La clasificación del riesgo debido a los almacenamientos situados en edificios habitados (II)*

La búsqueda de un nuevo procedimiento de clasificación que desarrolle los principios de la reglamentación básica y resuelva sus contradicciones.

Por Pedro J. Álvarez Morales ©2014 *revisado ©2016

1. Antecedentes de la propuesta

En el artículo anterior se abordó la clasificación de los almacenamientos como **locales de riesgo especial** por el Documento Básico DB SI del Código Técnico de la Edificación.

Se explicó que la clasificación se aplicaba mediante **dos criterios diferentes**, en función del uso principal a que servía el almacenamiento, sin tener en cuenta las características del propio almacenamiento. Estos criterios consisten en el *volumen del recinto* y en la *densidad de carga de fuego ponderada y corregida* (calculada conforme al Anexo I del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales, RSCIEI).

Se comprobó que almacenamientos clasificados por volumen como *riesgo bajo* serían clasificados *sin riesgo* por su densidad de carga de fuego. Por otra parte, también se demostró que almacenamientos clasificados *sin riesgo* por su volumen resultarían clasificados por su densidad de carga de fuego como *riesgo medio* o incluso como *riesgo alto*.

Para equilibrar el efecto de esta contradicción se propuso una clasificación única que utilizara los **dos criterios combinados**.

Tabla 2.1. Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios.

Uso previsto* del edificio o *establecimiento - Uso del local o zona	**Tamaño del local o zona** V = volumen construido Q_S = densidad de carga de fuego ponderada y corregida		
	Riesgo bajo	**Riesgo medio**	**Riesgo alto**
En cualquier edificio o *establecimiento*:			
- Almacenes de elementos combustibles, archivos de documentos, depósitos de libros, etc.:			
$425 < Q_S \leq 850$ MJ/m^2	100 m^3 < V		
$850 < Q_S \leq 3.400$ MJ/m^2	x < V ≤ 200 m^3	200 m^3 < V	
$Q_S > 3.400$ MJ/m^2	y < V ≤ z m^3	z < V ≤ 400 m^3	400 m^3 < V

En la tabla provisional de doble entrada se adoptaron los mismos parámetros *límite* que utiliza el DB SI para cada criterio por separado (volumen: 100, 200, 400 m³; densidad de carga de fuego: 425 a 850, 850 a 3400, > 3400 MJ/m²).

En el artículo anterior se comprobó que la clasificación incluida en el DB SI que utiliza solamente el criterio de la **densidad de carga de fuego**, podía resultar exageradamente exigente en los almacenamientos pequeños. Los *Comentarios al DB SI* del Ministerio de Fomento pretendían atajar este problema estableciendo una **carga de fuego total** (10.000 MJ) como límite entre las clasificaciones *sin riesgo - riesgo bajo/medio/alto*.

Como esa carga de fuego total no estaba ponderada, resultaba contradictorio que dicho límite fuera mayor cuanto mayor fuera la peligrosidad del almacenamiento *por combustibilidad* o *por activación* (factores de ponderación de la carga de fuego). Además, se propiciaba que pequeñas variaciones del almacenamiento determinasen clasificaciones extremas (de *sin riesgo* a *riesgo alto*) sin la opción de clasificaciones graduales.

En la propuesta se pretendía adoptar también este criterio solucionando los problemas indicados. Para ello se planteó que el criterio tiene que referirse necesariamente a la **carga de fuego total ponderada y corregida**. Otra condición del nuevo sistema de clasificación es que existan estos valores *límites* de carga de fuego total con independencia de la densidad. Es decir, que en la primera columna de la tabla provisional el valor límite entre *sin riesgo - riesgo bajo* sea el mismo, así como en la segunda columna el valor límite entre *riesgo bajo - riesgo medio*, también lo sea con independencia de la fila. Precisamente esta fue la condición para establecer los parámetros de volumen “x”, “y” y “z” que faltaban para completar la tabla, y por tanto, el nuevo sistema de clasificación combinado.

2. La relación entre los parámetros

Para desarrollar la propuesta han de fijarse unos **valores límite** de carga de fuego total ponderada y corregida ($Q_{T\ lim}$) que sean fácilmente reconocibles en todo el proceso. Antes de cuantificar estos valores, se les asigna la siguiente denominación:

- $\mathbf{Q_{T(bajo)}}$: carga de fuego límite entre la clasificación *sin riesgo* y la de *riesgo bajo*.
- $\mathbf{Q_{T(medio)}}$: carga de fuego límite entre la clasificación de *riesgo bajo* y *riesgo medio*.
- $\mathbf{Q_{T(alto)}}$: carga de fuego límite entre la clasificación de *riesgo medio* y *riesgo alto*.

Es preciso poner en relación la **carga de fuego total** con el **volumen del recinto**. Para ello se emplea la fórmula de la densidad de carga de fuego como cociente entre la carga de fuego total (Q_T) y la superficie en planta (A). Los recintos de los edificios suelen presentar una forma de prisma recto, por lo que su volumen corresponde al producto de la superficie del suelo (A) y la altura (H).

$$Q_S = \frac{Q_T}{A} \qquad [1] \qquad\qquad V = A \cdot H \qquad [2]$$

En la ecuación [1] que procede del Anexo I del RSCIEI, el área (A) es la **superficie construida**, al igual que en el término “densidad de carga de fuego” del Anejo A del DB SI o del término 1.5.3.7 de UNE EN 1991-1-2. El concepto de superficie construida incluye la zona ocupada por los cerramientos. No obstante, considerar en esa superficie solamente el área libre de cerramientos o área ocupable es una aproximación muy realista, por los siguientes motivos:

- En la construcción de nuestro país es poco frecuente la existencia de una carga de fuego significativa debida a los productos que componen los cerramientos. Además, al tratarse de locales de riesgo especial destinados a almacenamiento se precisa que los elementos delimitadores sean resistentes al fuego (tabla 2.2 de la Sección SI 1 del DB SI) y que los revestimientos de la envolvente sean de baja o nula combustibilidad (tabla 4.1 de la Sección SI 1 del DB SI).
- La carga térmica que considera el Anexo I del RSCIEI no incluye la carga de fuego debida a los cerramientos. En esto difiere del término "sector de riesgo mínimo" del Anejo A del DB SI.

En consecuencia, es más apropiado considerar que "A" es el área o superficie del suelo del recinto ocupable, disponible para el almacenamiento, libre de cerramientos, soportes estructurales, patinillos, etc., puesto que la carga de fuego que se considera en el cálculo es la que puede situarse en dichas zonas ocupables.

En la ecuación [2], si el techo del recinto fuera inclinado, "H" sería la altura promedio. Por otra parte, si "A" es la superficie del recinto ocupable, "V" será el volumen ocupable, igualmente libre de cerramientos. No se incluirá en dicho volumen la zona ocupada por un falso techo, ya que es un espacio no disponible para almacenar. "H" sería la altura libre o altura desde el pavimento del suelo hasta el nivel inferior del techo o del falso techo, en caso de su existencia.

Despejando el área del suelo (A) en la ecuación [2] y sustituyendo su valor en la ecuación [1], se obtiene el conjunto de ecuaciones matemáticas que necesitamos:

$$Q_S = \frac{Q_T}{V} \cdot H \quad [3] \qquad Q_T = \frac{Q_S}{H} \cdot V \quad [4] \qquad V = \frac{Q_T}{Q_S} \cdot H \quad [5]$$

3. Los problemas iniciales de la propuesta

El paso siguiente es concretar la propuesta, y eso significa determinar los valores *límite* $\mathbf{Q_{T(bajo)}}$, $\mathbf{Q_{T(medio)}}$ y $\mathbf{Q_{T(alto)}}$, así como los parámetros "x", "y", "z" de la tabla provisional.

Los valores *límite* $\mathbf{Q_{T(bajo)}}$, $\mathbf{Q_{T(medio)}}$ y $\mathbf{Q_{T(alto)}}$ ya están determinados implícitamente en la tabla. Cómo lo que se busca es la carga de fuego total (Q_T) se utiliza la ecuación [4]. Los valores de volumen (V) ya están fijados:

- V = 100 m³ para $\mathbf{Q_{T(bajo)}}$: en la primera columna, primera fila.
- V = 200 m³ para $\mathbf{Q_{T(medio)}}$: en la segunda columna, segunda fila.
- V = 400 m³ para $\mathbf{Q_{T(alto)}}$: en la tercera columna, tercera fila.

Lo que se observa, conforme a la citada ecuación, es que en cada fila, el valor de la densidad de carga de fuego (Q_S) es variable:

- En la primera fila: Q_S está comprendido entre 425 y 850 MJ/m², para $\mathbf{Q_{T(bajo)}}$.
- En la segunda fila: Q_S está comprendido entre 850 y 3.400 MJ/m², para $\mathbf{Q_{T(medio)}}$.
- En la tercera fila: Q_S a partir de 3.400 MJ/m², para $\mathbf{Q_{T(alto)}}$.

Otro factor variable en la ecuación es la altura del recinto (H).

Se confeccionan tres tablas para observar la diversificación que presentan los valores *límite* en función de los factores indicados. Se han contemplado dos alturas diferentes (2,50 m y 4,00 m) que pueden representar los valores extremos más habituales en edificación no industrial.

Determinación de $Q_{T(bajo)}$			
Volumen (V)	**Altura** (H)	**Densidad de carga de fuego** (Q_S)	**Carga de fuego total** (Q_T)
100 m³	2,50 m	425 MJ/m²	17.000 MJ
	2,50 m	850 MJ/m²	34.000 MJ
	4,00 m	425 MJ/m²	10.625 MJ
	4,00 m	850 MJ/m²	21.250 MJ

La media de los cuatro valores sería $\overline{Q}_{T(bajo)}$ = 20.719 MJ. Se observa una gran dispersión, ya que el valor menor se sitúa un 49% por debajo de la media y el valor mayor un 64% por encima.

Determinación de $Q_{T(medio)}$			
Volumen (V)	**Altura** (H)	**Densidad de carga de fuego** (Q_S)	**Carga de fuego total** (Q_T)
200 m³	2,50 m	850 MJ/m²	68.000 MJ
	2,50 m	3.400 MJ/m²	272.000 MJ
	4,00 m	850 MJ/m²	42.500 MJ
	4,00 m	3.400 MJ/m²	170.000 MJ

La media de los cuatro valores sería $\overline{Q}_{T(medio)}$ = 138.125 MJ. Se observa una dispersión aún mayor que en el anterior, ya que el valor menor se sitúa un 69% por debajo de la media y el valor mayor un 97% por encima. Esto se debe a que el intervalo de variación de la densidad de carga de fuego es una relación 4:1 (3.400 = 850·4), mientras que en el intervalo de la primera fila es una relación 2:1 (850 = 425·2).

Determinación de $Q_{T(alto)}$			
Volumen (V)	**Altura** (H)	**Densidad de carga de fuego** (Q_S)	**Carga de fuego total** (Q_T)
400 m³	2,50 m	3.400 MJ/m²	544.000 MJ
	4,00 m	3.400 MJ/m²	340.000 MJ

En el caso de riesgo alto no hay intervalo sino límite inferior. La media de los dos valores sería $\overline{Q}_{T(alto)}$ = 442.000 MJ, con una variación de ± 23%.

Estos resultados son preocupantes porque dificultan la adopción de unos valores concretos que sean representativos del conjunto.

Antes de abandonar la propuesta o de decidir un valor *límite* determinado, se procede a calcular los posibles parámetros "x", "y" y "z" de la tabla provisional de clasificación. Como estos parámetros son volúmenes se utiliza la ecuación [5]. En dicha ecuación, el volumen para el valor *límite* depende de la **carga de fuego total** *límite* ($Q_{T(bajo)}$ y $Q_{T(medio)}$, respectivamente en la primera y segunda columna). En lugar de adoptar unos valores fijos $Q_{T(bajo)}$ y $Q_{T(medio)}$, se utilizan las variaciones obtenidas en las tablas anteriores para los extremos del intervalo. Resulta lo siguiente:

Determinación de **"x"** para la clasificación de **riesgo bajo** en la segunda fila			
Altura (H)	**Carga de fuego total** (Q_T)	**Densidad de carga de fuego** (Q_S)	**Volumen** (V)
2,50 m	17.000 MJ	850 MJ/m²	50 m³
2,50 m	34.000 MJ	3.400 MJ/m²	25 m³
4,00 m	10.625 MJ	850 MJ/m²	50 m³
4,00 m	21.250 MJ	3.400 MJ/m²	25 m³

Los parámetros de la tercera fila no pueden corresponderse con un límite superior del intervalo porque no existe en dicha fila. Se adopta un límite *virtual* en la misma proporción 4:1 del intervalo de la segunda fila (3.400 = 850·4). Esto significa que el límite superior sería 3.400 · 4 = 13.600 MJ.

Determinación de **"y"** para la clasificación de **riesgo bajo** en la tercera fila			
Altura (H)	**Carga de fuego total** (Q_T)	**Densidad de carga de fuego** (Q_S)	**Volumen** (V)
2,50 m	17.000 MJ	3.400 MJ/m²	12,50 m³
2,50 m	34.000 MJ	13.600 MJ/m²	6,25 m³
4,00 m	10.625 MJ	3.400 MJ/m²	12,50 m³
4,00 m	21.250 MJ	13.600 MJ/m²	6,25 m³

Determinación de **"z"** para la clasificación de **riesgo medio** en la tercera fila			
Altura (H)	**Carga de fuego total** (Q_T)	**Densidad de carga de fuego** (Q_S)	**Volumen** (V)
2,50 m	68.000 MJ	3.400 MJ/m²	50 m³
2,50 m	272.000 MJ	13.600 MJ/m²	50 m³
4,00 m	42.500 MJ	3.400 MJ/m²	50 m³
4,00 m	170.000 MJ	13.600 MJ/m²	50 m³

En teoría, “x” debería estar comprendido entre 25 y 50 m³, “y” entre 6,25 y 12,50 m³ y “z” puede considerarse igual a 50 m³. Sin embargo, este sistema lleva a las mismas contradicciones observadas en el método de clasificación que se pretende mejorar. Por ejemplo, si se adoptan los valores intermedios de “x” = 37,5 m³ e “y” = 9,38 m³, y el valor concreto de “z” = 50 m³, la tabla de clasificación sería:

Tabla 2.1. Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios.

	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
En cualquier edificio o *establecimiento*:			
- Almacenes de elementos combustibles, archivos de documentos, depósitos de libros, etc.:			
$425 < Q_S \leq 850$ MJ/m^2	100 m^3 < V		
$850 < Q_S \leq 3.400$ MJ/m^2	37,5 < V ≤ 200 m^3	200 m^3 < V	
$Q_S > 3.400$ MJ/m^2	9,38 < V ≤ 50 m^3	50 < V ≤ 400 m^3	400 m^3 < V

Estas son algunas de las contradicciones observadas. Para simplificar la comparativa se ha adoptado la misma altura en los seis almacenes:

Volumen (V)	**Densidad de carga de fuego** (Q_S)	**Altura** (H)	**Carga de fuego total** (Q_T)	**Riesgo clasificado**
99 m³	849 MJ/m²	3,00 m	28.017 MJ	sin riesgo
38 m³	851 MJ/m²	3,00 m	10.779 MJ	BAJO
8 m³	13.601 MJ/m²	3,00 m	36.267 MJ	sin riesgo
10 m³	3.401 MJ/m²	3,00 m	11.337 MJ	BAJO
199 m³	3.399 MJ/m²	3,00 m	134.827 MJ	BAJO
51 m³	3.401 MJ/m²	3,00 m	57.817 MJ	MEDIO

Se puede comprobar que no existe una relación coherente entre la clasificación de riesgo y la carga de fuego total.

4. La propuesta definitiva

La consecuencia de los problemas observados en la propuesta anterior es que el volumen que se utilice en la clasificación no puede ser un parámetro fijo en la tabla, sino que debe ser **una variable** inversamente proporcional a la densidad de carga de fuego (Q_S). Como se observa en la ecuación [4], cuanto mayor es la densidad de carga de fuego de un almacén, menor es el volumen necesario para alcanzar el mismo valor de la **carga de fuego total**, sin contar con el efecto variable de la altura:

$$Q_T = \frac{Q_S \cdot V}{H} \quad [4] \qquad\qquad V = Q_T \cdot \frac{H}{Q_S} \quad [5]$$

Como se pretende que los atributos de la tabla de doble entrada para la clasificación sean la *densidad de carga de fuego* y el *volumen*, se precisará el empleo de la ecuación [5] en la que aparece despejado el volumen (V).

En el caso del volumen *límite* para la clasificación de riesgo, la ecuación consiste en:

$$V_{lim} = Q_{T\,lim} \cdot \frac{H}{Q_S} \quad [5']$$

La ecuación se concreta en las fórmulas siguientes para cada uno de los niveles de riesgo de la clasificación:

- Entre *sin riesgo* y *riesgo bajo*, $Q_{Tlim} = Q_{T(bajo)}$: $V_{(bajo)} = Q_{T(bajo)} \cdot \frac{H}{Q_S}$
- Entre *riesgo bajo* y *riesgo medio*, $Q_{Tlim} = Q_{T(medio)}$: $V_{(medio)} = Q_{T(medio)} \cdot \frac{H}{Q_S}$
- Entre *riesgo medio* y *riesgo alto*, $Q_{Tlim} = Q_{T(alto)}$: $V_{(alto)} = Q_{T(alto)} \cdot \frac{H}{Q_S}$

En estas expresiones los valores $Q_{T(bajo)}$, $Q_{T(medio)}$ y $Q_{T(alto)}$ son fijos, mientras que "H" y "Q_S" son variables que deberán calcularse en cada almacenamiento concreto. La tabla resultaría:

Tabla 2.1. Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios.

	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
En cualquier edificio o *establecimiento*:			
- Almacenes de elementos combustibles, archivos de documentos, depósitos de libros, etc.:			
$425 < Q_S \leq 850$ MJ/m^2	$Q_{T(bajo)} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$		
$850 < Q_S \leq 3.400$ MJ/m^2	$Q_{T(bajo)} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	$Q_{T(medio)} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	
$Q_S > 3.400$ MJ/m^2	$Q_{T(bajo)} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	$Q_{T(medio)} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	$Q_{T(alto)} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$

En la tabla no aparecen los parámetros *límite* de volumen de clasificación que utiliza el DB SI (100, 200 y 400 m³). Dichos parámetros se incorporan en el cálculo de los valores fijos $Q_{T(bajo)}$, $Q_{T(medio)}$ y $Q_{T(alto)}$. Estos valores *límite* de carga de fuego constituyen unas referencias meramente convencionales que no determinan en sí mismas el procedimiento de clasificación sino unos puntos de referencia para la agrupación de los diferentes niveles de riesgo que se pretendan plantear.

No obstante, se busca la máxima aproximación a los parámetros de la clasificación del DB SI en la determinación de los valores límite de la carga de fuego total. Para su cálculo se emplea la ecuación [4] que depende de los tres factores mencionados:

1. El volumen del recinto. Se utilizan como volumen de referencia los mismos valores que emplea el DB SI: **100** m³ como límite inferior del riesgo bajo, **200** m³ como límite inferior del riesgo medio y **400** m³ en riesgo alto.

2. La altura del recinto. Puesto que se trata de usos no industriales, se adopta la altura libre más habitual: **3,00** m.

3. La densidad de carga de fuego ponderada y corregida. Presenta un valor distinto en cada fila de la tabla. Dentro de cada fila varía en un intervalo más o menos amplio. Será preciso determinar **un valor representativo** de cada intervalo.

Se procede a la determinación del *límite inferior* de la **clasificación de riesgo bajo** (o límite *sin riesgo – riesgo bajo*) El volumen de referencia es 100 m³. La densidad de carga de fuego está comprendida entre 425 MJ/m² y 850 MJ/m². Para que todas las densidades de carga de fuego del intervalo alcancen la carga de fuego total *límite* ($Q_{T(bajo)}$) cuando el volumen supere 100 m³, debe considerarse la fórmula con la densidad máxima (Q_S = 850 MJ/m²), obteniéndose el siguiente resultado:

$$Q_{T(bajo)} = \frac{Q_S \cdot V}{H} = \frac{850 \cdot 100}{3} = 28.333,\hat{3}\,\text{MJ}.$$

Si se adoptase la densidad mínima del intervalo (Q_S= 425 MJ/m²), la carga de fuego límite sería $Q_{T(bajo)}$ = 14.166,7 MJ. En ese caso, el volumen *límite* para la clasificación en un almacén con una densidad comprendida en el intervalo, por ejemplo, 650 MJ/m², sería el siguiente:

$$V_{(650)} = Q_{T(bajo)} \cdot \frac{H}{Q_S} = 14.166,7 \cdot \frac{3}{650} = 65,4 < 100\ \text{m}^3.$$

A continuación, se propone determinar el *límite inferior* de la **clasificación de riesgo alto** (o límite *riesgo medio – riesgo alto*). El volumen es 400 m³. La densidad de carga de fuego está comprendida en un intervalo infinito, con un mínimo de 3.400 MJ/m². Esto significa que no se puede adoptar el mismo criterio que en el caso anterior. El único valor disponible a utilizar como referencia para representar el intervalo abierto es la densidad mínima (Q_S = 3.400 MJ/m²). En consecuencia:

$$Q_{T(alto)} = \frac{Q_S \cdot V}{H} = \frac{3.400 \cdot 400}{3} = 453.333,\hat{3}\,\text{MJ}.$$

En este caso, para cualquier densidad comprendida en la tercera fila de la tabla (Q_S > 3.400 MJ/m²), el volumen límite para la clasificación de riesgo alto, y por tanto alcanzar el valor de $Q_{T(alto)}$ es inferior a 400 m³. Por ejemplo, con una densidad de carga de fuego de 13.600 MJ/m²:

$$V_{(13600)} = Q_{T(bajo)} \cdot \frac{H}{Q_S} = 453.333,3 \cdot \frac{3}{13.600} = 100 < 400\ \text{m}^3.$$

Para determinar el *límite inferior* de la **clasificación de riesgo medio** (o límite *riesgo bajo – riesgo medio*) se pueden seguir dos procedimientos:

- Adoptar la **media geométrica** de los límites inferiores para riesgo bajo y para riesgo alto:

$$Q_{T(medio)} = \sqrt{Q_{T(bajo)} \cdot Q_{T(alto)}} = \sqrt{28.333,\hat{3} \cdot 453.333,\hat{3}} = 113.333,\hat{3}\,\text{MJ}.$$

- Emplear el mismo procedimiento que en los límites anteriores.

  El volumen es 200 m³. La densidad de carga de fuego está comprendida entre 850 MJ/m³ y 3.400 MJ/m². En este caso, el problema es qué valor elegir dentro del intervalo para representar a los demás. Si se sigue el criterio del límite para riesgo bajo, que supone adoptar la densidad máxima del intervalo, se tomaría el valor de 3.400 MJ/m², pero coincide con el adoptado para el límite de riesgo alto. Igualmente, si se sigue el criterio del límite para riesgo alto, tomando la densidad mínima del intervalo, se adoptaría el valor de 850 MJ/m², que coincide con el adoptado para el límite de riesgo bajo. Por tanto, se propone adoptar un valor intermedio del intervalo (media geométrica de los extremos) para representar la densidad de carga de fuego del mismo: 1.700 MJ/m².

$$Q_{T(medio)} = 1700 \cdot \frac{200}{3} = 113.333,\hat{3}\,\text{MJ}.$$

Por cualquiera de los dos procedimientos se llega al mismo resultado.

Como resumen se incluye el siguiente cuadro en el que se recogen los valores límite de la carga de fuego también en expresión exponencial:

$Q_{T\ lim}$	$Q_{T(bajo)}$	$Q_{T(medio)}$	$Q_{T(alto)}$
Valor numérico	28.333,3	113.333,3	453.333,3
Notación exponencial	$850 \cdot 10^2 / 3$	$3400 \cdot 10^2 / 3$	$13600 \cdot 10^2 / 3$

Fijados los valores límite de la carga de fuego total, y utilizando su notación exponencial, se confecciona la tabla de clasificación de la nueva propuesta:

Tabla 2.1. Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios.

	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
En cualquier edificio o *establecimiento*:			
- Almacenes…			
$425 < Q_S \leq 850$ MJ/m²	$\frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$		
$850 < Q_S \leq 3.400$ MJ/m²	$\frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	$\frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	
$Q_S > 3.400$ MJ/m²	$\frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	$\frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	$\frac{13600 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$

5. Conclusiones

En la tabla se han incorporado los valores *límite* de **carga de fuego total** de manera fácilmente reconocible, ya que representan el **coeficiente** de las fracciones que determinan los volúmenes *límite* de la clasificación en cada nivel de riesgo.

La aplicación de la tabla resulta algo más laboriosa que en la propuesta inicial, ya que dichos volúmenes deben particularizarse para cada almacén, considerando la *altura de recinto* (H) y la *densidad de carga de fuego ponderada y corregida* (Q_S). En todo caso, la tabla de clasificación es exacta, puesto que consiste simplemente en la incorporación de las ecuaciones que relacionan las diferentes magnitudes.

Esto significa que se han alcanzado los objetivos propuestos, obteniendo una nueva clasificación que combina los criterios de *carga de fuego total* y de *densidad de carga de fuego*, en ambos casos *ponderadas* y *corregidas*. Contando con los valores *límite* que se han marcado convencionalmente para las cargas de fuego totales ($Q_{T(bajo)}$, $Q_{T(medio)}$, $Q_{T(alto)}$) se llega a las siguientes conclusiones:

- Se clasifican como **riesgo bajo** todos los almacenamientos cuya carga de fuego total sea mayor que 28.333,3 MJ y:

    - la densidad de carga de fuego no exceda de 850 MJ/m² (en este caso no hay límite a la carga de fuego total);

      o,

    - la carga de fuego total no exceda de 113.333,3 MJ, cuando la densidad de carga de fuego supera 850 MJ/m².

- Se clasifican como **riesgo medio** todos los almacenamientos cuya carga de fuego total sea mayor que 113.333,3 MJ y:

    - la densidad de carga de fuego supere 850 MJ/m² y no exceda de 3.400 MJ/m² (en este caso no hay límite a la carga de fuego total);

      o,

    - la carga de fuego total no exceda de 453.333,3 MJ, aunque la densidad de carga de fuego supere 3.400 MJ/m².

- Se clasifican como **riesgo alto** todos los almacenamientos en los que la densidad de carga de fuego sea mayor que 3.400 MJ/m² y la carga de fuego total exceda de 453.333,3 MJ.

Se propone la introducción de algunos matices para completar la tabla y mejorar la aplicación:

a) En lo que respecta al nivel mínimo de densidad de carga de fuego se ha partido de 425 MJ/m² porque es lo que se indica para los almacenamientos del **uso comercial** en la tabla 2.1 de la Sección SI 1 del DB SI. No obstante, fuera del uso comercial podrían considerarse densidades menores. Se ha incluido otro intervalo en los almacenamientos de la primera fila de la tabla, con una densidad de carga

de fuego ponderada y corregida comprendida entre 200 MJ/m² y 425 MJ/m², así como una nota excluyendo su aplicación para los almacenamientos subsidiarios del uso comercial. De eso modo, se mantienen las mismas exigencias que el DB SI. No se ha considerado oportuno valorar almacenamientos cuya densidad sea inferior a 200 MJ/m² debido a su escasa entidad.

b) En la tabla de clasificación se incorpora la nota contenida en la tabla 2.1 de la Sección SI 1 del DB SI, relativa a la **aplicación del RSCIEI** en los almacenamientos cuya que carga de fuego total alcance o supere $3 \cdot 10^6$ MJ.

c) Se escriben los intervalos completos de clasificación incluyendo todas las desigualdades, con el fin de evitar errores de aplicación o interpretación. No obstante, este formato da lugar a unas expresiones fraccionarias más complejas.

d) Se incorporan unas definiciones más apropiadas de las magnitudes "V" y "H" considerando únicamente las zonas ocupables de los recintos de almacenamiento.

El resultado final es la siguiente tabla de clasificación:

Tabla 2.1. Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios.

Uso previsto* del edificio o *establecimiento -Uso del local o zona	**Tamaño del local o zona** V = volumen disponible para el almacenamiento [en m³] H = altura libre al techo o falso techo (1) [en m] Q_S = densidad de carga de fuego ponderada y corregida [en MJ/m²]		
	Riesgo bajo	**Riesgo medio**	**Riesgo alto**
En cualquier edificio o *establecimiento*: - Almacenes de elementos combustibles, archivos de documentos, depósitos de libros, etc. (2):			
$200 < Q_S$ (3) ≤ 425 MJ/m² $425 < Q_S \leq 850$ MJ/m²	$V > \frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$		
$850 < Q_S \leq 3.400$ MJ/m²	$\frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$ y $V \leq \frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$	$V > \frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$	
$Q_S > 3.400$ MJ/m²		$\frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$ y $V \leq \frac{13600 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$	$V > \frac{13600 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$

(1) Si el techo es inclinado se considera la altura promedio.
(2) Si la carga de fuego total ponderada y corregida alcanza o supera $3 \cdot 10^6$ MJ, se regulan por el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
(3) No se considera local de riesgo especial si es subsidiario del Uso Comercial.

6. Ejemplos

Se propone el siguiente ejemplo de aplicación: un almacén de 154 m³, con una altura libre de 2,80 m, destinado a productos de automóvil, que contiene 35 m³ de accesorios de automóvil y 25 m³ de neumáticos. Se obtienen del Anexo I del RSCIEI y su Guía Técnica de Aplicación los siguientes valores:

- "Automóviles, almacén de accesorios": q_{vi} = 800 MJ/m³ R_a = 1,5 C_i =1,3
- Almacén de "Neumáticos de automóviles" q_{vi} = 1.500 MJ/m³ R_a = 2,0 C_i =1,3

1) Se calcula la superficie del suelo del almacén (A): A = V/H = 154 / 2,80 = 55 m².

2) Se calcula la densidad de carga de fuego ponderada y corregida conforme al Anexo I del RSCIEI:

$$Q_S = \frac{\sum_1^n q_{vi} \cdot C_i \cdot h_i \cdot s_i}{A} \cdot R_a = \frac{q_{v1} \cdot C_1 \cdot V_1 + q_{v2} \cdot C_2 \cdot V_2}{A} \cdot R_a = \frac{800 \cdot 1{,}3 \cdot 35 + 1500 \cdot 1{,}3 \cdot 25}{55} \cdot 2 = 3096$$

[25 m³ de neumáticos en 154 m³ de almacén ocupa más del 10% del almacén]

Q_S = 3.096 MJ/m², por lo que se sitúa en la segunda fila de la tabla.

3) Se precisa calcular $V_{(bajo)}$ y $V_{(medio)}$ al situarse en dicha fila:

$$V_{(bajo)} = \frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} = \frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{2{,}8}{3096} = 25{,}6 \qquad V_{(medio)} = \frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} = \frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{2{,}8}{3096} = 102{,}5$$

4) Se compara el volumen del recinto con los volúmenes de referencia:

$V_{(medio)}$ = 102,5 < 154 m³, lo que significa una clasificación de **Riesgo Medio**.

5) Se puede comprobar la carga de fuego total: $Q_T = Q_S \cdot A$ = 3.096·55 = 170.300 MJ.

$Q_{T(medio)}$ = 113.333,3 < 170.300 MJ, lo que confirma una clasificación de Riesgo Medio.

Obviamente, el cuadro de clasificación obtenido es más complejo que el incluido en el DB SI. Sin embargo unas expresiones fraccionarias más o menos largas no deben ocultar la facilidad de su aplicación. La clave es el cálculo de la *densidad de carga de fuego ponderada y corregida*. Además, en un próximo artículo se presentarán otras fórmulas que facilitan los cálculos y la clasificación cuando el almacenamiento comprende un solo tipo de actividad o de producto, en correspondencia con cada uno de los epígrafes que aparecen en la tabla 1.2 del Anexo I del RSCIEI.

Pedro J. Álvarez Morales es Jefe de Sección del Dpto. de Prevención de Incendios del Ayuntamiento de Madrid y colaborador habitual de CEPREVEN.