

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Química

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA EL ESTUDIO DEL EFECTO DOMINÓ CON DARDOS DE FUEGO



ANEXO C: NORMATIVA DE SEGURIDAD

Autor: Sergio Marín Peral

Director: Elsa Pastor Ferrer

Convocatoria: Enero 2019

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	REAL DECRETO 656/2017: RAPQ	6
3.	REAL DECRETO 1085/1992	7
4.	REAL DECRETO 2267/2004: RSCIEI	8
5.	DOCUMENTO BÁSICO – SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO	12
6.	RESOLUCIÓN DEL RIESGO DE ALMACENAMIENTO	14
7.	BIBLIOGRAFÍA	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Plano de la 5º planta del edificio I de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE). Proporcionado por la Universidad Politécnica de Cataluña	5
Figura 4.1.	Establecimiento industrial ubicados en un edificio de tipo A. Fuente: BOE, 2004	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.	Características y actividades de los establecimientos	10
Tabla 5.1.	Dimensionado de los elementos de evacuación	13

1. Introducción

Este anexo tiene la finalidad de comprobar la seguridad existente y detallar las prevenciones a seguir de la planta del edificio (Figura 1), donde se ubica el almacenamiento de propano dentro del laboratorio I5.1 (zona experimental), mediante la normativa vigente.

A efecto de realizar un correcto análisis, la zona experimental se considera como un almacén de productos químicos destinado a almacenar una botella de propano (recipiente a presión móvil). A nivel práctico es posible realizar esta comparación cuando no existe ningún ensayo en la zona experimental.

Este tipo de establecimiento no puede ser considerado totalmente industrial o docente, poseyendo pues una clasificación entre ambas. Por este motivo el estudio de la seguridad del establecimiento se lleva a cabo en primer lugar haciendo uso del Real Decreto 656/2017: «Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10» (RAPQ), el cual posee un ámbito de aplicación general al almacenaje de productos químicos.

Como información complementaria, estipulada por el Real Decreto 656/2017, se utilizan el Real Decreto 2267/2004: «Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industrial» (RSCIEI) y Real Decreto 1085/1992: «Reglamento de la Actividad de Distribución de Gases Licuados del Petróleo». El RSCIEI posee un ámbito de aplicación para establecimientos industriales, pero es útil para el cálculo del nivel de riesgo del establecimiento.

En segundo lugar se hace uso del Código Técnico de la Edificación: «Documento Básico. Seguridad en caso de incendio» (DB-SI), el cual posee un ámbito de aplicación con carácter general excluyendo los edificios, establecimientos y zonas de uso industrial a los que sea de aplicación el RSCIEI.

No se dispone de información detallada para el adecuado análisis los elementos de prevención pasiva y activa. Debido a que el edificio se ha construido teniendo en cuenta los establecimientos para uso experimental y los grupos de investigación existentes, se considera que se adapta a la normativa de protección contra fuego de un nivel de riesgo intrínseco bajo.

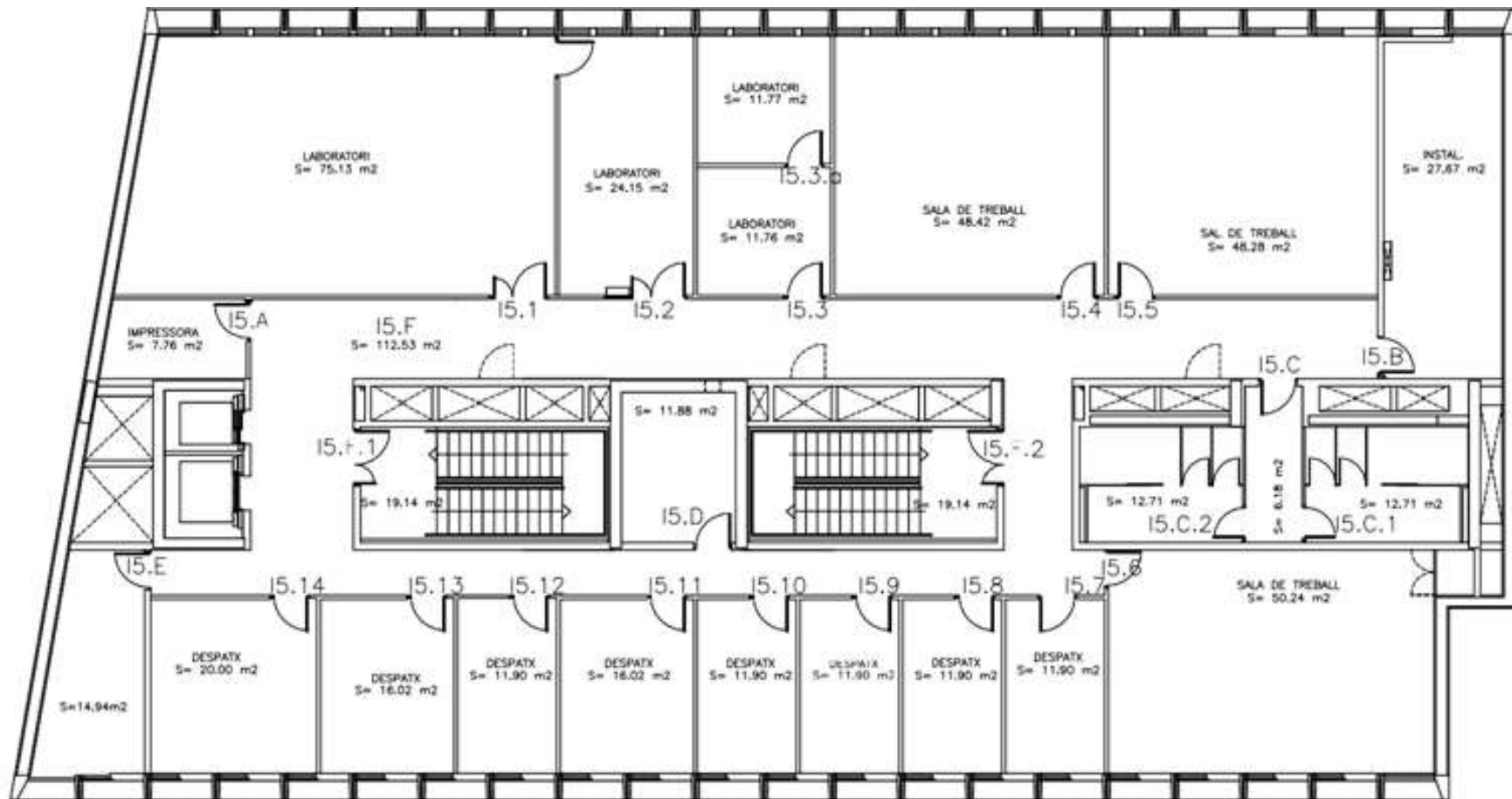


Figura 1.1. Plano de la 5ª planta del edificio I de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE). Proporcionado por la Universidad Politécnica de Cataluña

2. Real Decreto 656/2017: RAPQ

En este primer apartado se hace uso del apartado «Instrucción técnica complementaria MIE APQ-5 “Almacenamiento de gases en recipientes a presión móviles”» incluido en el RAPQ (BOE, 2017) para detallar la normativa a seguir y su correcta aplicación del almacenamiento de gases inflamables.

Para determinar la categoría del almacén se calcula el volumen normal (20°C y 1 atm) del propano. El propano posee una densidad de 2,095 kg/m³ en condiciones normales (Cepsa, 2001).

$$35 \text{ kg de gas propano} \cdot \frac{1 \text{ Nm}^3}{2,095 \text{ kg}} = 16,71 \text{ Nm}^3$$

El propano posee una indicación de peligro de gas inflamable (H220) y gas licuado (H280). Según la Tabla I (Artículo 3), en función de la indicación de peligro, la cantidad de almacenamiento es inferior a 50 Nm³ perteneciendo a un almacén de categoría 1.

El nivel de riesgo es bajo para el almacenamiento de gas inflamable en un almacén de categoría 1 según la Tabla II (Artículo 5.4). El emplazamiento del almacén cumple los requisitos de ubicación y ventilación del Artículo 5.1 y 5.2 al estar en la 5ª planta y disponer de aberturas con comunicación directa al exterior. Los operarios de la instalación disponen de los procedimientos de operación por escrito (Apartado 4.3.1 de este documento) cumpliendo el Artículo 5.6.

Es necesario cumplir con las exigencias para la categoría 1 de almacenamiento según las Tablas III y VI del Artículo 6:

- El área del almacenamiento puede albergar en su interior otra actividad distinta del almacenamiento de recipientes siempre que no afecte a la seguridad de los recipientes.
- Distancia de 6 metros entre recipientes de gases inflamables a otros gases o a cualquier foco de ignición o fuego abierto. Distancia de 3 metros entre recipientes de gases inflamables a gases inertes.

Según el Artículo 5.8 es necesario tomar medidas de protección pasivas indicadas en el Anexo II del RSCIEI y medidas complementarias, para las botellas destinadas a contener propano, indicadas en el Real Decreto 1085/1992.

3. Real Decreto 1085/1992

En este segundo apartado hace uso del «Reglamento de la Actividad de Distribución de Gases Licuados de Petróleo» (BOE, 1992) para detallar las obligaciones y responsabilidades de la distribuidora de GLP correspondientes a la protección contra el fuego del almacenamiento.

Según el Artículo 20 (Capítulo III) la empresa suministradora de GLP, antes de iniciar el suministro de gas, debe:

- «Comprobar que la instalación dispone de la documentación técnica establecida en las instrucciones y normas correspondientes, que le sea exigible en función de sus características específicas».
- «Efectuar las comprobaciones especificadas en el certificado de idoneidad de la instalación de gas que le correspondan, según las instrucciones técnicas correspondientes».

El Artículo 22 (Capítulo III) detalla que el titular del contrato de suministro debe:

- «Corresponder a los titulares del contrato de suministro, y en defecto de éste, a los usuarios, la obligación de mantener en perfecto estado de conservación las instalaciones receptoras de gases licuados de petróleo, usándolas adecuadamente y revisándolas periódicamente cada cinco años, utilizando para dicho fin los servicios de una empresa legalmente habilitada para ello, que expedirá certificación acreditativa de la revisión efectuada».
- El procedimiento de revisión regulado en los apartados precedentes será igualmente aplicable cuando se realicen en la instalación ampliaciones sustanciales y así se determine en las correspondientes normas técnicas.

4. Real Decreto 2267/2004: RSCIEI

En este tercer apartado se hace uso del Anexo I «Caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios» y del Anexo II «Requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco» del RSCIEI (BOE, 2004) para detallar el nivel de riesgo y la comprobación de algunas medidas de protección pasivas con la finalidad del cumplimiento del Artículo 5 apartado «Instrucción técnica complementaria MIE APQ-5» en el RAPQ.

Caracterización del establecimiento y su nivel de riesgo intrínseco

Dentro de la clasificación de los establecimientos industriales ubicados en un edificio, se considera que la zona experimental pertenece a un establecimiento de tipo A (Figura 4.2). Según el apartado 2.1 (Anexo I), este tipo de establecimiento se define como: «El establecimiento industrial ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial o de otros usos». La planta del edificio a estudiar dispone de establecimiento industrial (zona experimental) y establecimientos de otros usos (oficinas y laboratorios).

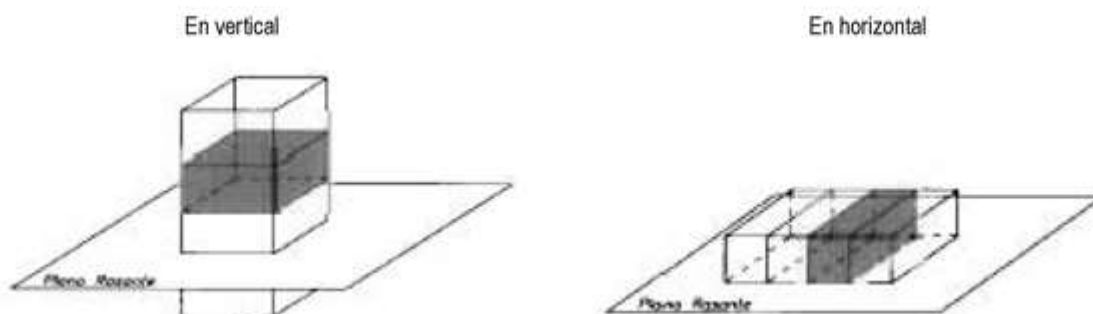


Figura 4.1. Establecimiento industrial ubicados en un edificio de tipo A. Fuente: BOE, 2004

El apartado 3.1 (Anexo I) define el «sector de incendio» del tipo A como: «El espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo que se establezca en cada caso». Aplicando esta definición cada laboratorio y los diferentes establecimientos que conforman la planta pueden tratarse como un sector de incendio al estar delimitados con puertas cortafuegos.

Debido al desconocimiento de las actividades y/o almacenamiento en los laboratorios que no pertenecen a la zona experimental se considera que la planta posee dos sectores de incendio: La zona experimental y los diferentes establecimientos que conforman la planta del edificio que no pertenecen a la zona experimental.

Con tal de cuantificar el nivel de riesgo intrínseco de la planta y cada sector de incendio se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i G_i q_i C_i}{A} Ra \quad (4.1)$$

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{si} S_i C_i}{A} Ra \quad (4.2)$$

Donde,

- Q_s es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio (MJ/m²).
- G_i es la masa de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector o área de incendio (incluido los materiales constructivos combustibles) (kg).
- q_i es el poder calorífico de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.
- q_{si} es la densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferentes según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (MJ/m²).
- S_i es la superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego diferente (m²).
- C_i es el coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.
- A es la superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio (m²).
- Ra es el coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, etc.

Para determinar el nivel de riesgo de la planta del edificio se tienen en cuenta las actividades del Real Decreto 2267/2004. Se aplica el siguiente criterio: La zona experimental almacena una botella de propano (actividad de almacenamiento «Producto químico combustible» con peligrosidad alta). Los diferentes establecimientos que conforman la planta del edificio son oficinas (actividad

«Oficinas técnicas» con peligrosidad baja) excepto los dos laboratorios (actividad «Laboratorio químico» con peligrosidad media).

La Tabla 4.1 muestra los valores escogidos para los criterios descritos.

Tabla 4.1. Características y actividades de los establecimientos

Actividad	G_i (kg)	q_i (MJ/kg) ^a	q_{si} (MJ/m ²) ^b	Ra ^b	C_i ^c	Superficie (m ²)
Almacenamiento de Propano	35	46	-	2	1,60	75,13
Laboratorios	-	-	500	1,5	1,30	47,68
Oficinas	-	-	600	1	1	258,48

^a Valores obtenidos de la tabla 1.4 del Real Decreto 2267/2004 (BOE, 2004)

^b Valores obtenidos de la tabla 1.2 del Real Decreto 2267/2004 (BOE, 2004)

^c Valores obtenidos de la tabla 1.1 para del Real Decreto 2267/2004 (BOE, 2004)

La planta del edificio posee una superficie de 946,57 m² sin tener en cuenta la superficie ocupada por las escaleras. Se aplica la Ecuación (4.1) para determinar la densidad de carga de fuego del almacenamiento de una botella de propano considerando el riesgo en toda la planta.

$$Q_{s,1} = \frac{\sum_1^i G_i q_i C_i}{A} Ra = \frac{35 \cdot 46 \cdot 1,6}{946,57} \cdot 2 = 5,44 \text{ MJ/m}^2$$

Para la actividad en los laboratorios y las oficinas se usa la Ecuación (4.2). La superficie ocupada por los laboratorios presenta menos de un 10% de la superficie de la planta, pese a ello se utiliza un valor de Ra igual a 1,5.

$$Q_{s,2} = \frac{\sum_1^i q_{vi} C_i h_i s_i}{A} Ra = \frac{(500 \cdot 1,3 \cdot 47,68 + 600 \cdot 1 \cdot 258,48)}{946,57} \cdot 1,5 = 294,88 \text{ MJ/m}^2$$

La densidad de carga de fuego en la planta del edificio es la suma de ambas densidades de carga de fuego:

$$Q_s = Q_{s,1} + Q_{s,2} = 5,44 + 294,88 = 300,32 \text{ MJ/m}^2$$

Por otra banda, si se considera el nivel de riesgo (haciendo uso de los datos expuestos en la Tabla 4.1) únicamente para la zona experimental:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i G_i q_i C_i}{A} Ra = \frac{35 \cdot 46 \cdot 1,6}{75,13} \cdot 2 = 68,58 \text{ MJ/m}^2$$

Es necesario comparar los resultados obtenidos con la Tabla 1.3 (Anexo I) con tal de conocer el

nivel de riesgo intrínseco de cada establecimiento. Los valores obtenidos en ambos casos son inferiores a 425 MJ/m^2 . Esto indica un nivel de riesgo bajo del tipo 1, correspondiendo al nivel de riesgo supuesto en el Apartado 1 de este ANEXO.

Requisitos constructivos para la protección pasiva del edificio

El Apartado A (Anexo II) dicta lo siguiente: «Tanto el planteamiento urbanístico como las condiciones de diseño y construcción de los edificios, en particular el entorno inmediato, sus accesos, sus huecos en la fachada, etc., deben posibilitar y facilitar la intervención de los servicios de extinción de incendios».

El edificio dispone de huecos de fachada que cumple las condiciones de fachada accesible: puertas de acceso y ventanas. Las ventanas facilitan el acceso cumpliendo las dimensiones mínimas horizontal y vertical, además de la longitud de alféizar necesario, ni elementos que impidan o dificulten la accesibilidad. Los vehículos de los servicios de extinción poseen dos entradas al recinto posibilitando su asentamiento para acceder por fachadas mediante las escalas.

Según las definiciones y los cálculos realizados en el apartado anterior el edificio a analizar es un establecimiento de tipo A con un nivel de riesgo bajo tipo 1. Aplicando esta categoría en la Tabla 2.1 (Anexo II) se admite una máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio igual a 2000 m^2 . Sin la aplicación de las multiplicaciones pertinentes al valor máximo establecido cada sector de incendio del establecimiento cumple con la especificación.

La zona experimental dispone de instalación de servicio eléctrico e instalación de energía mecánica. Estas instalaciones quedan amparadas por la normativa aplicable en el momento de su implantación según el apartado 9 (Anexo II).

5. Documento Básico – Seguridad en caso de incendio

En este último apartado se hace uso del Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (Ministerio de Fomento, 2010) para detallar la normativa a seguir y su correcta aplicación del almacenamiento de gases inflamables en edificios o establecimientos docentes, complementado así a la normativa utilizada en los apartados anteriores con enfoque industrial.

Caracterización del establecimiento y su nivel de riesgo intrínseco

El Apartado 1 (Sección SI 1) especifica la obligación de compartimentar en sectores de incendio tal y como indica la Tabla 5.1 de ese apartado. Según las condiciones generales del uso de un edificio o establecimiento: «Todo establecimiento debe constituir sector de incendio diferenciado del resto del edificio excepto, en edificios cuyo uso principal sea Residencial Vivienda, los establecimientos cuya superficie construida no exceda a 500 m² y cuyo uso sea Docente, Administrativo o Residencial Público» y «No se establece límite de superficie para los sectores de riesgo mínimo».

Para un uso de un edificio o establecimiento categorizado como docente se estipula: «Si el edificio tiene más de una planta, la superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 4.000 m²».

Tanto la condición de uso general y docente es cumplida. La planta a estudiar posee una superficie de 946,57 m² y posee diferentes sectores de incendio diferenciando el establecimiento para uso experimental y el establecimiento para uso docente.

Según el Apartado 2 (Sección SI 1) es posible determinar las zonas de riesgo especial integradas en los edificios. En este caso la zona de riesgo especial es la zona experimental, la cual se adapta a la clasificación de «Almacenes de elementos combustibles» establecida en la Tabla 2.1 de dicho apartado. La superficie de la zona experimental es de 75,13 m² con una altura de 4 m, siendo pues su volumen de valor igual a 300,52 m³. Podemos concluir que el riesgo es de nivel medio debido a que el volumen calculado se encuentra en valores de volumen comprendidos entre 200 y 400 m³.

Evacuación de ocupantes

La planta posee dos salidas de emergencia con puertas cortafuegos. La longitud de los recorridos de evacuación hasta estas salidas no exceden los 10 m y cada salida conduce a una escalera diferente cumpliendo las especificaciones de la Tabla 3.1 (Apartado 3 de la sección SI 3).

Se desconoce el nivel de ocupación de la planta pero es posible realizar una estimación de la máxima ocupación: Existen 8 despachos individuales para una persona y 3 salas de

trabajo para aproximadamente 10 personas cada una. Por lo tanto, el número total de personas trabajando en la planta es de 38.

Para un dimensionado correcto de los elementos de la evacuación se hace uso de las especificaciones expuestas en la Tabla 4.1 (Apartado 3 de la sección SI 3). En la Tabla 5.1 se comparan los cálculos efectuados considerando una salida bloqueada por completo con las medidas reales:

Tabla 5.1. Dimensionado de los elementos de evacuación

Tipo de elemento	Dimensionado	Valor real
Puertas	$A \geq \frac{38}{200} = 0,19 \text{ m}$	A = 0,9 m
Pasillos	$A \geq \frac{38}{200} = 0,19 \text{ m}$	A = 1,2 – 1,8 m ^a

^a La anchura de los pasillos horizontales y verticales poseen 1,2 m y 1,8 m respectivamente. Ver Figura 1.1.

Como puede comprobarse los valores reales satisfacen el dimensionado mínimo necesario. Las puertas poseen una señal con el rótulo «Salida de emergencia» en un lugar fácilmente visible y una señal indicativa del recorrido de evacuación. Las escaleras poseen una zona de refugio con las correspondientes indicaciones para la evacuación de personas con discapacidad en cada planta. Estas señalizaciones de los medios de evacuación para personas con o sin discapacidad cumplen las especificaciones indicadas en el Apartado 7 y 9 (Sección SI3).

Intervención de los bomberos

La sección SI 5 detalla las condiciones de aproximación y la accesibilidad por fachada. El recinto cumple las condiciones estipuladas poseyendo dos entradas con una anchura superior a 3,5 m y disponer de un espacio de maniobra para los bomberos a lo largo de las fachadas. Además, los huecos de acceso por fachada cumplen con las dimensiones especificadas sin poseer elementos que impidan o dificulten la accesibilidad al interior del edificio.

6. Resolución del riesgo de almacenamiento

Este apartado pone en común las especificaciones detalladas mediante el Boletín Oficial del Estado y el Código Técnico de Edificación.

Existe un conflicto con el nivel de riesgo detallado por el RSCIEI y el DB-SI, donde el primer documento oficial aplica un nivel de riesgo bajo y el segundo aplica un nivel de riesgo medio. Se considera que el sector de fuego posee un nivel de riesgo bajo como resultado de una mejor aproximación de la carga de fuego para el almacenamiento al realizar el cálculo de una única botella de propano. Mediante el DB-SI se aplica la categoría «Almacenes de elementos combustible», categoría que no especifica el número o tipo de elementos combustibles.

En consideración a lo anterior, los datos de edificación expuestos cumplen con los requisitos óptimos para una correcta intervención de los bomberos en caso de emergencia. Por otro lado, la planta posee los elementos y dimensionado de evacuación necesarios para asegurar una evacuación segura.

Como se ha mencionado en el inicio del Anexo, no se dispone de información detallada para el adecuado análisis los elementos de prevención pasiva y activa. Si la consideración de que la protección aplicada en la construcción del edificio garantiza un nivel de riesgo intrínseco bajo es cierta, según las normativas aplicadas el establecimiento detallado garantiza la protección contra incendios necesaria para la seguridad del almacenaje de una botella de propano.

7. Bibliografía

BOE (1992) *Real Decreto 1085/1992, de 11 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de la actividad de distribución de gases licuados del petróleo*. España. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1992-22638>.

BOE (2004) *Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales*. España: Boletín Oficial del Estado. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2004/12/17/pdfs/A41194-41255.pdf>.

BOE (2017) *Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10, Boletín Oficial del Estado*. España. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-8755-consolidado.pdf>.

Cepsa (2001) «Manual de instalaciones de GLP». Madrid: Opción K, Comunicación visual, S.L, p. 299.

Ministerio de Fomento (2010) «CTE-SI: Código Técnico de la Edificación-Documento Básico: Seguridad en caso de incendio», *Publicaciones Ministerio Vivienda*, p. 90. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DBSI.pdf>.