

VALIDACIÓN DEL COEFICIENTE DE EXTINCIÓN AL MODELAR EL FUEGO CON ROCIADORES AUTOMÁTICOS – PARTE 2

12/11/2024

Javier Querol - Director Técnico Pefipresa (España) – Grupo Minimax

1. ABSTRACTO

Se pretende dar soporte a la utilización del coeficiente de extinción (E_COEFFICIENT) al modelar el fuego con rociadores automáticos cuando se incluye el agua descargada en la simulación del incendio en un programa de CFD como el FDS. Se comparan los resultados con los de ensayos de fuego reales realizados por FM para almacenamiento en estanterías a 3 y 5 alturas con palets de madera y cajas de cartón, considerando el mismo tipo de rociadores y presión de trabajo utilizados en los ensayos. Al mismo tiempo, se comparan los resultados con las predicciones que se obtendrían con un modelo de dos zonas como el CFAST. Este documento complementa al artículo del mismo nombre Parte 1 [1] en donde se hizo la validación del coeficiente de extinción a partir de los criterios de diseño de la norma de rociadores automáticos.

2. VALIDACIÓN DE SIMULACIONES EN FDS CON DESCARGA DE AGUA

2.1 Curva del Fuego

En este estudio se utilizará el método más sofisticado en el que no se fuerza la curva de potencia calorífica respecto al tiempo sino más bien se deja que el fuego crezca por sí mismo en base a la temperatura de ignición del material combustible de cada celda, a la vez que la potencia calorífica instantánea de dicho material combustible resulte afectada por la refrigeración del agua principalmente al evaporarse y por su capacidad extintora (a través del coeficiente de extinción).

2.2 Coeficiente de Extinción

Al igual que en la Parte I [1], donde se describe esta metodología con todo detalle, se utilizará la ecuación y datos experimentales de:

Yu, Lee, Kung [2]:

$$Q = Q_0 e^{-k(t-t_0)} \quad \text{siendo} \quad k = c_1 w'' - c_2$$

w'' = densidad efectiva por superficie expuesta en kg/(m²-s)

Tipo de mercancía	c_1	c_2	Rango de aplicación de w''	
Clase II	0,536	0,0040	0,006	0,024
Grupo A Plásticos	0,716	0,0131	0,012	0,041

Es muy importante recalcar aquí que el valor de densidad que se debe aplicar en la fórmula de Yu, Lee y Kung es la densidad por superficie (incluyendo las horizontales y verticales de la carga).

También cabe resaltar, que como el coeficiente de extinción E corresponde a la k dividida por la densidad, entonces $E = c_1 - c_2/w''$, y, por consiguiente, a medida que la densidad aumenta el segundo término se aproxima a cero, por lo que E tendría un valor máximo de 0,536 para mercancía Clase II y 0,716 para Grupo A plásticos.

Con la densidad de 20 mm/min en planta de los ensayos referidos el coeficiente de extinción que se obtiene para el caso de 3 alturas Categoría II es de **E = 0,3** mientras que para el de 5 alturas es de **E = 0,2**.

2.3 Características del Escenario

El escenario está descrito ampliamente en el documento “Large Scale Fire Suppression Modeling of Corrugated Cardboard Boxes on Wood Pallets in Rack-Storage Configurations” [3]. Se trata de un recinto utilizado por FM para realizar pruebas de fuego y de rociadores. Las figuras de este documento para el caso de 3 alturas y de 5 alturas son:

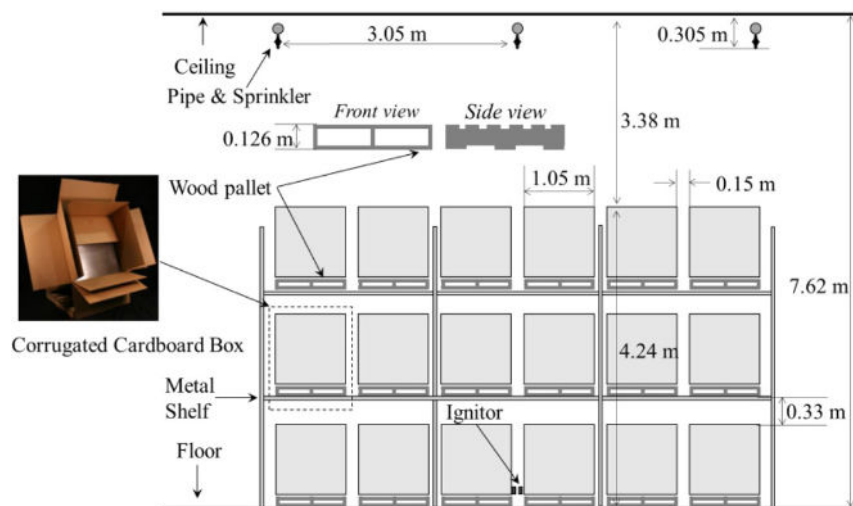


Fig. 1. Configuration of the 2×6×3 fire-suppression test.

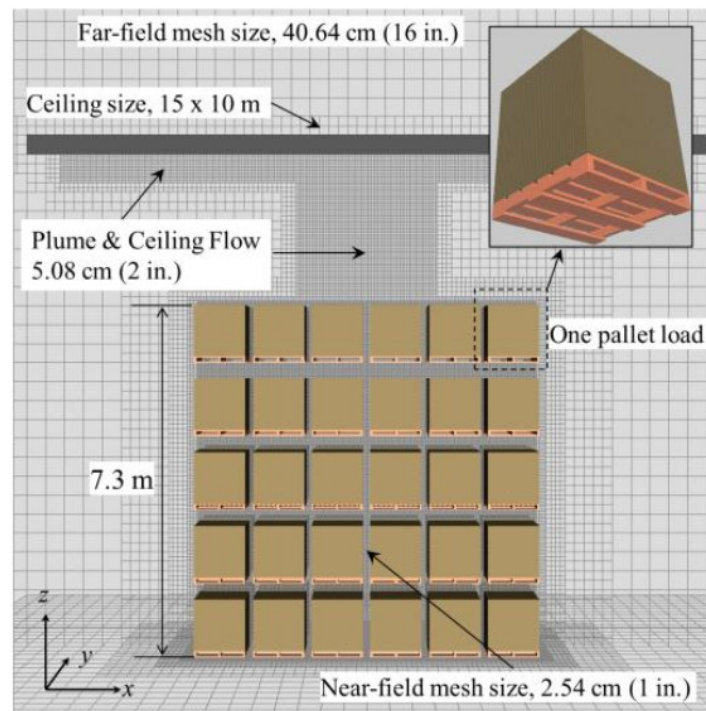


Fig. 2. Numerical configuration of the 2×6×5 suppression case with details of one pallet load.

Nota: En el referido artículo [3] se realizaron comparaciones entre los resultados de los ensayos y un modelo introducido en el programa FireFOAM, si bien en este no dicen utilizar el coeficiente de extinción antes mencionado, ligando la extinción más bien al mojado y enfriamiento de las superficies, y sin considerar la extinción de la llama.

En cuanto al quemador inicial se utilizó el mismo criterio que en el documento de esta serie Parte I [1], y la mercancía al quedar catalogada como de Categoría II, se considera inicialmente una potencia calorífica por unidad de superficie de 250 kW/m^2 , con una temperatura de ignición de 350°C para provocar el inicio de la combustión en cualquier celda bajo análisis.

Nota: El quemador no “ensucia” el resultado de la curva de potencia calorífica vs tiempo como se ha podido comprobar en ensayos paralelos utilizando otros quemadores externos, porque también se puede programar para que se vea afectado por el coeficiente de extinción, siendo que en FDS se puede aplicar este coeficiente tanto en la reacción de los combustibles como a los quemadores.

En el artículo no se indican las dimensiones totales del recinto de ensayo, y del techo que puede estar más abajo o más arriba según si el ensayo sea de 3 alturas o de 5 alturas, aunque sí se mencionan unas dimensiones de $15 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ en la representación numérica de FireFOAM. Sin embargo, dado que al señalar en planta los tiempos de activación en segundos de los rociadores activados se muestran 7 rociadores $\times$ 5 rociadores, y siendo que los rociadores están distanciados a $3,05 \text{ m}$ entre sí en ambas direcciones, queda claro que el techo real abarcó al menos $21 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ y es lo que se ha representado en el modelo en FDS.

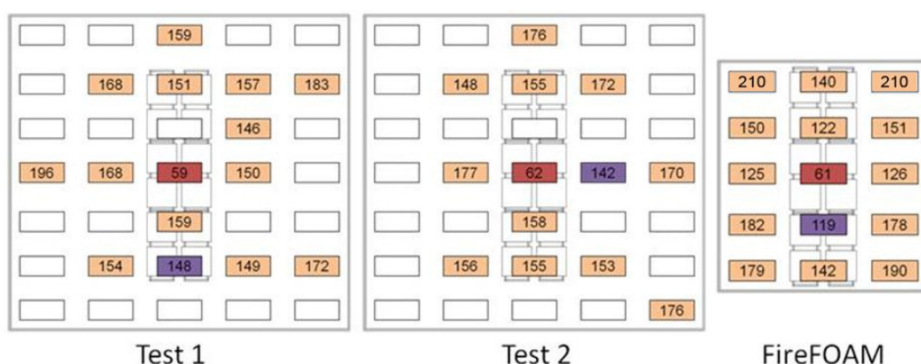


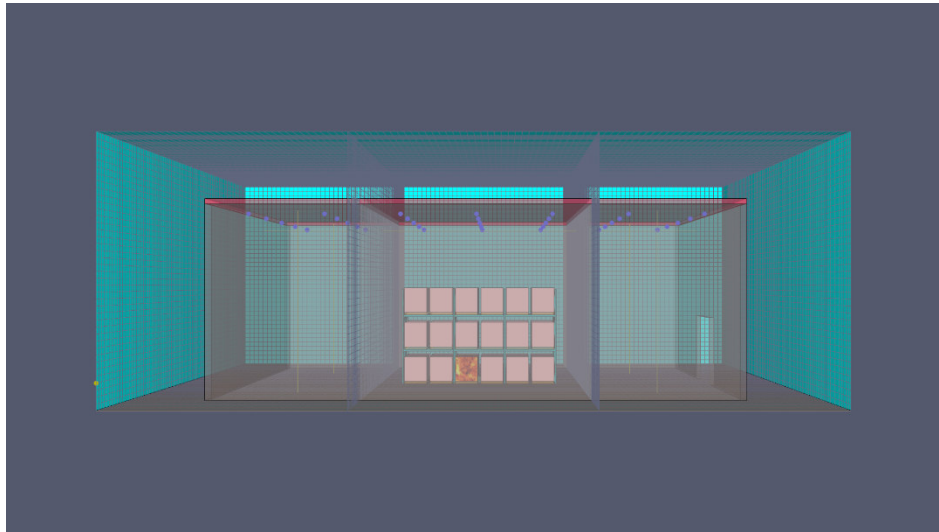
Figure 14. Sprinkler activation map for the $2 \times 6 \times 5$ suppression test.

No se expresa de qué manera se recogían los humos, aunque es de suponer que no existían exutorios (pues habrían afectado la activación de los rociadores y además porque FM es bastante reticente en su utilización) y que existía una campana por encima del falso techo que los recogía al desbordar las dimensiones del techo para su liberación al exterior, no dejando que se acumulasen los humos en el recinto para poder tomar las fotografías de la carga ardiendo y posiblemente para obtener más información respecto a los gases calientes.

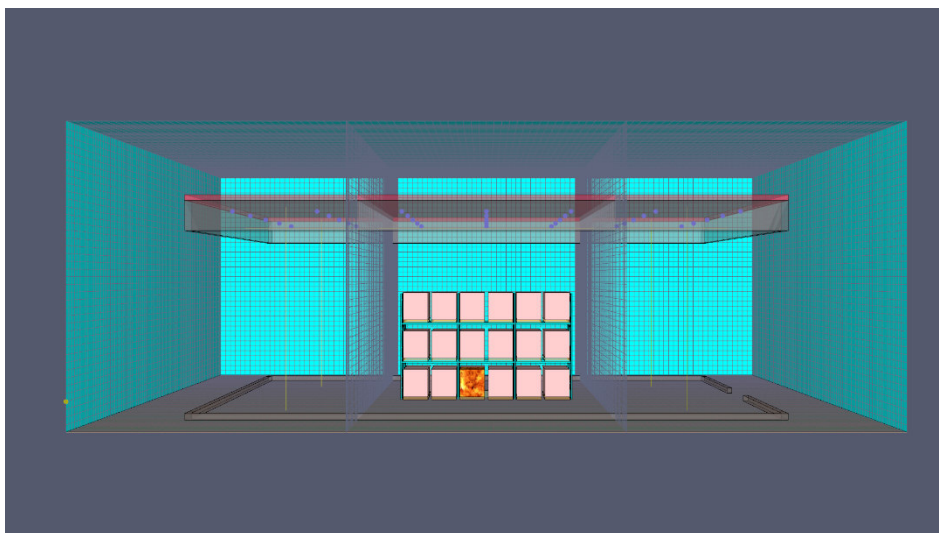
Esta es la razón por la que se muestran los resultados de las simulaciones en 3 hipótesis de recinto: a) sin salida para los humos salvo el portón, b) con una cortina con caída de al menos 1 m de altura desde el techo para favorecer la acumulación de los gases en el techo, y c) sin paredes ni cortina. En las versiones anteriores se simulaban sólo aberturas de 1 m en los casos b) y c) pero, la acumulación de humos difería de las fotos del artículo con las cargas ardiendo de modo que es muy probable que se trate de un ambiente muy grande dentro de los 16.700 m^2 del “FM Global Research Campus para replicar los incendios del tamaño de un almacén para probar rociadores automáticos”. Como se verá por los resultados, el efecto del contorno puede llegar a ser muy importante. En la versión actual, la abertura es total hasta el suelo.

Caso 3 alturas

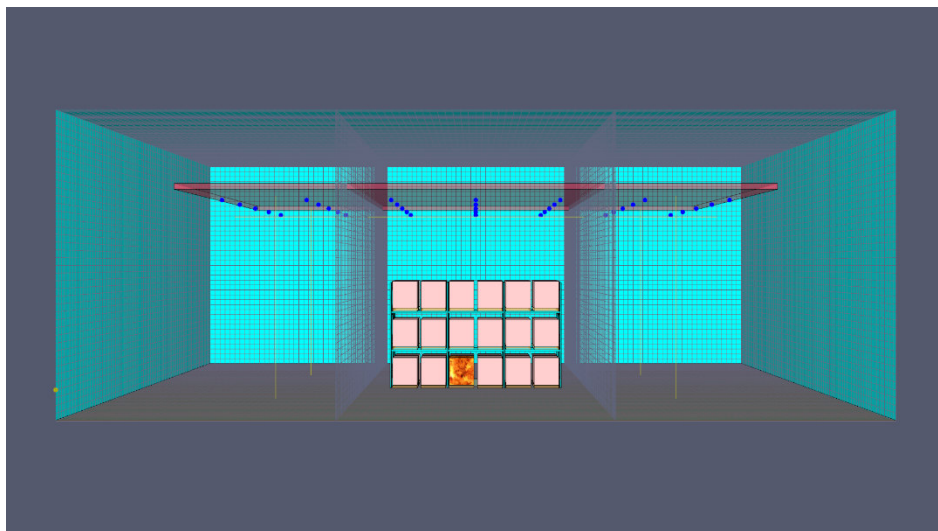
- a) Sin salida de humos salvo el portón



- b) Con salida de humos debajo de una cortina

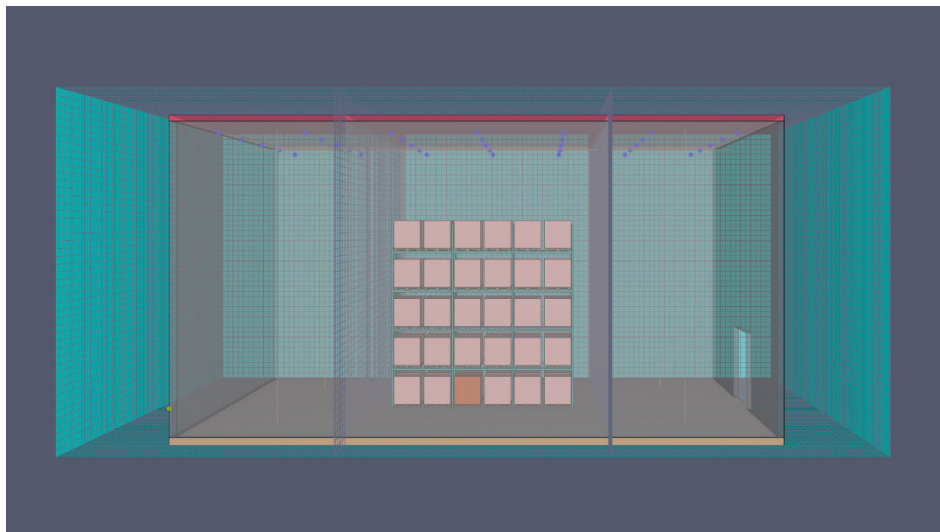


- c) Sin restricción a la salida de humos

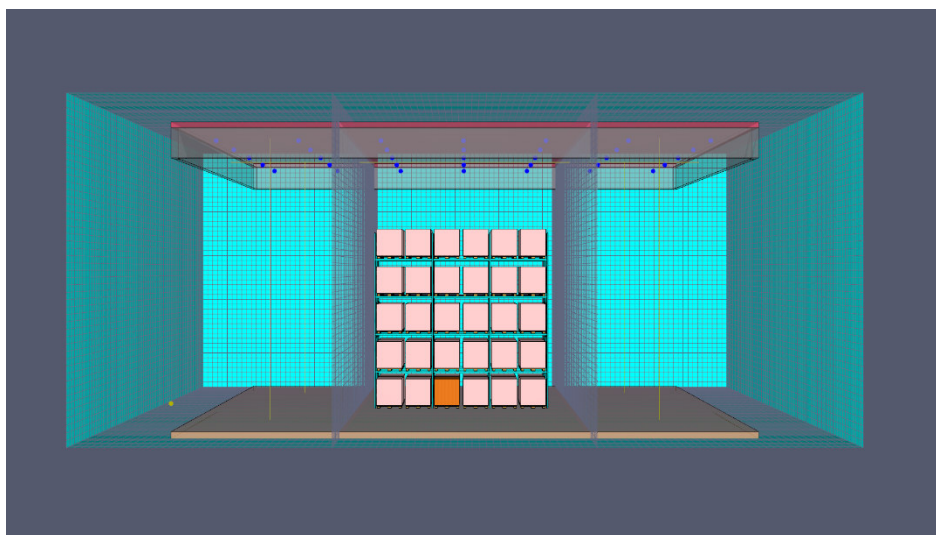


Caso 5 alturas

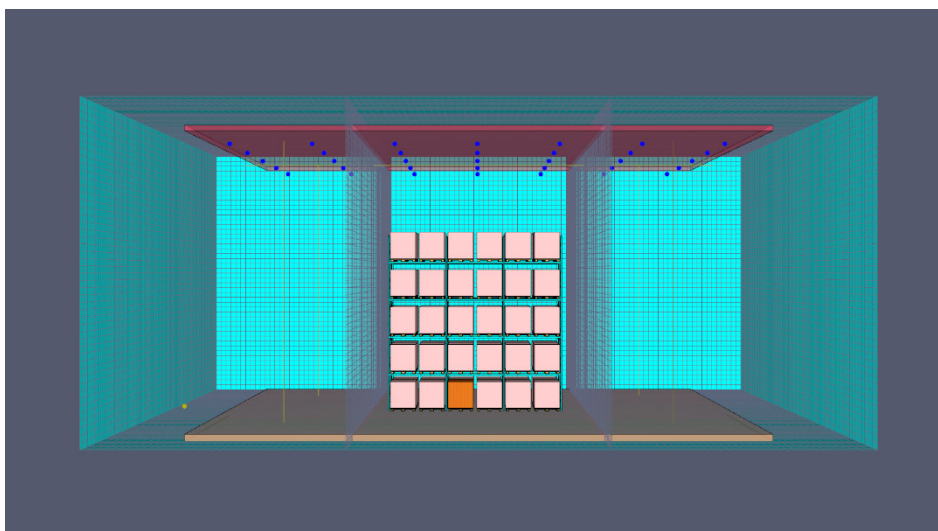
- a) Sin salida de humos salvo el portón



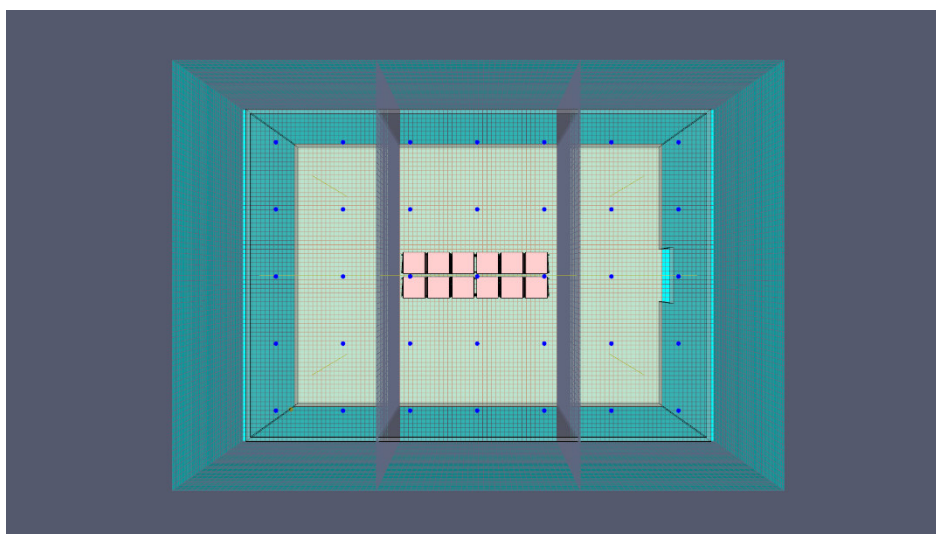
- b) Con salida de humos debajo de una cortina



- c) Sin restricción a la salida de humos



Vista en planta



Nota: Las celdas del mallado de las simulaciones son de 0,25 m por lado.

Los rociadores del ensayo fueron de K160, temperatura de activación 69°C operados a una presión de 1,31 bar, con un RTI de 112 (m.s)^{0,5}, C-factor de 0,57 (m.s)^{0,5} y distanciados a 3,05 m entre sí.

El caudal por rociador resulta ser de 183 l/min, lo que corresponde al dividir por 9,3 m² en una densidad de 20 mm/min. Al comparar este valor con los de referencia de la norma UNE EN 12845 [6], tabla 4 para rociadores únicamente en el techo y almacenamiento en estanterías (ST4), se observa que para el caso de 3 alturas (4,2 m) se requiere una densidad de 10 mm/min con un área de operación de 260 m² y para el caso de 5 alturas (7,7 m) no se aporta solución, pero que, si se pudiera extrapolar, estaría en el orden de magnitud de 20 a 22,5 mm/min en 300 m².

Tabla 4 – Criterios de diseño para REA con protección solo en cubierta o techo

Configuración de almacenamiento	Altura máxima permitida de almacenamiento				Densidad de diseño	Área de operación [sistema mojado o de acción previa (véase la NOTA)]
	m				mm/min	m ²
	Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV		
ST2 Palés autoportantes en filas sencillas	4,7	3,4	2,2	1,6	7,5	260
	5,7	4,2	2,6	2,0	10,0	
	6,8	5,0	3,2	2,3	12,5	
ST4 Estanterías paletizadas		5,6	3,7	2,7	15,0	300
		6,0	4,1	3,0	17,5	
			4,4	3,3	20,0	
			4,8	3,6	22,5	
			5,3	3,8	25,0	
			5,6	4,1	27,5	
			6,0	4,4	30,0	

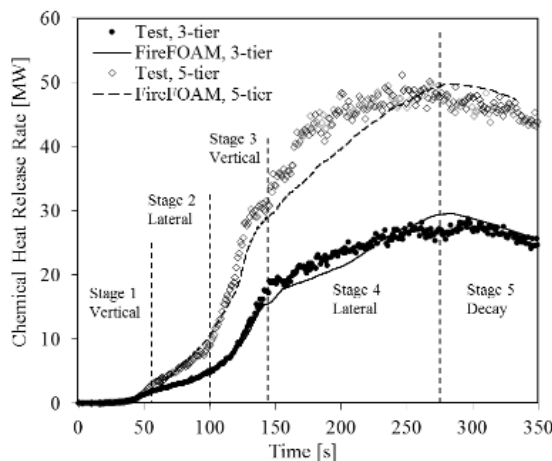
La norma FM 8-9 [7] para el caso de 3 alturas (techo a 7,4 m) requeriría diseñar con 15 rociadores a una presión de 1,1 bar, lo que aportaría una densidad de 18 mm/min. Para el caso de 5 alturas (techo a 10,8 m) tampoco aporta solución con ese tipo de rociador K160, y sólo admitiría un diseño con 9 rociadores K360 a 2,1 bar lo que implica una densidad mucho mayor, a saber, de 56 mm/min, y en caso de cambiar a respuesta rápida RTI < 50 (m.s)^{1/2}, entonces aceptaría diseñar con 12

rociadores K200 a 5,2 bar, o lo que es lo mismo, una densidad de 49 mm/min, que, en cualquier caso, es más del doble de densidad que los ensayos con los que se está comparando.

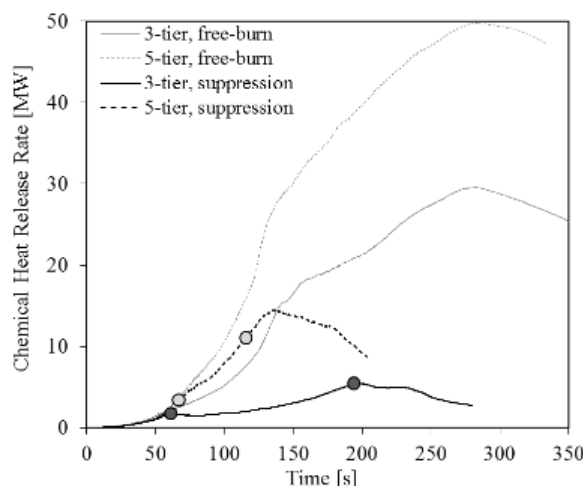
Table 7. Ceiling-Level Protection Guidelines for Class 1, 2 and 3 Commodities in Open-Frame Rack Storage Arrangements

Max. Ceiling Height, ft (m)	Wet System, 160°F (70°C) Nominally Rated, Pendent Sprinklers									
	Quick Response					Standard Response				
	K11.2 (K160)	K14.0 (K200)	K16.8 (K240)	K22.4 (K320)	K25.2 (K360)	K25.2EC (K360EC)	K11.2 (K160)	K14.0 (K200)	K19.6 (K280)	K25.2 (K360)
10 (3.0)	12 @ 7 (0.5)	9 @ 7 (0.5)	9 @ 7 (0.5)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 20 (1.4)	12 @ 7 (0.5)	9 @ 7 (0.5)	9 @ 16 (1.1)	9 @ 7 (0.5)
20 (6.0)	12 @ 10 (0.7)	12 @ 7 (0.5)	12 @ 7 (0.5)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 20 (1.4)	12 @ 10 (0.7)	12 @ 7 (0.5)	9 @ 16 (1.1)	9 @ 10 (0.7)
25 (7.5)	15 @ 16 (1.1)	12 @ 16 (1.1)	12 @ 11 (0.8)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 22 (1.5)	15 @ 16 (1.1)	15 @ 10 (0.7)	9 @ 16 (1.1)	9 @ 10 (0.7)
30 (9.0)	18 @ 50 (3.5)	12 @ 50 (3.5)	12 @ 35 (2.4)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 30 (2.1)	18 @ 50 (3.5)	18 @ 32 (2.2)	9 @ 16 (1.1)	9 @ 10 (0.7)
35 (10.5)		12 @ 75 (5.2)	12 @ 52 (3.6)	12 @ 29 (2.0)	12 @ 23 (1.6)	6 @ 60 (4.1)*			15 @ 25 (1.7)	9 @ 30 (2.1)
40 (12.0)		12 @ 75 (5.2)	12 @ 52 (3.6)	9 @ 50 (3.5)	9 @ 40 (2.8)					9 @ 30 (2.1)

A continuación, se muestran las curvas del fuego que se obtuvieron en los ensayos [2] sin la aportación de agua para el caso de 3 alturas (máximo 25 MW) y para 5 alturas (máximo 47 MW):



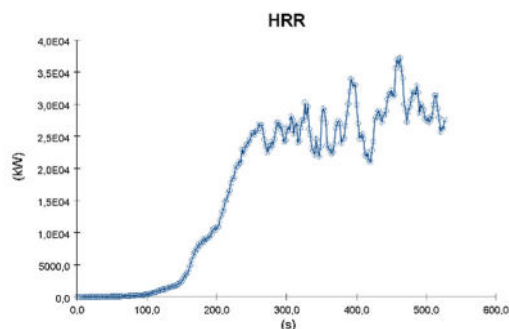
A continuación, se muestran las curvas del fuego que se obtuvieron en los ensayos [2] con la aportación de agua por los rociadores para el caso de 3 alturas (Máximo 4 MW) y para 5 alturas (Máximo 13 MW):



2.4 Resultados Simulaciones FDS Caso 3 alturas

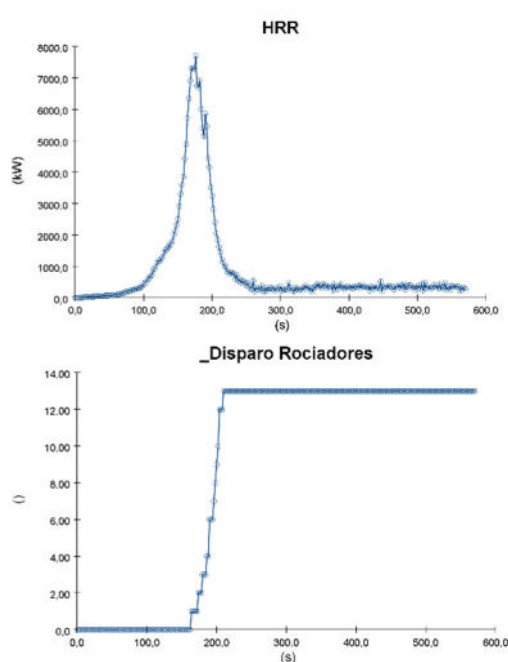
Sin descarga de agua

a) LSFS_Roc_Q_0_22



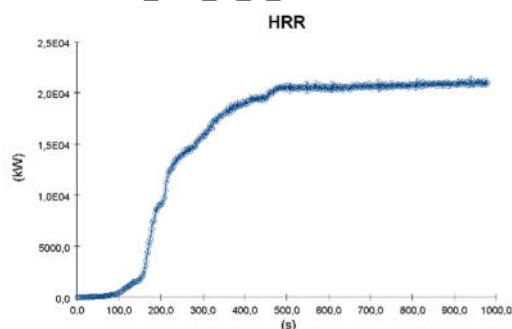
Con descarga de agua

LSFS_Roc_Q_183_E03_5000_SR_22

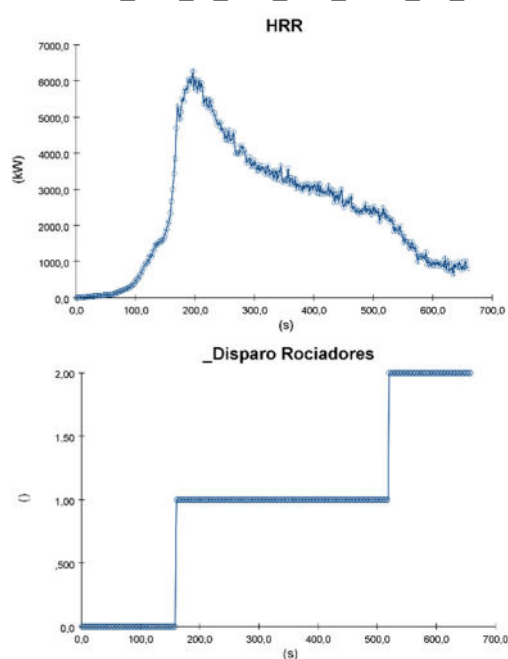


Se observa que el caso sin aberturas al exterior salvo el portón de entrada produce curvas con muchos picos y menos estabilizadas. Los valores de máxima potencia superan los de los ensayos tanto sin agua (35 MW) como con ella (8 MW). Además se activan muchos más rociadores que en los ensayos (1 y 5) si bien dentro del límite de la norma (< 28 rociadores en la UNE 12845 y < 15 rociadores en FM 8-9).

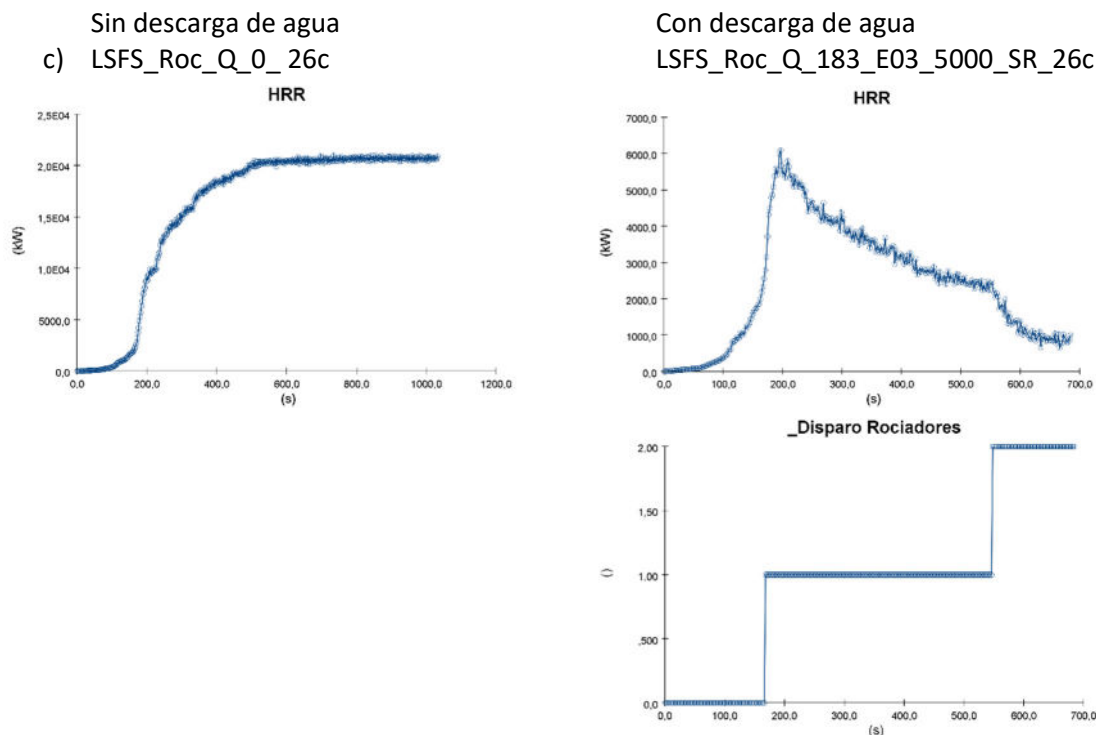
b) LSFS_Roc_Q_0_24c



LSFS_Roc_Q_183_E03_5000_SR_24c



Se observa que el caso con una cortina alrededor produce una curva de potencia máxima bastante similar a la de los ensayos tanto sin agua (22 MW) como con ella (6 MW). Con agua se activan dos rociadores equivalente con los ensayos (1 y 5) y el incendio se apaga. Al comparar con el caso anterior se demuestra que la extracción de los humos es muy conveniente.



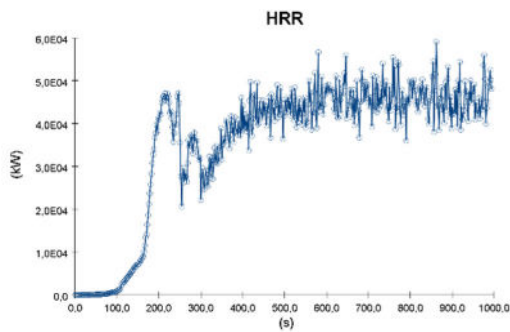
Se observa que el caso sin restricción para los humos produce una curva de potencia máxima bastante similar a la de los ensayos tanto sin descarga de agua (22 MW) como con ella (6 MW). Con agua se activan dos rociadores equivalente con los ensayos del artículo (en uno se activó 1 rociador y en el otro se activaron 5). El incendio se termina apagando y es lógico ya que la densidad de 20 mm/min es mayor que la mínima requerida (según la norma UNE EN 12845 de 10 mm/min para este caso).

La diferencia entre dejar el incendio encerrado o dejar salir el humo demuestra que la extracción de los humos es muy conveniente, siempre que se haga de manera adecuada (por ejemplo de manera uniforme sin crear corrientes que afecten los humos y la activación de los rociadores) de modo que que los rociadores hagan su trabajo y a su vez no haya excesiva acumulación de calor en el recinto que produzca la activación innecesaria de rociadores adicionales.

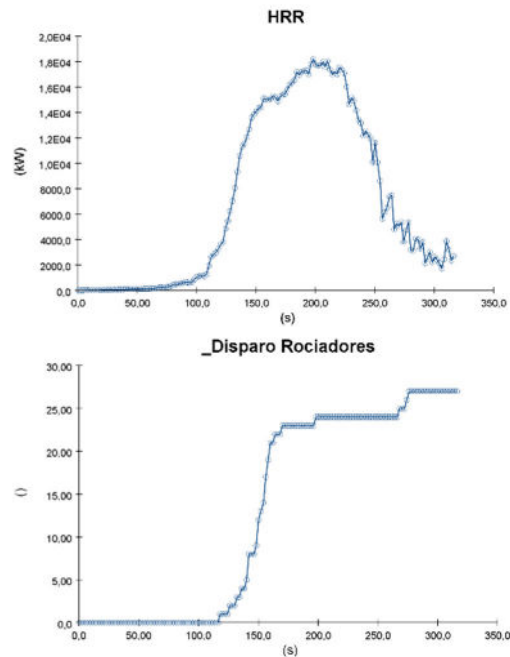
Las curvas de potencia calorífica vs tiempo en las simulaciones se mantienen estabilizadas más tiempo. Esto se atribuye a que las cajas de cartón del ensayo real tenían un espesor menor que el contemplado en el modelo antes de consumirse el material combustible.

2.5 Resultados Simulaciones FDS Caso 5 alturas

Sin descarga de agua
a) LSFS_5H_Roc_Q_0_22c

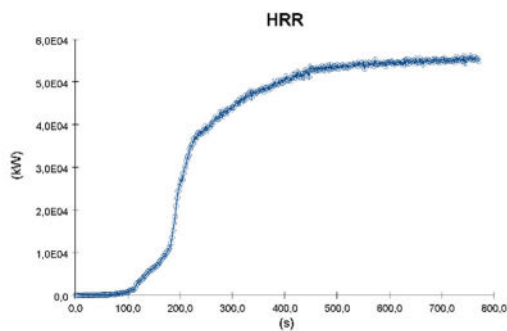


Con descarga de agua
LSFS_5H_Roc_Q_183_E02_5000_SR_22c

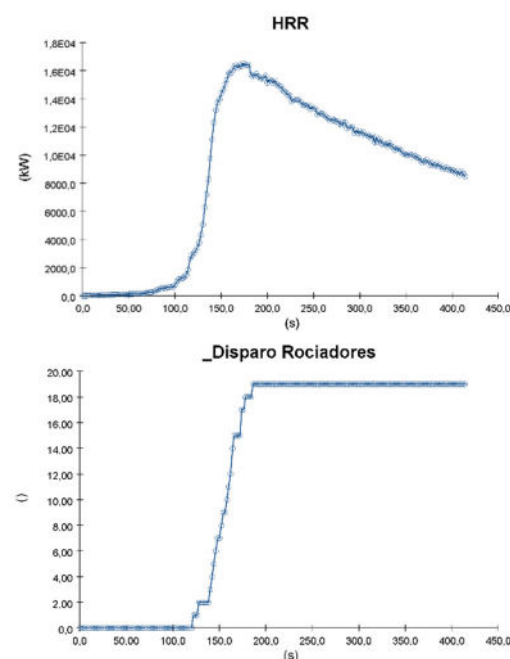


Se observa que el caso sin aberturas al exterior salvo el portón produce curvas con muchos picos y menos estabilizadas, con valores de potencia máxima superiores a los de los ensayos tanto sin agua (55 MW) como con agua (18 MW). Además, con agua se activan más rociadores (27) que en los ensayos (13 y 15), aunque dentro del máximo del área de operación previsible ($251 \text{ m}^2 < 300 \text{ m}^2$).

b) LSFS_5H_Roc_Q_0_24c

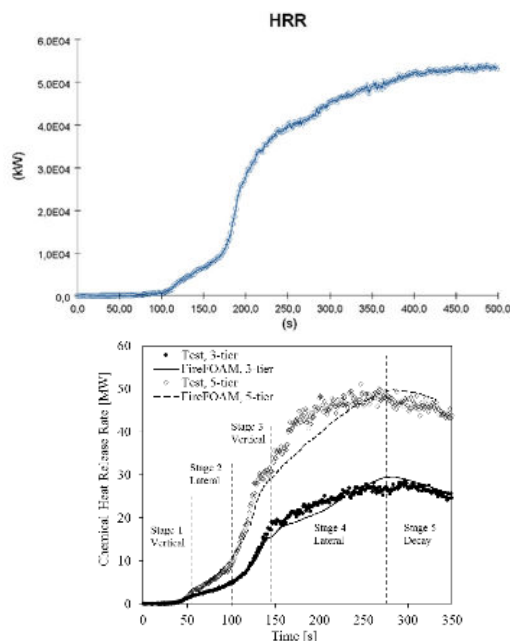


LSFS_5H_Roc_Q_183_E02_5000_SR_24c

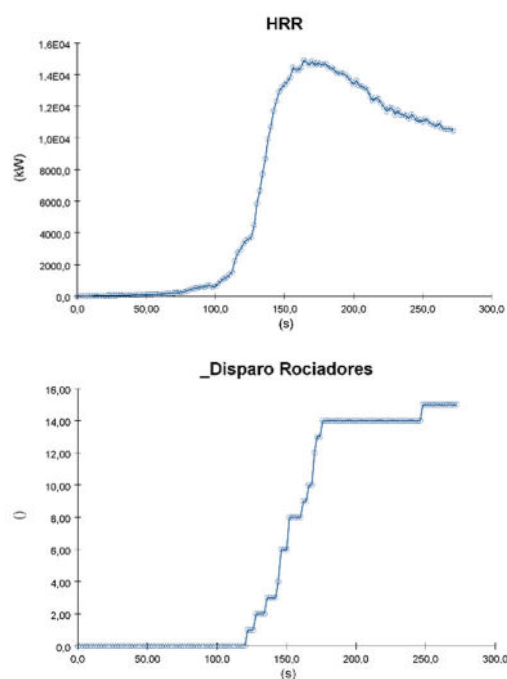


Se observa que el caso con una cortina alrededor produce una curva de potencia máxima bastante similar aunque algo superior a la de los ensayos tanto sin agua (52 MW) como con ella (17 MW). Con agua se activa un número de rociadores superior (19) que en los ensayos (13 y 15).

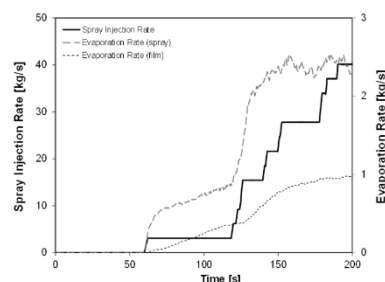
Sin descarga de agua
c) LSFS_5H_Roc_Q_0_26c



Con descarga de agua
LSFS_5H_Roc_Q_183_E02_5000_SR_26c



Fases de crecimiento comparada con los ensayos (círculos blancos)

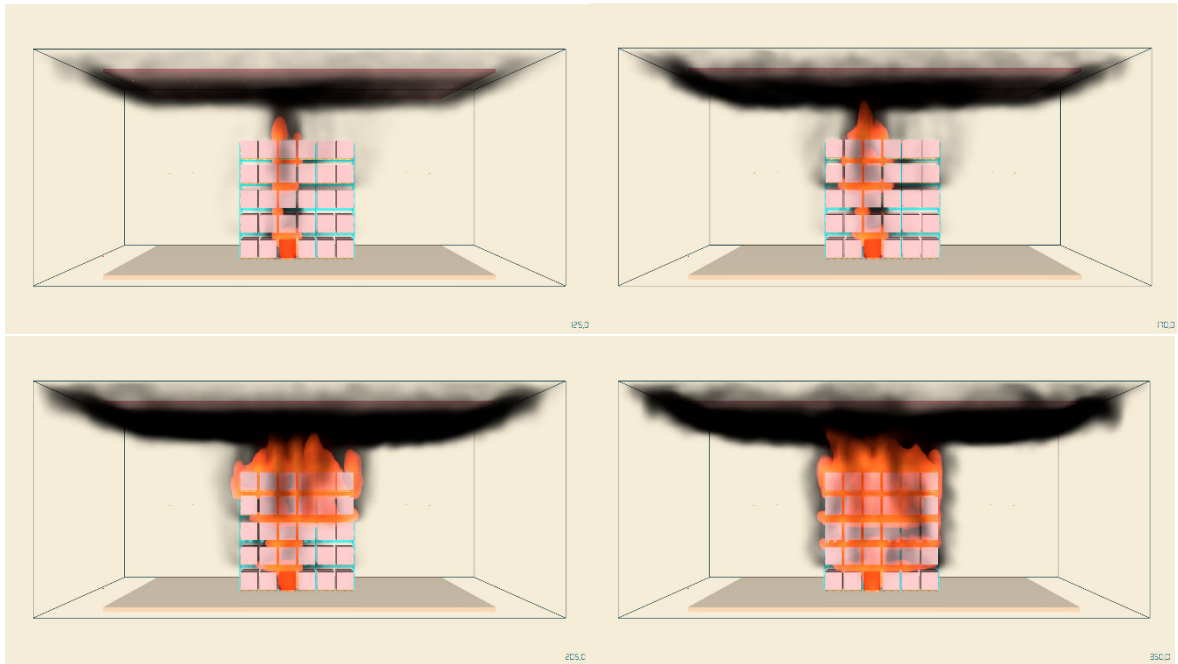


Se observa que el caso sin restricción a la salida de humos produce una curva de potencia máxima bastante similar a la de los ensayos tanto sin descarga de agua (52 MW en lugar de 49 MW) como con ella (15 MW en lugar de 14 MW). Además se activa un número de rociadores muy equiparable (15) con los ensayos del artículo (en uno se activaron 13 rociadores y en el otro se activaron 15).

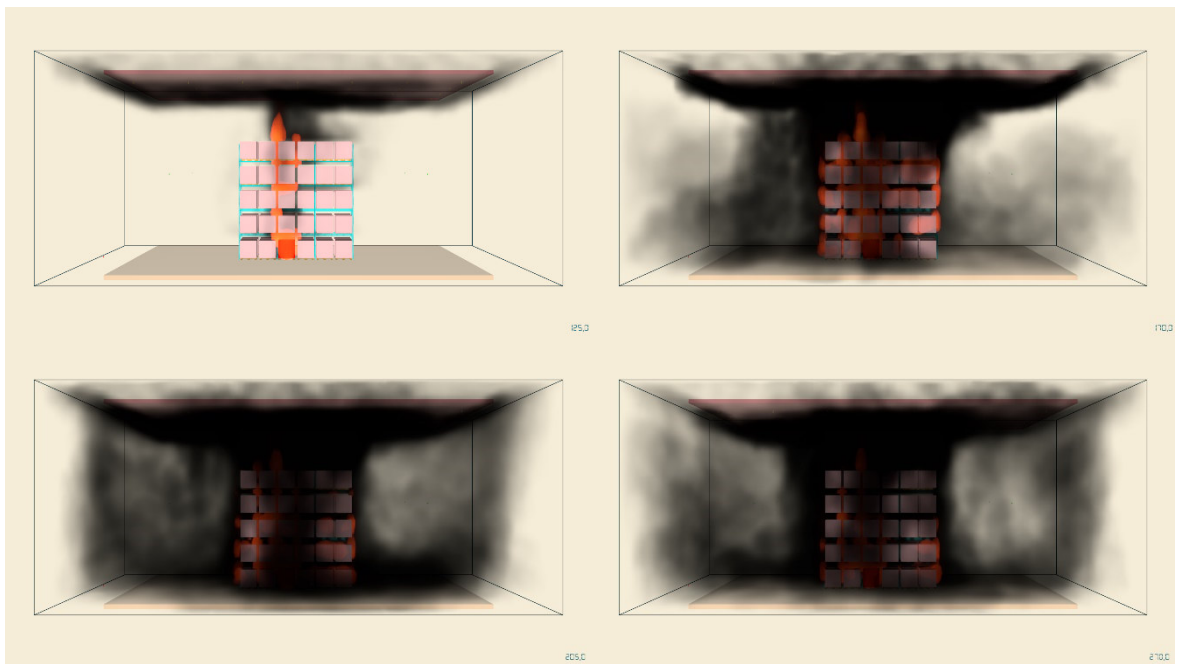
La diferencia entre dejar el incendio encerrado o dejar salir el humo demuestra que la extracción de los humos es muy conveniente, siempre que se haga de manera adecuada (por ejemplo de manera uniforme sin crear corrientes que afecten los humos y la activación de los rociadores) de modo que los rociadores hagan su trabajo y a su vez no haya excesiva acumulación de calor en el recinto que produzca la activación innecesaria de rociadores adicionales.

Se observa que en las simulaciones se tarda un poco más de tiempo en alcanzar la potencia de 50 MW (320 s vs 250 s), unos 70 segundos atribuibles a que la primera fase ("Stage 1") del fuego incipiente es de mayor duración en las simulaciones. Tanto las simulaciones como los ensayos muestran dos fases siguientes ("Stage 2" y "Stage 3"), cada una de mayor pendiente que la anterior, de unos 50 a 70 segundos cada una y la última fase ("Stage 4") en la que la rapidez de crecimiento se va reduciendo progresivamente. En las simulaciones no se llega a la fase de decaimiento ("Stage 5"), lo que se atribuye a que las cajas de cartón del ensayo tenían un espesor menor que el contemplado en el modelo antes de consumirse el material combustible. Sin embargo, esto no tiene ningún efecto en el resultado al simular la activación y descarga de agua de los rociadores, ya que el control y supresión se producen antes.

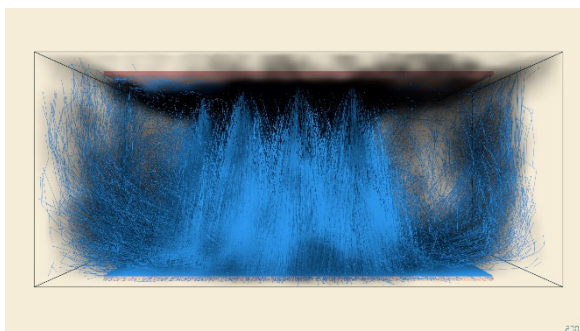
Desarrollo del fuego sin descarga de agua (26c)



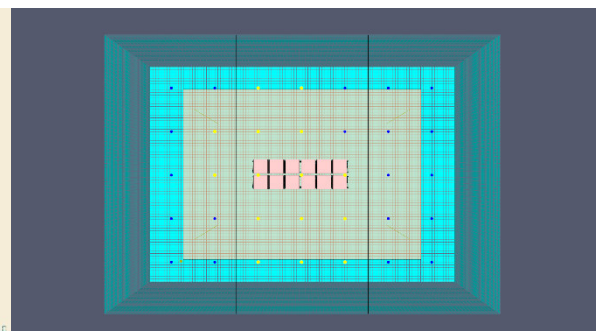
Desarrollo del fuego con descarga de agua - no se muestran las gotas (26c)



Se muestran las gotas (26 c)



15 rociadores activados (26 c)

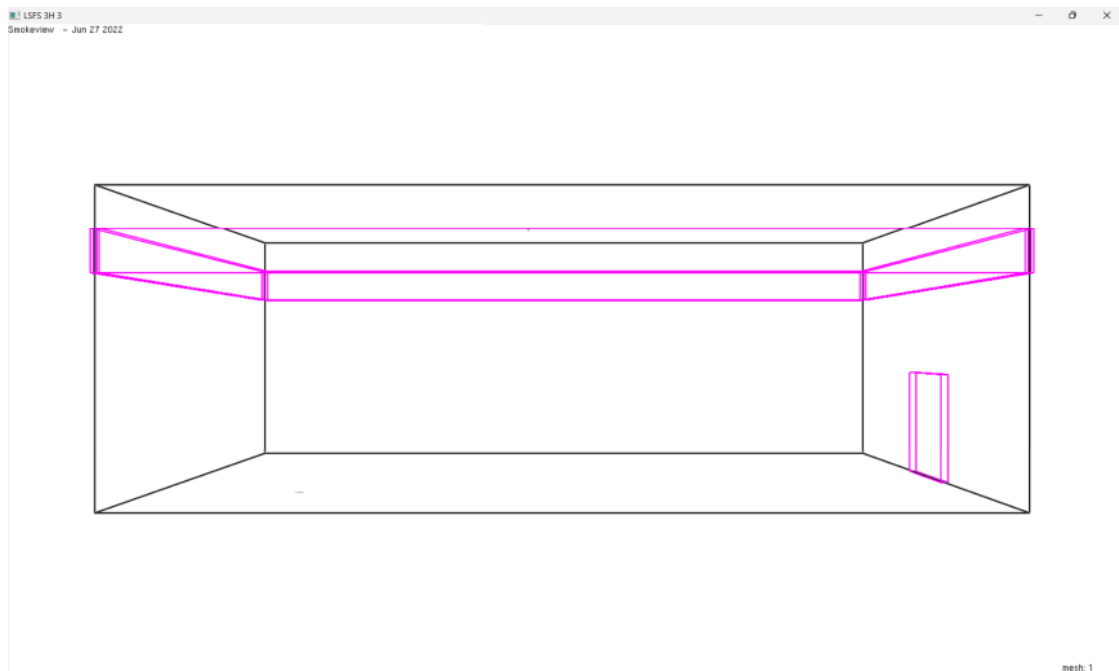


3. SIMULACIONES EN CFAST

3.1 Resultados Simulación CFAST Caso 3 alturas

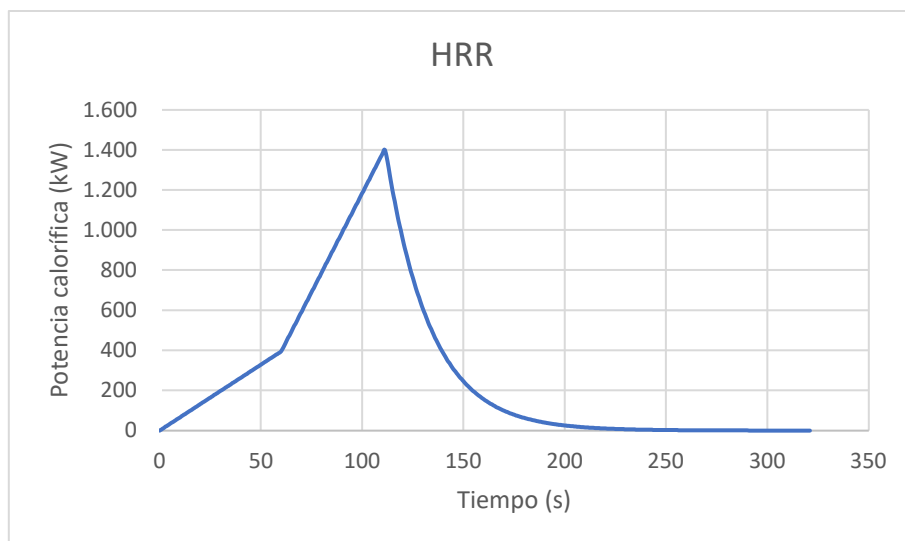
Se ha representado el recinto para el caso b) con la abertura superior 1 m por debajo del techo creando una cortina todo alrededor. El fuego se ha situado en el centro y se ha programado con un crecimiento cuadrático para que alcance 25 MW a los 480 segundos y un área de fuego de 100 m², es decir, con una potencia calorífica por unidad de superficie de 250 kW/m². A partir de ese momento el fuego se mantiene estable mientras dura la simulación de 600 segundos.

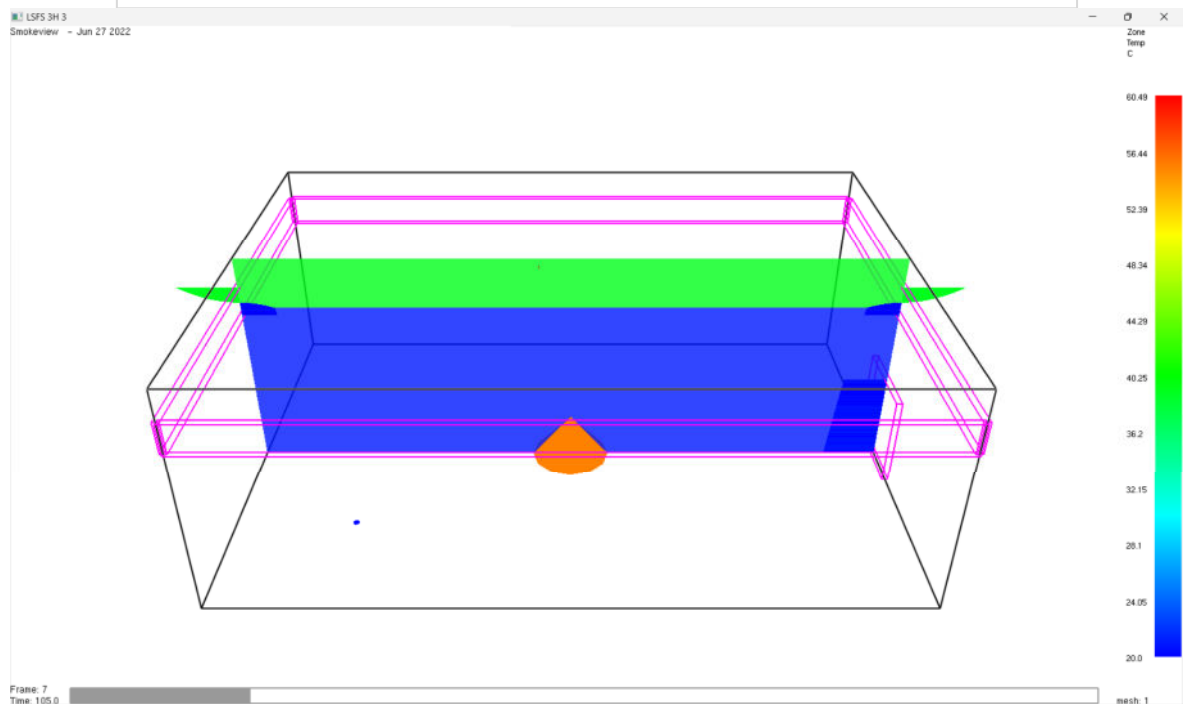
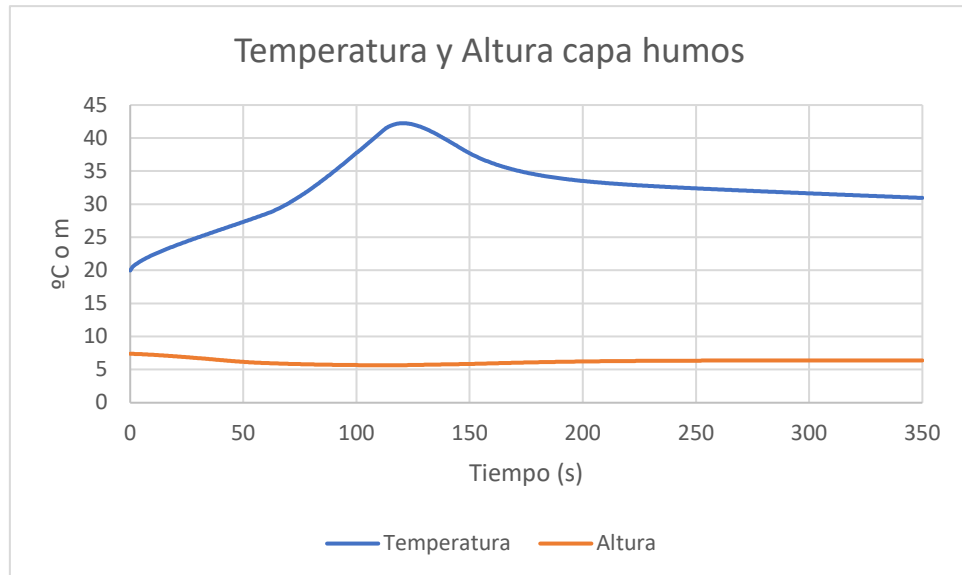
Se ha colocado un rociador a 1,5 m del centro, con RTI 112 (m.s)^{1/2}, temperatura de activación de 68°C, y densidad del agua de 0,00033 m/s (20 mm/min).



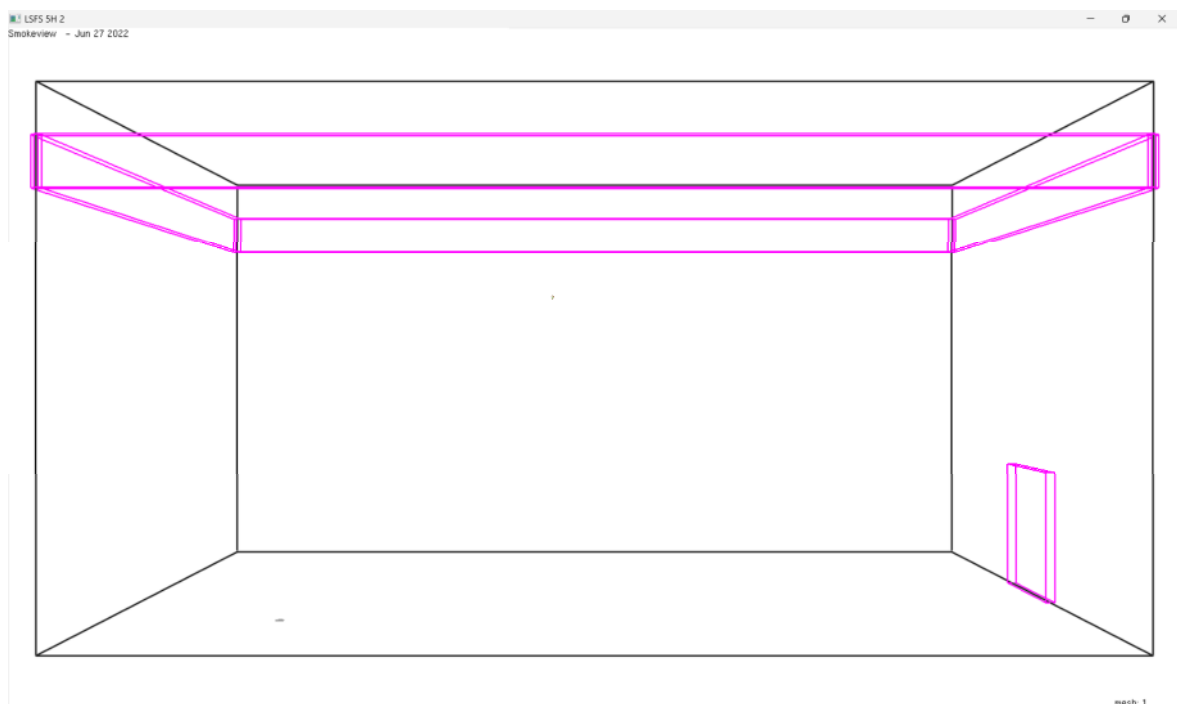
Los resultados han sido los siguientes:

El rociador se ha activado a los 112 segundos. La potencia máxima es de 1,4 MW muy alejado de los 4 MW del ensayo real.



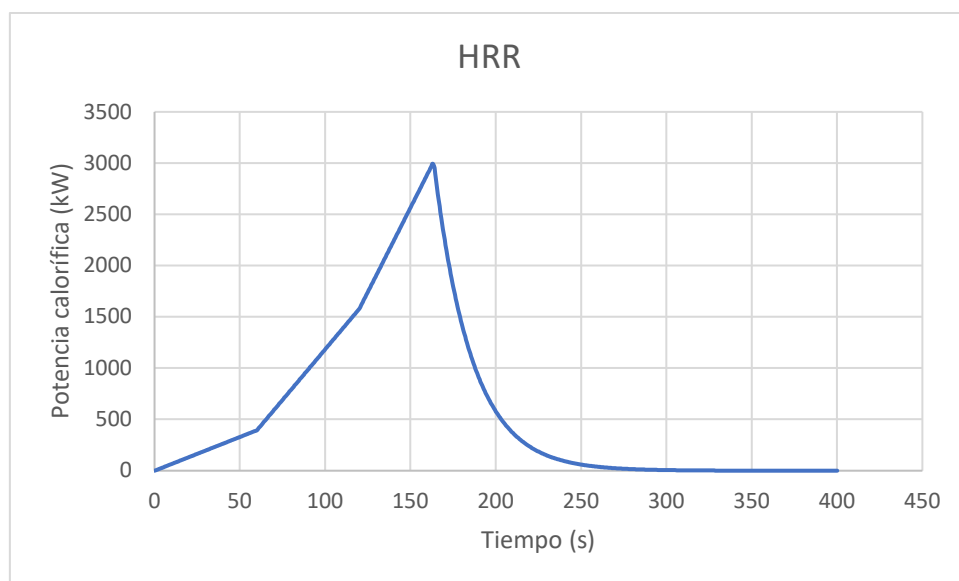


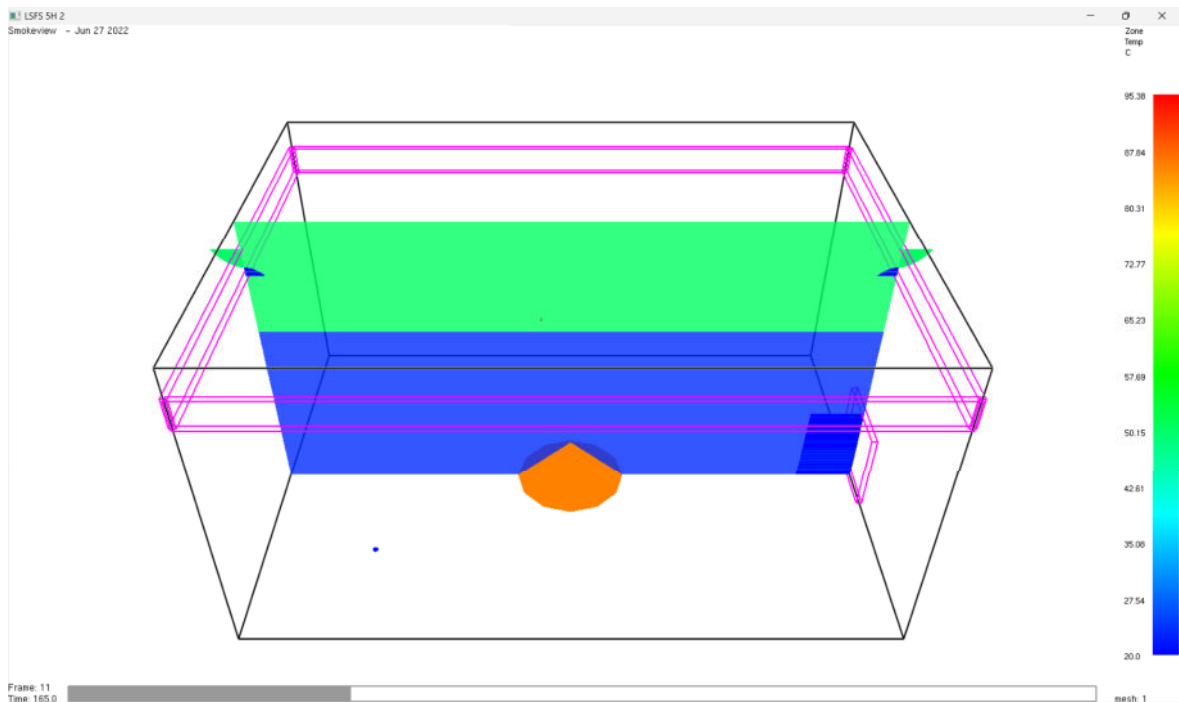
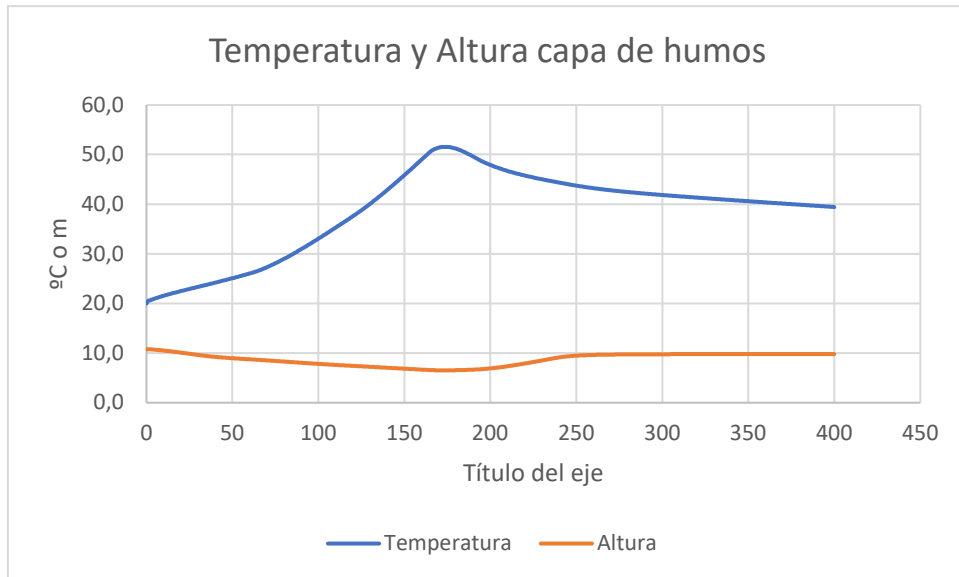
3.2 Resultados Simulación CFAST Caso 5 alturas



Los resultados son los siguientes:

El rociador se activa a los 164 segundos. La potencia máxima es de 3 MW muy alejado de los 14 MW del ensayo real.





Notas: CFAST modifica la curva de potencia calorífica vs tiempo según la densidad de diseño de los rociadores, aplicando el criterio de Evans [5], que se basa en densidades en planta con una densidad máxima de 7,5 mm/min y una potencia calorífica máxima de 500 kW, que son típicos de riesgos ligeros y ordinarios, pero no para riesgos extras, como los de almacenamiento en altura.

En el momento en que se activa un rociador se pone en marcha la reducción de potencia con la fórmula $Q = Q_0 e^{-k(t-t_0)}$.

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las semejanzas entre los ensayos experimentales y los obtenidos al simular en FDS los rociadores con descarga de agua aplicando correctamente el coeficiente de extinción son realmente asombrosos, y despejan cualquier duda sobre su validez, siempre que los parámetros estén bien sintonizados, en particular, la potencia calorífica por unidad de superficie, la temperatura de ignición y el coeficiente de extinción.

El coeficiente de extinción ha de ser el superficial como el que aporta el estudio experimental de Yu, Lee, Kung [2] para que pueda aplicarse a superficies tridimensionales si se modelan los combustibles en 3 dimensiones, como es el caso típico de almacenamiento en altura.

Además, deben tenerse presente siempre los límites en los que se obtuvieron los valores del coeficiente de extinción. Por ejemplo, el que proviene de la fórmula de Madrzykowski y Vettori [4] sólo vale para fuegos en planta y con densidades de planta de hasta 4,2 mm/min. Igualmente, la de Evans [5] sólo vale para fuegos en planta, con densidades de planta de hasta 7,5 mm/min y fuegos de potencia máxima 500 kW.

Como se ha visto, si se simula un fuego en planta como en el modelo de dos zonas del CFAST, la aplicación del coeficiente de extinción a partir de la densidad en planta conlleva que la potencia máxima deja de crecer y empieza a descender con la activación del primer rociador, muy alejado de los resultados experimentales cuando se trata de almacenamiento en altura.

En la guía de uso del programa CFAST se expresa lo siguiente:

“Deben tenerse en cuenta varias precauciones al utilizar estimaciones de supresión de rociadores dentro del modelo:

- 1) El primer rociador activado controla el efecto del rociador sobre la tasa de liberación de calor del incendio. Los siguientes rociadores que se activen no tendrán ningún efecto adicional en la simulación del incendio.*
- 2) El algoritmo de supresión de incendios asume que el efecto del rociador es únicamente reducir la tasa de liberación de calor del incendio. Se ignora cualquier efecto del agua descargada por el rociador sobre las temperaturas de los gases o la mezcla dentro del compartimento.*
- 3) El rociador siempre reduce la tasa de liberación de calor del incendio. No se modela la capacidad de un incendio de sobrepasar un rociador mal diseñado.*
- 4) Dado que la dinámica del rociador y los efectos directos del agua sobre las temperaturas y velocidades del gas no se modelan, los tiempos calculados de activación de los rociadores secundarios y/o detectores tras la activación del primer rociador no deben modelarse, ya que el impacto del primer rociador sobre la activación de rociadores adicionales no se incluye en el modelo CFAST.”*

Es de destacar el efecto que tiene el contorno en los resultados obtenidos como se ha podido comprobar. Sin restricción para los humos en el caso de 5 alturas se activa una menor cantidad de rociadores (15), si hay cortinas se llegan a activar un número mayor (19) y si hay paredes un número aún mayor (27), aunque igualmente se controle el incendio. Se entiende entonces que las tablas de diseño de rociadores sean conservadoras para poder tener en cuenta ese efecto aportando el margen de seguridad correspondiente.

También cabe resaltar que el número de rociadores activados con descarga del agua se incrementa con la potencia calorífica máxima que alcanza el incendio incluyendo su efecto de enfriamiento y extinción.

5. CONCLUSIONES

Si en la Parte I de este documento [1] se mostró la correspondencia entre los resultados de simulaciones con el programa FDS en las que se incluye el agua descargada por los rociadores y las tablas de diseño de los sistemas de rociadores automáticos [6,7] ampliamente establecidas por la experiencia, en este documento se ha podido demostrar igualmente la correspondencia de dichas simulaciones con ensayos de fuego reales realizados en almacenamiento en estanterías de 3 y 5 alturas con material de la Categoría II [3].

Al modelar la propagación del fuego por la temperatura de ignición y con una potencia calorífica acorde con la Categoría de almacenamiento tal y como se estableció en la Parte I de este documento [1], se obtuvieron valores que están perfectamente en sintonía con los ensayos, refrendando que las hipótesis utilizadas en el modelo en FDS están sólidamente fundamentadas.

Asimismo, el coeficiente de extinción bien escogido según la Categoría del material almacenado y en función de la superficie tridimensional combustible altera la curva de potencia calorífica vs tiempo de una manera que se corresponde con los resultados de los ensayos reales consiguiendo la extinción o el control del incendio. Los valores de potencia máxima alcanzados en los ensayos y en las simulaciones en FDS con descarga de agua fueron muy equivalentes, así como la cantidad de rociadores activados.

Se ha podido comprobar el efecto que tiene en los resultados el contorno con su correspondiente limitación en la salida de los humos, llegando a incrementar el número de rociadores activados de manera apreciable.

También se ha mostrado que hay que tener mucho cuidado al utilizar modelo de dos zonas como el CFAST y asumir que la curva de potencia calorífica se estabiliza con la activación del primer rociador, ya que esta asunción no se cumple necesariamente en riesgos extras como los de almacenamiento en altura, alcanzándose en este caso potencias entre 2 y 4 veces superiores a las que predice CFAST.

6. REFERENCIAS

1. Validación del coeficiente de extinción al modelar el fuego con rociadores automáticos – Parte 1, 2024
2. “Suppression of Rack-Storage Fires by Water”, Hong-Zeng Yu, James L. Lee, Hsiang-Cheng Kung, 1994.
3. “Large-Scale Fire Suppression Modeling of Corrugated Cardboard Boxes on Wood Pallets in Rack Storage Configurations”, Ning Ren, Jaap De Vries, Xiangyang Zhou, Marcos Chaos, Karl V. Meredith, Yi Wang, FM Global Research Division, 2017.
4. NISTIR 4833, “A Sprinkler Fire Suppression Algorithm for the GSA Engineering Fire Assessment System”, Daniel Madrzykowski, Robert L. Vettori, 1992.
5. NISTIR 5254, “Sprinkler Fire Suppression Algorithm for HAZARD”, David D. Evans, 1993.
6. UNE EN 12845, “Sistemas de rociadores automáticos”, 2021.
7. FM 8-9, “Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities”, 2022.