

## Un vistazo más a fondo a los incendios infraventilados

Los estudios sobre incendios infraventilados están en aumento ya que el servicio de bomberos está enfrentándose a estos incendios más y más a menudo en las intervenciones de hoy en día. Estos estudios no enseñan mucho sobre el comportamiento del fuego en tales incendios. En este artículo echaremos un vistazo más profundo al comportamiento del fuego en los incendios infraventilados.

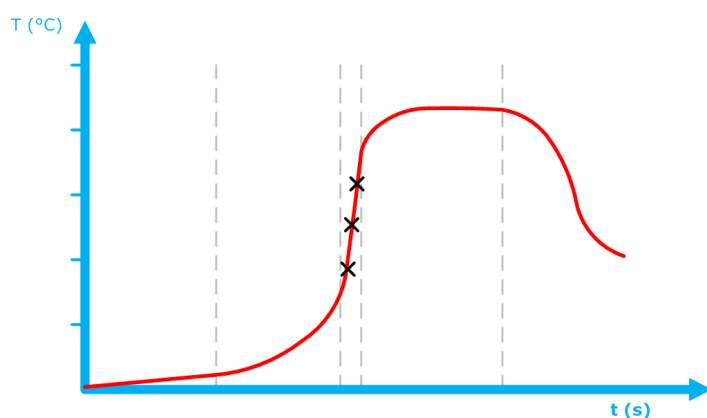
### 1 ¿Cuál es la diferencia entre un incendio ventilado y un infraventilado?

Cuando el fuego empieza en un edificio en el cual hay una carga normal de combustible, en cierto momento el fuego se volverá controlado por la ventilación. Esto significa que la intensidad estará determinada por la cantidad de aire fresco que está disponible para fluir dentro de la habitación del incendio.

#### 1.1 Progreso del incendio ventilado.

Cuando una ventana grande está abierta, mucho aire puede entrar en la habitación del incendio desde el comienzo del mismo. Este permite al fuego crecer bastante. En un compartimento incendiado, el fuego puede crecer sin obstáculos, y progresará hasta el flashover. Flashover significa que el fuego ha pasado de una etapa de crecimiento a una de totalmente desarrollado. Todo el combustible que esté dentro de la habitación empezará a arder. Esto significa que la necesidad de aire crecerá sustancialmente. Las aberturas (ventanas y puertas) ya no son capaces de proporcionar suficiente aire fresco para el fuego. El incendio se ha convertido ahora en controlado por la ventilación. El momento en el que el incendio pasa de controlado por el combustible a controlado por la ventilación se llama punto CC/CV.

Un incendio que se convierte en controlado por la ventilación durante el flashover se llama incendio ventilado. Después de todo, suficiente aire tiene que estar disponible desde el comienzo para permitir al fuego progresar hasta el flashover.



**Figura 1** Posible localización del punto CC/CV en un incendio ventilado. (Graph: Bart Noyens)

La figura 1 muestra el gráfico de un incendio ventilado. Normalmente no se sabe exactamente dónde está el punto CC/CV en este tipo de desarrollo de incendio. Es en algún momento durante la etapa de flashover, pero nadie sabe con certeza precisamente dónde. Algunos expertos establecen que el punto CC/CV puede incluso estar situado antes, un poco antes del inicio de flashover. Ellos comparan el crecimiento del fuego con un barco en el mar. Cuando tú

para el motor del barco, continúa avanzando un poco. Por lo tanto declaran que suficiente energía tiene que ser liberada en una habitación, cerca del final de la etapa de crecimiento, para que el flashover se produzca. Cada "x" marca una posible localización del punto CC/CV. Para los incendios ventilados no importa realmente donde está el punto CC/CV exactamente. Es importante para los bomberos poder distinguir un incendio en desarrollo de uno totalmente desarrollado porque estos fuegos requieren unas tácticas diferentes. Aparte de esto, es extremadamente importante que los bomberos puedan reconocer los signos de un flashover inminente:

- Calor intenso que viene de la capa de humo de arriba.
- Llamas que bailan en la capa de humo, que es el comienzo del rollover
- Capa de humo que desciende rápidamente o que está ya muy baja
- La capa de humo se convierte muy turbulenta (Movimiento de remolino)
- La pirólisis repentina de objetos inflamables en la habitación

## 1.2 Progreso de incendio infraventilado

Para los incendios infraventilados, la localización del punto CC/CV es extremadamente importante. En un incendio infraventilado este punto está situado antes del flashover. Este tipo de incendio no tiene suficiente oxígeno para progresar al flashover. El incendio quiere seguir el gráfico del incendio ventilado, pero debido a que no hay oxígeno suficiente es forzado a un ratio de liberación de calor más bajo. Uno puede comparar esto a una autopista que está en obras. Normalmente el límite de velocidad es bajado a 70km/h. Tan pronto como los conductores ven la señal de tráfico, bajarán de 120km/h a 70km/h. Ellos quieren ir más rápido pero la señal limita su velocidad, al igual que el fuego quiere producir más energía pero no puede. El incendio quiere progresar hacia una tasa de liberación de energía mayor, pero la falta de aire hace esto imposible.



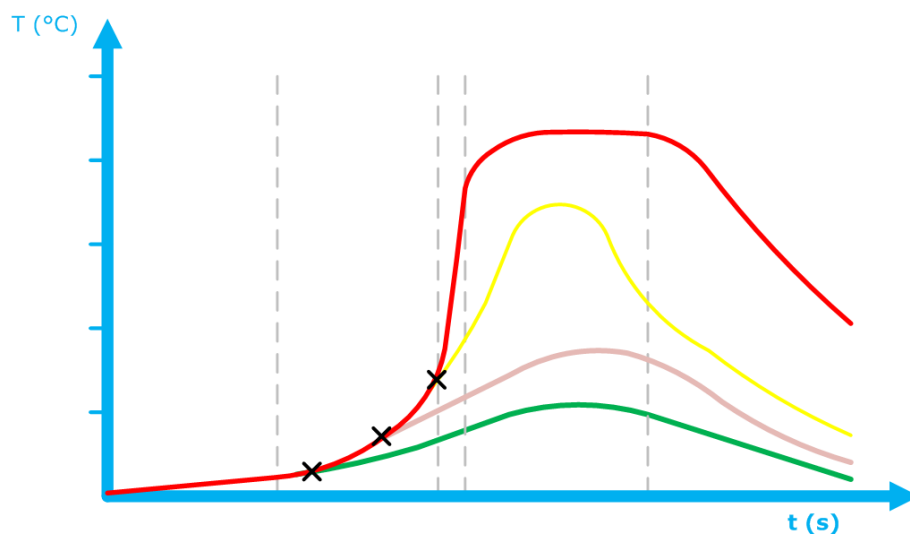
**Figura 2** El límite de velocidad de 70km/h en la autopista en obras es una buena analogía de un incendio infraventilado. El fuego quiere arder más fuerte pero no puede por la falta de aire.

El tamaño del compartimento y de la ventilación presente en el compartimento determinarán cuando el incendio pasará de un régimen de combustión controlado por el combustible a controlado por la ventilación. La figura 3 muestra varias diferencias entre incendios infraventilados y ventilados. La diferencia entre estos incendios es que cada uno se convierte en controlado por la ventilación un poco antes que el otro. El incendio "verde" se convierte en controlado por la ventilación primero mientras que el incendio "amarillo" representa una situación donde hay un poco más de oxígeno disponible. El fuego permanecerá controlado por el combustible sobre un minuto más antes de que se convierta controlado por la ventilación. Otra vez la "x" representa el punto CC/CV para cada uno. Ahora, ¿Qué incendio parece más peligroso?

La respuesta obvia es que el incendio ilustrado por la línea amarilla. Este incendio es el último en saltar de controlado por el combustible a controlado por la ventilación. Esto

significa que la temperatura dentro de la habitación en el momento del punto CC/CV es mayor en comparación con los otros dos.

Si la temperatura en el compartimento es muy baja, también lo serán los riesgos para los servicios de bomberos. Supongamos por un momento que la temperatura de la línea verde no excedió de 200°C, luego no habrá muchos gases de pirólisis. Este no ha calentado suficientemente los objetos hasta la temperatura umbral a la cual la pirólisis comienza. La temperatura a la cual un objeto comienza a pirolizar es altamente dependiente del tipo de material del cual está hecho. Una buena regla es que sobre los 300°C habrá totalmente productos de pirólisis. Objetos próximos al foco del incendio se habrán calentado rápidamente. Esto será debido al calor radiante que viene de las llamas.



**Figura 3** La línea roja ilustra el progreso de un incendio ventilado. Las otras tres líneas demuestran tres tipos diferentes de incendios infraventilados. La línea verde representa un incendio en un edificio hermético con fuerte aislamiento. Esto hace que el incendio se vuelva controlado por la ventilación rápidamente. La línea rosa es un incendio que tiene disponible un poco más de aire. La línea amarilla es un incendio que se convierte en limitado por la ventilación justo antes del flashover. (Graph: Bart Noyens)

Solo cuando la temperatura alcanza un nivel lo suficientemente alto en la habitación y una capa de humo se forma, los objetos de dentro empezarán a pirolizar. El calor irradiado vendrá de la capa de humo principalmente. Los objetos envueltos por el humo comenzarán a calentar los objetos por convección.

La localización del punto CC/CV en el gráfico sobre el desarrollo del incendio es por tanto muy importante. Cuanto mayor sea el aumento de temperatura en el momento en el que el incendio se convierte en controlado por la ventilación, más peligroso será el incendio.

El peligro que representa un incendio también varía en función del tiempo transcurrido. En cualquier incendio un cierto poder se ha generado. Este se llama tasa de liberación de calor (HRR). Esto significa que en cada segundo una cantidad de energía (medida en julios) se produce. Sin embargo, la energía también se pierde. En un compartimento

cerrado, la energía normalmente se pierde debido a la conducción a través de las paredes. Esto básicamente significa que una cierta cantidad de energía por segundo se está yendo del compartimento. El fuego está generando potencia mientras que al mismo tiempo, la potencia se pierde a través de las paredes. En un incendio controlado por el combustible la tasa de liberación de calor generada por el incendio está aumentando. Esta HRR será mayor que la HRR que se pierde a través de las paredes.

Cuando (medido por segundo) más energía es producida que la que se está perdiendo, la temperatura aumenta. Poco después del punto CC/CV, la temperatura continuará aumentando por un pequeño tiempo más. La HRR del incendio se estancará o incluso bajará. Pero esto llevará unos cuantos segundos antes de que la HRR perdida a través de las paredes exceda la HRR generada por el incendio. Tan pronto como la energía perdida sea mayor que la producida, la temperatura comenzará a bajar. Otra vez la analogía del barco puede ayudar a ilustrar esto. La potencia de los motores del barco quizás ha sido limitada, pero no obstante, la nave continuará avanzando algún tiempo. La HRR del incendio es limitada pero la temperatura continuará subiendo, a pesar de que la potencia es limitada, porque más calor está siendo generado del que se está perdiendo.

La velocidad a la cual la energía se pierde dependerá de la temperatura de la habitación, de la temperatura del exterior y de la temperatura de la pared. Aparte de esto, ciertas características de los materiales de construcción (conducción de calor, densidad y capacidad calorífica específica) juegan también un rol importante. El espesor de las diversas capas en la pared (por ejemplo, mampostería, ladrillo, aislamiento) también es importante.

Una importante pregunta que hacerse es: ¿cuándo el servicio de bomberos crea una abertura? Tan pronto como los bomberos abren una puerta, aire fresco será chupado y el humo fluirá hacia fuera. Este aire fresco puede hacer que la HRR del incendio aumente. Cuando más rápido sea el flujo de aire que entra, más peligroso será el incendio.

Cuando echamos un segundo vistazo a la figura 3, podemos ver que el tiempo es extremadamente importante en la escena del incendio. Si cuando los bomberos abren la puerta, la línea amarilla ha alcanzado su pico, el riesgo será mucho más grande que cuando esto suceda en el pico de la línea rosa. Sin embargo, está claro que la temperatura disminuirá bastante más rápido. Supongamos que nadie avisa o informa del incendio, y los equipos de bomberos abren la puerta una hora o más después de que el punto CC/CV haya pasado. En este caso, el incendio posiblemente se haya apagado por sí mismo. Normalmente las temperaturas dentro no serán muy altas y la velocidad del aire que entra será limitada. Ahora se ve claro que la línea rosa en su pico es una situación más peligrosa que la amarilla, la cual ha perdido todo su calor.

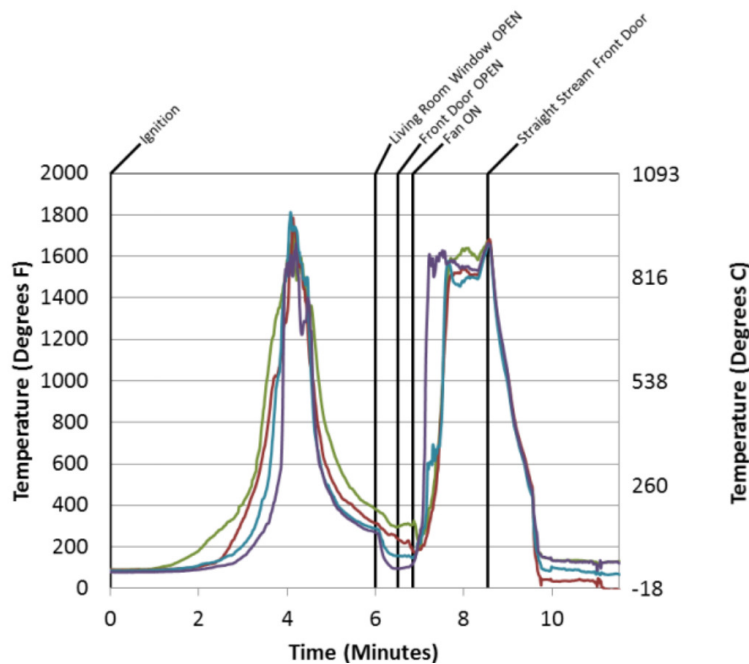
Para evaluar el riesgo, tenemos que tener en cuenta dos cosas:

- ¿Cuándo el fuego se convirtió en controlado por la ventilación? (¿Cómo de caliente estaba en ese momento?)
- ¿Cómo de caliente está el compartimento cuando los bomberos abren la puerta?

## 2 Presión

Durante un incendio infraventilado un patrón peculiar de presión puede ocurrir dentro del compartimento. Un incendio hará que las temperaturas aumenten. El humo está mucho más caliente que el aire de los alrededores. Cualquier cosa que se calienta se expandirá. Si el fuego está produciéndose en una habitación en la cual la puerta se ha dejado abierta, el humo fluirá hacia fuera. Esto compensará parcialmente el aumento de la temperatura. Debido a la gran abertura presente (sobre 2 m<sup>2</sup> en el caso de una puerta), el fuego será incapaz de aumentar la presión.

Si las puertas y las ventanas permanecen cerradas, un patrón diferente de presiones se creará. La habitación se llenará gradualmente de humo. La temperatura en el interior aumentará. Esto hará que la presión en el interior del compartimento aumente también. Siempre que el fuego tenga suficiente aire, la HRR aumentará y la temperatura dentro de la habitación aumentará igualmente. El oxígeno en el interior comenzará a agotarse. En cierto momento, el fuego alcanzará el punto CC/CV como se describió anteriormente. La producción de calor disminuirá mientras que la energía perdida a través de las paredes permanecerá más o menos igual. La temperatura alcanzará un pico después del cual las altas pérdidas de energía harán que la temperatura disminuya rápidamente.



**Figura 4** Gráfico de temperatura en uno de los test de UL. Las temperaturas mostradas son aquellas medidas dentro del salón donde se encuentra el foco del incendio. Los diferentes colores indican mediciones a diferentes alturas. Verde: 2.1m; rojo: 1.5m; azul: 0.9m; lila: 0.3m. Está claro que la temperatura aumenta al principio y luego cae otra vez. (© *Figure: UL FSRI*)

presión positiva antes de la extinción.

La figura 4 ilustra lo que se ha descrito anteriormente. El fuego hace que aumente la temperatura. Debido a que el oxígeno se acaba dentro de la habitación, el incendio pasa por el punto CC/CV. Luego hay una caída masiva de temperatura. Después de la ignición

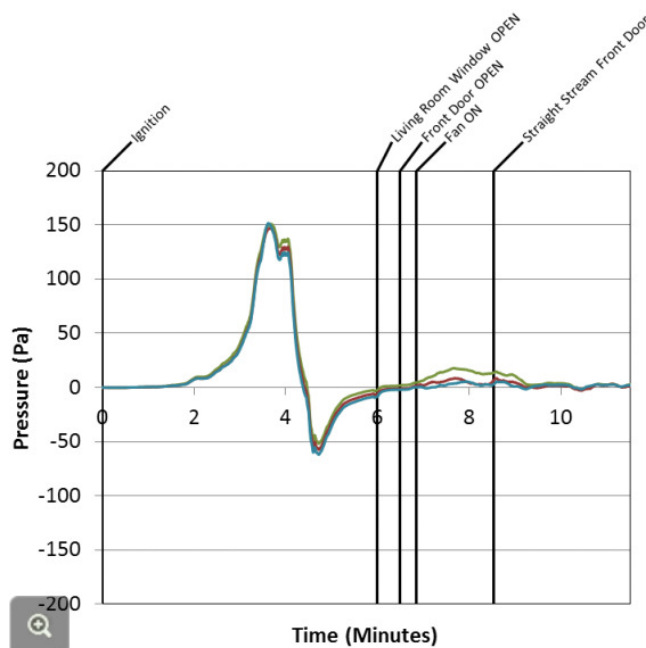
En enero de 2015, Karel estaba asistiendo a una nueva serie de test de Underwriters Laboratories' Firefighter Safety Research Institute (UL FSRI) en Chicago. Desde hace unos años hasta ahora, UL ha estado haciendo estudios de gran calidad para los bomberos. Cada año ellos construyen dos casas en una gran instalación de pruebas. A esas casas se les mete fuego varias veces. El objetivo de esta investigación es el estudio de nuevas tácticas de bomberos en condiciones

seguras y repetibles.

El objetivo del estudio de enero era evaluar la eficiencia del ataque con presión positiva (APP). Esto significa el uso de la ventilación con

inicial hay una etapa incipiente y una capa de humo caliente puede ser vista formándose después de un minuto y medio. La línea verde indica la temperatura a 2.1 metros sobre el suelo. Después de unos 2.5 minutos, la temperatura a 1.5 metros sobre el suelo empieza a aumentar. Esto significa que la capa de humo ha bajado por debajo de 1.5m. Poco después la temperatura se dispara de unos 200 °C (400 °F) a 982 °C (1800 °F) todo dentro de 4 minutos desde que empezó el test. Un minuto más tarde, sin embargo, la temperatura ha caído otra vez a 200 °C (400 °F). La velocidad a la cual la temperatura cae, es influencia por la cantidad de aislamiento y las características de los materiales usados.

Durante los 4 primeros minutos del incendio, la presión en la habitación aumentará. La figura 5 ilustra la importancia del aumento de presión. La sobrepresión en el compartimento alcanza 150Pa. Esto es aproximadamente igual a una fuerza de 15 kg/m<sup>2</sup> de superficie. Si hay una puerta en la habitación con área de 2 m<sup>2</sup> de superficie, el humo



**Figura 5** El cambio en la presión en el test. Está claro que el aumento de presión está ligado al aumento de temperatura. Una vez que el pico de temperatura se ha alcanzado, la presión comienza a bajar. (© Figure: UL FSRI)

caliente ejercerá una fuerza de 30kg hacia la puerta. Ha habido casos documentados en el extranjero donde los residentes no eran capaces de huir de sus casas porque la alta presión en la habitación les impedía abrir la puerta.

Tan pronto como el fuego alcanza el pico de temperatura, la expansión del humo se para. El humo ya no se está calentando más. Cuando la temperatura dentro de la habitación baja, el humo se enfría también. Pero siempre que hay una sobrepresión dentro del compartimento, el humo seguirá siendo empujado hacia fuera. Esto hará que la sobrepresión gradualmente disminuya al igual que un neumático de bicicleta pinchado

Los gases calientes se expandirán. Los gases fríos se contraerán. Cuando los gases se contraen, la sobrepresión disminuirá aun más. Después de todo, ellos ocupan menos espacio cuando son enfriados. Dado que cierto humo ha sido empujado fuera, los gases que quedan más fríos ya no pueden llenar toda la habitación. El enfriamiento hace que la presión dentro de la habitación cambie a una depresión. Este experimento midió una depresión de 50Pa. Luego aire frío será arrastrado dentro a través de las mismas rendijas hasta que la presión interior se iguale a la exterior.

Si pusiéramos la Figura 4 encima de la Figura 5, podríamos ver fácilmente que ambos fenómenos están ligados entre sí. La presión aumenta mientras la temperatura aumenta. Las imágenes de vídeo del experimento muestran que el humo se escapa a través de todas las grietas. Una vez que el punto CC/CV ha sido pasado, la temperatura empieza a

bajar. Al mismo tiempo, la presión baja también. El video muestra que el flujo de salida del humo de repente para. La entrada de aire fresco no es visible al ojo humano. Finalmente, es importante avisar que estos gráficos de arriba ilustran un solo test. Otros tuvieron otros patrones de presión. El cambio en la presión y la temperatura es dependiente de numerosos parámetros. Ciertos gráficos pueden parecer totalmente diferentes de los mostrados arriba.

### 3 Llegada del servicio de bomberos.

Ahora nos tenemos que preguntar a nosotros mismos: "¿cómo podemos usar el conocimiento anterior en la escena del incendio?"



**Figura 6** el humo está saliendo por una ventana. Mirando el color, velocidad de salida... uno puede determinar la severidad de la situación. (© Photo: Warre St-Germain)

A la llegada a la escena todos deben intentar hacerse una idea de lo que está sucediendo dentro del edificio ardiendo. Especialmente los oficiales y jefes de dotación necesitan formarse una imagen correcta de la situación. Mirando las aberturas de ventilación, su tamaño y localización, los bomberos pueden determinar si se enfrentan a un incendio ventilado o infraventilado. Cuando una puerta se abre y el humo sale hacia fuera es probable que sea ventilado.

La situación es diferente cuando el servicio de bomberos llega a un edificio que está completamente cerrado. Cuando todas las ventanas y puertas están cerradas, hay una ventilación insuficiente para que el fuego progrese totalmente. Claro, que esto necesita ser considerado en el contexto adecuado. En

una casa moderna, el volumen de los compartimentos son pequeños y el fuego probablemente sea incapaz de romper una ventana o forzar una abertura a través de la capa externa de construcción del edificio. El equipo de extinción puede asumir que el perfil de ventilación permanecerá estable hasta que hagan la entrada. En un hangar de una fábrica con un gran volumen, es posible que el fuego crezca significativamente antes de que se convierta en controlado por la ventilación. Después de todo, una gran cantidad de aire está disponible es tal hangar grande. Aparte de eso, es posible que un elemento de construcción de plástico en la pared (p.ej. una puerta) o en techo (p.ej. una lamina transparente ondulada) se derrita. Esto creará una abertura a través de la cual la ventilación se producirá.

Es posible, mientras que se tiene en cuenta el tamaño del edificio, evaluar si el fuego está ventilado o infraventilado mirando las aberturas en las paredes y techos.

### 3.1 Incendio infraventilado poco después del punto CC/CV

Cuando no hay presentes aberturas, uno necesita mirar el humo que sale. En la sección de arriba explicamos que en un incendio en un compartimento la presión aumenta. La presión positiva hará que el humo sea empujado hacia fuera a través de rendijas y grietas. Cuanto mayor sea la presión más humo fluirá hacia fuera y más rápido lo hará.



**Figura 7** Durante este incendio infraventilado, la temperatura dentro era muy alta. La sobrepresión dentro empujará el humo hacia fuera. (© Photo: Zbigniew Wozniak)

Cuando el humo está siendo empujado hacia fuera, es porque hay una gran sobrepresión dentro del compartimento. Esto significa que una alta temperatura se ha alcanzado dentro también. Si en ese momento, una puerta se abre para conseguir acceso, un flujo peligroso se creará. El humo será empujado a fuera violentamente y aire será chupado. Típicamente un túnel de aire se forma. La mayor parte de la puerta es usada como ventilación de humo, mientras la parte de abajo aparece un túnel de aire. Esta situación no durará mucho.

Debido a la gran abertura, la sobrepresión disminuirá. Habrá todavía una entrada de aire y una salida de humo caliente. Pero esta situación progresará rápidamente. Un flashover inducido por la ventilación será probablemente lo que continúe. En casos raros incluso in backdraft puede ocurrir.

La situación ilustrada arriba es claramente reconocible en la escena. Los bomberos pueden entender que está sucediendo si han sido educados en el desarrollo de incendios infraventilados y en el aumento de calor y presión. Lo que sucede cuando una puerta se abre puede ser ilustrado otra vez usando la analogía de la "autovía en construcción". Antes de los trabajos de construcción, los conductores tuvieron que

frenar a 70km/h. Sin embargo, la mayoría de conductores con prisa quieren volver a conducir a 120km/h lo antes posible. Tan pronto como dejan la zona que está en construcción, pasan la señal que indica que ya no se aplica la reducción de velocidad.

Todos los conductores acelerarán hasta que estén conduciendo a 120km/h. Un incendio, como la escena descrita arriba, progresará rápidamente una vez que consiga el aire que necesita. El fuego se "acelerará" hacia su máxima HRR que puede conseguir con la cantidad de aire que actualmente está disponible a través de la puerta de entrada.



**Figura 8** Al final de la zona de construcción, el límite de velocidad es aumentado. El fuego tiene una HRR limitada por la falta de aire. Tan pronto como la puerta es abierta, esta restricción es eliminada también y el fuego progresará a un flashover inducido por la ventilación. (Photo: shutterstock)



### 3.2 Incendio infraventilado con una depresión

La sección de arriba explica como un incendio infraventilado se sofocará el mismo. Tanto la temperatura como la presión disminuirán dentro. El flujo de salida de humo se parará. A menudo, el humo ha dejado algunas huellas. Manchas de hollín pueden ser vistas alrededor de ventanas y puertas. Estas manchas de hollín pueden ser el único signo visible de que el fuego ha estado o está ardiendo dentro. No está realmente claro desde fuera si el fuego ha alcanzado su etapa de depresión o si se ha apagado completamente

Si el servicio de bomberos llega a la escena de noche, este tipo de signos es fácilmente que se pasen por alto. Después de todo, no hay humo visible. Por lo tanto, es extremadamente importante no sacar ninguna conclusión del hecho de que no se ve nada. Ed Hartin de EE.UU. usa la siguiente frase: "Si no se muestra nada, significa exactamente eso: inada!". En los casos donde no se ve nada desde fuera cuando los bomberos llegan, no pasa nada la mayor parte del tiempo. Sin embargo esto puede llevar a la rutina y complacencia. Solo cuando la puerta ha sido abierta, estará claro si pasa algo o no.

Cuando el incendio está en una etapa de depresión, abrir una puerta causará un rápido y turbulenta entrada de aire sin que salga humo al mismo tiempo. Esta entrada de aire puede ser tan fuerte que sea imposible cerrar la puerta otra vez. Este flujo indica que un incendio intenso ha estado ardiendo dentro. La figura 4 y la 5 muestran la temperatura interior de alrededor de 200°C mientras que la depresión en ese momento es de 50Pa. Si los equipos de bomberos abren la puerta en esas condiciones, un flashover inducido por la ventilación ocurrirá dentro de un marco de tiempo razonablemente pequeño (de dos a cuatro minutos)

Es un escenario familiar para los bomberos y puede ser fácilmente explicado también entendiendo la relación entre el desarrollo del incendio, aberturas en el compartimento, temperatura y presión. Es importante para los oficiales al mando el reconocer estos signos y de darse cuenta de lo que sucede. De esta forma puede ajustar sus tácticas adecuadamente y compartir el fuego con seguridad y efectividad.

### 3.3 Incendio infraventilado bastante después del punto CC/CV

También hay una tercera posibilidad y es que el incendio se ha apagado por sí mismo. La figura 3 muestra tres incendios infraventilados. La línea amarilla ilustra un incendio que coincide con el gráfico de la figura 4. La temperatura aumenta significativamente antes de la falta de oxígeno tenga lugar. Se muestra claro que la temperatura también disminuye rápidamente después. En las casas modernas es altamente improbable que una ventana se rompa. El volumen quedará cerrado por lo tanto. Después de un tiempo, el fuego se apagará debido a la falta de oxígeno. El humo caliente transferirá su energía a las paredes de la misma forma que lo hace el aire caliente. Y después de un rato, la temperatura alcanzará otra vez los niveles que había antes del incendio.

Cuando el servicio de bombero abre una puerta en este tipo de situaciones, un flujo pequeño de aire se crea. Casi no hay diferencia de presión con el ambiente exterior. Aparte de esto, la diferencia de temperatura entre el humo y el aire de fuera es casi ninguna. Cualquier flujo eventual se formara lentamente. Esto es otra vez un escenario evidente para los bomberos. Una cámara de visión térmica mostrará casi ningún

incremento de temperatura en el interior. Cuando el fuego se ha apagado completamente, la temperatura dentro permanecerá la misma. Una cámara de visión térmica es por tanto una herramienta valiosa cuando se avanza a un incendio infraventilado. En el momento en el que hay todavía un foco de incendio y la HRR aumenta, la cámara permitirá a los bomberos percibirlo antes de que empiecen a sentir el aumento de la temperatura a través de su traje de intervención.

#### **4 Bibliografía**

- [1] *Study of the Effectiveness of Fire Service Positive Pressure Ventilation During Fire Attack in Single Family Homes Incorporating Modern Construction Practices, UL FSRI, resultatenverwacht in 2016*
- [2] *Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, Kerber Steve, 2011*
- [3] *Ventilating today's residential fires, Kerber Stephen, presentatie op FDIC, 2011*
- [4] *Fire dynamics: Technical approach, tactical application, Lambert Karel & Baaij Siemco, 2015*
- [5] *Scientific research for the development of more effective tactics, UL FSRI, Fire Department New York & NIST, 2012*