

VALIDACIÓN DEL COEFICIENTE DE EXTINCIÓN AL MODELAR EL FUEGO CON ROCIADORES AUTOMÁTICOS – PARTE 3

29/11/2024

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 el ensayo de fuego real realizado por FM para pallets de plástico apilados sobre el suelo, considerando el mismo tipo de rociadores y presión de trabajo utilizados en el ensayo (que no apaga el incendio) comparando con la que se requeriría según las normas [3, 4, 5] (que sí debería apagar). Este documento complementa los artículos 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 y Parte 2 [2] comparado con ensayos de FM en estanterías con producto de la Clase II.

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 1 [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 12,5 mm/min en planta del ensayo referidos el coeficiente de extinción que se obtiene es de $E = 0,28$ para plásticos y $E = 0,4$ para productos Clase II.

2.3 Características del Escenario

Se trata del escenario que aparece en el video que puede encontrarse en la red de internet titulado *"Incidental Storage of Uncartoned Unexpanded Plastic Fire Test"* al que puede accederse en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=1uXhOUQRWGk>

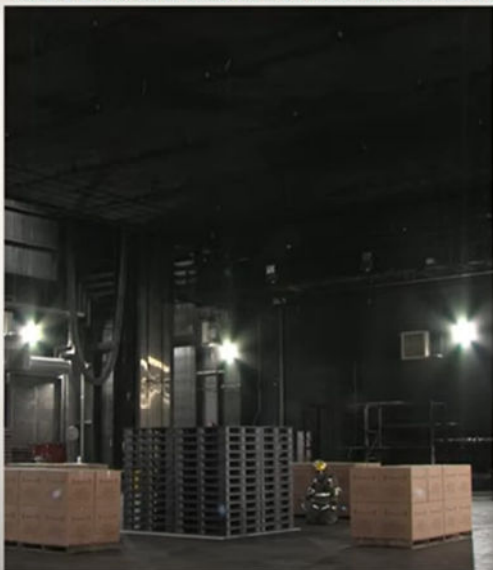
Se trata de un recinto utilizado por FM para realizar pruebas de fuego y de rociadores. Los pallets son de plástico en una altura de 1,8 m, dispuestos en 4 pilas adosadas que cubren un área de 6 m². Alrededor de esta isla se han dispuesto pasillos de 2,4 m que separan otras mercancías apiladas en cajas de cartón, con el fin de determinar si el fuego puede llegar a propagarse a estas a través del pasillo. El techo se encuentra a 9 m de altura con rociadores dispuestos cada 3 m en todas las direcciones hasta un máximo de 49 rociadores, lo que da a entender una dimensión del techo de 21 m x 21 m.

Los rociadores son K160 de respuesta rápida y temperatura de operación de 74°C, operando a la presión mínima de 0,5 bar, lo que proporciona un caudal de 113 l/min por rociador. Tal y como se demuestra en la Parte 2 [2] todo parece indicar que el techo en el que están los rociadores es móvil (puede variar en altura) y forma parte de un recinto más amplio con instalaciones preparadas para recoger los humos (incluso por extracción forzada), y por consiguiente no se considerarán paredes alrededor de estos 21 m x 21 m, ya que los efectos de contorno por acumulación de humos y re-radiación pueden resultar muy **significativos** como se demuestra en la Parte 2 [2]. Además, puede observarse en el vídeo que claramente no hay tal acumulación de humos.

El fuego no pudo ser controlado y se activaron todos los 49 rociadores, aunque no hubo propagación a través de los pasillos de 2,4 m de ancho.

Storage of Unexpanded Plastic

INCIDENTAL STORAGE OF UNEXPANDED UNEXPANDED PLASTIC FIRE TEST



Test Parameters

Data Sheet 3-26: Low Piled Uncartoned Unexpanded Plastic Fire Test

Commodity: Plastic Pallets (UUP)

Configuration as tested

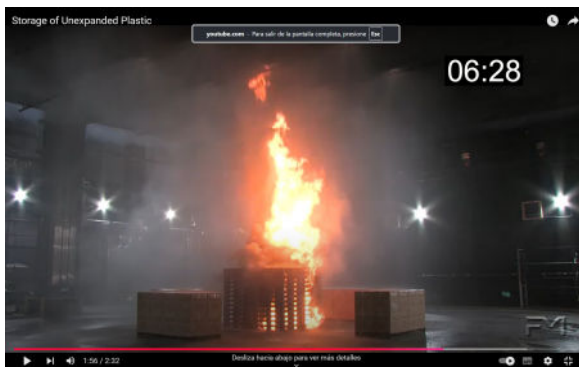
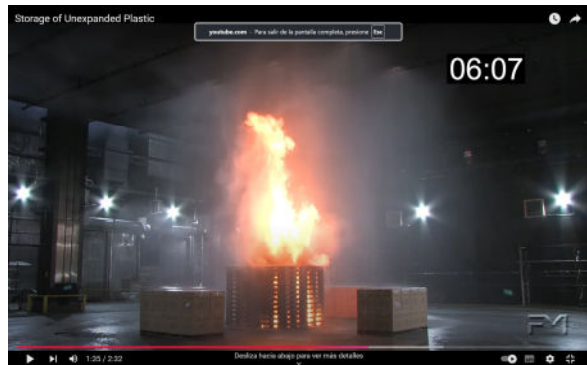
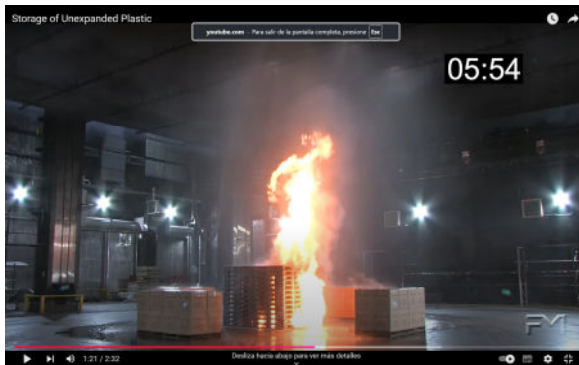
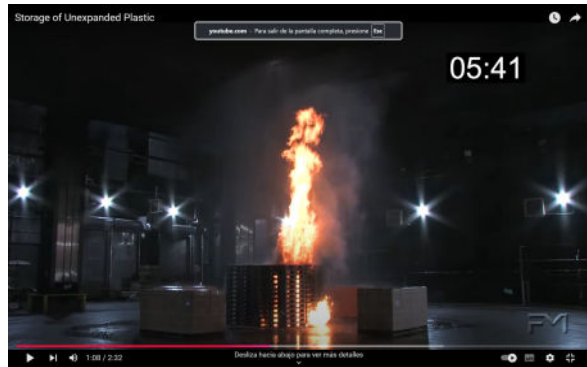
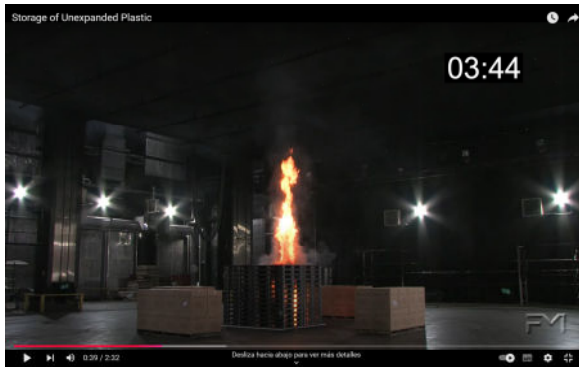
- Storage height: 6 ft (1.8 m)
- Four stacks of pallets 64 ft² (6 m²)
- Ceiling height: 30 ft (9.0 m)
- Adjacent fuel separated by 8 ft (2.4 m) aisles

Protection as tested

- Ceiling design K11.2 (K160) at 7 psi (0.5 Bar)
 - This provides a 0.3 gpm (12 mm/min) density
 - This is the recommended density for a HC-3 occupancy
- 10 ft (3 m) x 10 ft (3 m) spacing
- Quick response sprinklers rated at 165°F (74°C)

0:15 / 2:32

Desliza hacia abajo para ver más detalles



Storage of Unexpanded Plastic

INCIDENTAL STORAGE OF UNCARTONED UNEXPANDED PETROHOT FIRE TEST



Results

- A high heat release fire opened all 49 ceiling sprinklers.
- However, the fire did not spread to adjacent fuel separated by 8 ft (2.4 m) aisles.
- Despite the size of the fire, with limited commodity (64 ft²/6 m²) and aisles provided, fire damage is limited to the initial fuel load, and is unlikely to lead to an uncontrolled fire.
- Good management of in-process storage is imperative.
- For larger areas of low piled storage, protection guidance is available in FM Global Data Sheet 3-26.

2:16 / 2:32

Desliza hacia abajo para ver más detalles

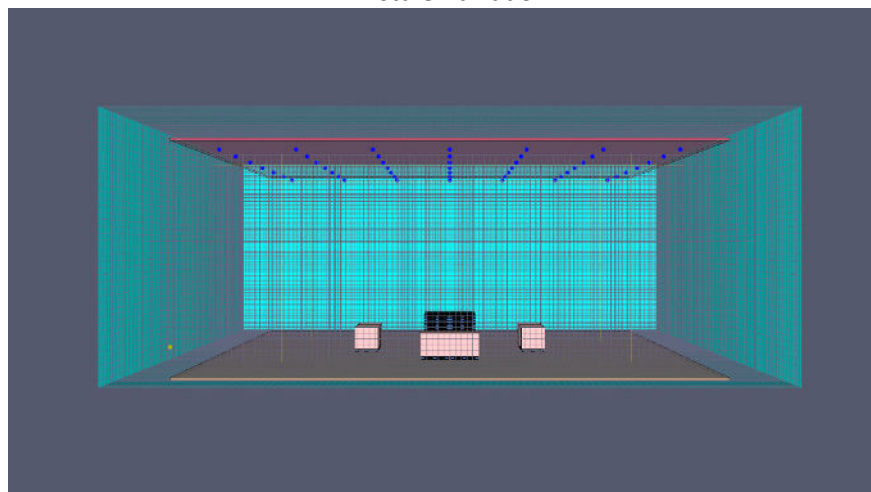
En cuanto al quemador inicial se utilizó el mismo criterio que en el documento de esta serie Parte I [1] pero de menor potencia máxima al ser esta proporcional a la superficie que ocupa el único pallet de plástico que es mucho más pequeño, mientras que la rapidez de crecimiento sí que sigue la curva programada. A los pallets (incluido el quemador) se le asignó diferentes potencias por unidad de superficie (250 a 625 kW/m^2), para calibrar cuál se adecuaba mejor a los resultados del ensayo, con una temperatura de ignición de 350°C para provocar el inicio de la combustión en cualquier celda bajo análisis.

El material considerado para los pallets es polietileno de alta densidad, con un calor de combustión de 42 MJ/kg , fórmula $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$, densidad 980 kg/m^3 , calor específico $1,8 \text{ kJ/(kg }^\circ\text{K)}$, conductividad $0,4 \text{ W/(m.}^\circ\text{K)}$, emisividad $0,9$, factor producción monóxido de carbono Y_{CO} $0,024$, factor producción de hollín Y_s $0,06$ y fracción radiada $0,22$.

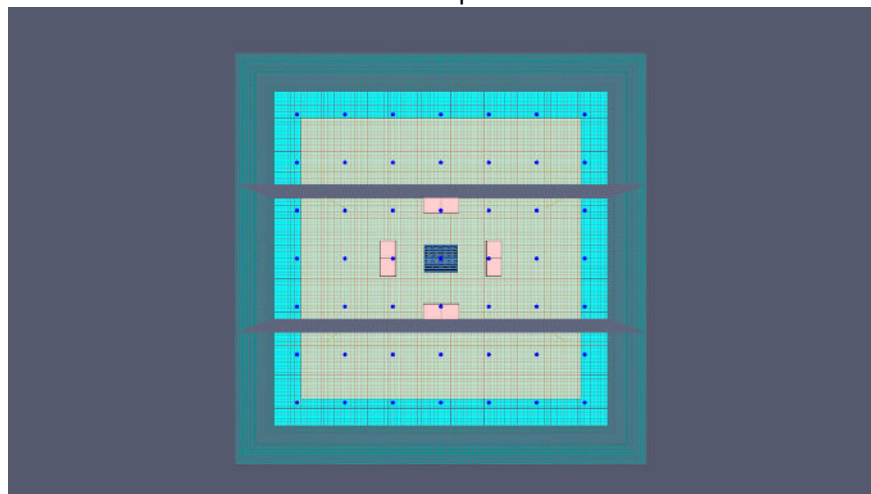
Nota: El quemador no “ensucia” el resultado de la curva de potencia calorífica vs tiempo como se ha podido comprobar en ensayos paralelos utilizando otros quemadores externos, porque también se puede programar para que se vea afectado por el coeficiente de extinción, siendo que en FDS se puede aplicar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

Escenario simulado

Vista en alzado

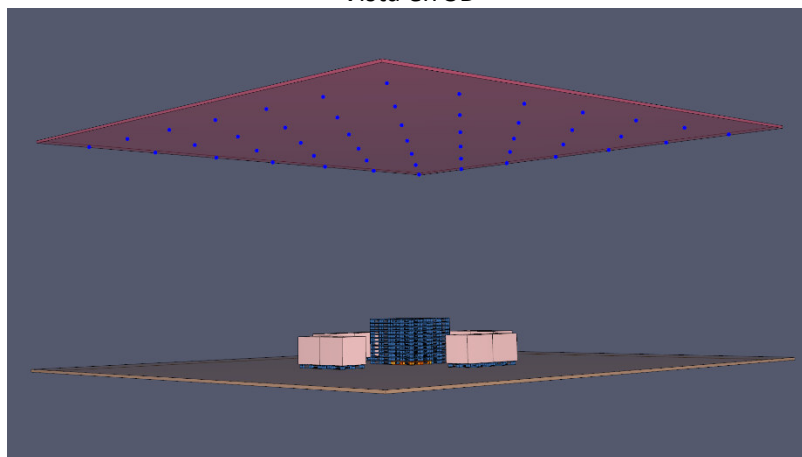


Vista en planta



Nota: Las celdas del mallado de las simulaciones son de $0,25 \text{ m}$ por lado.

Vista en 3D



El caudal por rociador resulta ser de 113 l/min, lo que corresponde al dividir por 9 m² en una densidad de 12,5 mm/min. Según la norma UNE EN 12845 [3], tabla 4 para rociadores únicamente en el techo y almacenamiento apilado libre o en bloques (ST1), podría justificarse a partir de la densidad para Categoría III (plástico expuesto no expandido) en 7,5 mm/min corrigiendo por el exceso de espacio libre al techo > 4 m ($9 - 4 - 1,8 = 3,2$ m) por lo que $7,5 + 2,5 + 3 \cdot 1 = 13$ mm/min más o menos en línea con la densidad del ensayo.

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		
ST1 Libre o en bloques	5,3	4,1	2,9	1,6	7,5	260
	6,5	5,0	3,5	2,0	10,0	
	7,6	5,9	4,1	2,3	12,5	
		6,7	4,7	2,7	15,0	
		7,5	5,2	3,0	17,5	
			5,7	3,3	20,0	300
			6,3	3,6	22,5	
			6,7	3,8	25,0	
			7,2	4,1	27,5	
			4,4	30,0		

7.2.2.3 Espacio libre excesivo

Los valores de la tabla 4 se deben usar para determinar el espacio libre. Donde el espacio libre, distancia entre la altura de almacenamiento y el deflector del rociador de techo, excede de 4 m, se debe aplicar una de las opciones siguientes:

Opción 1: se aumenta la densidad para el primer metro excesivo en 2,5 mm/min. Para cada metro adicional se aumenta la densidad de agua en 1 mm/min. Se debe usar un factor K de mínimo K115.

De hecho, la norma UNE EN 12845 admitiría en la clasificación RO3 un almacenamiento de estas características:

Tabla 1 – Alturas de almacenamiento máximas para protección RO3

Categoría de almacenamiento	Altura de almacenamiento máxima ^a	
	Almacenamiento libre o en bloques (ST1 – véase 6.3.2)	Configuraciones de almacenamiento (ST2 – ST6 ^b – véase 6.3.2)
Categoría I	4,0	3,5
Categoría II	3,0	2,6
Categoría III	2,1	1,7
Categoría IV	1,2	1,2

Por lo que se permitiría diseñar el sistema con una densidad de 5 mm/min en un área de operación de 216 m².

Tabla 3 – Criterios de diseño para RL, RO y REP

Clase de riesgo	Densidad de diseño mm/min	Área de operación m²	
		Mojada o acción previa	Seca o alterna
RL	2,25	84	No permitida Se usa R01
R01	5,0	72	90
R02	5,0	144	180
R03	5,0	216	270
R04	5,0	360	No permitida Se usa REP1
REP1	7,5	260	325
REP2	10,0	260	325
REP3	12,5	260	325
REP4	diluvio (véase la NOTA)		
NOTA Necesita consideración especial. Los sistemas de diluvio no están cubiertos por esta norma.			

Sin embargo, al tratarse de palés plásticos apilados, dicha norma UNE EN 12845 lo trata como un riesgo especial, ya que los espacios libres intersticiales crean zonas donde el fuego puede crecer y al agua descargada por los rociadores se le haga difícil penetrar. Por ello lo tipifica en el “Anexo G.5 Palés vacías” con el siguiente criterio de diseño 25 mm/min en un área de 300 m²:

Tabla G.5 – Protección de palés vacíos (ST1)

Tipo de palé	Altura máxima de almacenamiento permitida m	Rociadores de techo (véase la tabla 4)	Requisitos especiales
Palés de madera y material de celulosa	3,8	Como para Categoría IV	
Palés de plástico	3,3	25 mm/min sobre 300 m ²	Almacenamiento en compartimento resistente al fuego 60 min

Por consiguiente, la conclusión a priori sería que el diseño del ensayo correspondería a una densidad errónea obtenida de una mala clasificación del riesgo y eso justificaría por qué el incendio no llega a controlarse.

Esto está en línea con la norma NFPA 13 [3] que tiene tipificado específicamente este riesgo para el que establece una densidad de 24,5 mm/min en un área de 185 m², en este caso 21 rociadores, de K240. Esta densidad es más del doble de la utilizada en el ensayo.

20.17.2.2.4.2 Where plastic pallets are not separated from other storage, the following shall apply:

- (1) Maximum storage height of 10 ft (3.0 m)
- (2) Maximum ceiling height of 30 ft (9.1 m)
- (3) Sprinkler density 0.6 gpm/ft² over 2000 ft² (24.5 mm/min over 185 m²)
- (4) Minimum sprinkler K-factor of 16.8 (240)

Las tablas de diseño de la norma FM 8-9 [4] para este riesgo (UUP) y rociadores K160 con un techo hasta 9 m de altura aportan una solución también más exigente, con una presión mínima de funcionamiento mínima de 3,5 bar, es decir, 300 l/min por rociador, lo que equivale a una densidad en planta de 33 mm/min y un área de operación que involucra a 25 rociadores (225 m²).

Table 5. Ceiling-Level Protection Guidelines for Uncartoned Unexpanded Plastic Commodities in a Solid-Piled, Palletized, Shelf, or Bin-Box Storage Arrangement

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 @ 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)	12 @ 16 (1.1)	12 @ 7 (0.5)
20 (6.0)	12 @ 40 (2.8)	12 @ 26 (1.8)	12 @ 18 (1.2)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 30 (2.1)	12 @ 40 (2.8)	12 @ 26 (1.8)	12 @ 16 (1.1)	12 @ 8 (0.6)
25 (7.5)	12 @ 50 (3.5)	9 @ 50 (3.5)	9 @ 35 (2.4)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 38 (2.6)	12 @ 50 (3.5)	12 @ 32 (2.2)	12 @ 16 (1.1)	12 @ 10 (0.7)
30 (9.0)	25 @ 50 (3.5)	9 @ 100 (6.9)	9 @ 70 (4.8)	9 @ 50 (3.5)	9 @ 40 (2.8)	12 @ 38 (2.6)	25 @ 50 (3.5)	25 @ 32 (2.2)	25 @ 16 (1.1)	25 @ 10 (0.7)
35 (10.5)				12 @ 63 (4.3)	12 @ 50 (3.5)					
40 (12.0)				12 @ 75 (5.2)	12 @ 60 (4.1)					

Por consiguiente, se realizan simulaciones con el criterio de FM con ese caudal incrementado para observar si también se puede predecir la extinción en ese caso y la diferencia en rociadores activados respecto a la solución de NFPA 13.

Disminuyendo el riesgo la tabla de diseño de la norma FM 8-9 [4] para Clase 4 y plásticos no expandidos dentro de cajas de cartón (CUP), se observa que FM no reduce los requerimientos para los rociadores K160 cuando sí los reduce y significativamente para los rociadores K200 y superiores. Para K240 a 2,4 bar el caudal sería de 372 l/min. Para material plástico expandido en cajas de cartón (CEP) el criterio de diseño es el mismo, a saber, 12 rociadores K240 a la misma presión de 2,4 bar.

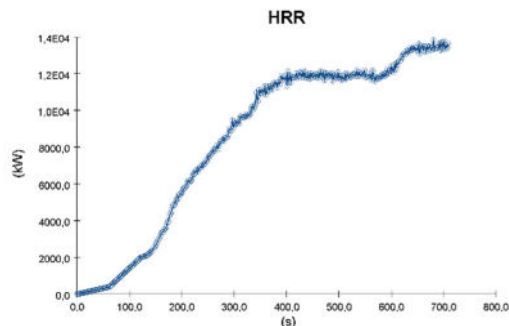
Table 3. Ceiling-Level Protection Guidelines for Class 4 and Cartoned Unexpanded Plastic Commodities in a Solid-Piled, Palletized, Shelf, or Bin-Box Storage Arrangement

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)
15 (4.5)	12 @ 15 (1.0)	12 @ 10 (0.7)	12 @ 7 (0.5)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 20 (1.4)	12 @ 15 (1.0)	12 @ 10 (0.7)	9 @ 16 (1.1)	10 @ 7 (0.5)
20 (6.0)	10 @ 30 (2.1)	10 @ 20 (1.4)	10 @ 13 (0.9)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 20 (1.4)	10 @ 30 (2.1)	10 @ 20 (1.4)	9 @ 16 (1.1)	10 @ 7 (0.5)
25 (7.5)	10 @ 30 (2.1)	10 @ 20 (1.4)	10 @ 13 (0.9)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 20 (1.4)	10 @ 30 (2.1)	10 @ 20 (1.4)	9 @ 16 (1.1)	10 @ 7 (0.5)
30 (9.0)	25 @ 50 (3.5)	12 @ 50 (3.5)	12 @ 35 (2.4)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 30 (2.1)	25 @ 50 (3.5)	25 @ 32 (2.2)	9 @ 16 (1.1)	9 @ 10 (0.7)
35 (10.5)		9 @ 75 (5.2)	9 @ 52 (3.6)	9 @ 28 (1.9)	9 @ 22 (1.5)	6 @ 60 (4.1)*			15 @ 25 (1.7)	9 @ 30 (2.1)
40 (12.0)		9 @ 75 (5.2)	9 @ 52 (3.6)	9 @ 28 (1.9)	9 @ 22 (1.5)					9 @ 30 (2.1)

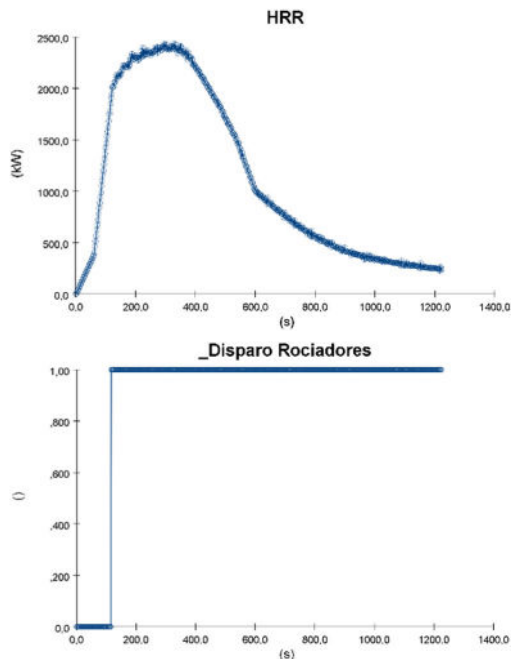
Queda claro por lo tanto que los UUP han de tener una potencia calorífica máxima por unidad de superficie superior a los materiales CUP y CEP. Como se verá más adelante, el valor de 500 kW/m² encaja muy bien con los primeros y la de 400 kW/m² con los segundos, tal y como se había deducido en la Parte 1 [1].

2.4 Resultados de las Simulaciones en FDS (12,5 mm/min; rociadores K160 a 0,5 bar – Ensayo)

Sin descarga de agua
a) PP_Roc_Q_0_250_02

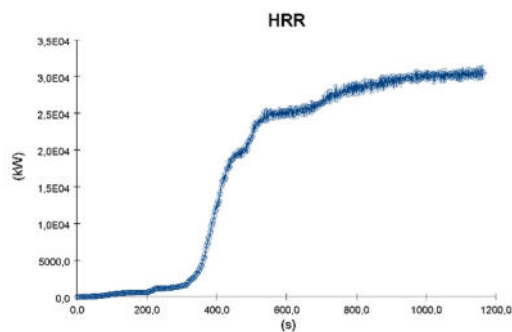


Con descarga de agua (0,5 bar)
PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_250_02

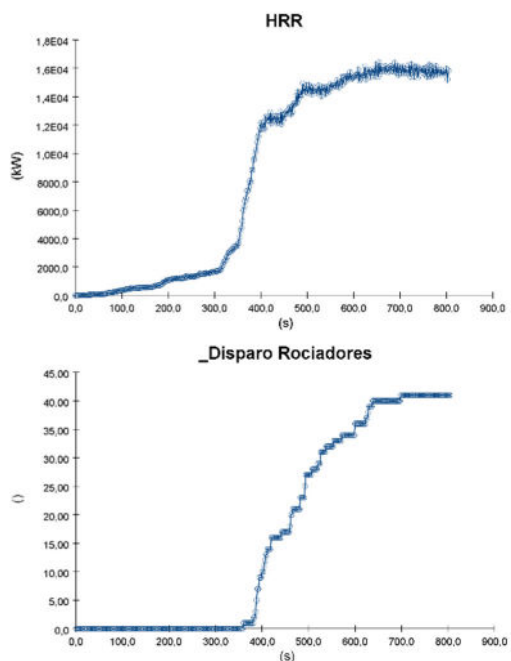


Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 14 MW y con descarga de agua de 2,4 MW. El número de rociadores activados es 1 y el fuego se apaga. El riesgo tipo celulósico (cajas de cartón y madera) queda perfectamente cubierto (por ejemplo Cat I y II de la UNE EN 12845). → **OK**

Sin descarga de agua
b) PP_Roc_Q_0_400_01

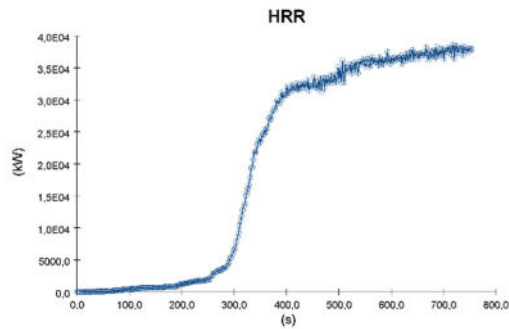


Con descarga de agua (0,5 bar)
PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_400_01

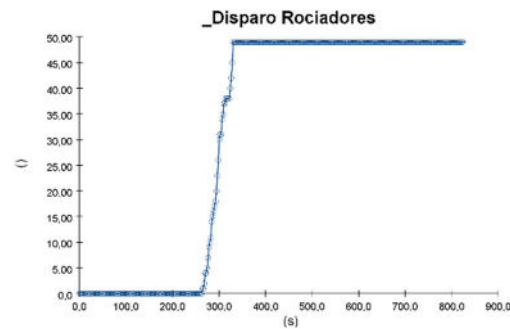
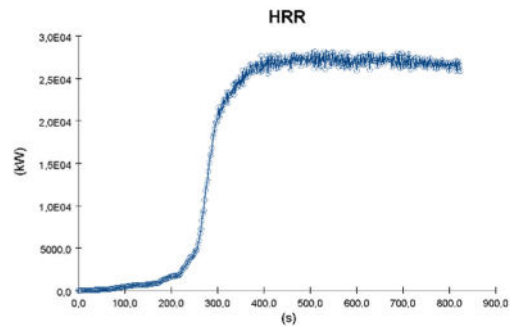


Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 32 MW y con descarga de agua de 16 MW quedando estabilizado (modo control). Se observa que los rociadores logran una reducción de la potencia máxima del fuego pero el número de rociadores activados es 41 (369 m²) superando el área máxima de diseño. → **No OK**

c) PP_Roc_Q_0_500_01

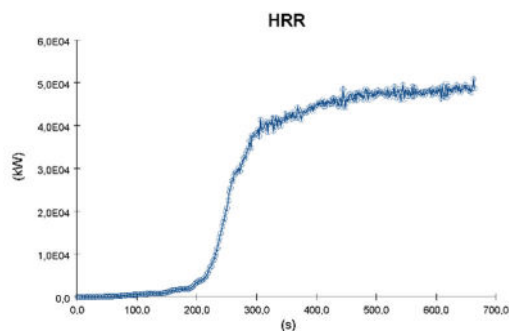


PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_500_01

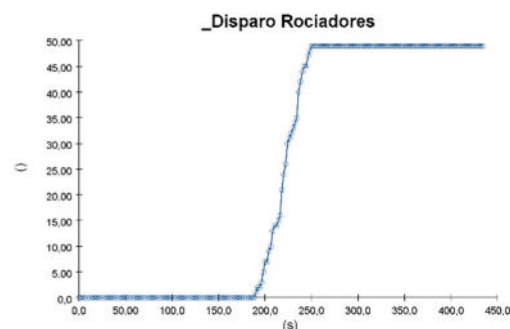
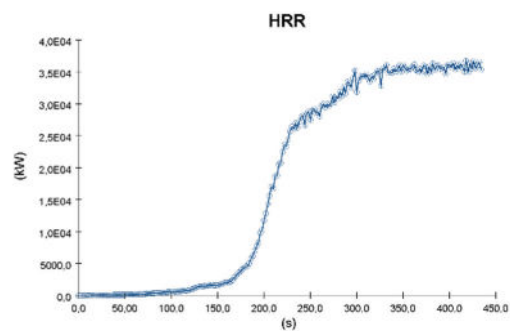


Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 37 MW y con descarga de agua de 25 MW, pero el número de rociadores activados es 49 (todos) y el fuego NO se extingue aunque queda estabilizada (modo control). Al activarse más rociadores del área de operación → **No OK**

d) Sin descarga de agua
PP_Roc_Q_0_625_01



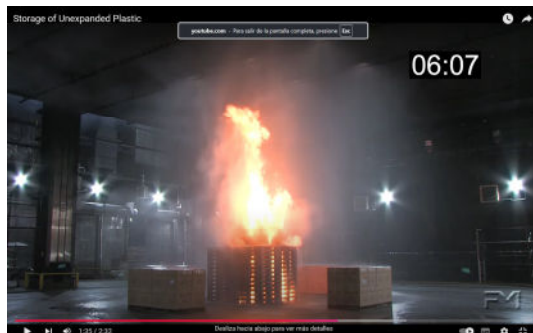
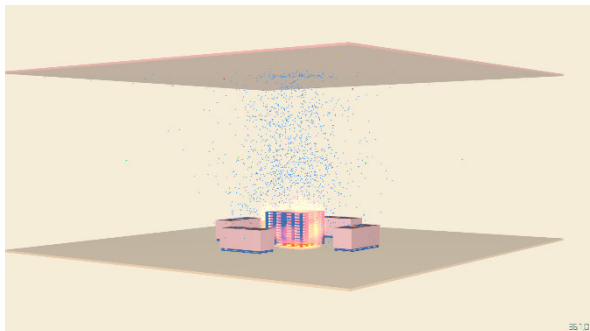
Con descarga de agua
PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_625_01



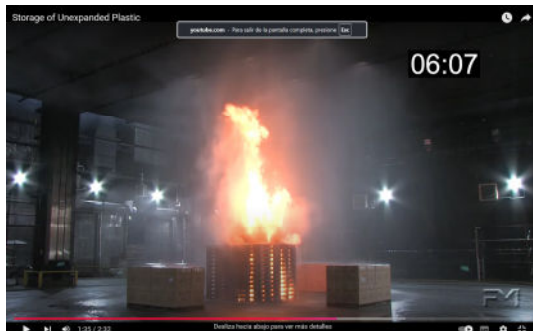
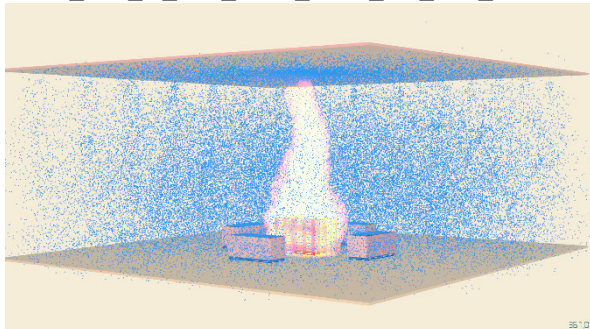
Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 47 MW y con descarga de agua de 35 MW, pero se activan todos los rociadores (49) y el fuego NO se extingue. → **No OK**

Con estos resultados queda claro que con una potencia de 500 kW/m² esta metodología **acierta en predecir que el sistema NO es capaz de controlar el incendio tal y como se observó en el ensayo**. Veamos qué simulación se adapta mejor a los palets de plástico, en base a la altura de las llamas a los 6 minutos y a los 12 minutos comparado con las imágenes del fuego real.

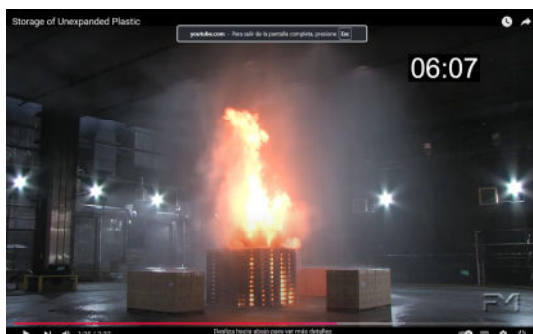
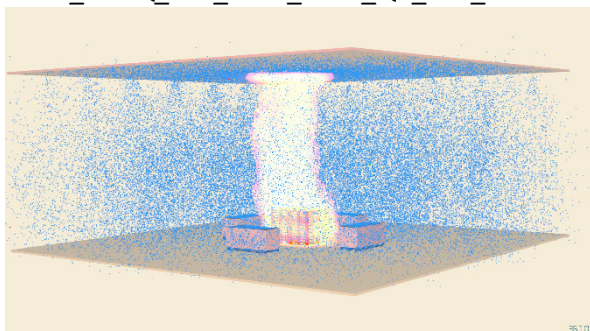
PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_400_01



PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_500_01

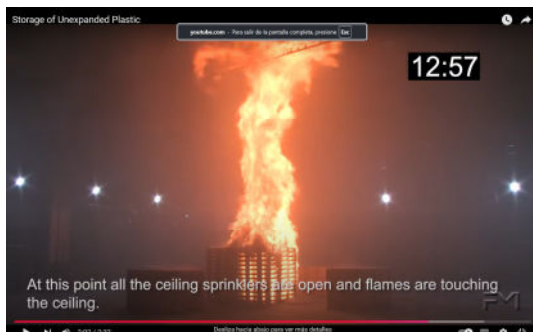
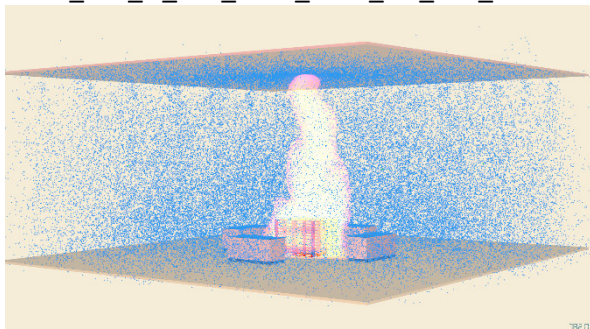


PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_625_01

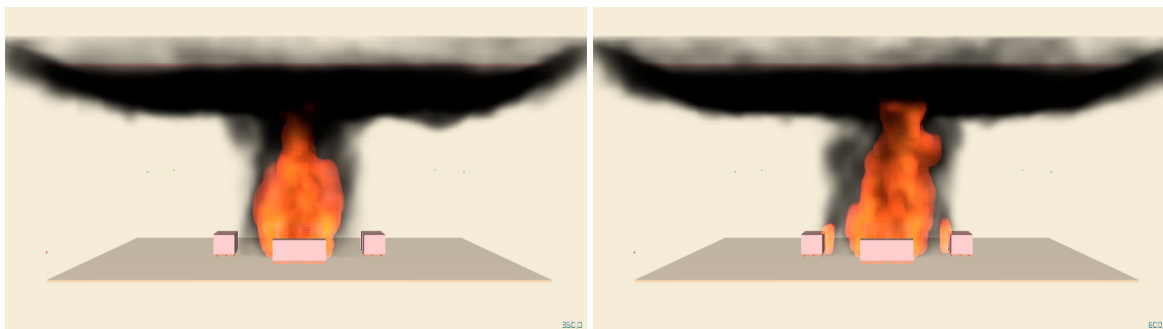


Se descarta la simulación con 625 kW/m² ya que las llamas ya tocan el techo. Y tanto por la altura de las llamas como por la cantidad de rociadores activados se concluye que **el ensayo se encuentra entre 400 kW/m² y 500 kW/m² bastante más cerca de este último** tal y como se había predefinido en la Parte 1 [1] para plásticos no expandidos expuestos. Efectivamente también es muy similar al final del ensayo, tocando las llamas el techo y habiéndose activado todos los rociadores.

PP_Roc_Q_113_E028_5000_QR_500_01



Desarrollo del fuego sin descarga de agua (PP Roc Q 0 500 01)



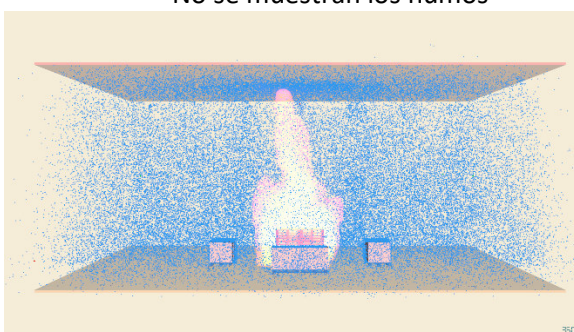
Nota: El fuego se propaga a las cargas al otro lado de los pasillos

Desarrollo del fuego con descarga de agua (PP Roc Q 113 E028 5000 SR 500 01)

No se muestran los humos ni las gotas

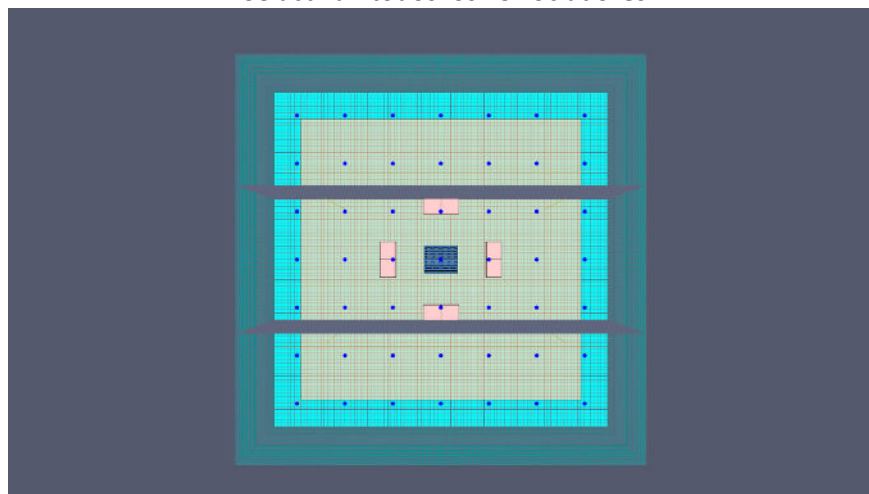


No se muestran los humos



Nota: El fuego sigue creciendo aunque no hay propagación a través de los pasillos

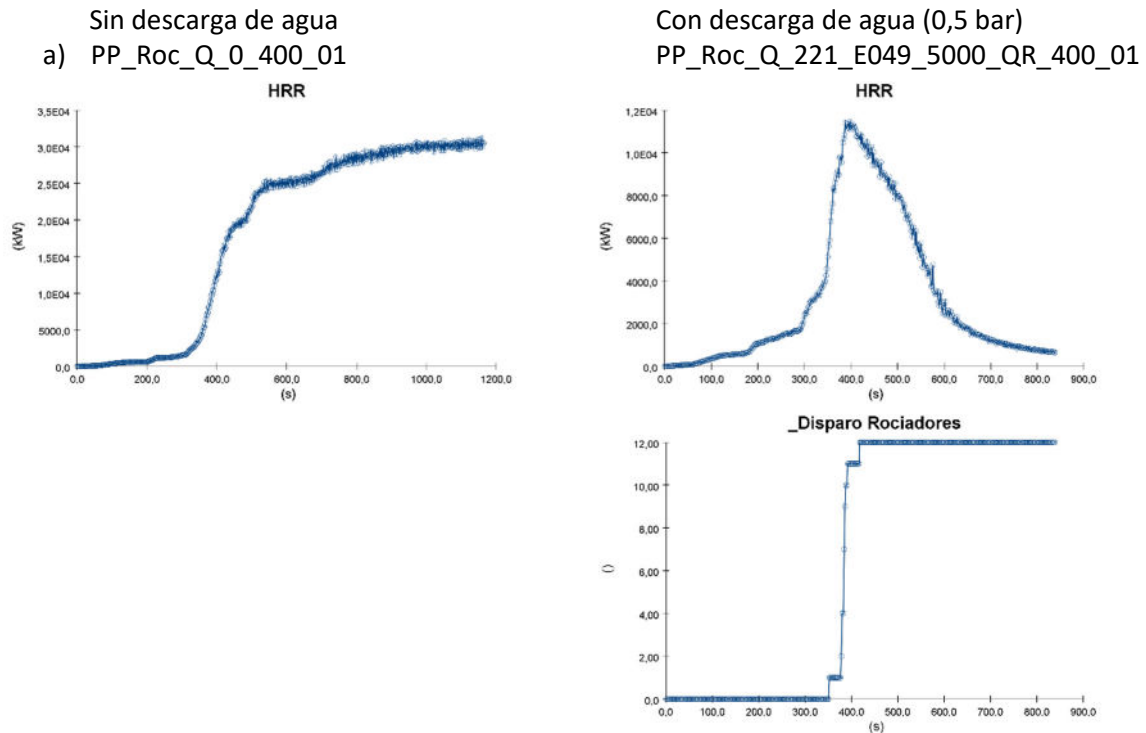
Se activan todos los 49 rociadores



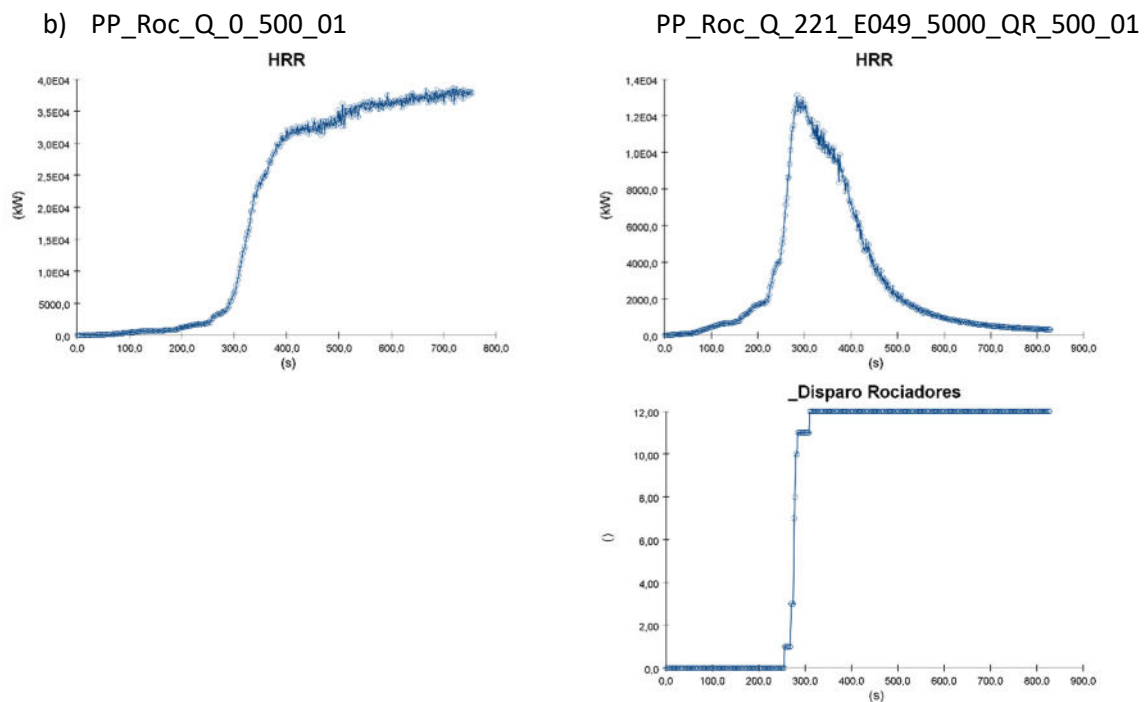
Existe una excelente correspondencia con el ensayo

2.5 Resultados de las Simulaciones en FDS (24,5 mm/min; rociadores K240 a 0,85 bar – palets plásticos - NFPA 13 - UNE EN 12845 G.5)

Se pretende ir más allá de los resultados del ensayo y contrastar con los valores de diseño de la norma NFPA 13 y UNE EN 12845 G.5 para la potencia de fuego unitaria del ensayo (entre 400 y 500 kW/m²).



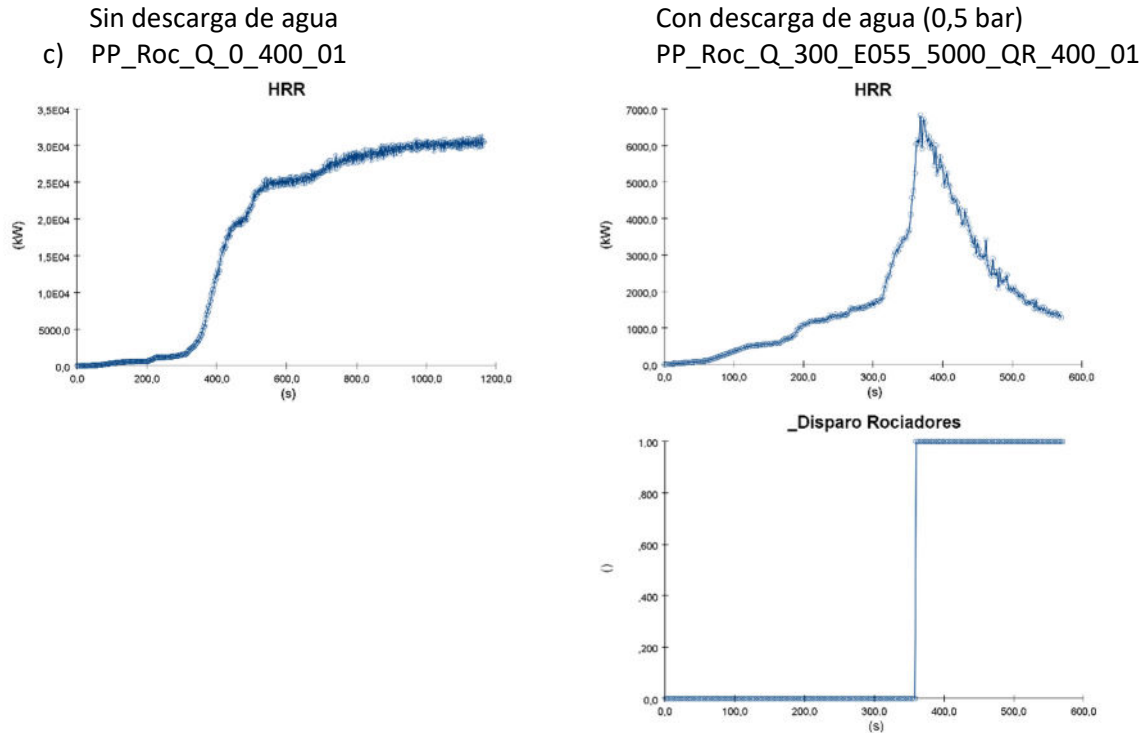
Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 32 MW y con descarga de agua de 12 MW. El número de rociadores activados es 12 y el fuego se apaga.



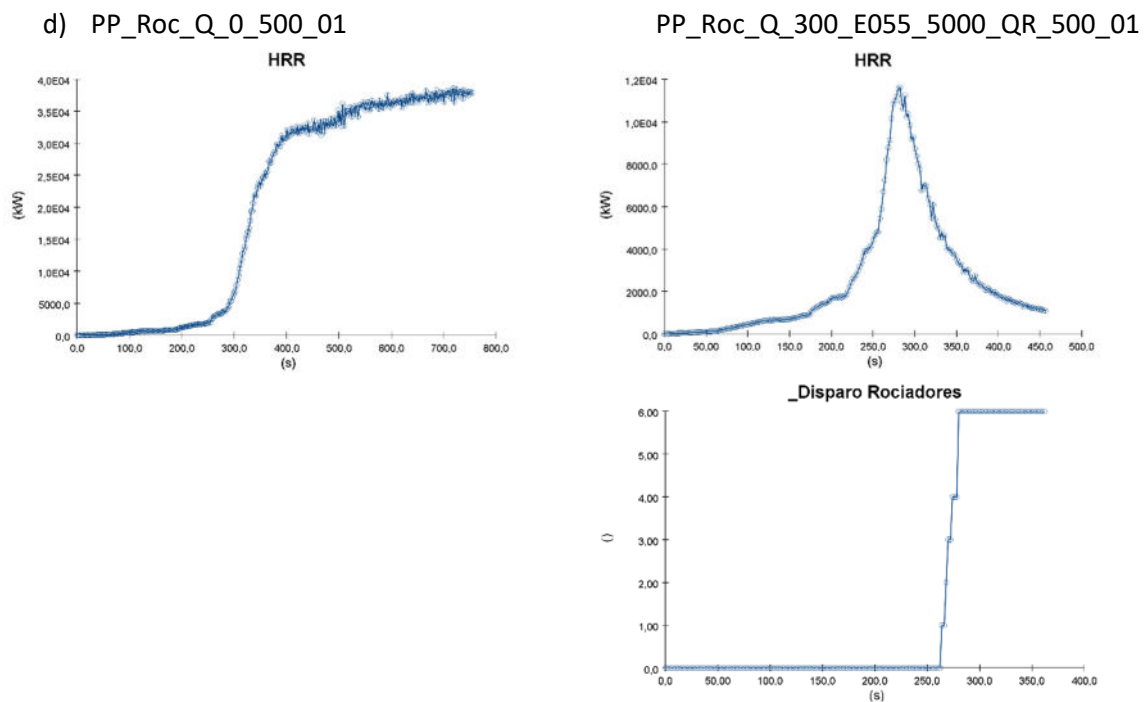
Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 36 MW y con descarga de agua de 13 MW. Se activan 12 rociadores y el fuego se apaga < 21 → OK.

2.6 Resultados de las Simulaciones en FDS (33,3 mm/min; rociadores K160 a 3,5 bar – UUP – FM 8-9)

Se pretende ir más allá de los resultados del ensayo y contrastar con los valores de diseño de la norma FM 8-9 Tabla 5 para la potencia de fuego unitaria del ensayo (entre 400 y 500 kW/m²).



Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 32 MW y con descarga de agua de 7 MW. El número de rociadores activados es 1 y el fuego se apaga.



Sin descarga de agua se alcanza una potencia máxima de 36 MW y con descarga de agua de 12 MW. Se activan 6 rociadores y el fuego se apaga, < 25 → OK

3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De nuevo queda demostrado que la metodología empleada se corresponde con los resultados experimentales, incluso cuando hay diferencias de opinión en los criterios de diseño a utilizar entre normas y resultado acorde con los resultados experimentales.

Las semejanzas entre el ensayo experimental y los obtenidos al simular en FDS los rociadores con descarga de agua aplicando correctamente el coeficiente de extinción siguen siendo 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.

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.

Este ensayo de FM es sumamente interesante y demuestra que la densidad de aplicación es importante para apagar el incendio según el riesgo, y de ahí el énfasis que hacen los autores del ensayo en la importancia de separar mediante pasillos de 2,4 m las mercancías apiladas sobre el suelo, lo que garantiza que, aunque el sistema de rociadores quede desbordado, al menos el incendio no seguirá propagándose.

Se ha visto que la densidad de 12,5 mm/min es insuficiente y justifica plenamente la densidad de 25 mm/min según el apartado G.5 de la norma UNE EN 12845, 24,5 mm/min de la norma NFPA 13 y 33,3 mm/min de la norma FM 8-9. La mayor densidad de esta última se debe a que admite una altura de almacenamiento mayor, hasta 1 m por debajo de los rociadores, y por lo tanto está preparado para atacar un riesgo de mayor consideración. Las simulaciones según las normas han sido favorables en cuanto a la extinción y dentro de los límites de diseño (número de rociadores activados).

En esta Parte 3 se han podido confirmar los valores que aplicarían para las diferentes clases de producto combustible, obteniéndose una clasificación similar a la indicada en la Parte 1 [1]:

Potencia calorífica máxima por unidad de superficie 3D		
CLASE / CATEGORÍA	TIPO MATERIAL	kW/m ²
I, II	Materiales celulósicos	≤ 250
CUP / CEP	Plásticos en cajas de cartón	≤ 400
UUP	Plásticos no expandidos expuestos	≤ 500
UEP	Plásticos expandidos expuestos	≤ 625

Notas: Las Categoría I a IV de la norma UNE EN 12845 están sufriendo modificación en los proyectos de revisión prEN 12845-1 y prEN 12845-2 para dar cabida a estas nomenclaturas y riesgos diferenciados. De hecho, pasan a ser 5 (HHS1 a HHS5).

El signo ≤ se justifica por otros ensayos con más altura, donde este factor se hace aún más crítico y se vuelve más conservador todavía de lo que se ha observado aquí.

4. 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 [3,4,5] ampliamente establecidas por la experiencia, en este documento se ha podido demostrar igualmente la correspondencia de dichas simulaciones con un ensayo de fuego real realizado en almacenamiento libre de palets de plástico sobre el suelo.

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 han obtenido valores que están perfectamente en sintonía con el ensayo, 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 del ensayo real, llegando a la misma conclusión que en el ensayo de que no se consigue la extinción o el control del incendio con esos rociadores y presión de funcionamiento.

Ha quedado manifiesto nuevamente que la asunción de que el sistema de rociadores controla el fuego con la activación del primer rociador no siempre es cierta, en especial en riesgos de almacenamiento, y que los valores de potencia máxima que se pueden alcanzar pueden superar considerablemente el valor en el momento de la activación del primero.

5. REFERENCIAS

1. Validación del coeficiente de extinción al modelar el fuego con rociadores automáticos – Parte 1, 2024
2. Validación del coeficiente de extinción al modelar el fuego con rociadores automáticos – Parte 2, 2024
3. UNE EN 12845, “Sistemas de rociadores automáticos”, 2021.
4. NFPA 13, “Standard for the Installation of Sprinkler Systems”, 2022.
5. FM 8-9, “Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities”, 2022.