

GESTIÓN DINÁMICA DE LA VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO

Vicente Sebastián Alapont
GRUPO ETRA

1. Introducción

El incendio en un túnel es uno de los incidentes más críticos, y a evitarlos y a la minimización de su impacto en caso de que se produzcan están orientados la mayor cantidad de sistemas de seguridad con los que éstos deben estar equipados. Esto es debido a que las características físicas de los túneles hacen que los efectos negativos de estos incidentes se vean magnificados por el hecho de que los humos y gases procedentes de la combustión permanecen y se extienden a lo largo del túnel, afectando al resto de personas que ocupen otros vehículos dentro del túnel.

La supervisión eficiente y en tiempo real de los indicadores de seguridad del túnel para la detección inmediata de un incendio, y la aplicación de avanzados algoritmos de gestión de los ventiladores cuando éste se produce, permite controlar la evolución de los humos y minimizar su impacto extendiendo así el tiempo disponible para la evacuación del túnel.

En esta ponencia se describe el sistema de gestión dinámica de la ventilación en caso de incendios que incorpora el Sistema de Gestión Integral para la Explotación de Túneles (SIVA-TUN) desarrollada por el grupo ETRA en colaboración con el Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica (CEMIM) y que se encuentra actualmente operativa en túneles como el Túnel de San Juan en Alicante.

2. Descripción general

El principal objetivo de esta herramienta es garantizar la seguridad de los usuarios del túnel y servicios de emergencia en el caso de que se produzca un incendio en el interior del túnel. El propósito de esta herramienta es pues monitorizar en tiempo real el estado de los parámetros del aire en el túnel, detectar incendios u otras fuentes de humo (como por ejemplo la rotura del motor de un camión) y el estado del tráfico en el interior del túnel. De esta forma, en las fases iniciales se aplican pautas de ventilación orientadas a mantener / contener los humos de forma estratificada para favorecer la evacuación, pasando una vez se tiene la certeza de que no quedan usuarios en el túnel a aplicar pautas de extracción de los humos.

El Sistema de Gestión Dinámica de la Ventilación se configura para cada tubo de los que componen un túnel. Esto quiere decir que para los túneles que tienen dos tubos, el sistema tiene configurados unos parámetros específicos de gestión de la ventilación, pero además, existe una coordinación directa entre las configuraciones de ambos tubos, sobre todo en casos de incendio, ya que acciones realizadas en el tubo donde se produce el incidente puede tener consecuencias negativas en el otro tubo. Por ejemplo, durante el proceso de extracción, en función de las condiciones meteorológicas en el exterior del túnel podría darse el caso de que los humos fueran a entrar por la boca del otro tubo, o a través de las galerías intermedias si las hubiera y no estuvieran presurizadas. Así pues, el sistema de gestión dinámica de la ventilación no se limita a la mera activación/desactivación de ventiladores sino que realiza una constante monitorización de los diferentes parámetros que cuantifican la calidad del aire, reconoce patrones de situaciones y aplica las estrategias más adecuadas a cada situación.

El Sistema tiene dos modalidades de gestión de la ventilación:

- Funcionamiento ‘En Servicio’. La ventilación en los tubos se encuentra en modo de funcionamiento ‘En Servicio’ cuando no se ha detectado ninguna situación de incendio o el operador no ha pasado manualmente a modo incendio. En este modo de funcionamiento, el Sistema decide qué y cuantos ventiladores arrancar y parar, atendiendo a la información de opacidad y presencia de CO registrada por los equipos de medida ubicados en el interior de los túneles. Las condiciones de arranque y parada de los ventiladores según las condiciones ambientales se especifican para cada tubo.
- Funcionamiento ante incendio. Cuando el sistema de control detecta automáticamente un incendio en alguno de los tubos, abre en los puestos de operador un diálogo en espera de que alguno de los operadores confirme el incendio.

Si algún operador cancela el diálogo, el incendio queda cancelado. Si algún operador acepta el incendio, se pone en marcha la pauta de actuación ante incendio según los datos introducidos en el diálogo. En caso de que ningún operador atienda el diálogo durante un tiempo predefinido, el Sistema obrará en consecuencia aceptando o cancelando automáticamente el incendio según el índice fiabilidad de detección de la zona con incendio.

2.1. La lógica del proceso

La ventilación de cada tubo está implementada como una máquina de estados. En el arranque, la ventilación se halla en un estado inicial. Se va pasando a otros estados de acuerdo a una lógica establecida. El operador puede forzar el paso a estados concretos siempre que la máquina de estados se encuentre en un estado adecuado para ello.

Con este modelo lógico, es posible definir diferentes estados asociados a situaciones de la calidad del aire, de los estados del equipamiento y de incendio, y establecer las reglas de evolución y paso de unos a otros para resolver el incidente.

Cada estado tiene asociadas unas pautas de actuación. Además de los estados básicos asociados a los inicios, parada, servicio normal, etc, son de destacar por ejemplo los estados de **detección de incendio**, que en función de la configuración, espera la confirmación manual por parte del operador o pasado un determinado tiempo aplica una **pauta de actuación ante incendio de acuerdo a la ubicación del incendio y el estado del tráfico dentro del túnel en los minutos previos al incendio**.

La ejecución de la pauta de actuación ante incendio consiste en:

- Ejecutar la secuencia seleccionada en el diálogo de incendio. Esta secuencia tiene como objetivo **cerrar el túnel a la circulación**.
- Activar la ventilación ajustada a las **características concretas del incendio** que se ha detectado.
- Por último, desde este estado se pasa al estado de **regulación de incendio**. En este estado se realiza el control continuo de la velocidad del aire dentro del túnel. Para ello se pasa a realizar la consulta de la información de los anemómetros cada N segundos, siendo este parámetro configurable.

Como se ha indicado, automáticamente y en paralelo a este proceso, el sistema lanza las pautas de actuación en el otro tubo del túnel, que a su vez van evolucionando en función de las acciones de ventilación realizadas en el tubo del incidente:

- Se activa una **pauta de incendio en tubo contrario** cuando la máquina de estados del túnel contrario pasa a cualquier de los estados que identifican un incendio. En este estado se ponen los ventiladores a funcionar en el mismo sentido de que los ventiladores del túnel contrario, los cuales han arrancado para iniciar la pauta de actuación.
- Cuando desde un puesto de operador se ha decidido iniciar la expulsión de humos se aplica la pauta de extracción en tubo contrario. En este estado, todos los ventiladores del túnel se arrancan en el sentido de funcionamiento pedido por el operador del sistema.

2.2. Modo de Funcionamiento En Servicio

Cuando la ventilación de uno de los túneles se encuentra en el modo de funcionamiento 'En Servicio', se realizan una serie de tareas que afectan al encendido y apagado de los ventiladores del túnel.

El algoritmo de funcionamiento 'En Servicio' especifica las condiciones para determinar cuantos ventiladores se deben arrancar o parar al final de cada periodo de integración atendiendo a los siguientes criterios:

- En caso de arranque de uno o varios ventiladores, el sistema elige aquellos cuyo tiempo de funcionamiento es el menor, a efectos de homogeneizar el tiempo de funcionamiento de todos los ventiladores.
- En caso de parada de uno o varios ventiladores, el sistema elige aquellos ventiladores cuyo tiempo de funcionamiento es el mayor.

A fin de disponer de un registro exhaustivo de las condiciones de operación, el sistema guarda un histórico sobre:

- Concentración de CO media y Opacidad máxima al final de cada periodo de integración.
- Petición del arranque y la parada de un número concreto de ventiladores.
- Sentido inicial de la ventilación cuando se pide arrancar ventiladores y no hay ninguno funcionando.
- Ventiladores concretos que se arrancan y paran.

2.3. Modo de Funcionamiento ante Incendio

La ventilación puede pasar a funcionar en modo 'Incendio' por dos causas:

- El Sistema detecta automáticamente una condición de incendio y el operador la acepta, o el índice de detección de la zona afectada supera el umbral

y el operador no atiende el diálogo en el tiempo configurado.

- Alguno de los operadores pide explícitamente el paso a modo 'Incendio'.

La detección automática de incendios puede dispararse por:

- Estado de un controlador de entradas o salidas (E/S) asociado a un dispositivo (sistema de detección lineal de incendios, cámara de visión artificial, detector de CO, detector de incendios, etc).
- Alarma de cualquier equipo del sistema de control.
- Variación del Gradiente en la medida analógica de un controlador de E/S.
- Valor de la medida analógica de un controlador de E/S.

En el proceso de configuración se definen una serie de secciones en el túnel y se les asocian los tipos de equipos, los estados y las alarmas asociadas a cada tipo de equipo y los gradientes y valores umbral de cada tipo de equipo.

A partir del índice de detección de cada condición se puede calcular el índice de detección de cada zona del túnel ya que se conocen los equipos asociados a cada una de las zonas. Si esperando la confirmación de un incendio para una zona con índice de detección en el primer umbral se demuestra que una zona (ya sea la misma u otra distinta) tiene un índice de detección mayor y se pasa al segundo umbral de detección, el diálogo de confirmación de incendio cambia automáticamente su comportamiento para en caso de omisión de repuesta aceptar el incendio automáticamente.

No obstante, cuando se está en espera de confirmación de un incendio para una zona y aparece otra zona con mayor índice de detección o una zona más cercana a la boca de entrada con el mismo índice de detección, se consulta al operador si quiere actualizar la información de la nueva zona en el diálogo de espera de confirmación de incendio, aunque no se modifica el comportamiento en caso de que el operador no responda al diálogo.

El Sistema realiza un registro de toda la información del incendio y del estado del tráfico calculado durante el incendio. Se almacenan para cada cálculo, tablas con datos de cada zona, indicador de alarma, distancia, coeficiente de corrección, nivel de congestión calculado y estado del tráfico.

En cuanto a las acciones realizadas se registra:.

- Paso a modo incendio.
- Paso forzado por el operador a modo incendio.

- Parada completa de la ventilación ante incendio.
- Ejecución de la secuencia elegida ante incendio.
- Anulación de la ventilación ante fin de incendio.
- Arranque y parada de un ventilador por el control continuo de la velocidad.
- Arranque completo de la ventilación para expulsión de humos.

Elección de la pauta de actuación

Una vez se ha confirmado el incendio, el Sistema ejecuta la pauta de actuación según la zona donde se ubica el incendio y el estado del tráfico en los minutos previos a la detección. La ejecución de la pauta de actuación lleva implícita también la activación de la secuencia de incendio configurada.

En la fase de implantación del sistema se realizan una serie de estudios y pruebas de campo que conducen a la generación de todas las posibles pautas de actuación en los diferentes escenarios.

Control continuo de la velocidad del aire

Pasado un tiempo desde que se estableció la pauta, se pasa a consultar el estado de los anemómetros cada N segundos. Cada periodo de integración proporciona el dato de la velocidad media del aire teniendo en cuenta los anemómetros que realmente dan una medida fiable y descartando por ejemplo aquellos que pueden estar condicionados por la proximidad a un ventilador que esté en funcionamiento. Así mismo, en función de la situación del incendio y el estado de los ventiladores el sistema clasifica los ventiladores como ‘utilizables’, no recomendable su utilización’ o ‘no utilizables’.

Con esta información, el algoritmo de control continuo de la velocidad del aire arranca o para ventiladores para ajustar la velocidad del aire en el túnel a la velocidad de referencia establecida para cada situación. Los ventiladores que se pueden arrancar serán los que no estén marcados en la pauta como ‘No utilizables’.

La estrategia seguida para el arranque y la parada de los ventiladores es la siguiente:

- En caso de arranque de un ventilador, el sistema elige el ventilador más alejado del foco del incendio que esté parado y marcado en la pauta como ‘Utilizable’. Si no hubiera ningún ventilador que cumpla estas condiciones, se intenta buscar el ventilador más alejado del foco de incendio que esté parado y marcado en la pauta como ‘No recomendable su utilización’.
- En caso de parada de un ventilador, el sistema elige el ventilador más cercano a foco del incendio que esté arrancado.

Con relación a la gestión de los ventiladores, hay que señalar que el sistema ha sido diseñado para permitir su implantación en túneles que tengan restricciones en cuanto al consumo energético que los ventiladores pueden requerir en el momento del arranque y durante su funcionamiento, de manera que tiene en cuenta el número máximo de ventiladores que pueden estar arrancados en cada momento y los ventiladores que pueden arrancarse al mismo tiempo y el tiempo de espera entre arranques consecutivos.

3. Interfaz Gráfica de Usuario

La interfaz gráfica de usuario de los puestos de operador posee varios elementos relacionados con la ventilación:

- En la barra de herramientas aparece una indicación del estado actual de la ventilación en cada túnel: EN SERVICIO, PREALERTA o INCENDIO. El tubo 2 aparece en la parte superior y el tubo 1 aparece en la parte inferior. El color del indicador es blanco cuando los dos tubos funcionan “En Servicio”, amarillo si alguno de los tubos tiene prealerta o rojo si alguno de los tubos tiene incendio.

T2. EN SERVICIO
T1. EN SERVICIO

- En la barra de herramientas, aparece el botón  que permite abrir el diálogo de la ventilación.

El diálogo de la ventilación posee una lista desplegable con los tubos existentes y dos carpetas: Estado General y En Servicio. Se puede seleccionar el tubo con el que se trabajará en la lista desplegable de la parte superior y cambiar de carpeta haciendo clic en el nombre de la carpeta.

La carpeta de “Estado General” muestra el estado actual de la ventilación, el número de ventiladores en marcha y las zonas del túnel seleccionado.

Las zonas del túnel se muestran en forma de árbol. Si se despliega en el árbol una de las zonas se muestran todos los equipos asociados a la zona que tiene que ver con la detección de incendios. Cuando alguno de los equipos ha detectado una condición de incendio, su color es rojo, mostrándose en negro si no detecta incendio.

Las zonas, por su parte, aparecen en negro si no poseen ningún equipo que detecte incendio, en azul si alguno de sus equipos detecta incendio pero el índice de detección de incendio de la zona no supera el primer umbral configurado y el rojo si su

índice de detección de incendio sobrepasa el primer umbral configurado. A la parte derecha de cada zona y entre corchetes se muestra el índice de detección de incendio de la zona.

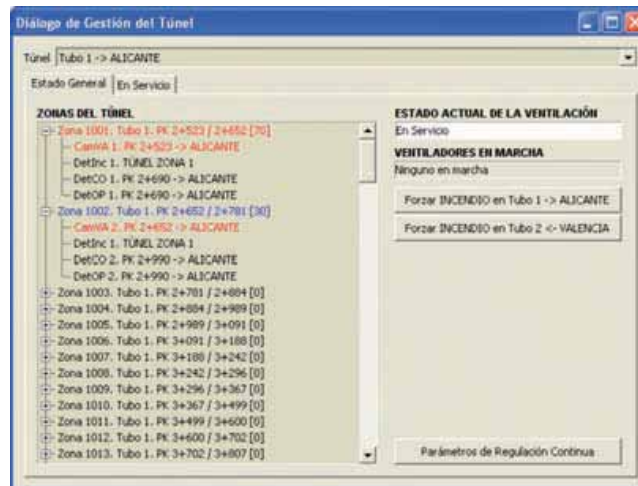


Ilustración 1: Diálogo de ventilación. Carpeta “Estado General”

Desde este diálogo se puede pasar manualmente a situación de incendio siempre que el operador lo considere oportuno haciendo clic en el botón “Forzar INCENDIO en Tubo 1” y “Forzar INCENDIO en Tubo 2”. Antes se pide confirmación porque la apertura del diálogo de incendio forzado parará la ventilación del túnel seleccionado y, si no se está en prealerta o incendio en el túnel contrario, también en el túnel contrario. Una vez confirmado, se parará la ventilación en ambos túneles y se abrirá el Diálogo de Incendio Forzado, y el operador seleccionará el tubo en el que se debe forzar la situación.



Ilustración 2: Diálogo de incendio forzado.

El sistema permite utilizar estos escenarios de incendio forzado a modo de simulación que permite modificar “off-line” valores de parámetros a fin de realizar pruebas de validación y verificación del sistema de ventilación.

Seleccionando cualquiera de los equipos del árbol de zonas, se abre un diálogo (diferente para cada tipo de equipo) que permite simular los datos y medidas de los equipos. De esta forma se pueden forzar detecciones de incendio y ver cómo evoluciona el sistema antes ello.

Concretamente, para cámaras de visión artificial se puede simular cualquiera de los incidentes detectables, para los detectores de incendio se puede forzar una detección de incendio, para los detectores de CO y Opacidad se puede modificar el valor de su medida, para detectores de tráfico y de visión artificial se puede modificar los valores de intensidad, ocupación, velocidad, etc. Esta posibilidad facilita las pruebas del sistema de control así como el entrenamiento del personal de operación del túnel.

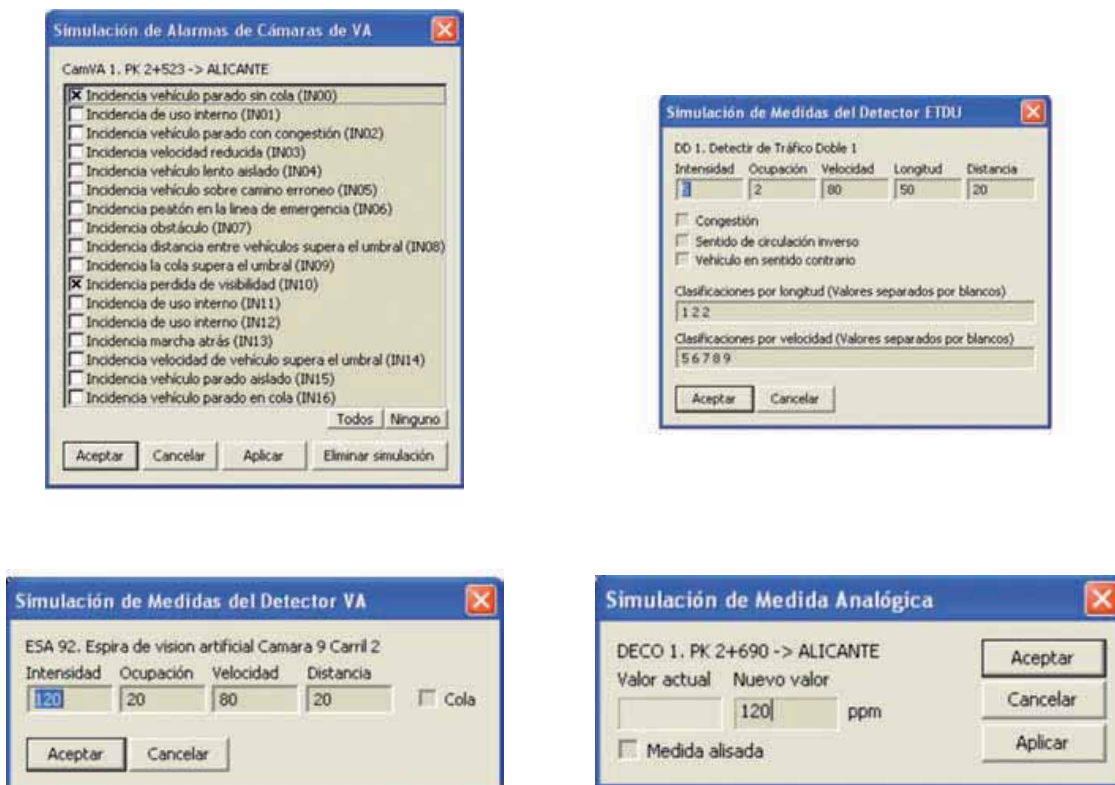


Ilustración 3: Diálogos de simulación de medidas.

Adicionalmente el operador consultar para el periodo de integración, la concentración media de CO y la opacidad máxima: último valor, umbrales configurados e información gráfica y tabular de los últimos N valores registrados, así como el estado actual de los ventiladores y el estado del tráfico calculado para los últimos M periodos.

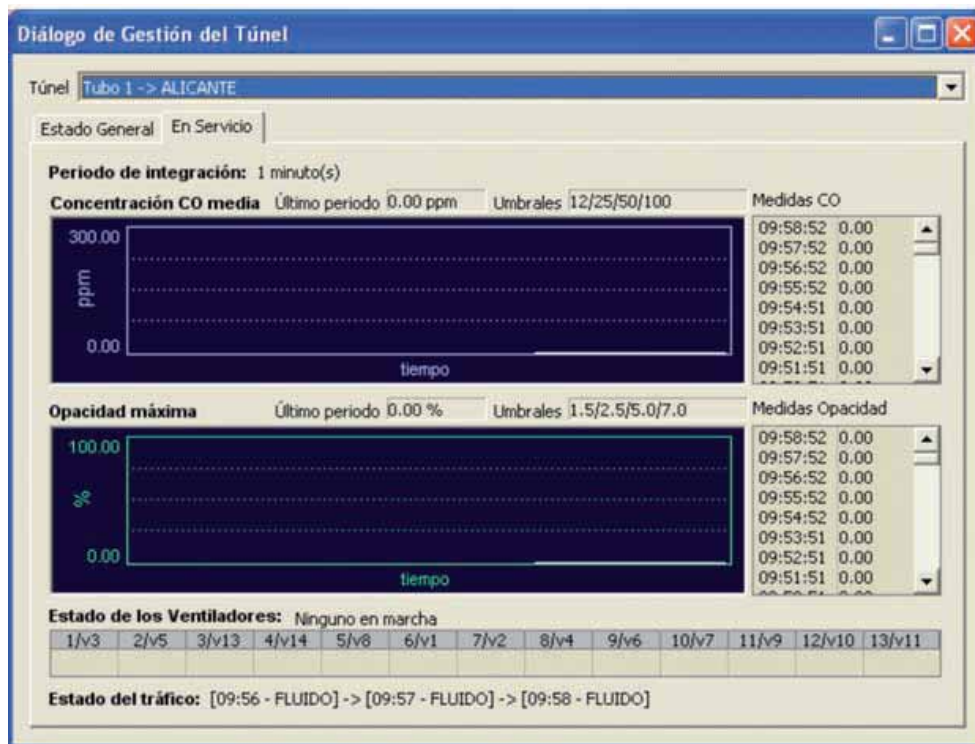


Ilustración 4: Diálogo de ventilación. Carpeta "En Servicio"

Cuando la situación de incendio se confirma por cualquier medio, automáticamente se abre en los puestos de operador el diálogo de expulsión de humos, que permite:

- Ver el estado del tráfico que está calculando el sistema de control (tráfico calculado).
- Ver y modificar el estado del tráfico usado para llevar a cabo la regulación continua (tráfico pedido).
- Realizar la expulsión de humos en el túnel cuando el incendio ha sido controlado y se han evacuado las personas del túnel.

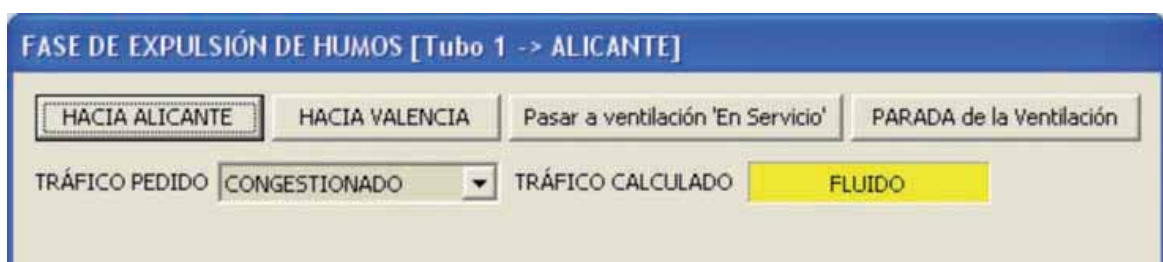


Ilustración 5: Diálogo de expulsión de humos en regulación continua

4. Conclusiones

El Sistema de Gestión Dinámica de la Ventilación es una funcionalidad integrada en el Sistema Integral de Explotación de Túneles (SIVA-TUN) del Grupo ETRA, que permite realizar una gestión inteligente de los sistemas de control y actuación instalados en el túnel cuando se detecta una situación de incendio, de forma que trabajen de forma cooperativa para garantizar en la medida de lo posible las condiciones de seguridad para las personas (conductores, personal de emergencias, fuerzas de seguridad, ...) hasta la completa evacuación del túnel.