia de presión entre bocas.

El movimiento del aire natural en el interior de los túneles es tan importante, que a partir de una cierta longitud (más de 500 metros en general) se les dota de un mecanismo que calcula el sentido y la fuerza del viento en su interior. Este mecanismo, nos permite planificar mejor los pasos a seguir en caso de tener que intervenir en la extinción de un incendio.

### ***11.6.2. Ventilación artificial o forzada.***

Es la que se establece por la acción mecánica de ventiladores eléctricos. Puesto que el humo que se origina a consecuencia del tránsito de vehículos, supone un volumen de humos menor y son menos nocivos que los que se originan en un incendio, la ventilación forzada, se diseña hoy en día, o al menos debería ser diseñada, pensando en la evacuación del humo producido por un incendio.

Los sistemas artificiales que se utilizan para ventilar un túnel mecánicamente son los siguientes:

- a) Ventilación longitudinal simple.
- b) Ventilación longitudinal con toberas Saccardo.
- c) Ventilación longitudinal con pozo central de extracción.
- d) Ventilación transversal.
- e) Ventilación semitransversal.
- f) Ventilación semitransversal-transversal.

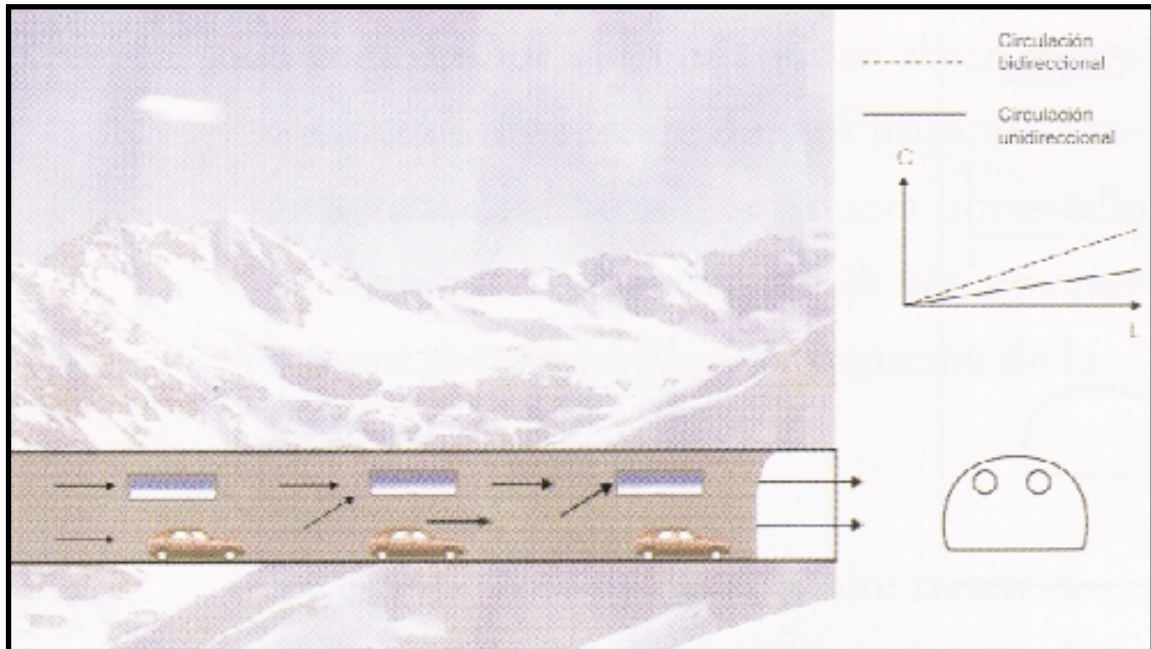
Vamos a ver en que consisten.

#### ***a) Ventilación longitudinal simple.***

Consiste en ventilar el túnel haciendo circular el aire en un único sentido a lo largo de todo él, de manera, que el aire que se succiona por una boca se expulsa por la otra. Esta ventilación, se consigue mediante la colocación de ventiladores axiales en la clave del túnel, separados a cierta distancia. Los ventiladores son reversibles, es decir que se puede cambiar el sentido del flujo del aire, con tan solo invertir el giro de los ventiladores.

Este sistema de ventilación no es adecuado para túneles largos, ya que el humo del incendio que se pretende extraer, realiza todo su recorrido por el

interior del túnel antes de ser expulsado, lo cual pone en peligro a los usuarios que han quedado detenidos en su interior. Igualmente, los humos de escape expelidos por los vehículos que transitan por el túnel, se acumulan progresivamente en dirección hacia la boca de extracción.



*Túnel con ventilación longitudinal simple*

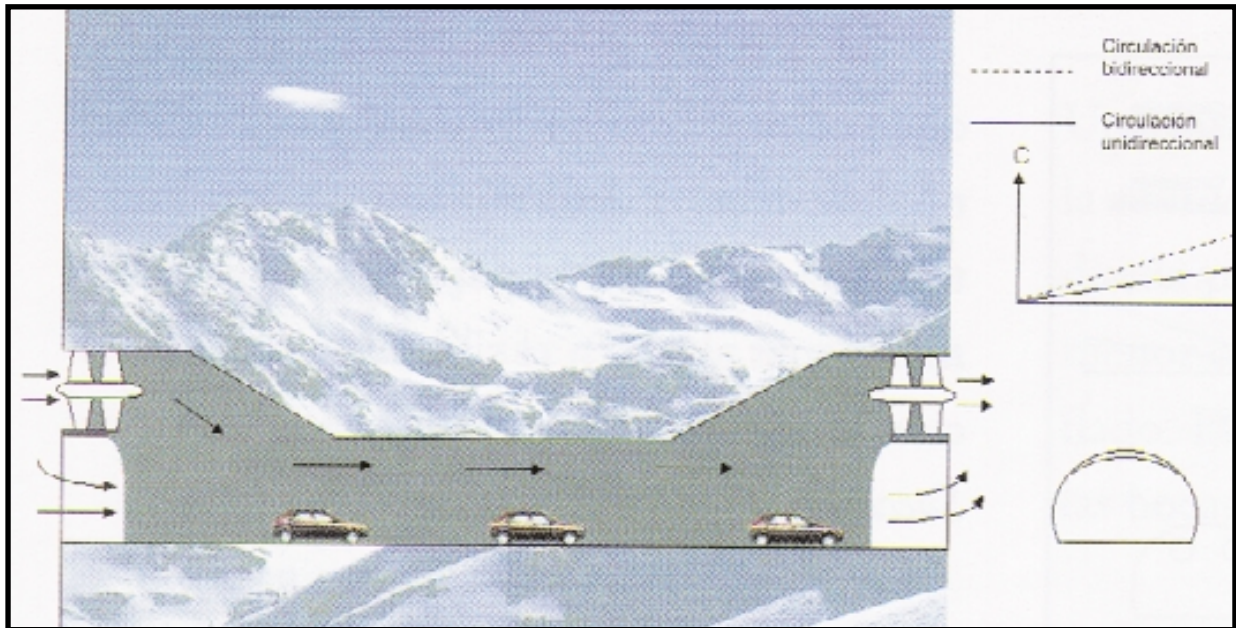
#### b) *Ventilación longitudinal con toberas Saccardo.*

Este sistema es similar al longitudinal simple, con la particularidad de que solo posee dos ventiladores o toberas, denominadas Saccardo, que van colocadas de forma especial. Al igual que antes, el sistema consiste en ventilar el túnel haciendo circular el aire en un único sentido a lo largo de todo él. Pero en este caso, el aire se succiona del exterior por una tobera, situada encima de la boca del túnel, que está provista de un ventilador grande. Este aire succionado, se inyecta en el interior del túnel por la parte superior de este, a través de una rampa que forma con el túnel un ángulo de unos 15 a 20 grados. Cuando llega a la otra boca, el aire es expulsado al exterior a través de otra tobera exactamente igual. Esta forma de inyectar el aire en el interior del túnel, origina algo de succión (por efecto venturi) en la boca del túnel en la que se encuentra la tobera inyectora, con lo cual, el aire que penetra en el túnel entra en parte por la boca de este y en parte por la tobera Saccardo. Lo mismo ocurre cuando el aire sale del túnel, es decir parte sale por la tobera y parte por la boca. Los ventiladores de las toberas son reversibles, lo que permite invertir el sentido del flujo de aire.



Con este sistema de ventilación, la acumulación de humos a lo largo del trazado del túnel, se produce exactamente igual que con el sistema de ventilación simple.

El sistema de ventilación longitudinal con toberas Saccardo, se ha dejado de considerar en los túneles de nueva construcción, pues ha resultado ser muy sensible a las resistencias debidas al movimiento natural del aire en el interior de los túneles (por diferencia de presión, viento exterior, etc.).



*Túnel con ventilación longitudinal con toberas Saccardo.*

**c) Ventilación longitudinal con pozo central de extracción.**

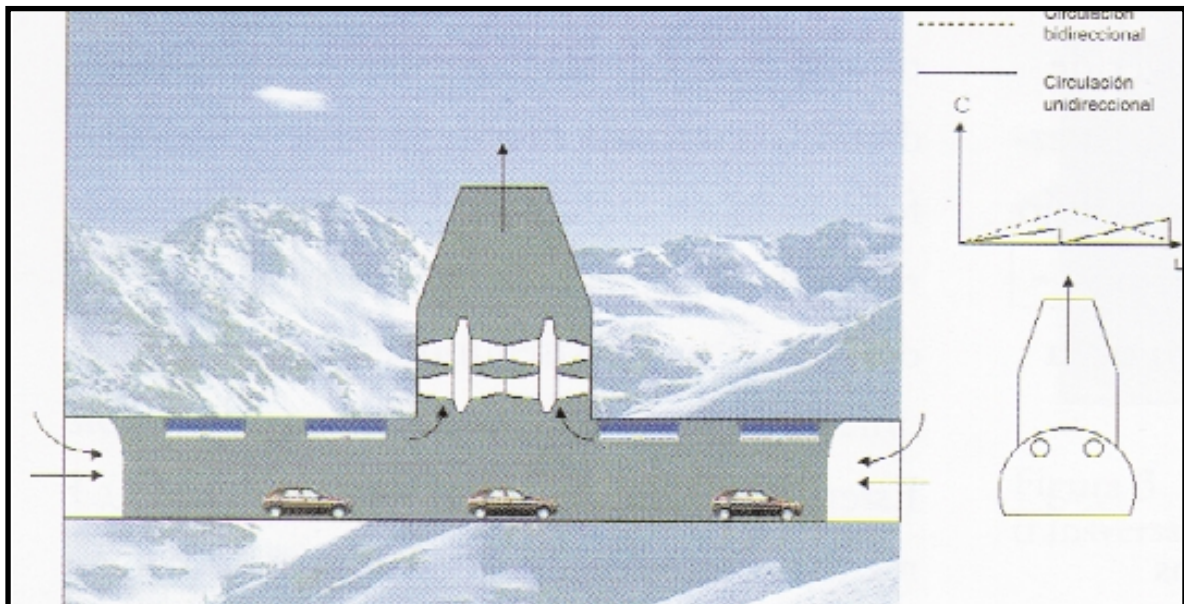
Este sistema consiste, en una combinación de la ventilación longitudinal, con una extracción central a través de un pozo. El aire limpio entra por las dos bocas del túnel en sentido opuesto, convergiendo en el centro, de donde es extraído hacia arriba, a través de un pozo que existe en este punto central que comunica con la superficie, funcionando como si fuera una chimenea.

La ventilación longitudinal se consigue, con ventiladores axiales colocados en la clave del túnel y la extracción en el punto medio se consigue, con un gran ventilador-extractor colocado en el pozo central, que impulsa el aire viciado hacia la superficie.

Este sistema, tiene la ventaja de que, en túneles muy largos y si la orografía lo permite, se pueden colocar varios pozos de extracción, sectorizando así el

túnel en tramos de circulación longitudinal, quedando estos así independizados del resto del túnel a efectos de extracción de humos. Con unos pozos bien dimensionados, si se produce un incendio, el humo y el calor sólo afectarán a un tramo o sector de túnel, quedando el resto sin problema alguno. En caso de incendio, cabe la posibilidad de avería en el ventilador-extractor del pozo central, puesto que todos los gases de combustión pasan a través de aquel. Sin embargo, como los pozos suelen ser verticales, o muy verticales, aunque el ventilador-extractor se averíe, el humo siempre tenderá a salir por efecto convectivo, comportándose el pozo como si fuera una chimenea.

Por último, hay que considerar, respecto de los sistemas de ventilación longitudinal expuestos, que aunque con ellos se puede conseguir variar el sentido y la velocidad del flujo de la ventilación natural, no siempre es posible hacerlo, pues esto depende de la intensidad con que se haya establecido la circulación natural de aire.



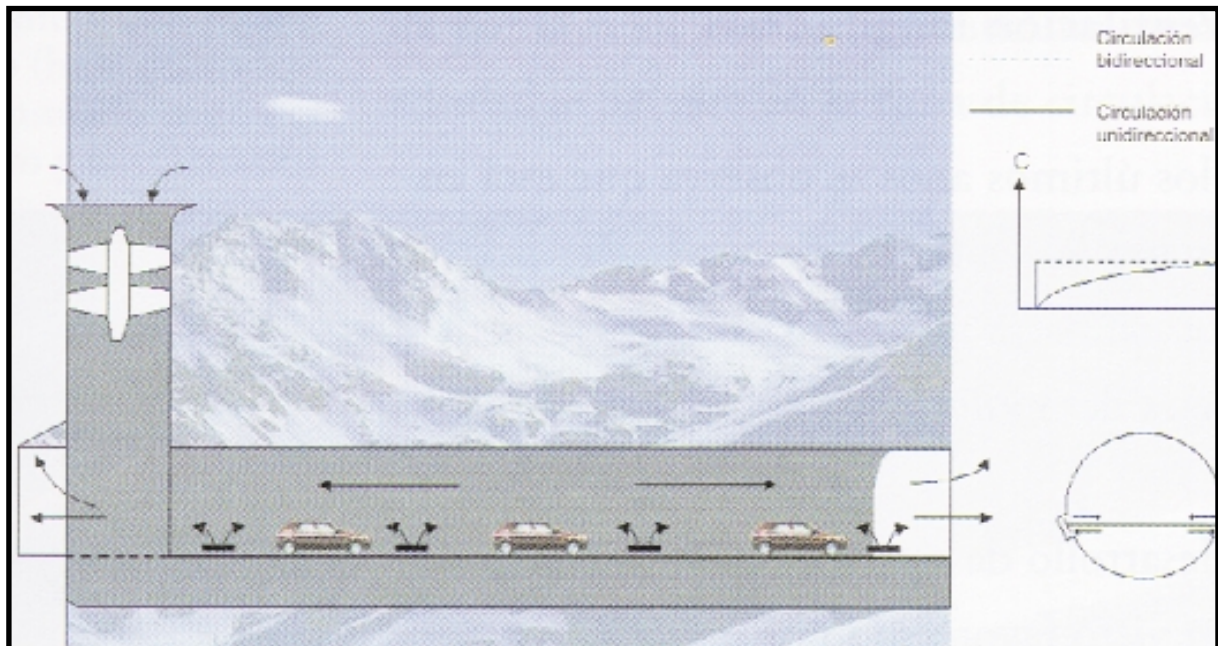
*Túnel con ventilación longitudinal con pozo central de extracción.*

#### d) *Ventilación semitransversal.*

Con este sistema, se mete aire limpio en el túnel, mediante un colector separado de la cavidad del mismo, que abastece varios ramales secundarios. Estos, comunican a su vez, con unos puntos de inyección de aire situados en el interior del túnel. Los puntos de inyección, suelen ser rejillas colocadas cada cierta distancia a lo largo de todo el túnel. El aire viciado, sale expulsado al exterior a través de las bocas del túnel, a causa de la sobrepresión creada por la inyección del aire.

Este sistema, precisa de un potente ventilador que sea capaz de suministrar el caudal de aire limpio necesario, a través del colector que alimenta las rejillas de inyección.

Con este sistema, el humo o aire viciado transita a lo largo de todo el túnel, al igual que con los sistemas de ventilación longitudinales, pero tendrá una concentración menor que en aquellos, puesto que el humo es diluido por el aire limpio que suministran los puntos de inyección.



*Túnel con ventilación semitransversal.*

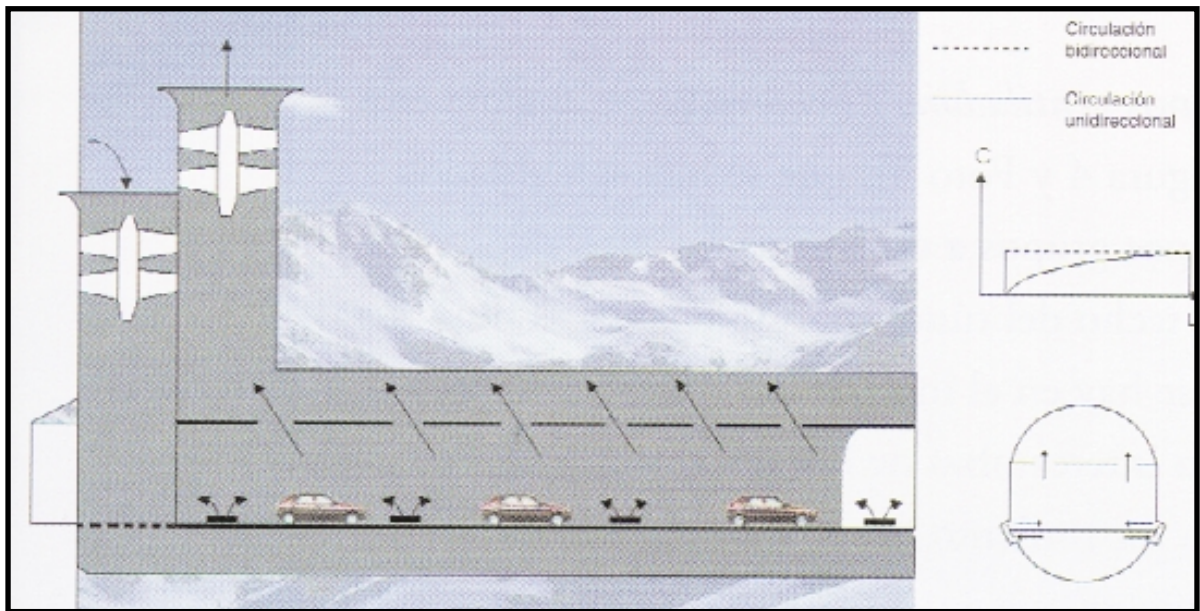
#### e) *Ventilación transversal.*

Este sistema de ventilación funciona, al igual que el de ventilación semitransversal, metiendo aire limpio en el túnel mediante un colector, independiente de la cavidad del túnel, que abastece varios ramales secundarios, que a su vez comunican con los puntos de inyección de aire del túnel. La diferencia con el sistema de ventilación semitransversal está, en que el humo o aire viciado, es succionado a través de unos puntos o rejillas, que comunican con un colector de recogida de humos. Este colector de humos es el encargado de sacar el aire viciado al exterior.

Tanto la inyección como la succión del aire, requieren de su correspondiente ventilador. Como es fácil deducir, en caso de incendio, el ventilador que succiona será el más vulnerable, puesto que todos los gases calientes



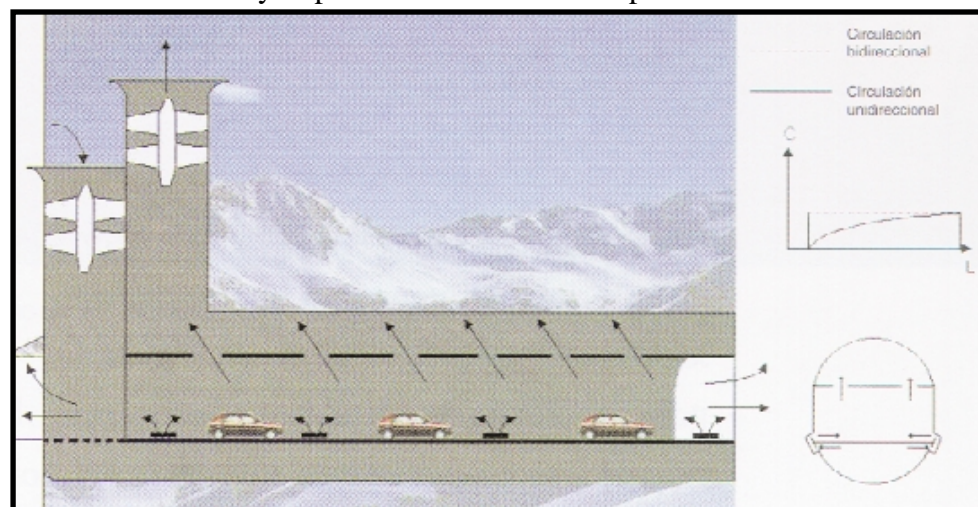
generados por el incendio, pasarán a través de él, cabiendo por lo tanto la posibilidad de que se averíe. Esta posible avería, dejaría al túnel en ventilación semitransversal, ya que los humos saldrían por las bocas.



*Túnel con ventilación transversal.*

**f) Ventilación semitransversal - transversal.**

A este sistema de ventilación, también se le denomina a veces "psedo-transversal". Es un sistema transversal en el que el caudal de succión del aire viciado es menor que el caudal del aire inyectado. Por lo tanto, funciona evacuando los humos a través de dos caminos: una parte de estos se recogen en el colector de succión y la parte restante se evacua por las bocas del túnel.





En la realidad, cuando se produce un incendio importante, los túneles equipados con un sistema de ventilación transversal, se comportan como si tuvieran un sistema semitransversal - transversal, debido a que no consiguen succionar todo el humo que se genera.

Los puntos de inyección de aire limpio, de los sistemas semitransversales y transversales, suelen estar en los hastiales del túnel a nivel de la calzada, mientras que los puntos de succión del aire viciado, están en la clave del túnel. A veces, también se coloca en los colectores de ventilación, un falso tabique, dividido en dos, que se adosa en la clave, de manera que tanto la inyección como la succión se realizan por la parte superior del túnel. El mejor sistema, es el que inyecta aire desde el nivel de la calzada y succiona a nivel de la clave, porque el aire resultante en el interior del túnel es más limpio..

#### *Ejemplos de realizaciones.*

El túnel carretero de *San Gotardo*, en los Alpes Suizos, tiene algo más de dieciséis kilómetros de longitud. Fue abierto al tráfico en 1980. Tiene tráfico en ambos sentidos y el sistema de ventilación es transversal, con colectores en falso tabique en la clave. Tanto el aire limpio como el viciado se inyecta y se succiona a nivel de la clave. El túnel, está dividido en cinco tramos de ventilación y en cada uno de esos tramos existe un pozo o chimenea, por donde se impulsa aire limpio del exterior y se extrae el viciado. De esta manera, cada pozo da servicio a un tramo de túnel diferente. El pozo más largo tiene casi milsetecientos metros de longitud. Posee una galería de seguridad para evacuación, que discurre paralela al túnel, la cual está comunicada con este a intervalos regulares (a través de las salidas de evacuación).

El túnel carretero del Montblanc, también en los Alpes, que comunica Francia con Italia, tiene una longitud de casi trece kilómetros. Fue abierto al tráfico en el año 1965. Tiene tráfico en ambos sentidos y el sistema de ventilación es transversal, con los colectores de aire bajo la calzada. El aire limpio se inyecta a nivel de la calzada y el viciado se succiona a nivel de la clave.