



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UN CENTRO LOGÍSTICO BASADO EN PRESTACIONES

Autor: Lander Urarte Emaldi

Directores: Luis Manuel Mochón Castro y Pablo Ayala Santamaría

Madrid

Junio 2026

Declaración de originalidad

Declaro bajo mi responsabilidad que el Proyecto presentado con el título **Diseño del sistema de protección contra incendios de un centro logístico basado en prestaciones** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2025-2026** es de mi autoría y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Uso de Inteligencia Artificial¹

Declaro bajo mi responsabilidad que (indicar la opción correcta):

- ☐ No he utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento.
- ☒ He utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento y/o del Anexo B siempre en las condiciones permitidas por la Universidad Pontificia Comillas, es decir, aplicando el Nivel 2 de la [Escala de Evaluación de Perkins et al. \(2024\)](#): *“La IA puede utilizarse para actividades previas a la tarea, como la lluvia de ideas, la descripción y la investigación inicial. Este nivel se centra en el uso de la IA para la planificación, las síntesis y la generación de ideas, pero las evaluaciones deben hacer hincapié en la capacidad de desarrollar y refinar estas ideas de forma independiente”*. En concreto, la Inteligencia Artificial ha sido empleada para:

Se han utilizado herramientas de inteligencia artificial como apoyo a la redacción de la memoria, principalmente para mejorar el estilo de textos previamente elaborados por el estudiante y adaptar su extensión con un lenguaje más técnico y académico. Todo el contenido generado ha sido posteriormente revisado, corregido y validado por el estudiante, que asume la responsabilidad íntegra sobre el contenido final del trabajo. La inteligencia artificial no se ha utilizado para generar resultados, cálculos, simulaciones, análisis ni conclusiones del trabajo, sino exclusivamente como herramienta de apoyo a la redacción y edición del documento.

¹ Esta declaración se refiere al uso de la Inteligencia Artificial generativa para realizar los documentos del Proyecto (Anexo B y Memoria). No aplica a Proyectos donde, por su naturaleza, deban emplear inteligencia artificial como parte de los mismos (aplicación de técnicas de aprendizaje automático, redes neuronales, análisis de datos...)

Nombre: Lander Urarte Emaldi
Fdo: 
Fecha: 25/06/2026

Autorización para la entrega del Proyecto

Directores del Proyecto	
Nombre: Luis Manuel Mochón Castro	Nombre: Pablo Ayala Santamaría
Fdo: 	Fdo. 
Fecha:	Fecha:



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UN CENTRO LOGÍSTICO BASADO EN PRESTACIONES

Autor: Lander Urarte Emaldi

Directores: D.Luis Manuel Mochón y D.Pablo Ayala Santamaría

Madrid

Junio 2026

RESUMEN DEL PROYECTO

Los centros logísticos modernos presentan unas características constructivas y operativas que hacen que sea difícil la aplicación directa de los requisitos prescriptivos que son establecidos por la normativa de protección contra incendios. La elevada superficie de los recintos, las grandes alturas de almacenamiento y los extensos recorridos de evacuación hacen que, en muchos casos, las soluciones convencionales de sectorización resulten incompatibles con las necesidades reales de la instalación. Ante esta situación, el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI) permite adoptar soluciones alternativas siempre que se justifique un nivel de seguridad equivalente o superior al exigido reglamentariamente.

El presente Trabajo Fin de Máster desarrolla el diseño y evaluación de una solución alternativa de protección contra incendios para una plataforma logística de 16.000 m² ubicada en Madrid. La propuesta consiste en sustituir la sectorización tradicional por un único sector de incendio, un sistema natural de control y evacuación de humos basado en exutorios de cubierta y aportación de aire de reposición mediante muelles de carga y portones de acceso. El objetivo principal es verificar si esta solución es capaz de mantener unas condiciones de seguridad adecuadas para la protección de los ocupantes, facilitar la intervención de los servicios de emergencia y limitar los daños sobre la propiedad.

Para ello, se ha aplicado una metodología de Diseño Basado en Prestaciones (Performance-Based Design), siguiendo los principios establecidos en la norma UNE-ISO 23932 [1] y en la guía técnica de aplicación del RSCIEI [2]. Este enfoque permite evaluar el comportamiento real del edificio frente al incendio a través de herramientas avanzadas de ingeniería del fuego. Se trata de sustituir la mera comprobación de requisitos prescriptivos por el análisis cuantitativo del cumplimiento de objetivos de seguridad.

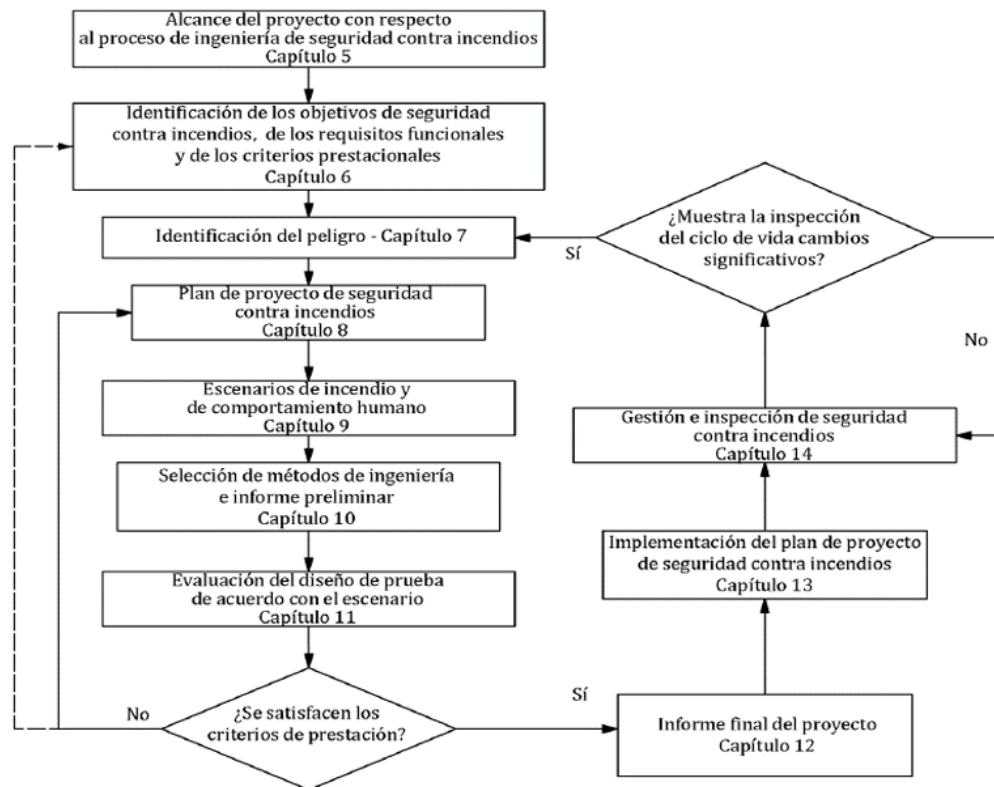


Figura 1: Proceso de ingeniería de seguridad contra incendios.

La metodología desarrollada se estructuró en tres fases principales, tal y como se puede estructurar la Figura 1. En primer lugar, se identificaron los riesgos asociados a la actividad logística y se caracterizaron los incendios de diseño más representativos. Posteriormente, se seleccionaron los escenarios de incendio considerados más desfavorables para evaluar el comportamiento del sistema de control de humos. Finalmente, se realizaron simulaciones numéricas mediante Fire Dynamics Simulator (FDS), herramienta CFD desarrollada por el National Institute of Standards and Technology (NIST), validada para aplicaciones de ingeniería de seguridad contra incendios.

Con objeto de representar las condiciones más exigentes previsibles, se definieron dos escenarios de incendio. El primero corresponde a un incendio localizado en una zona de almacenamiento convencional, mientras que el segundo representa un incendio en almacenamiento en altura, considerado el escenario más severo debido a la elevada potencia térmica desarrollada y a la mayor dificultad para controlar la acumulación de humos. En ambos casos se modelizó la evolución temporal de la potencia térmica liberada, el movimiento de los productos de la combustión y la interacción entre el incendio y el sistema de ventilación natural.

La evaluación del nivel de seguridad se realizó mediante la verificación de criterios prestacionales asociados a tres objetivos fundamentales: protección de los ocupantes, apoyo a la intervención de los equipos de emergencia y protección de la propiedad. Para ello se analizaron parámetros como la temperatura de la capa de humos, la visibilidad y temperatura en las rutas de evacuación, la concentración de gases de combustión y las condiciones existentes en los recorridos de intervención de los bomberos.

La Tabla 1 recoge de forma resumida los criterios prestacionales adoptados, los límites de aceptación establecidos y los resultados obtenidos para el escenario analizado. Como puede observarse, todos los criterios evaluados satisfacen ampliamente los requisitos de seguridad definidos para la protección de los ocupantes, la intervención de los equipos de emergencia y la protección de la propiedad.

Criterio prestacional	Límite prestacional	Escenario A	Cumple
Protección de los ocupantes			
Análisis de la temperatura bajo techo	Temperatura ≤ 200 °C	105 °C	✓
Análisis de la visibilidad en la ruta de evacuación	Visibilidad ≥ 10 m	30 m	✓
Análisis de la temperatura en la ruta de evacuación	Temperatura ≤ 60 °C	17 °C	✓
Análisis de la concentración de oxígeno	Concentración de O ₂ ≥ 15 % vol.	20.76 % vol.	✓
Análisis de la concentración de dióxido de carbono	Concentración de CO ₂ ≤ 30000 ppm	386 ppm	✓
Análisis de la concentración de monóxido de carbono	Concentración de CO ≤ 6000 ppm	9.50 ppm	✓
Apoyo a la intervención en caso de incendio			
Análisis de las medidas de protección	Sistema de control de humos operativo y conforme al diseño	Cumple	✓
Análisis de las condiciones de los bomberos (ruta de intervención)	Temperatura ≤ 60 °C Visibilidad ≥ 10 m	17 °C 30 m	✓
Protección de la propiedad			
Análisis de la temperatura bajo techo	Temperatura ≤ 200 °C	105 °C	✓

Tabla 1: Resumen de los resultados y verificación de los criterios prestacionales para el escenario A.

Los resultados obtenidos muestran que, durante la fase inicial del incendio, los productos de la combustión ascienden por efecto de la flotabilidad y se acumulan bajo la cubierta del edificio. Sin embargo, una vez activado el sistema de control de humos, se establece un flujo natural de ventilación que favorece la evacuación de los gases calientes a través de los exutorios y la entrada de aire limpio por las aberturas inferiores. Este mecanismo permite mantener una estratificación estable de la capa de humos y limitar su descenso hacia las zonas ocupadas.

Desde el punto de vista de la protección de los ocupantes, los resultados obtenidos muestran que todos los parámetros analizados cumplen holgadamente los límites prestacionales establecidos. Las condiciones de temperatura, visibilidad y calidad del aire en las rutas de evacuación permanecen dentro de rangos compatibles con una evacuación segura durante todo el desarrollo del incendio.

En relación con la intervención de los servicios de emergencia, las rutas de acceso al foco del incendio mantienen unas condiciones adecuadas de temperatura y visibilidad. Aunque la capa de humos se concentra en las zonas superiores del recinto, las condiciones existentes a baja altura permiten el desplazamiento y la actuación de los equipos de emergencia de forma segura.

Respecto a la protección de la propiedad, las temperaturas alcanzadas bajo cubierta permanecen significativamente por debajo del límite prestacional establecido. Este comportamiento evidencia la capacidad del sistema de control de humos para limitar la acumulación de gases calientes, reduciendo el riesgo de propagación del incendio y los daños potenciales sobre la estructura y los bienes almacenados.

De forma global, los resultados obtenidos demuestran que la solución prestacional propuesta satisface los criterios de seguridad establecidos para los escenarios analizados. El sistema natural de control de humos permite conservar unas condiciones ambientales adecuadas para la evacuación de los ocupantes, facilita la intervención de los servicios de emergencia y contribuye a la protección de la propiedad frente a los efectos del incendio. Por lo tanto, puede concluirse que la alternativa basada en un único sector de incendio y un sistema de control de humos adecuadamente dimensionado constituye una solución técnicamente viable para el centro logístico estudiado.

Palabras clave

Ingeniería de seguridad contra incendios, Diseño Basado en Prestaciones, Control de humos, Fire Dynamics Simulator (FDS), Centros logísticos, Simulación CFD, Protección contra incendios.

Abstract

Modern logistics centres present constructional and operational characteristics that make the direct application of prescriptive fire safety requirements particularly challenging. Their large floor areas, high storage heights, and long evacuation travel distances often render conventional compartmentation solutions incompatible with the actual operational needs of the facility. In response to this situation, the Spanish Regulation on Fire Safety in Industrial Establishments (RSCIEI) permits the adoption of alternative solutions, provided that an equivalent or higher level of safety than that required by the regulations can be demonstrated.

This Master's Thesis develops the design and evaluation of an alternative fire protection strategy for a 16,000 m² logistics platform located in Madrid. The proposed solution replaces traditional fire compartmentation with a single fire compartment combined with a natural smoke and heat exhaust ventilation system consisting of roof smoke vents and replacement air supplied through loading docks and access doors. The main objective is to verify whether this solution can maintain adequate safety conditions for occupant protection, facilitate emergency response operations, and limit property damage.

To achieve this objective, a Performance-Based Design (PBD) methodology was applied following the principles established in UNE-ISO 23932 [1] and the technical guidance for the application of the RSCIEI [2]. This approach evaluates the actual fire performance of the building using advanced fire engineering tools, replacing the traditional verification of prescriptive requirements with a quantitative assessment of fire safety objectives.

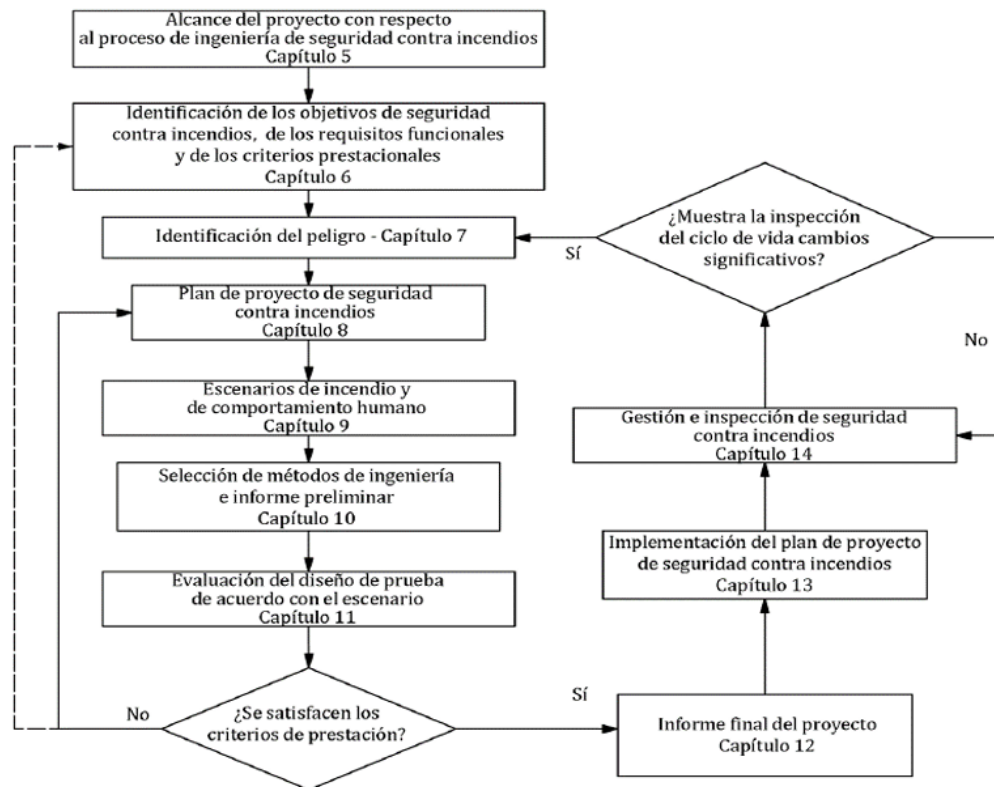


Figura 2: Fire safety engineering process.

The adopted methodology was structured into three main phases, as illustrated in Figura 2. First, the fire hazards associated with the logistics activities were identified, and the most representative design fires were defined. Subsequently, the most critical fire scenarios were selected to assess the performance of the smoke control system. Finally, numerical simulations were carried out using Fire Dynamics Simulator (FDS), a Computational Fluid Dynamics (CFD) tool developed by the National Institute of Standards and Technology (NIST) and widely validated for fire safety engineering applications.

To represent the most demanding foreseeable conditions, two fire scenarios were defined. The first corresponds to a fire occurring in a conventional storage area, whereas the second represents a fire involving high-rack storage, considered the most severe scenario due to its higher heat release rate and the increased difficulty of controlling smoke accumulation. In both cases, the temporal evolution of the heat release rate, the movement of combustion products, and the interaction between the fire and the natural ventilation system were modelled.

The level of safety was assessed by verifying performance criteria associated with three fundamental objectives: occupant protection, support for emergency response operations, and property protection. The analysis included parameters such as smoke layer temperature, visibility and temperature along evacuation routes, combustion gas concentrations, and environmental conditions along firefighters' access routes.

Tabla 2 summarises the adopted performance criteria, the corresponding acceptance limits, and the results obtained for the analysed scenario. As shown, all evaluated criteria comfortably satisfy the safety requirements established for occupant protection, emergency response, and property protection.

Performance criterion	Performance limit	Scenario A	Complies
Occupant protection			
Ceiling smoke layer temperature	Temperature ≤ 200 °C	105 °C	✓
Visibility along evacuation route	Visibility ≥ 10 m	30 m	✓
Temperature along evacuation route	Temperature ≤ 60 °C	17 °C	✓
Oxygen concentration	O ₂ concentration $\geq 15\%$ vol.	20.76% vol.	✓
Carbon dioxide concentration	CO ₂ concentration $\leq 30,000$ ppm	386 ppm	✓
Carbon monoxide concentration	CO concentration $\leq 6,000$ ppm	9.50 ppm	✓
Support for emergency response			
Assessment of protection measures	Smoke control system operational and compliant with the design	Complies	✓
Firefighter intervention route	Temperature ≤ 60 °C; Visibility ≥ 10 m	17 °C; 30 m	✓
Property protection			
Ceiling smoke layer temperature	Temperature ≤ 200 °C	105 °C	✓

Tabla 2: Summary of results and verification of performance criteria for Scenario A.

The simulation results show that, during the initial stage of the fire, combustion products rise due to buoyancy and accumulate beneath the roof of the building. However, once the smoke control system is activated, a natural ventilation flow is established, promoting the exhaust of hot gases through the roof vents while allowing fresh air to enter through the lower openings. This mechanism maintains a stable smoke layer stratification and prevents smoke from descending into occupied areas.

From the perspective of occupant protection, the results demonstrate that all analysed parameters remain well within the established performance limits. Temperature, visibility, and air quality along evacuation routes remain compatible with safe evacuation throughout the entire fire development.

Regarding emergency response, the access routes to the fire location maintain acceptable temperature and visibility conditions. Although the smoke layer accumulates beneath the roof, environmental conditions at lower elevations remain suitable for the safe movement and intervention of firefighting personnel.

With respect to property protection, the temperatures reached beneath the roof remain significantly below the prescribed performance limit. This behaviour demonstrates the capability of the smoke control system to limit the accumulation of hot gases, thereby reducing the risk of fire spread and minimising potential damage to both the building structure and the stored goods.

Overall, the results demonstrate that the proposed performance-based solution satisfies the established fire safety objectives for the analysed scenarios. The natural smoke control system maintains tenable environmental conditions for occupant evacuation, facilitates emergency response operations, and contributes to property protection against the effects of fire. It can therefore be concluded that the proposed alternative, based on a single fire compartment combined with an appropriately designed natural smoke control system, constitutes a technically viable solution for the logistics centre under study.

Keywords

Fire Safety Engineering, Performance-Based Design, Smoke Control, Fire Dynamics Simulator (FDS), Logistics Centres, Computational Fluid Dynamics (CFD), Fire Protection.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

Capítulo 1. Introducción	7
1.1. Antecedentes	7
1.2. Motivación	8
1.3. Objetivos y alcance	9
1.4. Metodología.....	11
Capítulo 2. Fundamentos de los incendios en espacios interiores	13
2.1. Fenomenología del incendio en recintos cerrados	13
2.2. Particularidades de los incendios en centros logísticos.....	15
2.3. Marco normativo aplicable	16
Capítulo 3. Enfoque de análisis de la seguridad contra incendios.....	20
3.1. Enfoque prescriptivo.....	20
3.2. Diseño basado en prestaciones (DBP)	21
3.2.1. Objetivos del diseño basado en prestaciones	23
3.2.2. Requisitos funcionales	24
3.2.3. Criterios prestacionales	24
Capítulo 4. Identificación de los riesgos.....	27
4.1. Riesgos internos	27
4.1.1. Base teórica DETACT-T2.....	31
4.2. Riesgos externos.....	34
Capítulo 5. Plan de proyecto de seguridad contra incendios	35
Capítulo 6. Escenarios de incendio y de comportamiento humano.....	37
6.1. Selección de los escenarios de incendio	37
Capítulo 7. Selección de los métodos de ingeniería	39
Capítulo 8. Resultados de la simulación: Escenario A	40
8.1. Descripción del escenario	40
8.2. Evolución de la potencia del incendio	41
8.3. Funcionamiento del sistema de control de humos	42
8.4. Verificación de los criterios prestacionales	45
8.4.1. Protección de los ocupantes	46

8.4.2.	Apoyo a la intervención en caso de incendio	51
8.4.3.	Protección de la propiedad	54
8.4.4.	Discusión de resultados	55
Capítulo 9.	Escenario B: Incendio en almacenamiento en altura.....	58
9.1.	Descripción del escenario	58
9.2.	Evolución de la potencia del incendio	58
9.3.	Funcionamiento del sistema de control de humos	59
9.4.	Verificación de los criterios prestacionales	62
9.4.1.	Protección de los ocupantes	62
9.4.2.	Apoyo a la intervención en caso de incendio	67
9.4.3.	Protección de la propiedad	69
9.4.4.	Discusión de resultados	70
Capítulo 10.	Conclusiones y líneas futuras	72
Capítulo 11.	Bibliografía	78
Apéndice A.	Cálculo del sistema de control de humos.....	80
A.1.	Sistema de control de humos.....	80
Apéndice B.	Simulaciones de incendio	83
B.1.	Fire Dynamics Simulator	83
B.2.	Caracterización del incendio	83
B.3.	Geometría del recinto	84
B.4.	Mallado	86
B.5.	Instrumentación virtual	90
B.6.	Archivo FDS escenario A	92
B.7.	Archivo FDS escenario B.....	109
Apéndice C.	Tiempo requerido para la evacuación (RSET).....	127
Apéndice D.	Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de ingeniería de seguridad contra incendios.	I
Figura 2: Fire safety engineering process.....	I
Figura 3: Plataforma logística.	7
Figura 4: Proceso de ingeniería de seguridad contra incendios.	11
Figura 5: Ejemplo visual de un incendio interior [4].	13
Figura 6: Curva de evolución de la temperatura [4].....	13
Figura 7: Esquema de incendio en fase de crecimiento [4].....	14
Figura 8: Esquema de incendio en fase de pleno desarrollo [4].....	14
Figura 9: Esquema de incendio en fase de decaimiento [4].	15
Figura 10: Metodología de análisis del Diseño Basado en Prestaciones [18].	22
Figura 11: Matriz de probabilidad / daño [18].	23
Figura 12: Representación de las curvas de los incendios de diseño.	31
Figura 13: Planta del centro logístico.....	36
Figura 14: Escenarios de incendio más significativos.....	38
Figura 15: Evolución de la HRR del escenario A.	41
Figura 16: Evolución del movimiento de los humos y funcionamiento del sistema de control de humos en el escenario A (100 s, 200 s, 300 s, 400 s, 500 s, 600 s, 700 s, 800 s y 875 s).	45
Figura 17: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario A.....	46
Figura 18: Distribución de la visibilidad en las rutas de evacuación para el escenario A.....	47
Figura 19: Distribución de temperaturas en las rutas de evacuación para el escenario A.....	48
Figura 20: Distribución de la concentración de oxígeno en las rutas de evacuación para el escenario A.....	49
Figura 21: Concentración de dióxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario A. .	50
Figura 22: Concentración de monóxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario A.	51
Figura 23: Distribución de temperaturas en las rutas de intervención para el escenario A.....	53
Figura 24: Distribución de la visibilidad en las rutas de intervención para el escenario A.....	53
Figura 25: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario A.....	54
Figura 26: Evolución de la HRR del escenario B.	59
Figura 27: Evolución del movimiento de los humos y funcionamiento del sistema de control de humos en el escenario B (100 s, 200 s, 300 s, 350, 400 s y 450 s).....	61

Figura 28: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario B.....	62
Figura 29: Distribución de la visibilidad en las rutas de evacuación para el escenario B.....	63
Figura 30: Distribución de temperaturas en las rutas de evacuación para el escenario B.....	64
Figura 31: Distribución de la concentración de oxígeno en las rutas de evacuación para el escenario B.....	65
Figura 32: Concentración de dióxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario B. .	66
Figura 33: Concentración de monóxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario B.....	67
Figura 34: Distribución de temperaturas en las rutas de intervención para el escenario B.....	68
Figura 35: Distribución de la visibilidad en las rutas de intervención para el escenario B.....	68
Figura 36: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario B.....	69
Figura 37: Mallas principales del recinto para el escenario A.	87
Figura 38: Mallas exteriores para el escenario A.	87
Figura 39: Mallas de refinamiento del incendio para el escenario A.	88
Figura 40: Mallas principales del recinto para el escenario B.	89
Figura 41: Mallas exteriores para el escenario B.	89
Figura 42: Mallas de refinamiento del incendio para el escenario B.	90
Figura 43: Ejemplo de los puntos donde se realizan las medidas de temperatura en el escenario A.....	91
Figura 44: Ejemplo de los planos 2D para realizar las medidas de temperatura en el escenario A.	91
Figura 45: Ejemplo de los puntos donde se realizan las medidas de temperatura en el escenario B.....	92
Figura 46: Ejemplo de los planos 2D para realizar las medidas de temperatura en el escenario B.	92

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de los resultados y verificación de los criterios prestacionales para el escenario A.	I
Tabla 2: Summary of results and verification of performance criteria for Scenario A.	I
Tabla 3: Velocidades de crecimiento de incendio t-cuadrado.	28
Tabla 4: Evaluación de la activación de los rociadores.	29
Tabla 5: Dimensionamiento del sistema prestacional.	36
Tabla 6: Resumen de los resultados y verificación de los criterios prestacionales para el escenario A.	57
Tabla 7: Resumen de los resultados y verificación de los criterios prestacionales para el escenario B.	71
Tabla 8: Dimensionamiento del sistema prestacional.	82
Tabla 9: Parámetros empleados.	84
Tabla 10: Resumen del mallado empleado en el escenario A.	86
Tabla 11: Mallas de refinamiento del escenario A.	87
Tabla 12: Resumen del mallado empleado en el escenario B.	88
Tabla 13: Mallas de refinamiento del escenario B.	89
Tabla 14: Parámetros adoptados para hallar el RSET.	128

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Se quiere construir una plataforma logística, ubicada en la Calle de la Pirotecnia, 28052 Madrid. El complejo estará formado por un edificio de 16000 m², tal y como se muestra en la Figura 3.

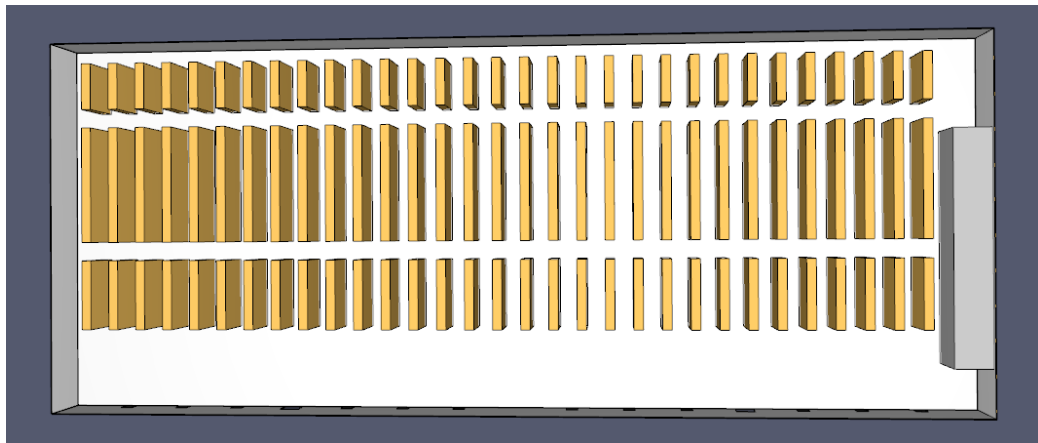


Figura 3: Plataforma logística.

De acuerdo con el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI), los establecimientos industriales se han diseñado con un nivel de riesgo intrínseco Medio 5 y contará con una configuración TIPO C.

Los recorridos de evacuación previstos, que alcanzan hasta 70 metros, exceden el máximo de 50 metros establecido por el RSCIEI. Asimismo, los sectores de incendio del edificio supera la superficie máxima de 3.125 m² indicada en dicha normativa.

Para justificar una solución de seguridad contra incendios que encaje con las características de la plataforma logística, este trabajo se centrará únicamente en un enfoque basado en prestaciones, sin abordar una solución basada en la normativa RSCIEI.

Se parte del artículo 1.b del Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales, que permite adoptar prácticas de seguridad alternativas. Estas podrán aplicarse siempre y cuando se obtenga un nivel de seguridad equivalente o mayor al exigido por normativa, es decir,

que se mantengan unas condiciones adecuadas para limitar daños y facilitar una intervención segura de los equipos de emergencia. Para ello, se emplearán criterios y métodos obtenidos de normas y guías de diseño reconocidas y aplicables al ámbito de la ingeniería de seguridad contra incendios.

La solución planteada consiste en realizar un único sector de incendio e incorporar un sistema avanzado de control de humos. Este sistema se va a basar en la creación de un único depósito de humos sin cortinas de sectorización y una aportación de aire de reposición a baja cota mediante los muelles de carga y los portones de acceso de vehículos.

De este modo, el trabajo se centrará en la justificación técnica y prestacional de dicha alternativa, evaluando su comportamiento y el nivel de seguridad alcanzado.

1.2. MOTIVACIÓN

La prevención y lucha contra los incendios de los centros logísticos es un factor importante en la construcción y explotación de esta clase de instalaciones por varias razones. Específicamente, centros logísticos presentan un conjunto de peculiaridades en términos tanto constructivos como funcionales. En particular, en comparación con otros tipos de edificaciones industriales, los centros logísticos tienen grandes espacios y un recorrido interno bastante largo en un espacio limitado. Así, la propagación del fuego y el movimiento de los humos serán rápidos. Este factor hace que sea más complicado controlar el incendio en la etapa temprana y que sea más complicada la evacuación de personas.

También se deben tener en cuenta las características que pueden tener este tipo de instalaciones como la existencia de una elevada carga de fuego. El almacenamiento masivo de mercancías que se guardan en palets y cuyos materiales son altamente combustibles como cartón, plásticos o embalajes sintéticos aumentan significativamente lo que puede causar un incendio. Además, en muchos centros logísticos se tienen elevadas alturas de almacenamiento, dando lugar a incendios de gran potencia térmica y a una estratificación compleja de los humos. Esto puede causar unas condiciones desfavorables desde el punto de vista de la seguridad humana y la estabilidad estructural.

Un punto que suele pasarse por alto es la necesidad de mantener la actividad de las instalaciones en marcha. En un centro logístico, cualquier incendio provoca daños materiales pero también se pueden paralizar operaciones, generar retrasos y afectar a clientes y proveedores. Al final, el impacto

económico puede ser elevado. Es por eso que la protección contra incendios no debería verse sólo como un trámite legal, sino como una decisión estratégica para asegurar que la instalación sea resistente y pueda seguir funcionando incluso ante imprevistos como el fuego.

El enfoque prescriptivo del Código Técnico de la Edificación, y, en concreto, del Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (CTE-SI), muestra ciertas limitaciones cuando se aplica a centros logísticos con características que no son habituales. Estas soluciones basadas en el CTE-SI están pensadas para edificios estándar y no siempre encajan bien en naves de gran volumen, instalaciones automatizadas o incluso en configuraciones que no son comunes. En almacenes con sistemas de almacenamiento que poseen altas densidades, seguir al pie de la letra los requisitos prescriptivos puede quedarse corto para garantizar un nivel de seguridad realista. También puede suceder lo contrario, que se obligue a adoptar medidas sobredimensionadas que no se corresponden con los riesgos específicos del edificio.

Ante estas limitaciones, el Diseño Basado en Prestaciones se convierte en una opción útil para estudiar la seguridad contra incendios en centros logísticos. Este enfoque da la posibilidad de dejar atrás la aplicación estricta de soluciones estándar y centrarse en cómo se comporta realmente el edificio ante escenarios de incendio. Gracias a herramientas avanzadas de simulación, como FDS, es posible analizar de forma cuantitativa la evolución del fuego, el movimiento de los humos e incluso las condiciones que influyen en la evacuación y en la intervención de los equipos de emergencia. Todo ello facilita comprobar si se alcanzan los objetivos de seguridad que se han definido para la instalación.

1.3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster es evaluar, mediante un enfoque de Diseño Basado en Prestaciones, el comportamiento ante el fuego de un gran centro logístico y analizar la eficacia de una solución alternativa de control de humos basada en un único sector de incendio. Para ello, se estudiará la evolución del fuego, el movimiento del humo y las condiciones ambientales generadas en diversos escenarios representativos, con el fin de verificar si el diseño propuesto permite un nivel de seguridad adecuado para los ocupantes y para la intervención de los equipos de emergencia.

A continuación, se detallan los objetivos y tareas específicos que se llevarán a cabo para su desarrollo.

Objetivo O1. Definir y modelizar escenarios de incendio representativos del centro logístico:

Tarea T1.1. Caracterización de la carga de fuego y de la configuración del almacenamiento en el centro logístico.

Tarea T1.2. Selección del tipo de curva de crecimiento del incendio (t^2 lento, medio, rápido o ultrarrápido) en función de los materiales almacenados.

Tarea T1.3. Definición del incendio de diseño (HRR, tiempo de crecimiento y condiciones de actuación o no de los rociadores).

Tarea T1.4. Identificación de los escenarios más desfavorables para la evacuación y para la intervención.

Tarea T1.5. Configuración del modelo geométrico, materiales y condiciones de contorno en la herramienta de simulación CFD.

Objetivo O2. Analizar el comportamiento del humo y las condiciones ambientales mediante simulación CFD:

Tarea T2.1. Simulación de los escenarios de incendio definidos mediante herramienta CFD.

Tarea T2.2. Evaluación de la evolución de la capa de humo en el recinto.

Tarea T2.3. Evaluación de las condiciones de visibilidad en las zonas ocupadas y rutas potenciales de circulación.

Tarea T2.4. Evaluación de las condiciones térmicas en la zona ocupada.

Objetivo O3. Evaluar la eficacia del sistema de control de humos:

Tarea T3.1. Análisis del funcionamiento del sistema de control de humos.

Tarea T3.2. Evaluación de la temperatura y visibilidad en el entorno del foco de incendio.

Tarea T3.3. Verificación de las condiciones necesarias para una intervención segura por parte de los equipos de emergencia.

1.4. METODOLOGÍA

En este informe se realiza el análisis del nivel de seguridad del centro logístico mediante la aplicación de la metodología de la norma UNE-ISO 23932 [1] conforme a las indicaciones de la guía técnica de aplicación del RSCIEI [2], con el objetivo de comprobar si el diseño proyectado permite alcanzar un nivel de seguridad adecuado.

Esta metodología está basada en poner a prueba la solución prestacional ante los escenarios de incendio más perjudiciales, con el fin de evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos marcados.

Se considerará que la solución permite alcanzar un nivel de seguridad adecuado cuando ésta satisface los criterios prestacionales con un margen de seguridad coherente.

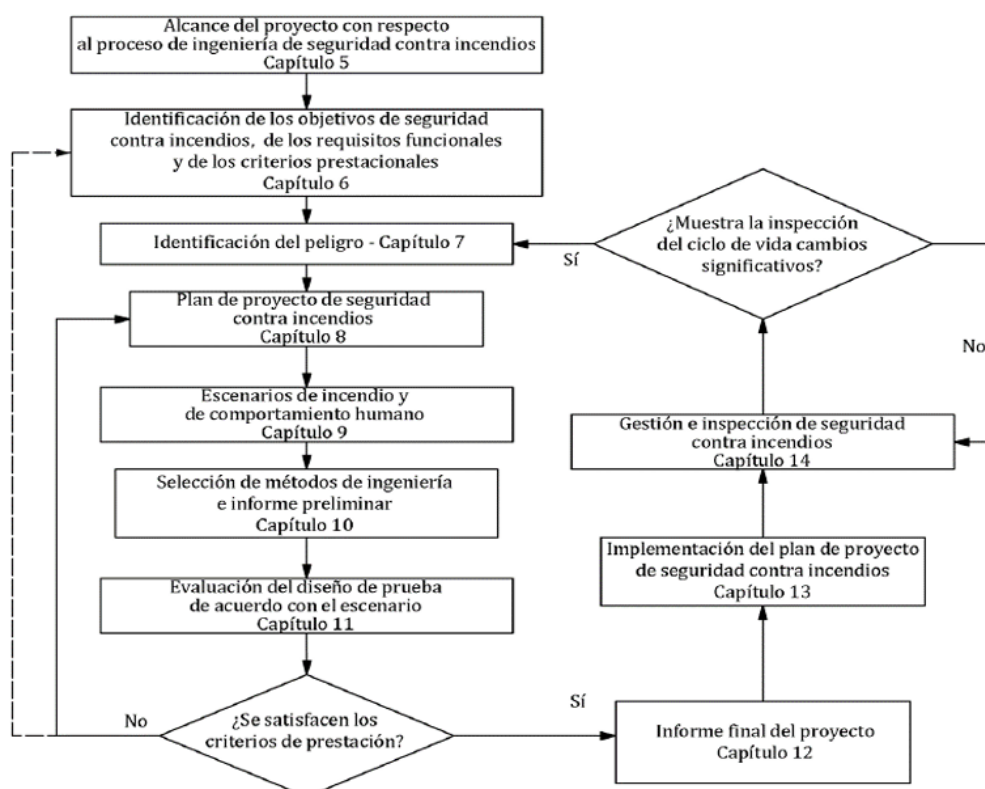


Figura 4: Proceso de ingeniería de seguridad contra incendios.

La evaluación de los diseños de prueba se realizará mediante la simulación de los escenarios de incendio más perjudiciales con la herramienta de cálculo computacional Fire Dynamics Simulator (en adelante, FDS) [3], desarrollada por el NIST (National Institute of Standards and Technology) y

validada ampliamente por la comunidad internacional para este tipo de aplicaciones de ingeniería del fuego.

Capítulo 2. FUNDAMENTOS DE LOS INCENDIOS EN ESPACIOS INTERIORES

2.1. FENOMENOLOGÍA DEL INCENDIO EN RECINTOS CERRADOS

Un incendio de interior, de acuerdo con [4], es un fuego que progresa de manera no controlada dentro de un espacio limitado, en el que no se produce una disipación libre del calor ni un intercambio libre de fluidos, ya sean los gases generados por la combustión o el aire de aportación, con el exterior. No obstante, este tipo de incendios puede tener aperturas al exterior, tal y como se muestra en Figura 5.

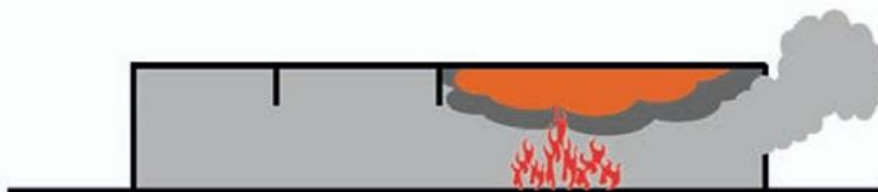


Figura 5: Ejemplo visual de un incendio interior [4].

El incendio se desarrolla en tres fases bien diferenciadas, crecimiento, pleno desarrollo y decaimiento y se muestra a través de la curva de evolución de la temperatura (Figura 6).



Figura 6: Curva de evolución de la temperatura [4].

- Fase de crecimiento

Un incendio comienza cuando la temperatura del punto de ignición alcanza el nivel requerido para iniciar el proceso químico de combustión, provocando una reacción entre las moléculas libres y otras más atómicas. De allí, el calor se expande hacia los productos combustibles a través de la radiación. El aire caliente también promueve una corriente de convección, que eleva el fuego sobre el foco, transportándolo hacia las zonas superiores. Durante este primer instante del incendio, su fuerza no es grande y la expansión es lenta. Para que los materiales próximos al foco estén preparados para los procesos de descomposición, son necesarios aportes de energía suficientes para provocar la pirólisis de sus compuestos orgánicos. Estos procesos resultan más rápidos conforme el incendio avanza y su intensidad aumenta. Se muestra un diagrama de esta fase del incendio en la Figura 7.

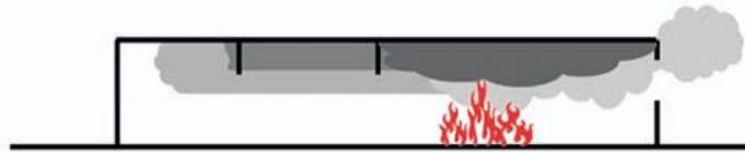


Figura 7: Esquema de incendio en fase de crecimiento [4].

- Fase de pleno desarrollo

El incendio (Figura 8) alcanza una fase en la que la concentración de oxígeno en el interior empieza a disminuir, como resultado de uno o varios de los siguientes mecanismos:

- Combustión generalizada del estrato de gases de incendio, implicando un consumo elevado de oxígeno.
- Incendio confinado o con ventilación insuficiente, de forma que la tasa de consumo de oxígeno supera el aporte procedente del exterior.
- Alta demanda de oxígeno, ya que la combustión progresiva de los materiales distribuidos en el recinto a lo largo del tiempo provoca un consumo significativo. Este dependerá de la tasa de combustión (masa de combustible consumida por unidad de tiempo), de la duración del incendio y de las dimensiones del espacio donde se efectúa.

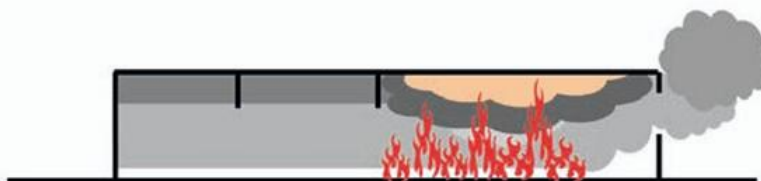


Figura 8: Esquema de incendio en fase de pleno desarrollo [4].

- Fase de decaimiento

Con el transcurso del tiempo, la temperatura del recinto disminuye y el incendio entra en una fase de decaimiento. Esto se debe a que el combustible disponible se agota o porque debido a una ventilación insuficiente, la potencia térmica del incendio resulta incapaz de compensar las pérdidas de calor hacia el entorno.

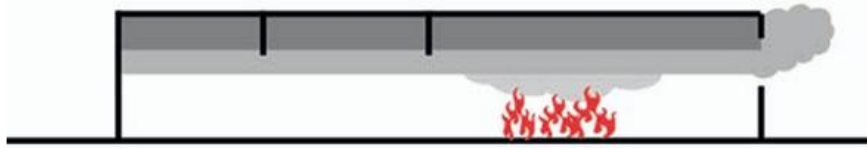


Figura 9: Esquema de incendio en fase de decaimiento [4].

2.2. PARTICULARIDADES DE LOS INCENDIOS EN CENTROS LOGÍSTICOS

La logística es una parte de la gestión industrial que busca mejorar el movimiento de materiales entre todas las etapas del ciclo productivo, desde la obtención de materia prima hasta el envío del artículo terminado a compradores [5].

El estudio de la organización logística tiene varios aspectos importantes que debe abordar para su correcta elaboración. Se dividen en dos partes principales:

- Logística de producción: esta subdivisión se encarga de la adquisición de materiales, sus recepciones y almacenamiento. También está involucrada en el manejo de los servicios auxiliares de la planta, como electricidad, agua, gas, entre otros.
- Logística de distribución: comprende las operaciones de entrega a los clientes y de la distribución de productos finales a través del mercado.

A pesar de estas ideas, es fundamental enfatizar que existen varias cualidades del almacén logístico que no difieren de los del centro de producción.

Entre dichas características destaca:

- La diversidad de los productos en los almacenes, ya que su forma y composición varían según el usuario. Esto complicará el diseño y el dimensionamiento de las protecciones técnicas, que generalmente se basan en las propiedades térmicas de los materiales almacenados, como el poder calorífico, la inflamabilidad, etc.
- La posibilidad de la presencia de productos peligrosos: incluyendo artículos tóxicos, corrosivos, o inflamables, lo que significa, por ejemplo, productos domésticos y domésticos o de maquillaje y cuidado personal.
- Elevadas cargas de fuego, derivadas tanto de las grandes alturas de almacenamiento, como de las extensas superficies destinadas a este uso, que pueden alcanzar decenas de miles de metros cuadrados.

Además, los almacenes tienen grandes cantidades de combustible y la naturaleza inflamable de muchos de los productos que contienen, lo que lleva al almacén a enfrentarse con el peligro y el incendio, especialmente si estos se propagan a través del interior del edificio. Un incendio puede no ser controlado durante la fase de expansión (epígrafe 0) y a veces pasa a una situación con alta severidad. Además, los daños causados por incendios no son exclusivamente la acción de las llamas, sino también por el humo, especialmente los daños para productos como alimentos, medicamentos y otros que necesitan mantenimiento y reparación. Por lo tanto, los almacenes son sitios que experimentan grandes cargas de fuego y que carecen de una calidad adecuada de mantenimiento, por lo que la contaminación por el humo puede ser considerable. El humo puede provocar daños en productos como alimentos, medicamentos y otros que requieren reparación y mantenimiento, debido a la corrosión y la extinción por agua. La estructura del almacén puede tambalearse debido a los esfuerzos que produce el incendio.

2.3. MARCO NORMATIVO APLICABLE

La protección contra incendios en centros logísticos y almacenes industriales de España se regula por un conjunto de disposiciones normativas a nivel estatal, que pueden ser complementadas con las normativas autonómicas y la normativa local, además de los estándares técnicos de referencia internacional. El propósito común de estas normas es garantizar una seguridad óptima para las personas y reducir al mínimo los daños materiales y asegurar la estabilidad estructural de la edificación frente al fuego.

La norma de referencia principal para los centros logísticos es el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI) aprobado mediante el Real Decreto 164/2025 [2]. Este reglamento se debe aplicar obligatoriamente a los establecimientos industriales, incluyendo los almacenes y centros logísticos, independientemente de su vinculación a procesos de producción.

El RSCIEI adopta un enfoque fundamentalmente prescriptivo, estableciendo requisitos mínimos en función de:

- La carga de fuego ponderada y corregida.
- La superficie y altura del establecimiento.
- El nivel de riesgo intrínseco (bajo, medio o alto).
- La sectorización, los recorridos de evacuación y la resistencia al fuego de los elementos constructivos.
- Los sistemas de detección, alarma y extinción (manuales y automáticos).

En el caso de los centros logísticos, el reglamento impone unas condiciones especialmente exigentes debido a las elevadas cargas de fuego, las grandes alturas para almacenar y la extensión superficial de los recintos, aspectos que incrementan la severidad potencial de los incendios.

Por otro lado, cuando el centro logístico se integra en un edificio no estrictamente industrial o en aspectos que no están regulados de forma expresa por el RSCIEI, se aplica el Código Técnico de la Edificación (CTE), en particular el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DB-SI) [6].

El DB-SI establece exigencias relativas a:

- Evacuación de ocupantes.
- Propagación interior y exterior del incendio.
- Resistencia al fuego de la estructura.
- Instalaciones de protección contra incendios.

No obstante, en establecimientos industriales, el CTE tiene carácter subsidiario, prevaleciendo el RSCIEI cuando los dos resultan de aplicación simultánea.

Complementariamente, los sistemas activos de protección contra incendios tienen que cumplir con el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI [7]), aprobado por el Real Decreto 513/2017. Este reglamento regula el diseño, instalación, mantenimiento e inspección de equipos como:

- Sistemas de detección y alarma.
- Sistemas de abastecimiento de agua.
- Rociadores automáticos.
- Bocas de incendio equipadas (BIE).
- Sistemas de control de humos y calor.

El RIPCI resulta especialmente relevante en centros logísticos, donde la fiabilidad y rapidez de actuación de los sistemas automáticos es determinante para el control del incendio en su fase inicial.

También, dada la complejidad de los escenarios de incendio que pueden haber en centros logísticos, es normal y frecuente recurrir a normas técnicas de gran prestigio internacional como apoyo al diseño, entre las que destacan:

- Normas NFPA (National Fire Protection Association), por ejemplo:
 - o NFPA 1: Referido al establecimiento de criterios generales de prevención, uso y mantenimiento de edificaciones industriales [8].
 - o NFPA 13: Relacionado con el diseño e instalación de sistemas de rociadores automáticos [9].
 - o NFPA 72: Con relación al diseño, instalación y funcionamiento de los sistemas de detección, alarma y señalización de incendios [10].
 - o NFPA 101: Referido a la protección de la vida humana mediante la regulación de la evacuación, los recorridos de salida y las condiciones de seguridad de los ocupantes [11].
 - o NFPA 204: Correspondiente al control y evacuación de humos y calor generados durante un incendio [12].
 - o NFPA 855: Relacionado con el diseño y protección contra incendios de sistemas estacionarios de almacenamiento de energía, especialmente mediante baterías, en instalaciones industriales y logísticas [13].
- Normas UNE-EN aplicables a productos y sistemas de protección contra incendios.

- UNE-EN 3: Referida a los extintores portátiles de incendios, incluyendo su clasificación, eficacia, métodos de ensayo y marcado [14].
 - UNE-EN 54: Correspondiente al sistema de detección y alarma de incendios [15].
 - UNE-EN 12845: Con relación al diseño, instalación y mantenimiento de sistemas automáticos de rociadores contra incendios [16].
 - UNE-EN 13501: Relacionado con la clasificación de los productos de construcción y elementos constructivos en función de su comportamiento frente al fuego, incluyendo reacción y resistencia al fuego [17].
- Guías técnicas y manuales de diseño elaborados por organismos especializados como, por ejemplo, “Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection (SFPE)”, “Guide E-Fire Engineering (CIBSE)”, ” Global Fire Engineering Guides (BRE)”, etc.

Estas normas no tienen carácter obligatorio, pero son ampliamente aceptadas como criterios técnicos válidos para justificar soluciones de seguridad.

Capítulo 3. ENFOQUE DE ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

En la actualidad, de acuerdo con [18], en España se utilizan dos enfoques para diseñar las estructuras frente a la seguridad contra incendios, el enfoque prescriptivo y los métodos basados en prestaciones. Mientras que en el Diseño Basado en Prestaciones se trata de definir medidas de protección adaptadas a las características propias de cada edificio, analizando los comportamientos previsibles del incendio en los distintos escenarios posibles y el enfoque prescriptivo, ha sido tradicionalmente el más utilizado en el diseño de edificaciones de todo tipo.

3.1. ENFOQUE PRESCRIPTIVO

En el enfoque prescriptivo, la evaluación de la seguridad estructural se realiza aplicando una curva normalizada temperatura-tiempo, que da la posibilidad de establecer valores mínimos de resistencia al fuego para los elementos estructurales.

$$\theta_g = \theta_o + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1)$$

Siendo θ_o la temperatura inicial del recinto antes del incendio, t el tiempo y θ_g la temperatura de los gases del incendio.

No obstante, en muchas ocasiones, la aplicación de esta curva ha llevado a tener sobrecostes innecesarios en la construcción. Estos pueden ser derivados del sobredimensionamiento de los sistemas de protección o de un uso poco eficiente de los mismos, al dimensionarse frente a una acción accidental con muy baja probabilidad de que ocurra.

Estudios estadísticos llevados a cabo por el National Institute of Standards and Technology² (NIST) revelan que dos tercios de las víctimas de los incendios fallecen como consecuencia de la inhalación

² National Institute of Standards and Technology: Es una agencia del Departamento de Comercio de los Estados Unidos cuya misión es promover la innovación y la competitividad industrial estadounidenses.

de humo tras producirse la combustión súbita generalizada, y, en muchos casos, en estancias distintas al foco inicial del incendio. Esto quiere decir que las víctimas no se ven afectadas principalmente por las altas temperaturas ni por el colapso estructural, sino por los efectos de los productos de la combustión.

Asimismo, es necesario ser consciente de todas las limitaciones que posee un diseño estructural basado en criterios prescriptivos. Este método que se fundamenta en emplear una curva térmica ficticia y evaluar la resistencia de los elementos estructurales de forma aislada, no es capaz de analizar la capacidad que tiene el conjunto estructural para distribuir los esfuerzos cuando los componentes se debilitan debido a la acción del fuego. De igual modo, estos enfoques prescriptivos no son capaces de obtener con precisión los esfuerzos térmicos que se generan en las estructuras.

3.2. DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DBP)

El Diseño Basado en Prestaciones (DBP) es una metodología de diseño en seguridad contra incendios que busca establecer, evaluar y explicar las medidas necesarias de protección para un edificio considerando su comportamiento frente a los incendios. En lugar de centrarse únicamente en la satisfacción de los requisitos prescriptivos específicos.

Aunque este enfoque varía según el caso de estudio, el proceso sigue la misma metodología sistemática (Figura 10) y comienza con el análisis del riesgo de incendio basado en la probabilidad de ocurrencia.

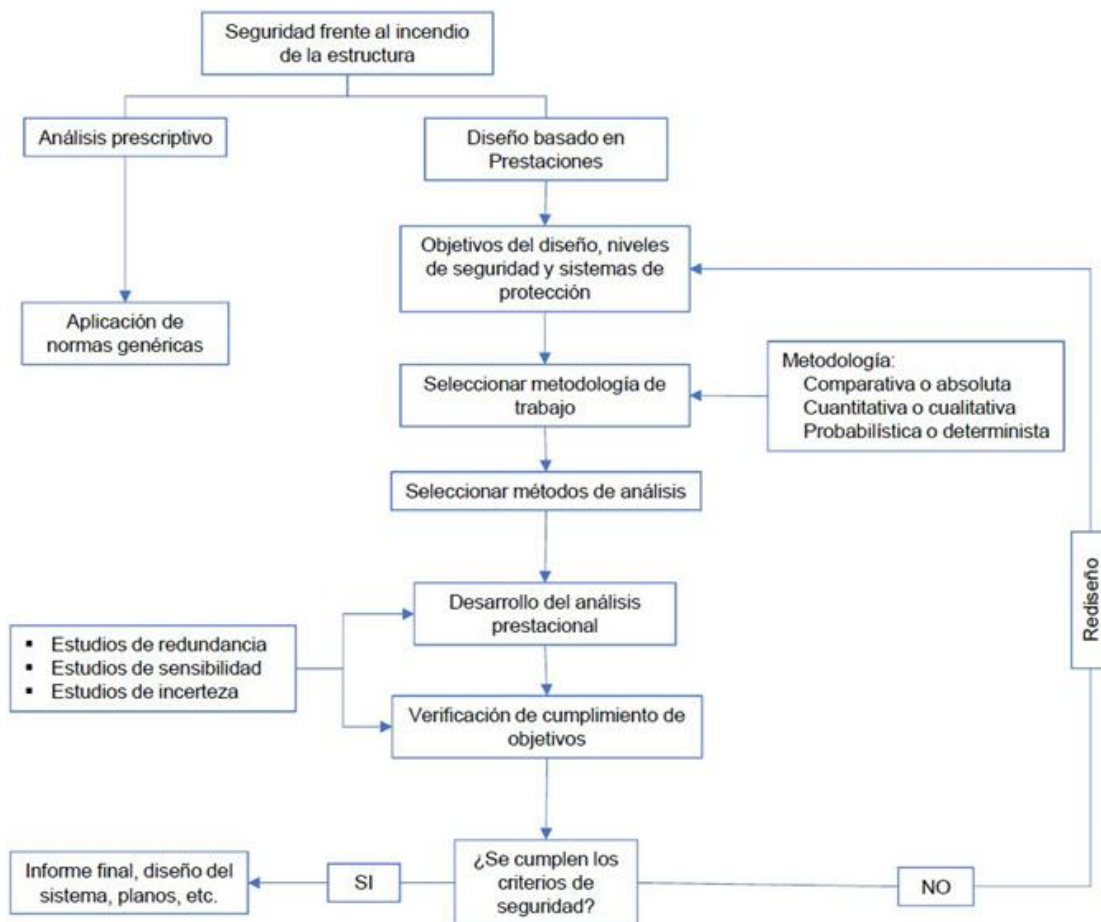


Figura 10: Metodología de análisis del Diseño Basado en Prestaciones [18].

En esta fase, se clasifican los diversos escenarios de incendio según la probabilidad de suceder y la gravedad de sus consecuencias, asignando un índice de riesgo global. Este método permite determinar la probabilidad de ocurrencia de los escenarios más desfavorables y requerir un análisis más detallado. Un ejemplo de la matriz se muestra en la Figura 11.

	Probabilidades de ocurrencia de fuego					
Consecuencia	Extremadamente baja	Muy Baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
Extremadamente alto	S05	S04	S02	S01	S09	
Muy alto	S06	S12	S03	S10		
Alto	S07			S11		
Moderado	S08					
Bajo	S16					
	S13					

Figura 11: Matriz de probabilidad / daño [18].

El desarrollo del análisis DBP está fundamentado en tres pilares: la simulación del incendio real, el análisis de la transferencia de calor y el análisis termo-mecánico de la estructura. Con la adecuada integración de estos aspectos y el uso de conocimientos de la física del incendio, se pueden verificar las medidas adoptadas para garantizar la seguridad y la integridad estructural del edificio de acuerdo con sus objetivos.

3.2.1. OBJETIVOS DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES

Primero, el DBP permite analizar la respuesta real de la estructura ante el incendio, a diferencia de los métodos prescriptivos, que no poseen la habilidad de describir de manera real el comportamiento de la estructura, debido a que únicamente se basan en el cumplimiento de criterios generales que son aplicables a varios tipos de estructuras diferentes.

Segundo, este método permite introducir más flexibilidad en el proceso de diseño. Esto se debe a que cumplir significa asegurar el cumplimiento de los objetivos de seguridad y el comportamiento de la estructura en condiciones accidentales de temperatura, adaptándolos a las características individuales de cada edificio.

Tercero, en los últimos años la evolución de la normativa ha aumentado la exigencia de la seguridad. Cumplir estas exigencias con el uso exclusivo del método prescriptivo supone la realización de costosas medidas técnicas, que son difíciles de aceptar en muchos casos dentro del proyecto. En tal situación, el DBP, al centrarse en cumplir objetivos concretos de seguridad y comportamiento, permite en la mayoría de los casos optimizar significativamente su costo sin la pérdida de los requerimientos de seguridad.

Además, en el ámbito económico-social, donde la minimización del consumo de material y la utilización baja de químicos necesarios en la construcción están altamente valorizados, el DBP proporciona oportunidades para la optimización ambiental del proceso de diseño. Además, utilizando este método podemos priorizar la seguridad de personas o inclusive de sus bienes materiales.

En cuanto al Código Técnico de la Edificación, se puede mencionar que la prioridad en todos los casos es la seguridad de las personas que se encuentran en el edificio. Sin embargo, siguiendo los métodos basados en prestaciones, se permitirá cumplir con las seis exigencias básicas [19], referidas a la propagación interior y exterior del incendio, la evacuación de los ocupantes que se encuentran dentro del recinto del incendio, las instalaciones de protección frente al incendio, las condiciones para la intervención de los servicios para extinguir el fuego y la resistencia al fuego de la estructura, sino que además posibilita evaluar de forma cuantitativa la manera de comportarse el edificio frente al incendio y limitar las posibles consecuencias económicas asociadas, manteniendo, o incluso mejorando, el nivel de seguridad exigido por la normativa.

3.2.2. REQUISITOS FUNCIONALES

Con la finalidad de cumplir los objetivos de seguridad contra incendios definidos en el epígrafe 3.2.1, se han establecido los siguientes requisitos funcionales:

- Protección de los ocupantes. Los ocupantes que se encuentran en el edificio deben evacuarlo bajo unas condiciones de visibilidad, temperatura y toxicidad aceptables.
- Apoyo a la intervención en caso de incendio. El diseño del edificio debe ayudar a que la intervención en él sea eficaz, permitiendo el acceso, la localización del foco y el control del incendio en condiciones adecuadas.
- Protección de la propiedad. Debe limitarse la propagación del incendio fuera del recinto de origen, adoptando las medidas que sean necesarias para evitar su extensión a edificios colindantes y reduciendo también las pérdidas materiales asociadas.

3.2.3. CRITERIOS PRESTACIONALES

Para cada uno de los requisitos funcionales definidos en 3.2.2, se han establecido los correspondientes criterios prestacionales, basados en las buenas prácticas internacionales [20] y en los criterios específicos de la reglamentación aplicable, con el fin de verificar objetivamente dentro del análisis prestacional.

- Protección de los ocupantes

Los criterios prestacionales adoptados para considerar que la evacuación puede realizarse de manera segura, son los siguientes:

- A. La temperatura de la capa de humos ubicada a 13 m por encima de las rutas de evacuación no deberá ser mayor a los 200 °C [21].
- B. El nivel de visibilidad en la ruta de evacuación no deberá ser inferior a 10 m [22].
- C. Los ocupantes no deberán encontrarse expuestos a ambientes con temperaturas superiores a 60 °C [1].

En cuanto a la toxicidad de los gases, en espacios de gran volumen se suelen llegar a los límites admisibles después de incumplir los criterios de visibilidad. A pesar de ello, y con carácter adicional, se comprueban los siguientes criterios en las rutas de evacuación, de acuerdo con los valores recomendados en el manual de la SFPE [23]:

- D. La concentración de oxígeno deberá ser mayor al 16 % en volumen.
- E. La concentración de dióxido de carbono no deberá superar el 3 % en volumen (30000 ppm).
- F. La concentración de monóxido de carbono no deberá causar una fracción de carboxihemoglobina³ (COHb) en sangre superior al 30 % (6000 ppm).

- Apoyo a la intervención en caso de incendio

Se establecen los criterios siguientes, para garantizar una intervención segura y eficaz de los equipos de extinción:

- G. El diseño del edificio tendrá que tener medidas de protección que faciliten el control y la extinción del incendio de manera segura para los equipos que intervienen en el incendio.
- H. Los bomberos deberán poder acceder al foco del incendio en condiciones ambientales adecuadas, sin que el aire supere los 100 °C y con una visibilidad aceptable.

³ Carboxihemoglobina: Este compuesto impide el transporte adecuado de oxígeno a los tejidos, ya que el CO compete con el oxígeno por los sitios de unión en la hemoglobina con una afinidad aproximadamente 200 a 250 veces mayor que la del oxígeno.

En relación con la Guía CIBSE E [24], los bomberos que están equipados con su indumentaria adecuada de trabajo, pueden estar expuestos a una temperatura máxima de 100°C durante un periodo de 30 minutos sin que les cause quemaduras en la piel o daños en las vías respiratorias.

El parque de bomberos de Vicálvaro, situado en la calle de las Santeras, se encuentra a una distancia aproximada de 1 km del emplazamiento del edificio. Como hipótesis de cálculo para la estimación de las condiciones ambientales a la llegada de los equipos de intervención, se ha considerado que los bomberos no iniciarán sus actuaciones antes de 5 minutos desde el momento de la ignición. Además, se considera una temperatura ambiente de 20 °C y unas condiciones atmosféricas interiores en reposo. Esto significa que no hay influencia del viento puesto que se trata de un recinto cerrado antes de la apertura manual de los sistemas de control de humos y de los huecos de ventilación por parte de los servicios de emergencia.

- Protección de la propiedad

Se definen los criterios de protección, con la finalidad de alcanzar niveles de prestación equivalentes o superiores a los derivados del cumplimiento de las prescripciones del RSCIEI [2]:

- I. Con la finalidad de minimizar el riesgo de igniciones secundarias y la propagación del incendio a zonas alejadas del foco, se deberá mantener la temperatura de los humos bajo cubierta por debajo de 200 °C.

El hecho de cumplir con estos criterios de protección de la propiedad contribuye significativamente a reducir la propagación del fuego hacia sectores adyacentes, incrementando así el nivel de seguridad del edificio.

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

En este capítulo se analizan e identifican los principales riesgos, tanto de origen interno como externo al edificio, con el fin de poder evaluar su posible impacto en el incendio y en el cumplimiento de los objetivos de seguridad establecidos.

4.1. RIESGOS INTERNOS

La actividad llevada a cabo en el centro logístico es caracterizada por almacenar una cantidad elevada de productos combustibles, tanto a nivel de suelo como en altura utilizando estanterías. Esto influye en la manera que tiene el fuego de desarrollarse. De hecho, en el almacenamientos en altura, la velocidad de crecimiento es significativamente mayor, debido a la mayor continuidad vertical del combustible y a la intensificación de los fenómenos convectivos.

Las principales configuraciones de almacenamiento identificadas en el centro logístico son:

- Almacenamiento en estanterías.
- Almacenamiento en suelo en la zona de carga y descarga.

Los productos almacenados que normalmente están sobre palés y, además, embalados en cajas de cartón con film retráctil, pueden tener algo de plástico, haciendo que la velocidad a la que crece el incendio aumente y la tasa de liberación de calor (en adelante, HRR) también.

En la práctica, la evolución que tienen los incendios en edificación se puede modelizar siguiendo las curvas de crecimiento exponencial tipo t^2 , clasificadas en incendios de crecimiento lento, medio, rápido o ultrarrápido. La tasa de crecimiento depende principalmente de los materiales combustibles que se estén almacenando, su cantidad y la configuración que se tiene para almacenarlos.

De acuerdo con la Tabla C.2 de la norma UNE-ISO 16733-1 [25], las velocidades de crecimiento del incendio hasta llegar a una potencia de 1000 kW se muestran en la Tabla 3.

Velocidad de crecimiento	Incendios reales típicos
--------------------------	--------------------------

Lento	Revestimiento de suelo
Medio	Mobiliario de oficina
Rápido	Colchones Escaparates y participaciones de puestos de trabajo acolchados
Ultrarrápido	Cajas de cartón o plástico en disposición de almacenaje vertical Mobiliario tapizado o mobiliario apilado cerca de revestimientos combustibles Mobiliario ligero Material de embalaje en pila de basura

Tabla 3: Velocidades de crecimiento de incendio t -cuadrado.

El incendio de los productos que se encuentran en las estanterías se caracteriza por ser un incendio con crecimiento ultrarrápido, puesto que poseen una elevada carga de fuego y una continuidad vertical del combustible. En cambio, para el almacenamiento en zonas de carga y descarga, el incendio tiene un crecimiento medio.

Para obtener el incendio de diseño, se considera la potencia máxima alcanzada en el momento en el que el rociador automático se pone en marcha, conforme a lo establecido en el apartado C.2.8 del Anexo C de la norma UNE-ISO 16733-1:2017 [25].

Para hallar el tiempo de activación de los rociadores y la HRR correspondiente, se ha utilizado la herramienta DETACT-T2, desarrollada por el National Institute of Standards and Technology (en adelante, NIST). Para ello, se ha tenido en consideración una altura de cubierta de 14 m y se va a utilizar un sistema de rociadores automáticos tipo ESFR K25, operando a una presión mínima de 2,8 bar de acuerdo con la norma NFPA 13 [9]. La separación entre rociadores va a ser de 3 m cubriendo una retícula de 3 m $\times$ 3 m, lo que supone un área de cobertura de 9 m² por rociador, valor coherente con los límites establecidos para este tipo de dispositivos en naves de almacenamiento de gran altura.

Esta configuración de los rociadores asegura una rápida y adecuada activación del sistema, reduciendo la tasa de liberación de calor que se ha obtenido antes de su acción y garantizando en todo momento la cohesión del diseño hidráulico. La solución, en cuanto al punto de vista normativo resulta adecuada, al igual que desde la consistencia técnica del estudio de seguridad contra incendios.

A continuación, de acuerdo con la Tabla 4, se van a mostrar las actuaciones de los rociadores para las dos ubicaciones del incendio.

Ubicación del incendio	suelo	estanterías
Velocidad de crecimiento	medio	ultrarrápido
Temperatura ambiente	20 °C	20 °C
Índice Tiempo de Respuesta (RTI)	50	50
Temperatura activación rociador	70 °C	70 °C
Altura media de la cubierta	14 m	14 m
Espacio entre rociadores	3 m	3 m
Factor de crecimiento	11.72 W/s ²	187,56 W/s ²
Tiempo de activación	10.4 min	3.3 min
Tasa de liberación de calor	4600 kW	7500 kW

Tabla 4: Evaluación de la activación de los rociadores.

Para determinar el valor de los parámetros correspondientes al incendio de diseño, de acuerdo con la Tabla 4, se selecciona el parámetro RTI = 50 y la temperatura de activación de los rociadores de 70 °C.

El valor de RTI = 50 es común para los rociadores ESFR (Early Suppression Fast Response). Estos sistemas responden rápidamente al cambio de temperatura. Según la NFPA 13 [9] los rociadores de respuesta rápida presentan valores de RTI iguales o inferiores a 50. Así, para rociadores tipo ESFR, este parámetro indica que la respuesta a la temperatura es la más lenta. Y esto implica cierta preservación de tiempo hasta la acción de los rociadores y, por consiguiente, hasta la máxima potencia de fuego que se va a alcanzar antes de la acción de éstos.

En cuanto a la respuesta de activación, el valor de 70°C se selecciona debido a que esta temperatura es correcta para el caso de instalaciones industriales, cuya temperatura ambiente de aproximadamente 20 °C. Este criterio se basa en la NFPA 13, la cual establece que la temperatura de actuación del rociador debe ser bastante superior a temperatura ambiente para evitar la activación incorrecta del sistema y, a su vez, la rápida actuación en caso de incendio. Así, la temperatura de 70 °C es coherente con el uso que se le va a dar al edificio y con las condiciones térmicas habituales en naves logísticas.

El factor de crecimiento del incendio es igual al parámetro α de la curva de crecimiento t^2 , empleada en seguridad contra incendios para modelar la primera fase de desarrollo del fuego. Según esta aproximación, la velocidad de liberación de energía es igual a:

$$Q(t) = \alpha t^2$$

En donde $Q(t)$ es la potencia térmica y t el tiempo transcurrido desde la ignición. Los valores de estos coeficientes, 187.56 W/s^2 para incendio ultrarrápido en estantería y 11.72 W/s^2 para incendio de crecimiento medio en suelo, son los valores normalizados de la velocidad de crecimiento del fuego [21]. Como se muestra, hay un valor más elevado para el caso de almacenamiento en altura que para el del suelo.

Puesto que el sistema de rociadores automáticos limita el desarrollo del incendio, el tamaño del incendio de diseño es definido como la tasa de liberación de calor que se alcanza en el momento en el que se encienden los rociadores. Este valor se obtiene considerando la curva de crecimiento del incendio tipo t^2 en el tiempo de activación calculado mediante la herramienta DETACT-T2. Así, la potencia térmica representa el máximo tamaño que es capaz de alcanzar el incendio antes del inicio de la descarga de agua.

Para la determinación del tiempo de activación del rociador se emplea un modelo térmico, teniendo en cuenta la interacción entre el gas caliente y el elemento sensible del rociador (RTI), su temperatura de activación, altura de cubierta (14 m) y distancia entre rociadores (3 m). El tiempo de activación es aquel en el que el elemento fusible alcanza la temperatura nominal y se producirá la descarga de agua de los rociadores. Para el escenario propuesto, el tiempo de activación será de 3.3 minutos para el incendio ultrarrápido y 10.4 minutos para el incendio de crecimiento medio.

La HRR se define como la máxima potencia térmica que genera el incendio en el instante de activación del rociador. Este valor se halla sustituyendo el tiempo de activación en la expresión $Q(t) = \alpha \cdot t^2$. La tasa de liberación de calor determina la magnitud máxima del incendio. Siguiendo esta relación se obtienen potencias de 7500 kW para el incendio en estanterías y 4600 kW para el incendio en el suelo.

Se muestra de manera visual en la Figura 12 las curvas de los incendios de diseño.

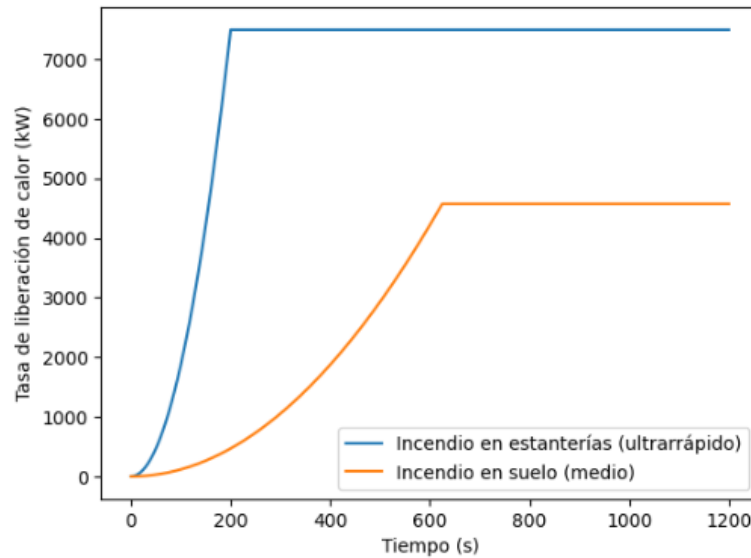


Figura 12: Representación de las curvas de los incendios de diseño.

4.1.1. BASE TEÓRICA DETACT-T2

4.1.1.1. Fundamento del cálculo de la activación de los rociadores

Como se ha dicho anteriormente en el epígrafe 4.1. *Riesgos* internos, la obtención del tiempo de activación de los rociadores automáticos se ha realizado mediante la herramienta DETACT-T2. Este instrumento permite calcular el tiempo requerido por el elemento sensible del rociador para alcanzar su temperatura de activación, teniendo en cuenta las condiciones térmicas generadas por el incendio dentro del edificio.

El modelo de activación de rociadores que se utiliza en DETACT-T2 se basa en el balance energético del elemento sensible del rociador, considerando que la elevada temperatura de este elemento se debe a la transferencia de calor por convección en el aire caliente generada por el incendio. El modelo hace referencia al incremento progresivo de la temperatura del rociador a medida que aumenta la temperatura de los gases que lo están rodeando [26].

La respuesta térmica del rociador es caracterizada mediante el Índice de Tiempo de Respuesta (Response Time Index, RTI). Dicho indicador es una métrica que representa la inercia térmica del elemento sensible y depende de las características constructivas del rociador. Los rociadores con tiempo de respuesta rápido presentan RTIs bajos, lo que implica que el elemento sensible se calienta más rápidamente cuando los gases son calientes.

El calentamiento del rociador puede describirse mediante la siguiente ecuación diferencial [21]:

$$RTI \frac{dT_s}{dt} = \sqrt{u}(T_g - T_s)$$

donde:

- T_s = temperatura del elemento sensible del rociador (K)
- T_g = temperatura de los gases calientes en el entorno del rociador (K)
- u = velocidad del flujo de gases en el entorno del rociador (m/s)
- RTI = índice de tiempo de respuesta del rociador $(m \cdot s)^{1/2}$

Esta ecuación explica el balance entre el calentamiento del rociador debido a la diferencia de temperatura entre los gases y el elemento sensible y la inercia térmica del rociador. Cuando se incrementa la temperatura de los gases calientes o su velocidad, mayor será la temperatura del rociador.

El proceso de calentamiento continúa hasta que la temperatura del elemento sensible alcanza la temperatura nominal de activación del rociador:

$$T_s = T_{act}$$

siendo T_s la temperatura del elemento sensible y T_{act} la temperatura nominal de activación del rociador.

En ese preciso momento se considera que el rociador se activa y da comienzo la descarga de agua.

Este modelo [27] fue desarrollado originalmente teniendo en cuenta estudios experimentales sobre la respuesta térmica de rociadores automáticos y está ampliamente documentado en la literatura científica de ingeniería del fuego. Su formulación da la posibilidad de relacionar directamente las condiciones térmicas del incendio con el comportamiento del sistema de protección, convirtiéndolo en una herramienta apropiada para estimar el tiempo de activación en estudios prestacionales de seguridad contra incendios.

4.1.1.2. Determinación de la temperatura y velocidad de los gases calientes

Para determinar las condiciones térmicas en la posición del rociador, DETACT-T2 emplea correlaciones empíricas de pluma de incendio (fire plume correlation). Estas han sido desarrolladas

después de realizar análisis experimentales sobre incendios en espacios al aire libre [21]. Las correlaciones ayudan a calcular la temperatura y la velocidad de los gases calientes que alcanzan el techo del edificio. Estos parámetros son cruciales para evaluar el calor que se aplica al elemento sensible del rociador.

Cuando se produce un incendio, la combustión crea una pluma térmica que asciende y está compuesta por gases calientes y productos de combustión. Estos ascienden por flotabilidad debido a su menor densidad respecto al aire ambiente. A medida que la pluma va ascendiendo, se va mezclando con aire frío del entorno y genera un proceso de arrastre de aire. Así, se provoca una disminución progresiva de la temperatura de los gases con la altura. Sin embargo, cuando la pluma alcanza la cubierta del recinto, el flujo se va a desplazar de manera horizontal, creándose lo que se llama flujo de techo. El flujo de techo es el flujo de gases calientes que se mueve radialmente bajo el techo.

La temperatura y velocidad de este flujo de gases calientes son las que determinan el calentamiento del rociador que se ha instalado en la cubierta. Para obtener estas variables, DETACT-T2 ha usado correlaciones desarrolladas principalmente por Heskestad y Delichatsios [28] y son ampliamente utilizadas en ingeniería de seguridad contra incendios.

Modelos de ingeniería del fuego avanzados tratan de describir el comportamiento del flujo de gases debajo del techo utilizando correlaciones como aquellas de Alpert [29]. Estas correlaciones proporcionan las temperaturas y velocidades de los gases en función de la distancia radial al eje del incendio. Una de las ecuaciones más empleadas para calcular el incremento de temperatura bajo el techo es:

$$\Delta T = 16.9 \frac{Q^{2/3}}{H^{5/3}}$$

donde:

- Q = tasa de liberación de calor (kW)
- H = altura del techo (m)

De la misma manera, la velocidad del flujo de gases calientes bajo la cubierta puede aproximarse mediante la siguiente relación:

$$u = k \left(\frac{Q}{H} \right)^{1/3}$$

siendo:

- u = velocidad del flujo de gases bajo el techo (m/s)
- Q = tasa de liberación de calor del incendio (kW)
- H = altura del techo (m)
- k = constante empírica

La relación muestra que cuanto más fuerte es el incendio, más rápido es el flujo de gases y disminuye cuanto más elevada es la altura del techo.

Estas son las referencias físicas utilizadas por herramientas como DETACT-T2 para determinar las condiciones térmicas relacionadas con el rociador. Teniendo la temperatura y velocidad de los gases, habiendo utilizado estas relaciones, el modelo puede obtener el calentamiento del elemento sensible del rociador utilizando la ecuación basada en el índice de tiempo de respuesta (RTI). Asimismo, este modelo enlaza la potencia del incendio, la altura del techo y la posición del rociador con el tiempo requerido para que el rociador alcance su temperatura de activación.

4.2. RIESGOS EXTERNOS

En el caso de que ocurran incendios originados en el exterior del centro logístico, por ejemplo, en camiones, contenedores de basura, u otros materiales combustibles que se encuentren fuera, el peligro para la gente que está en el centro logístico o el peligro de la conservación de la propiedad es inferior al de los peligros que hay en el interior.

Capítulo 5. PLAN DE PROYECTO DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

La alternativa de carácter prescriptivo para hacer frente a las grandes dimensiones del sector de incendio y las largas distancias de evacuación consiste en configurar todo el almacén como un único sector de incendio y en instalar un sistema de control de humos distinto al previsto en la normativa.

El sistema de control planteado se fundamenta en la disposición de un único depósito de humos, realizando la entrada de aire de reposición a baja altura a través de los muelles de carga y las puertas de acceso de vehículos.

De acuerdo con los requisitos de la norma UNE-EN 12845 [16], el sistema de control de humos será de accionamiento manual y su activación corresponderá a los bomberos. Por este motivo, el objetivo de diseño del sistema propuesto es servir como apoyo a las labores de extinción y control del incendio.

Como medidas adicionales, se contará con un sistema de detección de incendios por aspiración [30], proyectado como sistema de clase B, una mejora de la señalización de evacuación tanto en las salidas de emergencia como en su entorno inmediato y campañas de información y formación dirigidas a los trabajadores que trabajen de forma habitual o puntual en el centro.

En la Tabla 5: Dimensionamiento del sistema prestacional. Tabla 5, se muestra el dimensionamiento del sistema y, en la Figura 13, la representación de la solución, según los cálculos del Apéndice A.

	Edificio
Depósitos de humo	1
Exutorios por depósito (superficie geométrica)	48 (2 m x 3 m)
Total exutorios	48
Muelles de carga (superficie geométrica)	12 (2,5 m x 3 m)
Portones de vehículos (superficie geométrica)	2 (4 m x 4,5 m)
Superficie de ventilación	414 m²

Tabla 5: Dimensionamiento del sistema prestacional.

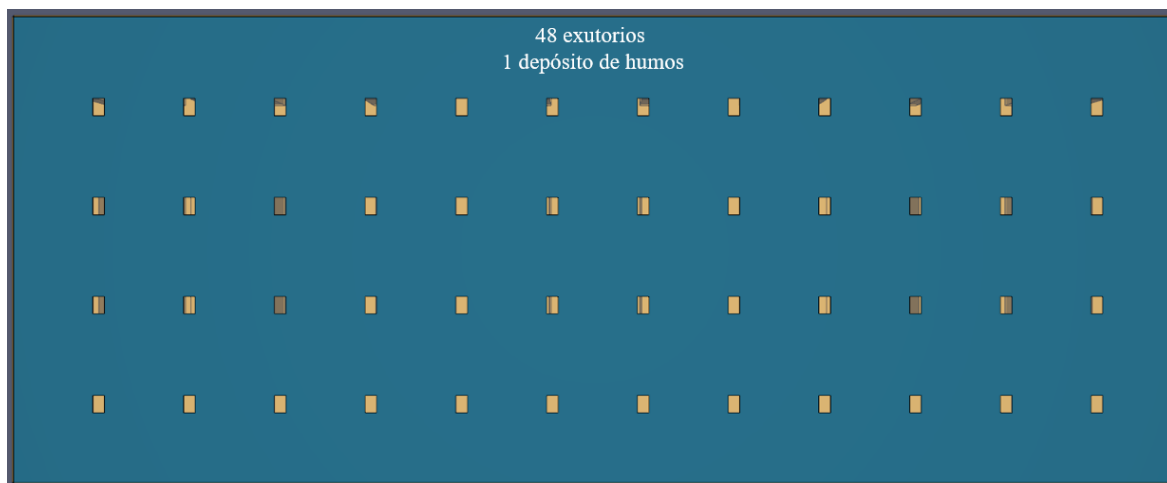


Figura 13: Planta del centro logístico.

Capítulo 6. ESCENARIOS DE INCENDIO Y DE COMPORTAMIENTO HUMANO

En el presente capítulo se procede a identificar y seleccionar los escenarios más desfavorables, con el objetivo de evaluar el nivel de seguridad del edificio.

Para ello, se ha seguido la metodología establecida en la norma UNE-ISO 16733-1:2017 [25], de acuerdo con lo indicado en el artículo 1 de la Guía técnica de aplicación del RSCIEI. Aunque un incendio puede originarse en cualquier punto del recinto, existen determinadas ubicaciones que pueden generar un mayor impacto sobre los objetivos de seguridad definidos en 3.2.1. *Objetivos del diseño basado en prestaciones.*

El escenario más desfavorable para la intervención de los equipos de extinción es aquel en el que se produce un incendio situado de forma que los bomberos deben recorrer las mayores distancias desde los accesos al edificio y, además, disponen del menor número de puntos desde los que poder atacar el incendio.

Por otro lado, el escenario más desfavorable desde el punto de vista de la evacuación es aquel en el que el incendio bloquea rápidamente una o varias salidas, obligando a los ocupantes a recorrer la mayor distancia posible hasta alcanzar una zona segura.

6.1. SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE INCENDIO

Como se ha dicho anteriormente, se han considerado los escenarios de incendio más desfavorables para realizar su análisis:

- Escenario A: Corresponde al caso más desfavorable para la intervención de los equipos de extinción. Se trata de un incendio de crecimiento medio de 4600 kW en el que los rociadores automáticos no llegan a activarse antes de la llegada de los bomberos ya que los bomberos llegan al de 5 minutos y los rociadores se activan al de 10.4 minutos. Su localización, en una

zona de almacenamiento automatizado, implicando que la intervención debe realizarse a mayor distancia que en otras zonas del edificio y, además, desde un único frente de ataque.

- Escenario B: Corresponde al caso más desfavorable para la evacuación. Se trata de un incendio de crecimiento ultrarrápido de 7500 kW que se produce próximo a una de las salidas, obligando a los ocupantes a evacuar por rutas alternativas más largas hasta alcanzar una salida de evacuación. Los rociadores se encienden antes de la llegada de los bomberos ya que los bomberos llegan al de 5 minutos y los rociadores se activan al de 3.3 minutos.

El fuego podría producirse en cualquier estantería situada en la fachada superior, no obstante, se selecciona la estantería 20 como ubicación representativa, ya que desde esta posición el incendio compromete las salidas superiores más cercanas y obliga a los ocupantes a desviar su evacuación hacia salidas alternativas, generando así un recorrido de evacuación desfavorable o crítico.

En la Figura 14 se representan los escenarios de incendio más desfavorables seleccionados para el estudio, junto con la ubicación de las salidas existentes en el edificio.

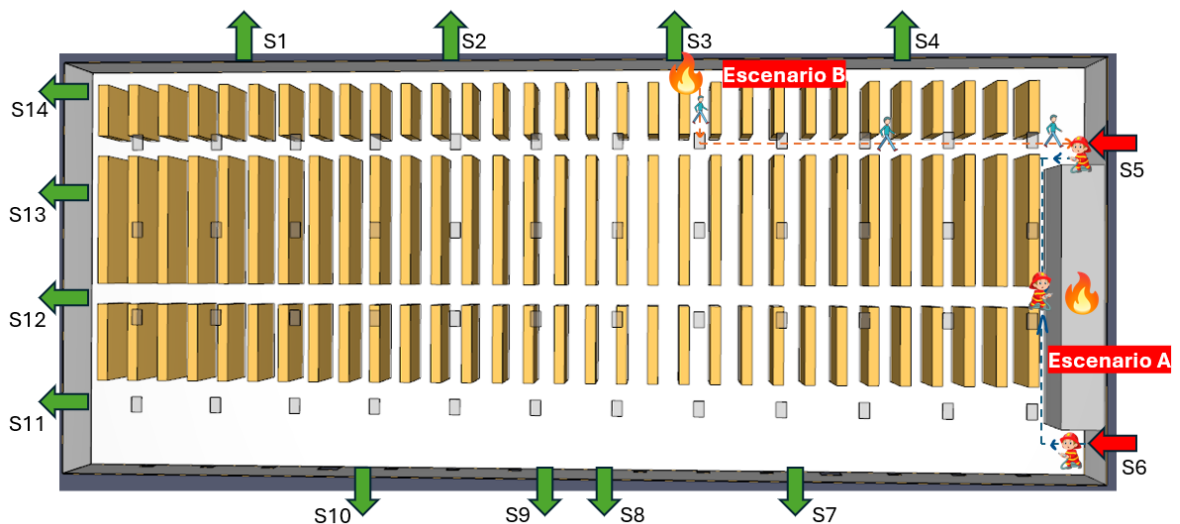


Figura 14: Escenarios de incendio más significativos.

Capítulo 7. SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE INGENIERÍA

Debido a las limitaciones de la norma UNE 23585 [31], no es viable utilizar las fórmulas algebraicas de sus anexos para calcular el sistema de control de humos. Es por ello que se propone como alternativa el uso de una herramienta de dinámica de fluidos computacional (CFD).

Las herramientas CFD tienen en cuenta el enfriamiento y el descenso de la capa de humo cuanto más se aleja del origen del incendio. En cambio, los métodos de zona, como los propuestos por la norma UNE 23585, utilizan una temperatura constante que no se corresponde con la situación analizada.

Para proceder con las simulaciones, se ha utilizado la herramienta FDS, desarrollada para usarla en este tipo de estudios como resultado de décadas de investigación en modelado CFD por parte del NIST.

Además, la herramienta FDS que se ha empleado en este estudio, ha sido ampliamente validada y verificada por la comunidad internacional para usarse en estudios de ingeniería del fuego.

Las guías de verificación y validación de esta herramienta se pueden encontrar en la página web oficial de la aplicación: <https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals.html>

- *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 2: Verification .*
- *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation .*

Según el epígrafe 10.1.1 de la norma UNE-ISO 23932:2017 [32], relativo a los métodos de cálculo, la valoración de los diseños analizados se lleva a cabo mediante procedimientos deterministas. Estos consisten en comparar los resultados obtenidos en las simulaciones, como la visibilidad, la temperatura y los niveles de toxicidad, con los valores límite definidos en los criterios prestacionales establecidos en el apartado 3.2.3.

Capítulo 8. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN:

ESCENARIO A

8.1. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El escenario A representa el caso de incendio más desfavorable para la intervención de los equipos de extinción. El foco del incendio está situado en una zona de almacenamiento a nivel de suelo, ubicada en el área automatizada del centro logístico. Además, los bomberos deberán recorrer una gran distancia desde los accesos disponibles y disponen de un número limitado de frentes para apagar el incendio.

El incendio se ha modelizado como un incendio de crecimiento medio, de acuerdo con la clasificación de la norma UNE-ISO 16733-1 [25]. La HRR máxima es de 4600 kW, valor obtenido a través de la herramienta DETACT-T2 a partir del tiempo de activación de los rociadores automáticos.

Al comenzar la simulación, el sistema de control de humos permanece inactivo, es decir, los exutorios de cubierta, los muelles de carga y los portones de acceso de vehículos se mantienen cerrados.

Como hipótesis de diseño, se considera que los servicios de emergencia llegan al edificio cinco minutos después de la ignición. En ese instante, los bomberos realizan la apertura manual de los exutorios, los muelles de carga y los portones. Esta actuación permite la extracción de los humos y la entrada de aire de reposición.

La simulación tiene una duración total de 700 segundos. Este tiempo permite analizar la evolución del incendio y el comportamiento del sistema de control de humos tras su activación. Asimismo, se evalúan las condiciones ambientales existentes durante la intervención de los bomberos.

8.2. EVOLUCIÓN DE LA POTENCIA DEL INCENDIO

La evolución de la potencia térmica del incendio, como se ha dicho anteriormente, se ha usado una curva de crecimiento tipo t^2 . Este criterio se ha usado en ingeniería de seguridad contra incendios para representar la fase inicial de desarrollo del fuego. En este tipo de incendios, la HRR aumenta de forma cuadrática con el tiempo, de acuerdo con la expresión presentada en el epígrafe 0.

La Figura 15 muestra la evolución de la potencia del incendio en la simulación. Durante la primera fase, la HRR aumenta progresivamente siguiendo la ley (t^2) reproduciendo, por lo tanto, el desarrollo natural del fuego antes de que entren en funcionamiento las medidas de control previstas. La potencia alcanza el valor máximo aproximadamente a los 625 segundos y, de ahí en adelante, se mantiene constante durante el resto de la simulación.

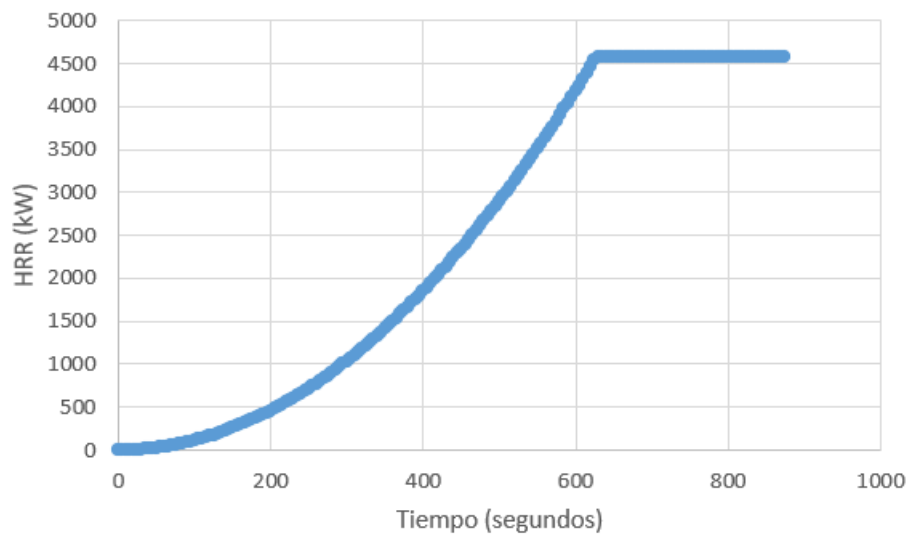


Figura 15: Evolución de la HRR del escenario A.

Esta hipótesis llevada a cabo permite representar un escenario conservador. El incendio continúa desarrollándose hasta alcanzar el tamaño máximo considerado para el diseño, de este modo, facilita la evaluación del comportamiento del sistema de control de humos y de las condiciones ambientales generadas en el recinto.

La estabilización de la potencia térmica a partir de los 625 segundos evita que el incendio siga incrementando su severidad, permitiendo analizar las condiciones existentes en una fase del incendio donde está plenamente desarrollado.

8.3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS

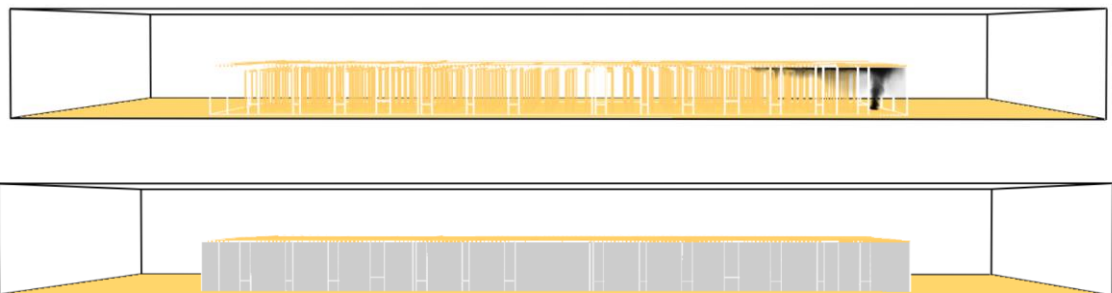
En los primeros momentos del incendio y hasta la llegada de los servicios de emergencia, el sistema de control de humos permanece inactivo, por lo tanto, todas las salidas de humo se mantienen cerradas. Como consecuencia, los productos de la combustión ascienden por efecto de la flotabilidad y se empiezan a acumular bajo la cubierta del edificio, formándose una capa de humos estratificada.

A los 300 segundos desde el inicio del incendio, de acuerdo con la hipótesis adoptada en el estudio, los bomberos abren manualmente el sistema de control de humos. En ese momento se establece un flujo natural de ventilación ya que se abren simultáneamente los exutorios de cubierta, los muelles de carga y los portones de acceso de vehículos.

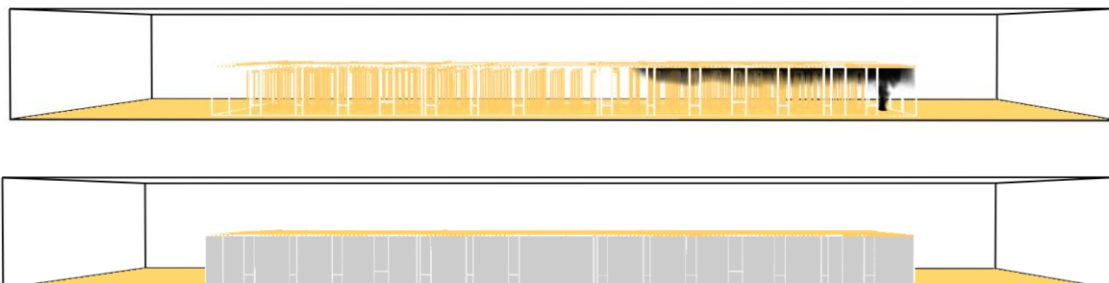
A partir de este instante, se muestra cómo los humos calientes se desplazan hacia las zonas de extracción situadas en la cubierta, mientras que la entrada de aire de reposición por las aberturas inferiores favorece el mantenimiento de la estratificación de la capa de humos. A medida que avanza la simulación, entre los 400 y los 875 segundos, el sistema es capaz de evacuar una parte importante de los productos de la combustión, limitando la acumulación de humos en las zonas inferiores del recinto.

El comportamiento observado es coherente con la estrategia de diseño que se ha adoptado para el edificio, cuya finalidad es facilitar las labores de control y extinción del incendio a través un sistema de ventilación natural. El comportamiento descrito se muestra de forma visual en la secuencia de imágenes obtenidas mediante Smokeview, capturadas cada 100 segundos de simulación y recogidas en la Figura 16.

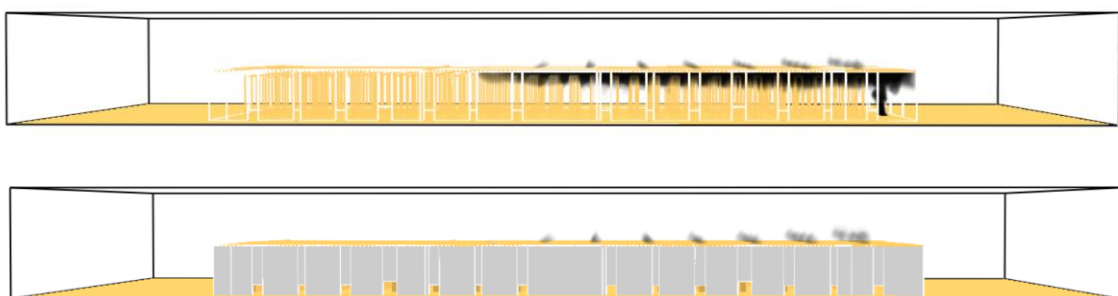
Simulación a los 100 segundos:



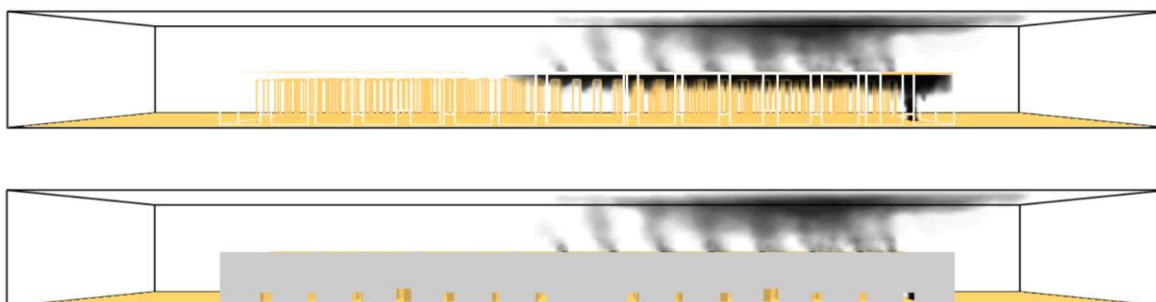
Simulación a los 200 segundos:



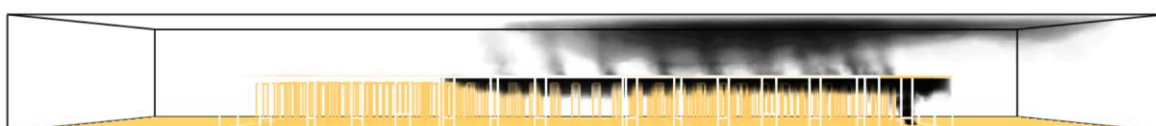
Simulación a los 300 segundos:



Simulación a los 400 segundos:

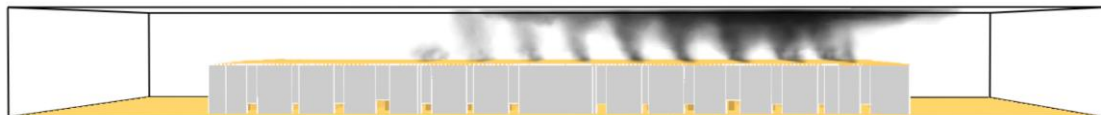
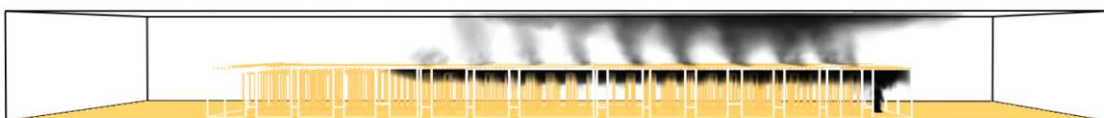


Simulación a los 500 segundos:

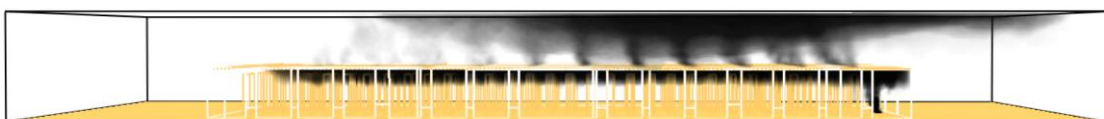




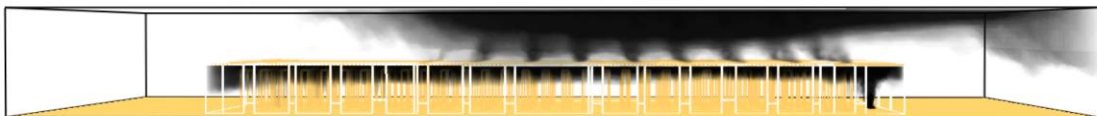
Simulación a los 600 segundos:



Simulación a los 700 segundos:



Simulación a los 800 segundos:



Simulación a los 875 segundos:

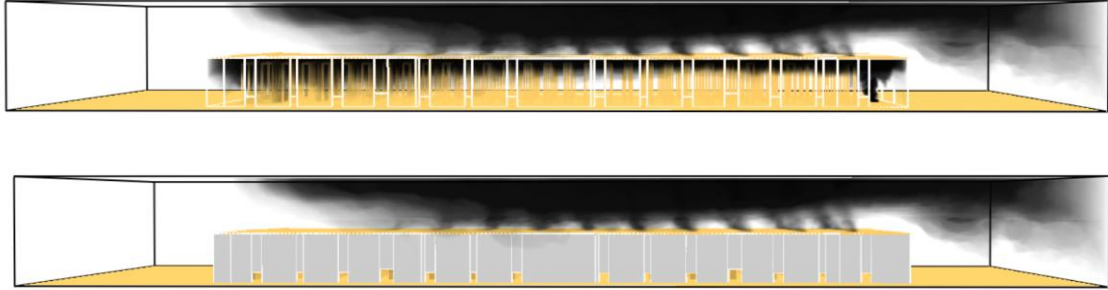


Figura 16: Evolución del movimiento de los humos y funcionamiento del sistema de control de humos en el escenario A (100 s, 200 s, 300 s, 400 s, 500 s, 600 s, 700 s, 800 s y 875 s).

8.4. VERIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS PRESTACIONALES

Tras analizar el comportamiento del incendio y cómo funciona el sistema de control de humos, se va a verificar que se cumplen todos los criterios prestacionales definidos en el epígrafe 3.2.3. El objetivo es comprobar si la solución obtenida es capaz de mantener unas condiciones adecuadas, unos daños mínimos y proporcionar una intervención segura de los equipos de emergencia.

Se van a comparar las condiciones ambientales obtenidas en la simulación con los valores límite que se han establecido en los criterios prestacionales.

En primer lugar, se va a analizar la protección de los ocupantes, verificando las condiciones de temperatura, visibilidad y toxicidad de los gases que se han generado en el incendio. Seguido, se va a evaluar el apoyo a la intervención de los equipos de emergencia, comprobando que las condiciones ambientales y las medidas de protección que se han adoptado facilitan las labores de control y extinción del incendio. Finalmente, se va a estudiar la protección de la propiedad, a través de un análisis de las temperaturas que se alcanza bajo la cubierta del edificio, con el fin de limitar la propagación del incendio y los daños asociados.

El hecho de poder verificar estos criterios con FDS dará la posibilidad de determinar si el sistema de control de humos diseñado cumple los objetivos establecidos en el análisis prestacional. También permite confirmar si el comportamiento global del edificio frente al incendio es adecuado para las hipótesis de cálculo consideradas.

8.4.1. PROTECCIÓN DE LOS OCUPANTES

8.4.1.1. *Análisis de la temperatura bajo techo*

El primero de los criterios de seguridad para el ocupante consiste en asegurar que la temperatura de la capa de humos que se ubica a nivel de la cubierta no exceda los 200 °C. El objetivo es evitar dañar la estructura del edificio y reducir el peligro de propagación del fuego.

Se observa en la Figura 17 que las temperaturas más elevadas se concentran próximas al foco del incendio y se alcanzan valores máximos de 105 °C en la pluma térmica ascendente. Sin embargo, los gases calientes se desplazan y se mezclan con el aire del recinto haciendo que la temperatura disminuya y se mantengan valores significativamente inferiores en la mayor parte del volumen del edificio.

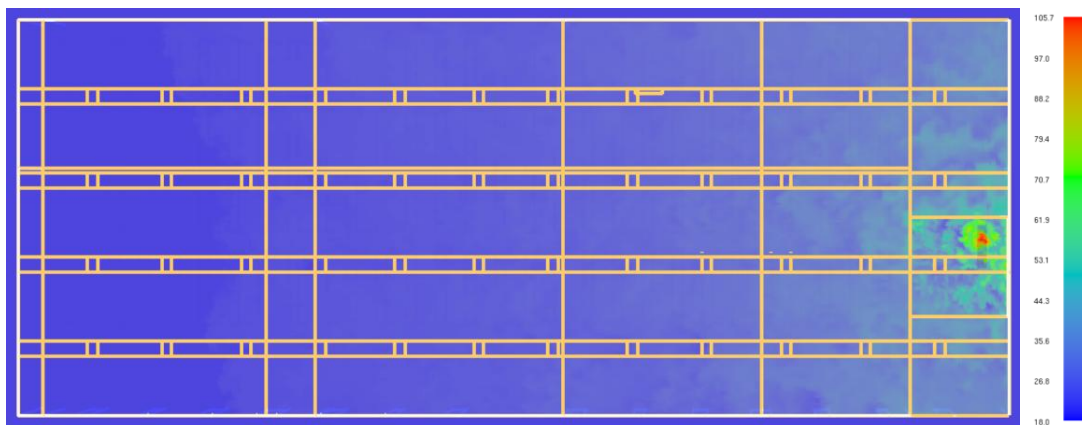


Figura 17: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario A.

La actuación del sistema de control de humos ayuda a evitar la acumulación de los gases calientes debajo de la cubierta haciendo eficiente su evacuación y evitando que se alcancen temperaturas elevadas en las zonas alejadas del incendio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las temperaturas de la capa de humos están por debajo del límite prestacional establecido de 200 °C. Esto significa que este criterio se considera satisfecho para el escenario A.

8.4.1.2. *Análisis de la visibilidad en la ruta de evacuación*

El segundo criterio prestacional para la protección de los ocupantes consiste en analizar, a 2 metros del suelo, la visibilidad que hay en las rutas de evacuación y no puede ser inferior a 10 metros. Este

requisito tiene como objetivo garantizar que los ocupantes son capaces de ver las salidas y desplazarse hacia ellas sin que el humo dificulte significativamente.

Como se muestra en la Figura 18, las menores distancias de visibilidad se localizan en las partes superiores de la ruta, es decir, a 12 metros aproximadamente del suelo hay menos de 4 metros de visibilidad. A medida que disminuye la distancia al suelo, la visibilidad es de 30 metros, manteniéndose el límite prestacional en todo el recorrido de evacuación.

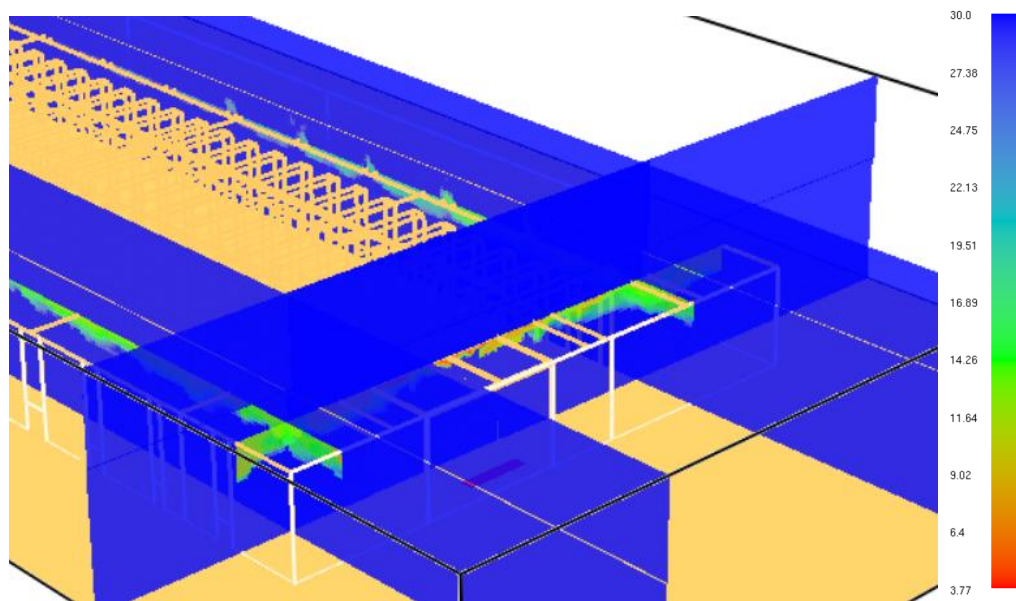


Figura 18: Distribución de la visibilidad en las rutas de evacuación para el escenario A.

La apertura del sistema de control de humos favorece la evacuación de los productos de la combustión limitando la acumulación de humo en las zonas inferiores del recinto. Esto contribuye a conservar unas condiciones de visibilidad adecuadas en las rutas de evacuación.

A la vista de los resultados analizados, la visibilidad en las zonas donde estarían las personas supera el valor mínimo establecido de 10 metros. Este criterio prestacional se considera satisfecho para el escenario A.

8.4.1.3. Análisis de la temperatura en la ruta de evacuación

El tercer criterio prestacional para la protección de los ocupantes establece que la temperatura en las rutas de evacuación, a 2 metros del suelo, no debe superar los 60 °C. Este requisito tiene como

finalidad garantizar que las personas puedan desplazarse hacia una zona segura sin exponerse a condiciones térmicas que puedan comprometer su integridad física.

Los resultados obtenidos en la Figura 19 indican que las temperaturas más elevadas se concentran en la parte superior del recinto, llegando a los 24 °C. Disminuyendo la distancia al suelo, se muestra que la temperatura a los 2 metros es próxima a los 17 °C por lo que la temperatura es claramente inferior al límite prestacional.

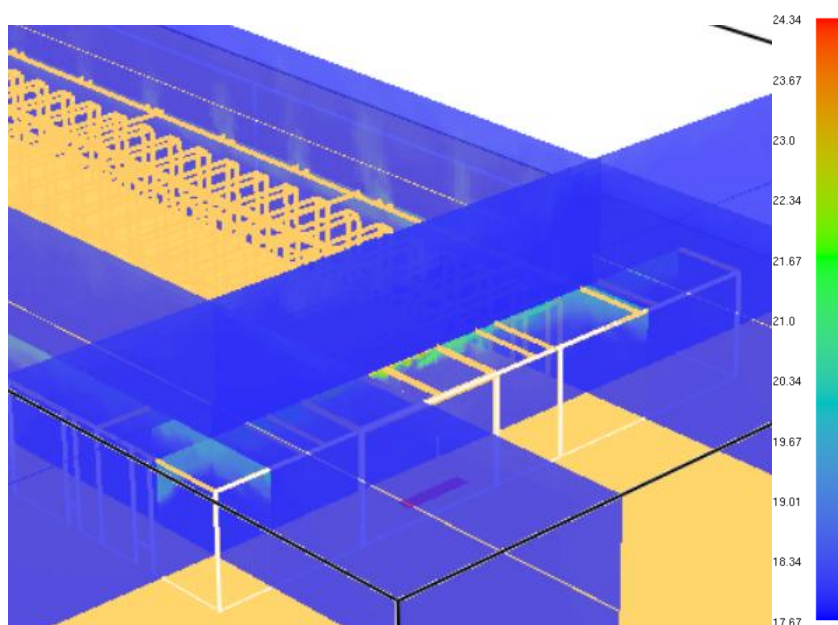


Figura 19: Distribución de temperaturas en las rutas de evacuación para el escenario A.

La actuación del sistema de control de humos favorece la evacuación de los gases calientes limitando su acumulación en las zonas inferiores del recinto. Esto hace posible conservar unas condiciones ambientales compatibles con la evacuación.

Según los resultados, la temperatura en la ruta de evacuación permanece por debajo del valor límite de 60 °C. Este criterio prestacional se considera satisfecho para el escenario A.

8.4.1.4. Análisis de la concentración de oxígeno

El cuarto criterio prestacional para la protección de los ocupantes establece que la concentración de oxígeno no debe descender por debajo del 16 % en volumen en las rutas de evacuación. Este requisito tiene como finalidad garantizar que las personas no se vean expuestas a atmósferas con una reducción significativa del oxígeno disponible para la respiración.

Los resultados obtenidos en la Figura 20 indican que, a 2 metros de distancia del suelo, los ocupantes tienen un 20.76 % de oxígeno en volumen y, a medida que aumenta la distancia al suelo, el oxígeno disminuye a 20.13 %.

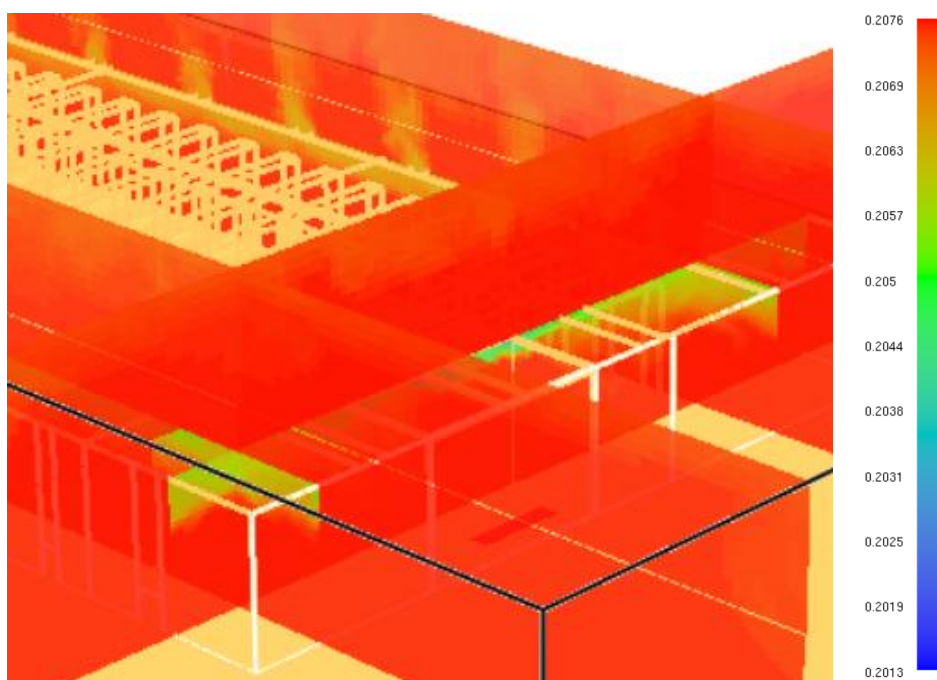


Figura 20: Distribución de la concentración de oxígeno en las rutas de evacuación para el escenario A.

La actuación del sistema de control de humos ayuda a la renovación del aire en el interior del edificio a través de la entrada de aire de reposición a baja cota y la extracción de los gases calientes por la cubierta. Esto contribuye a mantener unos niveles adecuados de oxígeno en las zonas de interés.

En consonancia con los resultados obtenidos, la concentración de oxígeno en las rutas de evacuación se mantiene por encima del límite prestacional establecido del 16 % en volumen, por lo que este criterio se considera satisfecho para el escenario A.

8.4.1.5. Análisis de la concentración de dióxido de carbono

El quinto criterio prestacional para la protección de los ocupantes establece que la concentración de dióxido de carbono (CO_2) no debe superar el 3 % en volumen (30000 ppm). Este requisito tiene como objetivo evitar que los ocupantes estén expuestos a concentraciones elevadas de gases de combustión ya que estos pueden afectar a su capacidad de respuesta durante una situación de emergencia.

Los resultados indican que las mayores concentraciones de CO₂ se localizan en la parte superior del recinto, llegando al 0.07 % en volumen (3679 ppm). En cambio, a 2 metros del suelo, se obtiene 0.04 % de dióxido de carbono en volumen (386 ppm).

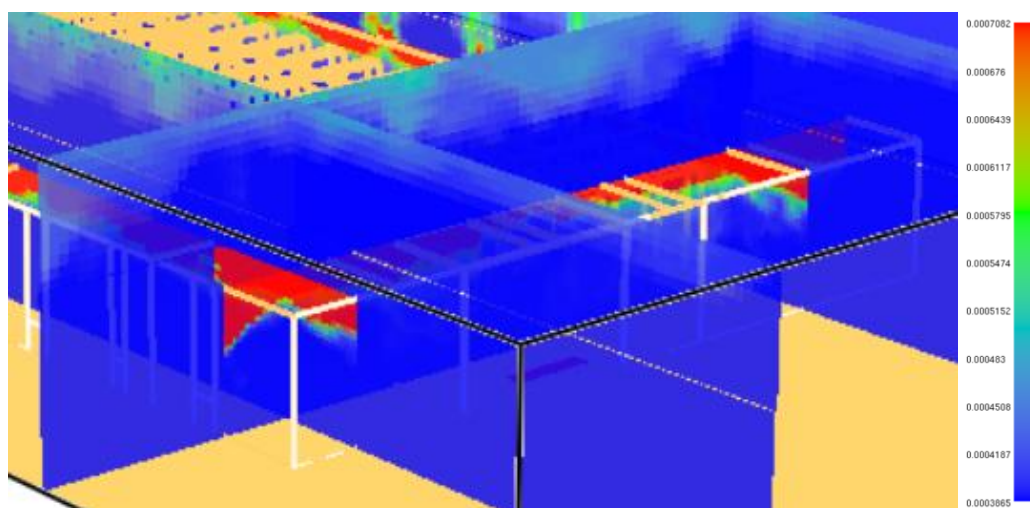


Figura 21: Concentración de dióxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario A.

La apertura de los exutorios de cubierta, junto con la entrada de aire de reposición a través de los muelles de carga y los portones de acceso, ayuda a renovar el aire en el interior del recinto y limita la acumulación de dióxido de carbono en las zonas de interés.

Conforme a los resultados hallados, la concentración de dióxido de carbono en las rutas de evacuación permanece por debajo del límite prestacional establecido del 3 % en volumen. Este criterio se considera satisfecho para el escenario A.

8.4.1.6. Análisis de la concentración de monóxido de carbono

El sexto criterio prestacional para la protección de los ocupantes establece que la concentración de monóxido de carbono (CO) no debe provocar una fracción de carboxihemoglobina (COHb) en sangre superior al 30 %. Este criterio tiene como finalidad que los ocupantes se expongan lo menos posible a uno de los principales gases tóxicos generados durante la combustión.

Los resultados obtenidos en la Figura 22 indican que las mayores concentraciones de monóxido de carbono se localizan en la parte superior de la instalación, llegando a 95 ppm. En cambio, a 2 metros del suelo, la concentración de carboxihemoglobina (COHb) en sangre es de 9.50 ppm.

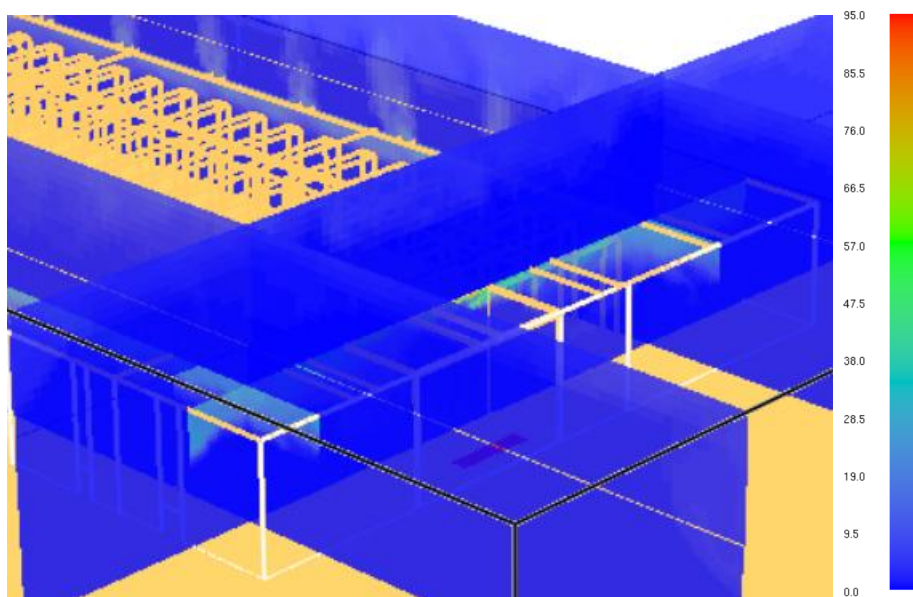


Figura 22: Concentración de monóxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario A.

La apertura de los exutorios de cubierta y la entrada de aire de reposición por los muelles de carga y los portones favorecen la evacuación de los productos de la combustión, limitando la acumulación de monóxido de carbono en las zonas que se ocupan en el edificio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la concentración de monóxido de carbono no alcanza valores que puedan generar una fracción de carboxihemoglobina superior al límite prestacional establecido del 30 % (6000 ppm). Este criterio se considera satisfecho para el escenario analizado.

8.4.2. APOYO A LA INTERVENCIÓN EN CASO DE INCENDIO

8.4.2.1. *Análisis de las medidas de protección*

El primer criterio prestacional relacionado con el apoyo a la intervención en caso de incendio establece que el edificio tiene que disponer de medidas de protección que hagan más fácil las labores de control y extinción del incendio.

La solución propuesta en este trabajo incorpora un conjunto de medidas pasivas y activas para alcanzar dicho objetivo. En primer lugar, el edificio se configura como un único sector de incendio y posee un sistema de control de humos basado en ventilación natural. La ventilación natural consiste en tener exutorios de cubierta y aportación de aire de reposición a través de los muelles de carga y los portones de acceso para vehículos.

Asimismo, el sistema de control de humos ha sido diseñado para que sea accionado manualmente por los equipos de emergencia. Una vez producida su llegada al edificio, puedan gestionar las condiciones de ventilación más adecuadas para las operaciones de extinción.

Como medidas complementarias, el diseño va a incorporar un sistema de detección automática de incendios por aspiración, rociadores automáticos, una mejora de la señalización de emergencia y actuaciones de información y formación dirigidas al personal del centro.

Por todo ello, se considera que el edificio dispone de las medidas de protección que son necesarias para hacer más fácil la actuación de los servicios de emergencia. De esta manera, se cumple el criterio prestacional establecido para el apoyo a la intervención en caso de incendio.

8.4.2.2. *Análisis de las condiciones de los bomberos*

El segundo criterio prestacional relativo al apoyo a la intervención en caso de incendio establece que los bomberos deben poder acceder al foco del incendio en condiciones ambientales adecuadas. Se debe mantener la temperatura del aire por debajo de 100 °C y disponer de una visibilidad suficiente para desarrollar las labores de extinción.

La Figura 23 muestra la distribución de temperaturas en la ruta de intervención. Se observa que las temperaturas más elevadas se concentran en la parte superior del recinto, llegando a los 24 °C. Disminuyendo la distancia al suelo, se muestra que la temperatura a los 2 metros del suelo es próxima a los 17 °C. Es por ello que el límite prestacional de 100 °C no es alcanzado.

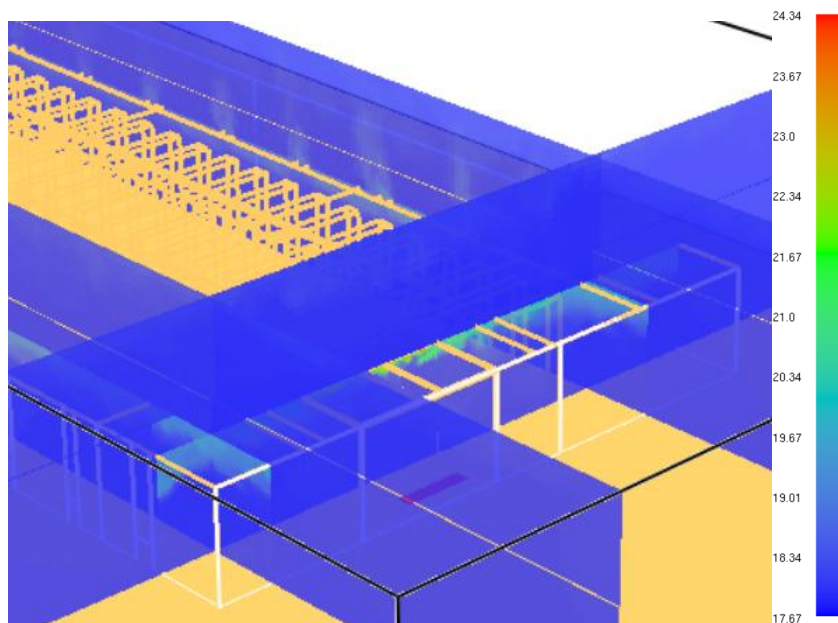


Figura 23: Distribución de temperaturas en las rutas de intervención para el escenario A.

Por otro lado, la Figura 24 presenta la distribución de la visibilidad a lo largo del mismo recorrido. Los resultados hallados indican que las menores distancias de visibilidad se localizan en las partes superiores de la ruta, es decir, a 12 metros aproximadamente del suelo hay menos de 4 metros de visibilidad. Por el contrario, a 2 metros del suelo, hay 30 metros de visibilidad, manteniéndose unas condiciones compatibles con las labores de localización y ataque al incendio.

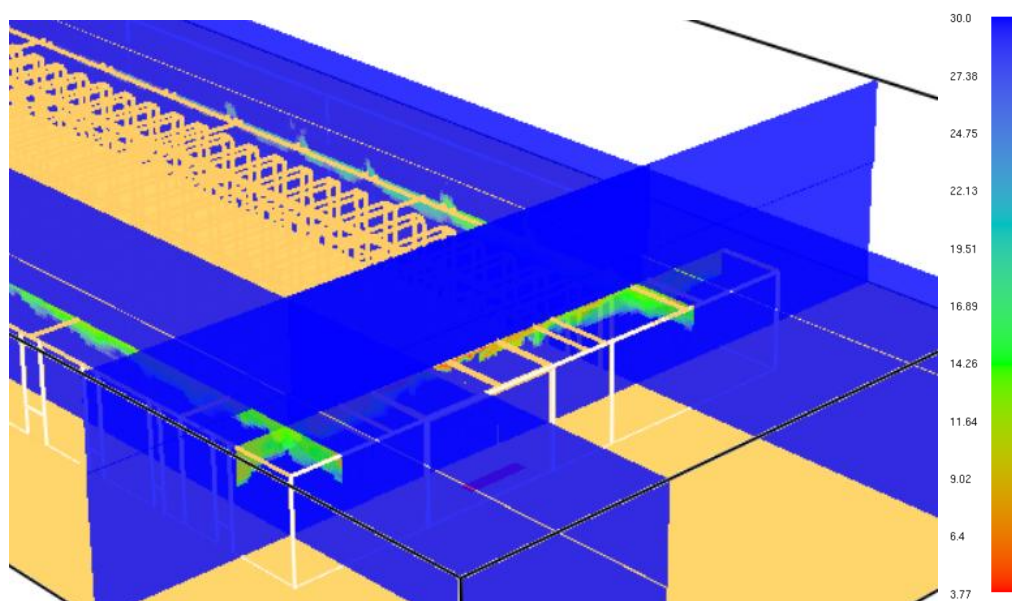


Figura 24: Distribución de la visibilidad en las rutas de intervención para el escenario A.

Atendiendo a los resultados obtenidos, las condiciones de temperatura y visibilidad que van a tener los bomberos en la ruta van a permitir que se realicen las labores de intervención en condiciones adecuadas. Este criterio prestacional se considera satisfecho para el escenario A.

8.4.3. PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD

8.4.3.1. *Análisis de la temperatura bajo techo*

El criterio prestacional establecido para proteger la propiedad requiere que la temperatura de los humos bajo techo permanezca por debajo de 200 °C. Este requisito tiene como objetivo reducir los daños sobre el edificio al máximo y, también, reducir el riesgo de propagación del incendio a otras zonas.

Los resultados obtenidos en la Figura 25 indican que las temperaturas más elevadas se concentran próximas al foco del incendio y se alcanzan valores máximos de 105 °C en la pluma térmica ascendente. Sin embargo, los gases calientes se desplazan y se mezclan con el aire del recinto haciendo que la temperatura se reduzca.

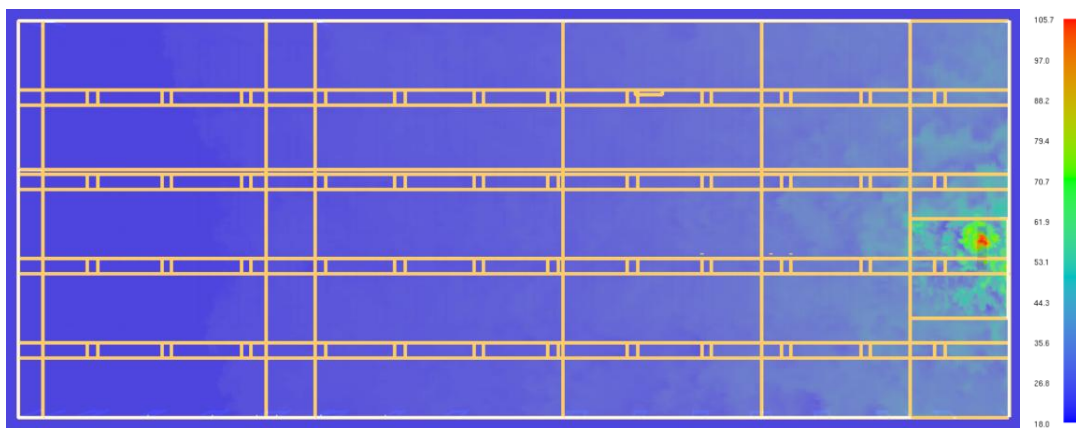


Figura 25: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario A.

En consonancia con los resultados hallados en la simulación, las temperaturas bajo la cubierta permanecen muy por debajo del límite prestacional establecido de 200 °C. Por lo tanto, se considera que el criterio prestacional de protección de la propiedad se satisface para el escenario analizado.

8.4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis que se ha realizado permite comprobar que la solución de seguridad contra incendios propuesta satisface los criterios prestacionales que se han establecido. Los resultados obtenidos mediante las simulaciones con FDS muestran que el sistema de control de humos hace que se mantengan unas condiciones ambientales adecuadas tanto para la protección de los ocupantes como para la intervención de los equipos de emergencia y la protección del edificio. Asimismo, debe destacarse que las comprobaciones realizadas se han efectuado en la situación más desfavorable del incendio, correspondiente al instante en que éste alcanza su potencia máxima, aproximadamente a los 625 s desde la ignición. Este instante es significativamente posterior al tiempo requerido para la evacuación de los ocupantes (RSET), estimado en 158 s, por lo que las condiciones de seguridad verificadas se mantienen durante un periodo muy superior al necesario para que los ocupantes alcancen una zona segura y para que se inicien las labores de intervención de los servicios de emergencia.

En relación con la protección de los ocupantes, las simulaciones muestran que las temperaturas y la visibilidad en las rutas analizadas permanecen dentro de los límites que se han establecido. Del mismo modo, las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono no alcanzan valores que puedan comprometer la seguridad de las personas. Respecto a la concentración de partículas, aunque este parámetro se ha considerado como criterio prestacional, sus resultados deben interpretarse con cierta cautela debido a la incertidumbre asociada a la predicción del humo en FDS. No obstante, las simulaciones muestran que la capa de humos permanece por encima de la zona ocupable, manteniéndose libre de humo la altura de 2 m sobre el suelo y concentrándose los productos de la combustión principalmente por encima de los 10 m de altura.

Desde el punto de vista del apoyo a la intervención en caso de incendio, la apertura manual del sistema de control de humos a la llegada de los servicios de emergencia ayuda a la evacuación de los gases calientes y de los productos de la combustión. Las temperaturas y la visibilidad obtenidas permiten verificar que la intervención puede desarrollarse en unas condiciones adecuadas para los servicios de emergencia.

En cuanto a la protección de la propiedad, las temperaturas alcanzadas bajo la cubierta se mantienen por debajo del límite prestacional, reduciendo el riesgo de propagación del incendio y limitando los daños a los otros elementos constructivos del edificio.

En conjunto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la estrategia llevada a cabo proporciona un comportamiento satisfactorio frente al escenario de incendio A. Asimismo, las simulaciones realizadas confirman que las medidas de protección incorporadas permiten alcanzar un nivel de seguridad coherente con los objetivos del Diseño Basado en Prestaciones planteado para el edificio.

Se muestra en la Tabla 6 un resumen de los resultados obtenidos en el Escenario A y su comparación con los límites establecidos para cada criterio prestacional. Esta tabla permite verificar de forma global el cumplimiento de los objetivos de seguridad definidos para la protección de los ocupantes, el apoyo a la intervención de los servicios de emergencia y la protección de la propiedad.

Criterio prestacional	Límite prestacional	Escenario A	Cumple
Protección de los ocupantes			
Análisis de la temperatura bajo techo	Temperatura ≤ 200 °C	105 °C	✓
Análisis de la visibilidad en la ruta de evacuación	Visibilidad ≥ 10 m	30 m	✓
Análisis de la temperatura en la ruta de evacuación	Temperatura ≤ 60 °C	17 °C	✓
Análisis de la concentración de oxígeno	Concentración de O ₂ ≥ 15 % vol.	20.76 % vol.	✓
Análisis de la concentración de dióxido de carbono	Concentración de CO ₂ ≤ 30000 ppm	386 ppm	✓
Análisis de la concentración de monóxido de carbono	Concentración de CO ≤ 6000 ppm	9.50 ppm	✓
Apoyo a la intervención en caso de incendio			
Análisis de las medidas de protección	Sistema de control de humos operativo y conforme al diseño	Cumple	✓
Análisis de las condiciones de los bomberos (ruta de intervención)	Temperatura ≤ 60 °C Visibilidad ≥ 10 m	17 °C 30 m	✓
Protección de la propiedad			

Análisis de la temperatura bajo techo	Temperatura ≤ 200 °C	105 °C	✓
---------------------------------------	---------------------------	--------	---

Tabla 6: Resumen de los resultados y verificación de los criterios prestacionales para el escenario A.

Capítulo 9. ESCENARIO B: INCENDIO EN ALMACENAMIENTO EN ALTURA

9.1. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El escenario B representa el caso de incendio más desfavorable desde el punto de vista de las condiciones de evacuación y del desarrollo del incendio. El foco se sitúa en una estantería, cerca de una de las salidas del edificio, de manera que el incendio compromete las rutas de evacuación más cercanas y obliga a utilizar recorridos alternativos de mayor longitud.

El incendio se ha modelizado como un incendio de crecimiento ultrarrápido y alcanza una tasa máxima de liberación de calor de 7.500 kW.

Se va a seguir la misma hipótesis de diseño que para el escenario A, es decir, al inicio de la simulación, el sistema de control de humos permanece cerrado. Tras cinco minutos desde el inicio del incendio, los bomberos realizan la apertura manual de los exutorios, los muelles de carga y los portones, permitiendo la extracción de humos y la entrada de aire de reposición.

La simulación se ha desarrollado durante un tiempo total de 450 segundos, intervalo suficiente para analizar la evolución del incendio y el comportamiento del sistema de control de humos.

9.2. EVOLUCIÓN DE LA POTENCIA DEL INCENDIO

El incendio de diseño del escenario B, al igual que para el escenario A, se ha modelizado usando la curva de crecimiento tipo t^2 . Este tipo de curva reproduce el incremento de la HRR durante la fase inicial del incendio hasta alcanzar la potencia máxima definida para el escenario B.

La Figura 26 muestra la evolución temporal de la HRR obtenida en la simulación. En los primeros instantes de la simulación, la potencia del incendio aumenta de forma cuadrática y reproduce el desarrollo del fuego en una estantería de almacenamiento. A medida que avanza la combustión, la HRR se va incrementando hasta alcanzar una potencia máxima aproximada de 7.500 kW a los 200

segundos. Una vez alcanzado este valor, la HRR se mantiene prácticamente constante durante el resto de la simulación. Esto representa un incendio plenamente desarrollado y permite evaluar el comportamiento del sistema de control de humos en unas condiciones de diseño desfavorables.

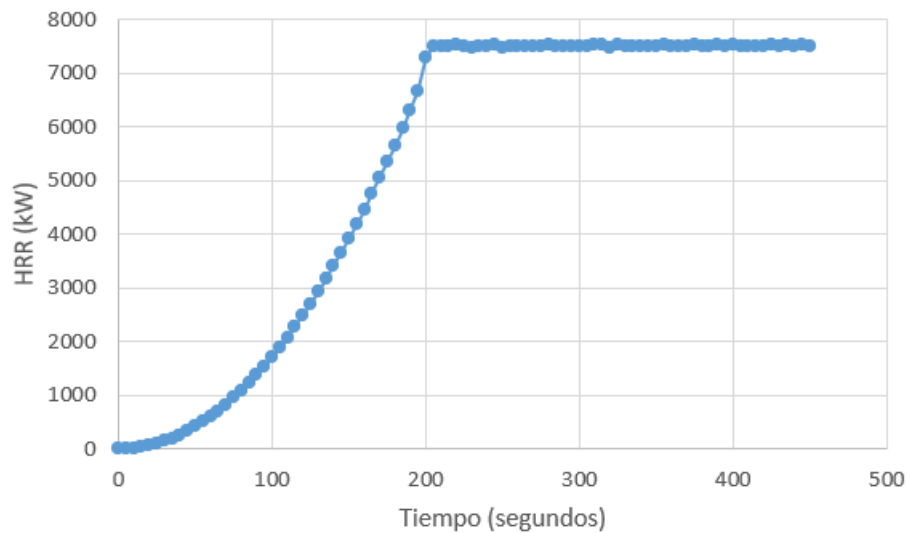


Figura 26: Evolución de la HRR del escenario B.

Esta hipótesis llevada a cabo permite representar un escenario conservador. El incendio continúa desarrollándose hasta alcanzar el tamaño máximo considerado para el diseño, de este modo, facilita la evaluación del comportamiento del sistema de control de humos y de las condiciones ambientales generadas en el recinto.

La estabilización de la potencia térmica a partir de los 200 segundos evita que el incendio siga incrementando su severidad, permitiendo analizar las condiciones existentes en una fase del incendio donde está plenamente desarrollado.

9.3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS

Tal y como funciona para el escenario A, va a funcionar para el escenario B. Al inicio del incendio, el sistema de control de humos permanece inactivo. Hasta la llegada de los servicios de emergencia, todas las salidas de humo permanecen cerradas. Los humos calientes ascienden por flotabilidad y se acumulan bajo la cubierta, formando una capa estratificada.

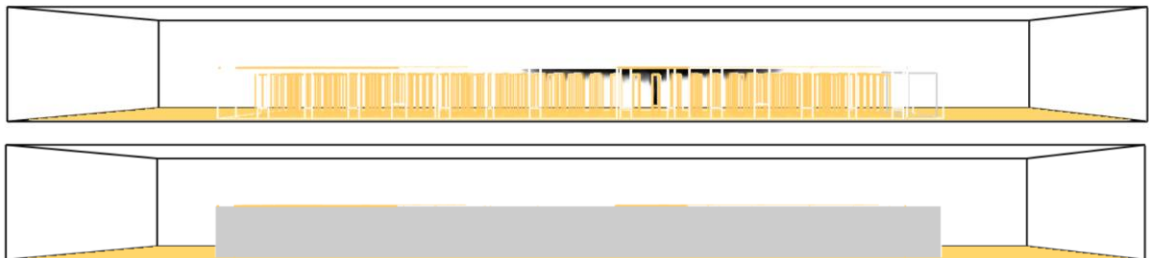
A los 300 segundos del inicio del incendio, los bomberos activan manualmente el sistema de control de humos. Se abren los exutorios de cubierta, los muelles de carga y los portones de acceso de vehículos. Esto genera un flujo de ventilación natural.

Desde ese momento, los humos se desplazan hacia las zonas de extracción de la cubierta. Al mismo tiempo, el aire de reposición entra por las aberturas inferiores y favorece el mantenimiento de la estratificación.

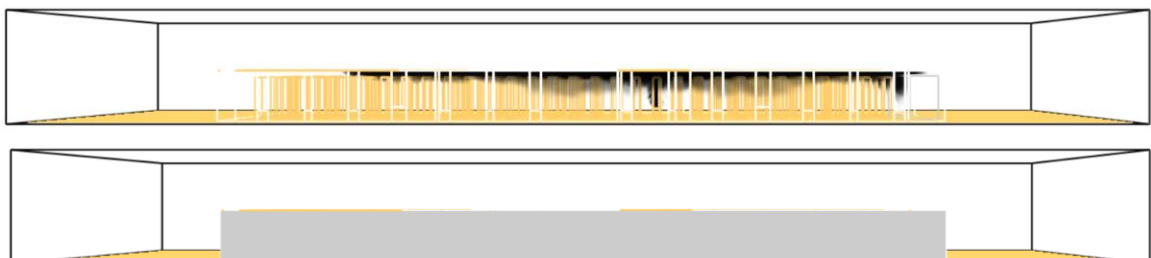
Entre los 300 y los 450 segundos, el sistema evacua una parte importante de los productos de la combustión. Como resultado, se reduce la acumulación de humos en las zonas bajas del recinto.

El comportamiento observado confirma el funcionamiento previsto en el diseño. El sistema de ventilación natural facilita las labores de control y extinción del incendio. La evolución del fenómeno puede observarse en las imágenes obtenidas con Smokeview, capturadas cada 50 o 100 segundos y recogidas en la Figura 27.

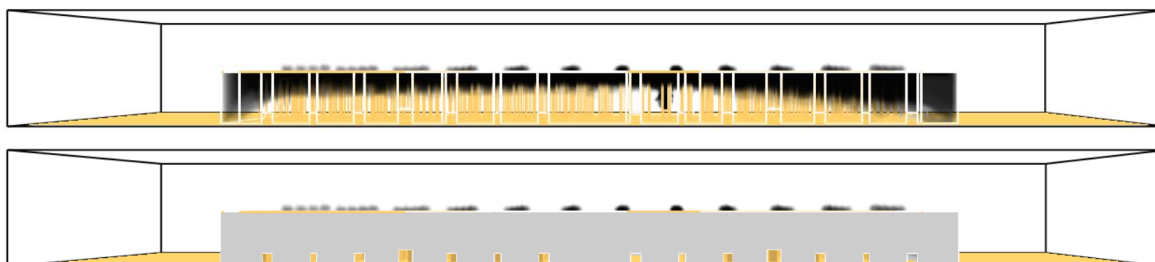
Simulación a los 100 segundos:



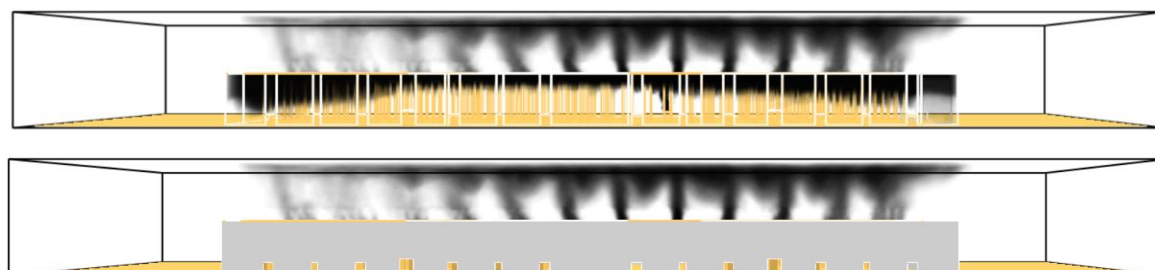
Simulación a los 200 segundos:



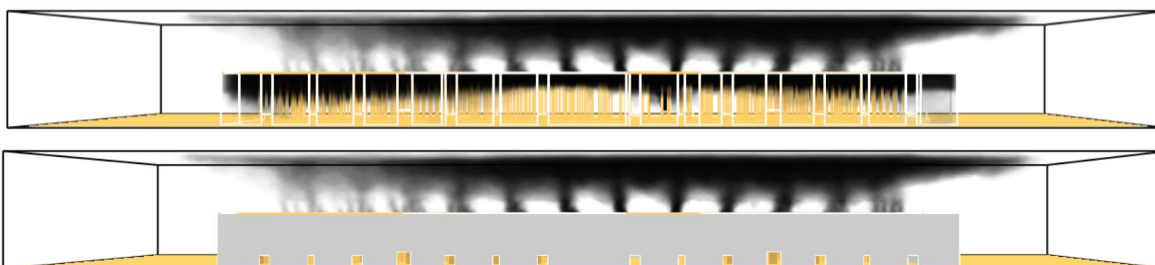
Simulación a los 300 segundos:



Simulación a los 350 segundos:



Simulación a los 400 segundos:



Simulación a los 450 segundos:

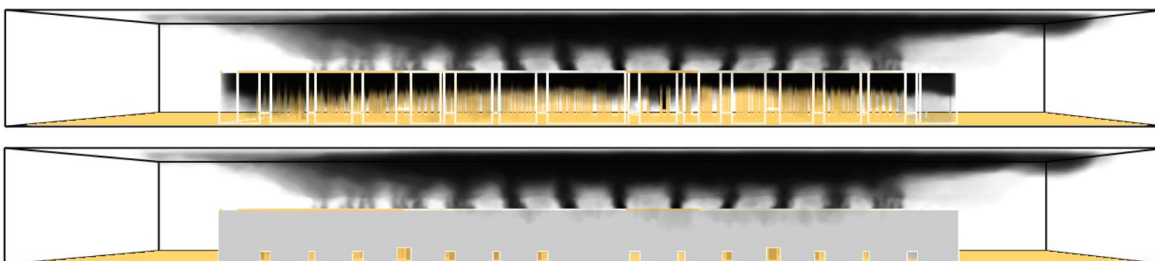


Figura 27: Evolución del movimiento de los humos y funcionamiento del sistema de control de humos en el escenario B (100 s, 200 s, 300 s, 350, 400 s y 450 s).

9.4. VERIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS PRESTACIONALES

9.4.1. PROTECCIÓN DE LOS OCUPANTES

9.4.1.1. Análisis de la temperatura bajo techo

El primer criterio de seguridad consiste en garantizar que la temperatura de la capa de humos bajo la cubierta no supere los 200 °C. Con ello se evita el daño estructural y se reduce el riesgo de propagación del incendio.

La Figura 28 muestra que las temperaturas más altas se localizan cerca del foco del incendio. En la pluma térmica ascendente se alcanzan valores máximos de 180 °C. Sin embargo, los gases calientes se desplazan y se mezclan con el aire del recinto, lo que provoca una reducción progresiva de la temperatura.

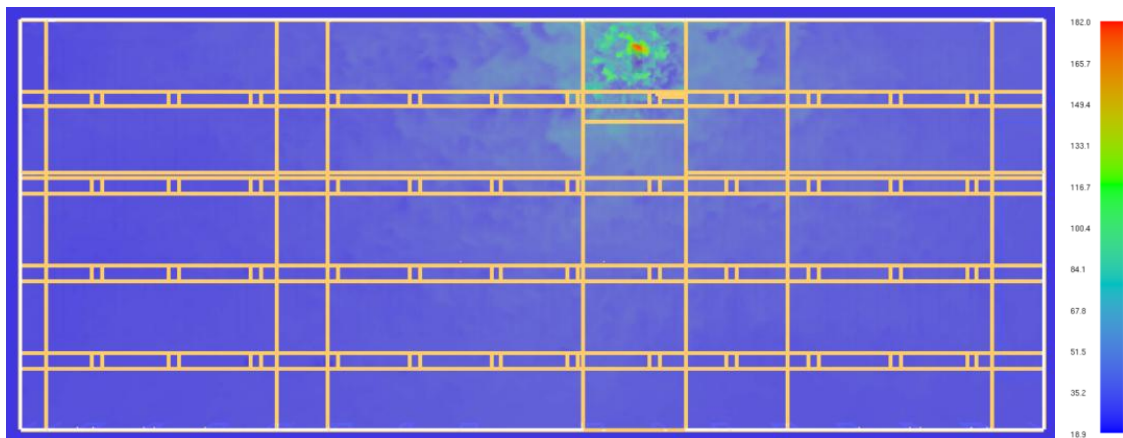


Figura 28: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario B.

El sistema de control de humos favorece la evacuación de los gases calientes. De este modo, se evita su acumulación bajo la cubierta y se limita el aumento de temperatura en las zonas más alejadas del incendio.

Los resultados obtenidos indican que la temperatura de la capa de humos permanece por debajo del límite prestacional de 200 °C. Por lo tanto, este criterio de seguridad se considera cumplido para el escenario B.

9.4.1.2. Análisis de la visibilidad

El segundo criterio de seguridad evalúa la visibilidad en las rutas de evacuación a 2 metros sobre el suelo. La distancia de visibilidad no debe ser inferior a 10 metros. El objetivo es garantizar que los ocupantes puedan localizar las salidas y evacuar de forma segura.

La Figura 29 muestra que las menores distancias de visibilidad se registran en las zonas superiores del recinto. A los 8 metros de altura, la visibilidad es inferior a 2 metros. Sin embargo, cerca del nivel de evacuación las condiciones mejoran notablemente. En cambio, a 2 metros del suelo, la visibilidad alcanza aproximadamente 30 metros y se mantiene por encima del límite exigido durante todo el recorrido de evacuación.

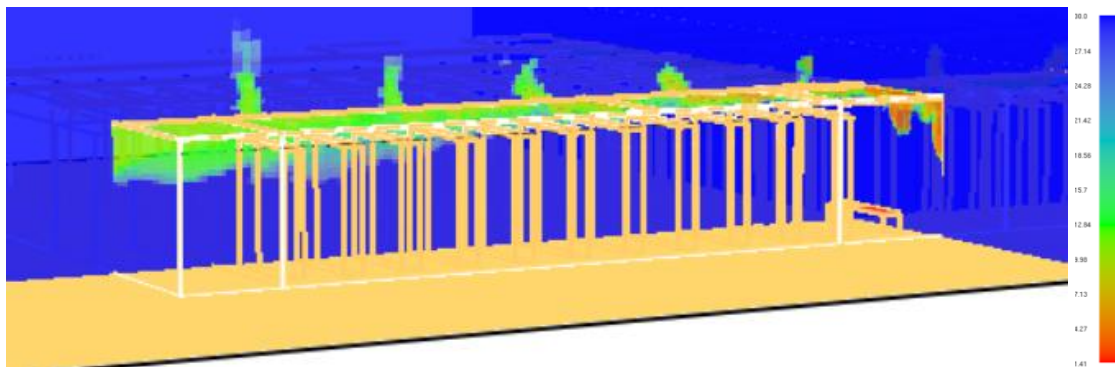


Figura 29: Distribución de la visibilidad en las rutas de evacuación para el escenario B.

La activación del sistema de control de humos favorece la extracción de los productos de la combustión. Esto reduce la acumulación de humo en las zonas inferiores y ayuda a mantener unas condiciones adecuadas para la evacuación.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la visibilidad en la zona ocupada por las personas supera el valor mínimo de 10 metros. Por lo tanto, este criterio prestacional se considera cumplido para el escenario B.

9.4.1.3. *Análisis de la temperatura en la ruta de evacuación*

El tercer criterio de seguridad evalúa la temperatura en las rutas de evacuación a 2 metros del suelo. Esta no debe superar los 60 °C. El objetivo es garantizar una evacuación segura y evitar riesgos para los ocupantes.

La Figura 30 muestra que las temperaturas más elevadas se concentran en la parte superior del recinto, donde se alcanzan valores de hasta 30 °C. Sin embargo, la temperatura disminuye progresivamente con la altura. A 2 metros del suelo, la temperatura es de aproximadamente 20 °C. Este valor se mantiene muy por debajo del límite prestacional establecido.

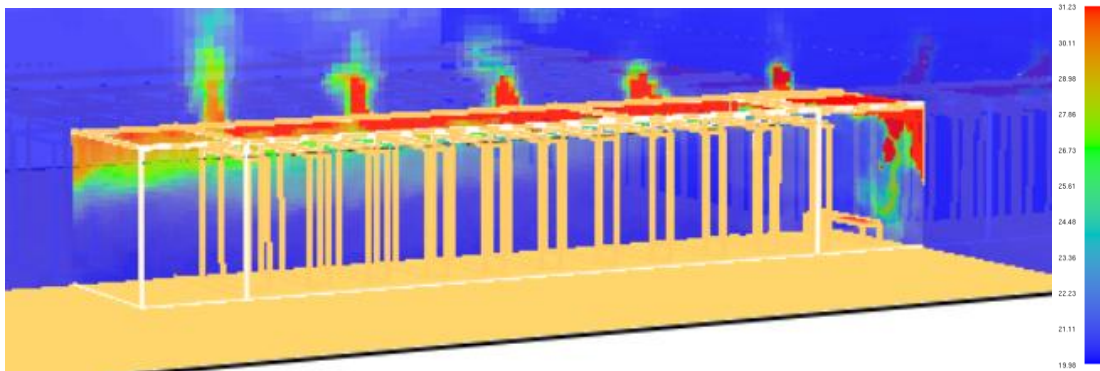


Figura 30: Distribución de temperaturas en las rutas de evacuación para el escenario B.

La activación del sistema de control de humos facilita la extracción de los gases calientes y evita su acumulación en las zonas inferiores del recinto. Esto permite mantener unas condiciones térmicas adecuadas para la evacuación.

Los resultados obtenidos indican que la temperatura en las rutas de evacuación permanece por debajo de los 60 °C. Por lo tanto, este criterio prestacional se considera cumplido para el escenario B.

9.4.1.4. *Análisis de la concentración de oxígeno*

El cuarto criterio de seguridad evalúa la concentración de oxígeno en las rutas de evacuación. El contenido de oxígeno no debe ser inferior al 16 % en volumen. Este requisito garantiza que los ocupantes dispongan de condiciones adecuadas para la respiración durante la evacuación.

La muestra que, a 2 metros del suelo, la concentración de oxígeno es del 20.76 %. A medida que aumenta la altura, este valor disminuye ligeramente hasta alcanzar el 18.44 %.

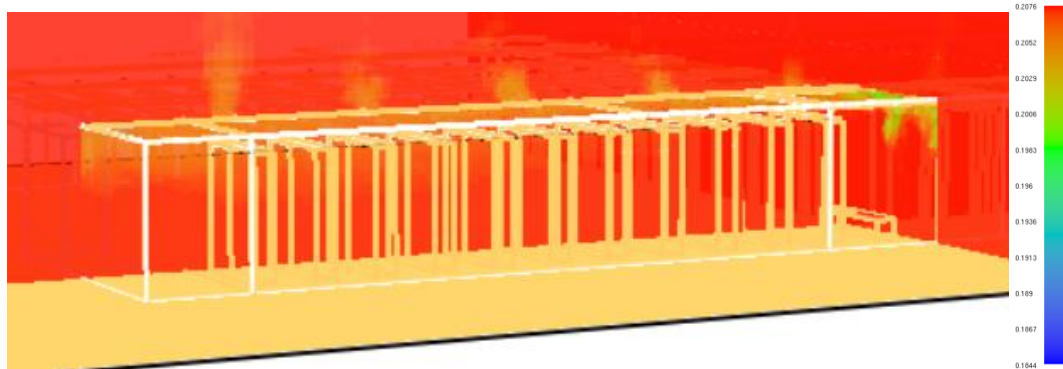


Figura 31: Distribución de la concentración de oxígeno en las rutas de evacuación para el escenario B.

La activación del sistema de control de humos favorece la renovación del aire en el interior del edificio. La entrada de aire de reposición por las aberturas inferiores y la extracción de gases por la cubierta contribuyen a mantener niveles adecuados de oxígeno.

Los resultados obtenidos indican que la concentración de oxígeno en las rutas de evacuación permanece ampliamente por encima del límite prestacional del 16 % en volumen. Por lo tanto, este criterio prestacional se considera cumplido para el escenario B.

9.4.1.5. Análisis de la concentración de dióxido de carbono

El quinto criterio de seguridad evalúa la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en las rutas de evacuación. Este valor no debe superar el 3 % en volumen (30.000 ppm). El objetivo es evitar la exposición de los ocupantes a concentraciones elevadas de gases de combustión durante la evacuación.

Los resultados, de acuerdo con la Figura 32, muestran que las mayores concentraciones de CO_2 se localizan en la parte superior del recinto, donde se alcanzan valores de hasta el 1264 ppm. A 2 metros del suelo, la concentración es de 387 ppm.

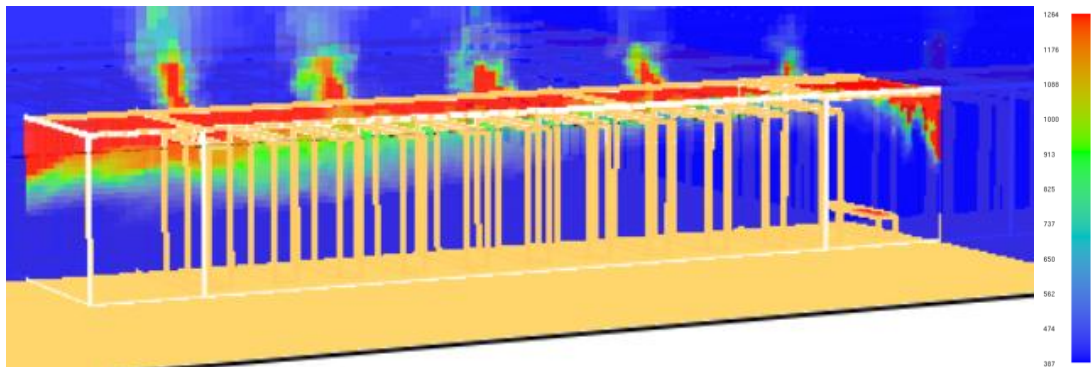


Figura 32: Concentración de dióxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario B.

La activación del sistema de control de humos favorece la renovación del aire interior. La apertura de los exutorios de cubierta y la entrada de aire de reposición por los muelles de carga y los portones de acceso limitan la acumulación de CO₂ en las zonas ocupables.

Los resultados obtenidos indican que la concentración de dióxido de carbono en las rutas de evacuación se mantiene muy por debajo del límite prestacional del 3 % en volumen. Por lo tanto, este criterio prestacional se considera cumplido para el escenario B.

9.4.1.6. Análisis de la concentración de monóxido de carbono

El sexto criterio de seguridad evalúa la exposición al monóxido de carbono (CO). La concentración de este gas no debe generar una fracción de carboxihemoglobina (COHb) en sangre superior al 30 %. El objetivo es limitar la exposición de los ocupantes a uno de los principales gases tóxicos producidos durante un incendio.

La Figura 33 muestra que los valores más elevados se concentran en la parte superior del recinto, donde la fracción de COHb alcanza hasta 348 ppm. Sin embargo, a 2 metros del suelo, el valor obtenido es de aproximadamente 35 ppm.

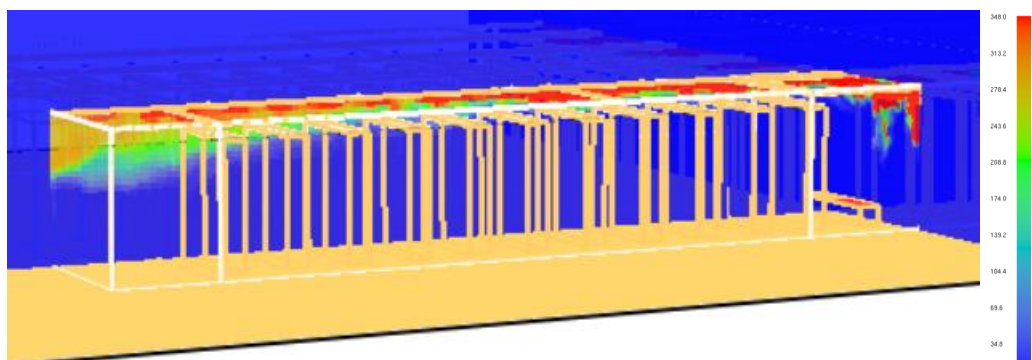


Figura 33: Concentración de monóxido de carbono en las rutas de evacuación para el escenario B.

La activación del sistema de control de humos favorece la extracción de los productos de la combustión. La apertura de los exutorios de cubierta y la entrada de aire de reposición contribuyen a reducir la acumulación de monóxido de carbono en las zonas ocupadas.

Los resultados obtenidos indican que, en las rutas de evacuación, la exposición al monóxido de carbono no genera una fracción de COHb superior al límite prestacional del 30 % (6000 ppm). Por lo tanto, este criterio prestacional se considera cumplido para el escenario B.

9.4.2. APOYO A LA INTERVENCIÓN EN CASO DE INCENDIO

9.4.2.1. Análisis de las medidas de protección

El primer criterio de apoyo a la intervención establece que el edificio debe disponer de medidas que faciliten las labores de control y extinción del incendio.

La solución propuesta incorpora medidas pasivas y activas para alcanzar este objetivo. El edificio se configura como un único sector de incendio y dispone de un sistema de control de humos mediante ventilación natural.

Este sistema utiliza exutorios en cubierta y aportación de aire de reposición a través de los muelles de carga y los portones de acceso para vehículos.

Además, el sistema está diseñado para ser accionado manualmente por los servicios de emergencia. Esto permite adaptar las condiciones de ventilación a las necesidades de las operaciones de extinción.

Como medidas complementarias, se prevé la instalación de un sistema de detección automática por aspiración, rociadores automáticos, una mejora de la señalización de emergencia y acciones de información y formación para el personal.

En conjunto, estas medidas facilitan la actuación de los equipos de emergencia y mejoran las condiciones de intervención. Por lo tanto, se considera cumplido el criterio prestacional de apoyo a la intervención en caso de incendio.

9.4.2.2. *Análisis de las condiciones de los bomberos*

El segundo criterio de apoyo a la intervención establece que los bomberos deben poder acceder al foco del incendio en condiciones adecuadas. Para ello, la temperatura debe mantenerse por debajo de 100 °C y la visibilidad debe ser suficiente para desarrollar las labores de extinción.

La Figura 34 muestra la distribución de temperaturas en la ruta de intervención. Las temperaturas más elevadas se localizan en la parte superior del recinto, donde alcanzan valores de hasta 30 °C. Sin embargo, a 2 metros del suelo la temperatura es de aproximadamente 20 °C, muy por debajo del límite prestacional de 100 °C.

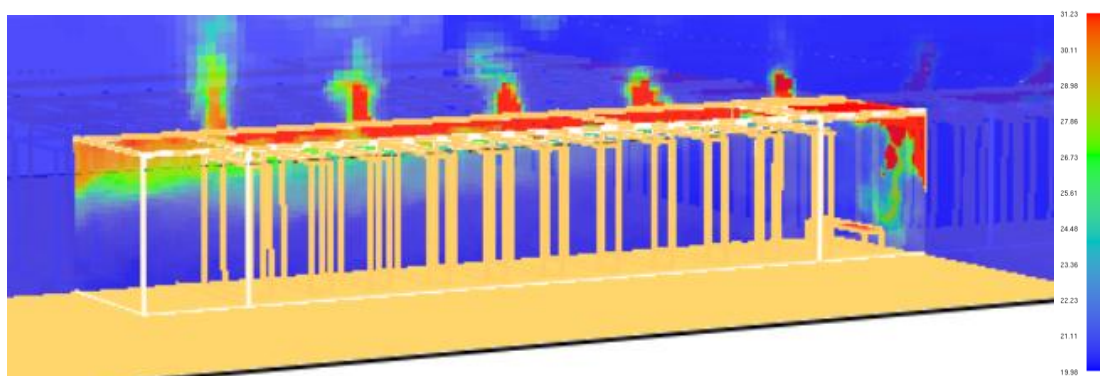


Figura 34: Distribución de temperaturas en las rutas de intervención para el escenario B.

La Figura 35 presenta la distribución de la visibilidad en la misma ruta. Los menores valores se registran en las zonas superiores, donde la visibilidad es inferior a 2 metros. En cambio, a 2 metros del suelo se dispone de una visibilidad de aproximadamente 30 metros.

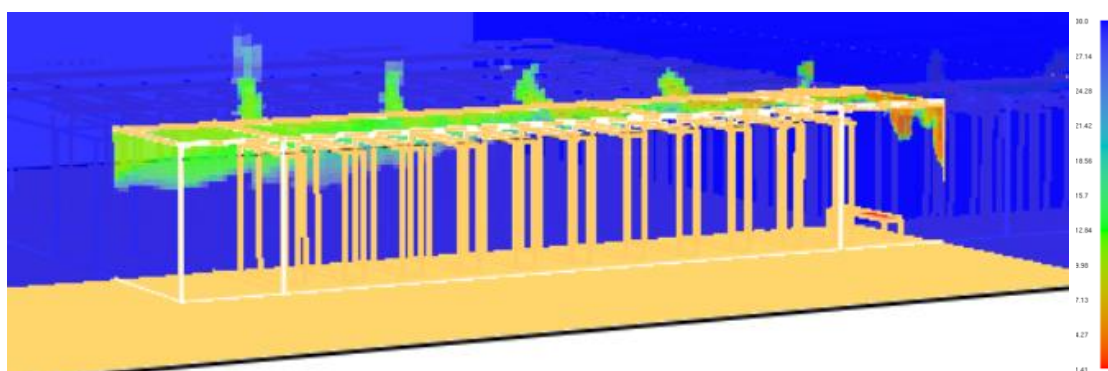


Figura 35: Distribución de la visibilidad en las rutas de intervención para el escenario B.

Estos resultados indican que las condiciones de temperatura y visibilidad en la ruta de intervención son adecuadas para las labores de localización y extinción del incendio.

Por lo tanto, se considera que este criterio prestacional se cumple para el escenario B.

9.4.3. PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD

9.4.3.1. *Análisis de la temperatura bajo techo*

El criterio de protección de la propiedad establece que la temperatura de los humos bajo la cubierta no debe superar los 200 °C. El objetivo es limitar los daños en el edificio y reducir el riesgo de propagación del incendio.

La Figura 36 muestra que las temperaturas más elevadas se concentran cerca del foco del incendio. En la pluma térmica ascendente se alcanzan valores máximos de 180 °C. A medida que los gases calientes ascienden, se mezclan con el aire del recinto. Este proceso favorece la reducción de la temperatura en el resto del volumen del edificio.

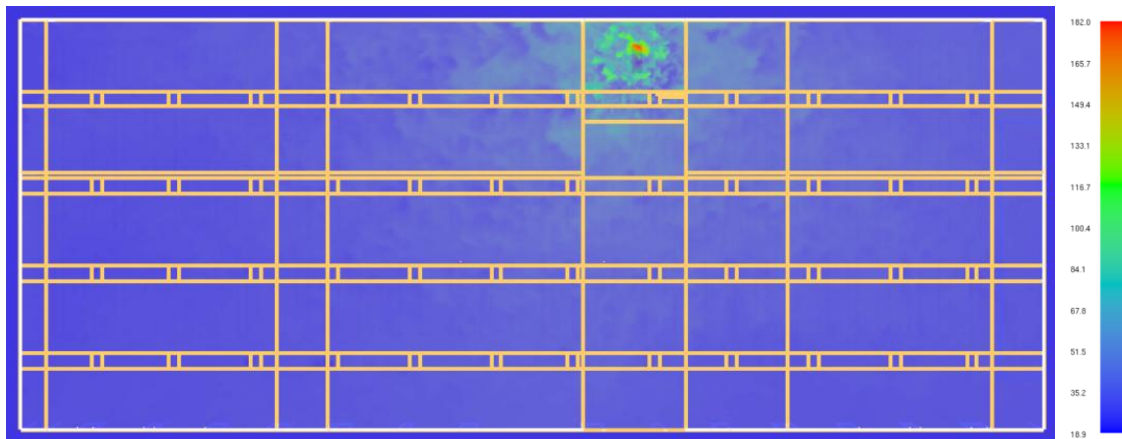


Figura 36: Distribución de temperaturas bajo cubierta para el escenario B.

Los resultados obtenidos indican que las temperaturas bajo la cubierta permanecen muy por debajo del límite prestacional de 200 °C.

Por lo tanto, se considera que el criterio prestacional de protección de la propiedad se cumple para el escenario B.

9.4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis realizado permite comprobar que la solución de seguridad contra incendios propuesta cumple los criterios prestacionales establecidos. Los resultados obtenidos mediante las simulaciones con FDS muestran que el sistema de control de humos mantiene condiciones adecuadas para la protección de los ocupantes, la intervención de los servicios de emergencia y la protección del edificio. Además, debe destacarse que las comprobaciones realizadas se han efectuado en la situación más desfavorable del escenario, correspondiente al instante en que el incendio alcanza su potencia máxima, aproximadamente a los 200 segundos desde la ignición. Este instante es posterior al tiempo requerido para la evacuación de los ocupantes (RSET), estimado en 158 s, por lo que las condiciones de seguridad verificadas en las simulaciones se mantienen durante un periodo superior al necesario para que los ocupantes alcancen una zona segura.

En relación con la protección de los ocupantes, las temperaturas y la visibilidad en las rutas de evacuación permanecen dentro de los límites exigidos. Asimismo, las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono se mantienen en valores compatibles con la seguridad de las personas.

Respecto al apoyo a la intervención, la activación manual del sistema de control de humos favorece la evacuación de los gases calientes y de los productos de la combustión. Las condiciones de temperatura y visibilidad obtenidas permiten desarrollar las labores de extinción en condiciones adecuadas para los equipos de emergencia.

En cuanto a la protección de la propiedad, las temperaturas bajo la cubierta permanecen por debajo del límite prestacional establecido. Esto contribuye a reducir el riesgo de propagación del incendio y a limitar los daños sobre el edificio.

En conjunto, los resultados demuestran que la estrategia adoptada ofrece un comportamiento satisfactorio frente al escenario de incendio B. Las simulaciones confirman que las medidas de protección incorporadas permiten alcanzar un nivel de seguridad acorde con los objetivos del Diseño Basado en Prestaciones definidos para el edificio.

La Tabla 8 presenta una síntesis de los resultados obtenidos para cada criterio prestacional analizado en el Escenario A, así como la verificación de su cumplimiento respecto a los límites de aceptación establecidos.

Criterio prestacional	Límite prestacional	Escenario B	Cumple
Protección de los ocupantes			
Análisis de la temperatura bajo techo	Temperatura ≤ 200 °C	180 °C	✓
Análisis de la visibilidad en la ruta de evacuación	Visibilidad ≥ 10 m	30 m	✓
Análisis de la temperatura en la ruta de evacuación	Temperatura ≤ 60 °C	20 °C	✓
Análisis de la concentración de oxígeno	Concentración de O ₂ ≥ 15 % vol.	20.76 % vol.	✓
Análisis de la concentración de dióxido de carbono	Concentración de CO ₂ ≤ 30000 ppm	387 ppm	✓
Análisis de la concentración de monóxido de carbono	Concentración de CO ≤ 6000 ppm	35 ppm	✓
Apoyo a la intervención en caso de incendio			
Análisis de las medidas de protección	Sistema de control de humos operativo y conforme al diseño	Cumple	✓
Análisis de las condiciones de los bomberos (ruta de intervención)	Temperatura ≤ 60 °C Visibilidad ≥ 10 m	20 °C 30 m	✓
Protección de la propiedad			
Análisis de la temperatura bajo techo	Temperatura ≤ 200 °C	180 °C	✓

Tabla 7: Resumen de los resultados y verificación de los criterios prestacionales para el escenario B.

Capítulo 10. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Máster es evaluar, mediante una metodología de Diseño Basado en Prestaciones y herramientas de simulación CFD, la eficacia que puede tener la solución alternativa de control de humos para un gran centro logístico. De este modo, se va a verificar su capacidad para alcanzar los objetivos de seguridad contra incendios establecidos para el edificio.

En cuanto al objetivo O1, se definieron y modelizaron los escenarios de incendio representativos del centro logístico. Para ello, se tuvo en cuenta las características propias del edificio, su la configuración del almacenamiento, así como sus condiciones de funcionamiento previstas para los sistemas de protección contra incendios. Este objetivo resulta fundamental, ya que la el poder validar el análisis prestacional depende en gran medida de que los escenarios que se han seleccionado sean suficientemente representativos y desfavorables.

En primer lugar, se caracterizó la carga de fuego del edificio haciendo una distinción entre el almacenamiento a nivel de suelo y el almacenamiento en altura. Esta distinción permitió asignar curvas de crecimiento diferentes para cada caso, crecimiento medio para el incendio en el suelo y crecimiento ultrarrápido para el incendio en estanterías. Esta hipótesis es coherente con la mayor continuidad vertical del combustible que hay en las estanterías, aunque debe entenderse como una simplificación del comportamiento real del incendio.

A partir de esta caracterización, se definieron dos incendios de diseño. El escenario A, correspondiente a un incendio en almacenamiento a nivel de suelo, se modelizó usando una curva de crecimiento t^2 media con un factor de crecimiento de 11.72 W/s^2 . Se alcanza una potencia máxima de 4600 kW y una activación estimada de los rociadores a los 10.42 minutos. Por otro lado, el escenario B, asociado a un incendio en almacenamiento en altura, se representó mediante una curva de crecimiento t^2 ultrarrápida con un factor de crecimiento de 187.56 W/s^2 . Se alcanza una potencia máxima de 7.500 kW y una activación estimada de los rociadores a los 3.3 minutos. La diferencia entre ambos escenarios permite representar incendios con velocidades de desarrollo distintas y evaluar el comportamiento de la solución propuesta frente a condiciones de severidad diferentes.

El escenario A representa una situación desfavorable para la intervención de los bomberos, al situarse el foco en una zona alejada y con condiciones de acceso más limitadas. El escenario B, en cambio,

representa una situación crítica desde el punto de vista de la evacuación, al ubicarse el incendio próximo a unas salidas y obligar a los ocupantes a emplear una ruta alternativa más larga. Esta selección permite cubrir dos situaciones relevantes del edificio, aunque aún queden más combinaciones posibles de ubicación del foco, ocupación, estado de las aberturas o condiciones exteriores.

La modelización geométrica del recinto mediante FDS permitió representar la nave logística, las estanterías, los exutorios, los muelles de carga, los portones y las condiciones de contorno principales. Además, se incorporó una estrategia de mallado con refinamiento en las zonas próximas al foco del incendio, con el fin de representar de forma más adecuada la pluma térmica y el movimiento inicial de los humos. No obstante, como en cualquier simulación CFD, el modelo constituye una aproximación de la realidad y sus resultados dependen de las hipótesis adoptadas, del tamaño de celda, de la definición del incendio y de la simplificación de ciertos elementos constructivos y operativos.

Por lo tanto, **puede concluirse que el objetivo O1 se ha cumplido**, ya que se han definido y modelizado dos escenarios de incendio coherentes con los riesgos principales del centro logístico.

De acuerdo con el O2, consistió en analizar, usando la simulación CFD, el comportamiento del humo y las condiciones ambientales que se generan durante el desarrollo de los incendios seleccionados. Este objetivo permite evaluar cuantitativamente si la solución alternativa de control de humos es capaz de proporcionar unas condiciones compatibles con los requisitos de seguridad establecidos.

Las simulaciones realizadas con FDS permitieron estudiar la evolución del incendio en el tiempo, el movimiento de los productos de la combustión y la interacción entre el incendio y el sistema de ventilación natural. También dieron la posibilidad de obtener una representación espacial y temporal mucho más detallada del fenómeno, identificando la distribución de temperaturas, visibilidad y concentración de gases en diferentes zonas del centro.

Los resultados muestran que, durante los primeros instantes del incendio, cuando el sistema de control de humos permanece inactivo, los gases calientes ascienden por efecto de la flotabilidad y se acumulan bajo la cubierta del edificio. Esta fase inicial es especialmente relevante ya que representa la situación más desfavorable desde el punto de vista de la acumulación de humos. Sin embargo, una vez activado el sistema mediante la apertura de los exutorios, muelles de carga y portones de acceso,

se establece un flujo de ventilación natural que ayuda a evacuar los gases calientes y la entrada de aire limpio a baja cota.

Uno de los aspectos más significativos observados en ambas simulaciones es la capacidad del sistema para mantener la estratificación de la capa de humos. Este comportamiento resulta fundamental para el correcto funcionamiento de la solución propuesta, ya que permite concentrar los productos de la combustión en la parte superior del recinto mientras las zonas inferiores permanecen relativamente libres de humo. Como consecuencia, se conservan condiciones favorables de visibilidad y temperatura en las áreas potencialmente ocupadas y en las rutas de acceso hacia el foco del incendio.

El análisis de las condiciones ambientales permitió comprobar que los valores de temperatura, visibilidad y concentración de gases permanecen dentro de los límites establecidos por los criterios prestacionales adoptados. No obstante, los resultados también ponen de manifiesto diferencias relevantes entre ambos escenarios. El escenario B, asociado al almacenamiento en altura, genera una producción de humos más intensa y temperaturas superiores a las observadas en el escenario A, debido a la mayor potencia térmica alcanzada y al carácter más rápido del crecimiento del incendio. A pesar de ello, el sistema de control de humos mantiene un comportamiento satisfactorio incluso en estas condiciones más exigentes.

Asimismo, se halló un tiempo requerido para la evacuación de los ocupantes (RSET) de 158 segundos. Para ello, se consideraron los tiempos de detección, alarma, pre-movimiento y desplazamiento hasta una salida segura. Este valor resulta inferior al tiempo en el que los incendios alcanzan su máxima potencia en ambos escenarios analizados, en el escenario A, la HRR máxima se alcanza aproximadamente a los 625 segundos y, en el escenario B, se alcanza a los 200 segundos. Además, la verificación de los criterios prestacionales se ha realizado en las condiciones más desfavorables de cada escenario, correspondientes al instante de máxima potencia del incendio. Las condiciones de temperatura, visibilidad y concentración de gases permanecen dentro de los límites establecidos durante un intervalo temporal superior al RSET calculado. Este resultado refuerza la validez de la solución propuesta desde el punto de vista de la protección de los ocupantes.

Finalmente, las simulaciones han permitido evaluar de manera objetiva el desempeño de la solución propuesta frente a escenarios de incendio severos. Por ello, puede concluirse que **el objetivo O2 se ha alcanzado satisfactoriamente**, obteniéndose una caracterización rigurosa del comportamiento de los humos y de las condiciones ambientales generadas durante los incendios analizados.

En referencia al O3, consistió en evaluar la eficacia del sistema alternativo de control de humos propuesto. Este objetivo es el más importante desde el punto de vista prestacional, ya que permite comprobar si la solución planteada justifica técnicamente la configuración del edificio como un único sector de incendio y si facilita unas condiciones adecuadas para la intervención de los bomberos.

El sistema analizado se basa en realizar una ventilación natural, mediante exutorios en cubierta y entrada de aire de reposición a baja cota a través de muelles de carga y portones de vehículos. Su funcionamiento no es automático, sino manual, por lo que se ha considerado que permanece cerrado durante los primeros cinco minutos y que se activa cuando llegan los servicios de emergencia. Esta hipótesis es relevante, ya que el sistema no está orientado a mejorar directamente la evacuación inicial, sino a apoyar las labores de control y extinción del incendio.

Los resultados obtenidos muestran que, una vez activado el sistema, los humos calientes tienden a desplazarse hacia la cubierta y a salir por los exutorios, mientras que el aire limpio entra por las aberturas inferiores. Este comportamiento favorece la estratificación de la capa de humos y evita que las zonas bajas del recinto se vean afectadas de forma significativa. Por lo tanto, el sistema cumple su función principal, limitar la acumulación de humos en las zonas de paso y mejorar las condiciones disponibles para la intervención.

En relación con las condiciones de los bomberos, las simulaciones indican que las rutas de intervención mantienen temperaturas muy inferiores al límite prestacional de 100 °C. En el escenario A, las temperaturas a 2 m del suelo se sitúan alrededor de 17 °C, y, en el escenario B, se mantienen próximas a 20 °C. Además, la visibilidad a esa misma altura alcanza valores aproximados de 30 m en ambos escenarios, por lo que se conservan condiciones compatibles con la localización del foco y el ataque al incendio.

Respecto a la protección de la propiedad, las temperaturas bajo cubierta permanecen por debajo del límite de 200 °C. En el escenario A se alcanzan valores máximos próximos a 105 °C y en el escenario B valores del orden de 180 °C. Aunque el escenario B resulta más exigente por tratarse de un incendio de crecimiento ultrarrápido en almacenamiento en altura, el margen frente al límite prestacional sigue siendo suficiente.

También, debe señalarse que la eficacia del sistema depende de varias hipótesis importantes, el tiempo de llegada de los bomberos, la apertura correcta y simultánea de exutorios, muelles y portones, la ausencia de fallos mecánicos y las condiciones exteriores consideradas en la simulación.

Por lo tanto, los resultados no deben interpretarse como una garantía absoluta para cualquier incendio posible, sino como una validación técnica de la solución propuesta bajo los escenarios e hipótesis definidas.

En conjunto, puede concluirse que **el objetivo O3 se ha cumplido**.

En relación con las futuras investigaciones, aunque los resultados que sean obtenidos permiten concluir que la solución alternativa de control de humos propuesta satisface los criterios prestacionales establecidos para los escenarios analizados, existen diversas líneas de trabajo que podrían ampliar el alcance y la robustez del estudio realizado.

En primer lugar, podría realizarse un análisis de sensibilidad de los principales parámetros de diseño. Variables como la potencia máxima del incendio, la velocidad de crecimiento, el tiempo de activación del sistema de control de humos o el grado de apertura de los exutorios pueden influir significativamente en los resultados obtenidos. Este tipo de estudios permitiría identificar los parámetros más críticos y cuantificar los márgenes de seguridad de la solución propuesta.

Otra línea de interés sería incorporar la influencia de las condiciones meteorológicas exteriores. En el presente trabajo se han considerado condiciones ambientales estables, mientras que en una situación real factores como la velocidad y dirección del viento podrían modificar los patrones de ventilación natural y afectar al rendimiento del sistema de control de humos.

Por otra parte, podría desarrollarse una evaluación más detallada de la intervención de los equipos de emergencia. Aunque en este trabajo se han verificado las condiciones de temperatura y visibilidad en las rutas de acceso al incendio, futuros estudios podrían analizar tiempos de aproximación, estrategias de extinción o diferentes ubicaciones de acceso para los bomberos, obteniendo una caracterización más completa de las condiciones operativas durante la emergencia.

Finalmente, sería de gran interés comparar la solución propuesta con otras alternativas de protección contra incendios, tales como sistemas de extracción mecánica de humos, compartimentaciones intermedias o diferentes configuraciones de ventilación natural. Este análisis comparativo permitiría valorar las ventajas e inconvenientes de cada solución desde el punto de vista de la seguridad, la viabilidad técnica y el coste de implantación.

En conjunto, estas líneas futuras permitirían profundizar en el conocimiento del comportamiento del edificio frente al incendio y reforzar la justificación técnica de soluciones prestacionales aplicadas a

centros logísticos de gran volumen, contribuyendo al desarrollo de diseños más eficientes y adaptados a las necesidades reales de este tipo de instalaciones.

Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR, *UNE-ISO 23932:2018: Ingeniería de seguridad contra incendios – Principios generales*, UNE-ISO 23932:2018, Madrid., 2018.
- [2] «Guía técnica de aplicación del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (Real Decreto 164/2025)», Ministerio de Industria y Turismo (España), Madrid, sep. 2025.
- [3] McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., y Floyd, J., *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. Gaithersburg, MD: NIST (National Institute of Standards and Technology), 2017.
- [4] Arnalich Castañeda, A., «Manual de incendios. Parte 3: Incendios de interior. Ventilación de incendios», CEIS de Guadalajara, Guadalajara, 2015.
- [5] «Control de riesgo de incendios en almacenes logísticos», Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Madrid, 2007.
- [6] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. 2006.
- [7] «Guía técnica de aplicación del Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (Real Decreto 513/2017)», Ministerio de Industria y Turismo (España), Madrid, jun. 2025.
- [8] *NFPA 1: Fire Code*, NFPA 1, Quincy, MA., 2024.
- [9] *NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems*, NFPA 13, Quincy, MA., 2022.
- [10] *NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code*, NFPA 72, Quincy, MA., 2022.
- [11] *NFPA 101: Life Safety Code*, NFPA 101, Quincy, MA., 2021.
- [12] *NFPA 204: Standard for Smoke and Heat Venting*, NFPA 204, Quincy, MA., 2020.
- [13] *NFPA 855: Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems*, NFPA 855, Quincy, MA., 2023.
- [14] *UNE-EN 3 (series): Portable fire extinguishers*, UNE-EN 3 (series), Madrid., 2024.
- [15] *UNE-EN 54 (series): Fire detection and fire alarm systems*, UNE-EN 54 (series), Madrid., 2023.
- [16] *UNE-EN 12845: Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance*, UNE-EN 12845, Madrid., 2021.
- [17] *UNE-EN 13501 (series): Fire classification of construction products and building elements*, UNE-EN 13501 (series), Madrid., 2019.
- [18] C. Muñoz Blanc y I. Fortea Navarro, «El Diseño Basado en Prestaciones frente al Incendio de las Estructuras de Edificación», *Inf. constr.*, vol. 69, n.º 547, p. e215, sep. 2017, doi: 10.3989/id56471.
- [19] *Código Técnico de la Edificación. Parte I: Disposiciones generales y Exigencias básicas*, vol. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- [20] «Normas Internacionales de Seguridad contra Incendios: Principios Comunes (IFSS-CP)», Coalición Internacional de Normas de Seguridad contra Incendios (IFSSC), Londres, 2020.
- [21] M. J. Hurley *et al.*, Eds., *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York, NY: Springer New York, 2016. doi: 10.1007/978-1-4939-2565-0.
- [22] John H. Klote, James A. Milke, Paul G. Turnbull, Ahmed Kashef, y Michael J. Ferreira, «Handbook of Smoke Control Engineering», SFPE, Gaithersburg, Maryland, 2012.
- [23] «Guía de buena práctica: Tratamiento del riesgo de incendio dentro de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales», SFPE España (Society of Fire Protection Engineers – Capítulo Español), España, may 2025.
- [24] CIBSE, «CIBSE Guide E: Fire Safety Engineering», Londres, CIBSE Guides Guide E, 2019.

- [25] «UNE-ISO 16733-1: Ingeniería de seguridad contra incendios. Selección de escenarios de incendio de diseño y de fuegos de diseño. Parte 1: Fundamentos.», AENOR, Madrid, 2017.
- [26] D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics*, 3rd ed. Somerset: John Wiley & Sons, Incorporated, 2011.
- [27] D. D. Evans y D. W. Stroup, «Methods to calculate the response time of heat and smoke detectors installed below large unobstructed ceilings», National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, NBS IR 85-3167, 1985. doi: 10.6028/NBS.IR.85-3167.
- [28] G. Heskestad y M. A. Delichatsios, «The initial convective flow in fire», *Symposium (International) on Combustion*, vol. 17, n.º 1, pp. 1113-1123, ene. 1979, doi: 10.1016/S0082-0784(79)80106-X.
- [29] R. L. Alpert, «Calculation of response time of ceiling-mounted fire detectors», *Fire Technol.*, vol. 8, n.º 3, pp. 181-195, ago. 1972, doi: 10.1007/BF02590543.
- [30] AENOR, *Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 20: Detectores de humo por aspiración*, UNE-EN 54-20, Madrid., 2015.
- [31] AENOR, *Seguridad contra incendios. Sistemas de control de humo y calor. Requisitos, cálculo y métodos de diseño para sistemas de control de temperatura y sistemas de extracción de humos proyectados en caso de incendio estacionario.*, UNE-EN 23585:2017, Madrid., 2017.
- [32] AENOR, *UNE-ISO 23932:2017: Ingeniería de seguridad contra incendios – Principios generales*, UNE-ISO 23932:2017, Madrid., 2017.
- [33] AENOR, *Seguridad contra incendios. Sistemas de control de humo y calor. Requisitos, cálculo y métodos de diseño para sistemas de control de temperatura y sistemas de extracción de humos proyectados en caso de incendio estacionario.*, UNE-EN 23585:2004, Madrid., 2004.
- [34] British Standards Institution (BSI), *PD 7974-6:2019 Application of fire safety engineering principles to the fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition*. 2019.
- [35] International Organization for Standardization, «ISO 16738:2009 Fire safety engineering — Technical principles governing evacuation procedures and behaviour of occupants», ISO, Ginebra, Suiza, ISO 16738, 2009.

APÉNDICE A. CÁLCULO DEL SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS

A.1. SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS

Para solucionar este problema, se propone un diseño de control de humos sin cortinas y con la entrada de aire por muelles y portones a nivel bajo.

Se propone dimensionar el sistema conforme a la norma UNE 23585 del año 2017 [31], aunque todavía no es de aplicación, con el fin de que el sistema no sólo alcance un nivel de seguridad superior al de la norma actual, sino también el de la próxima edición.

De acuerdo con la Tabla 1.4 de la UNE 23585:2017, la mínima altura libre de la altura de capa de humos (Y) se calcula, para incendios en estanterías, como $Y = 2/3 \cdot h$, siendo h la altura de las estanterías.

Teniendo en cuenta la altura máxima de almacenamiento de 12 metros y una anchura máxima de las estanterías de 2 metros, podrían calcularse el área y el perímetro del incendio mediante las fórmulas de la Tabla 1.4 de UNE 23585:2017:

- Área de incendio (A): $\frac{4}{3} \cdot 12 \cdot (2 + (0.18 \cdot 12)) = 66.56 \text{ m}^2$.
- Perímetro de incendio (P): $2 \cdot (2 + 4 \cdot (0.18 \cdot 12)) = 21.28 \text{ m}$.

Considerando el flujo de calor liberado (q_f) alto y bajo de la Tabla 1.4 la potencia máxima del incendio es la siguiente.

$$\text{Para } q_{f(bajo)} = 250 \text{ kW/m}^2, Q = 250 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot 66.56 \text{ m}^2 = 16.64 \text{ kW}$$

$$\text{Para } q_{f(alto)} = 625 \text{ kW/m}^2, Q = 625 \text{ kW/m}^2 \cdot 66.56 \text{ m}^2 = 41.60 \text{ kW}$$

Con el valor de la altura de la capa libre de humos y el valor del perímetro el valor del flujo de masa de humo generado se puede calcular como:

$$M_f = 0,188 \cdot P \cdot y^{\frac{3}{2}} = 0,18 \cdot 21,28 \cdot 8^{\frac{3}{2}} = 86,67 \text{ kg/s}$$

Para el incendio de menor potencia el incremento de temperatura del humo con respecto al ambiente (θ_f) se puede obtener a partir de la ecuación:

$$\theta_f = \frac{Q_f}{c \cdot M_f} = \frac{16640 \cdot 0,8}{1,012 \cdot 86,67} = 151,77 \text{ °C}$$

Para el incendio de mayor potencia el incremento de temperatura del humo con respecto al ambiente (θ_f) se puede obtener a partir de la ecuación:

$$\theta_f = \frac{Q_f}{c \cdot M_f} = \frac{41600 \cdot 0,8}{1,012 \cdot 86,67} = 379,43 \text{ °C}$$

La temperatura de activación de los rociadores es de 70 °C (343 K). Se puede considerar, por lo tanto, que la temperatura promedio del humo es inferior a dicha medida.

Se va a suponer que la superficie de aireación de entrada (A_i) es el doble que la de salida (A_{vtot}) ($A_i = 2 \cdot A_{vtot}$), la superficie necesaria para extraer el volumen de humo calculado se puede obtener a partir de la ecuación F.6 de la UNE 23585 [33] como:

$$A_{vtot} = \frac{M_f \cdot T_f}{C_v \cdot \left[2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_l \cdot \vartheta_f \cdot T_{amb} - \frac{M_f^2 \cdot T_f \cdot T_{amb}}{(A_i \cdot C_i)^2} \right]^{0,5}}$$

Dónde:

- $C_v = C_i = 0,65$ el coeficiente aerodinámico de los aireadores.
- $\rho_{amb} = 1,20 \text{ kg/m}^3$ es la densidad del aire a temperatura ambiente
- $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ es la aceleración de la gravedad
- $d_l = 5,50 \text{ m}$ es la profundidad media de la capa de humos
- $\vartheta_f = 343,15 - 293,15 = 50 \text{ K}$ es la diferencia de temperaturas entre la capa de humos (70 °C, 343,15 K) y el ambiente (20 °C, 293,15 K).

$$A_{vtot} = \frac{86.67 \cdot 347}{0,65 \cdot \left[2 \cdot 1.20^2 \cdot 9.81 \cdot 5.50 \cdot 50 \cdot 293 - \frac{86.67^2 \cdot 343 \cdot 293}{(2 \cdot A_{vtot} \cdot 0.65)^2} \right]^{0.5}} = 33.70 \text{m}^2$$

Empleando exutorios de 2 x 3 metros se necesitarán al menos 6 unidades por cada 2.000 metros cuadrados. El sistema de gestión de humos propuesto cuenta con un solo depósito de humos y sin cortinas de humos y abastece el aire de reemplazo a través de las puertas de acceso a la carga y de los portones de los vehículos.

En la Tabla 8 se resume el dimensionamiento del sistema para el edificio.

	Edificio
Depósitos de humo	1
Exutorios por depósito (superficie geométrica)	48 (2 m x 3 m)
Total exutorios	48
Muelles de carga (superficie geométrica)	12 (2,5 m x 3 m)
Portones de vehículos (superficie geométrica)	2 (4 m x 4,5 m)
Superficie de ventilación	414 m²

Tabla 8: Dimensionamiento del sistema prestacional.

APÉNDICE B. SIMULACIONES DE INCENDIO

B.1. FIRE DYNAMICS SIMULATOR

FDS es un modelo de dinámica de fluidos computacional para flujos originados por un incendio, desarrollado por el NIST. Este programa resuelve numéricamente una forma de las ecuaciones de Navier-Stokes adecuada para flujos de baja velocidad generados térmicamente, poniendo especial énfasis en el transporte del humo y del calor que procede de los incendios.

Las derivadas parciales de las ecuaciones de conservación de la masa, el momento y la energía se aproximan siguiendo el método de diferencias finitas y la solución se actualiza en una malla rectilínea.

La radiación térmica se calcula utilizando una técnica de volúmenes finitos utilizando el mismo mallado que se utiliza para resolver los flujos. Además, se emplean partículas lagrangianas para simular el movimiento del humo, la descarga de los rociadores o la pulverización de combustibles.

B.2. CARACTERIZACIÓN DEL INCENDIO

Los incendios de diseño que se han considerado se caracterizan en relación con la especificación de la curva de crecimiento del incendio y el valor máximo de liberación de calor del incendio que depende de la activación de los rociadores. Ambos datos son descritos en 0 4.1. *Riesgos* internos.

Para calcular el área de incendio se tienen en cuenta los valores de tasa de liberación de calor por unidad de área que proporciona la norma UNE 23585 de la edición de 2017 [31]. Para los incendios en estanterías con almacenamiento en altura, se utilizan los valores de la Tabla 1.4 y para los incendios en estanterías con almacenamiento a nivel de suelo, se seleccionan los valores de la Tabla 1.3. Así pues, en donde se almacena en altura se selecciona el valor máximo de 625 kW/m^2 y en almacenamiento en el suelo se selecciona el valor mínimo de 250 kW/m^2 .

Teniendo en cuenta estos valores, se halla una superficie de incendio de 12 m^2 para el incendio en las estanterías con almacenamiento en altura y de 18.29 m^2 , para el incendio en las estanterías con almacenamiento a nivel del suelo.

En la Tabla 9 se muestran los principales parámetros que se han empleado en los modelos.

Escenario	HRR máxima	Superficie	Densidad	Crecimiento	Tiempo simulación
Escenario A	4600 kW	18.29 m ²	250 kW/m ²	medio	875 s
Escenario B	7500 kW	12 m ²	625 kW/m ²	ultrarrápido	450 s

Tabla 9: Parámetros empleados.

El tiempo de simulación se ha definido de forma que permita analizar la evolución del incendio una vez que ha alcanzado la potencia máxima considerada en cada escenario. De este modo, las simulaciones se prolongan aproximadamente 250 s adicionales tras alcanzarse la HRR máxima, permitiendo evaluar la evolución de las condiciones de manera efectiva durante el incendio.

Además, para la simulación, se ha considerado que el sistema de control de humos permanece completamente cerrado, manteniéndose cerrados los exutorios de cubierta, los muelles de carga y los portones de acceso. La activación del sistema es manual y la van a realizar los servicios de emergencia. En el momento en que transcurren 5 minutos desde el inicio del incendio, los bomberos llegan al recinto, y, por lo tanto, proceden a la apertura simultánea de los exutorios, los muelles y los portones. Esto va a permitir la extracción de humos y la entrada de aire de reposición en el diseño del sistema.

B.3. GEOMETRÍA DEL RECINTO

Para realizar las simulaciones numéricas se ha desarrollado un modelo tridimensional del centro logístico usando el software FDS, reproduciendo la geometría principal de la nave industrial y todos aquellos elementos constructivos que pueden llegar a influir en el movimiento de los humos y en la transferencia de calor.

El modelo representa una nave logística de 200 x 80 x 14 metros, es decir, 16000 m² y es destinada al almacenamiento de mercancías. Esta es caracterizada por disponer de un único sector de incendio y un sistema de control de humos basado en exutorios situados en la cubierta y aportación de aire de reposición a través de los muelles de carga y los portones de acceso. Esta configuración responde a la solución alternativa de seguridad contra incendios planteada para el edificio.

En la construcción del modelo, se han incluido los elementos arquitectónicos principales, así como los estructurales, que pueden llegar a condicionar el desarrollo del incendio y el comportamiento de la capa de humos. Entre ellos destacan:

- La solera del centro es de hormigón con un espesor de 20 cm.
- Cubierta tipo deck con aislamiento de lana de roca.
- Hay 12 muelles de carga de 2.50 x 3 metros
- Hay 2 portones de acceso para vehículos de 4 x 4.50 metros.
- Exutorios de cubierta destinados a la evacuación de humos de 2 x 3 metros.
- Tres diferentes tamaños de estanterías en todo el recinto:
 - Hay 31 estanterías de 2 x 10 metros.
 - Hay 31 estanterías de 2 x 25 metros.
 - Hay 31 estanterías de 2 x 15 metros.

La geometría del recinto es idéntica para los dos escenarios analizados, diferenciándose únicamente la ubicación y las características del incendio de diseño. El escenario A representa la situación más desfavorable para la intervención de los equipos de extinción debido a que requieren los mayores recorridos de acceso y se limitan los puntos disponibles para el ataque al incendio. Por otro lado, el escenario B, corresponde al caso más desfavorable para la evacuación, al afectar a las rutas de salida más cercanas de las personas que se encuentran dentro del edificio y obligar a los ocupantes a recorrer mayores distancias hasta alcanzar una zona segura.

La geometría que se ha implementado, como se ha dicho anteriormente, constituye la base sobre la que se desarrollan ambos escenarios de simulación, dando la posibilidad de evaluar el comportamiento del sistema de control de humos y poder verificar el cumplimiento de los criterios prestacionales definidos en el epígrafe 3.2.3.

B.4. MALLADO

La discretización del dominio de cálculo es un aspecto de gran relevancia en las simulaciones que se realizan con FDS, ya que condiciona tanto la precisión de los resultados como el tiempo de cálculo. Para ello, el recinto se ha dividido en un conjunto de mallas rectangulares independientes sobre las que el programa resuelve las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía.

Con el objetivo de optimizar el rendimiento computacional, se ha llevado a cabo una estrategia de mallado múltiple. Asimismo, se ha realizado un refinamiento en las cercanías y en el foco del incendio mediante mallas específicas de mayor resolución. Esto se ha hecho para representar adecuadamente el desarrollo de la pluma térmica y el movimiento inicial de los humos.

Para el escenario A, se ha utilizado un total de 17 mallas, incluyendo las mallas principales del recinto, las mallas exteriores y las mallas de refinamiento en la zona del incendio. El modelo cuenta con aproximadamente 6.40 millones de celdas. Las principales características del mallado se resumen en la Tabla 10.

Tipo de malla	Número de mallas	Función
Mallas principales del recinto	10	Modelización del volumen principal de la nave
Mallas exteriores	4	Representación del entorno y ventilación exterior
Mallas de refinamiento del incendio	3	Mayor resolución en la zona del foco
Total	17	6.397.600 celdas

Tabla 10: Resumen del mallado empleado en el escenario A.

Se van a mostrar en las Figuras Figura 37, Figura 38 y Figura 39 los diferentes mallados que se han utilizado para el escenario A.

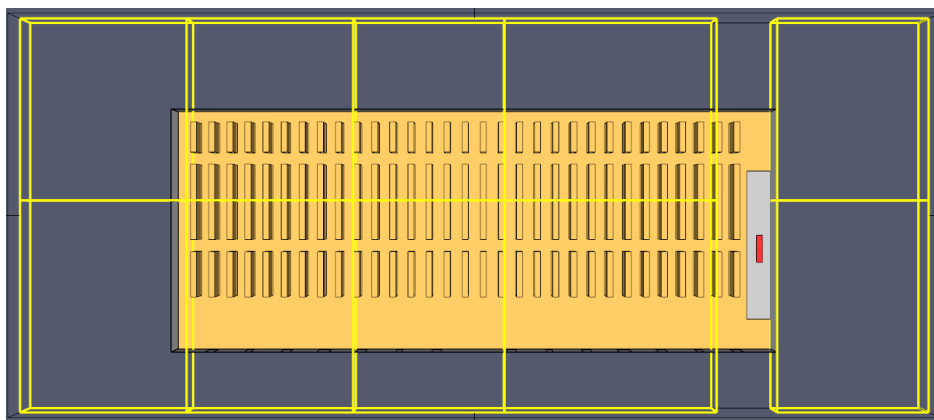


Figura 37: Mallas principales del recinto para el escenario A.

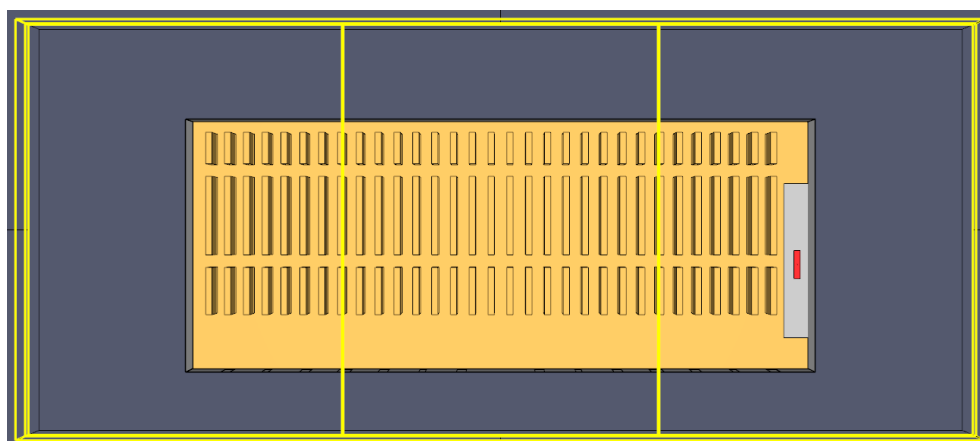


Figura 38: Mallas exteriores para el escenario A.

Las mallas de refinamiento utilizadas en la zona del incendio presentan las dimensiones mostradas en la Tabla 11.

Malla	Dimensiones (m)	Discretización (IJK)	Número de celdas
Malla fuego 01	$20 \times 70 \times 14$	$40 \times 140 \times 28$	156.800
Malla fuego 02	$20 \times 40 \times 14$	$40 \times 80 \times 28$	89.600

Tabla 11: Mallas de refinamiento del escenario A.

Y en la Figura 39 se muestra las mallas de refinamiento del incendio.

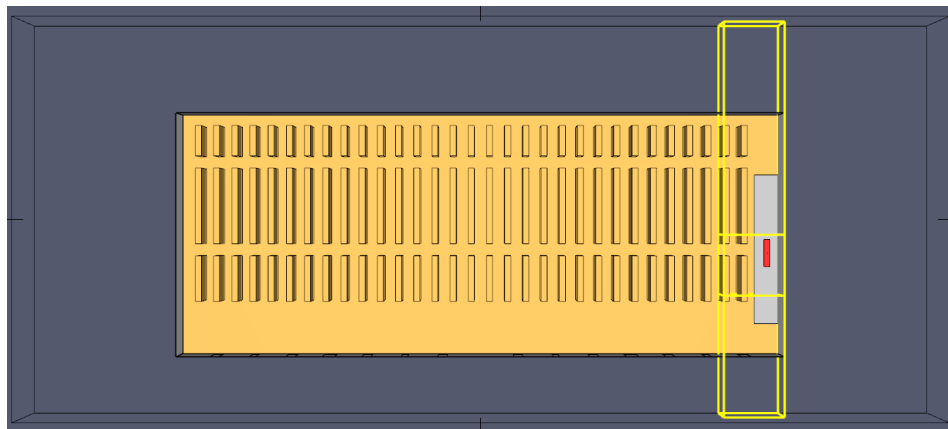


Figura 39: Mallas de refinamiento del incendio para el escenario A.

Para el escenario B se ha seguido el mismo procedimiento de discretización, adaptando únicamente la distribución de las mallas refinadas a la nueva ubicación del incendio. Al igual que en el escenario anterior, el modelo está formado por 17 mallas y un total aproximado de 6.40 millones de celdas. El resumen del mallado se presenta en la Tabla 12.

Tipo de malla	Número de mallas	Función
Mallas principales del recinto	10	Modelización del volumen principal de la nave
Mallas exteriores	4	Representación del entorno y ventilación exterior
Mallas de refinamiento del incendio	3	Mayor resolución en la zona del foco
Total	17	6.397.600 celdas

Tabla 12: Resumen del mallado empleado en el escenario B.

A continuación, se van a mostrar en las Figura 40, Figura 41 y Figura 42 el modelo diseñado para el escenario B con los distintos mallados.

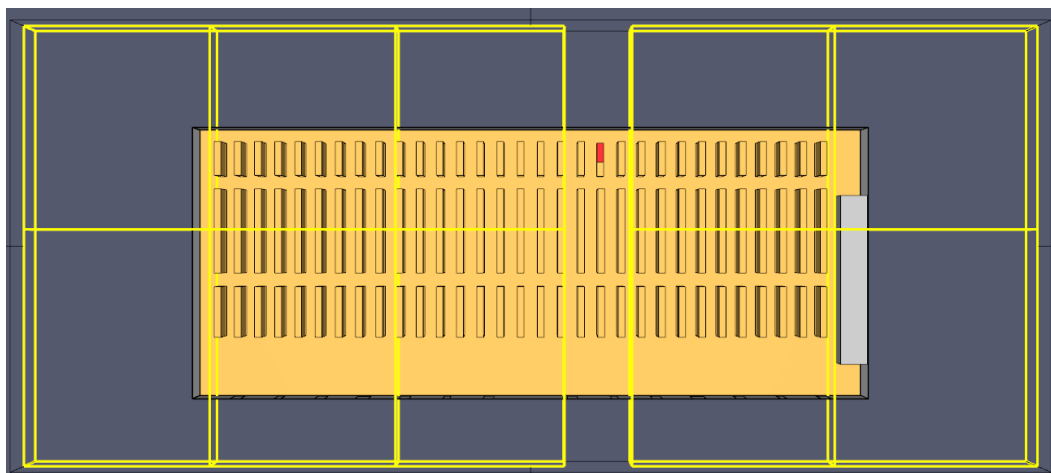


Figura 40: Mallas principales del recinto para el escenario B.

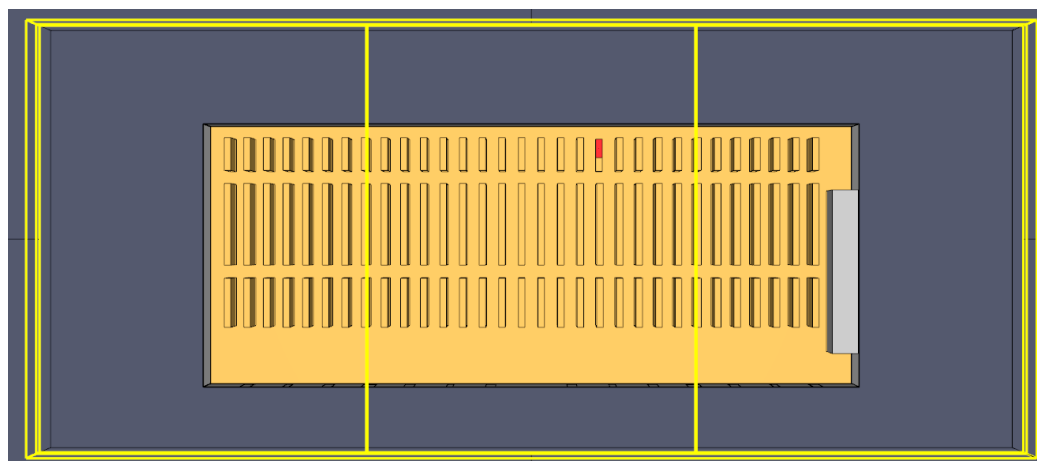


Figura 41: Mallas exteriores para el escenario B.

Las mallas específicas de refinamiento del incendio utilizadas en este escenario se muestran en la Tabla 13.

Malla	Dimensiones (m)	Discretización (IJK)	Número de celdas
Malla fuego 01	$20 \times 30 \times 14$	$40 \times 60 \times 28$	67.200
Malla fuego 02	$20 \times 80 \times 14$	$40 \times 160 \times 28$	179.200

Tabla 13: Mallas de refinamiento del escenario B.

Y en la Figura 42 se muestra las mallas de refinamiento del incendio.

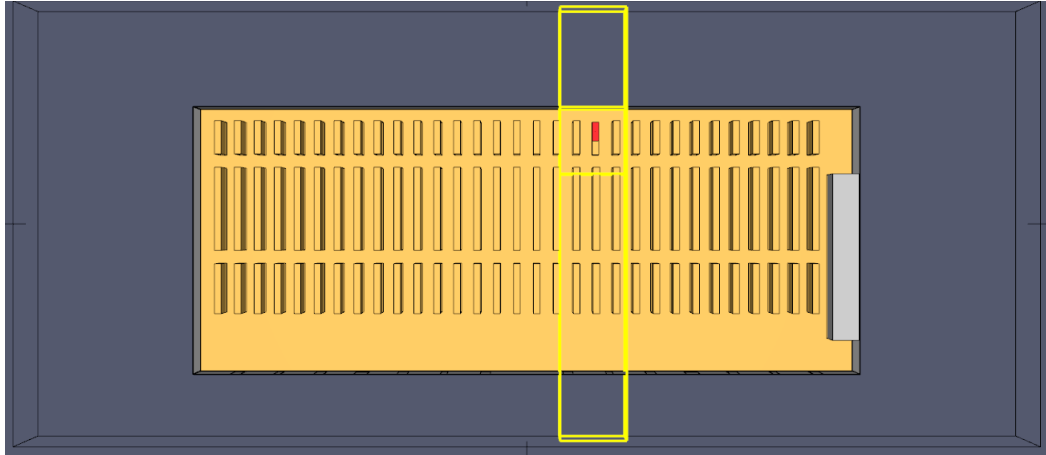


Figura 42: Mallas de refinamiento del incendio para el escenario B.

El hecho de llevar a cabo una estrategia de mallado múltiple con refinamiento permite representar correctamente los fenómenos físicos que están asociados al incendio, especialmente en los lugares con mayores gradientes de temperatura y velocidad. Esto hace que se mantenga un gran equilibrio entre la precisión numérica y el coste computacional de las simulaciones.

B.5. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Con la finalidad de analizar las condiciones del incendio en las zonas de interés, en los dos escenarios se ha incorporado una instrumentación virtual compuesta por dispositivos de medida (DEVIC) y planos de corte bidimensionales (SLCF). Su ubicación se ha seleccionado en función del objetivo de cada simulación.

En el escenario A, los dispositivos (Figura 43) y planos de corte (Figura 44) se han dispuesto a lo largo de los recorridos previstos para medir las condiciones en el acceso y la intervención de los equipos de extinción. De este modo, se permite evaluar la temperatura, visibilidad y toxicidad que se encontrarían los bomberos durante su aproximación al foco del incendio.

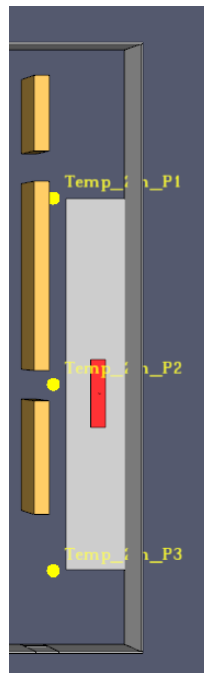


Figura 43: Ejemplo de los puntos donde se realizan las medidas de temperatura en el escenario A.

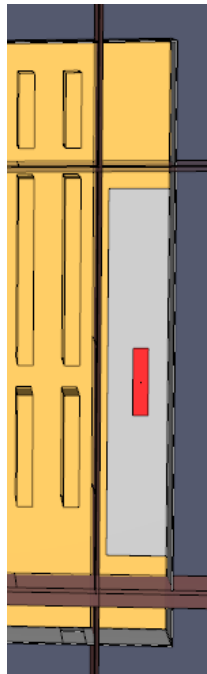


Figura 44: Ejemplo de los planos 2D para realizar las medidas de temperatura en el escenario A.

Por otra parte, en el escenario B, la instrumentación (Figura 45 y Figura 46) se ha situado sobre la principal ruta de evacuación del edificio para este escenario de incendio, con la finalidad de analizar las condiciones que tendrán los ocupantes hasta alcanzar una zona segura.

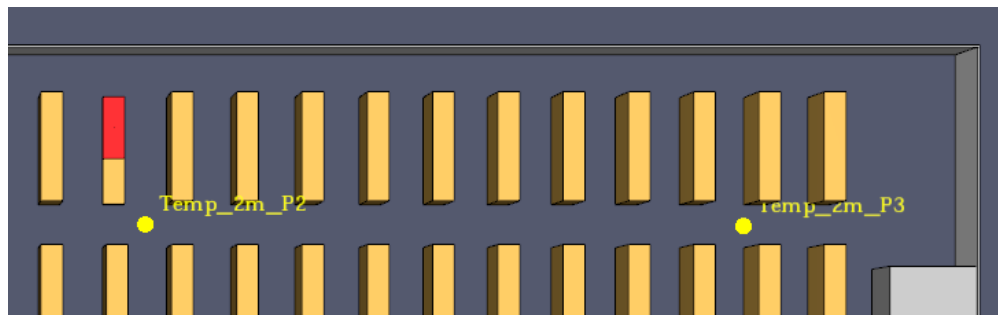


Figura 45: Ejemplo de los puntos donde se realizan las medidas de temperatura en el escenario B.

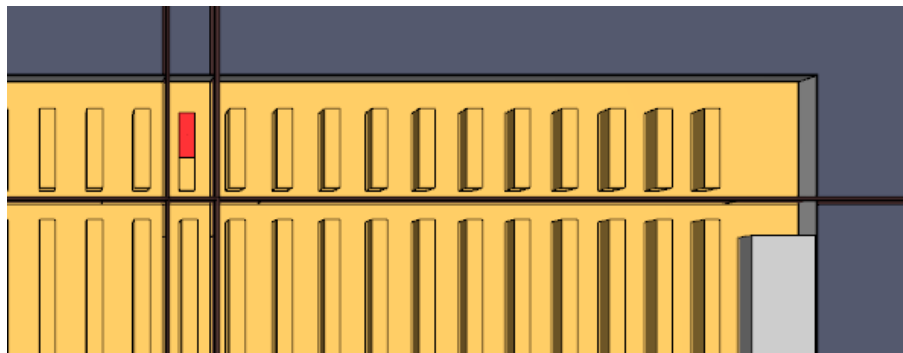


Figura 46: Ejemplo de los planos 2D para realizar las medidas de temperatura en el escenario B.

B.6. ARCHIVO FDS ESCENARIO A

```
&HEAD CHID='Lander_final_Escenario_A/'
```

```
&TIME T_END=875.0/
```

```
&DUMP DT_BNDF=10.0, DT_DEVC=5.0, DT_HRR=5.0, DT_MASS=5.0, DT_RESTART=300.0,  
DT_SL3D=5.0, DT_SL3D=5.0, MASS_FILE=.TRUE./
```

```
&MESH ID='mesh00', IJK=110,140,28, XB=-50.0,5.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=0/
```

&MESH ID='mesh01', IJK=110,120,28, XB=-50.0,5.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=1/
&MESH ID='mesh02', IJK=110,120,28, XB=5.0,60.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=2/
&MESH ID='mesh03', IJK=110,140,28, XB=5.0,60.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='mesh04', IJK=100,140,28, XB=60.0,110.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=4/
&MESH ID='mesh05', IJK=100,120,28, XB=60.0,110.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=5/
&MESH ID='mesh06', IJK=140,120,28, XB=110.0,180.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=6/
&MESH ID='mesh07', IJK=140,140,28, XB=110.0,180.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=7/
&MESH ID='mesh08', IJK=100,140,28, XB=200.0,250.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=8/
&MESH ID='mesh09', IJK=100,120,28, XB=200.0,250.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=9/
&MESH ID='Malla fuego', IJK=80,80,56, XB=180.0,200.0,-60.0,-40.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=10/
&MESH ID='Exterior01', IJK=200,260,8, XB=-50.0,50.0,-100.0,30.0,14.0,18.0, MPI_PROCESS=11/
&MESH ID='Exterior02', IJK=200,260,8, XB=50,150.0,-100.0,30.0,14.0,18.0, MPI_PROCESS=12/
&MESH ID='Exterior03', IJK=200,260,8, XB=150.0,250.0,-100.0,30.0,14.0,18.0, MPI_PROCESS=13/
&MESH ID='Exterior04', IJK=300,130,12, XB=-50.0,250.0,-100.0,30.0,18.0,30.0, MPI_PROCESS=14/
&MESH ID='Malla fuego02', IJK=40,140,28, XB=180.0,200.0,-40.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=15/
&MESH ID='Malla fuego03', IJK=40,80,28, XB=180.0,200.0,-100.0,-60.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=16/

&REAC ID='Reaction',

FUEL='PROPANE',

CO_YIELD=0.05,

SOOT_YIELD=0.05/

&DEVC ID='open_vents', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,0.0,1.0, SETPOINT=300.0,
INITIAL_STATE=.TRUE./

&DEVC ID='Temp_2m_P1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=190.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Temp_2m_P2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=190.0,-45.0,2.0/

&DEVC ID='Temp_2m_P3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=190.0,-70.0,2.0/

&DEVC ID='Vis_2m_P1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=190.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Vis_2m_P2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=190.0,-45.0,2.0/

&DEVC ID='Vis_2m_P3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=190.0,-70.0,2.0/

&DEVC ID='O2_2m_P2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', XYZ=190.0,-
45.0,2.0/

&DEVC ID='CO2_2m_P2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
XYZ=190.0,-45.0,2.0/

&DEVC ID='CO_2m_P2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
XYZ=190.0,-45.0,2.0/

&DEVC ID='Temp_bajo_techo_P1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=190.0,-20.0,13.0/

&DEVC ID='Temp_bajo_techo_P2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=190.0,-45.0,13.0/

&DEVC ID='Temp_bajo_techo_P3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=190.0,-70.0,13.0/

&DEVC ID='LAYER', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=100.0,200.0,-20.0,-20.0,0.0,0.0/

&SURF ID='Fire',

RGB=255,50,53,

HRRPUA=250.0,

TAU_Q=-625.0,

TMP_FRONT=20.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,0.0,0.2,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-80.0,0.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=199.8,200.0,-80.0,0.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,8.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,8.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,8.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=12.0,14.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,20.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=30.0,32.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,38.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=42.0,44.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Suelo', XB=0.0,200.0,-80.0,0.0,-0.2,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,50.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=54.0,56.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=66.0,68.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=72.0,74.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,80.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=84.0,86.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=90.0,92.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=96.0,98.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=102.0,104.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=108.0,110.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,116.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Estanteria_Nofuego', XB=120.0,122.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,128.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=132.0,134.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=144.0,146.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=150.0,152.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,158.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=162.0,164.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=168.0,170.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=180.0,182.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,188.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Zona_automa', XB=192.0,200.0,-70.0,-20.0,0.0,0.02, COLOR='GRAY' 80',
TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=12.0,14.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,20.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=30.0,32.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,38.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=42.0,44.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,50.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=54.0,56.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=66.0,68.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=72.0,74.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,80.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=84.0,86.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=90.0,92.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=96.0,98.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=102.0,104.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=108.0,110.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,116.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=120.0,122.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,128.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=132.0,134.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=144.0,146.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=150.0,152.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,158.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=162.0,164.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=168.0,170.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=180.0,182.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,188.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=12.0,14.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,20.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=30.0,32.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,38.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=42.0,44.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,50.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=54.0,56.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=66.0,68.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=72.0,74.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,80.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=84.0,86.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=90.0,92.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=96.0,98.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=102.0,104.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=108.0,110.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,116.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=120.0,122.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,128.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=132.0,134.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=144.0,146.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=150.0,152.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,158.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=162.0,164.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=168.0,170.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=180.0,182.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,188.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,189.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=161.0,164.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=148.0,152.0,-80.2,-80.0,0.0,4.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=124.0,126.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=136.0,139.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=111.0,114.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=61.0,64.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=74.0,76.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=86.0,89.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,52.0,-80.2,-80.0,0.0,4.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,39.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,14.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.1875,109.0625,-15.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=122.8125,124.6875,-15.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-80.0,-68.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-65.0,-51.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-48.0,-34.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-31.0,-17.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-14.0,0.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,14.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,24.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=26.0,36.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,39.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=39.0,48.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,52.0,-80.2,-80.0,4.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=52.0,61.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=61.0,64.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=64.0,74.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=74.0,76.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,86.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=86.0,89.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=89.0,111.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=111.0,114.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,124.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=124.0,126.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,136.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=136.0,139.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=139.0,148.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=148.0,152.0,-80.2,-80.0,4.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=152.0,161.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=161.0,164.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=164.0,174.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=176.0,186.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,189.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=189.0,200.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=105.0,107.1875,-15.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=105.0,130.0,-14.0,0.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=109.0625,122.8125,-15.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=124.6875,130.0,-15.0,-14.0,13.75,14.0/

&VENT ID='Fuego_Escenario_A', SURF_ID='Fire', XB=195.3,197.3,-50.8225,-41.6775,0.07,0.07,
IOR=3/

&VENT ID='OPEN_XMAX', SURF_ID='OPEN', XB=250.0,250.0,-100.0,30.0,0.0,30.0, IOR=1/

&VENT ID='OPEN_XMIN', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,-50.0,-100.0,30.0,0.0,30.0, IOR=-1/

&VENT ID='OPEN_YMAX', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,250.0,30.0,30.0,0.0,30.0, IOR=2/

&VENT ID='OPEN_YMIN', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,250.0,-100.0,-100.0,0.0,30.0, IOR=-2/

&VENT ID='OPEN_ZMAX', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,250.0,-100.0,30.0,30.0,30.0, IOR=3/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_Techo', PBZ=13.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_vertical', PBX=190.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_horiz1', PBZ=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_horiz2', PBX=-72.65/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_vertical', PBX=190.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_horiz1', PBX=-15.74/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_horiz2', PBX=-72.65/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', CELL_CENTERED=.TRUE.,
ID='O2_vertical', PBX=190.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', CELL_CENTERED=.TRUE.,
ID='O2_horiz1', PBX=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', CELL_CENTERED=.TRUE.,
ID='O2_horiz2', PBX=-72.65/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO2_vertical', PBX=190.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO2_horiz1', PBX=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO2_horiz2', PBX=-72.65/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO_vertical', PBX=190.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO_horiz1', PBX=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO_horiz2', PBZ=-72.65/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_bomberos', PBZ=2.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_bomberos', PBZ=2.0/

&TAIL /

B.7. ARCHIVO FDS ESCENARIO B

&HEAD CHID='Lander_final_Escenario_B'/

&TIME T_END=450.0/

&DUMP DT_BNDF=10.0, DT_DEVC=5.0, DT_HRR=5.0, DT_MASS=5.0, DT_RESTART=300.0,
DT_SLCF=5.0, DT_SL3D=5.0, MASS_FILE=.TRUE./

&MESH ID='mesh00', IJK=110,140,28, XB=-50.0,5.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=0/

&MESH ID='mesh01', IJK=110,120,28, XB=-50.0,5.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=1/

&MESH ID='mesh02', IJK=110,120,28, XB=5.0,60.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=2/

&MESH ID='mesh03', IJK=110,140,28, XB=5.0,60.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=3/

&MESH ID='mesh04', IJK=100,140,28, XB=60.0,110.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=4/

&MESH ID='mesh05', IJK=100,120,28, XB=60.0,110.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=5/

&MESH ID='mesh06', IJK=120,120,28, XB=130.0,190.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=6/

&MESH ID='mesh07', IJK=120,140,28, XB=130.0,190.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=7/

&MESH ID='mesh08', IJK=120,140,28, XB=190.0,250.0,-100.0,-30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=8/
&MESH ID='mesh09', IJK=120,120,28, XB=190.0,250.0,-30.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=9/
&MESH ID='Malla fuego', IJK=80,80,56, XB=110.0,130.0,-20.0,0.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=10/
&MESH ID='Exterior01', IJK=200,260,8, XB=-50.0,50.0,-100.0,30.0,14.0,18.0, MPI_PROCESS=11/
&MESH ID='Exterior02', IJK=200,260,8, XB=50.0,150.0,-100.0,30.0,14.0,18.0, MPI_PROCESS=12/
&MESH ID='Exterior03', IJK=200,260,8, XB=150.0,250.0,-100.0,30.0,14.0,18.0, MPI_PROCESS=13/
&MESH ID='Exterior04', IJK=300,130,12, XB=-50.0,250.0,-100.0,30.0,18.0,30.0, MPI_PROCESS=14/
&MESH ID='Malla fuego02', IJK=40,60,28, XB=110.0,130.0,0.0,30.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=15/
&MESH ID='Malla fuego03', IJK=40,160,28, XB=110.0,130.0,-100.0,-20.0,0.0,14.0, MPI_PROCESS=16/

&REAC ID='Reaction',

FUEL='PROPANE',

CO_YIELD=0.05,

SOOT_YIELD=0.05/

&DEVC ID='open_vents', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,0.0,1.0, SETPOINT=300.0,
INITIAL_STATE=.TRUE./

&DEVC ID='Temp_2m_P1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=60.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Temp_2m_P2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=120.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Temp_2m_P3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=180.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Vis_2m_P1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=60.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Vis_2m_P2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=120.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Vis_2m_P3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=180.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='O2_2m_P2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', XYZ=120.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='CO2_2m_P2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=120.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='CO_2m_P3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=120.0,-20.0,2.0/

&DEVC ID='Temp_bajo_techo_P1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=60.0,-20.0,13.0/

&DEVC ID='Temp_bajo_techo_P2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=120.0,-20.0,13.0/

&DEVC ID='Temp_bajo_techo_P3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=180.0,-20.0,13.0/

&DEVC ID='LAYER', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=100.0,200.0,-20.0,-20.0,0.0,0.0/

&SURF ID='Fire',

RGB=255,50,53,

HRRPUA=625.0,

TAU_Q=-200.0,

TMP_FRONT=20.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,0.0,0.2,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-80.0,0.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=199.8,200.0,-80.0,0.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,8.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,8.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,8.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=12.0,14.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,20.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=30.0,32.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,38.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=42.0,44.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Suelo', XB=0.0,200.0,-80.0,0.0,-0.2,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,50.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=54.0,56.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=66.0,68.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=72.0,74.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,80.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=84.0,86.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=90.0,92.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=96.0,98.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=102.0,104.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=108.0,110.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,116.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Estanteria_fuego', XB=120.0,122.0,-14.0,-4.0,0.0,2.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,128.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=132.0,134.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=144.0,146.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=150.0,152.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,158.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=162.0,164.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=168.0,170.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=180.0,182.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,188.0,-14.0,-4.0,0.0,12.0, TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=192.0,200.0,-70.0,-20.0,0.0,12.25, COLOR='GRAY 80',
TEXTURE_ORIGIN=4.0,0.0,0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=12.0,14.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,20.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=30.0,32.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,38.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=42.0,44.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,50.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=54.0,56.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=66.0,68.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=72.0,74.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,80.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=84.0,86.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=90.0,92.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=96.0,98.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=102.0,104.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=108.0,110.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,116.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=120.0,122.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,128.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=132.0,134.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=144.0,146.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=150.0,152.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,158.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=162.0,164.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=168.0,170.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=180.0,182.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,188.0,-43.0,-18.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=12.0,14.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,20.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=30.0,32.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,38.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=42.0,44.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,50.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=54.0,56.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=66.0,68.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=72.0,74.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,80.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=84.0,86.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=90.0,92.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=96.0,98.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=102.0,104.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=108.0,110.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,116.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=120.0,122.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,128.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=132.0,134.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=144.0,146.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=150.0,152.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,158.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=162.0,164.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=168.0,170.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=180.0,182.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,188.0,-62.0,-47.0,0.0,12.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,189.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=161.0,164.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=148.0,152.0,-80.2,-80.0,0.0,4.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=124.0,126.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=136.0,139.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=111.0,114.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE',
DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=61.0,64.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=74.0,76.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=86.0,89.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,52.0,-80.2,-80.0,0.0,4.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,39.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,14.0,-80.2,-80.0,0.0,3.0, COLOR='WHITE', DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.1875,109.0625,-15.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=122.8125,124.6875,-15.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,16.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.0,31.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=45.0,47.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=123.0,125.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=138.0,140.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=92.0,94.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=107.0,109.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=60.0,62.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,78.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=185.0,187.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=154.0,156.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0, DEVC_ID='open_vents'/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,14.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-80.0,-68.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-65.0,-51.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-48.0,-34.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-31.0,-17.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,200.0,-14.0,0.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=16.0,29.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=31.0,45.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=47.0,60.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=62.0,76.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=78.0,92.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=94.0,107.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=109.0,123.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=125.0,138.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=140.0,154.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=156.0,170.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=172.0,185.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-68.0,-65.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-51.0,-48.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-34.0,-31.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=187.0,200.0,-17.0,-14.0,13.75,14.0/
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,14.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=14.0,24.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=24.0,26.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=26.0,36.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=36.0,39.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/
&OBST ID='Obstruction', XB=39.0,48.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=48.0,52.0,-80.2,-80.0,4.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=52.0,61.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=61.0,64.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=64.0,74.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=74.0,76.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=76.0,86.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=86.0,89.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=89.0,111.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=111.0,114.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=114.0,124.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=124.0,126.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=126.0,136.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=136.0,139.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=139.0,148.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=148.0,152.0,-80.2,-80.0,4.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=152.0,161.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=161.0,164.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=164.0,174.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=174.0,176.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=176.0,186.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=186.0,189.0,-80.2,-80.0,3.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=189.0,200.0,-80.2,-80.0,0.0,14.0, COLOR='WHITE'/

&OBST ID='Obstruction', XB=105.0,107.1875,-15.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=105.0,130.0,-14.0,0.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=109.0625,122.8125,-15.0,-14.0,13.75,14.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=124.6875,130.0,-15.0,-14.0,13.75,14.0/

&VENT ID='Vent66', SURF_ID='Fire', XB=120.0,122.0,-9.765,-4.0,2.05,2.05, IOR=3/

&VENT ID='OPEN_XMAX', SURF_ID='OPEN', XB=250.0,250.0,-100.0,30.0,0.0,30.0, IOR=1/

&VENT ID='OPEN_XMIN', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,-50.0,-100.0,30.0,0.0,30.0, IOR=-1/

&VENT ID='OPEN_YMAX', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,250.0,30.0,30.0,0.0,30.0, IOR=2/

&VENT ID='OPEN_YMIN', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,250.0,-100.0,-100.0,0.0,30.0, IOR=-2/

&VENT ID='OPEN_ZMAX', SURF_ID='OPEN', XB=-50.0,250.0,-100.0,30.0,30.0,30.0, IOR=3/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_Techo', PBZ=13.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_horiz', PBZ=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_vert1', PBX=117.88/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_vert2', PBX=124/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_horiz', PBY=-15.74/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_vert1', PBX=117.88/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_vert2', PBX=124/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', CELL_CENTERED=.TRUE.,
ID='O2_horiz', PBY=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', CELL_CENTERED=.TRUE.,
ID='O2_vert1', PBX=117.88/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', CELL_CENTERED=.TRUE.,
ID='O2_vert2', PBX=124.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO2_horiz', PBY=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO2_vert1', PBX=117.88/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO2_vert2', PBX=124.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO_horiz', PBY=-15.74/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO_vert1', PBX=117.88/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
CELL_CENTERED=.TRUE., ID='CO_vert2', PBX=124.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Temp_bomberos', PBZ=2.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', CELL_CENTERED=.TRUE., ID='Vis_bomberos', PBZ=2.0/

&TAIL /

APÉNDICE C. TIEMPO REQUERIDO PARA LA EVACUACIÓN (RSET)

Con el objetivo de hallar el tiempo que necesitan los ocupantes para llegar a una zona segura en caso de incendio, se ha realizado el cálculo del tiempo requerido para la evacuación (Required Safe Egress Time, RSET).

El RSET se ha calculado como la suma del tiempo de detección del incendio, el tiempo de transmisión de la alarma, el tiempo de pre-movimiento de los ocupantes y el tiempo de desplazamiento hasta una salida segura, según la siguiente expresión:

$$RSET = t_d + t_a + t_{pm} + t_m$$

Donde t_d es el tiempo de detección del incendio, t_a es el tiempo de transmisión de la alarma, t_{pm} es el tiempo de pre-movimiento de los ocupantes y t_m es el tiempo de desplazamiento.

Para la estimación de este valor se han empleado valores recomendados.

Para el tiempo de detección se han considerado 30 segundos, de acuerdo con [21]. Asimismo, se ha usado un tiempo de transmisión de la alarma de 10 segundos, valor acorde con las recomendaciones recogidas en la norma PD 7974-6:2019 [34].

El tiempo de pre-movimiento se ha fijado en 60 segundos, correspondiente a ocupantes despiertos, familiarizados con el edificio y sometidos a procedimientos de emergencia definidos, situación representativa de un centro logístico industrial [21].

Por último, el tiempo de desplazamiento se ha calculado a partir de la distancia máxima de evacuación considerada en el edificio, siendo esta de 70 metros, y una velocidad media de desplazamiento de 1,2 m/s, de acuerdo con los valores recomendados por la norma ISO 16738 [35]:

$$t_m = \frac{70}{1,2} = 58 \text{ s}$$

Por lo tanto, el tiempo requerido para la evacuación resulta:

$$RSET = 30 + 10 + 60 + 58 = 158 \text{ s}$$

$$RSET = 2.6 \text{ min}$$

La Tabla 14 resume los parámetros adoptados para la estimación del RSET.

Parámetro	Valor
Tiempo de detección (t_d)	30 s
Tiempo de alarma (t_a)	10 s
Tiempo de pre-movimiento (t_{pm})	60 s
Tiempo de desplazamiento (t_m)	58 s
RSET total	158 s (2.6 min)

Tabla 14: Parámetros adoptados para hallar el RSET.

Este valor se emplea como referencia para evaluar los resultados obtenidos en las simulaciones CFD. Se debe verificar que las condiciones de temperatura, visibilidad y concentración de gases en las rutas de evacuación permanecen dentro de los límites prestacionales durante un tiempo superior al requerido para la evacuación de los ocupantes.

APÉNDICE D. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El presente proyecto se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible al abordar la seguridad contra incendios en centros logísticos desde una perspectiva técnica, social y ambiental.

En primer lugar, guarda una relación directa con el ODS 3 - Salud y bienestar, ya que uno de los objetivos fundamentales del Diseño Basado en Prestaciones es garantizar condiciones seguras para los trabajadores ante un posible incendio. El análisis de la propagación de humos, temperaturas y concentraciones de gases mediante herramientas de simulación avanzada permite evaluar el comportamiento del incendio y las condiciones ambientales en el interior del edificio. De esta forma, el proyecto contribuye a preservar la vida, la salud y la integridad física del personal que desarrolla su actividad en el centro logístico, situando la seguridad humana como eje central del diseño de las medidas de protección contra incendios.

En segundo lugar, el trabajo se vincula estrechamente con el ODS 9 - Industria, innovación e infraestructura, dado que promueve la aplicación de metodologías avanzadas en el diseño de infraestructuras industriales estratégicas. El empleo del Diseño Basado en Prestaciones y de herramientas de dinámica de fluidos computacional, como Fire Dynamics Simulator (FDS), impulsa la innovación tecnológica en el ámbito de la ingeniería de protección contra incendios. Esta aproximación permite analizar con mayor precisión el comportamiento del humo y la eficacia de los sistemas de control, contribuyendo a mejorar la eficiencia, fiabilidad y resiliencia de los centros logísticos, infraestructuras clave para la continuidad de la cadena de suministro y el funcionamiento del tejido productivo.

Asimismo, el proyecto se relaciona con el ODS 11 - Ciudades y comunidades sostenibles, ya que los centros logísticos forman parte esencial de la infraestructura urbana y metropolitana. Garantizar su resiliencia frente a incendios contribuye a reducir la vulnerabilidad del sistema económico y a asegurar el abastecimiento de bienes en situaciones de emergencia. El diseño y evaluación de sistemas eficaces de control de humos permite limitar la propagación del incendio y mejorar las

condiciones operativas dentro de las instalaciones, favoreciendo la creación de entornos industriales más seguros y preparados para afrontar contingencias.

Finalmente, el proyecto también se alinea con el ODS 13 - Acción por el clima, en la medida en que un sistema de protección contra incendios correctamente dimensionado y optimizado reduce la probabilidad de incendios de gran magnitud y, por lo tanto, la emisión masiva de contaminantes derivados de la combustión de materiales almacenados. Una contención eficaz del incendio limita los daños estructurales, evita reconstrucciones innecesarias y disminuye el impacto ambiental asociado a estos eventos. En consecuencia, el trabajo no solo mejora la seguridad técnica del centro logístico, sino que también promueve prácticas responsables de gestión del riesgo que contribuyen indirectamente a la mitigación de impactos ambientales y climáticos.