

## RESPUESTA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE LA VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO

### INTRODUCCIÓN

Este apartado describe los principios de control de la ventilación en caso de incendio. De forma general, para la gestión de un incidente de tráfico ver el informe de la AIPCR: *Sistemas de Gestión de Incidentes de Tráfico en Túneles de Carretera*<sup>4</sup> [16]

El sistema de control debe proporcionar una respuesta del sistema de ventilación ante el advenimiento de un incidente dado, que se basará en la información proporcionada por diversas fuentes en el interior del túnel. Las informaciones son analizadas y validadas y la respuesta de la ventilación se activará de forma automática, semiautomática o manual:

- En control automático no hay ninguna intervención del operador del túnel. No obstante, éste puede intervenir en el proceso.
- En un sistema semiautomático, el operador elige y lanza el procedimiento para la evacuación del humo. Cuando arranca, los equipamientos del sistema de control de humo actúan de acuerdo a un procedimiento establecido, asociado a los objetivos definidos por el operador del túnel.
- En los sistemas manuales, el operador analiza los datos disponibles y activa los distintos equipamientos del sistema de evacuación de humo, siguiendo un procedimiento que debería estar predefinido.

La complejidad del sistema de ventilación y la organización del personal de explotación deberán ser evaluados y tenidos en cuenta. La experiencia muestra que un sistema de ventilación complejo se gestiona de manera más eficaz de una forma semiautomática que por un operador que actúa bajo condiciones de estrés.

Los elementos del sistema de evacuación de humo actúan sobre la corriente de aire en el interior del túnel modificándola en la forma adecuada con la finalidad de reducir los riesgos de daños corporales o de pérdidas materiales. Por este motivo, el método de control debe considerar que las condiciones pueden evolucionar con el tiempo, debiéndose tener en cuenta en un sistema de control automático y siendo muy exigentes si el control es manual.

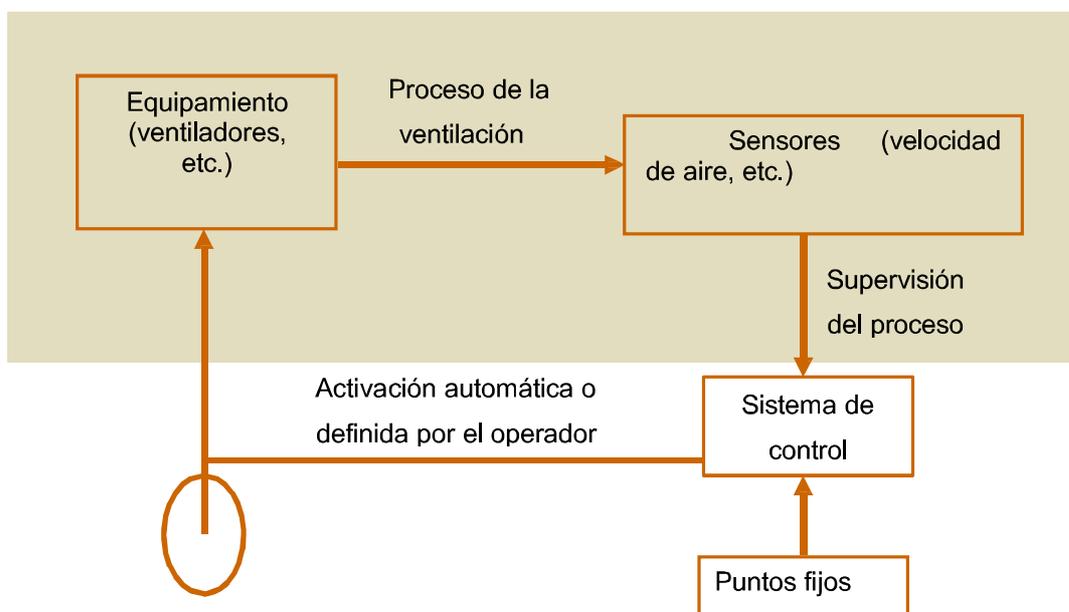


Figura 9 Esquema del control de la ventilación

<sup>4</sup> *Sistemas de Gestión de Incidentes de Tráfico en Túneles de Carretera (AIPCR)*

## **IMPLICACIONES EN CONDICIONES NORMALES DE EXPLOTACIÓN**

Una descripción detallada de las condiciones normales de explotación excede el alcance de este informe. No obstante, el tiempo necesario para pasar del modo normal de ventilación a la estrategia de extracción de humo que se aplica en caso de incendio, puede ser de varios minutos. Por este motivo, cuando se establecen los procedimientos de ventilación en condiciones normales de explotación, en general la seguridad se verá incrementada si se consideran los regímenes intermedios.

## **VISIÓN DE CONJUNTO DE LOS PROCESOS DE CONTROL**

En condiciones normales de explotación, el objetivo principal del control de la ventilación es mantener la calidad del aire dentro de los valores preestablecidos, teniendo en cuenta siempre los costes de explotación. El caso de un incendio es un suceso infrecuente que suele ir precedido de un incidente, tal como un accidente o una avería, siendo por desgracia su evolución más rápida que los procesos asociados a la de explotación normal, por lo que la respuesta del operador y/o de los sistemas automáticos deberá de ser también rápida.

Por tanto, el tiempo de respuesta de toda la cadena de operaciones, esto es, la detección, identificación, validación de la alarma e intervención, debe ser reducido para optimizar las condiciones durante la fase de evacuación, véase Figura 8. En función del nivel de los equipamientos instalados en el túnel (detector lineal de temperatura, CCTV, detectores de humo, etc) y del nivel de vigilancia podrán establecerse diferentes estrategias.

Es importante entender que la mejor estrategia a adoptar depende de la calidad y fiabilidad de la información disponible. Uno de los objetivos del sistema de control de la ventilación, en caso de incendio, es proporcionar información fiable. Así pues, el primer reto consiste en pasar del control de explotación normal al modo de incendio apropiado.

En general, tal y como muestra la Figura 10, este proceso es dinámico y comporta diferentes etapas, dependiendo de la calidad y cantidad de la información obtenida. Cuando una alarma de incendio se haya detectado se requerirá una validación automática o manual de ésta, dependiendo las acciones a adoptar de la información disponible.

Una vez confirmada la alarma de incendio y definida la estrategia de ventilación, el sistema de control debe ser capaz de activar una respuesta predefinida (por ejemplo, una determinada velocidad longitudinal), pudiendo ser apropiado situar el sistema en alerta y en situación de arranque incluso antes de la confirmación de la existencia del incendio y de su localización.

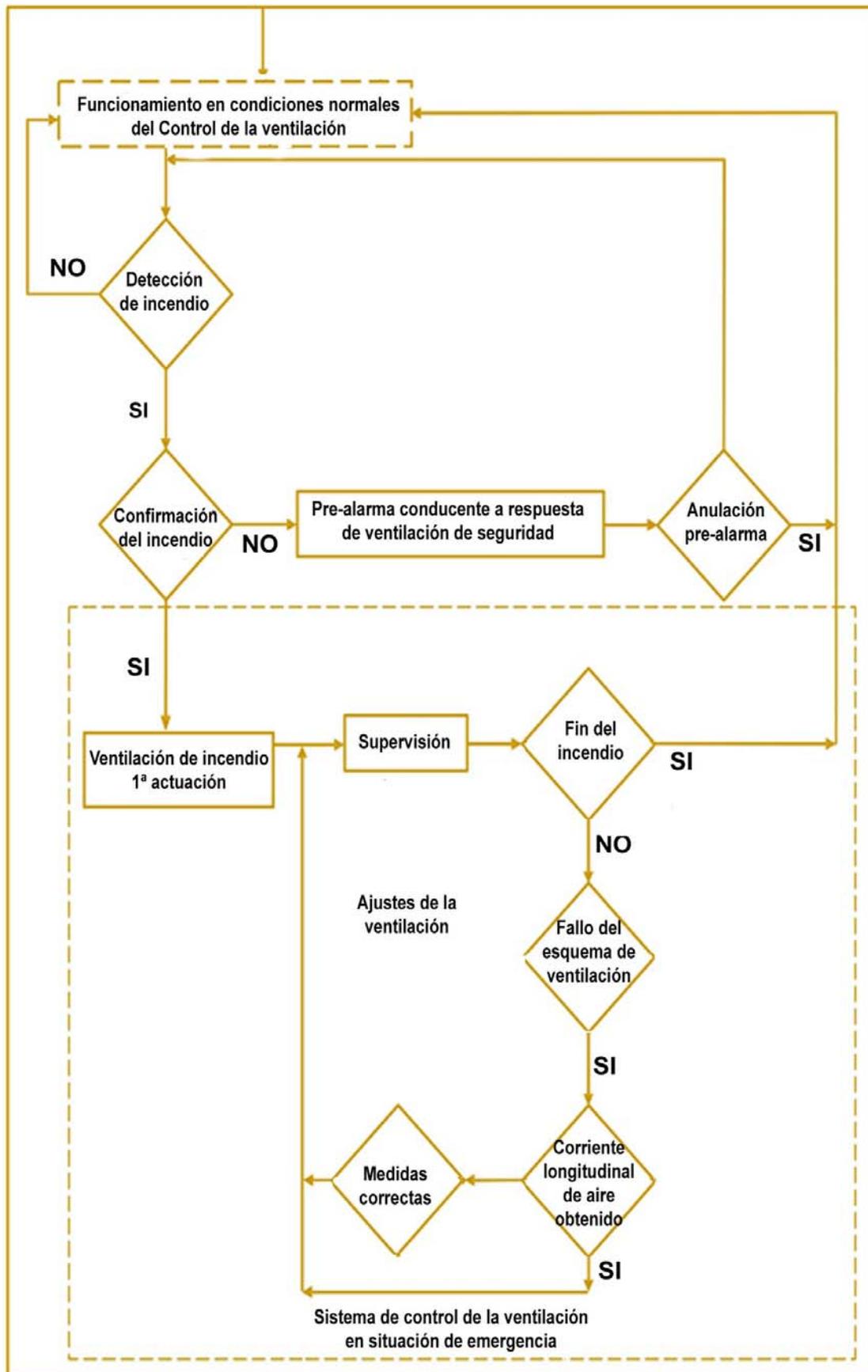


Figura 10. Detección del incendio y proceso de validación

Algunas de las funciones importantes de los sistemas de control durante la fase de evacuación son:

- validar la existencia del incendio,
- determinar el emplazamiento del incendio y si es posible su naturaleza,
- determinar la primera actuación más conveniente,
- proponer o aplicar la mejor respuesta predefinida,
- garantizar que en ausencia de medidas u observaciones factibles, la respuesta por defecto sea la de un esquema de ventilación de compromiso y conocido por reducir el riesgo al mínimo.

### Plan de emergencia

En caso de alarma de incendio, un plan de emergencia debe incluir las siguientes actuaciones:

- lanzar una alarma a los servicios de intervención y al operador,
- detener la entrada de tráfico en el tubo en el que se ha producido el incidente,
- detener la entrada de tráfico en todos los tubos que se utilicen como vías de evacuación o de acceso para los servicios de emergencia y reducir la velocidad del tráfico que se aproxima al túnel,
- activar la ventilación apropiada en el tubo en el que tenga lugar el incendio,
- activar la ventilación apropiada en los itinerarios de evacuación, por ejemplo, un tubo paralelo,
- activar la iluminación y señales de emergencia en todos los tubos afectados,
- informar a los usuarios del túnel del comportamiento a seguir (por ejemplo, mediante paneles de mensaje variable, altavoces, radio).

Es fundamental el tiempo y la activación inmediata del plan de emergencia ya que proporciona a los usuarios las mayores posibilidades de supervivencia. No obstante, algunos sistemas de detección de incendios pueden ser poco fiables para garantizar la activación inmediata del plan de respuesta, por lo que en estos casos el plan de emergencia se puede subdividir en dos fases con la finalidad de disponer de tiempo para poder validar la alarma. La detección del incendio es considerada inicialmente como una “pre-alarma” lo que conlleva a que se efectúen al menos las siguientes acciones:

- activación de una alarma al operador,
- activación de la ventilación adecuada en el tubo o en el lugar del incidente,
- activación en los tubos afectados, de los escenarios de emergencia.

A continuación, el operador dispone de un tiempo limitado (no más de unos pocos minutos) para evaluar la pre-alarma. Si no reacciona en este tiempo, la pre-alarma se considera válida y se activa automáticamente el plan de emergencia.

Puede encontrarse más información en el informe de la AIPCR *Contratación y formación de personal para la explotación de túneles de carretera*<sup>5</sup> [17] y la *Guía del CETU relativa a la seguridad en túneles de carretera*<sup>6</sup> [18]

### Respuesta de la ventilación

El lazo de control que permite la interacción entre el túnel y la ventilación incluye los elementos, equipos y sensores del interior del túnel así como el propio sistema de control.

El sistema de control debería monitorizar de forma continua los parámetros a controlar. Si uno de ellos presenta un valor que se aleja del rango previsto, se adopta la consiguiente actuación, por ejemplo, fijar un modo determinado de funcionamiento del ventilador. El efecto producido, ante esta actuación de control, en las condiciones del interior del túnel es monitorizada por los sensores y realimentada al sistema de control. Dicha realimentación se muestra en la Figura 9. Durante el

---

<sup>5</sup> *Contratación y formación de personal para la explotación de túneles de carretera (AIPCR)*

<sup>6</sup> *Guía del CETU relativa a la seguridad en túneles de carretera (AIPCR)*

proyecto es necesario tener en cuenta la influencia de distintos factores, como la longitud del túnel, en la velocidad y fiabilidad de la realimentación de la información.

La información mínima que se requiere para una reacción adecuada de los sistemas de ventilación en caso de incendio depende del tipo de túnel y de la situación del tráfico. Para un túnel unidireccional y sin congestión, conocer en que tubo tiene lugar el incidente, puede ser suficiente para iniciar la ventilación, sin embargo, en la mayoría de los casos resulta fundamental conocer la localización del incendio y las velocidades del aire. La respuesta se decide en función de los escenarios predefinidos y se desencadenan las acciones necesarias.

Los programas de control de la ventilación deberán garantizar respuestas adecuadas para todos los escenarios de incendio imaginables, incluyendo tanto las potencias térmicas elevadas como las bajas asociadas con la producción de humo. También deben considerarse respuestas para aquellos escenarios en los que algunos de los equipos no estén disponibles o en los que algunos de los datos obtenidos tengan defectos o no sean creíbles.

## **DATOS MEDIANTE LOS QUE SE DEFINEN LOS ESCENARIOS DE INCENDIO Y VENTILACIÓN**

### **Detección de incendios**

Un sistema de detección puede basarse en:

- Sensores de detección automática: desarrollados específicamente para la detección de incendios y de humo. Emiten una señal de alarma en el momento en el que un incidente se produce (por ejemplo, detección de calor, información CCTV, detección de humo).
- Activados manualmente: activan una alarma que se dispara de forma manual por parte del operador, según la información emitida por diversas fuentes, tales como CCTV (por ejemplo, incidente o humo), llamadas de los teléfonos de emergencia, señales provenientes del interior del túnel (botones de emergencia, retirada de un extintor, apertura de puertas, etc.) o informaciones procedentes de los sistemas de detección automática, que requieren la respuesta de un operador para su validación.
- Detección indirecta (automática): este tipo de detección sería el resultado de una interpretación lógica y de un proceso de correlación de señales emitidas por diferentes fuentes (concentración CO y/o partículas, velocidad del aire, velocidad del tráfico, etc.)

La detección se realiza cuando se sobrepasan los valores límite establecidos durante un tiempo determinado, siendo útil incluir en la evaluación la velocidad a la que evolucionan las medidas.

La detección de un incendio es de la máxima importancia, ya que si el incidente no se percibe a tiempo dará lugar a la pérdida de un tiempo muy valioso. Ello implica que debe aceptarse un cierto número de falsas alarmas, aunque por otra parte si son excesivas podría ocasionar el cansancio del operador y hacer que éste las cancele sin prestarles atención. Por lo tanto, la fiabilidad del sistema de detección de incendios es muy importante.

Es importante que se identifiquen de forma que no puedan dar lugar a error, diferentes secciones del túnel, para que los usuarios que informen de un incendio puedan comunicar con precisión al operador su ubicación. Especialmente cuando se utilice el sistema de extracción de humo, es preciso concretar la ubicación del incendio para dar una respuesta correcta, en lo referente al control del sistema de ventilación y a la gestión del tráfico. El incendio puede no estar situado cerca del pulsador del poste de socorro, del extintor o de la puerta de evacuación que al abrirse desencadena la alarma, por lo que la forma más precisa de detectar la ubicación del incendio es mediante el empleo de un sistema lineal de detección de calor que desencadena una alarma cuando la temperatura se eleva respecto a unos parámetros determinados, siendo conveniente disponer de diversos detectores de incendio independientes. Ello es importante para el caso de detección de incendios en vehículos en movimiento ya que la detección inicial puede no ser la misma que la del vehículo al pararse, información ésta proporcionada particularmente por el CCTV y por los detectores de humo.

Normalmente la respuesta debe organizarse de forma jerárquica de modo que algunas señales determinadas tengan prioridad en la definición del escenario de incendio. Por ejemplo en un túnel que disponga de detectores de humo, detector lineal de temperatura, CCTV, opacímetros, etc., debe establecerse un proceso de decisión que proporcione las indicaciones más fiables respecto de la ubicación del incendio, siendo especialmente importante en el caso en el que la extracción de humo se realice mediante el uso de trampillas controladas remotamente.

El Informe de la AIPCR *Sistemas y equipos para el control de incendios y humo en túneles de carretera* [14] proporciona una mayor información sobre este tema.

### **Velocidad de la corriente de aire en el túnel (Anemómetro)**

Si se prevé disponer de un control activo del sistema de ventilación, debe medirse la velocidad de la corriente de aire. La calidad y fiabilidad de los datos obtenidos son de la máxima importancia, debiéndose tener en cuenta que el humo influye en la medición realizada por el anemómetro. Por ejemplo, la influencia de la estratificación sobre la velocidad medida, que puede inducir un contra flujo, debe tenerse en cuenta por el proyectista del sistema de control. Mediciones erróneas pueden poner en peligro a los usuarios, por lo que para asegurar que éstas son consistentes, debe realizarse con anterioridad a la activación del control de la corriente de aire, una comprobación de la verosimilitud y coherencia de los valores medidos. Ello puede realizarse de diversas maneras como por ejemplo comparando las señales procedentes de diferentes sensores con valores históricos o de proyecto, con una situación específica, etc., pudiendo así establecer la coherencia de las señales y obtener los valores más fiables.

Si no existiese ninguna medición fiable de la velocidad del aire también debe preverse una reacción adecuada del sistema de ventilación como planes de contingencia adecuados.

La velocidad inicial de la corriente de aire puede ser causada por el movimiento del tráfico, la actuación del viento en las bocas, el efecto chimenea en el túnel (o efecto chimenea inverso) por la diferencia de presión barométrica entre las bocas. En un periodo transitorio inicial el movimiento del humo está influenciado por el efecto del tráfico pero dado que éste se detendrá en caso de un incendio, el efecto acaba por desaparecer. Por tanto al estar presente el efecto del tráfico en las mediciones iniciales, la velocidad real en un escenario de incendio puede malinterpretarse.

Si se instalan anemómetros, de acuerdo con la ISO 5802, éstos deben calibrarse en el propio emplazamiento de forma que las lecturas finales correspondan con la velocidad media de la corriente de aire en la sección del túnel. Los sensores deben proporcionar valores correctos de la velocidad del aire en las secciones relevantes y no deben verse afectados por el funcionamiento de los ventiladores, la presencia de nichos u otros equipamientos como los paneles de mensaje variable.

### **Datos de los sistemas de ventilación**

En caso de extracción de humo, el conocimiento del rendimiento de los ventiladores, evaluado periódicamente mediante test rutinarios, o la medición del caudal extraído pueden ser útiles para los controles de validación de los anemómetros.

### **Situación del tráfico**

En caso de tráfico unidireccional es importante saber si después del incendio éste puede abandonar el túnel sin dificultad, ya que ello influirá en la estrategia de ventilación a utilizar. Pueden adoptarse los siguientes métodos:

- controlar de forma continua el flujo de tráfico y asumir congestión en el mismo si este era el estado antes de la detección del incendio;
- controlar el tráfico en la boca de salida: considerando que el túnel no se halla congestionado, desplazándose de forma continua a velocidades superiores a 20 Km/h. El Informe de la AIPCR 1987 [19] describe las condiciones del tráfico en un túnel debiéndose tener en cuenta que el tráfico considerado como congestionado en el presente documento se corresponde con el extremadamente congestionado en el documento [19], siendo 20 Km/h el umbral que este documento considera como una no congestionada;
- si no se dispone de información fiable sobre la situación del tráfico, debería elegirse la opción menos favorable. En la mayoría de los casos, esta opción se corresponderá con la de congestión. No obstante, en aquellos túneles con tráfico ligero o escaso número de vehículos pesado, puede adoptarse la situación de no congestión.

### **Otros Datos**

Otros datos que a veces son útiles para facilitar el control de la ventilación son la temperatura interior y exterior, el viento, la visibilidad y la presencia de humo en el exterior del túnel.

## IMPLANTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL EN CASO DE INCENDIO

La aplicación de cada una de las estrategias de ventilación depende de la localización del incendio respecto de los equipamientos de ventilación y de la configuración de todo el sistema.

En la fase de proyecto de un sistema de ventilación, normalmente el proyectista propone los procedimientos de explotación que permitan al operador seguir la secuencia completa para cualquier clase de emergencia. Sin embargo, debería investigar las soluciones de control más eficaces, considerando la complejidad del sistema de ventilación y los procedimientos que un operador es capaz de llevar a cabo de forma correcta en condiciones de estrés. Igualmente, el operador debería tener siempre la posibilidad de intervenir con el procedimiento en marcha si tiene la constancia de que una alarma es falsa o de que el procedimiento resulta inadecuado. No obstante, es muy importante resaltar que la intervención sobre un procedimiento automático en marcha debería evitarse, salvo que el operador sea plenamente consciente de las consecuencias de sus actos y esté autorizado para ello.

La respuesta de un sistema de ventilación a un incidente detectado y validado debería satisfacer los requerimientos definidos en este documento (ver el apartado de Estrategias de gestión del humo en la fase de ). Es de la máxima importancia que se alcance una respuesta estable de la ventilación. Oscilaciones fuertes pueden comportar corrientes de aire inadecuadas en el interior del túnel. Se recomienda no realizar ningún cambio en los procedimientos en curso para la extracción de humo, a menos que:

- las mediciones de las variables de control muestren claramente que el escenario de incendio ha sido malinterpretado y se requiera uno nuevo,
- el examen de las variables de control muestre que por diversas razones la respuesta de la ventilación al escenario de incendio es insuficiente y no puede alcanzarse ninguna situación estable,
- las mediciones de otras fuentes de información son fiables y no existe riesgo de que puedan estar afectadas por el incendio,
- la modificación del procedimiento no pone en peligro a las personas que se encuentran en el interior del túnel, incluyendo a los servicios de emergencia.

Únicamente la persona al mando puede asumir la responsabilidad de intervenir en el procedimiento.

La visión conjunta de los sistemas de ventilación requiere considerar diversos aspectos:

- la explotación en condiciones normales difiere de la explotación de emergencia, debiéndose especificar diferentes modos de control,
- la explotación de emergencia puede requerir diferentes prioridades, en función del estado de los equipamientos. La seguridad de los equipos es prioritaria en explotación normal pero no en emergencia. Por ejemplo, la prioridad a la protección térmica y a las vibraciones de un ventilador será ignorada en caso de incendio. Deberá existir una capacidad de reserva a fin de que pueda ser aceptable el fallo de ciertos equipamientos,
- debido a fenómenos transitorios, la información debe ser tratada con cuidado, teniendo en cuenta los aspectos dinámicos,
- para la fiabilidad del sistema debe existir redundancia de información y de equipamientos,
- los procedimientos previstos deben considerar modos degradados de funcionamiento, teniendo en cuenta la pérdida de ciertos equipamientos,
- en caso de avería de la puesta en funcionamiento automático de los equipamientos de seguridad, deberán adoptarse los procedimientos para la ventilación de emergencia,
- se debe verificar que los datos locales no estén en conflicto con los requisitos del sistema. Por ejemplo, el sensor de temperatura en una trampilla de extracción puede impedir el accionamiento remoto,
- hay que cerrar al tráfico los tubos en caso de incendio y accionar las operaciones de seguridad,
- en caso de incendio, deberán tenerse en cuenta las condiciones de tráfico fuera del túnel

para garantizar la seguridad en sus bocas, facilitar la evacuación y el acceso de los bomberos,

- deben adoptarse sistemas simples, estables, fiables y robustos.