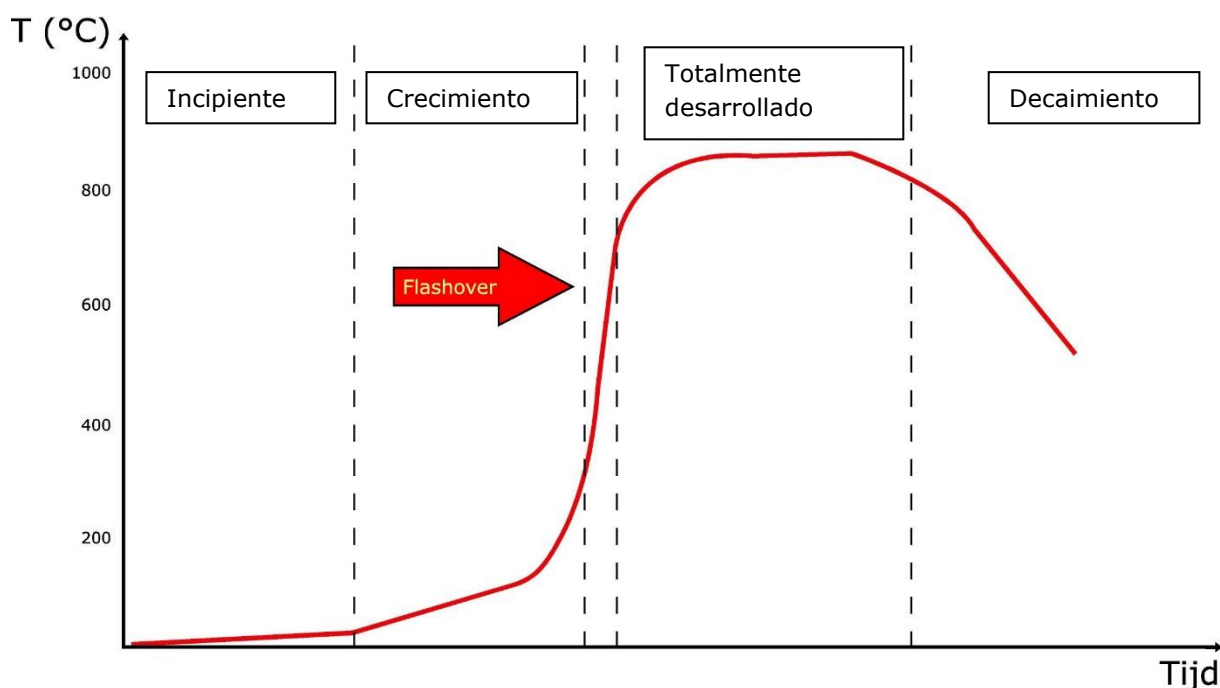


# Visita de nuevo a la curva de crecimiento del fuego

## 1 Introducción

Cada bombero conoce la curva de crecimiento del fuego que se enseña en el curso básico de lucha contra incendios. Donde en el pasado solía haber una sola curva de crecimiento del fuego, ahora hay dos. Una es la antigua curva, definida con el término "fuego ventilado" (ver figura 1). En este artículo se analiza esta curva, que representa un incendio en una habitación con las siguientes condiciones:

- Suficiente carga de fuego, que se encuentra en el lugar correcto de la habitación.
- Ventilación suficiente.



**Figura 1** La curva de crecimiento de un incendio ventilado. (Figura: Karel Lambert)

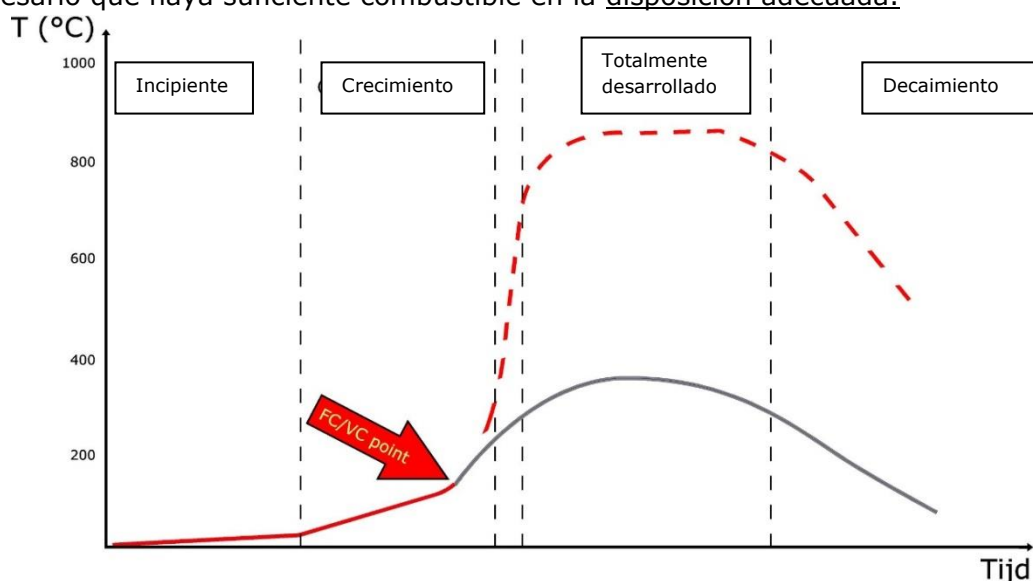
A menudo ocurre que un incendio se apaga solo porque el objeto inicial incendiado no puede producir una tasa de liberación de calor lo suficientemente alta como para encender otro objeto inflamable cerca. En estos casos, frecuentemente hay mucho humo, pero casi nada de calor. Por lo tanto, hay suficiente carga de combustible disponible para permitir que el fuego progrese a una flashover, pero la disposición de los combustibles evita que esto suceda. El fuego se apaga en la etapa incipiente.

Recientemente, el servicio de bomberos de Oostkamp se encontró con tal incendio. Fueron enviados a un incendio en una casa en la que había atrapada toda una familia en el primer piso del edificio. A su llegada, toda la planta baja resultó estar llena de humo. El humo estaba bloqueando la ruta de escape de los ocupantes, que estaban en el primer piso. Además de eso, las ventanas en el primer piso eran de cristal simple. El fuego parecía estar poco ventilado y los bomberos reconocieron que romper las ventanas podría provocar un flashover inducido por la ventilación y se inició un ataque interior

utilizando líneas de 45 mm. Durante el avance de la línea de ataque, resultó que el humo en la sala no estaba del todo caliente. El humo frío puede ser consecuencia de un fuego infraventilado. Debido a la falta de aire, la tasa de liberación de calor del fuego es muy baja (ver figura 2). Esto significa que se acumula muy poco calor. Usando la cámara térmica, los equipos pudieron encontrar el lugar del incendio. La fuente era un hoverboard que se había dejado cargando. El objeto estaba ubicado al lado de un armario sólido de roble. El armario, por supuesto, estaba ennegrecido y quemado, pero la HRR del hoverboard en llamas era insuficiente para encenderlo completamente. El hoverboard se había quemado por completo y entró en su etapa de decaimiento. El fuego había producido una gran cantidad de humo, pero muy poco calor. Con el uso de un ventilador, el humo se expulsó del edificio y la familia se salvó de esa situación. Aunque el humo no estaba muy caliente, los niveles de toxicidad eran lo suficientemente altos como para que huir a través del humo sin un aparato de respiración no fuera viable.

Sin embargo, este escenario podría haber resultado completamente diferente. Al otro lado de la sala de estar se encontraba la caja de cartón en la que generalmente se almacenaba el hoverboard. Esta caja de cartón estaba parada al lado de un gran sofá de tres asientos. Supongamos por un minuto que el hoverboard se ha colocado dentro o encima de la caja y luego se incendió. Con toda probabilidad, el sofá también se habría encendido. El sofá habría generado suficiente HRR para causar un flashover en la sala de estar. Al llegar, el servicio de bomberos se habría enfrentado con un gran incendio totalmente desarrollado en la planta baja. La temperatura del humo proveniente de tal fuego fluyendo hacia el primer piso, sería 10 veces mayor. Habría que adivinar si las puertas del dormitorio habrían protegido a la familia el tiempo suficiente para que llegue la ayuda.

La única variable que es diferente en estos dos casos es la colocación del hoverboard (el objeto de la combustión inicial) en el momento del encendido. Todo lo demás sobre el contenido de la sala sigue siendo el mismo. Un escenario da como resultado una gran cantidad de daños por humo, pero el otro conduce a un incendio en el hogar y posiblemente a varias víctimas muertas. Para que un fuego ventilado llegue al flashover, es necesario que haya suficiente combustible en la disposición adecuada.



**Figura 2** Cuando no hay suficiente aire, el fuego pasa de la línea roja a la gris. Esto se llama fuego infraventilado. . (Figure: Karel Lambert)

Cuando no hay suficiente ventilación que provoque que no se pueda producir el flashover, estamos lidiando con un fuego poco ventilado o infraventilado. El fuego permanecerá pequeño hasta que se apague solo o hasta que se creen aberturas de ventilación adicionales. Este tendrá una curva diferente, representada en la figura 2.

Sin embargo, este artículo trata también sobre el fuego ventilado como se muestra en la figura 1. La mayoría de los bomberos conocen esta curva como una curva de temperatura. Este tipo de curva ilustra el desarrollo de la temperatura en función del tiempo. Se pueden hacer varias preguntas sobre esta afirmación: *¿Qué temperatura se ilustra exactamente en la curva?* O en otras palabras: *¿en qué lugar tenemos que colocar un termómetro para que las temperaturas medidas sean las que se muestran en el gráfico antes mencionado?* Muchos bomberos no pueden responder esa pregunta.

*¿Sabes la respuesta correcta? Intenta pensar en la pregunta antes de leer la siguiente sección. ¿El texto confirma tu respuesta? ¡Bueno! Si no es así, piense por qué su respuesta fue incorrecta. En cualquier caso, habrás aprendido algo.*

## 2 Tasa de liberación de calor de un incendio o HRR

*Cada incendio produce una cierta tasa de liberación de calor.* Esta se puede describir de la siguiente manera: imagine un sofá de tres asientos. Supongamos que el sofá se enciende debido a un cigarrillo olvidado. En el asiento del sofá, se quema un área de un cuarto de metro cuadrado. Las llamas se elevan a unos 50 cm del sofá. *¿Puedes ver la imagen en tu mente?*

El calor de las llamas fluirá en gran medida hacia arriba. Allí, calentará la capa de humo. Parte del calor se irradia de nuevo hacia el sofá, haciendo que el sofá se caliente. La alta temperatura del sofá (carga de combustible) hará que parte del sofá comience a pirolizar. Esto significa que el sofá está perdiendo parte de su masa. Si el sofá estuviera parado sobre una balanza, veríamos que el peso baja lentamente. El término científico para esto es *Mass Loss Rate* o Tasa de pérdida de masa (en kg/s). Cuanto más caliente esté el combustible, más rápido se formarán los gases de pirólisis (y más rápido bajará el peso en la báscula). Los gases de pirólisis no son más que combustible gaseoso. Las llamas están siendo alimentadas por estos gases de pirólisis que los queman utilizando el oxígeno del aire circundante.

Una estufa de gas se maneja abriendo un grifo. A continuación, el gas que sale se enciende por una chispa. Al manipular el grifo, se forma una llama más grande o más pequeña. En un incendio real, la función del grifo es asumida por el calor recibido sobre la carga de combustible. Cuanto más caliente esté el combustible, más gases de pirólisis se liberan por segundo. Cuantos más gases de pirólisis por segundo, mayor será la velocidad de liberación de calor del fuego.

La sección anterior solo se aplica a incendios controlados por combustible. En tales incendios, hay aire (oxígeno) en abundancia. La tasa de liberación de calor del fuego dependerá de la cantidad de gases de pirólisis (la tasa de pérdida de masa). Cuando un incendio está controlado por la ventilación, significa que no hay suficiente aire para quemar todos los gases de pirólisis. Parte de estos gases se agregarán a la capa de humo. Esto significa que las partículas no quemadas se están acumulando en la capa de



humo. La velocidad de liberación de calor del fuego está limitada por el aire disponible. Esto se muestra en la figura 2, donde el fuego cambia de la línea roja a la gris. Sin embargo, también ocurre en la figura 1. Justo antes de que la curva alcance el límite horizontal, el fuego está controlado por la ventilación. Ambas curvas de fuego tienen una sección controlada por ventilación.

El gráfico en la figura 1 también podría describirse como un gráfico de tasa de liberación de calor-tiempo. Este gráfico muestra cómo progresa la tasa de liberación de calor en función del tiempo. La figura 1 muestra la etapa incipiente. La etapa incipiente está controlada por combustible y se caracteriza por una HRR muy limitada. El fuego permanece controlado por el combustible a través de la etapa de crecimiento, pero se convierte en controlado por la ventilación durante el flashover. El fuego completamente desarrollado está controlado por ventilación. La sección horizontal del gráfico durante la etapa de completamente desarrollado es una consecuencia directa del hecho de que solo una cantidad limitada de aire puede ingresar a la habitación a través de la(s) abertura(s) de ventilación.

### 3 ¿Qué información se puede obtener de la curva de fuego?

Observe el fuego que se muestra en la figura 3. Es claramente un fuego completamente desarrollado. El fuego es ventilado a través de dos ventanas que están una al lado de la otra. Ambas ventanas son de la misma altura y superficie.

Suponga que estas ventanas conectan a una sala de estar y que la puerta de la sala está cerrada. Las dos ventanas serían las únicas aberturas de ventilación para el fuego en la imagen. La sala de estar contiene una gran cantidad de combustible: sofás, una mesa de café, armarios llenos de libros, un televisor,... Está claro que toda la habitación está en llamas. La HRR del incendio está limitada por la cantidad de aire que ingresa a la habitación. Es un ejemplo típico de un incendio controlado por ventilación.

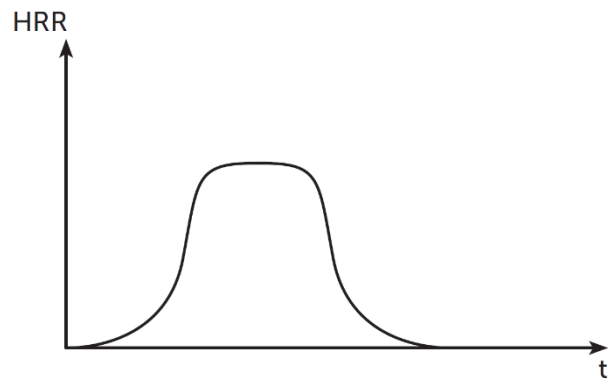
Este fuego comenzó pequeño, por supuesto. En aras de la simplicidad, asumimos en este razonamiento que ambas ventanas estaban abiertas al principio. Supongamos que el fuego comenzó en un sofá de tres asientos.

Al principio solo hay una HRR limitada y a medida que crece el fuego, la HRR aumentará.



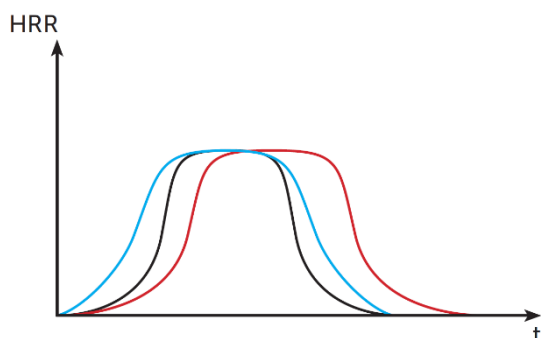
**Figura 3** Vista de un incendio totalmente desarrollado ventilado por dos ventanas. (Photo: [www.nufoto.nl](http://www.nufoto.nl))

La Figura 4 muestra cómo progresa la HRR a medida que pasa el tiempo. El fuego comienza pequeño, crece, alcanza el flashover y se desarrolla completamente (la línea horizontal). Después de un tiempo, la cantidad de combustible se habrá reducido severamente. Se habrá quemado mucho combustible. Esto significa que debido a la tasa de pérdida de masa, quedará muy poco combustible. Una gran cantidad de combustible se habrá transformado en gases de pirólisis. Es razonable suponer que la etapa de decaimiento comenzará cuando se haya quemado el 70% de la carga de combustible. La cantidad de gases de pirólisis (por segundo) disminuye porque apenas queda combustible. En algún momento, nuevamente habrá suficiente aire que fluyendo a través de las aberturas para quemar todos los gases de pirólisis. El fuego se habrá vuelto controlado por el combustible una vez más. A medida que la pirólisis disminuye aún más, también lo hará la HRR. Después de un tiempo, el fuego se extinguirá por sí solo. La producción de gases de pirólisis se habrá reducido tanto que ya no se podrá mantener una combustión en llamas. El combustible restante continuará ardiendo, pero a medida que pase el tiempo, todo se enfriará y el fuego se apagará por completo.



**Figura 4** Tasa de liberación de calor en función del tiempo en un incendio ventilado. (Drawing: Karel Lambert)

Supongamos que el fuego hubiera comenzado en otra sala de estar, en una casa construida exactamente igual con el mismo tamaño que la primera sala de estar. Suponga que la carga de combustible es idéntica y que las piezas (sofá, mesa,...) están exactamente en el mismo lugar. El fuego también comienza exactamente igual, un cigarrillo en el sofá. Todo es idéntico al primer escenario, excepto por una cosa: solo hay una ventana en lugar de dos. La superficie de las ventanas es la mitad de la del incendio anterior. ¿Cuál es el efecto de esto en la HRR? ¿El fuego crecerá más lentamente que cuando había dos ventanas? ¿O progresará más rápido de alguna manera?



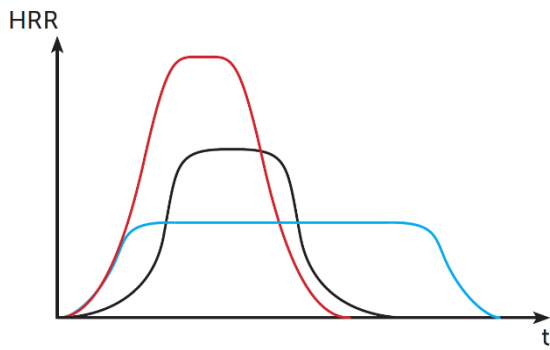
**Figura 5** Dos posibles variaciones de un gráfico HRR para un incendio con una en lugar de dos ventanas. (Figure: Karel Lambert)

La Figura 5 tiene una línea negra que muestra cómo progresó el fuego cuando había dos ventanas abiertas.

El gráfico azul indica un incendio que progresa más rápido.

La línea roja es un fuego que progresa más lentamente. ¿Cuál de los dos es el correcto? ¿O quizás ambos están equivocados?

*Intenta pensar en argumentos para apoyar tu posición.*

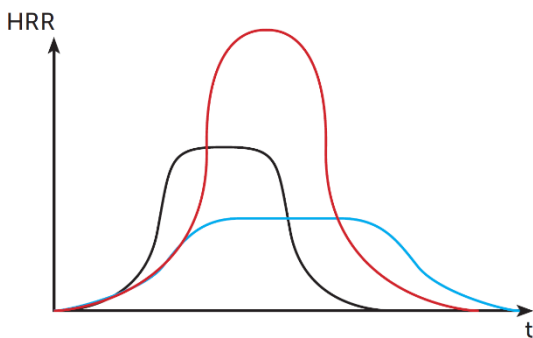


**Figura 6** Otros dos posibles resultados para la HRR del incendio cuando solo hay una ventana en lugar de dos. (Figure: Karel Lambert)

También es posible obtener dos gráficos que progresen más rápido, pero que tengan una HRR más alta o más baja. La Figura 6 muestra estos dos gráficos. La línea negra todavía representa el fuego en la sala de estar con dos ventanas abiertas. La línea azul ilustra un incendio que se está desarrollando más rápido, pero también deja de crecer rápidamente y sigue ardiendo a una HRR más baja. El fuego se mantiene en esta etapa por un período de tiempo más largo.

La línea roja ilustra un incendio que se desarrolla más rápido y, además, alcanza un HRR más alta. Esto hace que se queme en menos tiempo. ¿Es uno de estos dos gráficos la representación correcta de un incendio en una sala de estar con una ventana abierta?

*Nuevamente, piense en argumentos para apoyar su razonamiento.*

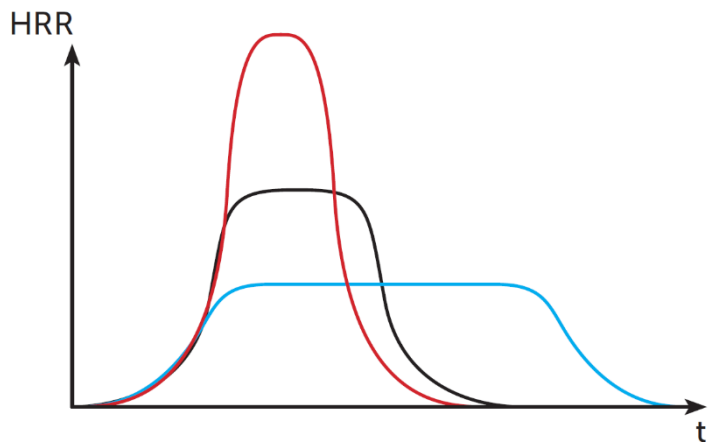


**Figura 7** Dos nuevas variaciones posibles para el mismo fuego. (Figure: Karel Lambert)

La figura 7 muestra una variación de la figura 6. Esta vez, la línea roja y azul representan incendios que se desarrollan más lentamente que el fuego en la sala de estar con dos ventanas abiertas (la línea negra). Al igual que en la figura 6, la línea azul alcanza una HRR más baja que la línea negra. La línea roja alcanza un HRR más alta que la línea negra. ¿Es una de estas líneas la correcta?

*Depende de usted pensar esto críticamente y formular una respuesta.*

Las figuras 5, 6 y 7 representan incendios que se desarrollan más rápido o más lento que el fuego representado por la línea negra. Sin embargo, podría ser fácilmente el caso de que el crecimiento del incendio no se vea afectado por la falta de una segunda ventana abierta. La figura 8 muestra dos de estas posibilidades. La línea azul es exactamente la misma que la línea negra en las etapas iniciales. Esto significa que el fuego está creciendo



**Figura 8** De nuevo dos posibles representaciones de la HRR de un incendio con una ventana abierta en lugar de dos. (Figure: Karel Lambert)

exactamente de la misma manera. Sin embargo, el fuego se vuelve menos intenso (pico de HRR más bajo) en una etapa posterior. La línea roja también tiene el mismo crecimiento que la línea negra, pero termina con un pico de HRR más alto que el fuego con dos ventanas abiertas. ¿Tal vez el gráfico correcto está aquí? O tal vez hay otra posibilidad que aún no ha aparecido.

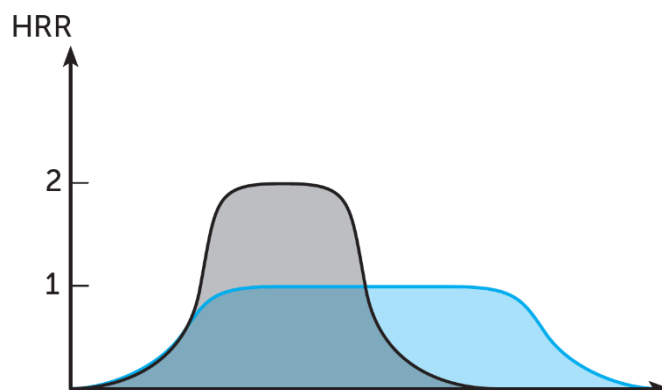
*Piensa en tu respuesta y por qué crees que es correcta.*

#### 4 El efecto de una ventana en lugar de dos.

La línea negra ilustra cómo progresa la HRR de un incendio en relación con el tiempo, para un incendio en una sala de estar con dos ventanas abiertas. La primera parte de la línea representa la etapa incipiente y de crecimiento del incendio. El fuego está controlado por el combustible en ese momento. Esto significa que hay suficiente aire para quemar los gases de pirólisis que se están produciendo. Si aumentara el tamaño de las aberturas de ventilación, esto no afectaría el crecimiento del fuego. Después de todo, ya hay suficiente aire. Reducir el tamaño de la abertura de ventilación tampoco tendrá un efecto en las etapas iniciales del incendio. Mientras haya suficiente aire fluyendo a través de la abertura para quemar los gases de pirólisis que se están formando, el fuego estará controlado por combustible y esto significa que no hay efecto de una mayor ventilación.

Un incendio controlado por el combustible no arderá más rápido o más lento en la etapa inicial al tener una ventana abierta en lugar de dos. Las líneas de los dos incendios (dos ventanas y una ventana) son congruentes.

El fuego en la sala de estar con una ventana abierta también progresará a flashover si entra suficiente aire a la habitación a través de la ventana abierta para permitir que crezca el fuego. Tenga en cuenta que el área de superficie de la ventana abierta debe permanecer más grande que cierto tamaño mínimo. El fuego en la sala de estar debe ser capaz de crecer hasta una cierta HRR para lograr un flashover en la habitación. Suponga que las dos ventanas en la figura 3 se reemplazan por una ventana de un cuarto de superficie de la ventana original, entonces el fuego probablemente estará controlado por la ventilación antes de que pueda ocurrir un flashover. Entonces estaremos lidiando con un fuego poco ventilado o infraventilado. La Figura 2 podría ser una posible ilustración de este escenario.



**Figura 9** El gráfico azul produce solo la mitad de la HRR máxima del gráfico negro. Debido a esto, el combustible se consume más lentamente y el gráfico es aproximadamente el doble de largo. (Figure: Karel Lambert)

Cuando la superficie de las ventanas en la sala de estar del segundo escenario es la mitad que la primera, entonces solo la mitad de la cantidad de aire podrá fluir. Esto significa que la HRR producida por el segundo incendio será la mitad de la del primer incendio. La línea azul en la figura 8 ilustra la respuesta correcta. La altura de las líneas horizontales (pico HRR) está determinada por el área de superficie total de las ventanas abiertas. Determinan cuánto aire

puede fluir en un momento dado y, por lo tanto, determinan cuál será la HRR máxima. La altura de la parte horizontal de la línea azul debe ser exactamente la mitad de la de la línea negra. Si se abrieran cuatro ventanas en lugar de dos, entonces la línea roja en la figura 8 sería la correcta. Tendría que alcanzar una HRR de exactamente el doble del tamaño que la línea negra.

Finalmente, es importante darse cuenta de que la superficie debajo de las líneas representa la carga de combustible. Es por eso que la línea azul en la figura 8 es más larga que la línea negra (y la roja es más estrecha). Cuando la HRR es solo la mitad del de la línea negra, entonces solo la mitad del combustible se quemará en un momento dado. Esto significa que la carga de combustible durará el doble. Un ejemplo perfecto para ilustrar esto es una estufa de leña. Se puede poner cualquier cantidad de troncos de madera en la estufa para alimentar el fuego. Pero cuando la entrada de aire se reduce a la mitad, el calor que produce la estufa disminuirá (porque la HRR se redujo a la mitad). La cantidad de leña en la estufa durará el doble.

Esto se puede ver claramente en la figura 9. El área de superficie marcada en gris tiene que ser igual a la marcada en azul. Después de todo, representan exactamente la misma carga de combustible. En el incendio "negro" hay dos veces la cantidad de aire disponible y, por lo tanto, la carga de combustible se consume el doble de rápido. Esto conduce a un incendio que dura solo la mitad de la cantidad de tiempo (pero es dos veces más intenso).

## 5 Bibliografía

- [1] *Lambert Karel, Baaij Siemco (2018) brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2nd edition, Sdu*
- [2] *Lambert Karel (2009-2019) CFBT-instructor course for the Attack cell, CFBT-BE*
- [3] *McDonough John (2009-2019) personal talks*
- [4] *Grimwood Paul (2008-2019) personal talks*

Karel Lambert

