



CLÚSTER DE SEGURETAT
CONTRA INCENDIS



GUÍA PARA EL CONTROL DE HUMOS EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS

GUÍA PARA EL CONTROL DE HUMOS EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS

© Clúster de Seguretat Contra Incendis

Coordinación técnica: Santos Bendicho

Equipo redactor: David Andrés, Santos Bendicho, Elías López y Xavier Querol

Coordinación editorial: Imma Ros

Revisión lingüística: Mercè Molins

Diseño y maquetación: Margraph Producció Gràfica

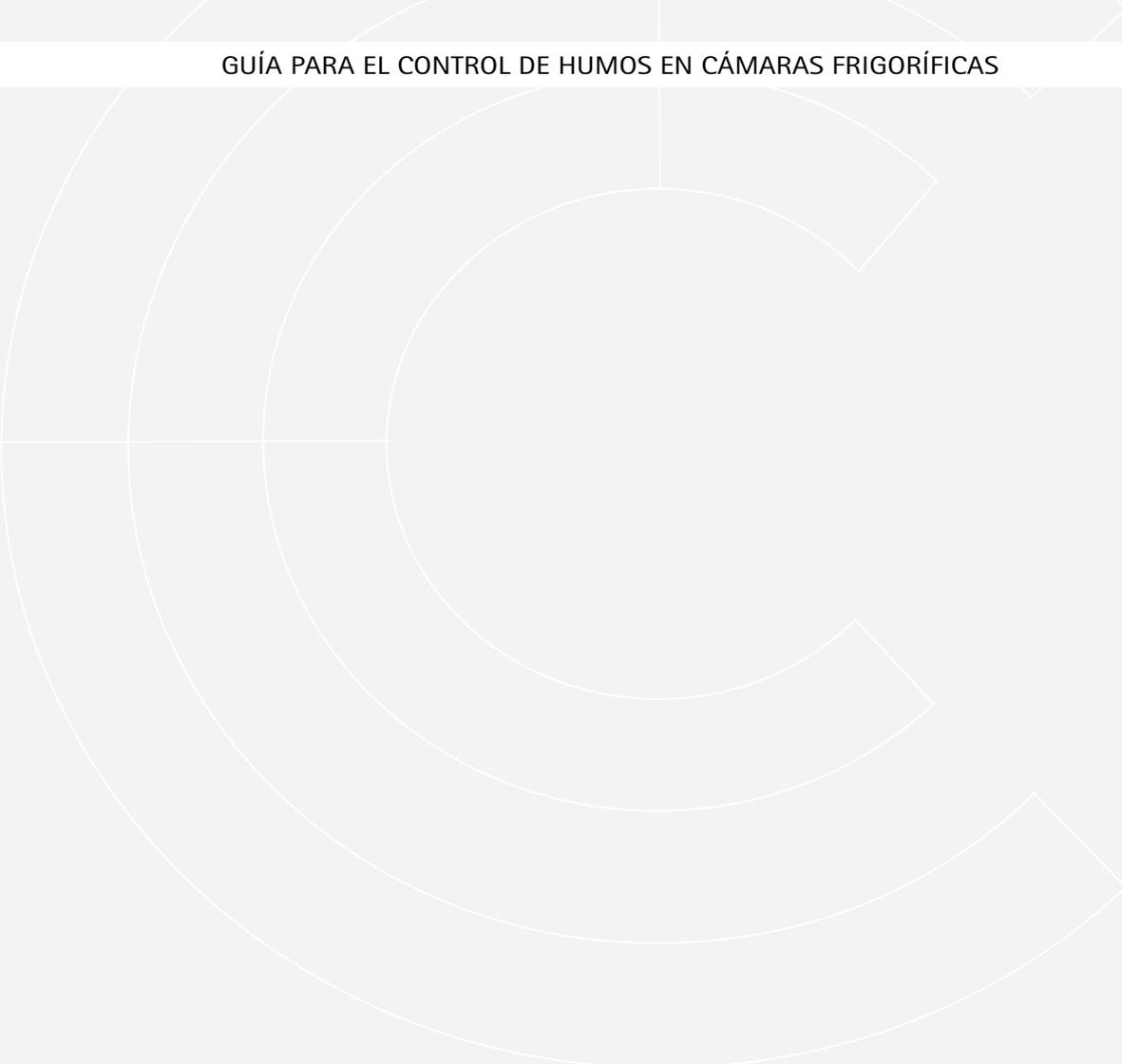
Organització i edició:

Clúster de Seguretat Contra Incendis

Via Laietana, 39

08003 Barcelona

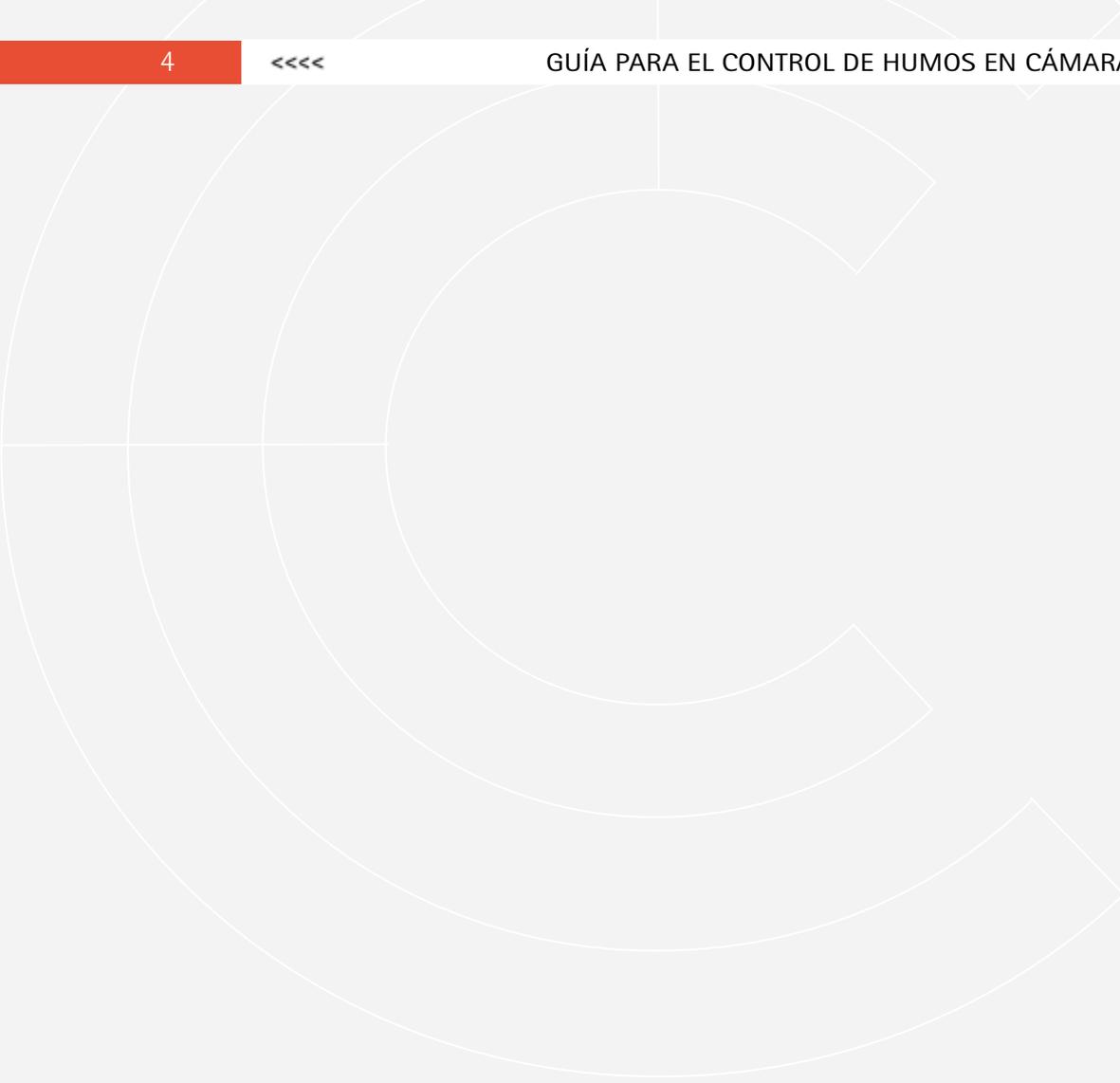
Primera edición: Febrero de 2022



SUMARIO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO REGLAMENTARIO	6
2.2 Sistemas para la extracción de humos	7
2.1 Sistemas de control de temperatura y evacuación de humos (SCTEH)	8
3. MATERIALES DE AISLAMIENTO PARA A CÁMARAS FRIGORÍFICAS	10
4. TIPOLOGIAS CONSTRUCTIVAS DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS	12
5. OBJETIVOS DE DISEÑO DEL SCTEH CONFORME A UNE 23585	14
6. TEMPERATURAS DE LA CAPA DE HUMOS SEGÚN EL INCENDIO DE DISEÑO	16
7. EXISTENCIA DE INSTALACIÓN DE EXTINCIÓN	20
8. TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA	22
8.1. Conclusiones del estudio Simulación de incendio con FDS en cámaras frigoríficas	24
9. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DEL SCTEH EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS	26
9.1. Cámaras frigoríficas provistas de sistema de extinción automática	29
9.2. Cámaras frigoríficas no provistas de sistema de extinción automática	32
9.3. Cámaras frigoríficas sin cámara plenum sobre la cámara frigorífica	33
9.4. Aire de reemplazo del SCTEH	33
10. OTROS DISEÑOS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO	35
11. CÁLCULO DE CÁMARA PLENUM SEGÚN UNE 23585	35
11.1. Generalidades	35
11.2. Plenum de aireación natural	35
11.3. Plenum de aireación forçada	37
12. REQUISITOS PARA SISTEMAS DE EVACUACIÓN DE HUMOS MEDIANTE CÁMARA PLENUM	38
12.1. Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y aireadores naturales en cubierta	38
12.2. Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta o fachada	39
13. REQUISITOS PARA SISTEMAS DE EVACUACIÓN DE HUMOS CON SALIDA CONDUCIDA DESDE CÁMARA FRIGORÍFICA	39

13.1. Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y aireadores naturales en cubierta	40
13.2. Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta (o fachada) individuales para cada abertura	40
13.3. Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta (o fachada) comunes para varias aberturas	41
13.4. Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en techo de cámara frigorífica y compuertas motorizadas o aireadores en cubierta (o fachada)	41
13.5. Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) extractores mecánicos en techo de cámara frigorífica, y salida conducida por cubierta (o fachada)	42
14. RESUMEN DE SOLUCIONES DE EVACUACIÓN DE HUMOS	43
ANNEX A. EJEMPLO DE CÁLCULO	47
A.1. Enunciado del problema	47
A.2. Planteamiento	47
A.3. Conclusiones	58
ANNEX B. SISTEMES DE EXTINCIÓN FIJOS	59
B.1. Generalidades	59
B.2. Tubería seca - Válvula de alarma	59
B.3. Tubería seca - Válvula de acción previa	60
B.4. Tubería húmeda con anticongelante	60
B.5. Sistemas de rociadores automáticos	60
B.6. Sistema de extinción per gases	61
B.7. Sistemas de inertizació permanente	61
ANNEX C. SIMULACIÓN DE INCENDIOS CON FDS EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS	62
C.1. Introducción	62
C.2. Palabras clave	62
C.3. Descripción del modelo	62
C.4. Discusión de los resultados	68
C.5. Conclusiones	80



1. INTRODUCCIÓN

La industria logística constituye uno de los sectores de mayor crecimiento en los últimos años con la consiguiente implantación de infraestructuras necesarias para su desarrollo y la construcción de multitud de centros logísticos para el almacenamiento y procesado de los materiales.

La industria alimentaria no ha sido ajena a este desarrollo de nuevos hábitos de consumo, que ligado al desarrollo comercial de grandes cadenas de distribución de productos y al auge del consumo de alimentos procesados, ha colocado a los centros de almacenamiento de productos alimentarios como pieza fundamental de su cadena de distribución y, por ende, de la cadena del frío de estos.

La construcción de centros de almacenamiento con temperatura controlada ya sea con temperaturas bajo cero (congelación) o sobre cero (refrigeración), ha sido constante históricamente en nuestro entorno, pero ha surgido un mayor crecimiento, si cabe, en los últimos años.

Las necesidades específicas de dichos centros, tanto en relación con sus configuraciones geométricas y constructivas, como en cuanto a los materiales necesarios para mantener controladas las temperaturas en su interior, hacen que también las instalaciones de protección contra incendios deban analizarse de forma específica.

Esta Guía pretende analizar las distintas situaciones que pueden darse en edificios de producción y almacenamiento con temperatura controlada y recomendar las posibles soluciones técnicas para resolver el diseño del SCTEH.

En particular, han existido tradicionalmente muchas dudas sobre como diseñar los sistemas de control de temperatura y de evacuación de humos (SCTEH) requeridos reglamentariamente en edificios de producción y almacenamiento por el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RSCIEI).

La presente Guía de diseño pretende analizar las distintas situaciones que pueden darse en este tipo de edificios (características constructivas, instalaciones de PCI previstas, objetivos de diseño del sistema, condiciones ambientales, etc.).

El gran trabajo realizado por los miembros del Subgrupo de Trabajo de Control de Humos activos en el desarrollo de este documento se merece una felicitación. Aprovecho estas líneas para hacerlo, al mismo tiempo que quiero agradecer al Servicio de Prevención de Bombers de la Generalitat de Catalunya el apoyo y la confianza depositada en el Clúster de Seguridad Contra Incendios y sus grupos de trabajo.

Santos Bendicho
Coordinador
Subgrupo de Trabajo de Control de Humos



2. MARCO REGLAMENTARIO

Los requisitos reglamentarios en materia de protección contra incendios para los establecimientos industriales quedan recogidos en el RSCIEI.

2.1 Sistemas de control de temperatura y de evacuación de humos (SCTEH)

El RSCIEI establece que deberán disponer de un SCTEH diseñado de acuerdo a la norma UNE 23585 los sectores de:

- Producción: De riesgo intrínseco alto y superficie construida $\geq 1.000 \text{ m}^2$
De riesgo intrínseco medio y superficie construida $\geq 2.000 \text{ m}^2$
- Almacenaje: De riesgo intrínseco alto y superficie construida $\geq 800 \text{ m}^2$
De riesgo intrínseco medio y superficie construida $\geq 1.000 \text{ m}^2$

En esta Guía, se tomarán las siguientes consideraciones con relación a la cobertura de los SCTEH en establecimientos industriales con cámaras frigoríficas:

a) Las cámaras frigoríficas que cumplan estos requisitos per ellas mismas deberán disponer de un SCTEH diseñado de acuerdo con la norma UNE 23585 que proteja su interior, así como también el espacio entre el techo de la cámara y la cubierta de la nave en caso de existir.

b) Las cámaras frigoríficas de menor superficie que estén integradas en sectores que cumplan con estos requisitos deberán disponer de un SCTEH diseñado de acuerdo con la norma UNE 23585 que proteja el exterior de las cámaras, y podrán disponer de un sistema para la extracción de humos de su interior, de acuerdo con el apartado 2.2.

Por lo que refiere a la capacidad calorífica de los materiales, tanto para la determinación del nivel de riesgo, como por la cuantificación de la tasa de calor liberada por el incendio (kW/m^2) utilizada para el cálculo del SCTEH de acuerdo con la norma UNE 23585, se tomarán las siguientes consideraciones en esta Guía:

a) Según lo que se especifica en la instrucción técnica complementaria SP 107:2008 «Cálculo de la carga de fuego en actividades de almacenaje», el cálculo de la carga de fuego para determinar el nivel de riesgo intrínseco debe incluir no solo los materiales almacenados en la cámara, sino también necesariamente la aportada por los materiales de los cerramientos de la cámara frigorífica (paredes y techo – el plafón PIR, por ejemplo, tiene un poder calorífico de $24,6 \text{ MJ/kg}$).

No se prevé la posibilidad de considerar una carga de fuego diferente por el hecho de tratarse de materiales en estado de congelación

b) En relación con los materiales almacenados, no se prevé la posibilidad de considerar una carga de fuego diferente por el hecho de tratarse de materiales en estado de congelación. En caso de prever esta posibilidad, se deberá desarrollar un proyecto basado en prestaciones como alternativa al método prescriptivo, según recoge el RSCIEI.

c) Así mismo, en caso de realizar el diseño prescriptivo del SCTEH de acuerdo con la norma UNE 23585, tampoco se prevé la posibilidad de considerar tasas de calor liberada por el incendio (kW/m²) diferentes de las indicadas en esta norma por tratarse de material en estado de congelación, o por el hecho que los materiales puedan liberar agua por descongelación o secado en caso de incendio.

2.2 Sistemas para la extracción de humos

Cuando no se requiere la instalación de un SCTEH conforme a la norma UNE 23585 de acuerdo con el apartado anterior, el mencionado reglamento RSCIEI determina que se pueden disponer aperturas en los sectores dimensionados a razón de:

Actividad	Nivel de riesgo	Ubicación	Superficie ventilación natural
Producción	Medio o alto	Sobre rasante	0,5 m ² / 200 m ²
Producción	Medio o alto	Bajo rasante	0,5 m ² / 150 m ²
Almacenamiento	Medio o alto	Sobre Rasante	0,5 m ² / 150 m ²
Almacenamiento	Medio o alto	Bajo Rasante	0,5 m ² / 100 m ²

Por lo que refiere a su diseño, el RSCIEI especifica que:

- La ventilación debe hacerse de forma natural salvo que la ubicación del sector lo impida; en tal caso puede ser forzada.

- Las aperturas tienen que ser practicables de manera manual o automática y deben estar uniformemente repartidas en la parte alta del sector (ya sea en fachada o en cubierta).

- Hay que disponer también de aperturas para la entrada de aire situadas en la parte baja del sector, en la misma proporción de superficie que la requerida para la salida de humos, y se pueden computar las aperturas de las puertas de acceso al sector.

- A efectos de esta Guía, se entiende que el objetivo de este tipo de aperturas es facilitar la extracción de humos generados en el incendio, una vez este se ha extinguido. Por lo tanto, las cámaras frigoríficas integradas en sectores que no requieran de un SCTEH conforme a la norma UNE 23585, pueden dotarse también de estas aperturas para facilitar las tareas de desenfumaje de su interior. Se aportan consideraciones adicionales para su diseño:

Equivalencia en porcentajes de ventilación

Considerando un coeficiente aerodinámico (relación entre la superficie aerodinámica y la superficie de apertura real) para los equipos de ventilación natural de $C_v = 0,6$ (valor estándar para estos equipos), se obtienen los siguientes porcentajes de superficie geométrica a instalar en relación con la superficie del sector.

Producción				Producción			
Sobre rasante		Bajo rasante		Sobre rasante		Bajo rasante	
Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo alto
% de superficie máxima en aberturas respecto a la superficie geométrica total del sector según RSCIEI							
0,42%	0,42%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,83%	0,83%

NOTA: Las superficies indicadas en el RSCIEI hacen referencia al sector de incendio, no a la superficie de la cámara frigorífica

Ratios de ventilación mecánica equivalentes

Se consideran válidos los siguientes criterios de dimensionado del sistema de ventilación forzada en caso de incendio cuando no se requiere la instalación de un SCTEH conforme a UNE 23585, en equivalencia a las superficies aerodinámicas mínimas de ventilación natural propuestas por el RSCIEI:

Actividad	Nivel de riesgo	Ubicación	Tasa de ventilación
Producción	Medio o alto	Sobre rasante	6 renovaciones/hora
Producción	Medio o alto	Bajo rasante	9 renovaciones/hora
Almacenamiento	Medio o alto	Sobre Rasante	9 renovaciones/hora
Almacenamiento	Medio o alto	Bajo Rasante	12 renovaciones/hora

Condiciones de la instalación:

- Los extractores deberán tener una clasificación F_{400} 120 de acuerdo con la norma UNE EN 12101-3.
- En caso de utilizarse conductos para la extracción de humos, o para la aportación de aire que estén inmersos en el sector de incendios, deberán tener una clasificación E_{600} 60 si discurren por un único sector o E_{120} si atraviesan elementos compartimentadores de incendio.
- Los extractores deberán activarse de manera automática a través de un sistema de detección automática de incendios, con la posibilidad adicional de activación y parada manual por parte de los servicios de extinción desde un sitio de mando fácilmente accesible y localizable.
- Habrá de disponer, además, de aperturas para la entrada de aire en la parte baja del sector, en la misma proporción de superficie requerida para los de salida de humos, y se podrán computar las aperturas de las puertas de acceso al sector.
- La aportación de aire será natural, salvo que la ubicación del sector lo impida; en tal caso, se realizará de manera mecánica en la parte baja del sector en una proporción del 80% del caudal requerido para la salida de humos y limitando su velocidad de impulso a 4m/s.
- La activación de la aportación mecánica de aire, si procede, será únicamente manual por parte de los servicios de extinción desde un sitio de mando fácilmente accesible y localizable.

3. MATERIALES DE AISLAMIENTO PARA CÁMARAS FRIGORÍFICAS

Las bajas temperaturas que deben mantenerse en las cámaras frigoríficas determinan las características de los materiales utilizados para su construcción.

Típicamente se utilizan dos clases de materiales:

- Paneles frigoríficos PIR/PUR
- Paneles frigoríficos de lana de roca

Mientras que los primeros presentan normalmente unas mejores prestaciones de comportamiento térmico para un mismo espesor, los segundos presentan normalmente unas mejores prestaciones de comportamiento en caso de incendio. Las exigencias de cada proyecto, en particular en cuanto a las temperaturas mínimas interiores a mantener y las temperaturas en el ambiente exterior de la cámara, determinan en cada caso la utilización de uno u otro material. A continuación, se detallan las principales características de cada uno de ellos, con valores habituales para los productos disponibles en el mercado.

Paneles PIR/PUR

- Coeficiente de transmitancia térmica:

Espesor total (mm)	40	60	80	100	125	150	175	200
Panel PIR (W/m ² ·K)	0,58	0,38	0,27	0,22	0,17	0,14	0,12	0,11
Panel PUR (W/m ² ·K)	0,62	0,41	0,30	0,23	0,19	0,15	0,13	0,12

- Reacción al fuego:

Panel sándwich con núcleo de PIR: B-s1, d0 / B-s2, d0

Panel sándwich con núcleo de PUR: B-s2, d0 / B-s3, d0 / C-s3, d0

Temperatura de pirólisis: ~200°C

Temperatura de inflamación: entre 320°C i 420°C

Temperatura de autoignición: entre 420°C i 550°C

Paneles de lana de roca

- Coeficiente de transmitancia térmica:

Espesor total (mm)	60	80	100	150
(W/m ² ·K)	0,53	0,41	0,33	0,22

- Reacción al fuego: A1-s1, d0

Panel sándwich de lana de roca:

- Coeficiente de transmitancia térmica:

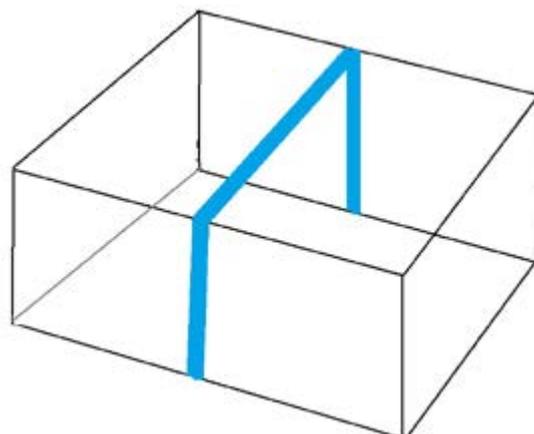
Espesor total (mm)	80	100	150
EI (divisorias en vertical)	90	120	120

- Reacción al foc: A2 -s1, d0

Capacidad de compartimentación:

Una de las situaciones habituales en incendios en cámaras frigoríficas es el hecho de que el incendio se propague por el interior de los paneles aislantes.

Para ayudar a evitar este efecto, se recomienda interrumpir la continuidad del aislamiento combustible, con franjas con material no combustible (como, por ejemplo, lana de roca).



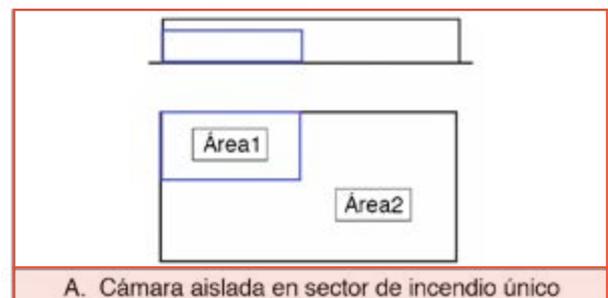
4. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS

Si bien en algunas ocasiones el propio edificio o nave industrial configura geoméricamente la propia cámara frigorífica, la configuración más habitual es la de disponer de una o varias cámaras frigoríficas en el interior de una envolvente tradicional de nave industrial, previendo la existencia de un plenum, típicamente previsto para la ubicación de las instalaciones, entre el espacio del techo de la cámara o las cámaras y el techo de la nave envolvente.

Una primera división, por tanto, podría hacerse en base al número de cámaras en un sector de incendio según la siguiente relación:

NOTA: En los siguientes ejemplos, en rojo se representan los cerramientos con capacidad de sectorización contra incendio, en azul los cerramientos sin capacidad de sectorización contra incendio y las barreras de control de humos se representan en color verde.

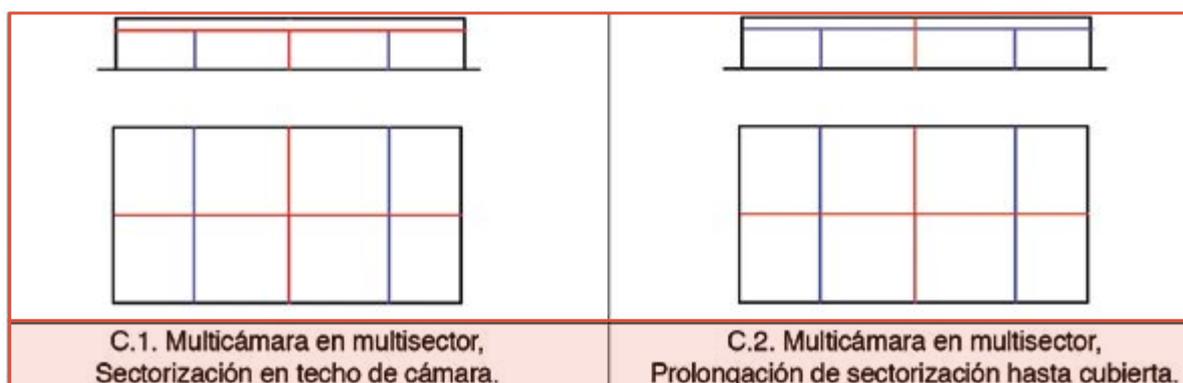
A. Cámara aislada en sector de incendio: En un mismo sector de incendio se dispone una única cámara que ocupa parcialmente la superficie del sector.



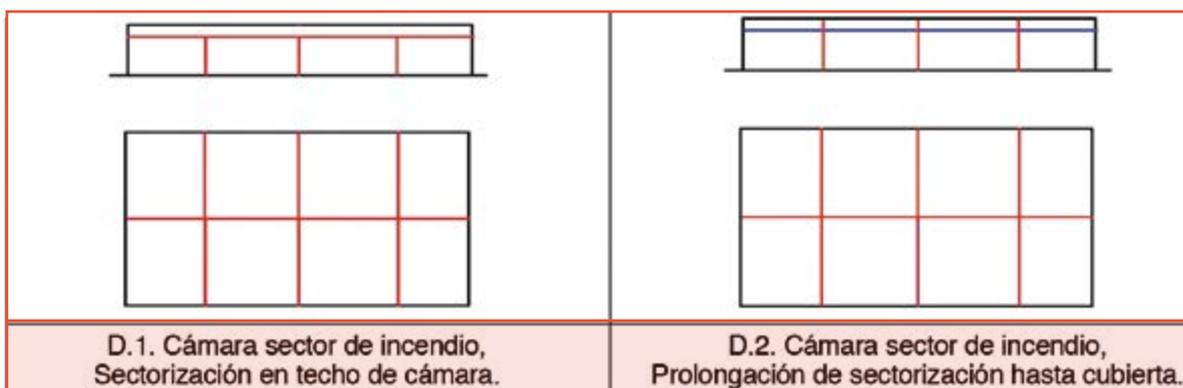
B. Multicámara en sector de incendio: En un mismo sector de incendio se disponen varias cámaras frigoríficas por motivos de operatividad, pero no de sectorización. Los materiales con que se construyen los cerramientos entre las cámaras no tienen, por tanto, características de sectorización de incendio.



C. Multicámara en multisector: Cuando existan más de un sector de incendio en el establecimiento, existe la posibilidad de realizar la sectorización entre los distintos sectores de incendio, tanto en sentido vertical (previendo un techo para sectorización), como en sentido horizontal (prolongando la sectorización vertical entre las cámaras hasta la cubierta de la envolvente).



D. Cámara en sector de incendio: Como última configuración se plantea la posibilidad de que existan diversas cámaras frigoríficas construidas con cerramientos de sectorización entre ellas, de nuevo tanto con la posibilidad de disponer sectorización en el techo de cámaras, como de prolongar la sectorización vertical entre las cámaras hasta la cubierta de la envolvente.



E. Cámara Autoportante: Se puede dar también la posibilidad de que la propia cámara frigorífica constituya el cierre de la nave.



5. OBJETIVOS DE DISEÑO DEL SCTEH CONFORME A UNE 23585

La norma de diseño de SCTEH, UNE 23585, define los posibles objetivos de diseño para estos sistemas, pudiendo un SCTEH estar diseñado para uno o varios de los siguientes objetivos:

- Protección de los medios de evacuación
- Control de la temperatura de los gases
- Ayuda a las operaciones de lucha contra incendios
- Protección de las propiedades

La selección del objetivo u objetivos a satisfacer tiene como principal consecuencia el valor máximo de diseño para la temperatura de la capa de humos, así como la altura mínima libre de humos a mantener.

- Con relación a la protección de los medios de evacuación, la norma UNE 23585 exige una temperatura máxima de la capa de humos de 200°C y una altura mínima libre de humos de 2,5 m.

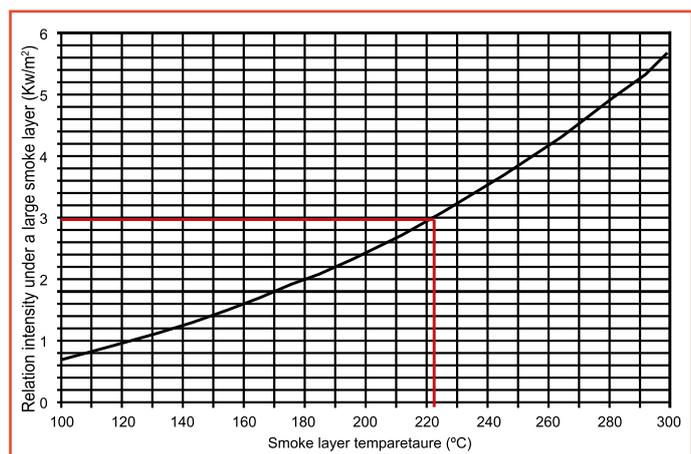
- Con relación al control de la temperatura de los gases, uno de los objetivos debería ser el de mantener la integridad de los cerramientos de la cámara, por lo que, teniendo en cuenta la temperatura a la que se produce –según los fabricantes– pirólisis en los paneles frigoríficos PIR/PUR utilizados frecuentemente en cámaras frigoríficas, se considera adecuado tomar como temperatura de diseño para el SCTEH un valor de 200°C.

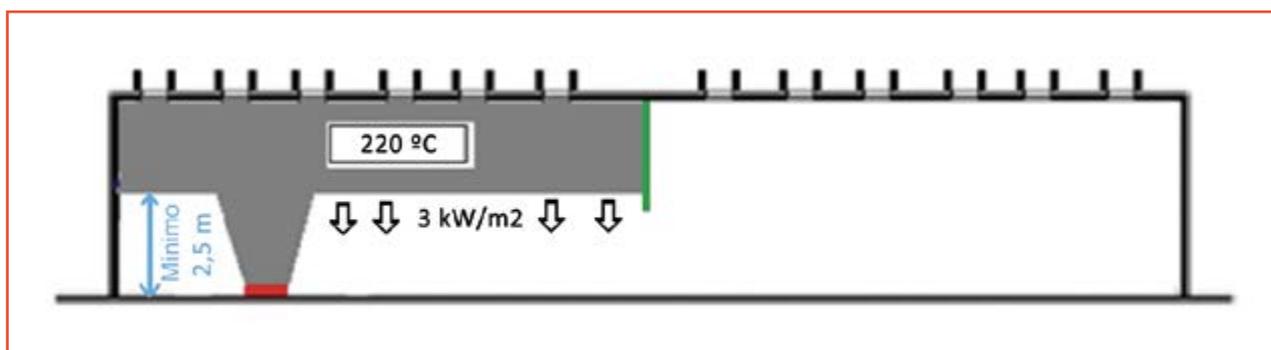
- Con relación a la ayuda a las operaciones de lucha contra incendios, la norma UNE 23585 no define la temperatura máxima de la capa de humos, por lo que, a efectos de esta Guía, se toma como referencia una radiación térmica de 3 kW/m² desde la capa de humo, como se detalla en la Guía de diseño prestacional para sistemas de protección contra incendios en naves industriales y logísticas del CLÚSIC.

Este valor de radiación térmica es el que se tiene al considerar que la radiación de la capa de humos incide en el punto de recepción con un factor de visión de 1 (debido a la gran área de la base de la capa de humos en relación con el área de recepción de la radiación), para una temperatura de los humos en la capa de humos de 220°C (según el siguiente gráfico que relaciona la temperatura en la capa de humos con la radiación emitida desde esta).

*El gráfico se elaboró en el CEN TC191/SC1 WG5 durante los trabajos de la prEN 12101-12. Sale de aplicar la Lei d’Stefan-Boltzmann.

Fuente: CEN TC191/SC1 EGR





- Por último, el objetivo de protección de las propiedades puede tener una doble función. En primer lugar, para permitir que la intervención activa del servicio de incendios sea más rápida, eficaz y segura, para lo cual es de vital importancia que no se produzca la caída de partes del cerramiento de la cámara (en particular, del techo), lo cual va ligado al segundo objetivo detallado previamente (control de la temperatura de los gases). En segundo lugar, y dependiendo de los materiales presentes, una filosofía de diseño de protección de las propiedades (como indica la norma UNE 23585) puede basarse en mantener la capa caliente de humos flotantes suficientemente alejada por encima de los materiales almacenados, a fin de evitar la creación de focos de incendio secundarios en caso de entrar en contacto los humos calientes con los materiales almacenados en estanterías distintas a las del origen del incendio. En la práctica, eso implica diseñar un SCTEH con una altura libre de humos al menos medio metro superior a la altura máxima de almacenamiento de los materiales, con la excepción de la aplicación de la instrucción técnica complementaria SP 129:2018 «Sistemes de control de temperatura i evacuació de fums en magatzems industrials que disposen de sistemes de ruixadors automàtics», que permite que la altura libre de humo sea de 2/3 de la altura máxima de almacenamiento, si cumplen las condiciones de esta instrucción técnica.

Es fundamental garantizar que no caerán partes del cierre de la cámara (en particular del techo)

Como resumen, y dado que la presente Guía de diseño contempla como uno de los objetivos ineludibles para el SCTEH la ayuda a las operaciones de lucha contra incendios, se determina que la temperatura de la capa de humos no podrá superar en ningún caso los 200°C.

Asimismo, la altura libre de humos deberá ser, por lo menos, de 2,5 m, o la que se determine para protección de los bienes, ya sea por la aplicación de la norma UNE 23585 o la instrucción técnica SP 129:2018, en caso de almacenamiento de materiales en altura (sin olvidar la limitación que impone la norma UNE 23585 de que la altura libre de humos sea de al menos 1/10 de la altura total del edificio).

Para ayudar en las operaciones de lucha contra incendios, la temperatura de la capa de humos no podrá superar los 200°C y la altura libre de humos deberá ser superior a los 2,5 m.

6. TEMPERATURAS DE LA CAPA DE HUMOS SEGÚN EL INCENDIO DE DISEÑO

Un SCTEH por sí solo no podrá controlar una temperatura en la capa de humos por debajo de los 200°C en ausencia de un sistema de extinción mediante rociadores, salvo que la altura libre de humos prevista para el sistema sea suficientemente elevada para que el humo que se incorpora en el penacho de humos ascendente produzca suficiente enfriamiento.

En ausencia de sistema de extinción mediante rociadores, la norma UNE 23585:2017 establece dos posibles escenarios de incendio:

a) En caso de no disponer de rociadores, pero disponer de un sistema de detección de incendio y comunicación de la alarma, se considera un incendio con unas dimensiones de 6,5 m x 6,5 m, para áreas de producción y apilamiento con altura limitada a 2,4 m.

Para este tamaño de incendio y considerando la tasa de calor liberado con su valor alto ($q_f = 1.250 \text{ kW/m}^2$ para apilamiento hasta 2 m y $q_f = 1.250 \cdot (h-1) \text{ kW/m}^2$ para apilamiento entre 2 y 2,4 m), se determinan los siguientes valores de temperaturas de la capa de humos en función de la altura libre de humos prevista en el diseño.

H	Y	h ≤ 2				h = 2,2				h = 2,4			
		Mf	Q	ΔT	Tf	Mf	Q	ΔT	Tf	Mf	Q	ΔT	Tf
3,33	3	25,40	42250	1657	1677	25,40	50700	1988	2008	25,40	59150	2320	2340
4,44	4	39,10	42250	1076	1096	39,10	50700	1291	1311	39,10	59150	1507	1527
5,56	5	54,65	42250	770	790	54,65	50700	924	944	54,65	59150	1078	1098
6,67	6	71,84	42250	586	606	71,84	50700	703	723	71,84	59150	820	840
7,78	7	90,53	42250	465	485	90,53	50700	558	578	90,53	59150	651	671
8,89	8	110,60	42250	380	400	110,60	50700	457	477	110,60	59150	533	553
10,00	9	131,98	42250	319	339	131,98	50700	383	403	131,98	59150	446	466
11,11	10	154,57	42250	272	292	154,57	50700	327	347	154,57	59150	381	401
12,22	11	178,33	42250	236	256	178,33	50700	283	303	178,33	59150	330	350
13,33	12	203,19	42250	207	227	203,19	50700	249	269	203,19	59150	290	310
14,44	13	229,11	42250	184	204	229,11	50700	220	240	229,11	59150	257	277
14,67	13,2	234,42	42250	180	200	234,42	50700	215	235	234,42	59150	251	271
15,56	14	256,05	42250	164	184	256,05	50700	197	217	256,05	59150	230	250
16,67	14,9	281,13	42250	150	170	281,13	50700	180	200	281,13	59150	210	230
17,78	16	312,83	42250	135	155	312,83	50700	161	181	312,83	59150	188	208
18,17	16,5	323,15	42250	130	150	327,61	50700	154	174	327,61	59150	180	200
18,89	17	342,61	42250	123	143	342,61	50700	147	167	342,61	59150	172	192

Siendo:

- Y: Altura libre de humos proyectada (m)
- H: Altura mínima de la cámara (m)
- h: Altura máxima de almacenaje (m)
- Mf: Masa entrante en la capa de humos (kg/s)
- Q: Calor convectivo desarrollado por el incendio (kW)
- ΔT: Incremento de temperatura de los humos (°)
- Tf: Temperatura de la capa de humos (°C)

b) En caso de no disponer de rociadores ni de sistema de detección de incendio y comunicación de la alarma, se considera un incendio con unas dimensiones de 9 m x 9 m, para áreas de producción y apilamiento con altura limitada a 1,2 m.

Para este tamaño de incendio y considerando la tasa de calor liberado con su valor alto ($q_f = 1.250 \text{ kW/m}^2$), se determinan los siguientes valores de temperaturas de la capa de humos en función de la altura libre de humos prevista en el diseño.

H	Y	Mf	Q	ΔT	Tf
3,33	3	35,17	81000	2294	2314
4,44	4	54,14	81000	1490	1510
5,56	5	75,67	81000	1066	1086
6,67	6	99,47	81000	811	831
7,78	7	125,35	81000	644	664
8,89	8	153,14	81000	527	547
10,00	9	182,74	81000	441	461
11,11	10	214,02	81000	377	397
12,22	11	246,92	81000	327	347
13,33	12	281,34	81000	287	307
14,44	13	317,23	81000	254	274
15,56	14	354,53	81000	228	248
16,67	15	393,19	81000	205	225
17,78	16	433,15	81000	186	206
18,17	16,35	447,44	81000	180	200
18,89	17	474,39	81000	170	190

Siendo:

- Y: Altura libre de humos proyectada (m)
- H: Altura mínima de la cámara (m)
- h: Altura máxima de almacenaje (m)
- Mf: Masa entrante en la capa de humos (kg/s)
- Q: Calor convectivo desarrollado por el incendio (kW)
- ΔT : Incremento de temperatura de los humos (°)
- Tf: Temperatura de la capa de humos (°C)

c) En caso de superarse las alturas de apilamiento indicadas en los dos casos anteriores, se considera un almacenamiento en altura con un incendio de dimensiones 9 m x 9 m, en cualquier caso.

Para este tamaño de incendio y considerando la tasa de calor liberado con su valor alto ($q_f = 1.250 \text{ kW/m}^2$), se determinan los siguientes valores de temperaturas de la capa de humos en función de la altura libre de humos prevista en el diseño.

H	h	Y	Mf	Q	ΔT	Tf
3,33	2,50	3	35,17	81000	2294	2314
4,44	3,50	4	54,14	81000	1490	1510
5,56	4,50	5	75,67	81000	1066	1086
6,67	5,50	6	99,47	81000	811	831
7,78	6,50	7	125,35	81000	644	664
8,89	7,50	8	153,14	81000	527	547
10,00	8,50	9	182,74	81000	441	461
11,11	9,50	10	214,02	81000	377	397
12,22	10,50	11	246,92	81000	327	347
13,33	11,50	12	281,34	81000	287	307
14,44	12,50	13	317,23	81000	254	274
14,67	12,7	13,2	324,58	81000	249	269
15,56	13,50	14	354,53	81000	228	248
16,67	14,50	15	393,19	81000	205	225
17,78	15,50	16	433,15	81000	186	206
18,17	15,85	16,35	447,44	81000	180	200
18,89	16,50	17	474,39	81000	170	190

Siendo:

- Y: Altura libre de humos proyectada (m)
- H: Altura mínima de la cámara (m)
- h: Altura máxima de almacenaje (m)
- Mf: Masa entrante en la capa de humos (kg/s)
- Q: Calor convectivo desarrollado por el incendio (kW)
- ΔT : Incremento de temperatura de los humos (°)
- Tf: Temperatura de la capa de humos (°C)

Nota 1: La altura máxima de almacenaje (h) se obtiene descontando 0,5 m a la altura libre de la capa de humos según requisito de la norma UNE 23585.

Nota 2: La altura mínima de la cámara se obtiene considerando que, conforme a la norma UNE 23585, no se puede diseñar un SCTEH con una altura libre de humos superior a 9/10 de la altura total del recinto.

De la tabla anterior se deduce que, en caso de no disponer de un sistema de extinción automática, las alturas libres de humo, altura máxima de almacenaje y altura mínima de la cámara que permiten asegurar una temperatura de humos no superior a los 200°C son las siguientes:

Escenario de incendio	Altura libre de humos mínima (m)	Altura máxima de almacenaje (m)	Altura mínima de la cámara (m)
Producción con apilamiento hasta 2m cuando existe detección automática y comunicación de alarma.	13,2	2	14,67
Producción con apilamiento hasta 2,2m cuando existe detección automática y comunicación de alarma.	14,9	2,2	16,67
Producción con apilamiento hasta 2,4m cuando existe detección automática y comunicación de alarma.	16,5	2,4	18,17
Producción con apilamiento hasta 1,2m cuando existe detección automática y comunicación de alarma.	16,35	1,2	18,17
Almacenamiento en altura por encima de las alturas críticas indicadas	16,35	15,85	18,17

No parece muy lógico construir una cámara frigorífica de entre 14,67 y 18,17 m de altura y dotarla de detección automática y comunicación de alarma para realizar únicamente apilamiento hasta 2 y 2,4 m respectivamente, o construir una cámara frigorífica de 18,17 m de altura sin dichos sistemas para realizar únicamente apilamiento hasta 1,2 m. En el caso de la tercera opción se hace extraño pensar que un almacenamiento con esa altura no requiera de una instalación automática de extinción.

Se deduce, por tanto, que, como regla general para satisfacer el requisito de mantener una temperatura en la capa de humos por debajo de los 200°C, según se recoge en el apartado anterior, es imprescindible disponer de una instalación de extinción mediante rociadores que permita controlar la temperatura de los humos.

En caso de prever un sistema de ventilación natural, según la norma UNE 23585:2017 se considera que la temperatura de la capa de humos será la misma que la temperatura de tarado de los rociadores.

En caso de prever un sistema de ventilación mecánica, según la norma UNE

Como regla general, para satisfacer el requisito de mantener una temperatura en la capa de humos por debajo de los 200°C es imprescindible disponer de una instalación de extinción mediante rociadores que permita controlar la temperatura de los humos.

23585:2017 la temperatura promedio de la capa de humos se determina mediante la siguiente expresión:

$$T_i = \frac{[T_r \cdot (A - A_r)] + [(\theta_i + T_0) \cdot A_r]}{A}$$

Donde:

A = Área del depósito de humos (m²)

A_r = Área de operación de los rociadores según la norma UNE EN 12845 (m²)

T_i = Temperatura promedio absoluta de la capa de humos (K)

Θ_i = Aumento de temperatura de la capa de humos por encima de la del ambiente (°C)

T_r = Temperatura de activación de los rociadores (K)

7. EXISTENCIA DE INSTALACIÓN DE EXTINCIÓN

La necesidad reglamentaria de disponer de un sistema automático de extinción viene determinada por la aplicación del RSCIEI.

En función del nivel de riesgo intrínseco (bajo, medio o alto) y la configuración del edificio (tipo A, B o C), el establecimiento será:

- Con instalación de sistema de extinción automática
- Sin instal·lació de sistema d'extinció automàtica

Se instalarán sistemas de rociadores automáticos de agua en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en ellos se desarrollen las siguientes actividades:

- a) Actividades de producción, montaje, transformación, reparación u otras distintas al almacenamiento, si:
1. Están ubicados en edificios de tipo A, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 500 m² o superior.
 2. Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 2.500 m² o superior.
 3. Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 1.000 m² o superior.
 4. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 3.500 m² o superior.
 5. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 2.000 m² o superior.
- b) Actividades de almacenamiento, si:
1. Están ubicados en edificios de tipo A, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 300 m² o superior.
 2. Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 1.500 m² o superior.
 3. Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 800 m² o superior.
 4. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 2.000 m² o superior.

5. Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 1.000 m² o superior.

Independientemente de este requisito reglamentario, como se ha visto en el apartado anterior, la necesidad de mantener controlada la temperatura de los humos por debajo de los 200°C, en caso de disponer de un SCTEH conforme a la norma UNE 23585, determina (salvo excepciones muy particulares) la necesidad técnica de disponer igualmente de un sistema de extinción automático.

No es el objeto de esta Guía la definición del tipo de sistema de extinción automático a prever en el caso de cámaras frigoríficas, si bien se presentan a continuación algunas consideraciones que se deben tener en cuenta para dichas aplicaciones.

- Rociadores automáticos:
 - Normas: UNE EN 12845, NFPA 13, FM 8-9 y 8-29
 - Temperatura > 4°C:
 - Tubería húmeda
 - Temperatura < 4°C:
 - Tubería seca y válvula de alarma
 - Tubería seca y válvula de acción previa
 - Tubería húmeda con anticongelante
 - Tubería húmeda por fuera de la cámara con rociadores colgantes secos
- Extinción por gases:
 - Inundación total (gases inertes o químicos)
 - Reducción permanente de oxígeno (nitrógeno). Al no estar regulado en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RIPCI), se debe legalizar como solución técnica alternativa mediante una evaluación técnica favorable de idoneidad.
 - En estos casos, dada la exigencia de estanquidad durante la extinción y permanencia del gas, no se aplica la norma UNE 23585 sino un sistema de extracción postincendio de 2 a 10 renovaciones/h según el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios RIPCI.
- Inundación de espuma:
 - No se considera adecuado el uso de sistemas de extinción mediante inundación de espuma en cámaras frigoríficas, sobre todo por debajo del punto de congelación, por falta de apoyo normativo y experimental. En caso de que se prevea un sistema de este tipo, se deberá justificar su compatibilidad con el SCTEH y las condiciones de diseño previstas para este mediante un diseño basado en prestaciones, como alternativa al método prescriptivo, según se recoge en el RSCIEI.

Asimismo, en el anexo B de la presente Guía se desarrolla la definición de las características técnicas de dichos sistemas.

8. TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA

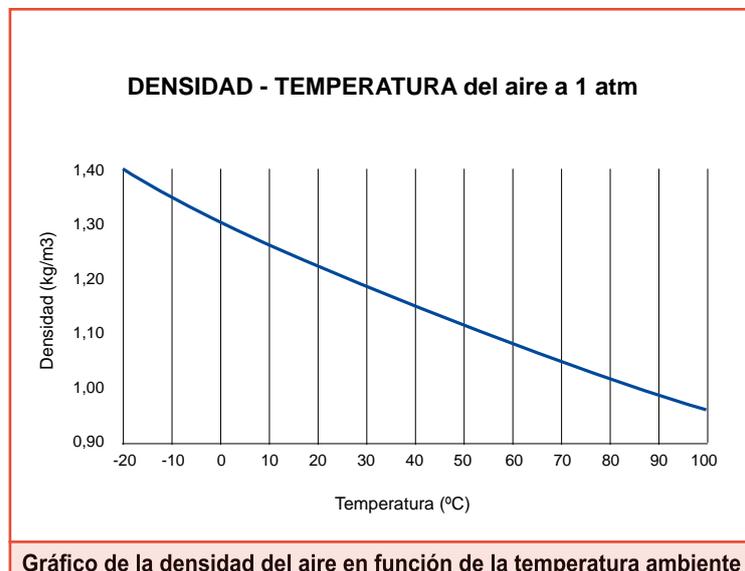
Como se indicaba en la introducción, con relación a la temperatura de operación de la cámara se puede diferenciar entre dos posibles escenarios:

- Temperatura interior igual o inferior a 0°C (congelación)
- Temperatura interior superior a 0°C (refrigeración)

Como ya se ha apuntado previamente, la temperatura de operación de la cámara puede tener una influencia en la selección de los materiales de construcción de la envolvente de la cámara a fin de limitar las pérdidas de energía a través de dichos cerramientos (con paneles con bajo coeficiente de transmisión térmica), lo cual, a su vez, puede tener una influencia en la capacidad de sectorización de dichos cerramientos entre cámaras y podría llegar a determinar la tipología de la cámara según los tipos descritos en el apartado 4 (si bien siempre es posible combinar paneles de varios tipos para poder obtener las mejores prestaciones posibles, tanto desde el punto de vista de ahorro energético como desde el punto de vista de capacidad de sectorización).

Otro punto que se debe tener en cuenta, con relación a la temperatura de operación de la cámara, es que la baja temperatura en su interior puede tener un efecto sobre la flotabilidad de los humos en caso de incendio. El aire exterior que se introduce en la cámara para compensar el humo evacuado de la misma se enfriará debido a la inercia térmica existente en la cámara.

Dicha baja temperatura en el interior de la cámara, y, en consecuencia, del aire que se incorporará al penacho de humo en el proceso de ascensión de este hacia el techo de la cámara, conlleva un incremento de la densidad de dicho aire.



Ambas, la temperatura y la densidad del aire deben tenerse en cuenta al utilizar las fórmulas para la determinación de la superficie aerodinámica de evacuación (en caso de ventilación natural) o del caudal de extracción (en el caso de ventilación mecánica).

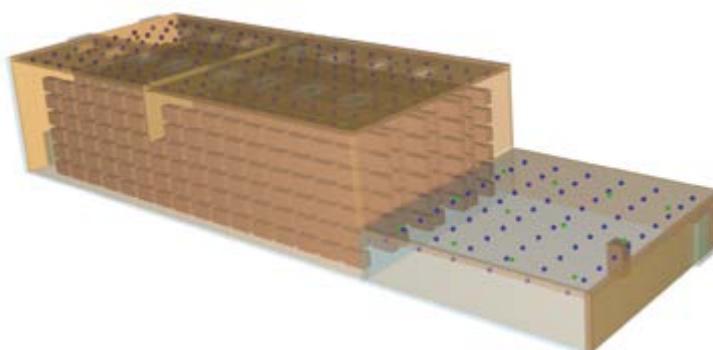
$A_{\text{vtot}} \cdot C_v = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left[2 \cdot \rho_{\text{amb}}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \Theta_1 \cdot T_{\text{amb}} - \frac{M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{\text{amb}}}{[A_1 \cdot C_1]^2} \right]^{0.5}}$	$V_1 = \frac{M_1 \cdot T_1}{\rho_{\text{amb}} \cdot T_{\text{amb}}}$
Superficie aerodinámica de ventilación natural	Caudal de extracción mecánica

En el caso de los sistemas de ventilación natural, que basan su funcionamiento en la fuerza ascensional de los humos debido a su elevada temperatura (y, por tanto, baja densidad) respecto al aire ambiente, este factor puede llegar a ser crítico e imposibilitar el correcto funcionamiento del sistema.

En este sentido, la norma de diseño UNE 23585 indica que la temperatura de la capa de humos debe estar al menos 20°C por encima de la temperatura del aire ambiente. Si bien generalmente los SCTEH se dimensionan considerando una temperatura ambiente interior igual a la exterior para la determinación de la temperatura de los humos, hay que tener en cuenta, en el caso que nos ocupa de cámaras frigoríficas, que el aire que penetra en el penacho estará mucho más frío que el aire exterior, por lo que a efectos de cálculo se debería contemplar la temperatura de aire ambiente como la de operación de la cámara, si bien los humos deberían alcanzar una temperatura 20°C por encima de la temperatura del aire exterior a fin de que no se produzca su estratificación al intentar evacuar un aire frío contra un aire más caliente en el exterior.

A esto hay que añadir que, como se ha visto anteriormente, como regla general, en aquellos establecimientos en que se instale un SCTEH diseñado conforme a la norma UNE 23585 será preciso disponer, asimismo, de un sistema de extinción automática mediante rociadores para controlar la temperatura de los humos, cuyo efecto de enfriamiento también debería evaluarse.

A tal efecto y a fin de verificar este fenómeno, para la redacción de esta Guía se ha procedido a desarrollar un completo estudio mediante la realización de una serie de simulaciones computacionales CFD para distintos escenarios a fin de comprobar el funcionamiento del SCTEH en cámaras frigoríficas provistas de rociadores.



Los resultados de dicho estudio se presentan en el anexo C que acompaña esta Guía, presentándose a continuación las conclusiones de este:

8.1 Conclusiones del estudio Simulación de incendio con FDS en cámaras frigoríficas

El tiempo para alcanzar una visibilidad suficiente para la intervención de bomberos se incrementa por la dificultad de limpiar los humos fríos que se acumulan a nivel del suelo.

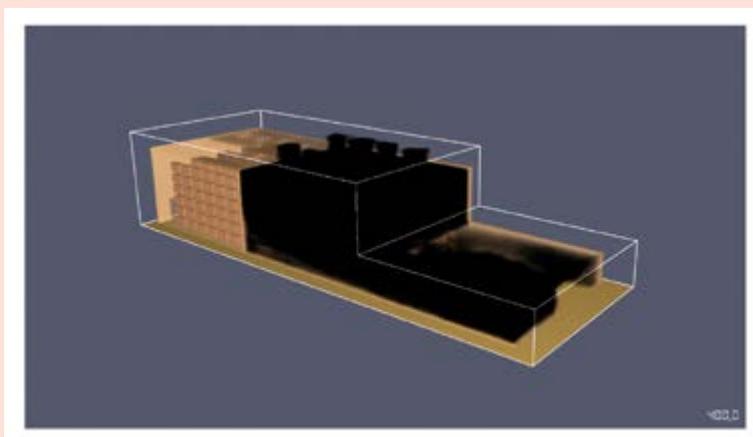
El tiempo para alcanzar una visibilidad suficiente para la intervención de bomberos se reduce cuando se utiliza extracción forzada en contraposición a la natural.

El fuego, con su aportación calorífica, calienta inevitablemente los humos más allá de la temperatura exterior, y mientras no se apaga con los rociadores los calienta lo suficiente como para facilitar su salida por los exutorios, pero menos que con el diferencial térmico mínimo de 20°C requerido por la norma UNE 23585 respecto a la temperatura exterior.

La baja temperatura de la cámara tiene un efecto notorio en la cantidad de rociadores que se activan. Si, en condiciones normales, la potencia calorífica que activa todos los rociadores del área de diseño equivale aproximadamente al doble de la que se necesita para activar un solo rociador, en las condiciones de frío intenso se necesita al menos triplicar la potencia calorífica para conseguirlo.

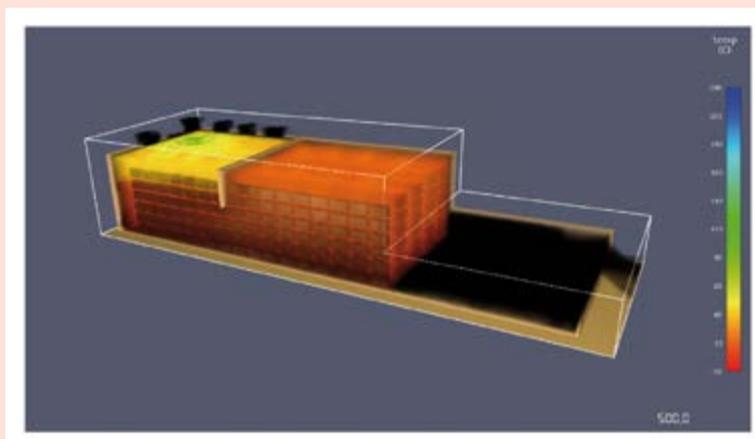
La potencia calorífica de diseño de la norma UNE 23585 en los casos con rociadores automáticos está sobredimensionada, por lo que la generación de humos real es previsiblemente inferior a la de la norma.

Se produce acumulación de humos fríos en la parte inferior del recinto.



Se produce salida de humos fríos por las puertas. En lugar de actuar únicamente como entradas de aire limpio, salen humos por la parte inferior de las puertas y entra aire por la parte superior que se dirige hacia los exitorios. Eso hace más difícil la limpieza del humo a nivel del suelo.

Realizar el diseño según los criterios de cálculo de la norma UNE 23585 no aporta suficiente ventilación para el caso con protección con rociadores y extracción natural, por lo que hay que dar suficiente tiempo para la limpieza de los humos con valores que podrían asemejarse a extracción del humo tras el incendio o desenfumaje, según el RIPCI (2 a 10 renovaciones/h).



La temperatura de los humos es netamente inferior a la teórica que establece la norma UNE 23585, basada en la temperatura de activación de los rociadores, por lo que la validez de las ecuaciones de la norma en las que interviene como parámetro dicha temperatura puede quedar comprometida; en particular, el dimensionado de la superficie aerodinámica de evacuación de humos que se basa en la fuerza ascensional (y, por tanto, en la temperatura) de los humos. La determinación del caudal de extracción mecánica no se vería comprometida al ser necesario un mayor caudal de extracción para una temperatura elevada que para una temperatura baja.

Es por ello por lo que el caudal másico de salida de humos visto en las simulaciones resulta muy inferior al calculado según la norma UNE 23585 para los casos de ventilación natural. Los valores en las simulaciones son del 50% o inferiores a los de la norma. Mientras que para los casos de ventilación forzada se introdujo en el modelo el caudal volumétrico calculado según norma, y los valores de flujo másico de humos son muy parecidos entre la norma y las simulaciones.

A tal efecto, para la determinación de la superficie aerodinámica para ventilación natural o el caudal de extracción mecánica según la norma UNE 23585 se considerará el valor de la temperatura y densidad del aire correspondiente al ambiente exterior.

Como conclusión del efecto de la temperatura de la cámara frigorífica en el SCTEH, a efectos de la presente Guía se recomienda para el diseño del SCTEH conforme a la norma UNE 23585, cuando exista un sistema de extinción automática con rociadores, la utilización de sistemas de ventilación mecánicos en el caso de cámaras de congelación (temperatura inferior a 0°C)

Nota: Se espera que, dado que la operación del SCTEH cuando hay rociadores se realizará en un tiempo de retraso desde la activación de los mismos, no se pueda mantener en algunos momentos la altura libre de humos proyectada, pero el objetivo, una vez activado el SCTEH es el de poder recuperar progresivamente la altura libre de humos hasta llegar al valor proyectado que permita el acceso a bomberos.

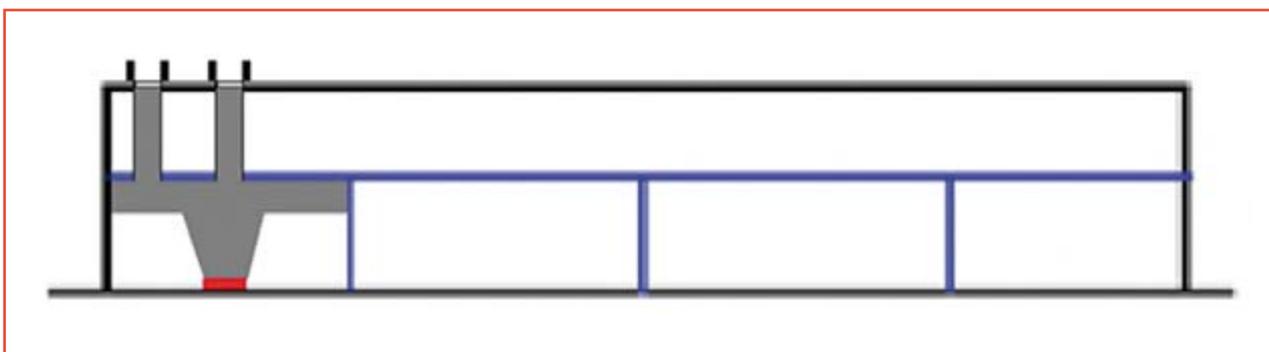
Alternativamente, el diseñador podrá optar por la utilización de métodos alternativos de diseño basado en prestaciones en el marco reglamentario recogido por el RSCIEI. A tal efecto, se recomienda asimismo la utilización para dicho método de diseño prestacional de la *Guía de diseño prestacional para sistemas de protección contra incendios en naves industriales y logísticas*.

9. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DEL SCTEH EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS

Como ya se indicaba en el apartado 4 («Tipologías constructivas de cámaras frigoríficas»), la configuración más habitual es la de disponer de una o varias cámaras frigoríficas en el interior de una envolvente tradicional de nave industrial, previendo la existencia de un plenum, típicamente dispuesto para la ubicación de las instalaciones, entre el espacio del techo de la cámara o cámaras y el techo de la nave.

9.1. Cámaras frigoríficas provistas de sistema de extinción automática

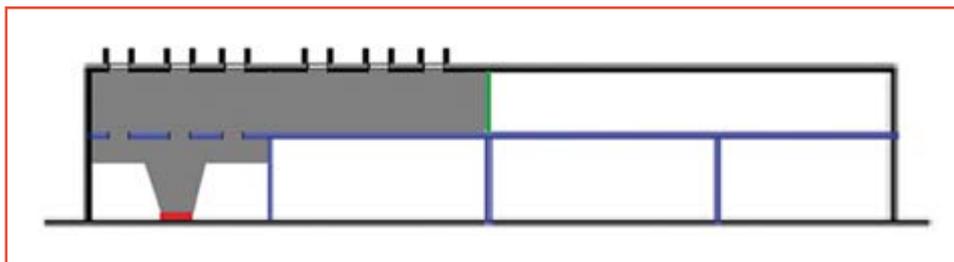
Cualquiera de las configuraciones descritas en dicho apartado 4 («Tipologías constructivas de cámaras frigoríficas») que cuente con una instalación de extinción mediante rociadores basa su funcionamiento en que se mantendrán los cerramientos de la cámara (independientemente de que esta tenga o no capacidad de sectorización), por lo que son posibles dos soluciones técnicas para la evacuación del humo hacia el exterior a fin de conseguir el control de humos en el interior de la cámara.



a) Mediante salida conducida desde el techo de la cámara hasta la cubierta del edificio.

En este caso, el dimensionado del SCTEH se hace considerando el espacio de la cámara frigorífica mediante el método convencional reflejado en la norma UNE 23585..

b) Mediante aberturas en el techo de la cámara y evacuación por cubierta desde plenum de falso techo. En este caso, el dimensionado del SCTEH se hace siguiendo el cálculo según cámara plenum descrito en la norma UNE 23585:2017 (anexo H), no pudiendo superar las dimensiones de la cámara plenum las máximas permitidas para un depósito de humos.



Estas soluciones serían, por tanto, de aplicación para las siguientes configuraciones constructivas:

<p>TIPO A.E: Cámara aislada en sector único. Con extinción automática.</p>	<p>TIPO B.E: Multicámara en sector único. Con extinción automática.</p>
<p>TIPO C.1.E: Multicámara en multisección de incendio. Con sectorización en techo. Con extinción automática.</p>	<p>TIPO C.2.E: Multicámara en multisección de incendio. Con sectorización en techo. Con extinción automática.</p>
<p>TIPO D.1.E: Cámara en sector de incendio. Con sectorización en techo. Con extinción automática.</p>	<p>TIPO D.2.E: Cámara en sector de incendio. Sectorización hasta cubierta. Con extinción automática.</p>

Los criterios de diseño del SCTEH conforme a la norma UNE 23585:2017 serán los siguientes:

- Objetivo: Acceso de bomberos.
- Tamaño de incendio:
 - Producción o apilamiento: Categoría 2 ($A_f = 20,25 \text{ m}^2$; $P_f = 18 \text{ m}$)
 - Almacenamiento en altura: Tabla 1.4.
- Altura libre de humos: La que resulte mayor entre:
 - 2,5 m
 - 0,5 m por encima de la altura máxima de almacenaje o 2/3 de altura máxima de almacenaje, si se cumplen las condiciones de la instrucción técnica SP 129:2018.
- Tasa de calor liberada ($q_{high} = 250 \text{ kW/m}^2$ i $q_{low} = 625 \text{ kW/m}^2$, corregida por altura en caso de apilamiento entre 2 y 5 m de altura).
- Activación: 10 minutos después de la activación del interruptor de flujo de rociador, o manual si los rociadores son de tipo ESFR.
- Temperatura ambiente de diseño (T_0) = Temperatura exterior a la cámara¹.
- Temperatura máxima de los humos (T_c) = 200°C.

¹Nota: El motivo para considerar como temperatura de diseño exterior de la cámara viene dado por el hecho de que la fórmula para calcular la superficie aerodinámica se basa en el efecto de la flotabilidad de la capa de humos, siendo el diferencial de temperatura de los humos respecto al exterior menor que respecto a la temperatura interior de la cámara fría, de tal manera que se produce una especie de "tapón" que impide la salida del humo. Las relaciones básicas que se utilizan para deducir la fórmula E.6 de la norma UNE 23.585-2.017 son (1) Bernoulli donde el primer término representa la energía cinética y el segundo la potencial, (2) Flujo másico

$$(1) \quad \frac{1}{2} \rho u^2 = \Delta \rho g d \quad \text{y} \quad (2) \quad M = \rho u A$$

ρ = densidad de los humos a la salida.

u = velocidad de los humos a la salida.

$\Delta \rho$ = diferencial de densidad que produce el efecto de flotabilidad ($\rho_0 - \rho$)

d = espesor de la capa de humos.

M = Flujo másico.

A = Área de la abertura

Para las salidas de humo, el flujo másico se debe evaluar a la temperatura de los humos, y para las entradas de aire a la temperatura ambiente exterior. De hecho, por la misma razón también se debería modificar d (espesor de la capa de humos) para que fuera referida, no respecto la temperatura interior de la cámara, sino respecto a la temperatura exterior, pero al tratarse de modelo de zonas y donde se supone un gradiente térmico muy elevado entre la zona de humos y la zona libre de humos, el error es menor.

Estos criterios de diseño serían también los que se aplicarían en caso de que el propio edificio o nave industrial configure geoméricamente la propia cámara frigorífica, si bien en este caso la instalación se resolvería mediante los tipos de instalaciones tradicionales, normalmente mediante la instalación de equipos de evacuación en cubierta o fachadas, la instalación de barreras de humos en caso necesario y la instalación de equipos de aportación de aire de reemplazamiento, ya sea en cotas bajas en caso de disponerse de un único depósito de humos, o a través de los equipos previstos para depósitos adyacentes.



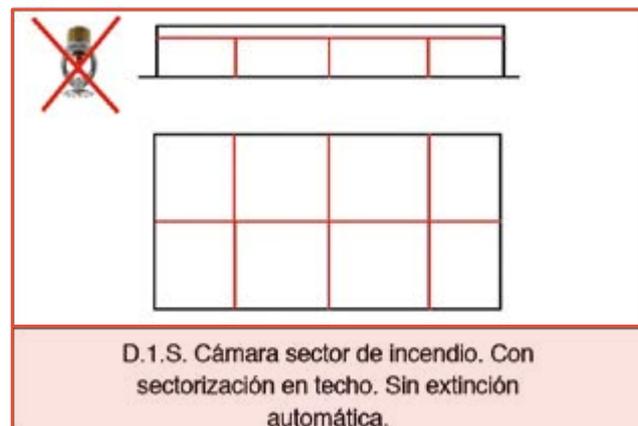
En cualquiera de los casos descritos, al estar presente una instalación de extinción automática mediante rociadores, siguiendo lo indicado en el apartado 8 («Temperatura de operación de la cámara frigorífica»), el SCTEH se deberá prever mediante ventilación mecánica a fin de asegurar la evacuación de los humos que de otra forma podría quedar comprometida, cuando la temperatura de la cámara es inferior a 0°C.

9.2. Cámaras frigoríficas no provistas de sistema de extinción automática

Tipo D.1.S.

En este caso, los criterios de diseño del SCTEH conforme a la norma UNE 23585:2017 serán los siguientes:

- Objetivo: Acceso de bomberos.
- Tamaño de incendio:
- Producción o apilamiento: Categoría 3 (Af = 42,25 m²; Pf = 26 m) si hay detección y no se supera la altura crítica de almacenaje sin rociadores (2,4 m), o Categoría 4 (Af = 81 m² d'área; Pf = 36 m) si no la hay.
- Almacenamiento en altura: (Af = 81 m² de área; Pf = 36 m)

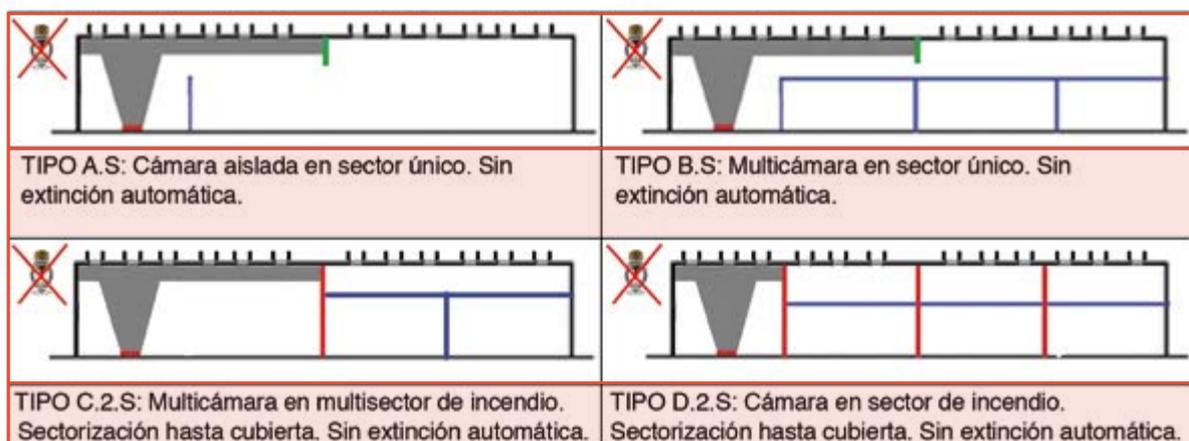


- Altura libre de humos: La que resulte mayor entre:
 - 2,5 m
 - 0,5 m por encima de la altura máxima de almacenaje.
 - La necesaria para asegurar una temperatura máxima de los humos de 200°C.
- Tasa de calor liberada ($q_{high} = 250 \text{ kW/m}^2$ i $q_{low} = 1.250 \text{ kW/m}^2$, corregida por altura en caso de apilamiento entre 2 y 2,4 m de altura en caso de que haya detección).
- Activación: Con la detección, si existe, o manual.
- Temperatura ambiente de diseño (T_0) = Temperatura exterior a la cámara.
- Temperatura máxima de los humos (T_c) = 200°C.

Cualquier otra configuración descrita en el apartado 4 («Tipologías constructivas de cámaras frigoríficas») que no cuente con sistema de extinción automática lleva implícito el colapso de los cerramientos de la cámara (vertical u horizontal) ante la existencia de un incendio completamente desarrollado, con el consiguiente riesgo para la intervención de los servicios de extinción, por lo que queda fuera del objeto de esta Guía.

Tipos A.S – B.S – C.2.S – D.2.S

Este tipo de soluciones han venido utilizándose habitualmente hasta la fecha a falta de criterios específicos para el diseño de los SCTEH en cámaras frigoríficas, y se basan en el colapso normalmente del techo de la cámara y la evacuación del humo mediante los métodos habituales de evacuación de humos en naves industriales, con la instalación de equipos de evacuación en cubierta o fachadas, la instalación de barreras de humos en caso necesario y la instalación de equipos de aportación de aire de reemplazamiento, ya sea en cotas bajas en caso de disponerse de un único depósito de humos, o a través de los equipos previstos para depósitos adyacentes.



En caso de que el diseñador optara por asumir este criterio, y en conformidad con la autoridad competente en materia de prevención de incendios los criterios de diseño para el dimensionado del SCTEH deberían ser los siguientes:

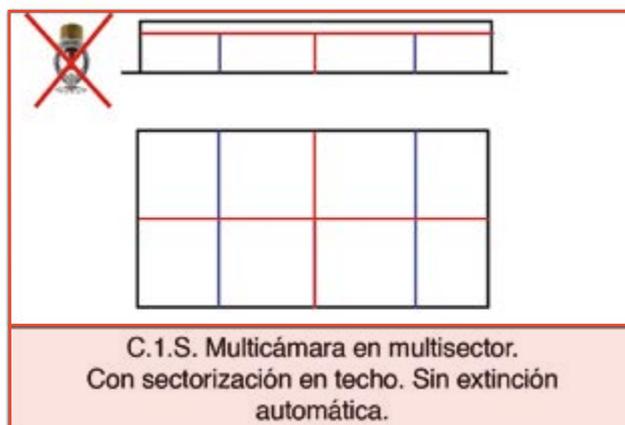
- Objetivo: Acceso de bomberos.
- Tamaño de incendio: $A_f = 81 \text{ m}^2$ de área; $P_f = 36 \text{ m}$
- Tasa de calor liberada ($q_{low} = 250 \text{ kW/m}^2$ i $q_{high} = 1,250 \text{ kW/m}^2$)

²Según lo explicado en el apartado anterior

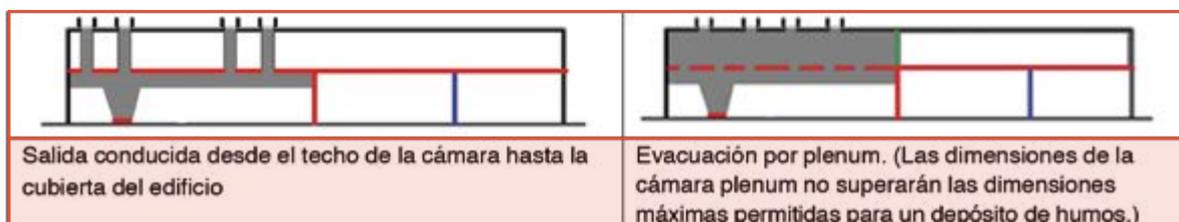
- Altura libre de humos: La que resulte mayor entre:
 - 2,5 m
 - 0,5 m por encima de la altura máxima de almacenaje.
- La necesaria para asegurar una temperatura máxima de los humos de 200°C.
- Activación: Automática, si hay detección, o manual.
- Temperatura diseño (T0) = Temperatura ambiente del sector d'incendi.
- Temperatura màxima dels fums (Tc) = 200°C.

Se debe tener en cuenta que estos criterios de diseño serían para el dimensionado del sistema una vez se ha producido el colapso del techo de la cámara frigorífica a fin de que los servicios de extinción pudieran acceder al interior de la cámara tras haberse producido dicho colapso, por lo que un diseño con estas consideraciones debería estar siempre sujeto a la aprobación por parte del Servicio de Prevención de Bombers de la Generalitat.

Los mismos criterios de dimensionado podrían aplicarse para la configuración de varias cámaras frigoríficas y varios sectores de incendios, con sectorización en techo y sin extinción automática, siempre y cuando la cámara frigorífica cuente con suficiente altura para asegurar que la temperatura de los humos queda controlada por debajo de los 200°C (mínimo 18,17 m en caso de almacenamiento en altura).

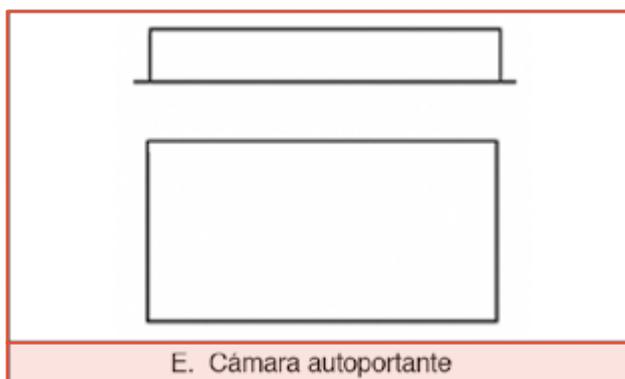


En este caso particular, la existencia del techo con capacidad de sectorización (que se asume que no colapsará y que sólo colapsará el cerramiento vertical entre las cámaras), conlleva la necesidad de optar por una instalación de evacuación de humos mediante salida conducida o mediante plenum.



9.3. Cámaras frigoríficas sin cámara plenum sobre la cámara frigorífica

Aunque no es habitual, es posible que se construya una cámara frigorífica para refrigeración en que la propia nave constituya la cámara frigorífica. De manera que, en este caso, no existe un plenum entre cámara y nave, y el techo de la cámara es la propia cubierta de la nave.

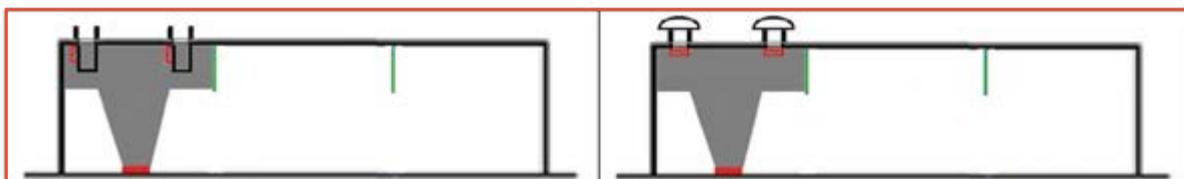


Este tipo de soluciones se resolverían mediante un diseño de SCTEH como los utilizados ampliamente en naves industriales mediante la instalación de equipos de evacuación de humos en la parte alta de la nave (normalmente en la cubierta) y equipos de aire de reemplazo en la parte baja de la nave o mediante uso de depósitos adyacentes.

En este caso, los criterios de diseño del SCTEH conforme la norma UNE 23585:2017 serán los indicados en los apartados 9.1 o 9.2 en función de si la nave cuenta o no con sistema de extinción.

En estos casos, hay que prestar especial atención a la instalación de equipos o soluciones técnicas para la evacuación de humos y la entrada de aire de reemplazo con valores de transmitancia térmica lo más bajos posibles con la finalidad de limitar las pérdidas de energía del edificio.

Esto se puede conseguir mediante la instalación de equipos provistos de materiales aislantes en sus superficies en contacto con el exterior o (en caso que estos no aporten un coeficiente de transmisión térmica suficientemente bajo para satisfacer las necesidades de los proyectos) mediante la instalación de equipos que combinen exutorios o extractores con compuertas con prestaciones de aislamiento frigorífico como las previstas en esta Guía para la instalación en el techo de la cámara frigorífica, será con un acoplamiento directo (si es posible) o con la creación de un plenum construido en el panel frigorífico, por debajo o por encima de la cubierta de la nave.



9.4. Aire de reemplazo del SCTEH

Hay que recordar que para el funcionamiento del SCTEH es imprescindible la existencia de aire de reemplazo tal y como se prevé en las normas UNE 23585 y UNE 23584.

Adicionalmente a lo previsto en estas normas, en caso de prever equipos de aporte de aire de apertura automática, se recomienda que estos equipos hayan sido ensayados para garantizar las mismas prestaciones de confiabilidad exigidas a los equipos de evacuación de humos. En este sentido, un aireador con marcaje CE conforme a la norma UNE EN 12101-2 asegura esta prestación.

Por el mismo motivo de garantizar el funcionamiento del sistema, se considera necesario prever las alimentaciones de energía a los equipos de aporte de aire de reemplazo (fuente de alimentación y cableados eléctricos o tubos neumáticos) para garantizar su funcionamiento durante el incendio de forma idéntica a como se prevé para los equipos de evacuación de humos.

Finalmente hay que tener en cuenta que, debido a las necesidades de compartimentación para la operativa de las cámaras frigoríficas y de aislamiento térmico de estas, los equipos previstos para la aportación de aire de reemplazo, así como las soluciones constructivas que hay que prever para su instalación, pueden tener requerimientos especiales, tanto por lo que refiere a sus materiales constructivos como a su ubicación.

10. OTROS DISEÑOS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO

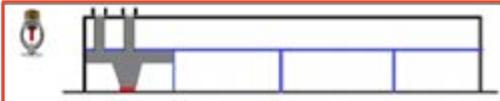
En caso de que la aplicación del RSCIEI determine que no es necesario instalar un SCTEH diseñado conforme a la norma UNE 23585 y se pueda prever un sistema de ventilación en caso de incendio conforme a los criterios de ventilación allí indicados, no se puede garantizar ningún objetivo del sistema más allá de facilitar la extracción de los humos generados en el incendio, una vez este se ha extinguido, sin control alguno de la temperatura de los humos en el edificio y sin la posibilidad de proveer zonas libres de humos para la evacuación de los ocupantes y/o el acceso de los servicios de extinción.

En este sentido, y teniendo en cuenta que en cualquier caso la presente Guía considera como uno de los objetivos que se pretende alcanzar el de permitir una más rápida, eficaz y segura intervención de los servicios de extinción, no se presentan criterios particulares para el diseño del sistema de ventilación, ya que la situación que se contempla como más probable es la de fallo parcial o total de los cerramientos de la cámara frigorífica con el consiguiente derrame de los humos al espacio general de la nave.

Para el funcionamiento del SCTEH es imprescindible la existencia de aire de reemplazo tal y como se prevé en las normas UNE 23585 y UNE 23584.

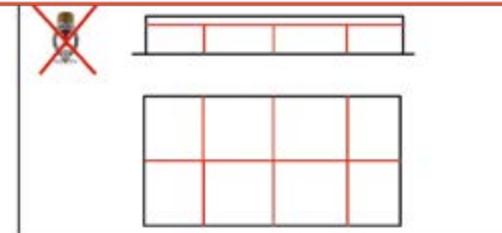
Por todo ello, a efectos de la presente Guía y atendiendo a las singularidades constructivas y operativas de las cámaras frigoríficas, se recomienda, aun no siendo reglamentariamente requerido, la utilización de un SCTEH diseñado según la norma UNE 23585.

A pesar de no exigirse la instalación de un SCTEH conforme a UNE 23585, en el hipotético caso de que fuera requerido un sistema de extinción automática, se entiende que se mantendrían estables los cerramientos entre las cámaras frigoríficas independientemente de que estos tengan o no capacidad de sectorización, por lo que el sistema de ventilación debería resolverse mediante alguna de las dos opciones de extracción de humos desde el interior de la cámara frigorífica descritas anteriormente:

	
<p>Salida conducida desde el techo de la cámara hasta la cubierta del edificio.</p>	<p>Aberturas en techo de cámara y evacuación por cubierta desde plenum de falso techo.</p>
	<p>Las superficies de ventilación natural en techo de la cámara y en cubierta deben ser tales que permitan garantizar que la superficie equivalente resultante de la existencia de estas dos áreas en serie es al menos la requerida por el RSCIEI, en función de la actividad y ubicación del sector de incendio.</p>

También en este caso, al disponerse de un sistema de extinción automática y a fin de garantizar la correcta evacuación de los humos, cuando la temperatura de la cámara sea inferior a 0°C, se deberá recurrir a un sistema de ventilación mecánica, atendiendo a la previsible baja temperatura de los humos debido al enfriamiento provocado por los materiales almacenados en el interior de la cámara, unido al control de temperatura que se deriva de la acción del sistema de extinción.

Las mismas soluciones técnicas de salida conducida o evacuación por plenum se aplicarían en el caso de no disponer de sistema de extinción automática, pero que cuenten con techo con capacidad de sectorización.

	
<p>C.1.S. Multicámara en multisector. Techo sectorizador. Sin extinción automática.</p>	<p>D.1.S. Cámara en sector de incendio. Techo sectorizador. Sin extinción automática.</p>
<p>Salida conducida desde el techo de la cámara hasta la cubierta del edificio.</p>	<p>Aberturas en techo de cámara y evacuación por cubierta desde plenum de falso techo.</p> <p>Las superficies de ventilación natural en techo de la cámara y en cubierta deben ser tales que permitan garantizar que la superficie equivalente resultante de la existencia de estas dos áreas en serie es al menos la requerida por el RSCIEI, en función de la actividad y ubicación del sector de incendio.</p>

11. CÁLCULO DE CÁMARA PLENUM SEGÚN UNE 23585

11.1. Generalidades

La norma UNE 23585:2017 define una cámara plenum como un espacio tridimensional dentro de un depósito de humos (o ella misma contiene un depósito de humos) que está limitada por un techo con orificios estancos (por ejemplo, tejados, pórticos, galerías), elementos constructivos estancos al humo (por ejemplo, paredes, paramentos constructivos) y/o barreras/cortinas para humos, y falsos techos que tengan libre (perforada) menos del 25% de su superficie geométrica capaz de ser penetrada por los humos, de modo que los humos en el interior de este espacio se trasladan directamente al exterior y los humos en la parte inferior del techo suspendido son arrastrados al interior de este espacio a través de los orificios del falso techo, desde donde se transportan posteriormente por ventilación.

11.2. Plenum de aireación natural

Para los fines del proyecto, la cámara plenum por aireación natural puede asimilarse como equivalente a un aireador natural o exutorio con las siguientes características.

Su límite, frontera o demarcación superior del depósito son los paramentos que constituyen el falso techo suspendido de la cámara plenum. Sin embargo, la profundidad de la capa del depósito de humos d , para el diseño tiene que medirse por debajo del techo suspendido hasta la base inferior de la capa de los humos. (Por ejemplo, para determinar el espesor mínimo de humos para evitar el efecto vórtice).

Hay que hacer notar, sin embargo, que, para el cálculo del funcionamiento de los aireadores de extracción natural (exutorios), la profundidad de la capa debe especificarse como si estuviese debajo del centro de los aireadores de extracción al exterior de los humos del plenum.

La superficie libre efectiva del conjunto $C_{\text{equivalente}} \cdot A_v$ total puede obtenerse por:

$$\frac{1}{(C_v \cdot A_v)^2} + \frac{1}{(\sum (C_{ci} \cdot A_{ci}))^2} = \frac{1}{(C_{\text{equivalente}} \cdot A_v \text{ total})^2}$$

Cuando no se conozca el valor de C_{ci} se tomará un valor de 0,4.

Esta superficie libre aerodinámica $C_{\text{equivalente}} \cdot A_v$ total de aireación de la cámara plenum puede utilizarse en las ecuaciones (E.6) o (E.7) cuando se calcula el funcionamiento de la aireación natural de los SCTEH usando el anexo E de la norma UNE 23585.

Cálculo de superficie equivalente para dos aberturas en serie:

El área de fuga efectiva de vías en serie se determina mediante la siguiente expresión.

$$A_e = \left(\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \dots + \frac{1}{A_N^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

Que en el caso de dos aberturas en serie (como en el caso que nos ocupa, en el que tenemos en serie las aberturas en el techo de la cámara frigorífica y las aberturas en la cubierta de la nave envolvente) se transforma en la siguiente:

$$A_e = \frac{A_1 \times A_2}{\left(A_1^2 + A_2^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

A modo orientativo, a continuación, se presentan los valores de superficie equivalente resultante de dos aberturas en serie para distintos valores, así como la relación entre la superficie equivalente resultante y cada una de ellas.

A1	A2	Ae	Ae/A1	Ae/A2
1	1	0,707	0,707	0,707
1	2	0,894	0,894	0,447
1	3	0,949	0,949	0,316
1	4	0,970	0,970	0,243
1	5	0,981	0,981	0,196
1	6	0,986	0,986	0,164
1	7	0,990	0,990	0,141
1	8	0,992	0,992	0,124
1	9	0,994	0,994	0,110
1	10	0,995	0,995	0,100

Superficie equivalente para diversas combinaciones de aberturas en serie.

Se observa que la superficie equivalente de dos aberturas en serie presenta siempre un valor inferior al menor de los valores de las dos aberturas, y que a mayor diferencia entre los valores, más cercano se encuentra el valor de superficie equivalente al valor de la abertura más pequeña.

Pérdida de presión en las aberturas:

Se entiende que la pérdida de presión en las aberturas para un sistema de ventilación natural ya está integrada en la fórmula (e.6) de la norma para determinación de la superficie aerodinámica necesaria, y que la consideración que hace la norma de que la temperatura de los humos esté 20°C por encima de la temperatura del aire ambiente (exterior, en este caso), para evitar la estratificación, tiene en cuenta la necesidad de que los humos puedan evacuarse hacia el exterior venciendo esa pérdida de presión que se producirá en las aberturas.

11.3. Plenum de ventilación forzada

Como para el caso de plenum de aireación natural, se toma el techo suspendido o falso techo como parte superior de la capa en el depósito de humos flotante.

La ventilación forzada que extrae de la cámara plenum da lugar a una presión diferencial, $\Delta P_{\text{ventilador}}$, entre la cámara plenum y la parte superior de la capa de humos de la zona inferior de la misma.

El volumen de proyecto del flujo de humos circulante V_1 que debe ser extraído de la capa de humos debajo de la cámara plenum puede calcularse según el apartado 6.6 de la norma UNE 23585, y tiene que ser igual a la suma de los volúmenes de flujo circulantes V_{ci} a través de los orificios separados del falso techo de la cámara plenum.

El volumen del flujo circulante V_{ci} por $\Delta P_{\text{ventilador}}$ y las pérdidas de presión resultantes ΔP_{ci} debidas a la resistencia al flujo pueden calcularse utilizando los métodos de cálculo de CVAA; por ejemplo, $\Delta P_{\text{ventilador}}$ tiene que ajustarse de modo que las pérdidas ΔP_{ci} en los puntos de extracción sean vencidas y

$$V_1^0 = \sum_i V_{ci}^0$$

Pérdida de presión en las aberturas:

La pérdida de presión que se produce en una abertura en el techo suspendido puede ser facilitada por el fabricante de la abertura o, si no se conoce, determinarse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_{ci} = \left(\frac{V_{ci}}{0,83 \times A_{ci}} \right)^2$$

Al tratarse de aberturas en paralelo en el techo suspendido, la presión estática que debe facilitar el ventilador es equivalente a la pérdida de presión en una abertura.

$$\Delta P_{\text{ventilador}} = \Delta P_{ci}$$

12. REQUISITOS PARA SISTEMAS DE EVACUACIÓN DE HUMOS MEDIANTE CÁMARA PLENUM

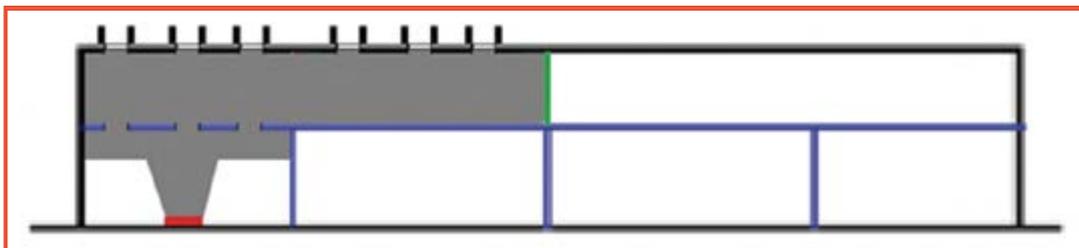
Existen diferentes formas de realizar una evacuación de humos mediante cámara plenum:

- Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y aireadores naturales en cubierta o fachada.
- Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta o fachada.

A efectos de la presente Guía, según se indica en el apartado 8 («Temperatura de operación de la cámara frigorífica»), se recomienda para el diseño del SCTEH conforme a la norma UNE 23585, cuando exista un sistema de extinción automática con rociadores y la temperatura de la cámara sea inferior a 0°C, la utilización de sistemas de ventilación mecánicos

Se asume que la zona de plenum no es espacio con presencia de personal, a lo sumo para operaciones esporádicas y controladas de mantenimiento.

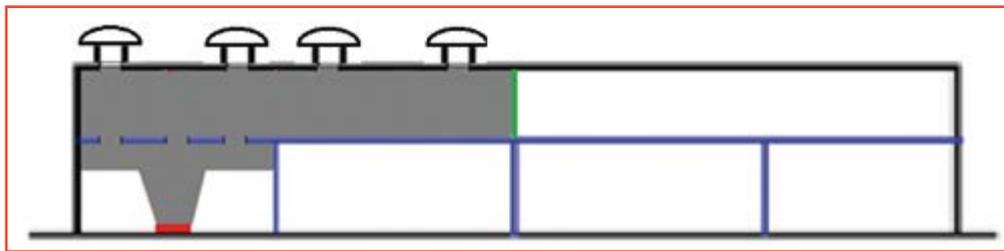
12.1 Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y aireadores naturales en cubierta



Las consideraciones que se deben tener en cuenta para este sistema se detallan a continuación:

- Los aireadores de cubierta deberán ser conforme a UNE EN 12101-2.
- Si las aberturas en techo de cámara son practicables, deberán ser conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.

12.2 Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta o fachada



Las consideraciones que se deben tener en cuenta para este sistema se detallan a continuación:

- Los extractores de humo deben ser conforme a UNE EN 12101-3.
- Si las aberturas en techo de cámara son practicables, deberán ser conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.

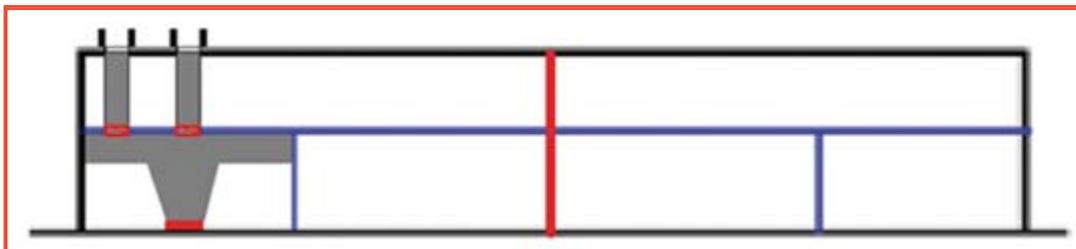
13. REQUISITOS PARA SISTEMAS DE EVACUACIÓN DE HUMOS CON SALIDA CONDUcida DESDE CÁMARA FRIGORÍFICA

Existen diferentes formas de realizar una salida conducida desde la cámara frigorífica:

- Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y aireadores naturales en cubierta.
- Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta (o fachada) individuales para cada abertura.
- Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta (o fachada) comunes para varias aberturas.
- Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables), extractores mecánicos en techo de cámara frigorífica y compuertas motorizadas en cubierta o fachada.
- Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables), extractores mecánicos en techo de cámara frigorífica y salida conducida por cubierta (o fachada).

13.1 Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y aireadores naturales en cubierta

Las consideraciones que se deben tener en cuenta para este sistema se detallan a continuación:

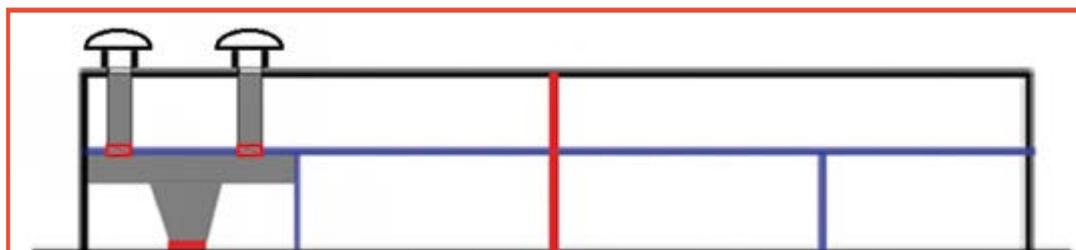


- Los aireadores de cubierta deben ser conforme a UNE EN 12101-2.
- Si las aberturas en techo de cámara son practicables, deberán ser conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.
- La presión de los humos debe ser suficiente para vencer la pérdida de presión por rozamiento en la chimenea.
- Los conductos desde el techo de la cámara hasta los aireadores de cubierta deben ser de sección constante sin estrechamientos y trazado vertical sin cambios de dirección, manteniendo la sección de los aireadores y con clasificación E600.

A efectos de la presente Guía, según se indica en el apartado 8 («Temperatura de operación de la cámara frigorífica»), se recomienda para el diseño del SCTEH conforme a la norma UNE 23585, cuando exista un sistema de extinción automática con rociadores y la temperatura de la cámara sea inferior a 0°C, la utilización de sistemas de ventilación mecánicos.

13.2 Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta (o fachada) individuales para cada abertura

Las consideraciones que se deben tener en cuenta para este sistema se detallan a continuación:

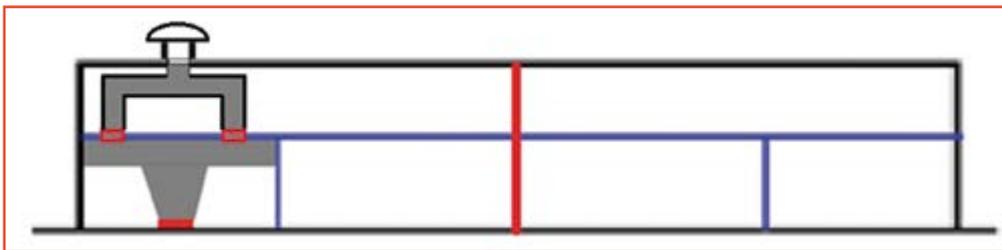


- Los extractores de humo deben ser conforme a UNE EN 12101-3.
- Si las aberturas en techo de cámara son practicables, deberán ensayarse conjuntamente con el ventilador, o bien ser conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.

- La presión estática del ventilador debe ser suficiente para vencer la pérdida de presión en la abertura del techo de la cámara más la pérdida de presión en los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores.
- Los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores de cubierta o fachada deben ser con clasificación E600, pudiendo realizarse cambios de dirección y/o sección al tenerse en cuenta estos en la determinación de la pérdida de presión en los conductos.

13.3 Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables) y extractores mecánicos en cubierta (o fachada) comunes para varias aberturas

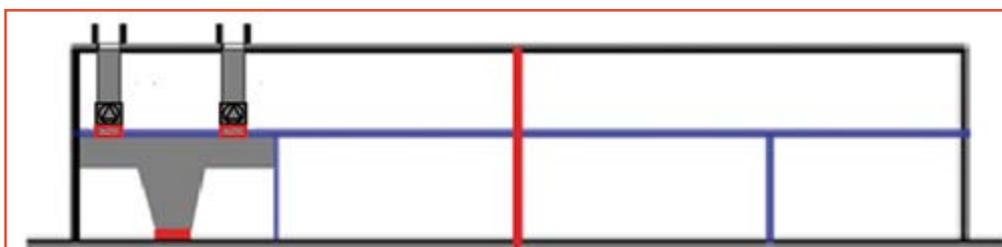
Las consideraciones que se deben tener en cuenta para este sistema se detallan a continuación:



- Los extractores de humo deben ser conforme a UNE EN 12101-3.
- Si las aberturas en techo de cámara son practicables, deberán ensayarse conjuntamente con el ventilador, o bien ser conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.
- La presión estática del ventilador debe ser suficiente para vencer la pérdida de presión en la abertura del techo de la cámara más la pérdida de presión en los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores.
- Los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores de cubierta o fachada deben ser con clasificación E600, pudiendo realizarse cambios de dirección y/o sección al tenerse en cuenta estos en la determinación de la pérdida de presión en los conductos.

13.4 Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables), extractores mecánicos en techo de cámara frigorífica y compuertas motorizadas o aireadores en cubierta (o fachada)

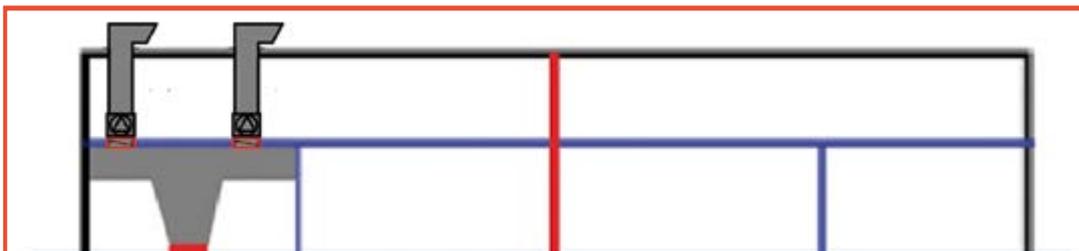
Las consideraciones que se deben tener en cuenta para este sistema se detallan a continuación:



- Los extractores de humo deben ser conforme a UNE EN 12101-3.
- Si las aberturas en techo de cámara son practicables, deberán ensayarse juntamente con el ventilador, o bien ser conforme a UNE EN-12101-8.
- Las compuertas motorizadas (o aireadores) de cubierta o fachada deben ensayarse conjuntamente con el ventilador.
- La presión estática del ventilador debe ser suficiente para vencer la pérdida de presión en la abertura del techo de la cámara más la pérdida de presión en los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores.
- Los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores de cubierta o fachada deben ser con clasificación E600, pudiendo realizarse cambios de dirección y/o sección al tenerse en cuenta estos en la determinación de la pérdida de presión en los conductos.

13.5 Mediante aberturas en techo de cámara frigorífica (permanentes o practicables), extractores mecánicos en techo de cámara frigorífica, y salida conducida por cubierta (o fachada)

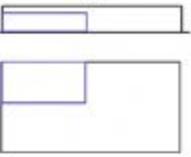
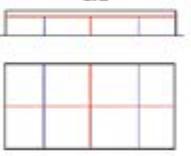
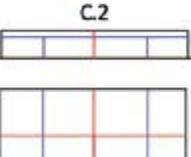
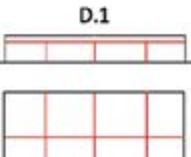
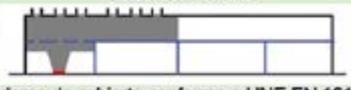
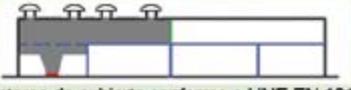
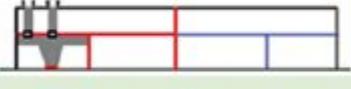
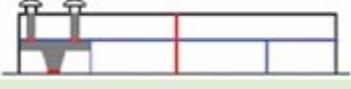
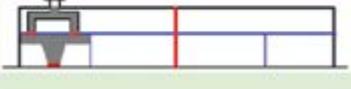
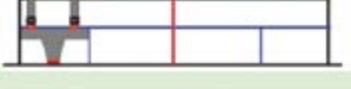
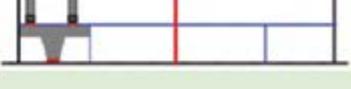
Las consideraciones que se deben tener en cuenta para este sistema se detallan a continuación:

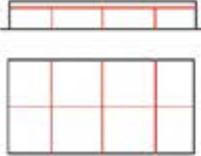
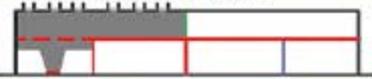
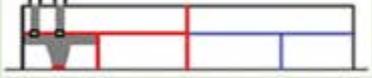
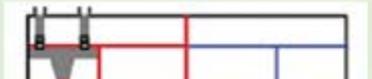


- Los extractores de cubierta deben ser conforme a UNE EN 12101-3.
- Si las aberturas en techo de cámara son practicables, deben ensayarse conjuntamente con el ventilador, o ser conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.
- La presión estática del ventilador debe ser suficiente para vencer la pérdida de presión en la abertura del techo de la cámara más la pérdida de presión en los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores.
- Los conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores de cubierta o fachada deben ser con clasificación E600, pudiendo realizarse cambios de dirección y/o sección al tenerse en cuenta estos en la determinación de la pérdida de presión en los conductos.

14. RESUMEN DE SOLUCIONES DE EVACUACIÓN DE HUMOS

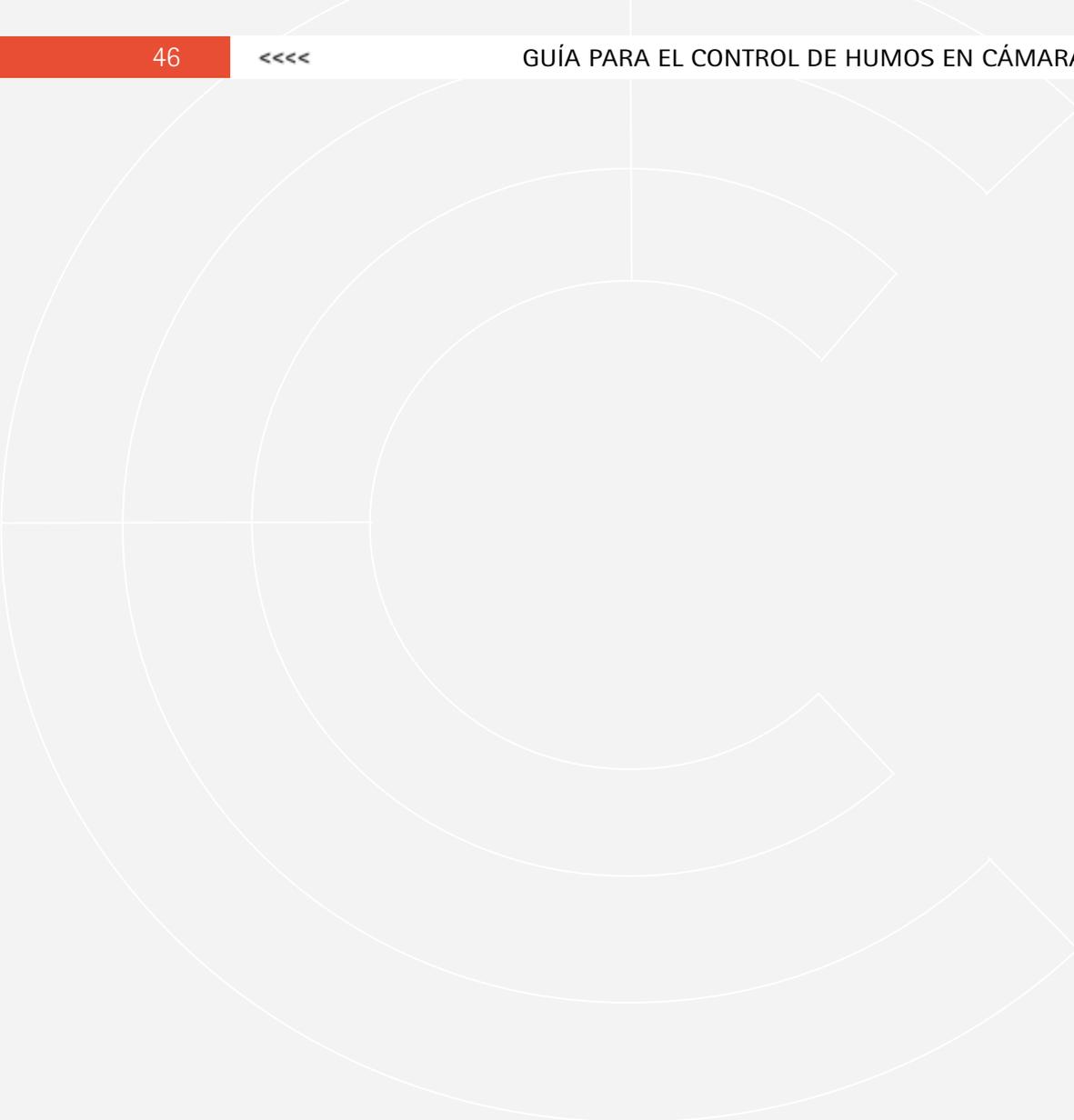
Las siguientes tablas resumen los incendios de diseño conforme a la norma UNE 23585, así como el tipo de sistema de evacuación de humos que hay que prever en función de la tipología constructiva de las cámaras frigoríficas y de la existencia o no de un sistema de extinción automática para estas.

 Si dispone de extinción automática		
TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA	INCENDIO DE DISEÑO SEGÚN UNE 23585	TIPO DE SISTEMA RECOMENDADO
<p>A</p>  <p>B</p>  <p>C.1</p>  <p>C.2</p>  <p>D.1</p>  <p>D.2</p> 	<p>Categoría 2</p> <p>Tamaño de incendio:</p> <p>Área: $A_f = 4,5 \times 4,5 = 20,25 \text{ m}^2$</p> <p>Perímetro: $P_f = 18 \text{ m}$</p> <p>Flujo de calor liberado:</p> <p>Conjuntos de combustibles hasta 2 m de altura. q_f (bajo) = 250 q_f (alto) = 625</p> <p>Conjuntos de combustibles entre 2 m y 5 m de altura (h_f) q_f (bajo) = $250 \cdot (h_f - 1)$ q_f (alto) = $625 \cdot (h_f - 1)$</p> <p>Altura crítica de apilamiento:</p> <p>$h = 5 \text{ m}$</p> <p>Para alturas superiores, almacenamiento en altura con rociadores</p> <p>Tabla 1.4 de UNE 23585:2017</p>	<p>Cámara plenum</p> <p>Aberturas en techo de cámara, si son practicables, conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.</p> <p>Ventilación natural</p>  <p>Aireadores de cubierta conforme a UNE EN 12101-2.</p> <p>Extracción mecánica</p>  <p>Extractores de cubierta conforme a UNE EN 12101-3.</p> <p>Salida conducida.</p> <p>Ventilación natural</p>  <p>Aireadores de cubierta conforme a UNE EN 12101-2.</p> <p>Aberturas en techo de cámara, si son practicables, conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.</p> <p>Conductos des del techo de la cámara hasta los aireadores de la cubierta de sesión constante, sin estrechuras y trazado vertical, sin cambios de dirección manteniendo la sección de los aireadores y con clasificación 600.</p> <p>Extracción mecánica</p>     <p>Extractores de humo conforme a UNE EN 12101-3.</p> <p>Aberturas en techo de cámara, si son practicables, ensayadas juntamente con el ventilador o bien conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.</p> <p>Conductos des del techo de la cámara hasta los extractores de cubierta o fachada con clasificación E600.</p>

 Si no dispone de extinción automática		
TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA	INCENDIO DE DISEÑO SEGÚN UNE 23585	TIPO DE SISTEMA RECOMENDADO
<p data-bbox="347 412 384 434">D.1</p> 	<p data-bbox="683 389 794 412">Categoría 3</p> <p data-bbox="644 434 831 456">Tamaño de incendio:</p> <p data-bbox="603 483 871 528">Área: $A_f = 6,5 \times 6,5 = 42,25 \text{ m}^2$ Perímetro: $P_f = 26 \text{ m}$</p> <p data-bbox="644 551 831 573">Flujo de calor liberado:</p> <p data-bbox="533 600 943 674">Conjuntos de combustibles hasta 2 m de altura. q_f (bajo) = 250 q_f (alto) = 1.250</p> <p data-bbox="596 696 879 741">Conjuntos de combustibles entre 2 m y 2,4 m de altura (hf)</p> <p data-bbox="635 775 839 819">q_f (bajo) = $250 \cdot (hf \geq 1)$ q_f (alto) = $1.250 \cdot (hf \geq 1)$</p> <p data-bbox="612 846 861 869">Altura crítica de apilamiento:</p> <p data-bbox="699 891 775 913">$h = 2,4 \text{ m}$</p> <p data-bbox="596 943 877 1010">Para alturas superiores, almacenamiento en altura con rociadores</p> <p data-bbox="608 1032 866 1055">Tabla 1.4 de UNE 23585:2017</p> <p data-bbox="667 1077 807 1099"><u>Mida d'incendi:</u></p> <p data-bbox="628 1122 845 1167">Área: $A_f = 9 \times 9 = 81 \text{ m}^2$ Perímetro: $P_f = 36 \text{ m}$</p> <p data-bbox="628 1223 845 1245"><u>Flux de calor alliberada:</u></p> <p data-bbox="671 1267 802 1312">q_f (baix) = 250 q_f (alt) = 1.250</p>	<p data-bbox="1098 389 1238 412">Cámara plenum</p> <p data-bbox="975 412 1366 479">Aberturas en techo de cámara si son practicables, conforme a UNE EN-12101-8 o UNE EN-12101-2.</p> <p data-bbox="1086 501 1254 524">Ventilación Natural</p>  <p data-bbox="975 613 1366 658">Aireadores de cubierta conforme a UNE EN 12101-2.</p> <p data-bbox="1078 680 1262 703">Extracción Mecánica</p>  <p data-bbox="975 792 1366 837">Extractores de cubierta conforme a UNE EN 12101-3.</p> <p data-bbox="1086 893 1254 916">Salida conducida</p> <p data-bbox="1086 938 1254 960">Ventilación Natural</p>  <p data-bbox="975 1050 1366 1095">Aireadores de cubierta conforme a UNE EN 12101-2.</p> <p data-bbox="963 1122 1377 1167">Aberturas en techo de cámara si son practicables conforme a UNE EN 12101-8 o UNE-12101-2.</p> <p data-bbox="963 1211 1377 1335">Conductos desde el techo de la cámara hasta los aireadores de cubierta de sección constante sin estrechamientos y trazado vertical sin cambios de dirección, manteniendo la sección de los aireadores, y con clasificación E600.</p>
	<p data-bbox="683 1391 794 1413">Categoría 4</p> <p data-bbox="644 1435 831 1458">Tamaño de incendio:</p> <p data-bbox="635 1480 839 1525">Área: $A_f = 9 \times 9 = 81 \text{ m}^2$ Perímetro: $P_f = 36 \text{ m}$</p> <p data-bbox="644 1547 831 1570">Flujo de calor liberado:</p> <p data-bbox="533 1592 943 1615">Conjuntos de combustibles hasta 1,2 m de altura.</p> <p data-bbox="671 1637 802 1682">q_f (bajo) = 250 q_f (alto) = 1.250</p> <p data-bbox="612 1704 861 1727">Altura crítica de apilamiento</p> <p data-bbox="699 1749 775 1771">$h = 1,2 \text{ m}$</p> <p data-bbox="560 1794 914 1839">Para alturas superiores, almacenamiento en altura con rociadores</p> <p data-bbox="608 1861 866 1883">Tabla 1.4 de UNE 23585:2017</p> <p data-bbox="667 1906 807 1928"><u>Mida d'incendi:</u></p> <p data-bbox="628 1951 845 1995">Área: $A_f = 9 \times 9 = 81 \text{ m}^2$ Perímetro: $P_f = 36 \text{ m}$</p> <p data-bbox="628 2018 845 2040"><u>Flux de calor alliberada:</u></p> <p data-bbox="671 2063 802 2107">q_f (baix) = 250 q_f (alt) = 1.250</p>	<p data-bbox="1078 1397 1262 1420">Extracción Mecánica</p>     <p data-bbox="975 1861 1366 1906">Extractores de humo conforme a UNE EN 12101-3.</p> <p data-bbox="963 1917 1377 2018">Aberturas en techo de cámara, si son practicables, ensayadas conjuntamente con el ventilador o bien conforme a UNE EN 12101-8 o UNE EN 12101-2.</p> <p data-bbox="963 2040 1377 2107">Conductos desde el techo de la cámara hasta los extractores de cubierta o fachada con clasificación E600.</p>

En el caso de que no sea exigible reglamentariamente la aplicación de la norma UNE 23585, el sistema se podrá dimensionar conforme a las superficies aerodinámicas de ventilación natural indicadas en el RSCIEI (o las ratios de renovación por hora en el caso de ventilación mecánica indicadas como equivalentes en la presente Guía).

Las superficies de ventilación natural en techo de la cámara y en cubierta deben ser tales que permitan garantizar que la superficie equivalente resultante de la existencia de estas dos áreas en serie es al menos la indicada por el RSCIEI, en función de la actividad y ubicación del sector de incendio.



ANEXO A. EJEMPLO DE CÁLCULO

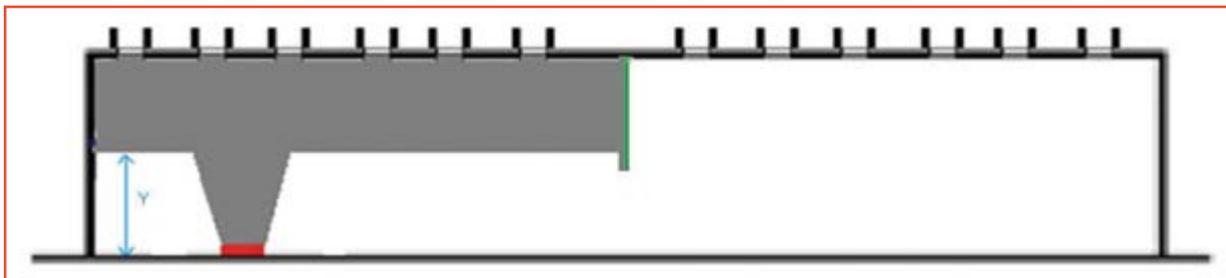
A.1. Enunciado del problema

Cámara única de 4 m de altura, almacenamiento hasta 2 m. Temperatura interior: 4°C. Cubierta a 8 m sobre el suelo, es decir, otros 4 m sobre la cámara. Superficie 150 m x 40 m. Rociadores de 68°C tanto en la cámara como en el techo, con un área de operación de 100 m². Hay que determinar las necesidades del SCTEH, comparando las diferentes soluciones posibles con exutorios de 2 m x 2 m y coeficiente aerodinámico de 0,6 y con equipos de extracción mecánica.

A.2. Planteamiento

Se subdividiría en 3 depósitos de humos en cámara con barreras textiles, cada uno de 50 m x 40 m uno contiguo al otro. Por lo tanto, la relación $A_v/A_e = 1$. $A_f = 20,25 \text{ m}^2$. $P_f = 18 \text{ m}$. Altura libre de humos 2,5 m.

Caso 0: Se resuelve para comparar con las soluciones de los casos siguientes, suponiendo que no hubiese cubierta más arriba y la cámara diera directamente al exterior. La profundidad de la capa de humos es de 4 - 2,5 = 1,5 m.



$$Q_{\text{con bajo}} = 0,8 * 250 * 20,25 = 4.050 \text{ kW}$$

$$m_{h1} = 0,188 * 18 * 2,5^{1,5} = 13,38 \text{ kg/s}$$

$$\Delta T_1 = \frac{4050 \text{ kW}}{1,026 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 13,38 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 295^\circ\text{C}$$

Por consiguiente, la temperatura con el fuego bajo ya es superior a la de los rociadores ($\Delta T = 68^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C} = 64^\circ\text{C}$) y la capa de humos quedará estabilizada a esa temperatura como máximo. Sin embargo, a efectos de evaluar el empuje ascendente de los humos, considerando que estos tienen que salir a la atmósfera exterior más caliente de 20°C, el diferencial térmico que se aplicará en la ecuación para determinar la superficie de evacuación necesaria será menor de $68^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 48^\circ\text{C}$. Por lo tanto, con menor empuje térmico.

Para una relación de Área de entrada de aire / Área de salida de humos = 1 se obtiene una superficie de 7,93 m². En definitiva, el número de exutorios necesarios sería de:

$$N_1 = \frac{7,93 \text{ m}^2}{2 \text{ m} * 2 \text{ m} * 0,6} = 3,3 \rightarrow 4$$

Este número de equipos debería compararse con el número mínimo de puntos de evacuación para evitar el efecto de "plugholing". Evaluamos el número mínimo de puntos de extracción con un diámetro hidráulico de 2 m ($D_v = 4 \cdot A / P$) y la ecuación E.10 de la norma UNE 23585-2017:

$$M_{cri} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0,5} \cdot d_n^2 \cdot D_v^{0,5}}{T_1} = \frac{2,05 \cdot 1,22 [9,81 \cdot 293 \cdot 48]^{0,5} \cdot 1,5^2 \cdot 2^{0,5}}{341} \\ = 8,67 \text{ kg/s}$$

De modo que esta solución requeriría al menos de:

$$N = \frac{13,38}{7,88} = 1,7 \rightarrow 2$$

En definitiva, se precisarán de 4 exutorios de 2 x 2 en cada depósito de humos de la cubierta.

En caso de realizar la extracción de forma mecánica, a diferencia respecto a la extracción natural de la temperatura de los humos, siendo conservador, se calcula como una media de la temperatura de activación del rociador y la generada por el fuego (mayor temperatura \rightarrow menor densidad y, por ende, mayor flujo volumétrico a través del ventilador).

La fórmula del Anexo E.1 para hacerlo asume que el área de operación de los rociadores se encuentra a la temperatura de los humos que habría si estos no estuviesen y el resto de la superficie en planta a la temperatura de los rociadores. De aquí que el valor más conservador se produce con el fuego alto, a saber:

$$Q_{con\ alto} = 0,8 \cdot 625 \cdot 20,25 = 10.125 \text{ kW}$$

$$m_{h1} = 0,188 \cdot 18 \cdot 2,5^{1,5} = 13,38 \text{ kg/s}$$

$$\Delta T_1 = \frac{10125 \text{ kW}}{1,026 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 13,38 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 737 \text{ }^\circ\text{C}$$

Finalmente, como el área del depósito de humos es de 50 x 40 = 2.000 m², se tiene que:

$$T_1 = \frac{T_r \cdot (A - A_r) + ((\theta_1 + T_0) \cdot A_r)}{A} = \frac{(68 + 273) \cdot (2.000 - 100) + ((737 + 293) \cdot 100)}{2000} \\ = 375 \text{ }^\circ\text{K}$$

Es decir, 102°C (diferencial de 82°C sobre el ambiente). A esa temperatura la densidad del aire es 1,22 * (293/375) = 0,95 kg / m³, de modo que el caudal total a extraer será de:

$$V = \frac{13,38 \text{ kg/s}}{0,95 \text{ kg/m}^3} = 14,08 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 50.703 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Este número de equipos debería compararse con el número mínimo de puntos de evacuación para evitar el efecto de "plugholing". Evaluamos el número mínimo de puntos de extracción con un diámetro hidráulico de 1 m y la ecuación E.10 de la norma UNE 23585-2017:

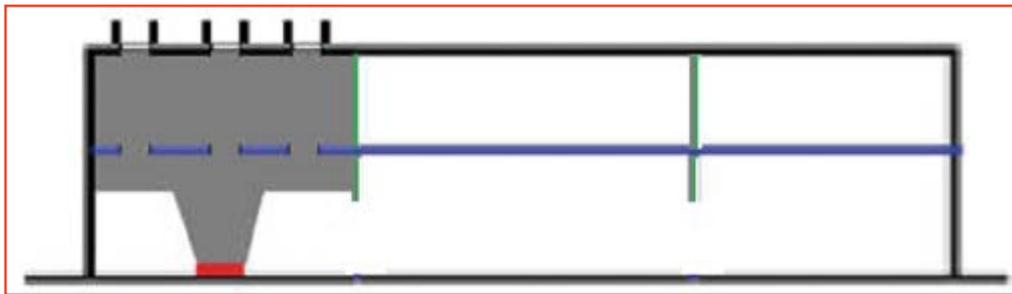
$$M_{cri} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0,5} \cdot d_n^2 \cdot D_v^{0,5}}{T_1} = \frac{2,05 \cdot 1,22 [9,81 \cdot 293 \cdot 82]^{0,5} \cdot 1,5^2 \cdot 1^{0,5}}{375} \\ = 7,28 \text{ kg/s}$$

De modo que esta solución requeriría al menos de:

$$N = \frac{13,38}{7,28} = 1,8 \rightarrow 2$$

En definitiva, se precisarían 2 extractores de 25.500 m³/h en cada depósito de humos de la cubierta.

Caso 1: Modo PLENUM. La cortina en el espacio superior desciende completamente hasta el techo de la cámara.



La masa generada de humos es exactamente la misma que el Caso 0, pero la diferencia es que ahora hay una columna de humos que inunda todo el compartimiento superior, es decir con una profundidad de 4 m + 1,5 m = 5,5 m y, por ende, con mayor empuje ascendente.

Para una relación de Área de entrada de aire / Área de salida de humos = 1 se obtiene que la superficie de evacuación necesaria sería de 4,14 m².

Esta superficie es la que debe obtenerse como resultado de aplicar la condición de áreas de flujo en serie para las compuertas que están en la cámara y los exutorios que están en la cubierta. Las soluciones pueden ser múltiples, pero con el fin de reducir al mínimo las compuertas de la cámara frigorífica que son más costosas, se plantea inicialmente una solución con N₁=2 compuertas en el techo de la cámara. Estas aportarían una superficie de:

$$A_1 = 2 * 2 * 2 * 0,6 = 4,8 \text{ m}^2$$

Partiendo de aquí se puede estimar la superficie que se necesitaría para los exutorios de cubierta, con la expresión:

$$\frac{1}{A_e^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2}$$

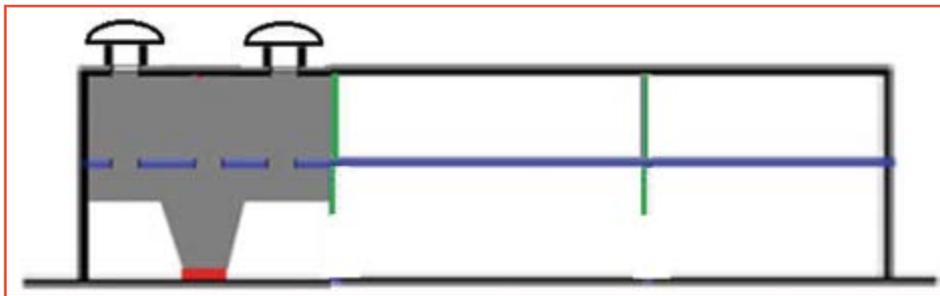
$$\frac{1}{4,14^2} = \frac{1}{4,8^2} + \frac{1}{A_2^2}$$

Despejando, se obtiene que la superficie de evacuación en cubierta A₂=8,18 m², por lo que se necesitarían:

$$N_2 = \frac{8,18 \text{ m}^2}{2 \text{ m} * 2 \text{ m} * 0,6} = 3,4 \rightarrow 4$$

En definitiva, 2 compuertas en cada depósito de humos de la cámara y 4 exutorios en cada depósito de humos de la cubierta

Caso 2: Modo PLENUM. La cortina en el espacio superior desciende completamente hasta el techo de la cámara. Extracción forzada.



La solución de este caso es igual que en el Caso 1, a diferencia respecto a la extracción natural, siendo conservador, la temperatura de los humos se calcula como una media de la temperatura de activación del rociador y la generada por el fuego (mayor temperatura → menor densidad y por ende mayor flujo volumétrico a través del ventilador).

La fórmula del Anexo E.1 para hacerlo asume que el área de operación de los rociadores se encuentra a la temperatura de los humos que habría si estos no estuviesen y el resto de la superficie en planta a la temperatura de los rociadores. De aquí que el valor más conservador se produce con el fuego alto, a saber:

$$Q_{con\ alto} = 0,8 * 625 * 20,25 = 10.125\ kW$$

$$m_{h1} = 0,188 * 18 * 2,5^{1,5} = 13,38\ kg/s$$

$$\Delta T_1 = \frac{10125\ kW}{1,026 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 13,38 \frac{kg}{s}} = 737\ ^\circ C$$

Finalmente, como el área del depósito de humos es de $50 \times 40 = 2.000\ m^2$ se tiene que:

$$T_1 = \frac{T_r \cdot (A - A_r) + ((\theta_1 + T_0) \cdot A_r)}{A} = \frac{(68 + 273) \cdot (2.000 - 100) + ((737 + 293) \cdot 100)}{2000} = 375\ ^\circ K$$

Es decir, $102^\circ C$ (diferencial de $82^\circ C$ sobre el ambiente). A esa temperatura la densidad del aire es $1,22 * (293/375) = 0,95\ kg/m^3$, de modo que el caudal total a extraer será de:

$$V = \frac{13,38\ kg/s}{0,95\ kg/m^3} = 14,08 \frac{m^3}{s} = 50.703 \frac{m^3}{h}$$

Esto se podría plantear con un único ventilador, siempre que no se produzca el efecto de "plugholing". Evaluamos el número mínimo de puntos de extracción con un diámetro hidráulico de 1 m y la ecuación E.10 de la norma UNE 23585-2017:

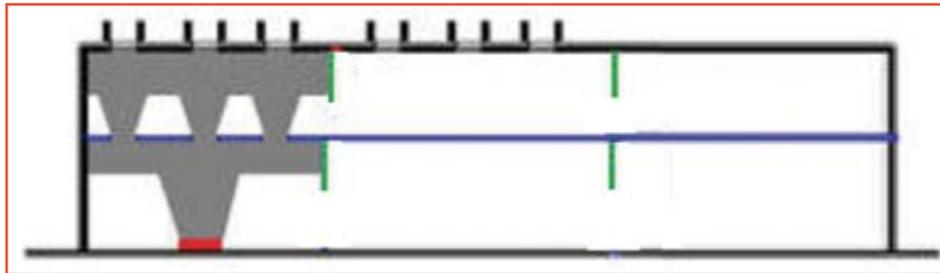
$$M_{cri} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0,5} \cdot d_n^2 \cdot D_v^{0,5}}{T_1} = \frac{2,05 \cdot 1,22 [9,81 \cdot 293,82]^{0,5} \cdot 5,5^2 \cdot 1^{0,5}}{375} = 97,9 \text{ kg/s}$$

Y por consiguiente al ser mayor que 13,38 kg/s se podría llegar a hacer con un único ventilador, aunque por disponibilidad de equipos y para distribuir mejor la probabilidad de fallo de un equipo es mejor instalar 2 o más ventiladores.

En definitiva, se precisarán de 2 compuertas en cada depósito de humos de la cámara y 2 extractores de 25.500 m³/h en cada depósito de humos de la cubierta.

Caso 3: La cortina en el espacio superior desciende 1,5 m + 0,1 m creando depósitos de humo en la cubierta con altura libre de 2,5 m por encima de la cámara.

Podría darse como solución si la zona sobre la cámara es habitable, transitable y/o hay equipos que requieren mantenimiento.



El análisis para la cámara se resolvería igual que el Caso 0 y por consiguiente con 4 compuertas de 2 m x 2 m. Para la sobre-cámara, cabrían dos posibilidades:

- a) que el incendio se originase encima de la cámara.
- b) que los exutorios debieran evacuar el humo proveniente de un incendio en la cámara.

El caso a) se aplicaría la misma solución que para la cámara, al tener este espacio igualmente una altura de 4 m y habiendo definido la altura libre de humos en 2,5 m. Al existir rociadores también en la cubierta, el área del fuego sería de 20,25 m² y el perímetro del fuego de 18 m. Por lo tanto, este caso conllevaría otros 4 exutorios en cubierta o 2 extractores de 25.500 m³/h.

Sin embargo, el caso b) requiere un estudio detallado. La razón es que los humos que provienen de la cámara han sido enfriados por los rociadores activados bajo la cámara, de manera que los humos se enfrían aún más con la nueva entrada de aire de los depósitos adyacentes sobre la cámara.

De acuerdo con el cálculo del Caso 0, el flujo de humos hacia la sobre-cámara es de 13,38 kg/s y dado que la temperatura está limitada a 68°C por la activación de los rociadores bajo la cámara, el calor convectivo que se transfiere a la sobre-cámara es de sólo:

$$Q_{con2} = 13,38 \frac{kg}{s} * 1,026 \frac{kJ}{(kg \cdot ^\circ C)} * (68 - 20)^\circ C = 659 \text{ kW}$$

Como puede observarse mucho menos que el Q_{bajo}, tratándose de humos fríos, por lo que es previsible que con la subsiguiente entrada de aire en la sobre-cámara a partir de los depósitos adyacentes de cubierta, los humos lleguen aún más fríos a la cubierta y lógicamente no se activen los rociadores de esta.

Para evaluar la temperatura de la capa de humos que se acumula en la cubierta, se puede visualizar el humo que sale por cada uno de las compuertas como un pequeño incendio con un perímetro de $2 \times 4 = 8$ m de lado. Y al haber 4 de ellas con un perímetro total de 32 m. Para estimar el humo que se genera adicionalmente en la sobre-cámara tomaremos en cuenta la fórmula A.2 considerando que se forma también un penacho ascendente y cónico:

$$m_{h2} = 0,188 \cdot 32 \cdot 2,5^{1,5} = 23,78 \text{ kg/s}$$

De manera que la cantidad de humos total será la suma del generado en la sobre-cámara más el que proviene de la cámara:

$$m_h = m_{h1} + m_{h2} = 23,78 + 13,38 = 37,16 \text{ kg/s}$$

El diferencial de temperatura de la capa que se acumula será por lo tanto de:

$$\Delta T_2 = \frac{659 \text{ kW}}{1,026 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 37,16 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 17,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nota: Aunque las fórmulas de derrame en atrios de la norma UNE 23585-2017 son para aberturas verticales y no horizontales, se puede demostrar fácilmente que el derrame para un fuego de 652 kW en una abertura de 4 m de ancho situada a 4 m del suelo y con altura del atrio a 8 m sobre el suelo incrementa los 13,38 kg/s hasta 31 kg/s (método simplificado de Thomas) y 40 kg/s (procedimiento detallado) con un diferencial de temperatura de 16°C, demostrando que la metodología adoptada tiene suficiente fundamento.

El incremento de temperatura en la sobre-cámara no alcanza los 20°C mínimos requeridos por la norma UNE 23585 para evitar la estratificación de los humos por lo que a fin de garantizar la evacuación de humos se debería recurrir a un sistema de extracción forzada de humos para la sobre-cámara.



Para la temperatura de los humos de 37,3°C determinada a partir de los 20°C de temperatura ambiente y el incremento de temperatura de 17,3°C, le corresponde una densidad del aire de $1,22 \cdot (293/310,3) = 1,15 \text{ kg/m}^3$, de modo que el caudal total a extraer será de:

$$V = \frac{37,16 \text{ kg/s}}{1,15 \text{ kg/m}^3} = 32,31 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 116.326 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El número de extractores a instalar en la sobre-cámara se determinará a partir del cálculo del número mínimo de puntos de extracción para evitar el efecto "plugholing" (vortex)

$$M_{cri} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0,5} \cdot d_n^2 \cdot D_v^{0,5}}{T_1} = \frac{2,05 \cdot 1,22 \cdot [9,81 \cdot 293 \cdot 17,3]^{0,5} \cdot 1,5^2 \cdot 1^{0,5}}{293 + 17,3} = 4,32 \text{ kg/s}$$

De modo que esta solución requeriría al menos de:

$$N = \frac{32,31}{4,32} = 7,5 \rightarrow 8$$

En definitiva, se precisarán de 4 compuertas en cada depósito de humos de la cámara y 8 extractores de 14.550 m³/h en cada depósito de humos de la cubierta.

Caso 4: Se realiza extracción desde la cámara hasta el exterior mediante conductos.



La solución para la cámara sigue un proceso similar al Caso 1 modo Plenum, ya que la columna estática de humos es la misma. La única diferencia es que hay un exutorio en cubierta (porque de otro modo entraría agua en un día lluvioso,) y una compuerta en la cámara (para conseguir el aislamiento térmico) para el mismo conducto y se deben contar ambos elementos de restricción en el estudio de áreas en serie. Además, deben contarse las pérdidas por fricción en el conducto.

Para simplificar, realizaremos una estimación inicial evaluando la superficie equivalente sin consideración del conducto de las dos áreas de evacuación en serie. Así, el área efectiva de cada exutorio es 2 x 2 x 0,6 = 2,4 m² y:

$$\frac{1}{A_e^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} = \frac{1}{2,4^2} + \frac{1}{2,4^2}$$

De donde se extrae que el A_e es de 1,7 m², de modo que hacen falta el siguiente número de conducto + compuerta + exutorio:

$$N_2 = \frac{4,14 \text{ m}^2}{1,7 \text{ m}^2} = 2,4 \rightarrow 3$$

Ahora revisaremos si el margen al redondear al entero superior es suficiente para compensar las pérdidas en el conducto. La ecuación básica de flujo a través de aberturas es:

$$M = C \cdot A \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P}$$

O expresada en relación con la caída de presión:

$$\Delta P_v = \frac{1}{2 \cdot \rho} \cdot \left(\frac{M}{C \cdot A} \right)^2$$

De esta expresión se deduce la ecuación E.6 de la norma UNE 23585-2017 teniendo en cuenta que la fuerza ascensional de la capa de humos proviene de la otra fórmula básica, a saber:

$$\Delta P_h = \rho * g * h$$

De esta última se obtiene el primer término del denominador de la citada fórmula. En el caso que nos ocupa, el diferencial de presión generado por efecto boyante es:

$$\Delta P_h = \rho_a * g * d * \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right) = 1,22 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 5,5 m * \left(1 - \frac{273 + 20}{273 + 68}\right) = 9,3 Pa$$

La pérdida de presión en un conducto cuadrado de 2m x 2m con un flujo másico repartido en cada conducto de $13,38 / 3 = 4,46$ kg/s a 68°C es decir 15.320 m³/h es de 0,02 Pa. Este valor no es sino un 0,2% que se perdería del efecto boyante mientras que el margen por elegir los exutorios de $3/2,4 = 1,25$ es decir un 25% más. Demuestra que los efectos de los elementos de entrada y salida (compuertas y exutorios en este caso) son mucho más representativos que el propio conducto manteniendo la misma sección del conducto que para las compuertas de la cámara y los exutorios de la cubierta.

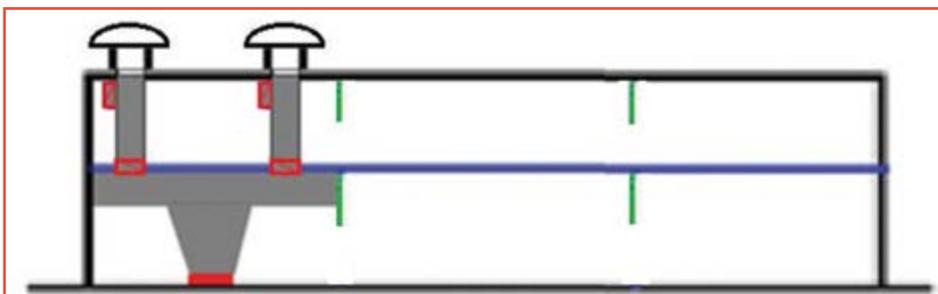
La fórmula E.6 de la norma UNE 23585-2017 para obtener la superficie de evacuación modificada para tener en cuenta la pérdida de fricción en el conducto (P_f en Pa) se convierte en:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left(2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - \frac{M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}{(A_i \cdot C_i)^2} - 2 \cdot \rho_{amb} \cdot P_f \cdot T_1 \cdot T_{amb}\right)^{0,5}}$$

En cuanto a la cubierta, sólo serán necesarios los equipos para evacuar el humo generado por un incendio en la sobre-cámara, y por ende equivalente al Caso 3 a) o el Caso 0.

En definitiva, se precisarán de **3 conductos con sus respectivas compuertas de cámara y exutorios en cubierta** en cada depósito de humos de la cámara y aparte otros **4 exutorios o 2 extractores de 25.500 m³/h** en cada depósito de humos de la cubierta.

Caso 5: Extracción forzada para la cámara.



Este caso tiene la misma resolución que el anterior Caso 2 para la extracción forzada con la única salvedad de que el diferencial de presión de los ventiladores deberá incluir las pérdidas en el conducto y a través de las compuertas de la cámara.

Como punto más favorable respecto al Caso 4 (evacuación natural para la cámara), los conductos pueden ser de dimensiones más reducidas pues no se depende únicamente del empuje boyante de los humos, sino que las pérdidas por fricción en los conductos junto con los cambios de dirección, expansiones, contracciones, etc. pueden ser absorbidas por el ventilador con la debida justificación técnica.

Para la sobre-cámara podría tratarse igual que el Caso 3 a) o Caso 0, es decir con **4 exutorios de extracción natural** o **2 extractores de 25.500 m³/h**. Sin embargo, dado que ya se pretende la instalación de los ventiladores, una solución más elegante y económica consiste en aprovechar los ventiladores para la cámara (siendo el caudal el mismo) y colocación de compuertas en la parte superior de la sobre cámara que serían las que se abrirían en caso de incendio en esta ubicación.

Eso sí, se deberá confirmar que no se produce el efecto vórtice ("plugholing"), ya que al ser una compuerta vertical el punto inferior de extracción deja una capa de humos menos profunda y la capa de humos para un fuego de la sobre-cámara es de sólo $4 - 2,5 = 1,5$ m de profundidad. Por ejemplo, si la compuerta tiene una altura de 0,3 m y se sitúa en la parte superior, sólo quedan $1,5 - 0,3 = 1,2$ m de capa de humos por debajo del punto de extracción.

Considerando el caudal total a extraer de 50.703 m³/h (14,080 m³/s), una velocidad máxima de paso del aire por la compuerta 10 m/s y una anchura de la compuerta de 0,8, resultan necesarias un mínimo de 6 compuertas de 0,8 x 0,3 para las cuales se determina un diámetro hidráulico de 0,44 m².

Aplicando la fórmula E.10 anterior

$$M_{cri} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0,5} \cdot d_n^2 \cdot D_v^{0,5}}{T_1} = \frac{2,05 \cdot 1,22 [9,81 \cdot 293 \cdot 82]^{0,5} \cdot 1,2^2 \cdot 0,44^{0,5}}{375}$$

$$= 3,08 \text{ kg/s}$$

De modo que esta solución requeriría al menos de:

$$N = \frac{13,38}{3,08} = 4,34 \rightarrow 5$$

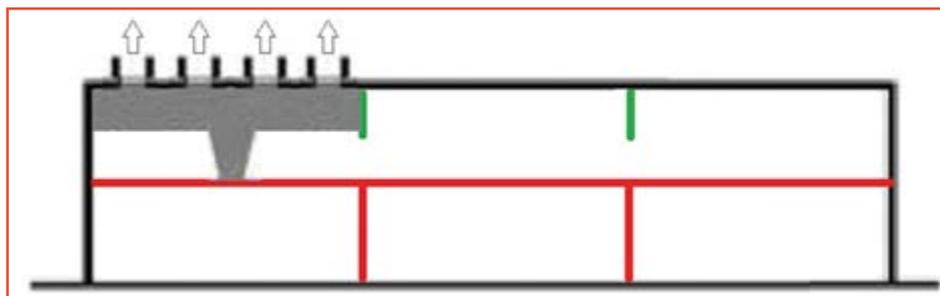
En definitiva, con estas premisas se precisarán de **2 conductos con sus respectivas compuertas de cámara y extractores en cubierta de 25.500 m³/h** en cada depósito de humos de la cámara, y **adicionalmente 6 compuertas** situadas en la parte superior de los conductos (3 para cada conducto), ya sea acopladas a 3 de las 4 caras del conducto vertical, o acoplando a cada tramo vertical un tramo de conducto horizontal bajo cubierta para instalar en cada tramo horizontal 3 compuertas.

O bien **3 conductos con sus respectivas compuertas de cámara y extractores en cubierta de 17.000 m³/h** en cada depósito de humos de la cámara, y **adicionalmente 6 compuertas** situadas en la parte superior de los conductos (2 para cada conducto), acopladas a 2 de las 4 caras del conducto vertical, por ejemplo.

Cas 6: Cámara en el sector de incendio con techo sectorizador

En el caso que la cámara frigorífica esté dividida en tres cámaras frigoríficas construidas con panel con capacidad sectorizadora, cada cámara frigorífica constituirá un sector de incendio con una superficie un poco inferior a 2.000 m² que, en caso de tratarse de una nave con actividad de producción de riesgo medio, no requeriría según el RSCIEI del uso de un SCTEH conforme a la norma UNE 23585 y se podría diseñar mediante la disposición de aperturas de ventilación con una superficie de 0,5 m² para cada 200 m² de superficie, es decir $0,5 \times 2.000 / 200 = 5 \text{ m}^2$.

Adicionalmente, el plenum entre el techo de las cámaras y la cubierta mantendrá la superficie total de la nave y, por lo tanto, se requiere disponer de un SCTEH conforme UNE 23585 para esta zona, con la necesidad de disponer de tres depósitos de humos con las superficies de evacuación de humos o cabal de extracción determinados en el Caso 0, es decir, 4 exutorios de 2X2.



En lo referente a la evacuación de humos de las propias cámaras frigoríficas, en primer lugar, dado que no hay aportación de aire fresco de depósitos adyacentes, se deberán dejar aperturas mediante puertas o aireadores de pared que se abran juntamente con los exutorios del techo de la cámara y con superficie equivalente. Respecto a los exutorios del techo, se plantean de nuevo dos posibles soluciones:

- Realizar una extracción conducida desde la cámara frigorífica hasta la cubierta, con aperturas practicables al techo de la cámara y exutorios al techo de la nave.

En este caso, la superficie de evacuación de las dos aperturas en serie sería la determinada en el RSCIEI, es decir, 5 m². Dado que, con la finalidad de limitar las pérdidas de carga en esta salida conducida, hay que mantener la sección de la misma y la de los equipos de evacuación de humos, la mejor solución es que las aperturas en el techo de la cámara y cubierta tengan la misma superficie.

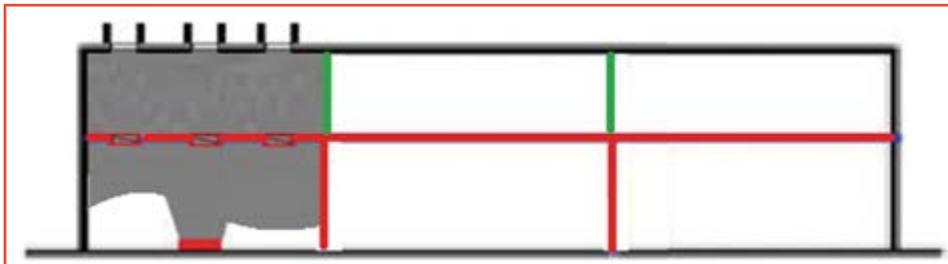
Con esta consideración, la fórmula de determinación de superficie aerodinámica equivalente de las dos superficies en serie nos permite determinar la superficie individual de estas aperturas a partir de la superficie equivalente deseada:

$$A = \sqrt{2} \times A_e$$

En nuestro caso y para la superficie equivalente requerida de 5 m², resulta una superficie aerodinámica a prever tanto para las aperturas de la cámara como en la cubierta de 7,07 m² que, considerando un coeficiente aerodinámico de 0,6, nos determina una superficie geométrica de 11,8 m², la cual se resuelve mediante la instalación en cubierta de 3 exutorios de 2X2, y la instalación en el techo de la cámara de 3 compuertas de 2X2 (adicionalmente, los 4 exutorios de 2X2 previstos para la evacuación de humos del plenum sobre cámara)

b) Mediante la creación de un plenum de evacuación de humos entre la cámara y la cubierta, haciendo que las barreras de humos bajen hasta el techo de la cámara.

En este caso, la superficie aerodinámica equivalente de humos de la cámara sería la misma determinada previamente en función de los requisitos del RSCIEI, es decir 5m^2 , y el sistema se podría resolver con el mismo número de equipos de evacuación de humos en el techo de la cubierta y cubierta determinados anteriormente, es decir, 4 exutorios de 2X2 en la cubierta (requeridos por el cálculo al inicio de este caso), y 3 compuertas de 2X2 en el techo de la cámara.



Para esta solución, hay que prever que, al bajar las barreras de humos hasta el techo de la cámara para conformar el plenum de evacuación de humos, como ya se ha explicado, este espacio no puede ser habitable.

También sería posible otra combinación de valores de superficies de evacuación el techo de la cámara y en la cubierta con el fin de obtener la requerida superficie aerodinámica de evacuación equivalente, teniendo en cuenta que en cualquier caso la superficie de evacuación a instalar tanto en el techo de la cámara como en la cubierta tiene que ser superior a la superficie equivalente necesaria.

En todo caso, hay que tener en cuenta que esta solución, aunque quede amparada por la aplicación del PSCIEI, implica prescindir de la posibilidad de instalar un SCTEH que permita mantener el control de la temperatura de los humos en el valor indicado en esta Guía de 200°C como valor de diseño para garantizar el acceso a bomberos y, por lo tanto, es contrario al objetivo principal de esta Guía, por lo cual se recomienda el diseño del sistema conforme a la UNE 23585 en lugar de esta solución.

A.3. Conclusiones:

1. Se han propuesto varias soluciones de cálculo con extracción natural y forzada ya que la temperatura de la cámara del problema planteado es superior a 0°C. En los casos donde la temperatura de la cámara de refrigeración sea inferior a 0°C la guía recomienda utilizar extracción forzada por las razones allí explicadas.
2. El Caso 3 es el menos eficiente por la cantidad de equipos en cubierta necesarios para evacuar el derrame desde la cámara inferior. Es por eso que esa tipología no se ha planteado entre las posibilidades de diseño de la guía.
3. Hay que recordar que en los modos plenum (Casos 1 y 2) sólo pueden aplicarse si la zona sobre la cámara sólo puede tener presencia de personal en casos muy raros (por ej. mantenimiento) y, de darse, en condiciones muy controladas puesto que en caso de incendio se llenaría de humo completamente.
4. Comparando el Caso 4 con el Caso 5, la versión con extracción forzada permite utilizar conductos de menor sección y aprovechar los mismos ventiladores para la extracción de humos de la cámara y la sobrecámara.
5. Comparando el Caso 6 con el Caso 1 i el Caso 4 se puede ver que la cantidad de equipos necesarios es similar. En el Caso 4 se requieren exactamente el mismo número de equipos que el Caso 6, es decir, 4 exutorios en cubierta para la evacuación de humos de la sobrecámara, y por lo que refiere a la evacuación de humos de la cámara, 3 compuertas en el techo de la cámara conectadas con los correspondientes conductos con 3 exutorios en cubierta. En el Caso 1, resulta la misma cantidad total de equipos que en el Caso 6, aunque el Caso 1 prevé la instalación para la evacuación de humos de la cámara de 2 compuertas en el techo de esta y 4 exutorios en la cubierta (para optimizar el sistema atendiendo al mayor coste de las primeras respecto a los segundos), mientras que el Caso 6 se prevén 3 exutorios en la cubierta y 3 compuertas en el techo de la cámara, ya que al ser necesaria una superficie equivalente de 5 m² no se pueden prever solo 2 compuertas en el techo de la cámara (con la que se tendría, solo, una superficie aerodinámica de evacuación de 4,8 m² y, por lo tanto, inferior a la equivalente necesaria). En cualquier caso, la solución presentada en el Caso 6, como se ha indicado previamente, aunque queda amparada por la aplicación del RSCIEI, implica prescindir de la posibilidad de instalar un SCTEH que permita garantizar el control de la temperatura de los humos en 200°C como valor de diseño indicado en esta Guía para garantizar el acceso de los bomberos. Por lo tanto, es contrario al objetivo principal de esta Guía, por lo cual, se recomienda el diseño del sistema conforme a la UNE 23585 en lugar de esta solución.

ANEXO B. SISTEMAS DE EXTINCIÓN FIJOS

B.1. Generalidades

- Rociadores automáticos:
 - Normas: UNE EN 12845, NFPA 13, FM 8-9 y 8-29. Los criterios de diseño indicados más adelante pueden variar ligeramente según la norma aplicada.
 - Temperatura > 4°C:
 - Tubería húmeda.
 - Temperatura < 4°C:
 - Tubería seca y válvula de alarma.
 - Tubería seca y válvula de acción previa.
 - Tubería húmeda con anticongelante.
 - Tubería húmeda por fuera de la cámara con rociadores colgantes secos.
- Extinción gaseosa:
 - Inundación total (gases inertes o químicos).
 - Reducción permanente de oxígeno (nitrógeno).
- Inundación de espuma:
 - No se considera adecuado el uso de sistemas de extinción mediante inundación de espuma en cámaras frigoríficas, sobre todo por debajo del punto de congelación, por falta de apoyo normativo y experimental. En caso de que se prevea un sistema de este tipo se deberá justificar su compatibilidad con el SCTEH y las condiciones de diseño previstas para este mediante un diseño basado en prestaciones, como alternativa al método prescriptivo, según se recoge en el RSCIEI.

B.2. Tubería seca - Válvula de alarma

- Rociadores montantes.
 - Temperatura activación 141°C.
 - Red de tuberías en terminal (tipo árbol - no malla).
 - Instalación de tubos con pendiente (4 mm/m).
 - Carga con gas inerte a presión con suministro permanente (N2):
 - Con aire a presión hay que garantizar eliminar la humedad, si no termina congelándose.
 - Puntos de vaciado.
 - Tiempo máximo de llegada del agua: 60 s con 1 rociador abierto.
 - Tubería de acero galvanizado; acero negro si el gas es inerte.
 - Juntas adecuadas a la temperatura.

B.3. Tubería seca - Válvula de acción previa

- Requiere sistema de detección que se active antes que los rociadores para su activación.
- Protección con rociadores únicamente en el techo < 12 m cumpliendo:
 - Estantes abiertos, chimeneas, tipo de rociador hasta K240.
- Sistemas específicos con rociadores únicamente en el techo hasta 16,8 m y 15,2 m de almacenamiento, pero con requisitos específicos de diseño.
- En caso de disparo y llenado de la instalación puede requerir cambiarla totalmente y/o subir la temperatura de la cámara.

B.4. Tubería húmeda con anticongelante

- Anticongelante aprobado para el riesgo de almacenamiento.
- Solución adecuada: Punto de congelación < Temperatura cámara.
- Comprobación anual de la gravedad específica dentro de los tubos.
- Tiempo de llegada del agua < 2 min descargando 4 rociadores más remotos.
- Materiales de la tubería compatibles con el anticongelante.
- Métodos para compensar el diferencial de expansión térmica:
 - Cámara de expansión.
 - Válvula de seguridad < 12 bar para alivio de expansión de anticongelante. De orificio < 6,4 mm y < el orificio del rociador.
- Bomba de llenado a la base del montante con aporte continuo y alivio de sobrepresión.
- Puntos de muestreo y vaciado.

B.5. Sistemas de rociadores automáticos

- Rociadores de vela secos (tubería húmeda por fuera):
- Deben cumplirse los requisitos de diseño para rociadores sólo en techo:
 - Estantes abiertos, chimeneas, tipo de rociador, altura del techo y almacenamiento.
- Altura máxima del techo 13,7 m.
- Respetar las distancias del rociador y la vela por dentro y por fuera de la cámara.
- Sellado adecuado de las penetraciones.

B.6. Sistemas de extinción por gases

- Inundación total:
 - Normas: UNE EN 15004-1 a 10, UNE ISO 6183, NFPA 12 y NFPA 2001.
 - Tener en cuenta que la baja temperatura requiere mayor cantidad de gas.
 - Asegurar la estanquidad del recinto (incluso en situación de fuego).
 - Proveer abertura de sobrepresión para alivio durante la descarga.
 - Prevenir la entrada de personal si la concentración < NOAEL (No Observable Adverse Level).
 - Como requieren de estanquidad, la extracción de humos sólo puede ser tras el incendio. Según el RIPCI se dimensionarán para 2 a 10 renovaciones/hora.

B.7. Sistemas de inertización permanente

- Inertización permanente (N₂):
 - Norma: VdS 3527.
 - Garantizar que el material no arde a la concentración de O₂ de diseño (12-17%).
 - Garantizar la estanquidad del recinto.
 - Reponer las pérdidas a través de las compuertas de paso de material.
 - Garantizar la concentración de O₂ en diferentes niveles.
 - Disponer de medidas de protección del personal por el nivel reducido de oxígeno.
 - Dado que este sistema impide el desarrollo del incendio, el sistema de control de humos no es necesario.
 - Al no estar regulado en el RIPCI, se debe legalizar como solución técnica alternativa mediante una evaluación técnica favorable de idoneidad.

ANNEX C. SIMULACIÓN DE INCENDIO CON FDS EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS

C.1. Introducción

Los incendios de gran magnitud acaecidos en las pasadas décadas en cámaras frigoríficas del sector alimentario, debido a la alta combustibilidad de los productos almacenados y de los paneles aislantes, demuestran que estos pueden producirse a pesar de las bajas temperaturas y promueven la necesidad de establecer medidas de protección contra incendios adecuadas.

Las cámaras frigoríficas presentan un desafío especial en la protección contra incendios al ser la temperatura interior inferior a la temperatura exterior. Esto afecta tanto a los sistemas de extinción (en especial, donde la temperatura interior puede llegar a congelar el agua) como a los sistemas de control de humos (las bajas temperaturas conllevan humos más densos y más difíciles de evacuar por la parte superior).

El Subgrupo de Trabajo de Control de Humos de la asociación Clúster de Seguretat Contra Incendis ha desarrollado esta Guía de diseño basada en la aplicación del RSCIEI y la norma UNE 23585:2017 para este caso particular.

Este trabajo complementario con simulaciones FDS se ha llevado a cabo para resaltar las dificultades y contrastar con el diseño basado en la norma.

C.2. Palabras clave

Cámaras frigoríficas, control de humos, SCTEH, rociadores automáticos, simulación Fire Dynamics Simulator (FDS).

C.1. Descripción del modelo

RECINTO:

Dimensiones: Interiores 75,5 m (largo) x 23,5 m (ancho) x 14 m (alto). La parte alta con mercancía mide 52,5 m (largo), y hay una parte baja de 5 m de altura (zona de transición). La mercancía llega hasta los 12,5 m. El volumen interior del recinto es de 18.373 m³. Para el caso 10, que se subdivide en dos cámaras, el volumen interior es de 11.129 m³.

Materiales: Las paredes y el techo son de pared muy gruesa aislante. Las puertas y los exutorios están representados por aberturas que se abren, y, por tanto, la zona afectada es del mismo material cuando estos elementos están cerrados.

Depósitos de humos: La longitud se ha hecho expresamente > 60 m, forzando la subdivisión en dos depósitos de humos si se quiere cumplir con la norma UNE 23585. Esta cortina se encuentra en medio de la zona alta con una altura libre de humos de 8,33 m, aunque alternativamente se podría haber separado entre la zona alta (<60 m) y la zona baja. (Desde el punto de vista de los rociadores, esa sería una mejor solución dado que las cortinas en medio de las cargas tienen efectos perjudiciales con mayor activación innecesaria de rociadores si el fuego se

produce debajo.) Pero se ha querido comprobar que el concepto de entradas de aire para exutorios del depósito adyacente sigue siendo válido. En el caso 10, el espacio se ha subdividido en dos cámaras independientes, para observar el efecto de tener un único depósito de humos y depender de las puertas para la entrada de aire limpio.

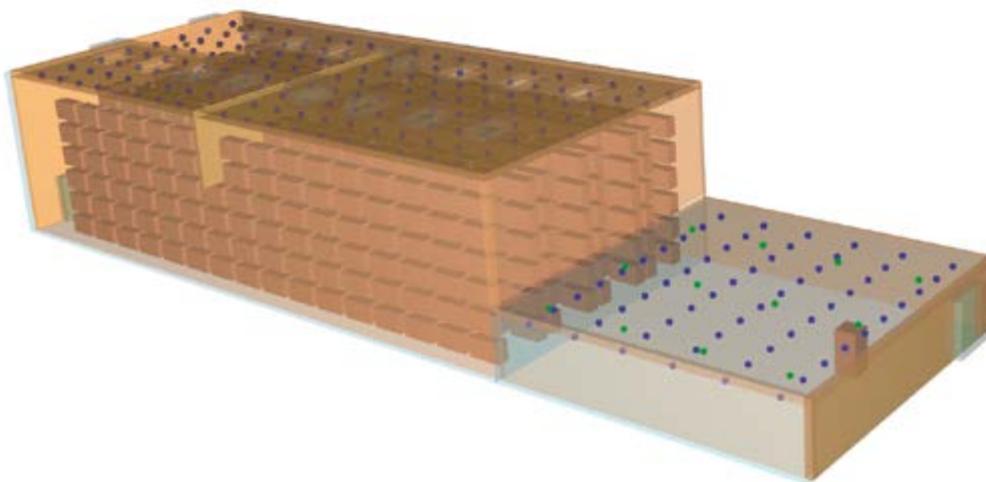
Mercancía: Los palés están representados como unidades de carga de 2,5 m (largo) x 1,0 m (ancho) x 1,5 m (alto). No hay estanterías metálicas, pero su efecto en el resultado sería mínimo.

Temperatura: Interior de -20°C identificada mediante una zona ambiental interior inicial, pero también ha sido necesario definirla en los dispositivos (rociadores) y materiales (paredes, palés), para diferenciarlos de la temperatura ambiente exterior de 20°C .

Mallado: Se ha subdividido el volumen en 8 mallas (meshes) con cubos de 0,25 m de lado para tener suficiente precisión y, al mismo tiempo, poder repartir el cálculo en 8 núcleos del ordenador (PC).

Cortes 2D: Cortes (slices) de temperatura, uno abajo (2 m de altura) y otro arriba (12 m de altura). De visibilidad, para la intervención de bomberos a 2 m de altura. Cortes de velocidades, en los planos de corte de puertas y exutorios.

Visualizaciones 3D: De temperatura y densidad óptica.



DETECCIÓN Y EXTINCIÓN:

Detección: En la zona alta está representada la detección por aspiración con sus correspondientes puntos y tiempos de transporte asociados a una única unidad ASP1. En la zona baja, los detectores de humo son puntuales.

Extinción: Se representan todos los rociadores de techo en la zona alta del tipo ESFR K240 74°C (se suponen colgantes de vela secos). El diseño de abastecimiento de agua y tuberías de rociadores contempla la activación de 12 rociadores ESFR en la zona alta.

Controles: La abertura de exutorios y puertas se produce a 300 s (5 minutos) después de la detección. No se ha alargado más en el tiempo porque todos los rociadores se activan antes, porque el humo en este momento ya ha inundado el recinto, llegando incluso a la zona baja, y para poder disponer de resultados con menor tiempo total de simulación.

TAMAÑO DEL INCENDIO:

Normalizado: Aplicando los parámetros de diseño de la norma UNE 23585, el fuego bajo debería ser de 17,5 MW y el alto de 43,8 MW.

Curva real: Cuando hay rociadores (en especial si son de supresión ESFR), los códigos prestacionales internacionales consideran que la activación del primer rociador ya tiene efectos en la curva de crecimiento del fuego y su tamaño máximo. Existen modelos para definir la reducción de la curva causada por extinción del agua y en función de la densidad del caudal de agua por superficie. Para ser conservadores, en estas simulaciones no se ha otorgado al agua descargada por los rociadores ninguna capacidad extintora, pues, en especial en casos de almacenamiento, hay muchas obstrucciones a la descarga del agua.

Modo control: Lo que sí que se ha hecho es limitar la curva de la potencia calorífica (HRR) en «modo control» en lugar de «modo supresión». Algunos establecen que, si el fuego es de crecimiento lento, la curva queda limitada a HRR (potencia calorífica) en el momento de la activación del primer rociador (CIBSE-E). Otros que, si es de crecimiento lento, recorte la potencia a 1/3 del valor. Mientras que, si es de crecimiento rápido y supera los 5 MW, quede limitada a la potencia en el momento de la activación (LUND). Otros, que la curva quede limitada al doble de la potencia calorífica en el momento de la activación del primer rociador (FINNISH VT). Otros, cuando se active el primer rociador del segundo anillo de rociadores alrededor del fuego (IFEG, SINGAPORE). Y, como límite, el fuego no puede ser mayor que el que ocasiona la activación de los rociadores del área de operación de su diseño, que son 12 en este caso (UNE 23585, anexo E.1). Este último caso es el más exigente y es hasta donde se ha llevado este estudio. Hay que tener presente que, donde la potencia calorífica es alta y el crecimiento del fuego es rápido, se activan rociadores después de haber estabilizado la curva, debido a la inercia térmica (RTI).

Rapidez de crecimiento: Se ha establecido que alcance la potencia calorífica HRR máxima a los 200 s después del inicio (lo que equivale a un tau o alfa de 0,2 - 0,3 kW/s² considerado como fuego ultrarrápido en los casos 06_4 y 10_4).

VENTILACIÓN:

Las simulaciones se han realizado con aberturas de ventilación iniciales mínimas, teniendo en consideración que se trata de recintos muy estancos por la necesidad de controlar la temperatura interior. Esto ha conllevado que las curvas de potencia calorífica HRR produzcan valores pico que sólo se estabilizan una vez se abren los exutorios.

SCTEH:

Natural: En base al cálculo realizado siguiendo la norma UNE 23585, en cada depósito de humos son necesarios 8 exutorios de 3 m x 2 m (superficie aerodinámica $3 * 2 * 0,6 = 3,6 \text{ m}^2$). Este cálculo parte de 20°C de temperatura ambiente, ya que con -20°C y su correspondiente densidad de aire de 1,4 kg/m³ el cálculo requiere de menor superficie para el mismo flujo másico. Al mismo tiempo que la abertura de los exutorios, se han abierto dos puertas en extremos opuestos de 4 m x 4 m.

En el caso 10, la única puerta se ha agrandado, ocupando toda la fachada de la pared baja 11 m x 4 m (superficie aerodinámica $11 * 4 * 0,6 = 26,4 \text{ m}^2$), para disponer de superficie aerodinámica suficiente (en igual medida que los exutorios), que representaría aireadores de pared equivalentes.

Forzada: En algunas simulaciones, la extracción del depósito de humos se ha realizado mediante extracción mecánica, con el fin de comparar los resultados con la extracción natural.

En el diseño se ha admitido la inundación de la carga con los humos hasta 1/3 de la carga almacenada (2/3 de la carga libre de humos), a tenor de lo indicado en la instrucción técnica SP 129 de Bombers de la Generalitat.

CLUSIC - CÁMARA - ROCIADORES EN TECHO - APORTACIÓN AIRE INFERIOR					
TIPO DE EXTRACCIÓN		NATURAL		FORZADA	
Temperatura ambiente	T_{amb} (°C)	20		20	
Densidad ambiente	ρ_{amb} (kg/m ³)	1,22		1,22	
Altura del techo	H (m)	14		14	
Longitud depósito humos	L (m)	51,5		51,5	
Ancho depósito humos	W_1 (m)	23,5		23,5	
Superficie en planta	S (m ²)	1.210		1.210	
Temperatura activación rociadores	T_{roc} (°C)	74		74	
Área de operación rociadores de techo	A_{roc} (m ²)	108		108	
Tasa de calor liberado	Q (kW/m ²)	250	625	250	625
Altura almacenamiento	h (m)	11,5	11,5	11,5	11,5
Ancho estantería	w (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Expansión del fuego	x (m)	2,07	2,07	2,07	2,07
Superficie del fuego	A_f (m ²)	70,07	70,07	70,07	70,07
Perímetro del fuego	P (Wf) (m)	21,56	21,56	21,56	21,56
Calor total liberado	Q_t (kW)	17.518	43.796	17.518	43.796
Calor convectivo	Q_c (kW)	14.015	35.037	14.015	35.037
Coefficiente de entrada de aire al penacho	C_e	0,188	0,188	0,188	0,188
Altura libre de humos	Y (m)	8,10	8,10	8,10	8,10
Masa de humos generada	M_t (kg/s)	93,44	93,44	93,44	93,44
Calor específico del aire	C_p (kJ/kg °K)	1,026	1,026	1,026	1,026
Incremento de temperatura de la capa de humos sin rociadores	Θ (°K)	146	365	146	365
Incremento de temperatura de la capa de humos con rociadores	Θ (°K)	54	54	62	82
Profundidad mínima de la capa de humos	d_{min} (m)		1,80	1,74	1,65
Grosor de la capa de humos	d_1 (m)		5,90	5,90	5,90
Superficie aerodinámica de entrada de aire	$A_e \cdot C_e$ (m ²)		26,69		
Superficie aerodinámica de venteo natural	$A_v \cdot C_v$ (m ²)		26,69		
Densidad del humo	ρ_{hum} (kg/m ³)		1,03	1,01	0,95
Caudal total de extracción	Vf (m ³ /s)		90,76	92,92	98,03
Flujo máximo por aireador para evitar el efecto vórtice (lejos de pared)	M_{cr1} (kg/s)		146,44		
Número mínimo de aireadores lejos de pared	N_{min}		0,6		
Flujo máximo por aireador para evitar el efecto vórtice (cerca de pared)	M_{cr2} (kg/s)		124,73		
Número mínimo de aireadores cerca de pared	N_{min}		0,7		
Largo aireador			2,6		
Ancho aireador	D_v (m)		2,2		
Diámetro equivalente aireador	D_e (m)		2,4		
Coefficiente aerodinámico del aireador	C_v		0,64		
Superficie aerodinámica del aireador natural elegido	$A_{v1} \cdot C_{v1}$ (m ²)		3,66		
Número de aireadores naturales necesarios	N_{req}		7,3		
Número de aireadores naturales elegido	N_n		8,0		
Número de aireadores de extracción forzada previstos	N_v				8,0
Distancia mínima entre aireadores	S_{min} (m)				3,2
Caudal unitario ventilador de extracción mecánica	V_v (m ³ /h)				44.115,7

VERSIÓN FDS:

Durante la realización de las simulaciones se detectó que había resultados incongruentes entre varios cálculos, descubriendo que afectaba a los realizados con la versión 6-7-5 y notificando de ello al NIST. Una vez analizado por ellos, concluyeron que se había introducido un error en el programa que afectaba el resultado del número de rociadores activados e interacción del agua con los gases calientes, de modo que la versión a utilizar debía ser la 6-7-4 o la beta de la versión 7. Es por ello que, a pesar de haber realizado muchas más simulaciones, en este escrito únicamente se muestran los resultados con la versión 6-7-4.

FDS Release Notes

Jason Floyd edited this page 20 hours ago · 224 revisions

Latest Test Bundles

The latest test bundles for FDS and Smokeview can be found here. These come with the usual disclaimer: **These bundles have passed verification testing but not validation testing.** These bundles are roughly equivalent to a maintenance release with the caveat that changes to the source worthy of a major or minor release may have been made and not yet thoroughly tested.

Upcoming (FDS 7 beta)

We have decided another maintenance release is necessary prior to FDS 7 beta. Please see below.

Known Issues with FDS 6.7.5

- A bug was introduced in FDS 6.7.5 that impacts the evaporation of droplets. In cases where the operation time of multiple sprinklers is being determined or where the cooling of gas from water droplets is being determined, it is recommended to use the latest test bundles or FDS 6.7.4.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los datos de partida:

CONDICIONES AMBIENTALES	
Temperatura exterior (°C)	20
Temperatura interior (°C)	-20
DIMENSIONES	
Largo (m)	75,5
Ancho (m)	23,5
Alto zona almacén (m)	14
Alto zona expedición (m)	5
Superficie total incluyendo paredes (m ²)	1774,25
Volumen incluyendo paredes y techo (m ³)	17387,5
SCTEH	
Dimensiones exutorio (m)	3 x 2
Número exutorios por depósito de humos	8
Superficie exutorios en un depósito (m ²)	48
Dimensiones puerta (m)	4 x 4
Superficie puertas (m ²)	32
Superficie teórica aerodinámica de salida (m ²)	28,8
Superficie teórica aerodinámica de entrada (m ²)	48

ALMACENAMIENTO	
Medida bloque producto (m)	1 x 2,5 x 1,5
Densidad producto (kg/m ³)	700
Calor específico producto (kJ/kg °K)	1,8
Conductividad térmica producto (W/m °K)	0,1
Superficie total caras producto (m ²)	15,5
Poder calorífico combustible (MJ/kg)	25
Fórmula química	C _{5,41} H _{10,57} O _{1,53}
Fracción CO	0,014
Fracción hollín	0,038
PAREDES Y TECHO	
Densidad aislamiento (kg/m ³)	300
Espesor aislamiento (m)	0,5
Calor específico aislamiento (kJ/kg °K)	0,8
Conductividad térmica aislamiento (W/m °K)	0,0215
DETECCIÓN DE INCENDIO	
Tipo	Humos
Número puntuales	12
Número unidades de aspiración	1
Número orificios	24
Tiempo máximo transporte (s)	109
Superficie media vigilancia por detector - orificio (m ²)	50
ROCIADORES AUTOMÁTICOS	
ZONA ALMACENAMIENTO	
Tipo	ESFR
Temperatura activación (°C)	74
K (l/min bar ^{0.5})	320
RTI (m/s) ^{0.5}	26
Caudal por rociador (l/min)	673,5
Cantidad	160
Área por rociador (m ²)	7,7
ZONA EXPEDICIÓN	
Tipo	Pulverizador
Temperatura activación (°C)	68
K (l/min bar ^{0.5})	115
RTI (m/s) ^{0.5}	110
Caudal por rociador (l/min)	115
Cantidad	60
Área por rociador (m ²)	9

C.4. Discusión de los resultados

En las siguientes tablas aparece un resumen de los resultados de las simulaciones, con dos depósitos de humos y con uno sólo:

Resultados simulaciones con dos depósitos de humos.

Número depósitos	2						
SIMULACIÓN	06_4	12_4	13_F4	07_4	16_4	16_F4	15_4
Cantidad depósito de humos	2	2	2	2	2	2	2
Tasa calor (kW/m ²)	625	250	300	250	300	300	625
Número bloques incendiados	1	3	3	5	6	6	5
Potencia calorífica teórica (MW)	9,7	11,6	14,0	19,4	27,9	27,9	48,4
Potencia calorífica simulada (MW)	8,1	10,4	12,3	18	25,7	23,6	57
Rapidez de crecimiento fuego, Alfa (kW/s ²)	0,203	0,260	0,308	0,450	0,643	0,590	1,425
Número de rociadores activados	1	2	2	5	17	15	48
Tiempo de detección (s)	41	40	40	37	36	36	35
Tiempo actuación primer rociador (s)	147	127	121	97	86	86	70
Tiempo actuación último rociador (s)	147	220	191	295	697	761	372
Tiempo abertura exutorios (s)	341	340	310	307	336	336	335
Tiempo visibilidad 10 m a 2 m (s)	1.000	-	980	-	-	1.100	-
Altura humos mínima (m)	4,5	3,9	2,3	2,7	1,3	0,82	2,1
Altura humos estabilizada (m)	7,3	6,3	12,4	4,5	11,0	12,3	4,9
Temperatura humos estabilizada (°C)	28	28	31	43	54	29	61
Flujo entrada/salida humos (kg/s)	53	58	104	66	39	92	131
Renovaciones/h	9,0	9,8	17,8	11,7	7,2	15,6	24,6

15_4: Entra aire por el depósito de humos sobre el incendio y salen humos por todas las demás aberturas. Se activan 37 rociadores antes de abrir exutorios (superando el área de diseño de los rociadores) y, luego, otros 11 después de abrirlos.

16_4: Es la situación límite, pues se activan >12 rociadores (13 antes de abrir los exutorios a los 336 s y otros 4 después). También entra aire por los exutorios del depósito de humos sobre el incendio y salen humos por el resto de aberturas.

16_F4: Se activan 13 rociadores antes de abrir la ventilación a los 336 s y otros 2 después de manera muy retardada.

Puntos a destacar:

1. Los casos que incluyen F son con extracción forzada. El resto son con extracción natural.
2. Dos depósitos de humos: Caso menor: Con 1 bloque de producto y una tasa de calor de 625 kW/m² (caso 06_4) se alcanza una potencia calorífica de 8,1 MW y se activa un único rociador. Al ser el caso con menor potencia calorífica de los analizados, se ha representado gráficamente más adelante para mostrar el efecto de los humos fríos que es más notorio.
3. Un depósito de humos: Caso menor: Con 2 bloques de producto y una tasa de calor de 250 kW/m² (caso 10_4) se alcanza una potencia calorífica de 7,1 MW y se activan 2 rociadores (se trata de un recinto con la mitad del volumen y, por consiguiente, es lógico que se caliente antes).

Resultados simulaciones con dos depósitos de humos.

SIMULACIÓN	10_4_O	10_F4
Cantidad depósito de humos	1	1
Tasa calor (kW/m ²)	250	250
Número bloques incendiados	2	2
Potencia calorífica teórica (MW)	7,8	7,8
Potencia calorífica simulada (MW)	7,1	7,1
Rapidez de crecimiento fuego, Alfa (kW/s ²)	0,178	0,178
Número de rociadores activados	1	1
Tiempo de detección (s)	77	77
Tiempo actuación primer rociador (s)	170	170
Tiempo actuación último rociador (s)	170	170
Tiempo abertura exutorios (s)	377	377
Tiempo visibilidad 10 m a 2 m (s)	>2.000	420
Altura humos mínima (m)	2,1	0,9
Altura humos estabilizada (m)	4,0	2,1
Temperatura humos estabilizada (°C)	23	18
Flujo entrada/salida humos (kg/s)	31	112
Renovaciones/h	8,5	30,2

4. Dos depósitos de humos: Aumentando la potencia calorífica a 10,4 MW, 12,3 MW y 18 MW (casos 12_4, 13_F4 y 07_4), únicamente se activan de 2 a 5 rociadores. Para activar al menos el número de rociadores previstos en el área de operación conforme a su diseño, que son 12, hay que subir la potencia calorífica a 24-25 MW (casos 16_4 y 16_F4), unas tres veces por encima de la que activa un único rociador (8,1 MW).

5. Los casos 12_4, 07_4, 10_4_O y 15_4 se detuvieron para proseguir con otras simulaciones antes de haber alcanzado visibilidad adecuada para intervención de bomberos (de ahí el signo - o >).

6. El flujo másico de humo calculado por la norma UNE 23585 de 93,4 kg/s que podría generar el incendio y, por ende, debería ser capaz de extraer el SCTEH, no se alcanza con la extracción natural. El flujo másico calculado por la norma únicamente se consigue mediante la extracción forzada en todos los casos.

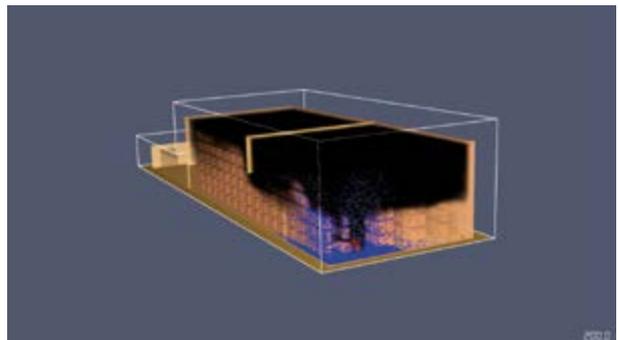
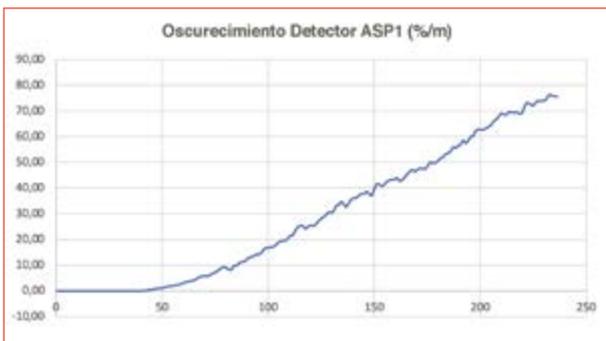
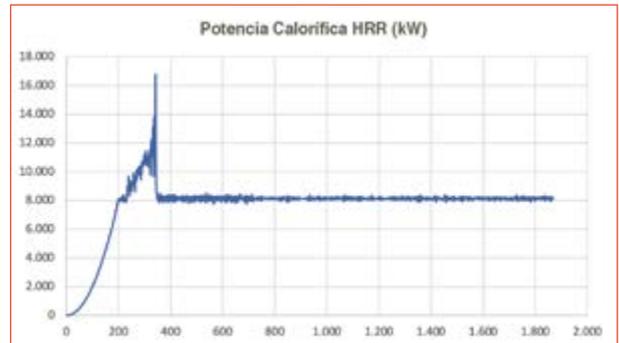
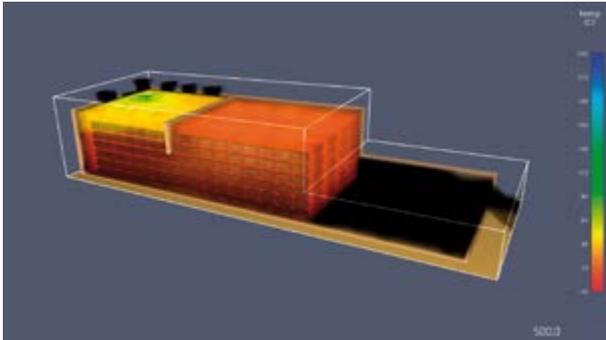
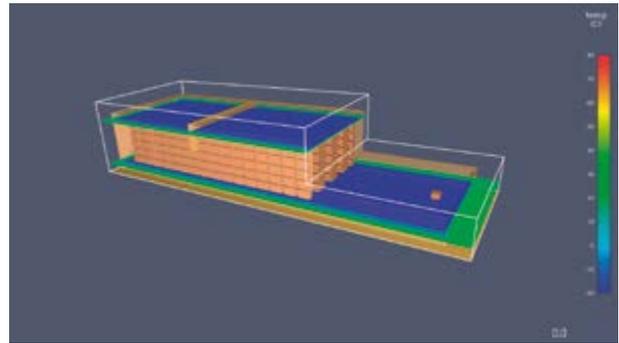
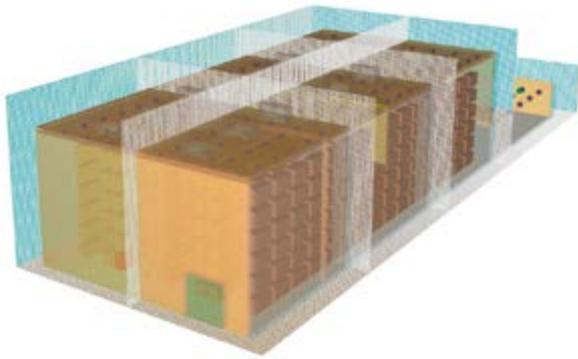
7. El tiempo para alcanzar una visibilidad suficiente para la intervención de bomberos se reduce cuando se utiliza extracción forzada en contraposición a la natural.

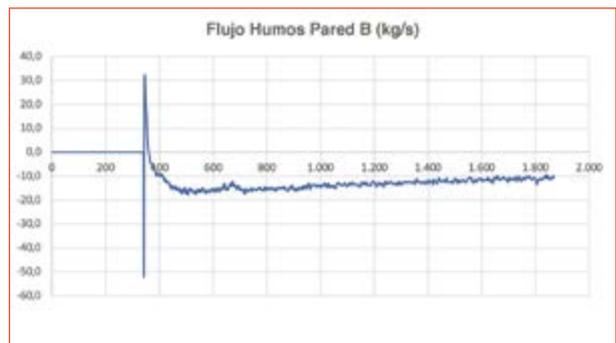
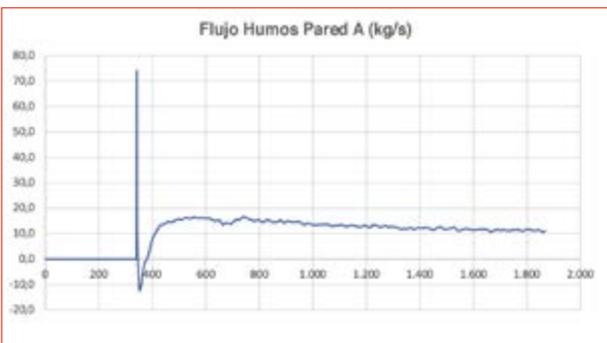
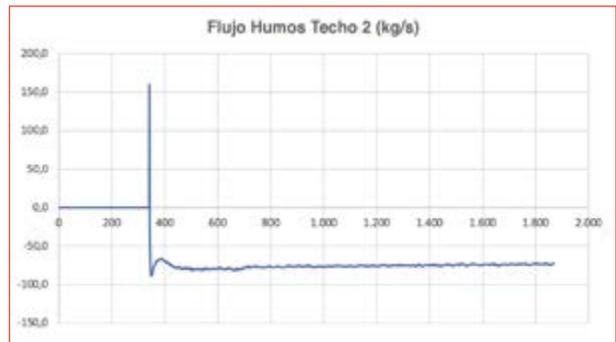
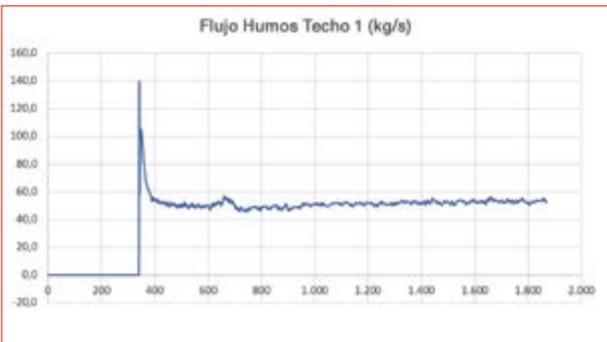
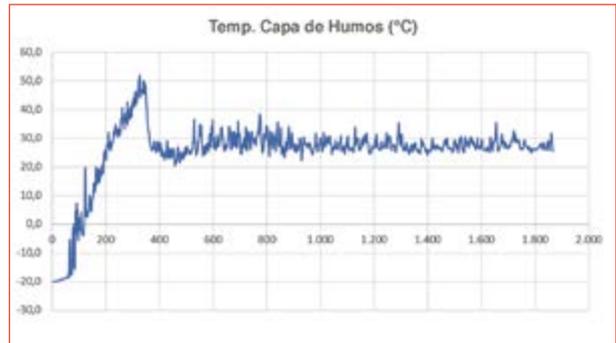
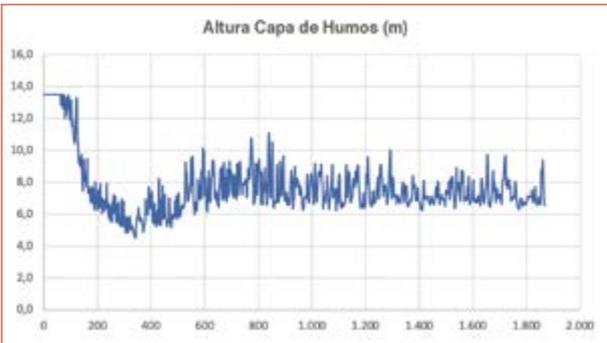
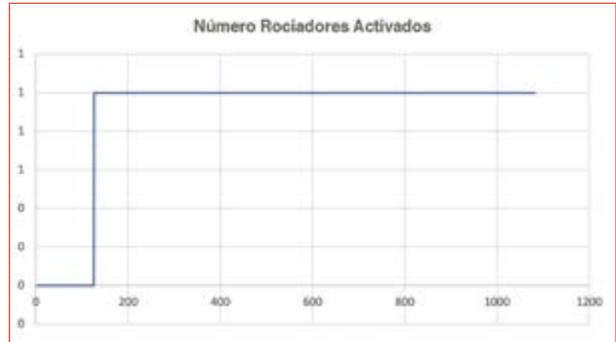
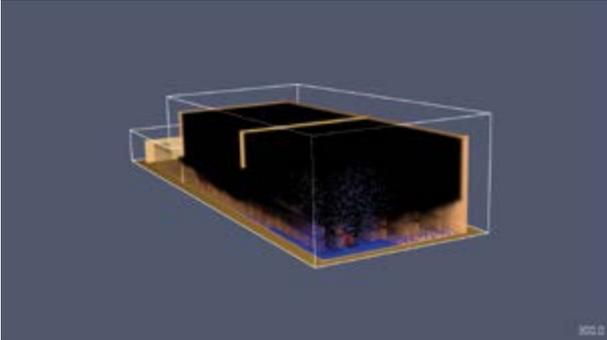
8. El tiempo para alcanzar una visibilidad suficiente para la intervención de bomberos es elevado y puede no alcanzarse con ventilación natural. Comparando los casos de similar potencia calorífica 06_4 y 10_4, se concluye que en una cámara de menor volumen y un solo depósito de humos resulta más difícil que se limpien los humos una vez se ha llenado el recinto con humo.

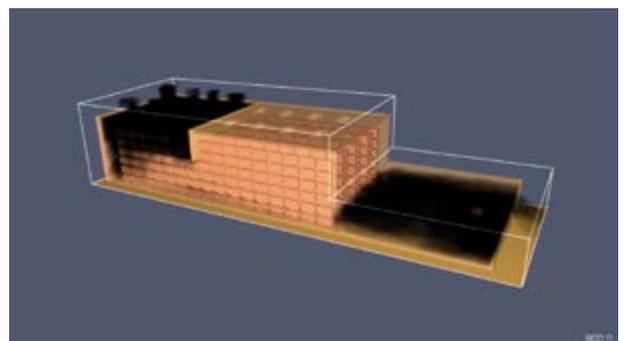
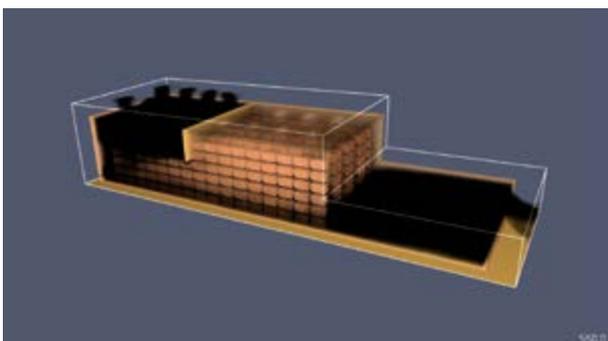
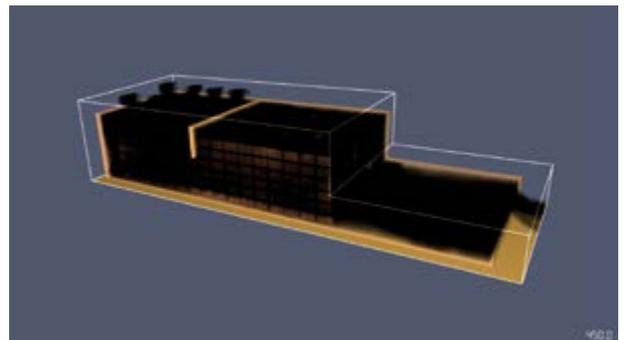
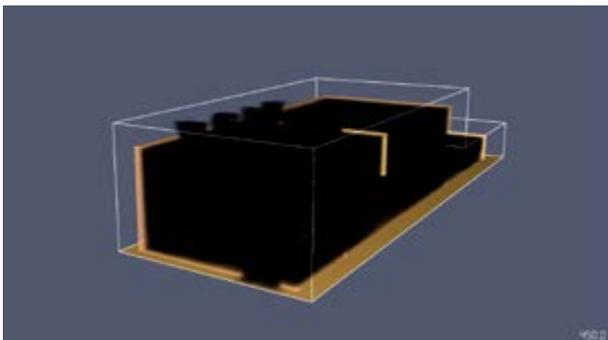
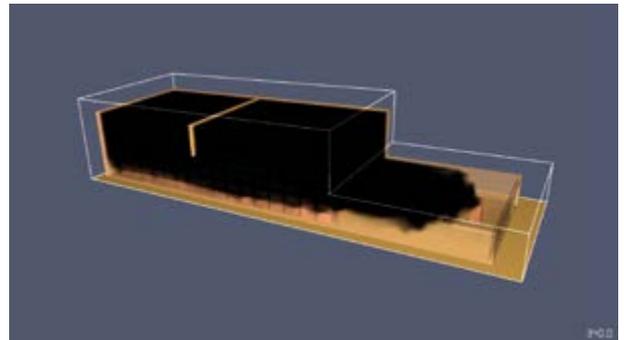
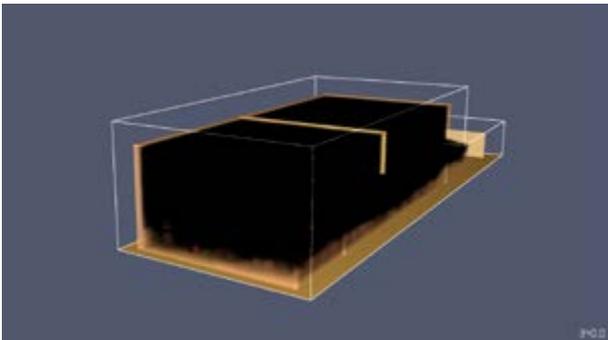
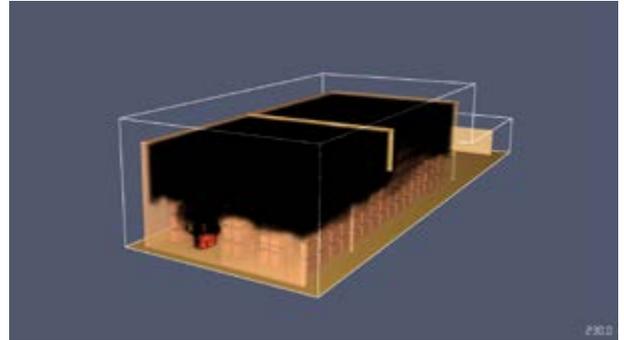
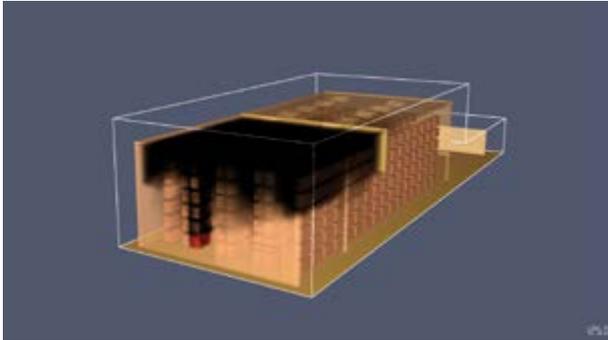
9. Se produce acumulación de humos fríos en la parte inferior del recinto. La altura de capa de humos el programa la determina en base a diferencia de temperatura y no a oscurecimiento, por lo que los valores indicados de altura de humos en las gráficas deben leerse con esa premisa.

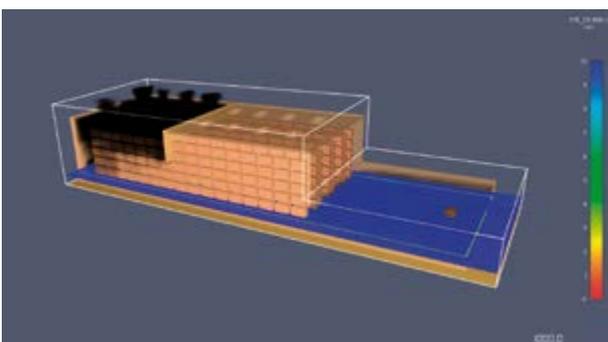
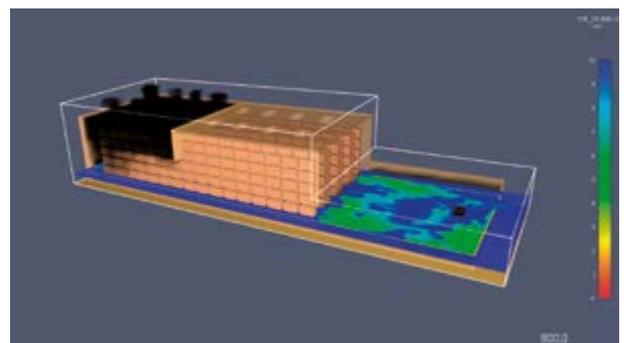
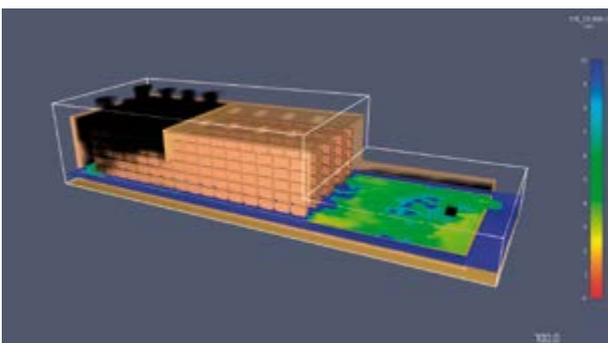
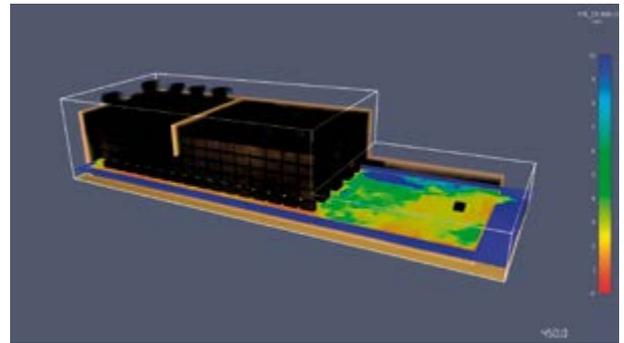
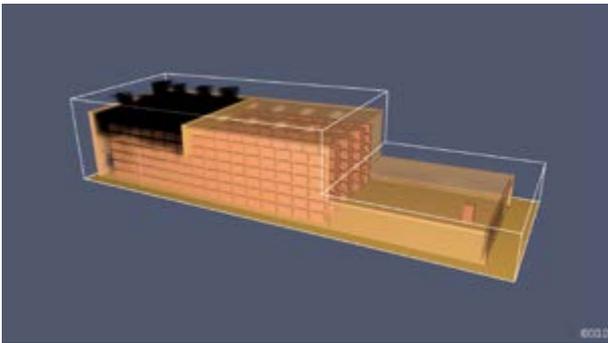
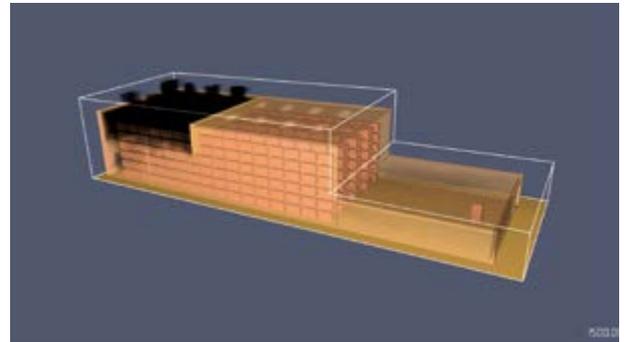
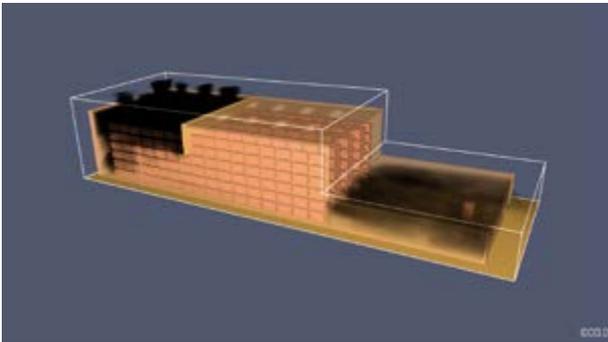
10. Se produce salida de humos fríos por las puertas. En lugar de actuar únicamente como entradas de aire, sale humo por la parte inferior de las puertas y entra aire por la parte superior que se dirige hacia los exutorios. Eso hace más difícil la limpieza del humo a nivel del suelo.

CÁMARA 06_4 (dos depósitos de humos)

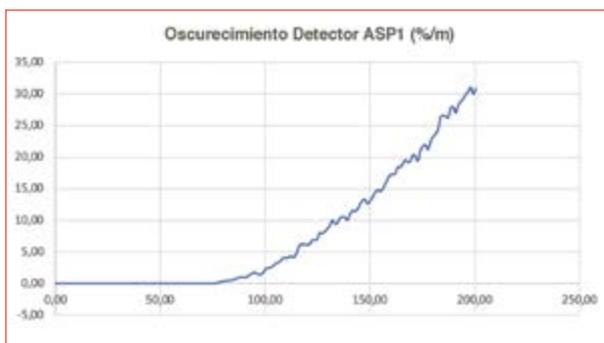
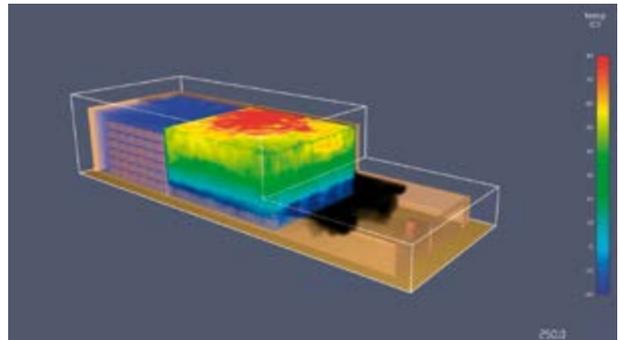
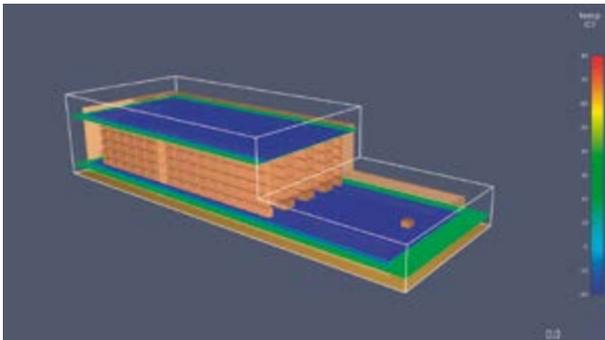
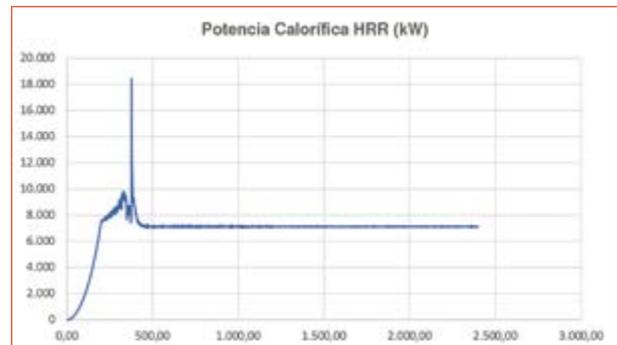
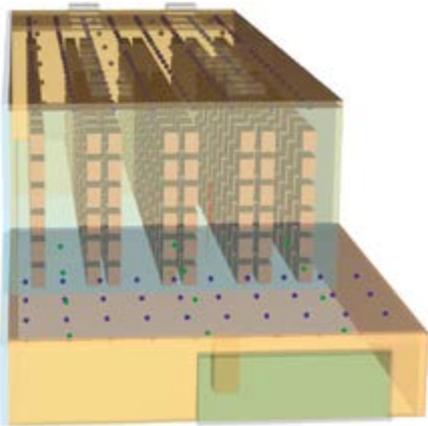


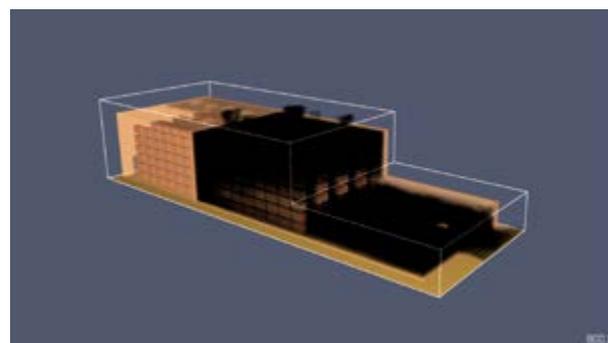
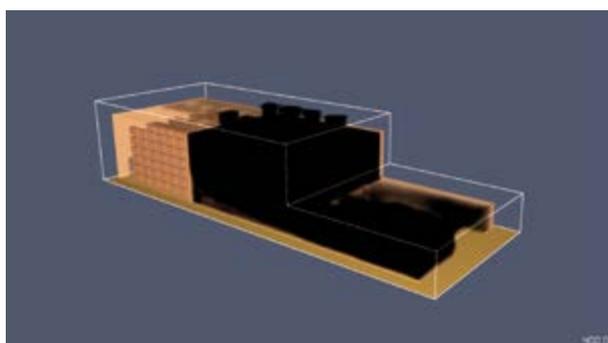
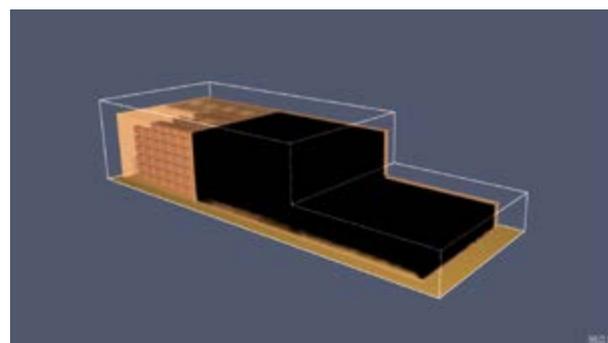
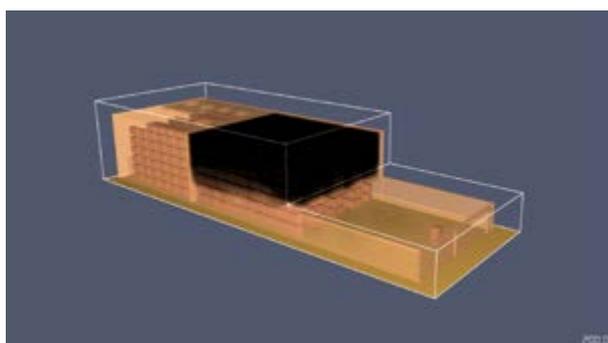
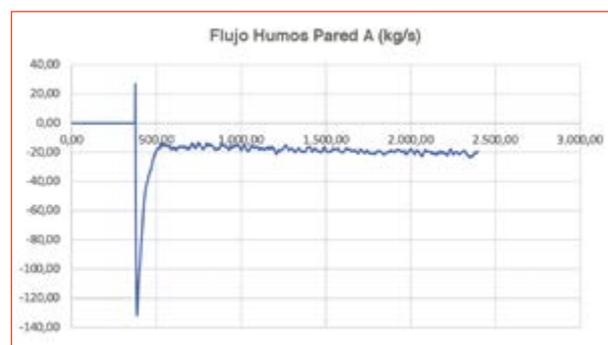
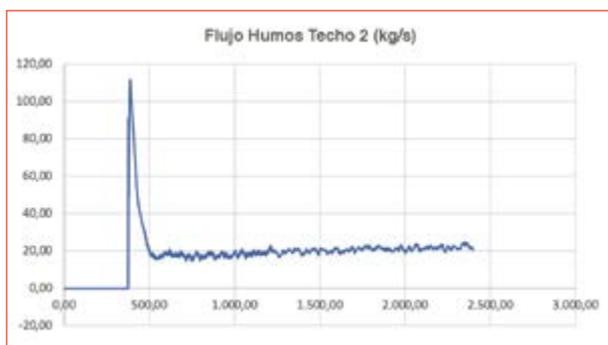
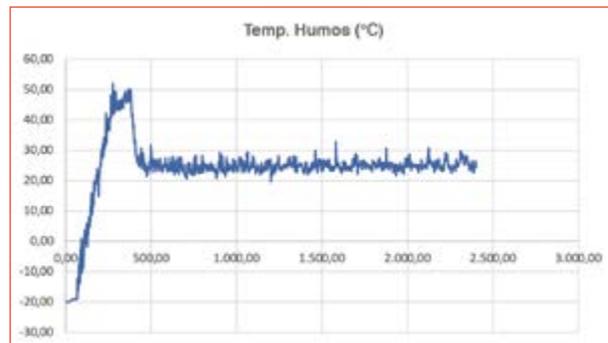


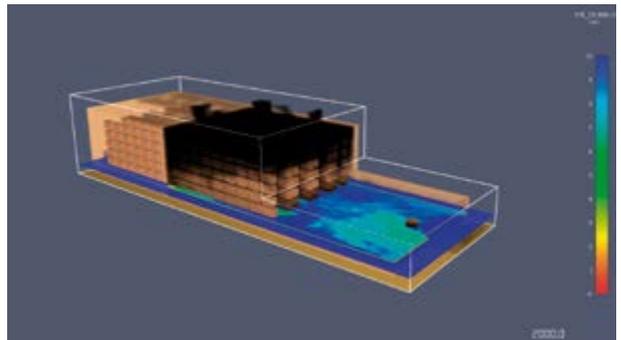
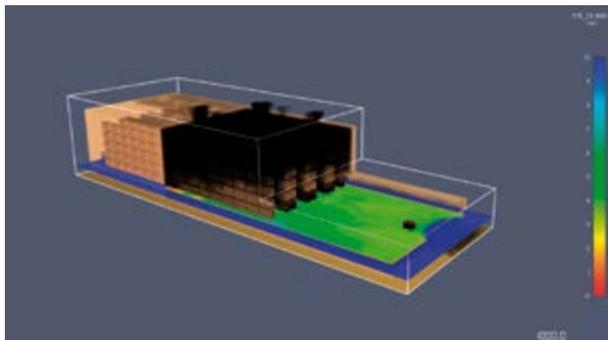
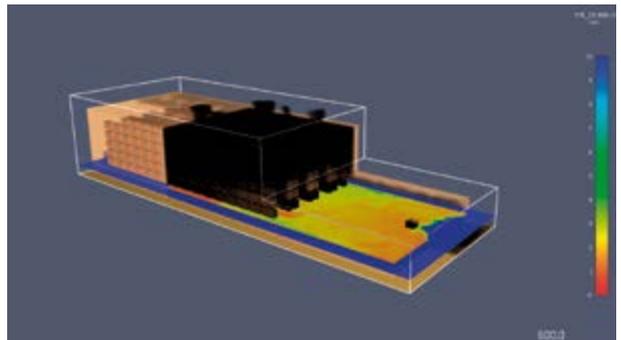
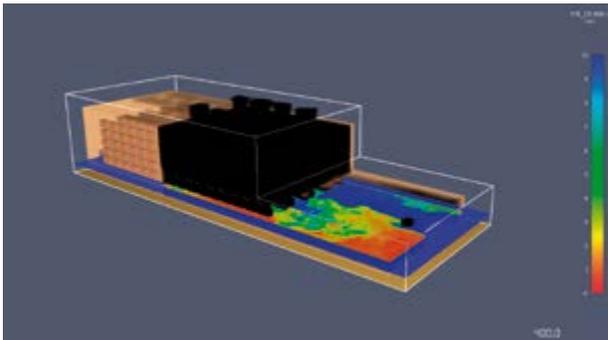
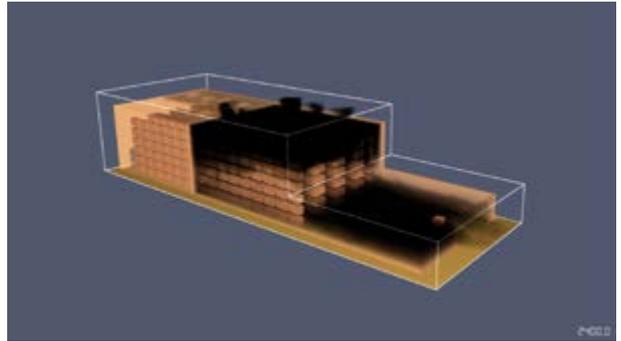
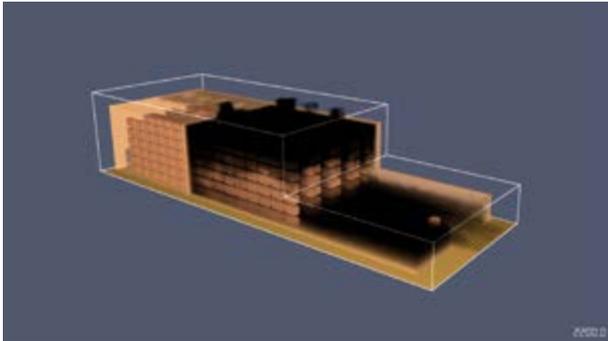
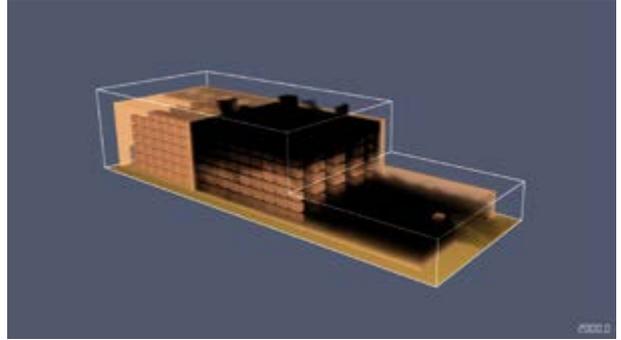
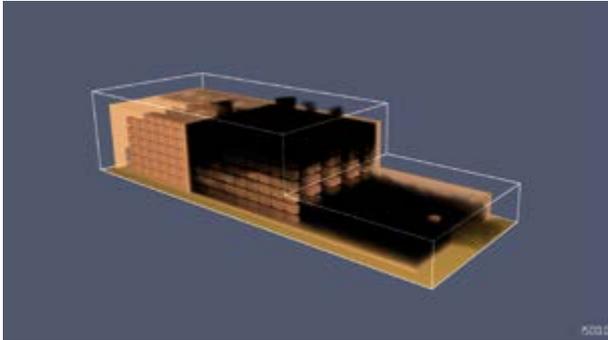


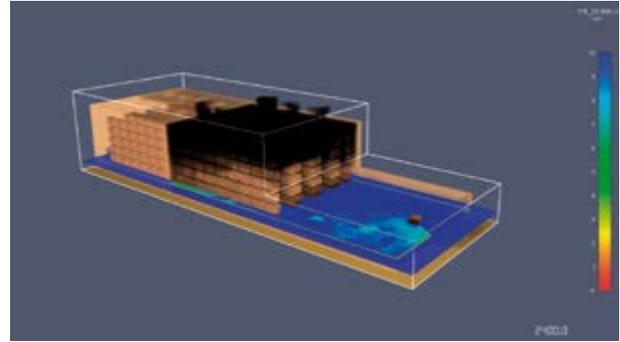
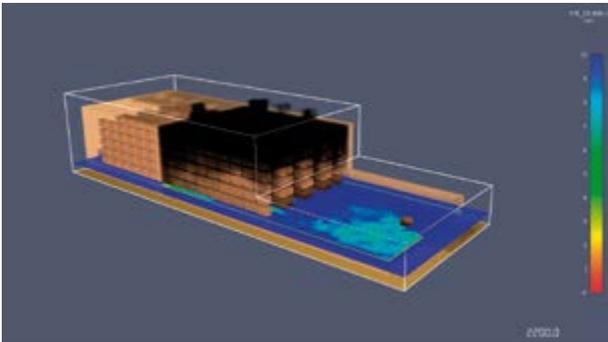


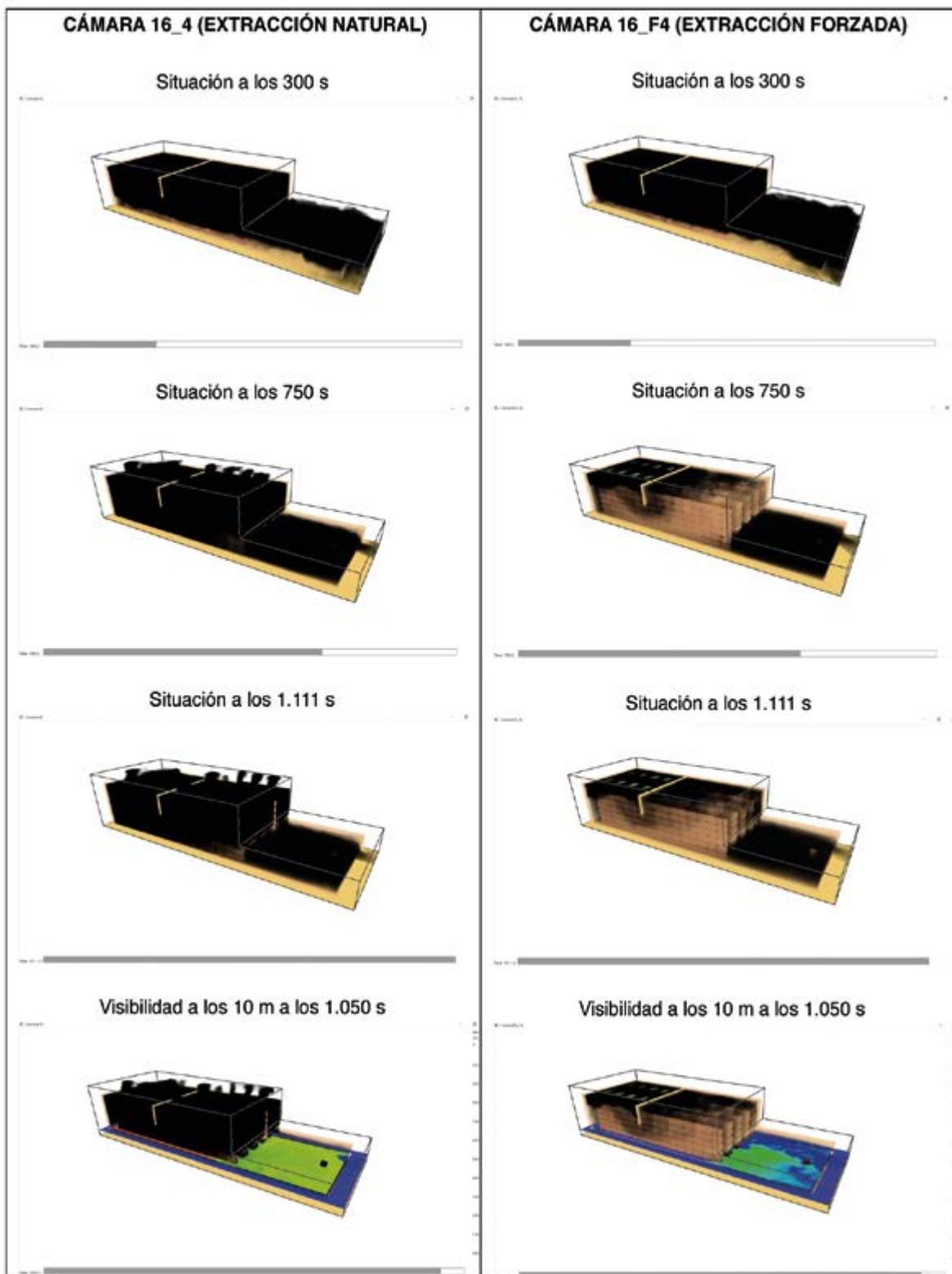
CÁMARA 10_4 (un depósito de humos)

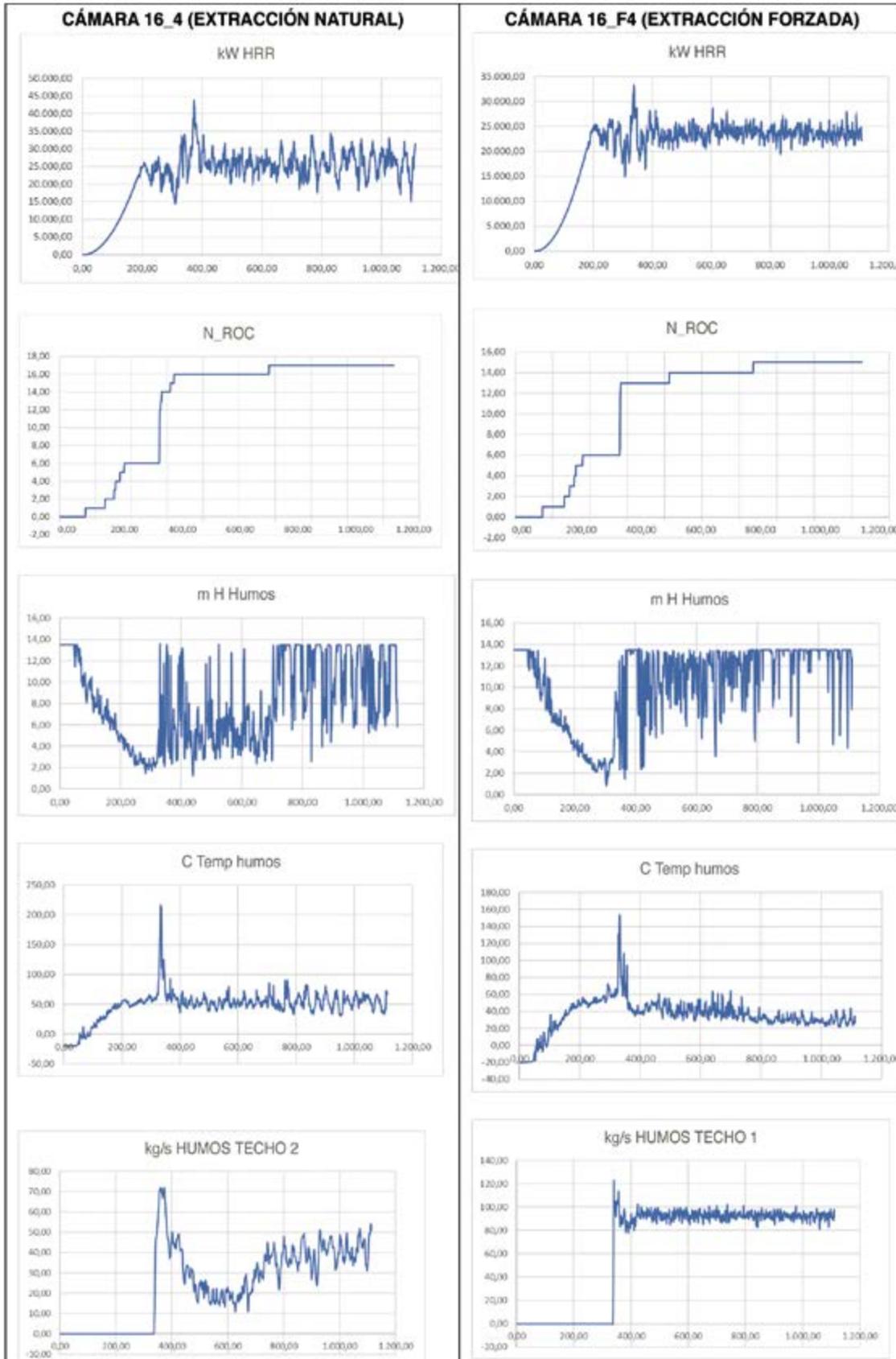








COMPARATIVA DE LOS CASOS MÁS EXIGENTES POR POTENCIA CALORÍFICA MÁXIMA



C.5. Conclusiones

A bajas temperaturas, el tiempo para alcanzar una visibilidad suficiente para la intervención de bomberos se incrementa por la dificultad en limpiar los humos fríos que se acumulan a nivel del suelo.

El tiempo para alcanzar una visibilidad suficiente para la intervención de bomberos se reduce cuando se utiliza extracción forzada en contraposición a la natural.

El fuego, con su aportación calorífica, calienta inevitablemente los humos más allá de la temperatura exterior, y mientras no se apaga con los rociadores los calienta lo suficiente como para facilitar su salida por los exutorios, pero menos que con el diferencial térmico mínimo de 20°C requerido por la norma UNE 23585 respecto a la temperatura exterior.

La baja temperatura de la cámara tiene un efecto notorio en la cantidad de rociadores que se activan. Si en condiciones normales la potencia calorífica que activa todos los rociadores del área de diseño equivale aproximadamente al doble de la que se necesita para activar un solo rociador, en las condiciones de frío intenso se necesita al menos triplicar la potencia calorífica para conseguirlo (de 8 a 24 MW, en este caso).

La potencia calorífica de diseño de la norma UNE 23585 en los casos con rociadores automáticos está sobredimensionada, por lo que la generación de humos real es previsiblemente inferior a la de la norma (44 MW contra 25 MW, en este caso, que es cuando se activan los rociadores del área de diseño).

Se produce acumulación de humos fríos en la parte inferior del recinto.

Se produce salida de humos fríos por las puertas. En lugar de actuar únicamente como entradas de aire limpio, salen humos por la parte inferior de las puertas y entra aire por la parte superior que se dirige hacia los exutorios. Eso hace más difícil la limpieza del humo a nivel del suelo.

Realizar el diseño según los criterios de cálculo de la norma UNE 23585 no aporta suficiente ventilación para el caso con protección con rociadores en extracción natural, por lo que hay que dar suficiente tiempo para la limpieza de los humos con valores que podrían asemejarse a extracción del humo tras el incendio o desenfumaje, según el RIPCI (2 a 10 renovaciones/h).

La temperatura de los humos es netamente inferior a la teórica que establece la norma UNE 23585, basada en la temperatura de activación de los rociadores, por lo que la validez de las ecuaciones de la norma en las que interviene como parámetro dicha temperatura puede quedar comprometida; en particular, el dimensionado de la superficie aerodinámica de evacuación de humos que se basa en la fuerza ascensional (y, por tanto, en la temperatura) de los humos. La determinación del caudal de extracción mecánica no se vería comprometida al ser necesario un mayor caudal de extracción para una temperatura elevada que para una temperatura baja.

Es por ello por lo que el caudal másico de salida de humos visto en las simulaciones resulta muy inferior al calculado según la norma UNE 23585 para los casos de ventilación natural. Los valores en las simulaciones son del 50% o inferiores a los de la norma. Mientras que para los casos de ventilación forzada se introdujo en el modelo el caudal volumétrico calculado según norma y los valores de flujo másico de humos son muy parecidos entre la norma y las simulaciones.

Clúster de Seguretat Contra Incendis
Via Laietana, 39
08003 Barcelona

info@clusterincendis.com
T. 935125637
www.clusterincendis.com

