

GUÍA v1.0

REVISIÓN DE PROYECTOS PRESTACIONALES DE **PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS** **EN ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES**



**Comunidad
de Madrid**

Edición: Marzo 2024

Autor: Dirección General de Promoción Económica e Industrial

Maquetación: Vanesa Cancela Serrano y Jorge Iñesta Burgos

Asesor de contenido: Efectis Ibérica

GUÍA PARA LA REVISIÓN DE PROYECTOS PRESTACIONALES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES EN LA COMUNIDAD DE MADRID v1.0



**Comunidad
de Madrid**

Dirección General de Promoción
Económica e Industrial

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,
HACIENDA Y EMPLEO

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO REGLAMENTARIO.....	6
2	SOLUCIONES PRESCRIPTIVAS FRENTE A TÉCNICAS DE SEGURIDAD EQUIVALENTE	7
3	METODOLOGÍA GENERAL DE UN PROYECTO PRESTACIONAL.....	7
4	ALCANCE DEL PROYECTO	9
5	OBJETIVOS DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS, REQUISITOS FUNCIONALES Y CRITERIOS DE ANÁLISIS	9
5.1	REQUISITOS FUNCIONALES O EXIGENCIAS.....	11
5.2	CRITERIOS PRESTACIONALES.....	12
5.2.1	Criterios ligados a la seguridad de la vida: condiciones ambientales durante la evacuación o la intervención.....	12
5.2.2	Criterios ligados a la resistencia al fuego de la estructura	14
5.2.3	Criterios ligados a evitar la propagación del incendio a establecimientos cercanos	14
6	ESTRATEGIA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	15
7	SELECCIÓN DE ESCENARIOS DE INCENDIO.....	15
8	SELECCIÓN DE MÉTODOS INGENIERÍA.....	18
8.1	MÉTODOS DE CÁLCULO.....	18
8.1.1	Métodos analíticos.....	18
8.1.2	Cálculos avanzados	19
8.1.2.1	Simulación de incendios	19
8.1.2.2	Simulación de la evacuación	19
8.1.2.3	Análisis del comportamiento estructural.....	19
8.1.2.4	Efecto del incendio en el exterior del establecimiento.....	20
8.2	VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO	20
9	EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE PRUEBA DE ACUERDO CON LOS ESCENARIOS	20
9.1	EVALUACIÓN DE LA EVACUACIÓN (ASET/RSET).....	20
9.1.1	Consideraciones para el análisis de la evacuación:.....	22
9.2	EVALUACIÓN DE LA INTERVENCIÓN	22
9.3	EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA Y EVACUACIÓN DE HUMOS (SCTEH)	23
9.3.1	Consideraciones para el análisis de SCTEH.....	23
9.4	EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE EXTINCIÓN O DETECCIÓN.....	24
9.4.1	Consideraciones para un análisis de sistemas de extinción o detección.....	24
9.5	EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS.....	25
9.5.1	Consideraciones para el análisis estructural.....	26
9.6	EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL INCENDIO EN EL EXTERIOR	28
10	CONCLUSIONES GENERALES DE UN PROYECTO PRESTACIONAL.....	28
11	REVISIÓN POR TERCERA PARTE.....	28



12	DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	29
12.1	DOCUMENTOS REGLAMENTARIOS Y NORMAS	29
12.2	OTROS DOCUMENTOS	29
13	ANEXOS	29
	ANEXO A: SIMULACIÓN DEL INCENDIO CON FDS	31
A.1	GEOMETRÍA SIMULADA	31
A.2	EL SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS	32
A.3	EL SISTEMA DE ROCIADORES	32
A.4	EL SISTEMA DE DETECCIÓN	32
A.5	COMBUSTIBLES	32
A.6	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	33
A.7	MEDICIÓN DEL CRITERIO DE VISIBILIDAD.....	33
	ANEXO B: INCUMPLIMIENTOS MÁS COMUNES Y MEDIDAS ADICIONALES DE PROTECCIÓN QUE SE CONSIDERAN ADECUADAS PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD EQUIVALENTE DEL ESTABLECIMIENTO/SECTOR	34



1 INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO REGLAMENTARIO

En lo que respecta a las exigencias de seguridad contra incendios, los establecimientos industriales están obligados a cumplir lo establecido en el Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales (en adelante, «RSCIEI»), aprobado por el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre.

El artículo 1 del RSCIEI establece:

«Artículo 1. Objeto. Este reglamento tiene por objeto establecer y definir los requisitos que deben satisfacer y las condiciones que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, para **prevenir su aparición** y para **dar la respuesta adecuada, en caso de producirse, limitar su propagación y posibilitar su extinción**, con el fin de **anular o reducir los daños o pérdidas que el incendio pueda producir a personas o bienes.**

[...]

Las condiciones indicadas en este reglamento tendrán la condición de mínimo exigible según lo indicado en el artículo 12.5 de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.

Estos mínimos se consideran cumplidos:

- a) Por el cumplimiento de las prescripciones indicadas en este reglamento.
- b) Por aplicación, para casos particulares, de **técnicas de seguridad equivalentes**, según normas o guías de diseño de reconocido prestigio para la justificación de las soluciones técnicas de seguridad equivalente adoptadas, que deben aportar, al menos, un nivel de seguridad equiparable a la anterior. Esta aplicación de técnicas de seguridad equivalente deberá ser justificado debidamente por el proyectista y resueltas por el órgano competente de la comunidad autónoma.

[...]»

Teniendo en cuenta lo indicado en el apartado b) del citado artículo, se permite el uso de técnicas de Ingeniería de Seguridad Contra Incendios (en adelante, «ISCI») en el desarrollo de los proyectos de establecimientos industriales. Estos proyectos, también llamados prestacionales en el argot profesional, son cada vez más frecuentes en construcciones singulares, tanto en el ámbito industrial, como en los de edificación o infraestructuras. Con el enfoque prestacional se busca, en construcciones singulares, sustituir ciertas prescripciones del RSCIEI por soluciones alternativas que garantizan un nivel de seguridad igual o superior al que se conseguiría implementando dichas prescripciones reglamentarias. Para garantizar esta seguridad equivalente o superior, el autor del proyecto prestacional debe evaluar con métodos de ingeniería si al implementar dicho proyecto el establecimiento resultante va a conseguir satisfacer los objetivos de seguridad contra incendios que el RSCIEI busca alcanzar a través de las prescripciones contenidas en el mismo. Por otra parte, tanto el órgano competente que debe autorizar el uso de estas técnicas de seguridad equivalente como cualquier tercera parte que pueda participar en el proceso necesitan contar con las herramientas objetivas adecuadas para poder evaluar, a su vez, si el proyecto prestacional resultante cumple dichos objetivos de seguridad y, por tanto, es susceptible de ser autorizado.

Este planteamiento conceptual no es, sin embargo, fácilmente aplicable con la actual redacción del RSCIEI, ya que en muchos casos no resulta obvio para los proyectistas y demás agentes que participan en el proceso de elaboración, evaluación y autorización de los proyectos prestacionales, el identificar cuáles son los objetivos de seguridad contra incendios a los que está orientada cada prescripción contenida en el citado reglamento ni los indicadores objetivos que permiten verificar que estos se han cumplido al sustituirla por una solución alternativa.

Por tanto, el presente documento pretende precisar y recoger de forma clara y estructurada los criterios que pueden ser empleados por la Dirección General de Promoción Económica e Industrial de la Comunidad de Madrid en el análisis y evaluación de los proyectos prestacionales en el caso particular de los establecimientos incluidos en el ámbito de aplicación del RSCIEI, ya sean de nueva construcción o modificaciones de establecimientos existentes, al objeto de determinar si las soluciones propuestas en los mismos aportan una seguridad equivalente a la que se conseguiría con el cumplimiento del RSCIEI. La metodología propuesta parte de los objetivos de seguridad exigidos por el RSCIEI y se basa en los principios



generales descritos en la norma UNE-ISO 23932, tal y como recomienda la Guía técnica de aplicación del RSCIEI.

Dado que el análisis de objetivos y la definición de criterios de prestaciones deben ajustarse a la singularidad de cada proyecto, es probable que ciertos aspectos de algunos proyectos prestacionales no queden completamente cubiertos en el presente documento. No obstante, se entiende que este recoge sobradamente la casuística de los proyectos que más frecuentemente se han tramitado en la misma.

2 SOLUCIONES PRESCRIPTIVAS FRENTE A TÉCNICAS DE SEGURIDAD EQUIVALENTE

Las soluciones prescriptivas se basan en cumplir íntegramente lo establecido en el RSCIEI. Con este cumplimiento, se entiende que se alcanzan todos los objetivos de seguridad contra incendios planteados en el citado reglamento.

Los proyectos prestacionales plantean estrategias de protección que combinan el uso de soluciones prescriptivas y prestacionales. La solución prestacional está orientada a dar cumplimiento a los objetivos de seguridad usando métodos de ingeniería. La solución se plantea a partir del análisis de riesgos del establecimiento y del conocimiento de la física y química del incendio, del comportamiento al fuego de los materiales y sistemas de protección, del comportamiento humano ante una situación de incendio, etc.

Una de las grandes dificultades de estos proyectos en el ámbito del RSCIEI es cómo demostrar la equivalencia entre el nivel de seguridad alcanzado por la vía puramente prescriptiva y por la vía prestacional.

En muchos casos, la justificación prestacional se basa en el uso de herramientas avanzadas de simulación computacional del incendio o de las estructuras. Estas herramientas son de gran utilidad cuando se usan correctamente, pues permiten cuantificar los efectos que produce un incendio sobre las personas y los bienes. No obstante, tienen limitaciones y no permiten cuantificar múltiples elementos de la estrategia de protección contra incendios, como puede ser el efecto de un sistema de rociadores en la combustión, o cómo afecta a la velocidad de desplazamiento durante la evacuación un sistema de señalización reforzado (señales retroiluminadas, sistemas de guiado led...), etc. Por ello, en la mayoría de los países en los que se permite el diseño prestacional, la equivalencia en el nivel de seguridad se obtiene, para determinados elementos, por la justificación del cumplimiento de los objetivos de seguridad impuestos por la reglamentación.

A lo largo del presente documento se analizan cuáles son los objetivos de seguridad implícitos en el RSCIEI y se presenta una metodología de revisión de proyectos prestacionales para determinar si los diseños planteados aportan una seguridad equivalente a la que se conseguiría con un diseño prescriptivo.

3 METODOLOGÍA GENERAL DE UN PROYECTO PRESTACIONAL

Teniendo en cuenta lo indicado en la guía Técnica de Aplicación del RSCIEI en relación con el apartado b) del artículo 1 del RSCIEI, los proyectos basados en prestaciones deben seguir los principios generales proporcionados por la norma UNE ISO 23932:2017.

A continuación, se resumen los pasos principales de un proceso de ingeniería, es decir, los pasos que debe cubrir todo estudio prestacional que justifica un incumplimiento de alguna de las prescripciones de la reglamentación.

▪ **Definición del alcance del proyecto con respecto al proceso de ingeniería de seguridad contra incendios**

Se debe presentar el establecimiento que va a ser proyectado. Son de gran importancia la geometría, características, ocupación y uso previsto, combustibles presentes y distribución, así como cualquier otra información de relevancia. Debe justificarse la razón de recurrir a un enfoque prestacional e identificar claramente las prescripciones que no se van a cumplir y las medidas de protección alternativas propuestas.



Igualmente, debe establecerse el alcance de los estudios que evalúan el cumplimiento de los objetivos de seguridad contra incendios mediante un análisis de ingeniería.

- **Identificación de los objetivos de seguridad contra incendios, de los requisitos funcionales y de los criterios prestacionales**

Deben identificarse los objetivos de seguridad contra incendios que aplican al establecimiento y cómo se ven afectados por los incumplimientos de las prescripciones.

Cada objetivo de seguridad debe asociarse con uno o más requisitos funcionales o exigencias (condiciones necesarias para lograr los objetivos). Los objetivos deben ser como mínimo los exigidos por la reglamentación, aunque se pueden tener en cuenta, además, objetivos adicionales definidos por el usuario o las autoridades competentes.

Deben definirse criterios prestacionales específicos (criterios cuantitativos de análisis) que permitan evaluar el cumplimiento de las exigencias y objetivos correspondientes. Se debe justificar la idoneidad de los criterios prestacionales de seguridad seleccionados.

- **Plan de proyecto de seguridad contra incendios**

El proyecto debe describir la estrategia de protección contra incendios incluyendo tanto las soluciones derivadas del cumplimiento de las prescripciones reglamentarias como aquellas otras que se desvían de ellas y se justifican de forma prestacional. Debe tenerse en cuenta que el conjunto de soluciones que conforman el plan de proyecto de seguridad (o estrategia de protección) contra incendios están relacionadas, por lo que es fundamental que el análisis del cumplimiento de los objetivos se realice con un enfoque global e integrado.

- **Escenarios de incendio y de comportamiento humano**

Se deberían seleccionar los diferentes escenarios de incendio tomando como base los peligros existentes, los incumplimientos a las prescripciones y los objetivos de seguridad que se vean impactados por dichos incumplimientos. Debe prevalecer la elección de los casos más desfavorables para garantizar el cumplimiento de los objetivos de seguridad. Los escenarios abarcan aquellos relativos al comportamiento humano (de los ocupantes) en situación de incendio y los relativos al desarrollo del incendio y sus consecuencias sobre las personas, las estructuras, los bienes y el entorno.

Para realizar esta selección, se deben identificar e interpretar los riesgos presentes en el establecimiento objeto de estudio (tanto internos como externos) asociados al desarrollo de la actividad, los combustibles presentes, actividades exteriores cercanas, etc.

- **Selección de los métodos de ingeniería**

Para justificar el cumplimiento de los objetivos de seguridad se utilizarán los métodos y herramientas de cálculo adecuados a cada caso. Los métodos de cálculo permitirán cuantificar los efectos de los incendios y estimar el tiempo necesario para la evacuación del establecimiento.

- **Evaluación del diseño de prueba de acuerdo con el escenario**

Una vez definido el proyecto y seleccionados los escenarios de incendio más desfavorables, se desarrollarán los cálculos y se evaluarán los resultados para verificar el cumplimiento de las exigencias y objetivos de seguridad. La evaluación debería presentar los resultados tomando como base los criterios prestacionales definidos.

- **Conclusiones**

Si los resultados muestran que se cumplen los criterios de análisis, se podrá concluir que la estrategia de seguridad contra incendios seleccionada cumple las exigencias y objetivos de seguridad y, por tanto, presenta un nivel de seguridad equivalente al que se obtendría mediante la aplicación directa de las prescripciones del reglamento. En caso de que no se cumplan los criterios de análisis, se debería replantear la estrategia y repetir el proceso.



En todo este proceso es necesario tener en cuenta que un proyecto prestacional debe realizar los planteamientos correctos tomando como base los objetivos que pretende evaluar. Para ello, se debe ponderar y analizar todo impacto originado por un incumplimiento normativo utilizando un enfoque global que permita determinar el nivel de seguridad del establecimiento.

Por otra parte, debe recordarse que un proyecto prestacional debe abordar cualquier problemática analizando la seguridad del establecimiento en su conjunto. Los distintos elementos de protección no están aislados y es necesario verificar cómo la modificación de una parte de la estrategia de protección afecta al resto.

4 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto de incendios debe incluir un apartado introductorio en el que se identifique el establecimiento y se describa brevemente su actividad.

En el caso de que el proyecto no cumpla todas las prescripciones del reglamento y recurra al enfoque prestacional, se debe definir:

- las partes que intervienen y su rol en el proyecto: proyectista, ingeniería(s) especializada(s) de seguridad contra incendios, industrial/promotor;
- el establecimiento: emplazamiento, geometría, sectores de incendios, materiales de cerramientos y tipología estructural;
- su actividad;
- los combustibles presentes: cantidad y naturaleza, ubicación, modo y altura de almacenamiento;
- la ocupación prevista y el tipo de ocupantes;
- establecimientos o espacios cercanos que supongan un riesgo especial o precisen de protección.

Es también muy importante que se definan claramente los incumplimientos, se justifique por qué se recurre a técnicas de seguridad equivalente (métodos de ingeniería) y se indiquen las medidas alternativas de protección que se proponen.

A modo de ejemplo, se citan a continuación los puntos más habituales que se tratan con enfoque prestacional:

- distancias de evacuación superiores a las reglamentarias;
- superficies de los sectores de incendio mayores que las reglamentarias;
- resistencia/estabilidad al fuego de la estructura del edificio o de las entreplantas inferior a la reglamentaria (sobre todo en caso de acero sin proteger) y
- justificación de sistemas de control de temperatura y evacuación del humo no diseñados conforme a la norma UNE 23585:2004.

En el caso de los sistemas de protección activa, el proyectista debe identificar las normas de diseño utilizadas en el proyecto y justificar su selección en caso de que no sea posible el uso de las establecidas en la reglamentación. Igualmente debe identificar e informar sobre las necesidades específicas de instalación, prueba y mantenimiento de estos sistemas y su compatibilidad con otros sistemas de protección contra incendios.

5 OBJETIVOS DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS, REQUISITOS FUNCIONALES Y CRITERIOS DE ANÁLISIS

Del artículo 1 del RSCIEI se deduce que las prescripciones del RSCIEI están destinadas a:



- **Prevenir la aparición del incendio («...prevenir su aparición»)** algo que, indirectamente, se consigue a través de las exigencias de reacción al fuego de determinados materiales de la construcción del edificio.
- **«...dar la respuesta adecuada, en caso de producirse, limitar su propagación y posibilitar su extinción, con el fin de anular o reducir los daños o pérdidas que el incendio pueda producir a personas o bienes».** En este aspecto, las medidas prescriptivas del reglamento se centran en:
 - **Limitar la propagación del incendio en el interior del establecimiento** mediante la limitación del tamaño máximo de los sectores de incendio, los requerimientos de resistencia fuego de los cerramientos y la estructura y las exigencias de reacción al fuego de los materiales de la construcción. Igualmente, se debe dotar al establecimiento de medios de extinción, detección y control de humo que deberían ayudar, al menos, a controlar el tamaño del incendio.
 - **Posibilitar su extinción:** las exigencias prescriptivas pretenden facilitar la accesibilidad a los bomberos y dotar al establecimiento de medios de control de humo y de extinción.
 - **Proteger a las personas:** las exigencias prescriptivas incluyen medios de evacuación y señalización, limitación de distancias de evacuación y medios para la detección y alarma, de forma que los ocupantes sean conscientes de la emergencia y puedan abandonar el sector siniestrado en condiciones de seguridad. Por otro lado, los sistemas de control del incendio ayudarán a que las acciones del incendio a las que se ven expuestos ocupantes y bomberos sean menores.
 - **Proteger a los bienes:** las prescripciones incluyen medios para proteger a los bienes propios, a los establecimientos colindantes y a la masa forestal circundante mediante distancias de seguridad, limitando el tamaño de los sectores, con exigencias de resistencia al fuego a medianeras y estructura, así como medios de protección activa.

De esta forma, los objetivos de seguridad implícitos en el artículo 1 del RSCIEI podrían resumirse de la siguiente forma:

- **Objetivos ligados a la seguridad de las personas:** garantizar la evacuación de los ocupantes y posibilitar la intervención de los bomberos en condiciones de seguridad;
- **Objetivos ligados a la protección de los bienes:** evitar daños a establecimientos colindantes, al propio establecimiento y a masas arbóreas.

Estos objetivos son, por tanto, obligatorios para todos los proyectos, ya sean estos desarrollados de forma prescriptiva o prestacional. Cuando el proyectista opte por el enfoque prestacional, es importante que identifique la relación entre las prescripciones que no se van a cumplir y los objetivos de seguridad que se ven impactados por ello.

La tabla siguiente resume los incumplimientos más comunes a las prescripciones del reglamento y los objetivos que se ven impactados por dichos incumplimientos.



OBJETIVO	PRESCRIPCIONES RELACIONADAS	INCUMPLIMIENTOS COMUNES QUE REQUIEREN DE UN DISEÑO PRESTACIONAL
SEGURIDAD DURANTE LA EVACUACIÓN DE LOS OCUPANTES	<ul style="list-style-type: none"> • Reacción al fuego de los materiales • Resistencia al fuego (o estabilidad según RSCIEI) de las estructuras • Resistencia al fuego de los cerramientos • Limitación de la ocupación • Limitación de distancias de evacuación • Medios de evacuación • Sistemas de control del humo del incendio (activados automáticamente con la detección) • Sistemas de detección y alarma • Sistemas de extinción / control del incendio • Alumbrado de emergencia • Señalización 	<ul style="list-style-type: none"> • Superación de las distancias máximas de evacuación • Reducción de la resistencia al fuego mínima de las estructuras • Diseño de sistemas de control del humo del incendio alternativos al establecido en la norma UNE 23585:2004
SEGURIDAD DURANTE LA INTERVENCIÓN DE BOMBEROS	<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad • Tamaño de los sectores • Reacción al fuego de los materiales • Resistencia al fuego de las estructuras • Resistencia al fuego de los cerramientos • Limitación de distancias de evacuación (serán igualmente vías de intervención) • Medios de evacuación • Sistemas de control del humo del incendio (activados automáticamente con la detección, con retardo o manuales) • Sistemas de extinción / control del incendio • Alumbrado de emergencia • Señalización 	<ul style="list-style-type: none"> • Superación del tamaño máximo de los sectores de incendio • Superación de las distancias máximas de evacuación / intervención • Reducción de la resistencia al fuego mínima de las estructuras • Diseño de sistemas de control del humo del incendio alternativos al establecido en la norma UNE 23585:2004
EVITAR DAÑO A ESTABLECIMIENTOS / EDIFICIOS CERCANOS	<ul style="list-style-type: none"> • Distancias entre establecimientos • Accesibilidad • Tamaño de los sectores • Reacción al fuego de los materiales • Resistencia al fuego de las estructuras • Resistencia al fuego de los cerramientos • Sistemas de extinción / control del incendio 	<ul style="list-style-type: none"> • Superación del tamaño máximo de los sectores de incendio • Reducción de la resistencia al fuego mínima de las estructuras

Tabla 5-1: Relación entre objetivos de seguridad – prescripciones - incumplimientos más comunes

5.1 REQUISITOS FUNCIONALES O EXIGENCIAS

Los objetivos de seguridad expresan de forma global el fin último que persigue la reglamentación de seguridad contra incendios. Los requisitos funcionales o exigencias precisan de forma más concreta el comportamiento que ciertas partes o funciones del establecimiento que deben presentar para poder dar cumplimiento a los objetivos de seguridad.

Sin que sirva como limitación, se incluyen a continuación algunas exigencias a verificar para dar cumplimiento a los objetivos de seguridad requeridos por la reglamentación.



OBJETIVO	EXIGENCIA / REQUISITO DE SEGURIDAD ASOCIADO EN CASO DE INCENDIO EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO
<p>SEGURIDAD DURANTE LA EVACUACIÓN DE LOS OCUPANTES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las condiciones ambientales serán compatibles con una evacuación segura de los ocupantes ▪ El tiempo de colapso de las estructuras (principal y entreplantas) será compatible con la evacuación ▪ En caso de que no se cumpla el requisito de resistencia al fuego marcado por el RSCIEI en alguna estructura, si se prevé el colapso parcial de una parte de la misma antes de quedar garantizada la evacuación de los ocupantes, se estudiará el modo de colapso de dicha estructura y se verificará que este sea compatible con la evacuación. Es decir, en esos casos se comprobará que, como consecuencia del colapso, no se invaden zonas en momentos temporales en los que las condiciones ambientales deban ser seguras para garantizar la evacuación de los ocupantes
<p>SEGURIDAD DURANTE LA INTERVENCIÓN DE BOMBEROS</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las condiciones ambientales serán compatibles con una intervención segura de los bomberos ▪ El tiempo de colapso de las estructuras (principal y entreplantas) será compatible con una intervención segura de los bomberos ▪ En caso de que no se cumpla el requisito de resistencia al fuego marcado por el RSCIEI en alguna estructura, se estudiará el modo de colapso de la misma y se verificará que este sea compatible con una intervención segura de los bomberos justificando que: <ul style="list-style-type: none"> – no hay colapso en cadena: el eventual fallo de los elementos afectados por el incendio no trae consigo el colapso repentino de la estructura. De esta forma tampoco se invaden zonas donde las condiciones ambientales puedan aun ser seguras para la presencia de bomberos – no se daña la compartimentación – el colapso de la estructura se produce hacia el interior para evitar derrumbes sobre los bomberos y sus equipos de extinción
<p>EVITAR DAÑO A ESTABLECIMIENTOS / EDIFICIOS CERCANOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se limitarán las condiciones de radiación exterior para evitar la propagación a establecimientos cercanos ▪ El colapso de las estructuras se producirá hacia el interior para evitar daños o invadir propiedades cercanas ▪ El fallo de la estructura no producirá daños en las medianeras ni en los elementos estructurales de los establecimientos colindantes ▪ Los efectos térmicos en el exterior producidos por un establecimiento que incumple el tamaño máximo de los sectores de incendio no serán mayores que los que produciría el incendio en un establecimiento sectorizado de acuerdo con la reglamentación

Tabla 5-2: Relación de objetivos de seguridad con las exigencias / requisitos de seguridad

5.2 CRITERIOS PRESTACIONALES

Los criterios prestacionales son aquellas medidas cuantitativas de ingeniería asociadas a cada requisito funcional de forma que permiten evaluar el cumplimiento de las exigencias y los objetivos de seguridad.

5.2.1 Criterios ligados a la seguridad de la vida: condiciones ambientales durante la evacuación o la intervención

Los criterios a definir en este caso son aquellos que permiten evaluar el efecto del incendio sobre las personas. Salvo que se especifique lo contrario, todos ellos se deben medir a una altura de 2 m sobre el nivel del suelo, fuera de la zona del incendio (círculo de 10 m de diámetro alrededor del foco del incendio). Los humos y gases calientes modificarán las condiciones ambientales del establecimiento pudiendo poner en



peligro a los ocupantes o a los bomberos si se superan determinados límites. Los parámetros más comunes se resumen a continuación.

La visibilidad

La pérdida de visibilidad producida por los humos del incendio no es en sí un efecto dañino para las personas. No obstante, produce desorientación y dificultad para encontrar las vías de evacuación y llegar a un espacio seguro, pudiendo aumentar el tiempo que permanecen las personas expuestas a los efectos nocivos del incendio.

Las condiciones de visibilidad se pueden ver rápidamente degradadas en caso de incendio, aunque la afectación a ocupantes y servicios de emergencia dependerá de múltiples factores (potencia del incendio, tasa de hollín del combustible, geometría de la nave, etc.). El criterio de visibilidad suele ser el primero en alcanzarse. Su análisis es fundamental para evaluar la seguridad durante la evacuación y la intervención.

En este sentido, se entiende adecuado considerar que una visibilidad superior a 10 metros es compatible con una evacuación segura

Por otra parte, para garantizar la seguridad de los sistemas de intervención, se considera adecuado verificar que se cumple que durante el tiempo de intervención la visibilidad en los recorridos de intervención es superior a 10 m a una altura de 1,8 metros por encima de los recorridos de evacuación durante 60 min (para más información, ver apartado 9.2).

El calor

El calor del incendio puede provocar daños en las personas por conducción (quemaduras por contacto), por convección a través del aire caliente y también por la radiación de las llamas, los humos calientes o las paredes. Por ello, tanto la temperatura como la radiación térmica deben mantenerse en un umbral adecuado que permita la evacuación segura de los ocupantes y la intervención.

En este sentido, es adecuado considerar compatibles con la evacuación los siguientes valores de temperatura y radiación térmica, medida a 2 m de altura:

- Temperatura ambiente: 60 °C.
- Radiación térmica inferior o igual a 2,5 kW/m².

Por otra parte, se entienden compatibles con la intervención segura de bomberos los siguientes valores de temperatura y radiación térmica durante el tiempo necesario para dicha intervención:

- Temperatura ambiente medida a 1,8 metros por encima de los recorridos de evacuación menor o igual a 100 °C.
- Radiación térmica medida a 1,8 metros por encima de los recorridos de evacuación menor o igual a 3 kW/m².

Concentración de especies gaseosas

En función de la naturaleza de los combustibles que participan en el desarrollo del incendio, se pueden generar distintas especies tóxicas. No obstante, los gases asfixiantes que aparecen más habitualmente en un incendio son: CO, CO₂ y HCN, debiendo tenerse además presente que una baja concentración de O₂ también resulta en la aparición de síntomas de asfixia. En cualquier caso, el producto preponderante producido por la mayor parte de los combustibles es el CO, por lo que se suele utilizar este como indicador de la toxicidad.

Para los servicios de bomberos no se considera necesario evaluar este criterio debido al uso de los equipos de respiración durante la intervención.

En caso de que el sector objeto de proyecto albergue productos cuya combustión genere humos especialmente tóxicos, nocivos o irritantes habría que analizar los efectos que el humo puede ocasionar a los



ocupantes y determinar qué criterios son necesarios para verificar el cumplimiento del objetivo de la seguridad de la evacuación y de la seguridad de la intervención.

Sin perjuicio de lo indicado en el párrafo anterior, en general, se considera adecuado utilizar como valor límite de concentración de CO 150 ppm.

5.2.2 Criterios ligados a la resistencia al fuego de la estructura

Los criterios seleccionados dependerán de los objetivos de seguridad que apliquen e irán ligados al comportamiento de la estructura en caso de incendio. Las exigencias de resistencia al fuego afectan a la estructura portante del edificio y a las entreplantas que puedan estar ocupadas.

Se tendrá que justificar el cumplimiento de la exigencia de resistencia al fuego de la estructura en los objetivos de seguridad de la evacuación o seguridad de la intervención cuando no se cumpla la exigida reglamentariamente o cuando el RSCIEI no exija al sector ninguna estabilidad estructural y se propongan recorridos de evacuación superiores a los exigidos reglamentariamente. Igualmente se justificará esta exigencia cuando se supere el tamaño del sector de incendios y no se cumpla la estabilidad al fuego exigida en la tabla 2.2 del RSCIEI.

Colapso estructural cuando el objetivo es la seguridad de los ocupantes

El colapso debería producirse siempre una vez que se termine la evacuación salvo que se justifique un colapso localizado, en zonas próximas al foco del incendio. Este colapso localizado no puede afectar a zonas no calientes que puedan estar aún ocupadas porque las condiciones ambientales lo permitan y, además, en caso de producirse, nunca debería arrastrar de forma inmediata al resto de la estructura de zonas no afectadas aún por el incendio de forma que se produzca un colapso generalizado repentino mientras dure la evacuación.

Colapso estructural cuando el objetivo es la seguridad de los bomberos

Al igual que en el caso anterior, es posible justificar un colapso localizado sólo en la zona próxima al foco del incendio siempre y cuando no afecte a zonas que puedan estar aún ocupadas por los bomberos porque las condiciones ambientales lo permitan. El colapso debería producirse hacia el interior para evitar que el edificio o la fachada se derrumben sobre los bomberos que intervienen desde el exterior o que afecten a vías de intervención. En el caso de las entreplantas el requisito ha de ser el mismo, puesto que el colapso de las entreplantas hacia el exterior podría afectar a bomberos durante la intervención y podría dañar la compartimentación, permitiendo la propagación a otros sectores o establecimientos.

Colapso estructural cuando el objetivo es evitar daños a establecimientos colindantes/cercanos

El colapso debería producirse hacia el interior, sobre todo en caso de que la distancia entre establecimientos sea menor a la altura del establecimiento siniestrado. Aun en el caso de producirse hacia el interior, los desplazamientos en cabeza de pilar deberían ser inferiores a la distancia entre establecimientos y compatibles con el grado de deformación posible de muros compartimentadores o medianeros cercanos. Esto último es particularmente importante en el caso de establecimientos tipo B muy cercanos.

En caso de que el establecimiento disponga de superficies superiores a las máximas permitidas reglamentariamente y no se cumpla la estabilidad al fuego exigida en la tabla 2.2 del RSCIEI, hay que justificar que las deformaciones o eventual colapso de la estructura no afecten a establecimientos vecinos.

5.2.3 Criterios ligados a evitar la propagación del incendio a establecimientos cercanos

Una forma de evitar la propagación a establecimientos cercanos es garantizar que la radiación fuera de los límites del establecimiento es menor a aquella que implique el inicio de la combustión de los materiales. El umbral dependerá de la naturaleza de los combustibles. No obstante, cuando no se conoce los materiales exactos que pueden estar presentes en los establecimientos cercanos, se considera adecuado tomar 10 kW/m² como referencia para los análisis de propagación.



Este criterio se tendrá que tener en cuenta en caso de establecimientos con superficies de sector superiores a las máximas establecidas reglamentariamente y que se encuentren a una distancia inferior a 10 m (el sector afectado) a parcelas vecinas con posibilidad de edificar en ellas.

6 ESTRATEGIA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Además de la descripción del establecimiento, el proyecto debe describir y justificar la estrategia global de seguridad contra incendios a implementar. Debe definirse las características principales de los sistemas de protección contra incendios, prestando especial atención a aquellos que tengan relación con los incumplimientos de las prescripciones y que serán justificados mediante enfoque prestacional, tales como:

- Sectorización;
- Resistencia al fuego de los cerramientos y reacción al fuego de los materiales de construcción;
- Resistencia al fuego (o estabilidad estructural según el RSCIEI) de las estructuras, tanto del edificio como de las entreplantas, altillos o sistemas de almacenamiento;
- Medios de evacuación, señalización y alumbrado de emergencia;
- Sistemas de control de humo. Es importante que se defina el modo de activación del SCTEH (ligado a la detección, manual o automático tras un retardo específico). No se debe olvidar en la descripción del sistema cómo se realiza el aporte de aire limpio.
- Sistemas de detección: tipología, sensibilidad y secuencia de acciones tras la detección.
- Sistema de comunicación de la alarma: tipología y existencia o no de retardo respecto a la detección; En caso de que los incumplimientos presentados afecten al objetivo de la seguridad de evacuación, no se considerará adecuado programar un retardo entre la detección y la activación de la alarma, salvo que se justifique adecuadamente la necesidad de hacerlo.
- Sistemas de rociadores: El proyecto debería indicar los criterios básicos de diseño del sistema (temperatura de activación, factor K, caudal/presión, RTI, etc.).

Las hipótesis tenidas en cuenta en los estudios prestacionales que puedan formar parte del proyecto prestacional de incendios, así como las conclusiones y recomendaciones de los mismos deberán ser tenidas en cuenta en la estrategia final global de protección del proyecto.

7 SELECCIÓN DE ESCENARIOS DE INCENDIO

La selección de escenarios de incendio es uno de los pasos esenciales en el planteamiento global de los estudios de ingeniería de seguridad contra incendios. La idoneidad de los escenarios seleccionados es parte fundamental de la robustez y el éxito de las soluciones que se propondrán.

La identificación de escenarios de incendio consiste en ordenar los datos de entrada para predecir, a través del análisis de riesgo, los distintos incendios susceptibles de ocurrir en el establecimiento. La fase de identificación tiene como objetivo definir parámetros esenciales de cada escenario de incendio, que comprenden:

- La ubicación del foco inicial;
- El tipo de incendio;
 - Curva de incendio
 - Reacción química de combustión
- Las condiciones de propagación;
- Los elementos de la obra, sistemas y medidas que inciden en el desarrollo del incendio.

Generalmente, los escenarios de incendio se seleccionan utilizando un enfoque determinista. Los escenarios seleccionados son aquellos que presentan los riesgos más importantes para cada objetivo de seguridad (o exigencia funcional). De esta forma, si el objetivo de seguridad se cumple para el escenario de incendio estudiado, se cumpliría igualmente para cualquier otro escenario no analizado.



Debe justificarse que los escenarios seleccionados son los más desfavorables en función de los riesgos existentes y del objetivo de seguridad perseguido:

- Para seguridad de vida, se han de seleccionar los escenarios que provoquen una mayor afectación sobre los ocupantes. Por ejemplo, buscando aquellos casos que:
 - Generen una mayor cantidad de humos de incendio;
 - Provoquen una tardía activación de los sistemas de detección y protección contra incendios;
 - Bloqueen rutas o salidas de evacuación;
 - Propicien una ruina temprana de algún elemento de la estructura que impacte en la evacuación.

- Para protección de bienes y daños a terceros, se han de seleccionar los escenarios que supongan una mayor propagación del incendio y afecten en mayor medida a los elementos estructurales. Por ejemplo, buscando escenarios que:
 - Propicien la propagación del incendio en el interior de la nave o hacia el exterior (generando así una mayor potencia de incendio);
 - Provoquen una tardía activación de los sistemas de protección contra incendios;
 - Tengan un impacto mayor en la estructura, debido a las acciones térmicas como consecuencia del incendio.

Para caracterizar un escenario de estudio es necesario asociarle las características típicas del desarrollo del fuego correspondiente al caso considerado. Los datos de entrada pueden incluir resultados y conclusiones de ensayos de fuego y de investigación de siniestros.

En el caso del RSCIEI, las exigencias de resistencia al fuego se basan en las acciones térmicas utilizadas en los laboratorios de ensayos de fuego. Estas acciones térmicas se corresponden con el fuego normalizado definido en la norma ISO-834 (curva normalizada temperatura-tiempo).

Los incendios reales que se pueden dar en un establecimiento industrial son muy numerosos y variados y presentan una evolución diferente a los determinados por las curvas de temperatura-tiempo normalizadas. La evolución de los incendios reales se muestra de forma simplificada en la figura siguiente.

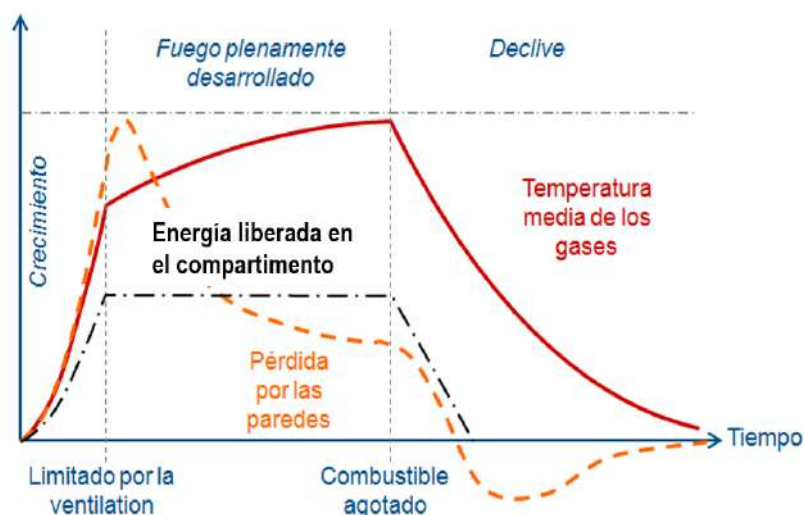


Figura 7-1: Evolución de un incendio real

En ella se puede ver cómo, en ausencia de sistemas de extinción, presentan:

- **una fase de crecimiento**, fundamentalmente controlada por la ventilación, así como por la tipología y disposición del combustible. Normalmente, será en fase inicial en la que se produzca la evacuación de los ocupantes.

En la mayoría de los casos, por simplificación o ausencia de datos precisos de ensayos de fuego, se recurre a curvas de desarrollo de incendio cuadráticas, también llamadas de cinéticas estándar. Estas cinéticas de crecimiento del incendio son proporcionales al tiempo, de tal forma que la tasa de emisión de calor \dot{Q} sigue la fórmula siguiente¹

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2$$

Siendo:

t = tiempo en s

t_g = tiempo en el que se alcanza la tasa de emisión de calor de referencia \dot{Q}_0

Por norma general, se considera $\dot{Q}_0 = 1 \text{ MW}$. La fórmula anterior se puede simplificar²:

$$\dot{Q} = \left(\frac{t}{\alpha} \right)^2$$

Siendo:

t = tiempo en s

α = coeficiente de cinética en $\text{s}/\text{MW}^{0,5}$

El valor de este coeficiente α (equivalente al tiempo característico para alcanzar 1 MW) para las cinéticas estándar adopta los siguientes valores:

Lenta ($\alpha = 600 \text{ s}/\text{MW}^{0,5}$),

Media ($\alpha = 300 \text{ s}/\text{MW}^{0,5}$),

Rápida ($\alpha = 150 \text{ s}/\text{MW}^{0,5}$),

Muy rápida, también llamada ultra rápida ($\alpha = 75 \text{ s}/\text{MW}^{0,5}$).

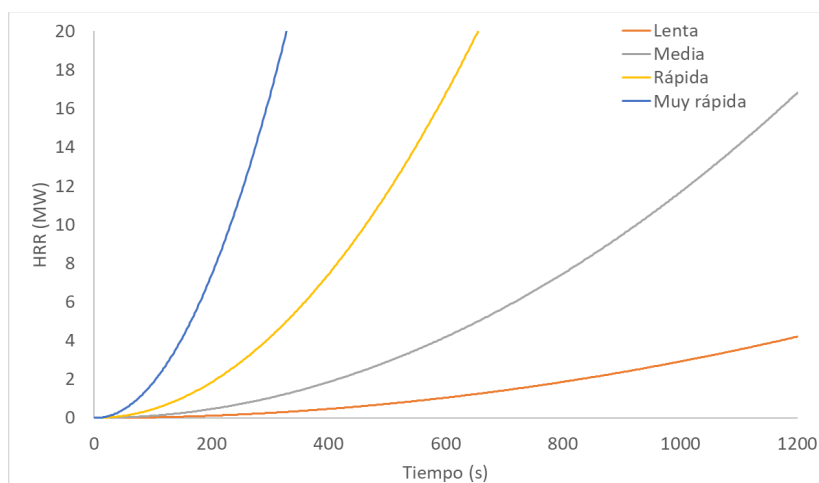


Figura 7-2: Curvas de cinética estándar de crecimiento del incendio

¹ Formulación reflejada en la UNE-ISO 16733-1: 2017

En caso de emplearse alguna de las curvas de cinética estándar, debe justificarse por qué se considera adecuado para el escenario y establecimiento en cuestión. A modo orientativo, la norma UNE-ISO 16733-1: 2017 incluye en su Tabla C.2 algunos ejemplos en función de los bienes almacenados, sacados del Documento Técnico NFPA 204 y el manual de la SFPE.

Escenario de fuego de diseño	Categoría
Mobiliario tapizado o mobiliario apilado cerca de revestimientos combustibles	Ultra rápido
Mobiliario ligero	Ultra rápido
Material de embalaje en pila de basura	Ultra rápido
Almacenaje de espuma plástica sin tratamiento de retardamiento del fuego	Ultra rápido
Cajas de cartón o plástico en disposición de almacenaje vertical	Ultra rápido
Colchones	Rápido
Escaparates y particiones de puestos de trabajo acolchadas	Rápido
Mobiliario de oficina	Medio
Mostradores de tiendas	Medio
Revestimientos de suelo	Lento

Tabla 7-1: Tabla C.2 de la norma UNE-ISO 16733-1: 2017. Categorías típicas de crecimiento de fuego de distintos escenarios de fuego de diseño.

- **una fase estacionaria**, controlada por el combustible presente, en la que el incendio está plenamente desarrollado. En esta fase se trabajará, por ejemplo, cuando se evalúen los efectos del incendio sobre las estructuras y los establecimientos cercanos
- **una fase de declive**, en la que el combustible se va agotando hasta su autoextinción.

En los proyectos de establecimientos que incluyen sistemas de rociadores, se entiende adecuado considerar que el incendio crece (con la velocidad aplicable a las condiciones del escenario) hasta que se activan 3 rociadores y que a partir de ese momento mantiene una potencia constante durante todo el tiempo que dura la simulación.

8 SELECCIÓN DE MÉTODOS INGENIERÍA

8.1 MÉTODOS DE CÁLCULO

8.1.1 Métodos analíticos

Están basados en normativas, guías, u otras referencias bibliográficas que emplean fórmulas algebraicas y, por lo general, arrojan resultados conservadores.

A la hora de emplear métodos analíticos, ha de cuestionarse si son adecuados o válidos para el escenario y objetivo en cuestión.

En el contexto de un análisis de desarrollo del incendio, los métodos analíticos se pueden emplear para determinar, por ejemplo, la temperatura media de un compartimento, el tiempo de apertura de rociadores, la altura y temperatura de una llama, etc.

En el caso de un análisis estructural, los métodos analíticos se pueden emplear para determinar, por ejemplo, el calentamiento y la temperatura crítica de un elemento.

En el caso de análisis de la evacuación, los métodos analíticos se pueden emplear para calcular el tiempo necesario para evacuar un sector (en inglés RSET – *Required Safe Egress Time*). Estos métodos simplificados suelen ser los más adecuados en el ámbito industrial, puesto que la densidad de ocupación es baja y no se prevén problemas de embotellamiento en las vías y salidas de evacuación.



Siempre que se utilicen métodos analíticos simplificados estos deben estar correctamente referenciados y ha de comprobarse que el análisis se ajusta al campo de aplicación del método.

8.1.2 Cálculos avanzados

Para cálculos avanzados, se recurre al uso de herramientas de simulación. Los programas indicados a continuación son ejemplos de los más usados en el ámbito industrial del RSCIEI. Es posible recurrir a otras herramientas siempre que se justifique que son adecuadas y hayan sido validadas y verificadas. La selección del método de cálculo y de la herramienta de simulación es responsabilidad del proyectista.

8.1.2.1 Simulación de incendios

En la gran mayoría de los casos se suele recurrir a dos tipos de modelos:

- Modelos de Zona, modelos computacionales que dividen el dominio en varios volúmenes de control. Aunque existan modelos de una zona, es más común emplear modelos de dos zonas que representan el desarrollo del incendio diferenciando una capa fría inferior y otra caliente superior, donde están los humos y gases de la combustión.
Ejemplos: CFAST, OZONE.
- Modelos de Campo, basados en el uso de la Fluidodinámica Computacional (CFD). Dividen el dominio computacional del recinto en volúmenes elementales (desde cientos a millones de celdas, dependiendo de la sensibilidad deseada y los recursos computacionales disponibles). Estos modelos resuelven ecuaciones diferenciales de Navier-Stokes dependientes del tiempo en cada volumen elemental. El análisis es mucho más detallado y se pueden representar geometrías complejas. Por contra, el tiempo de cálculo y recursos necesarios es mayor.
Ejemplos: FDS, FLUENT, FIREFOAM.

Para conocer los efectos del incendio sobre las personas y las estructuras, en la mayoría de los casos se recurre al modelo de campo tridimensional FDS (Fire Dynamics Simulator). En el ANEXO A se incluyen algunas consideraciones a tener en cuenta en caso de emplear este programa.

8.1.2.2 Simulación de la evacuación

Existen modelos avanzados para calcular tiempos de recorrido horizontal/vertical y tiempos ligados a posibles esperas y cuellos de botella. Estas herramientas asemejan la evacuación de los ocupantes a modelos de flujo y permiten tener en cuenta comportamientos de dirección, distintos perfiles de ocupantes (edades, tamaños, velocidades), distribuciones estadísticas (de ocupación, de tiempos de pre-movimiento, etc.) y otros parámetros que permiten un análisis detallado de la evacuación, sobre todo en edificios de geometría compleja, varias alturas o elevada ocupación. Como se ha dicho anteriormente, estos modelos no suelen ser necesarios para el ámbito industrial debido a la baja densidad de ocupación.

Ejemplos: EVAC, PATHFINDER, EXODUS.

8.1.2.3 Análisis del comportamiento estructural

Existen herramientas de cálculo avanzado de estructuras que permiten estimar el calentamiento que las acciones térmicas de un incendio producen sobre las estructuras y determinar cuándo y cómo se produce el colapso de la estructura en situación de incendio real. En caso de que alguno de los objetivos de seguridad no se vea satisfecho, estas herramientas permiten buscar soluciones de protección y refuerzo adaptadas a cada caso. Los cálculos desarrollados con estas herramientas tienen en cuenta las propiedades de los materiales (estructuras y sistemas de protección pasiva) en función de la temperatura, las reparticiones de cargas reales del edificio, las acciones climáticas y las acciones térmicas del incendio. Los modelos de cálculo tienen en cuenta las leyes de los Eurocódigos.

Ejemplos: SAFIR, LENAS, ANSYS.



8.1.2.4 Efecto del incendio en el exterior del establecimiento

El análisis de los efectos de un incendio en el exterior se puede realizar mediante el uso de herramientas que evalúan la radiación que un incendio en el interior de un establecimiento produce en el exterior.

Permiten definir soluciones de mejora adaptadas al riesgo real, como la instalación de pantallas, distancias de seguridad o la reorganización de los combustibles para reducir las acciones térmicas.

Ejemplos: FLUMILOG.

8.2 VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO

Todo método de cálculo o herramienta debería haberse sometido a un proceso de validación y verificación.

La verificación incluye la comprobación del código, la discretización temporal y espacial, las pruebas iterativas de convergencia y consistencia, y la revisión del tratamiento numérico de los modelos. Mediante el proceso de verificación se evalúan los datos de entrada, los resultados de salida, y las fórmulas y relaciones científicas empleadas en el modelo matemático.

La validación debe evaluar las salidas del método de cálculo considerando la incertidumbre asociada a los modelos y a las fórmulas. Se ha de comprobar si hay coherencia en los resultados, partiendo de unos datos de entrada y unas condiciones de contorno específicas. Se pueden comprobar las salidas con datos experimentales y se pueden tabular las discrepancias en términos cuantitativos. Como parte del proceso, debe recogerse el circuito en un informe de validación que ha de estar disponible en caso de ser requerido.

El informe de verificación y validación del método de cálculo utilizado por un proyectista debe estar a disposición del órgano competente en materia de seguridad industrial. Cualquier desviación que el proyectista haga fuera del campo de aplicación incluido en el informe de verificación y validación debe estar justificada mediante un nuevo proceso de verificación y validación. Es responsabilidad del proyectista confirmar que el campo de aplicación del modelo es válido para cada proyecto. Es igualmente responsable de justificar que dispone de los conocimientos y experiencia necesarios para su utilización.

9 EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE PRUEBA DE ACUERDO CON LOS ESCENARIOS

A continuación, se describe de forma resumida el contenido de los análisis de ingeniería más habituales en el ámbito de los proyectos de incendios en establecimientos industriales.

9.1 EVALUACIÓN DE LA EVACUACIÓN (ASET/RSET)

Cuando existe un incumplimiento en las distancias de evacuación, en general, el análisis del objetivo de seguridad de los ocupantes se evalúa por el método ASET/RSET.

ASET: («Available Safe Egress Time») Tiempo desde el inicio del incendio hasta que se superan los criterios prestacionales y se producen condiciones insostenibles para los ocupantes: falta de visibilidad, altas temperaturas, altos niveles de radiación, toxicidad de los humos o fallo estructural, etc. Depende de las características de los escenarios de incendio seleccionados y de la geometría y características del establecimiento.

RSET: («Required Safe Egress Time») Tiempo desde el inicio del incendio en el que los ocupantes pueden salir de la zona afectada por el incendio y llegar a un lugar seguro (salida de sector de incendio, salida de planta, o salida al exterior). Depende de la geometría del establecimiento, la ubicación de las salidas, los recorridos de evacuación, la densidad de ocupación y el tipo de ocupantes, el sistema de detección y alarma y las condiciones para la gestión de la emergencia.

El objetivo de seguridad de los ocupantes se verá cumplido si el tiempo necesario para evacuar es menor que el tiempo disponible para evacuar en condiciones de seguridad ($RSET < ASET$).



El ASET se determina analizando las condiciones ambientales producidas por el incendio y observando el momento en el que se alcanzan los criterios prestacionales definidos. Para ello, se recurre a los resultados de las simulaciones de cada escenario de incendio estudiado. Igualmente, en determinados casos se debe comparar con el tiempo en el que se prevé el colapso de las estructuras.

En volúmenes grandes, como suelen ser los sectores de los establecimientos industriales, el criterio que antes se alcanza suele ser la visibilidad. En volúmenes pequeños, puede ser importante la radiación o la toxicidad. Igualmente puede jugar un papel crítico el comportamiento estructural en caso de existir estructuras ocupadas de acero sin protección pasiva.

El RSET se puede estimar de forma simplificada por métodos analíticos o mediante herramientas de simulación. Cuando la ocupación es baja, como en el caso de la mayoría de los establecimientos industriales es suficiente el uso de métodos analíticos. Cuando la ocupación es alta o la geometría del establecimiento es compleja, se puede recurrir a herramientas de cálculo y simulación.

Tomando como referencia la ISO-TR 16738:2009 *FSE Behaviour & Movement People*, el tiempo necesario para la evacuación es la suma de los tiempos elementales siguientes:

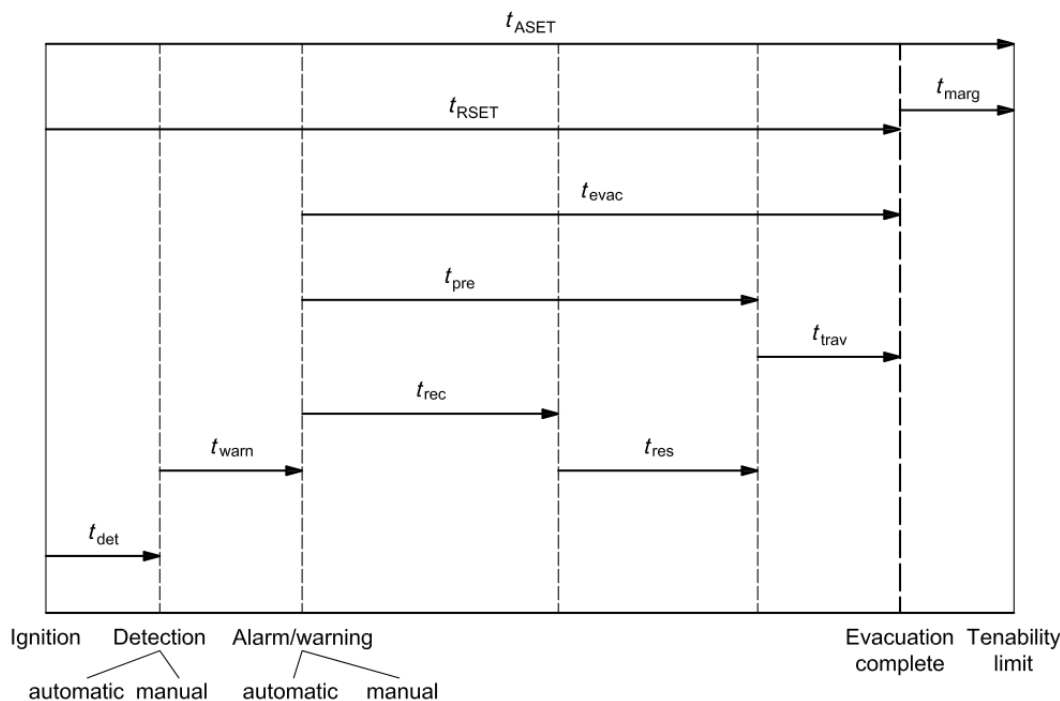


Figura 9-1: Diagrama simplificado del proceso de evacuación. Extracto de la ISO-TR 16738:2009

- Tiempo de detección (t_{det}): es el necesario para la detección del incendio en el edificio. Debe ser congruente con los sistemas de detección proyectados, la geometría del edificio y el escenario de incendio estudiado.
- Tiempo de alarma (t_{warn}): es el necesario para la notificación de la alarma. Debe ser congruente con la estrategia de comunicación de la alarma del proyecto y considerar cualquier retardo o pre-alarma existente.
- Tiempo de reconocimiento (t_{rec}): es el necesario para que los ocupantes identifiquen el peligro, comprendan la situación de emergencia.
- Tiempo de respuesta (t_{res}): es el necesario para que los ocupantes reaccionen y decidan comenzar la evacuación. Se considera, que las personas próximas al fuego inicial reaccionarán más rápidamente por tener contacto visual, olfativo y sensación térmica con el foco. Se debe tener en cuenta si los ocupantes están formados para actuar en caso de emergencia de acuerdo a un Plan de Emergencia desarrollado según las exigencias locales y los estándares de seguridad de la empresa.
- Tiempo de premovimiento (t_{pre}): Los tiempos de reconocimiento y de respuesta se suelen agrupar en un único tiempo llamado tiempo de premovimiento (t_{pre}) o de reacción de los ocupantes, desde que



son conscientes del incendio hasta que comienzan el movimiento hacia las salidas. En un entorno como el que se da en un establecimiento industrial, resulta difícil justificar tiempos de premovimiento inferiores a 180 s, que exigirían cumplir, por ejemplo, todas las condiciones establecidas para un sistema de gestión de la seguridad contra incendios de nivel M1 según la norma PD 7974-6, lo que incluiría tener implantado un sistema de este tipo que estuviera certificado por una entidad de certificación y que fuera sometido a simulacros periódicos, auditorías regulares que incluyesen evacuaciones monitorizadas, etc.

- **Tiempo de movimiento (t_{trav}):** este tiempo es el necesario para que los ocupantes alcancen una zona segura. Es función de las distancias a recorrer (horizontales o verticales) para alcanzar las salidas de emergencia y de la velocidad de desplazamiento de las personas. Hay que definir velocidades de desplazamiento horizontal y vertical y longitudes y alturas de los recorridos máximos. Se debería definir velocidades específicas para personas con movilidad reducida, en caso de que se prevea su presencia en el establecimiento. También debe tener en cuenta el tiempo necesario para el paso por las puertas o pasarelas/pasillos (se debe definir el flujo normal de paso en función del ancho de los medios de evacuación).
- **Tiempo de margen (t_{marg}):** es la diferencia entre el RSET y el ASET.

9.1.1 Consideraciones para el análisis de la evacuación:

Los sistemas de extinción automática:

En caso de considerarse, el efecto de los sistemas de rociadores debería ser limitado en los escenarios de incendio de análisis de evacuación dado que las herramientas de simulación habitualmente empleadas no son capaces de reproducir de forma fiable el efecto de los rociadores en la combustión.

Para limitar errores por activaciones tempranas debido a efectos locales de la geometría simulada, se entiende adecuado detener el crecimiento del incendio cuando se han activado 3 rociadores.

9.2 EVALUACIÓN DE LA INTERVENCIÓN

Cuando exista alguna excepción que afecte al objetivo de conseguir una intervención segura, es necesario el análisis del objetivo de seguridad durante la intervención.

Para evaluar las condiciones de seguridad durante la intervención, se debe estimar el tiempo total que se requiere para llevar a cabo la misma, que se estima en 60 minutos y que puede considerarse como la suma de los siguientes:

- Tiempo 1 (t_1): 25 minutos, correspondiente al tiempo mínimo de llegada de la primera dotación de bomberos, con identificación del escenario de incendio y del punto de acceso más adecuado, decisión de la estrategia de intervención y preparación de las primeras maniobras en el exterior de la nave.
- Tiempo 2 (t_2): 20 minutos, que corresponde al tiempo de la intervención del primer equipo de bomberos y que está limitado por la autonomía de los equipos de intervención.
- Tiempo 3 (t_3): 15 minutos, correspondiente al margen de seguridad para asegurar una intervención segura en caso de cualquier imprevisto.

Debe presuponerse que siempre que las condiciones del incendio lo permitan, es posible que los bomberos accedan al interior para localizar posibles ocupantes atrapados y extinguir el incendio. Se supone que en estos casos el incendio ha sido controlado por los medios de protección del establecimiento.

Se podrá realizar una intervención desde el interior si las condiciones ambientales y la resistencia al fuego de la estructura son adecuadas. Para evaluar estos dos aspectos se recurrirá a:

- herramientas de simulación del incendio como las utilizadas para evaluar las condiciones ambientales durante la evacuación de los ocupantes. En este caso, es habitual trabajar con escenarios de incendio que tienen en cuenta el efecto del sistema de rociadores y los medios de



control de temperatura y evacuación de humos. Este último aspecto se trata en el apartado siguiente (9.3).

- herramientas avanzadas de cálculo estructural en situación de incendio, cuando no se cumpla la estabilidad al fuego de la tabla 2.2 o no haya garantías de que la resistencia al fuego de las estructuras es de al menos 60 minutos. Este caso se trata con mayor detalle en el apartado 9.5.

9.3 EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA Y EVACUACIÓN DE HUMOS (SCTEH)

En ocasiones, se recurre a un diseño del SCTEH alternativo al exigido por la UNE 23585: 2004. Por ejemplo, eliminando las cortinas de humos o con un número de exutorios en cubierta inferior al obtenido por el método simplificado de la norma.

Los sistemas de control de temperatura y evacuación de humos basados en estrategias de flotabilidad deberán diseñarse tomando como base los siguientes objetivos:

- a) En los casos de presencia habitual de personas, con una densidad de ocupación del sector superior a 10 personas por cada 100 m², o bien, cuando sea superior a 5 personas por cada 100 m² y la altura de techo sea inferior a 5 metros, se debe diseñar con los objetivos de protección de los medios de evacuación y de facilitación de las operaciones de lucha contra incendios.
- b) En los casos de menor presencia de personas, se debe diseñar con los objetivos de facilitación de las operaciones de lucha contra incendios; y, además, de protección de bienes, o bien, de control de temperatura de los gases.
- c) Alternativamente a las letras a) y b), se podrá justificar el diseño en base a otros objetivos si la casuística concreta lo requiere.

El estudio prestacional debe definir de forma clara el objetivo del SCTEH: ayuda a la evacuación, ayuda a la intervención o protección de los bienes. Su objetivo y la compatibilidad con otros sistemas de protección contra incendios determinarán la estrategia de accionamiento más adecuada. La UNE 23585:2004 no define criterios de análisis cuando su objetivo no es la mejora de las condiciones de evacuación. En esos casos, el proyectista debe definir los criterios de análisis adecuados al objetivo del sistema.

El objetivo del sistema debe ser coherente con la estrategia general de protección contra incendios. Por ejemplo, no se puede indicar que el objetivo del SCTEH es garantizar la evacuación si se prevé una activación manual del sistema por parte de los bomberos, ya que en ese caso la apertura de los exutorios se va a producir cuando el sector ya ha sido evacuado. Asimismo, si su objetivo es la mejora de las condiciones de intervención y el sistema va a ser accionado de forma manual por los bomberos, deberá tenerse en cuenta que el sistema no tendrá ningún efecto en la mejora de la seguridad de los ocupantes en caso de plantearse recorridos de evacuación superiores a los reglamentarios.

Los métodos de cálculo para justificar el diseño del SCTEH suelen ser herramientas de simulación del incendio, como las utilizadas para evaluar las condiciones ambientales para la evacuación.

9.3.1 Consideraciones para el análisis de SCTEH

Los sistemas de extinción automática:

Por lo general, los SCTEH en establecimientos industriales se diseñan con el objetivo de ayudar a la intervención y no con el de garantizar la evacuación. Es razonable asumir que los bomberos intervendrán en el interior de edificios en los que haya funcionado correctamente el sistema de extinción automático.

Superficies aerodinámicas:

En los cálculos o simulaciones del incendio se deben considerar las dimensiones aerodinámicas (o útil) de los elementos que componen un SCTEH, tanto de los huecos de extracción como en los de aporte de aire limpio. En el caso de utilizar puertas de evacuación o portones como aporte de aire, su superficie útil debería tener en cuenta los eventuales bloqueos por la presencia de personas, maquinaria o vehículos.



Aporte de aire por muelles de carga:

En caso de utilizar los muelles de carga como aporte de aire, debería garantizarse en todo momento su apertura y superficie útil, libre de obstáculos. Deberían realizarse las hipótesis de bloqueo pertinentes, las cuales tendrían que ser confirmadas por el titular de la actividad, pues deben ser compatibles con el desarrollo de la misma.

Cuando los muelles de carga formen parte del sistema de control de humos de los establecimientos, el titular del establecimiento debe tener un plan de emergencias que incluya las medidas necesarias para informar correctamente a los trabajadores de que en los momentos en que no haya actividad los muelles deben quedar libres de obstáculos. En el plan deberá identificarse la persona (o el cargo) responsable de velar por el cumplimiento de este requisito. Asimismo, debe incluir:

- Horario diurno: Se implementarán medidas de gestión para que los camioneros estén localizados en todo momento.
- Horario nocturno: No se dejará ningún camión aparcado por la noche en los muelles necesarios para la correcta admisión de aire en caso de activación del sistema de control de temperatura y evacuación de humos.

Implementando dichas medidas en el sistema de gestión de emergencia del establecimiento, se entiende adecuado considerar en las simulaciones de los distintos escenarios de incendio que la mitad de los muelles de carga se encuentran cerrados.

Modos de activación:

Cuando el estudio asuma la hipótesis de apertura manual por bomberos, deberían establecerse hipótesis de tiempos de apertura coherentes con los tiempos reales de llegada al establecimiento y comienzo de la intervención.

Cuando el sistema tenga un sistema de activación automática, este podrá ir asociado a la detección de incendios o a la activación del sistema de rociadores. Cuando el objetivo del SCTEH sea garantizar la evacuación, no se permitirá retardo alguno. Cuando el objetivo sea el de ayuda a la intervención, podrá definirse un retardo determinado.

9.4 EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE EXTINCIÓN O DETECCIÓN

Cuando en un proyecto se justifique que no se puede diseñar el sistema de acuerdo a una norma recogida en el RIPCI, o proponga un diseño que no pueda cumplir la totalidad de las prescripciones de esta norma, debe formar parte del enfoque prestacional. En tal caso, para la justificación de los diseños alternativos se ha de recurrir a normas o guías de reconocido prestigio.

Para los sistemas de rociadores automáticos, es habitual recurrir a normativa NFPA o guías FM, puesto que contemplan más casuísticas y alternativas de diseño que la UNE 12845:2004. Para sistemas de detección automática por aspiración instalados en edificios con una altura de más de 12 m, al no estar contemplados por la UNE 23007-14, es habitual recurrir al «Code of Practice for Design, Installation, Commissioning & Maintenance of Aspirating Smoke Detector (ASD) Systems» de la *Fire Industry Association* (FIA) o al «Código Práctico para el diseño, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de sistemas de detección de humo por aspiración (DHA)», redactado por Tecnifuego tomando como base el código FIA ya mencionado.

En cualquiera de los casos, la justificación (esté basada en cálculos, estudios o ensayos) pasa por demostrar que el diseño propuesto iguala o mejora la protección que podría garantizar un sistema que cumpliera con la reglamentación.

9.4.1 Consideraciones para un análisis de sistemas de extinción o detección

Utilización de herramientas de simulación:



El uso de herramientas de simulación del incendio (CFD) no se entiende como adecuado para demostrar el efecto de los rociadores en la combustión. La eficacia de los sistemas ante riesgos no cubiertos por las normas de diseño debería ser demostrada mediante ensayos representativos del riesgo a proteger.

Impacto en el programa de mantenimiento:

El diseño de sistemas mediante otras guías o normas puede implicar un programa de mantenimiento especial para cumplir sus requisitos. Este debe recogerse en el proyecto prestacional.

9.5 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS

El enfoque de los análisis de resistencia al fuego de las estructuras dependerá del objetivo de seguridad evaluado. Se pueden distinguir tres casos:

- La evacuación de los ocupantes: en la fase inicial de desarrollo del incendio;
- La intervención de los servicios de bomberos desde el interior del edificio: para que se pueda dar este caso y tengan acceso al interior, el incendio tendría que haber sido controlado por los sistemas de protección y no podría estar muy desarrollado;
- La intervención de los servicios de bomberos desde el exterior del edificio: cuando los medios de protección activa no han podido controlar el incendio y las condiciones ambientales en el interior no permiten el acceso o se estima que puede haber riesgo. Este caso implica un incendio desarrollado. Esta fase del incendio será la que permita igualmente evaluar el efecto sobre establecimientos cercanos.

Los escenarios de incendio se tendrán que definir de forma coherente con los objetivos de seguridad y la fase del incendio que le corresponda.

El método de cálculo seleccionado podrá ser simplificado (por ejemplo, mediante un cálculo de temperatura crítica) o avanzado, empleando una herramienta de simulación. En todos los casos, será necesario estudiar la evolución en función del tiempo de las acciones térmicas sobre cada uno de los elementos estructurales objeto de estudio (estructura del edificio o de entreplantas) y el efecto que estas producen en la estructura.

Las acciones térmicas pueden definirse tomando como base la temperatura de los gases calientes (en zonas no afectadas por la radiación), en base a la radiación térmica incidente, o utilizando la combinación de ambas. En caso de realizar el análisis utilizando los resultados de un modelo computacional de incendios, debería prestarse atención a que las hipótesis y consideraciones en ambas partes sean coherentes.

En caso de que el análisis de la resistencia al fuego sea para determinar su compatibilidad con la evacuación, el tiempo estimado de ruina debería ser superior al RSET. Podría haber colapso localizado en zonas próximas al foco del incendio, pero su colapso no debería provocar el colapso generalizado de la estructura. Además, habría que evitar que se produzca el colapso en zonas donde las condiciones ambientales aún hagan posible la presencia de personas.

En caso de que el análisis tenga como objetivo evaluar el efecto de un eventual colapso sobre los bomberos, propiedades cercanas o sectores de incendio críticos, será necesario inducir el colapso y estudiar cómo se produce a través de cálculos avanzados de estructuras.

Para que se garantice que la estructura no daña la compartimentación, la deformación de las estructuras como consecuencia del incendio debe ser compatible con los muros cercanos que separen sectores de incendio críticos o distintos establecimientos.

En caso de que haya establecimientos cercanos, la eventual ruina de la estructura debería producirse hacia el interior, para evitar invadir propiedades de terceros. En cualquier caso, las estructuras y los muros de fachada deberían estar diseñados para colapsar hacia el interior y así evitar daños a bomberos durante la intervención.



Todo análisis estructural debería abordar las siguientes etapas:

- Identificar y definir todos los elementos estructurales relevantes y sus uniones. Definir las herramientas e hipótesis de cálculo.
- Identificar y definir los cerramientos de fachada y de sectorización y sus tipos de unión con la estructura del edificio a los que afecte la estructura que se está evaluando.
- Definir las acciones térmicas sobre los elementos estructurales para cada escenario analizado.
- Definir y justificar las diferentes posiciones de inicio de fuego estudiadas. Casos críticos: junto a pilar, en centro de vano de viga y de vigueta.
- Detallar las acciones sobre la estructura: peso propio, sobrecargas de uso y cargas de nieve y viento. Se han de considerar las combinaciones de cargas en situación accidental de incendio según el código empleado (Documento Básico SE-AE del CTE, Eurocódigos o Código Estructural).
- Realizar cálculos del calentamiento que las acciones térmicas del incendio producen en los elementos estructurales. Es importante tener en cuenta la variación que la temperatura produce en los valores de las propiedades térmicas de los materiales (calor específico, conductividad y densidad).
- Evaluar el cumplimiento de los objetivos mediante métodos simplificados o avanzados de cálculo termo-mecánico. Si es necesario evaluar el modo de ruina de la estructura, será necesario recurrir al cálculo avanzado según Eurocódigos. Los resultados de los cálculos deberían incluir imágenes y gráficas con la evolución en función del tiempo de las deformaciones. En caso de que se produzca colapso, el tiempo en el que este se produce y si este es hacia el interior o el exterior. En función del objetivo de seguridad, habrá que analizar la compatibilidad de los resultados con la evacuación, la intervención, la sectorización y el daño a propiedades cercanas.

9.5.1 Consideraciones para el análisis estructural

Los sistemas de extinción automática:

Para obtener información sobre el posible efecto de un colapso sobre los servicios de bomberos en el exterior o sobre establecimientos cercanos, no se debería tener en cuenta el efecto de los sistemas de extinción, para que así se puedan dar las condiciones de una combustión generalizada y se pueda inducir el colapso.

Daños a elementos compartimentadores:

Los daños a muros y otros elementos compartimentadores pueden evaluarse en base a las deformaciones generadas por los elementos estructurales y los esfuerzos inducidos a los muros. Es necesario confirmar que la deformación inducida es compatible con la rigidez del muro.

Entreplantas ocupadas o pasos elevados:

En el caso de existir entreplantas o pasos elevados en un edificio de un establecimiento industrial, en el que concurran una o varias de las siguientes condiciones:

1. Exista un puesto de trabajo fijo;
2. No exista puesto fijo de trabajo y su ocupación es puntual, pero su densidad de ocupación sea mayor a 1 persona cada 5 m²;
3. Su superficie total supere los 50 m²;
4. Su colapso pueda ocasionar daños personales (por ejemplo, un puesto de trabajo bajo la entreplanta), comprometer la estabilidad global, la evacuación o la compartimentación,

se aplicarán los requisitos de resistencia al fuego de las estructuras portantes de los edificios. A estos efectos, la estructura portante a considerar son: los soportes de dichos pasos o entreplantas, sus suelos o forjados y escaleras de acceso. Asimismo, las escaleras de acceso deberán cumplir las condiciones establecidas para los recorridos de evacuación.

Como alternativa a la resistencia al fuego requerida en el párrafo anterior, se podrá optar por no justificar la resistencia al fuego de la estructura portante de la entreplanta o paso elevado, si se cumplen simultáneamente los siguientes requisitos:



1. Edificio de tipo A, si dicha entreplanta o paso elevado es independiente a la estructura del edificio, o en cualquier caso en edificio tipo B o C.
2. El sector de incendio en el que se sitúa la entreplanta o paso elevado, dispone de un sistema fijo de extinción automática (el cual debe proteger todos los niveles y debe ser eficaz para lograr la refrigeración de la estructura)
3. El sector de incendio en el que se sitúa la entreplanta o paso elevado dispone de un SCTEH.

La adopción de estas medidas será aplicable únicamente en las entreplantas o pasos elevados, cuya configuración permita una rápida disipación del calor y humo y el correcto funcionamiento de los sistemas de extinción. Además, la longitud de los recorridos de evacuación con origen en dichas zonas no debe superar:

Nivel de riesgo intrínseco	Una salida	Dos o más salidas alternativas	
	Distancia a la salida	Distancia del recorrido sin alternativa	Distancia a la salida más próxima
Riesgo bajo	50 m	50 m	65 m
Riesgo medio	35 m	35 m	50 m
Riesgo alto	20 m	20 m	35 m

A tener en cuenta

Los establecimientos industriales pueden ser grandes volúmenes con alturas superiores a los 13 m. En estos volúmenes, el tiempo durante el cual las condiciones ambientales producidas por el incendio son aceptables para la presencia de ocupantes o bomberos pueden ser relativamente largos, a veces superiores a 15 minutos. No obstante, junto al foco del incendio pueden generarse acciones térmicas importantes sobre determinados elementos estructurales de baja resistencia al fuego, como son elementos de acero no protegidos. En estos casos, es importante analizar el efecto que el fallo de elementos aislados produce sobre el resto. Por otro lado, hay que tener en cuenta que puntualmente (y sobre todo en las fases iniciales) los incendios considerados en el análisis prestacional pueden generar acciones térmicas más severas que las de la curva ISO 834, que son las utilizadas para la clasificación de Euroclases «R», de las prescripciones.

Un análisis estructural mediante temperatura crítica se considera suficiente siempre y cuando los elementos no alcanzan su temperatura crítica, o lo hacen pasado un tiempo tras el cual ya no es necesario evaluar el objetivo de seguridad.

Mediante un análisis de temperatura crítica no es posible determinar el impacto que supone el fallo de un elemento en la estabilidad global o local de la estructura. Por eso, cuando en un análisis estructural simplificado se supera el criterio de la temperatura crítica, será necesario recurrir a otro método o herramienta avanzado que permita evaluar este fallo, como son los programas de cálculo termo-mecánico basados en elementos finitos.

En determinados casos, puede justificarse el colapso localizado, en zonas próximas al foco del incendio. Este colapso localizado no puede afectar a zonas no calientes, que puedan estar aún ocupadas porque las condiciones ambientales lo permitan. Este colapso localizado, en caso de existir, nunca debe arrastrar de forma inmediata al resto de la estructura de zonas no afectadas aun por el incendio de forma que se produzca un colapso generalizado repentino mientras dure la evacuación o intervención.



Para el estudio del modo de ruina, es fundamental evaluar la respuesta de los elementos estructurales de una manera global, teniendo en cuenta las interacciones entre los diferentes componentes de la estructura sometidos a los efectos térmicos del incendio (dilataciones, curvaturas, pérdida de rigidez, etc.).

9.6 EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL INCENDIO EN EL EXTERIOR

Cuando haya otros establecimientos cercanos o zonas de riesgo en el exterior y se supere el tamaño del sector de incendios, será necesario evaluar el efecto del incendio en el exterior del sector o establecimiento.

En un incendio plenamente desarrollado, la radiación térmica es el factor más determinante para evaluar las condiciones de propagación. Mediante un estudio de radiación es posible verificar si las disposiciones constructivas y de presencia de combustible previstas en el proyecto permiten evitar los efectos dominó hacia las zonas críticas exteriores.

Cuando en el proyecto se supera el tamaño máximo del sector de incendios, estos estudios permiten comparar el efecto producido por un incendio generalizado en un establecimiento que cumple la reglamentación y el producido por el establecimiento que se desea proyectar.

Las herramientas de cálculo permiten tomar decisiones sobre distancias de seguridad a respetar o sobre la necesidad de construcción de pantallas para reducir el riesgo de propagación. En algunos casos es posible que se tenga que limitar la configuración de almacenamiento de determinados combustibles.

10 CONCLUSIONES GENERALES DE UN PROYECTO PRESTACIONAL

Las conclusiones generales deben resumir el resultado del análisis del cumplimiento de los objetivos de seguridad. Si se cumplen los mismos objetivos de seguridad que si se siguen las prescripciones se puede certificar que el nivel de seguridad alcanzado es equivalente.

En caso necesario, se debería indicar claramente el límite de validez de las conclusiones. El límite quedará marcado por la validez de las hipótesis y datos de partida de los diferentes estudios prestacionales realizados, de su traslado al proyecto, de la correcta implantación de la estrategia de protección contra incendios y de su mantenimiento en el tiempo por parte del responsable del establecimiento.

Por otra parte, si los resultados de los estudios prestacionales arrojan la necesidad de recomendaciones de mejora, será necesario que queden recogidas en el proyecto y deberían ser adoptadas por el titular del establecimiento.

En caso de que los resultados de los estudios prestacionales no consigan demostrar el cumplimiento de los objetivos de seguridad, será necesario replantear la estrategia de protección y repetir todo el proceso de análisis.

Una vez comprobado el cumplimiento de los objetivos de seguridad, todas las fases de la metodología del diseño prestacional, así como los resultados, las conclusiones, las recomendaciones y las limitaciones de validez deben quedar recogidos en un informe prestacional anexo a la memoria del proyecto de incendios.

11 REVISIÓN POR TERCERA PARTE

En la Comunidad de Madrid se considera necesario la presentación de un informe de un organismo de control acreditado para la evaluación de proyectos prestacionales de instalaciones de protección contra incendios, en el que se certifique que la seguridad del diseño propuesto es igual o superior a la que se conseguiría con el cumplimiento de los requisitos establecidos en el RSCIEI.



El organismo de control debe evaluar la seguridad integral del establecimiento por lo que deberá analizar el proyecto prestacional incluyendo todos los documentos justificativos asociados al mismo.

12 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

12.1 DOCUMENTOS REGLAMENTARIOS Y NORMAS

- [1] Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI), aprobado por Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre.
- [2] Guía técnica de aplicación: Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales, revisión 2, febrero 2019
- [3] Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RIPCI), aprobado por Real Decreto 513/2017, del 22 de mayo.
- [4] UNE-EN 1363-2:2000. Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales
- [5] UNE-ISO 23932: 2017: Ingeniería de seguridad contra incendios. Principios generales
- [6] ISO-TR 16738: 2009: FSE Behaviour & Movement People
- [7] ISO 23932-1:2018. Fire safety engineering - General principles - Part 1: General
- [8] UNE EN 1990 Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras
- [9] UNE EN 1991-1-2. Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte 1-2 Acciones en estructuras expuestas al fuego
- [10] UNE EN 1992-1-2. Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-2 Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego
- [11] UNE EN 1993-1-2. Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2 Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego
- [12] UNE EN 1994-1-2. Eurocódigo 4. Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 1-2 Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego
- [13] UNE EN 1995-1-2. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2 Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego
- [14] UNE EN 1996-1-2. Eurocódigo 6. Proyecto de estructuras de fábrica. Parte 1-2 Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego
- [15] UNE ISO 16730-1:2017. Ingeniería de seguridad contra incendios. Procedimientos y requisitos para la verificación y la validación de métodos de cálculo. Parte 1: Generalidades
- [16] Documento Básico SE-AE: Seguridad estructural del CTE: Acciones en la edificación, abril 2009.
- [17] Código Estructural aprobado por Real Decreto 470/2021, de 29 de junio.
- [18] SS-INSTA 952: 2019 - Fire safety engineering- Review and control in the building process
- [19] UNE 23585:2017 Seguridad contra incendios. Sistemas de control de humo y calor. Requisitos y métodos de cálculo y diseño para proyectar un sistema de control de temperatura y de evacuación de humos (SCTEH) en caso de incendio estacionario

12.2 OTROS DOCUMENTOS

- [20] SFPE Engineering Guide to Performance - Based Fire Protection
- [21] Documentation Fire Dynamics Simulator (version 6.7.3 – NIST):
- [22] User's Guide. K. B. McGrattan, McDermott, S. Hostikka, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt (August 24, 2016)
- [23] Technical Reference Guide – Volume 1: Mathematical Model. K. B. McGrattan, McDermott, S. Hostikka, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt
- [24] FLUMilog - Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt – Partie A - Rapport final 04/08/2011 DRA-09-90977-14553A Version 2
- [25] Protocoles d'essais de caractérisation de l'incendie d'une palette. DRA-13-133881-07549A de marzo de 2014, INERIS.
- [26] SFPE guidelines for peer review in the fire protection design process
- [27] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition



- [28] PD 7974-6:2019 The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings —Part 6: Human factors: Life safety strategies — Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)
- [29] Guía de diseño prestacional (PBD) para los sistemas de protección contra incendios en naves industriales elaborada por el Clúster de Seguretat Contra Incendis de Barcelona
- [30] CTICM – Arrêté du 05/08/2002 – Guide de vérification des entrepôts en structure métallique en situation d’incendie – Ind. F. 07/06/2006



13 ANEXOS

ANEXO A: SIMULACIÓN DEL INCENDIO CON FDS

El programa FDS (*Fire Dynamics Simulator*) ha sido desarrollado por el NIST (*National Institute of Standards and Technology*). Es un modelo computacional de dinámica de fluidos que resuelve una forma de las ecuaciones de Navier-Stokes apropiadas para flujos de baja velocidad, con énfasis en el transporte de humo y calor del incendio. Este programa de cálculo permite analizar, en función del tiempo y en todos los puntos de la geometría modelizada, las condiciones ambientales producidas por el incendio en términos de temperatura, flujo térmico, toxicidad y visibilidad. Muchos resultados de simulaciones del FDS han sido confrontados con ensayos de fuego a escala real, realizados por diversos laboratorios de fuego e institutos de investigación.

En este anexo se resumen algunos puntos críticos a tener en cuenta cuando se utiliza esta herramienta de simulación.

A.1 GEOMETRIA SIMULADA

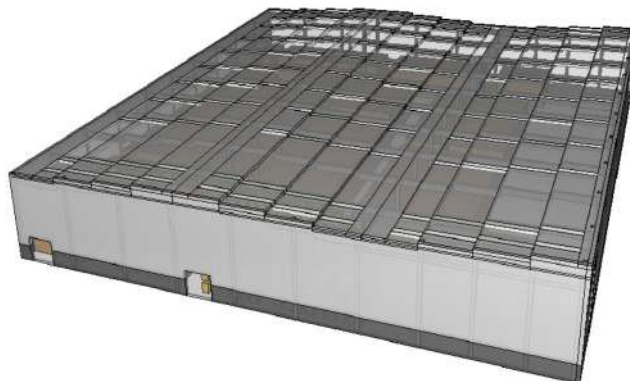
La geometría del modelo debe adaptarse lo más posible a la realidad. Se deben describir y presentar imágenes de la geometría simulada y el mallado del volumen. En el caso del FDS, el mallado es cartesiano, por lo que el programa no permite generar geometrías curvas ni diagonales. El tamaño de las celdas se debe fijar de forma que se puedan representar de la forma más fiel posible los fenómenos físicos.

El mallado seleccionado en la zona del foco (lugar donde ocurren los fenómenos más importantes) debe demostrar ser el adecuado. En ausencia de una justificación específica, se puede comprobar la relación entre el diámetro característico que representa el efecto combinado del diámetro efectivo del incendio y su potencia (D^*) y el tamaño de la celda (Δ), tal y como recomienda la Guía de Usuario del FDS en su capítulo 6.3.6.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{3/4}$$

Tamaños de celda en una relación $D^*/5 > \Delta > D^*/20$ (recomendada $D^*/4 > \Delta > D^*/16^3$) se consideran aceptables.

En caso de realizarse un diseño con varias mallas de cálculo, estas deben encontrarse alineadas. Preferiblemente, el tamaño de las celdas ha de ser el mismo o, en su defecto, seguir una relación 1:2, 1:4, etc. En ningún caso las celdas de distintas mallas han de quedar solapadas.



³ Sensitivity analysis (Hill et al., 2007), sponsored by the U.S. Nuclear Regulatory Commission

Figura A.1-1: Ejemplo de cubierta a dos aguas resuelta con geometría escalonada debido al mallado cartesiano

A.2 EL SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS

Se debe tener en cuenta el sistema de control de humos del proyecto y su estrategia de activación. Se deben incluir imágenes que muestren sus elementos y posición.

Los huecos de extracción y los de aporte de aire deben considerar la superficie aerodinámica.

Para estar del lado de la seguridad y que el incendio no se vea limitado por falta de aporte de aire, así como para equilibrar la presión en el volumen simulado, es posible simular huecos de aporte de aire ficticios que no tengan relación con el sistema de control de humos. En la realidad, un edificio industrial no es totalmente estanco y estos huecos del modelo pueden permitir tener en cuenta la permeabilidad real del edificio.

A.3 EL SISTEMA DE ROCIADORES

Los rociadores automáticos de ampolla cuentan con un retardo en su activación. Esto se refleja mediante el factor RTI (Índice de Tiempo de Respuesta). Este factor varía en función de la sensibilidad térmica de la ampolla y permite cuantificar la rapidez con la que se activará el rociador. Para rociadores normales, el RTI suele comprender los valores entre 80 y 350 (metros·segundo)^{1/2}. Para los rociadores de respuesta rápida (fast response, entre los que se encuentran los de tipo ESFR) el RTI va desde 0 a 50 (metros·segundo)^{1/2}. Para estar del lado de la seguridad y salvo que se pueda demostrar lo contrario, se recomiendan valores de RTI = 350 (metros·segundo)^{1/2} para rociadores convencionales y RTI = 50 para rociadores de respuesta rápida.

Cuando se estima el tiempo de activación el rociador mediante simulación del incendio con FDS, no se considera válido suponer la activación por la temperatura que tengan los humos salvo que se esté teniendo en cuenta el retardo por la sensibilidad térmica de las ampollas.

La activación del sistema de rociadores puede utilizarse para detener el crecimiento de la curva de tasa de emisión de calor, de forma que se represente el control del incendio, no su extinción.

En caso de querer reproducir una reducción de la combustión por el efecto de los rociadores es necesario obtener el modelo empírico de la reducción de la combustión por el efecto del agua. Para ello será necesario introducir de forma manual un coeficiente (*parámetro E_COEFFICIENT m²/(kg s)*), que debe ser obtenido de forma experimental. Esto requiere la realización de una campaña de ensayos de fuego del combustible junto con el sistema de rociadores y un análisis profundo de los resultados, por lo que no es habitual que los proyectos prestacionales de establecimientos industriales recurran a este tipo de simulaciones.

A.4 EL SISTEMA DE DETECCION

FDS contempla varias tecnologías de detección (óptica, térmica, por aspiración...). El sistema de detección se puede simular si se considera que se tienen los suficientes datos del proyecto (tipo de detector, espaciamento, altura de instalación, sensibilidad de respuesta, velocidades de transporte de humos, etc.). Los resultados, tomando las hipótesis adecuadas, pueden utilizarse a la hora de determinar los tiempos de detección del RSET.

A.5 COMBUSTIBLES

Los combustibles considerados en las simulaciones se introducen por medio de las reacciones de combustión. Es importante que estas reacciones se ajusten y representen de forma conservadora la realidad. FDS permite el empleo de reacciones simples o complejas, con especies básicas o compuestas. Por lo general, se acepta el empleo de reacciones simples. Estas se definen en el programa en términos de: fórmula química de combustión (C_xH_yO_zN_v); fracciones molares de los subproductos de la combustión (tasa de hollín; tasa de producción de CO); y calor de combustión. La fracción molar de hollín es de especial importancia en el análisis de las condiciones de evacuación, dado que tiene un efecto directo en la cantidad y opacidad de humo producido y en la pérdida de condiciones de visibilidad.



Se considera conservador estimar como principal material combustible en el incendio la espuma de poliuretano, puesto que presenta peores prestaciones que la mayoría de productos presentes en las industrias. En caso de utilizar materiales más favorables, se deberá justificar que el combustible empleado en la simulación es igual o más desfavorable que el conjunto de materiales que puedan estar involucrados en un incendio en el establecimiento. Los datos fisicoquímicos del poliuretano, obtenidos del «SFPE Handbook of Fire Protection Engineering» son los siguientes:

Material	Espuma de poliuretano «GM37»
Formulación	CH _{1,2} O _{0,2} N _{0,08}
Entalpía de combustión ΔH _T (KJ/g)	28
Producción de CO (g/g)	0,024
Producción de CO ₂ (g/g)	1,63
Producción de hollín (g/g)	0,113

A.6 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Se deben indicar las propiedades térmicas de los materiales empleados en el modelo del establecimiento y sus valores en función de la temperatura (calor específico, conductividad, densidad, etc.). Los materiales pueden afectar en menor o mayor medida a las temperaturas registradas y al movimiento de los humos.

Aunque el empleo de materiales de tipo «Inerte» en el análisis de las condiciones de evacuación puede arrojar resultados conservadores por enfriar de forma constante los humos del incendio y, en consecuencia, desestratificar la capa de humos, se recomienda dar prioridad al empleo de las propiedades reales de los materiales siempre que sea posible.

A.7 MEDICION DEL CRITERIO DE VISIBILIDAD

Para evaluar las condiciones de visibilidad, se deben utilizar los criterios definidos en el capítulo 5.2.1.

La visibilidad en caso de incendio está directamente relacionada con el humo producido por los combustibles y por el tipo de señales utilizadas en las vías de evacuación. FDS utiliza el coeficiente de extinción de la luz, K para evaluar la visibilidad. La intensidad de la luz monocromática que pasa una distancia L a través del humo se atenúa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I/I_0 = e^{-KL}$$

El coeficiente de extinción de luz, K, es el producto de la densidad de las partículas de humo y del coeficiente de extinción másico, que dependen del combustible utilizado (K_m). El valor por defecto de K_m es 8700 m²/kg, un valor sugerido para combustión con llama de madera y plásticos

Para convertir el parámetro K en visibilidad (S) a través del humo se usa la ecuación:

$$S = C/K$$

donde C es una constante adimensional característica del tipo de objeto que se ve a través del humo. C es igual a 8 para una señal retroiluminada e igual a 3 para una señal reflectante. El valor por defecto de C en FDS es 3.

Los parámetros utilizados en el análisis de la visibilidad deben ser coherentes con los combustibles y los medios de señalización del proyecto.



ANEXO B: INCUMPLIMIENTOS MÁS COMUNES Y MEDIDAS ADICIONALES DE PROTECCIÓN QUE SE CONSIDERAN ADECUADAS PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD EQUIVALENTE DEL ESTABLECIMIENTO/SECTOR

INCUMPLIMIENTO DISEÑO PRESTACIONAL	EXIGENCIAS PARA CUMPLIR OBJETIVOS	CRITERIOS DE EFICACIA	MEDIDAS ADICIONALES DE SEGURIDAD QUE PODRÍAN AYUDAR AL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS
TAMAÑO DEL SECTOR	El efecto del incendio en el exterior es equivalente al que se produciría con un incendio en un sector con la máxima superficie exigida reglamentariamente.	En las zonas de las fachadas que se encuentren a menos de 10 m de un establecimiento vecino, la radiación en el exterior del establecimiento es inferior a la requerida para provocar incendios secundarios (habitualmente se toma como referencia 10 kW/m ²).	<p>Mejorar la resistencia al fuego del elemento compartimentador con un establecimiento vecino¹.</p> <p>Mejorar la estabilidad al fuego de la estructura del sector.</p> <p>Mejorar la resistencia al fuego de la fachada que se encuentre a menos de 10 metros de un establecimiento vecino.</p>
	Permitir la intervención desde el interior (si la estructura tiene una R mínima).	A 1,8 m del suelo, durante $t^2_{intervención}$: $T_{ambiente} < 100 \text{ °C}$ Visibilidad > 10 m Radiación < 3 kW/m ²	



INCUMPLIMIENTO DISEÑO PRESTACIONAL	EXIGENCIAS PARA CUMPLIR OBJETIVOS	CRITERIOS DE EFICACIA	MEDIDAS ADICIONALES DE SEGURIDAD QUE PODRÍAN AYUDAR AL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS
DISTANCIAS DE EVACUACIÓN	ASET > RSET	A 2 m del suelo, durante RSET: $T_{\text{ambiente}} < 60 \text{ }^\circ\text{C}$ Visibilidad > 10 m Radiación < 2,5 kW/m ² [CO] < 150 ppm	Mejorar la iluminación de los recorridos de evacuación: <ul style="list-style-type: none"> - Iluminación LED de recorridos. - Iluminación LED de salidas. Instalar un sistema de detección de sensibilidad elevada (ej: Sistema de detección por aspiración clase A o B). Implantar un sistema de gestión de la emergencias que incluya formación de los trabajadores y la realización de simulacros regulares.
	Permitir la intervención desde el interior	A 1,8 m del suelo, durante $t^2_{\text{intervención}}$: $T_{\text{ambiente}} < 100 \text{ }^\circ\text{C}$ Visibilidad > 10 m Radiación < 3 kW/m ²	
ESTABILIDAD AL FUEGO DE LA ESTRUCTURA	Estabilidad compatible con la evacuación.	Estabilidad > RSET	Aumentar la reserva de agua para incrementar el tiempo de funcionamiento de los rociadores. Instalar rociadores de respuesta rápida y gran caudal. Mejorar la evacuación de humos ³ . Mejorar la señalización de las rutas de evacuación.
	Evitar daños a terceros. Evitar daños a medianeras y sectorización.	$T_{\text{crítica elementos}} > T_{\text{elementos (RSET)}}$ Tiempo de estabilidad ante incendio equivalente al R exigido. Modo de colapso que no afecte a establecimientos vecinos.	
	Permitir la intervención desde el interior.	Tiempo de estabilidad ante incendio equivalente al R exigido.	
		Durante $t^2_{\text{intervención}}$: Deformación de estructura compatible con compartimentación. Ausencia de colapso generalizado.	



INCUMPLIMIENTO DISEÑO PRESTACIONAL	EXIGENCIAS PARA CUMPLIR OBJETIVOS	CRITERIOS DE EFICACIA	MEDIDAS ADICIONALES DE SEGURIDAD QUE PODRÍAN AYUDAR AL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS
DISEÑO ALTERNATIVO SCTEH	Diseño y estrategia compatibles con evacuación segura.	A 2 m del suelo, durante RSET: $T_{\text{ambiente}} < 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Visibilidad > 10 m Radiación < 2,5 kW/m ² [CO] < 150 ppm	
	Mejorar las condiciones de intervención.	A 1,8 m del suelo, durante $t_{\text{intervención}}^2$: $T_{\text{ambiente}} < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Visibilidad > 10 m Flujo térmico < 3 kW/m ²	

NOTAS:

¹ En caso de implementar una medida de este tipo, cuando una medianería entre dos establecimientos acometa a una fachada, no se considera adecuado repartir la franja de un metro, prevista en el punto 5.3 del anexo II del RSCIEI, a ambos lados de la medianería, es decir, situar a cada lado de las medianeras una parte del total del metro de franja con la resistencia al fuego requerida este caso, sino que se entiende necesario dejar la totalidad de la anchura de la franja (un metro) en el lado donde se sitúe el establecimiento que haya solicitado el aumento del tamaño de alguno de sus sectores. En caso de que los dos establecimientos que compartan medianería hayan solicitado el aumento del tamaño de alguno de sus sectores, dicha franja de un metro debería colocarse en cada uno de los lados de la misma (en total, dos franjas de un metro). Cuando el elemento constructivo acometa en un quiebro de la fachada y el ángulo formado por los dos planos exteriores de aquella sea menor que 135°, la anchura de cada una de las franjas antes citadas debería ser, como mínimo, de 2 m.

De forma similar, cuando una medianería entre dos establecimientos acometa a la cubierta, no se considera adecuado repartir la franja de un metro, prevista en el punto 5.4. del anexo II del RSCIEI, a ambos lados de la medianería, es decir, situar a cada lado de las medianeras al menos de 0,5 m de franja con la resistencia al fuego requerida este caso, sino que se entiende necesario dejar una franja de un metro en el lado donde se sitúe el establecimiento que haya solicitado el aumento del tamaño de alguno de sus sectores. En caso de que los dos establecimientos que compartan medianería hayan solicitado el aumento del tamaño de alguno de sus sectores, dicha franja de un metro debería colocarse en cada uno de los lados de la misma (en total, dos franjas de un metro). Únicamente se entiende adecuado repartir la franja de un metro a ambos lados de la medianería (0,5 m a cada lado) cuando la franja necesaria se materialice mediante el uso de las alas de las vigas que formen parte de la estructura del edificio y que no puedan retirarse del mismo sin alterar totalmente dicha estructura.

² $t_{\text{intervención}} = 60 \text{ min}$ (para más información, ver apartado 9.2).

³ En caso de que la estructura que no pueda cumplir la estabilidad al fuego requerida reglamentariamente sea una entreplanta, para entender que su configuración permite una rápida disipación del calor y humo, deberá garantizarse, como mínimo, que dicha entreplanta cumple la definición de piso de entresuelo abierto establecida en el apartado 3.1.58 de la UNE 23845:2004.





Dirección General de Promoción
Económica e Industrial
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,
HACIENDA Y EMPLEO