

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

Conclusión práctica de los tres artículos anteriores y exposición del *método C.R.A.E.H.*

Por Pedro J. Álvarez Morales ©2016

1. Introducción

Se trata de un nuevo sistema de clasificación que desarrolla los principios de la reglamentación básica en seguridad contra incendios.

Emplea los criterios de la *carga de fuego total* y de la *densidad de carga de fuego*, ponderadas y corregidas, calculados conforme al procedimiento descrito en el Anexo I del Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI), con el fin de unificar la clasificación de los **locales de riesgo especial** debidos a almacenamiento que se citan en la tabla 2.1 de la Sección SI 1 del Documento Básico Seguridad en caso de Incendio DB SI, del Código Técnico de la Edificación:

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 S = superficie construida V = volumen construido		
	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
En cualquier edificio o establecimiento: - Talleres de mantenimiento, almacenes de elementos combustibles (p. e.: mobiliario, lencería, limpieza, etc.) archivos de documentos, depósitos de libros, etc.	$100 < V \leq 200 \text{ m}^3$	$200 < V \leq 400 \text{ m}^3$	$V > 400 \text{ m}^3$
Comercial - Almacenes en los que la <i>densidad de carga de fuego</i> ponderada y corregida (Q_s) aportada por los productos almacenados sea ⁽⁵⁾	$425 < Q_s \leq 850$ MJ/m ²	$850 < Q_s \leq 3.400$ MJ/m ²	$Q_s > 3.400$ MJ/m ²

(5) Las áreas públicas de venta no se clasifican como locales de riesgo especial. La determinación de Q_s puede hacerse conforme a lo establecido en el "Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales". Se recuerda que, conforme al ámbito de aplicación de este DB, los almacenes cuya carga de fuego total exceda de 3×10^6 MJ se regulan por dicho Reglamento, aunque pertenezcan a un establecimiento de *uso Comercial*.

El método propone los mismos criterios (volumen, densidad de carga de fuego ponderada y corregida) de manera combinada, buscando una clasificación más coherente y realista, en proporción directa a los niveles de riesgo. También se busca una aplicación sencilla para determinar dichos niveles.

2. Tabla de clasificación

La clasificación se fundamenta en la **densidad de carga de fuego** e introduce un límite mínimo o inferior de la **carga de fuego total** en la determinación de cada nivel de riesgo, lo que permite una graduación de la clasificación en almacenamientos de menor tamaño, situación usual en edificios no industriales.

Conforme a lo indicado, esta sería la nueva 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		
	Q_S = densidad de carga de fuego ponderada y corregida Q_T = 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. ⁽¹⁾ :			
$200 < Q_S^{(2)} \leq 425 \text{ MJ/m}^2$ $425 < Q_S \leq 850 \text{ MJ/m}^2$	$Q_T > 28.333 \text{ MJ}$		
$850 < Q_S \leq 3.400 \text{ MJ/m}^2$	$Q_T > 28.333 \text{ MJ}$	$Q_T > 113.333 \text{ MJ}$	
$Q_S > 3.400 \text{ MJ/m}^2$	y $Q_T \leq 113.333 \text{ MJ}$	$Q_T > 113.333 \text{ MJ}$ y $Q_T \leq 453.333 \text{ MJ}$	$Q_T > 453.333 \text{ MJ}$

(1) Si la carga de fuego total ponderada y corregida alcanza o supera $3 \cdot 10^6 \text{ MJ}$, se regulan por el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

(2) No se considera local de riesgo especial si es subsidiario del Uso Comercial.

Estos valores de carga de fuego total se corresponden con almacenes cuyo volumen coincide con la referencia de la tabla 2.1 del DB SI (100 m^3 , 200 m^3 o 400 m^3 , para los límites mínimos de riesgo bajo, medio o alto, respectivamente), cuya altura es de 3,00 m y cuya densidad de carga de fuego es un valor representativo de los intervalos de la tabla (850 MJ/m^2 para riesgo bajo, 1.700 MJ/m^2 para riesgo medio y 3.400 MJ/m^2 para riesgo alto). La relación entre la carga de fuego total (Q_T) y estos valores viene dada por las fórmulas que definen la densidad de carga de fuego (Q_S) y el volumen de un recinto (V) en función del área (A) y la altura media (H).

$$[Q_S = Q_T / A \quad \text{y} \quad V = A \cdot H \quad \text{por lo que} \quad Q_T = Q_S \cdot V / H]$$

En la tabla se ha ampliado el intervalo de densidad de carga de fuego típica de riesgo bajo (425 a 850 MJ/m^2) que se indica en el DB SI por su extremo inferior, hasta **200 MJ/m²**, para los almacenamientos que no son subsidiarios del uso comercial, mediante la nota (2). De este modo se mantiene el mismo límite inferior que en el DB SI para los que son subsidiarios de dicho uso (425 MJ/m^2).

De la tabla se deduce lo siguiente:

- Se clasifican como **riesgo bajo** todos los almacenamientos cuya carga de fuego total es mayor que 28.333 MJ y:
 - la densidad de carga de fuego no supera 850 MJ/m² (en este caso no hay límite a la carga de fuego total);
o bien,
 - la carga de fuego total no supera 113.333 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 es mayor que 113.333 MJ y:
 - la densidad de carga de fuego supera 850 MJ/m² y no excede de 3.400 MJ/m² (en este caso no hay límite a la carga de fuego total);
o bien,
 - la carga de fuego total no supera de 453.333 MJ, cuando la densidad de carga de fuego supera de 3.400 MJ/m².
- Se clasifican como **riesgo alto** todos los almacenamientos cuya carga de fuego total es mayor que 453.333 MJ y en los que la densidad de carga de fuego es mayor que 3.400 MJ/m².

Sin embargo, con el fin de mantener los mismos criterios empleados por el DB SI (densidad de carga de fuego, volumen) como atributos de la tabla de doble entrada, se propone transformar las referencias a la *carga de fuego total* por referencias al *volumen del recinto*. Para ello se utilizan las mismas fórmulas indicadas para el cálculo de las cargas de fuego totales que se han definido como límites ($Q_{Tlim} = 28.333$ MJ para riesgo bajo, 113.333 MJ para riesgo medio, 453.333 MJ para riesgo alto).

$$[Q_T = Q_S \cdot V / H \quad \text{por lo que} \quad V = Q_T \cdot H / Q_S \quad \text{con} \quad Q_T = Q_{Tlim} \quad V = Q_{Tlim} \cdot H / Q_S]$$

Obsérvese que en la tabla así obtenida, e incluida en la página siguiente, los **coeficientes de las fracciones H / Q_S** , son precisamente los valores límite de la carga de fuego total que se han indicado en la primera tabla de clasificación que propone el método, pero expresados en forma de notación exponencial con mantisa fraccionaria ($28.333 = 850 \cdot 10^2/3$; $113.333 = 3.400 \cdot 10^2/3$ y $453.333 = 13.600 \cdot 10^2/3$).

En dicha tabla se ha explicado con más claridad qué volumen (V) y qué altura (H) se está considerando. Lo más apropiado es contemplar los espacios realmente libres o disponibles para ser ocupados por el almacenamiento, descontando los cerramientos, estructuras, falsos techos, etc.

Para cada almacén particular será preciso calcular la densidad de carga de fuego Q_S , obtener H/Q_S y multiplicar este valor por el coeficiente fijo ($850 \cdot 10^2/3$; $3400 \cdot 10^2/3$; $13600 \cdot 10^2/3$). Solo resta **comparar el volumen del almacén** con los valores así obtenidos, que representan:

- el límite entre *sin riesgo* y *riesgo bajo* ($850 \cdot 10^2/3$)·(H/ Q_S).
- el límite entre *riesgo bajo* y *riesgo medio* ($3.400 \cdot 10^2/3$)·(H/ Q_S).
- el límite entre *riesgo medio* y *riesgo alto* ($13.600 \cdot 10^2/3$)·(H/ Q_S).

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		
	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/m ² 425 < Q _S ≤ 850 MJ/m ²	$V > \frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$		
850 < Q _S ≤ 3.400 MJ/m ²	$\frac{850 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$	$V > \frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$	
Q _S > 3.400 MJ/m ²	$V \leq \frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S}$	$\frac{3400 \cdot 10^2}{3} \cdot \frac{H}{Q_S} < V$ 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 3·10⁶ 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.

3. Simplificación para almacenamientos de tipo homogéneo

Se considera un almacenamiento de tipo *homogéneo* aquel que incluye un solo tipo de producto o se corresponde a un determinado epígrafe de la tabla 1.2 del Anexo I del RSCIEI.

En esta clase de almacenamientos, la **densidad de carga de fuego ponderada y corregida** (Q_S) se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$Q_S = k_f \cdot k_a \cdot H$$

Siendo:

- **k_f**: coeficiente característico de cada tipo de almacenamiento (en MJ/m³).

Se calcula con la fórmula indicada a continuación, cuyos valores se obtienen del Anexo I del RSCIEI:

$$k_f = q_v \cdot C_i \cdot R_a$$

Siendo q_v : Carga de fuego por m^3 (en MJ/m^3), según la tabla 1.2, columna “almacenamiento”, para cada epígrafe o tipo de almacenamiento.

C_i : Coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad por la combustibilidad según el apartado 3.2.1.

R_a : Coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad por la activación inherente al almacenamiento, según la tabla 1.2, columna “almacenamiento”.

Estos coeficientes se han precalculado para cada epígrafe de la tabla 1.2 del Anexo I del RSCIEI en los almacenamientos más habituales que pueden aparecer en la edificación no industrial. Se han recogido en el **Cuadro Auxiliar** del método.

- k_a : **coeficiente de la cantidad de almacenamiento** (adimensional).

Es la proporción de volumen de producto almacenado respecto del volumen total del recinto.

$$k_a = \frac{V_1}{V}$$

En el esquema se representa en color azul el recinto de almacén y en color negro el producto almacenado y reunido como un único apilamiento.

También se define como:

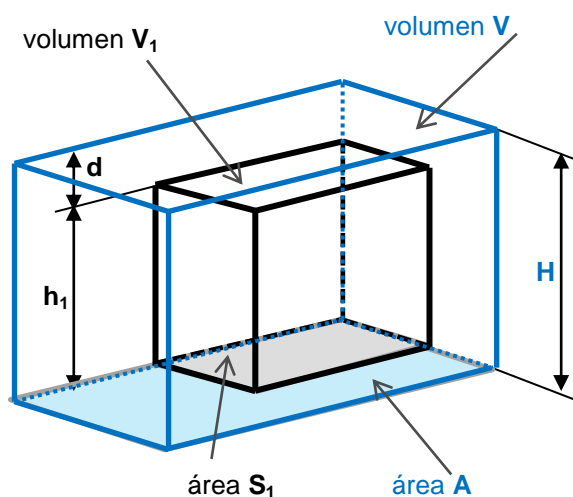
$$k_a = a \cdot \left(1 - \frac{d}{H}\right)$$

Siendo a : Proporción de la superficie ocupada por el almacenamiento respecto a la superficie del recinto en planta (adimensional):

$$a = \frac{S_1}{A}$$

d : Separación media del almacenamiento al techo o falso techo (m):

$$d = H - h_1$$



Análogamente, para almacenamientos tipo homogéneos, la **carga de fuego total ponderada y corregida** (Q_T) se puede determinar según la fórmula:

$$Q_T = k_f \cdot k_a \cdot V$$

Esto significa que para determinar la clasificación de riesgo de un almacenamiento de tipo *homogéneo* se puede seguir alguno de los procedimientos siguientes:

- Utilizar cualquiera de las dos tablas de clasificación previstas para todo almacenamiento (ya sea la que depende de la carga de fuego total Q_T o la que depende del volumen V), calculando k_a , obteniendo k_f del Anexo I del RSCIEI o del Cuadro Auxiliar del método, y, a partir de dichos valores, determinar Q_S y Q_T .

Conocidos Q_S y Q_T correspondientes al almacenamiento a estudiar, entrando en la tabla que relaciona estos dos valores se puede determinar el nivel de riesgo. Si se emplea la tabla que relaciona Q_S y el volumen V , se precisa calcular los valores límite $Q_{Tlim} \cdot H / Q_S$ y compararlos con V .

- b) Utilizar la tabla simplificada que se incluye a continuación, en la que se ha sustituido Q_S en función de k_f , k_a y H .

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 m ³] H = altura libre al techo o falso techo ⁽¹⁾ [en m] k_f = coeficiente característico del almacenamiento [en MJ/m ³] k_a = coeficiente de la cantidad de almacenamiento [adim.]		
	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
En cualquier edificio o establecimiento: - Almacenes de elementos combustibles, archivos de documentos, depósitos de libros, etc. ⁽²⁾ :			
$200 < k_f \cdot k_a \cdot H$ ⁽³⁾ ≤ 425 MJ/m ² $425 < k_f \cdot k_a \cdot H \leq 850$ MJ/m ²	$V > \frac{850 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f \cdot k_a}$		
$850 < k_f \cdot k_a \cdot H \leq 3.400$ MJ/m ²	$\frac{850 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f \cdot k_a} < V$	$V > \frac{3400 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f \cdot k_a}$	
$k_f \cdot k_a \cdot H > 3.400$ MJ/m ²	y $V \leq \frac{3400 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f \cdot k_a}$	$\frac{3400 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f \cdot k_a} < V$ y $V \leq \frac{13600 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f \cdot k_a}$	$V > \frac{13600 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f \cdot k_a}$

(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.

- c) Utilizar la tabla del Cuadro Auxiliar del método.

4. Almacenamiento estándar

Es un caso particular de almacenamiento de tipo *homogéneo*. Ya sea porque se desconoce en detalle el volumen de producto almacenado (V_1) o el coeficiente de la cantidad de almacenamiento (k_a), o bien, porque se trata de evaluar un grado de ocupación media del recinto disponible.

Para estos casos se propone un almacenamiento patrón o *estándar*, que corresponde a un coeficiente fijo $k_a = 1/3$. Este coeficiente corresponde a una situación

relativamente usual con una altura libre del recinto de 3 m (H), una separación entre el almacenaje y el techo de 1 m (d) y una proporción de superficie en planta ocupada por el almacenaje de 50% (a). Esto no significa que necesariamente deban adoptarse dichos valores de las variables “H”, “d”, “a”, sino que la combinación de las mismas determine un valor de $k_a = 1/3$ [$k_a = a \cdot (1 - d/H)$].

Cuando se considera un almacenamiento *estándar*, la clasificación se simplifica enormemente, de tal modo que conociendo el tipo de almacenamiento (k_f) y la altura del recinto (H) ya puede obtenerse la clasificación. Al igual que en el almacenamiento de tipo *homogéneo* se puede seguir cualquiera de los procedimientos que se indican:

- Utilizar alguna de las dos tablas de clasificación previstas para todo almacenamiento. Obtenido k_f , se determina de forma inmediata Q_S ($Q_S = k_f \cdot k_a \cdot H = k_f \cdot H/3$) y Q_T ($Q_T = k_f \cdot k_a \cdot V = k_f \cdot V/3$).
- Utilizar la siguiente tabla simplificada, en la que se ha sustituido k_a por 1/3, y solo depende de “ k_f ” y “H”.

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		
	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
<p>En cualquier edificio o establecimiento:</p> <p>- Almacenes de elementos combustibles, archivos de documentos, depósitos de libros, etc. ⁽²⁾:</p>	<p>$V =$ volumen disponible para el almacenaje [en m³] $H =$ altura libre al techo o falso techo ⁽¹⁾ [en m] $k_f =$ coeficiente característico del almacenaje [en MJ/m³]</p>		
$200 < k_f \cdot H/3 \leq 425 \text{ MJ/m}^2$ $425 < k_f \cdot H/3 \leq 850 \text{ MJ/m}^2$	$V > \frac{850 \cdot 10^2}{k_f}$		
$850 < k_f \cdot H/3 \leq 3.400 \text{ MJ/m}^2$	$\frac{850 \cdot 10^2}{k_f} < V$	$V > \frac{3400 \cdot 10^2}{k_f}$	
$k_f \cdot H/3 > 3.400 \text{ MJ/m}^2$	$V \leq \frac{3400 \cdot 10^2}{k_f}$	$\frac{3400 \cdot 10^2}{k_f} < V$ y $V \leq \frac{13600 \cdot 10^2}{k_f}$	$V > \frac{13600 \cdot 10^2}{k_f}$

(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.

- Utilizar la tabla del Cuadro Auxiliar del método. Las columnas de la derecha de la tabla expresan directamente los volúmenes límite entre los recintos *sin riesgo*

especial, con *riesgo bajo*, con *riesgo medio* o con *riesgo alto*, sin necesidad de efectuar ninguna operación matemática.

5. Volumen que significa la aplicación del RSCIEI

El ámbito de aplicación del RSCIEI contempla cualquier almacenamiento no industrial en el que la carga de fuego total (Q_T) alcanza o supera $3 \cdot 10^6$ MJ.

Con las fórmulas anteriormente obtenidas se puede determinar con facilidad si un almacenamiento tiene una carga de fuego que alcanza el valor indicado, en función del volumen del recinto. Al volumen cuyo almacén se incluye en el ámbito del RSCIEI se le ha denominado V_{RSCIEI} . En consecuencia:

- Para cualquier almacenamiento: $V_{RSCIEI} \geq \frac{3 \cdot 10^6 \cdot H}{Q_S}$

$$[V = Q_T \cdot H / Q_S \quad \text{y} \quad Q_T = 3 \cdot 10^6]$$

- Para un almacenamiento *tipo homogéneo*: $V_{RSCIEI} \geq \frac{3 \cdot 10^6}{k_f \cdot k_a}$

$$[V_{RSCIEI} = 3 \cdot 10^6 \cdot H / Q_S \quad \text{y} \quad Q_S = k_f \cdot k_a \cdot H]$$

- Para un almacenamiento *estándar*: $V_{RSCIEI} \geq \frac{9 \cdot 10^6}{k_f}$

$$[V_{RSCIEI} = 3 \cdot 10^6 / (k_f \cdot k_a) \quad \text{y} \quad k_a = 1/3]$$

Los valores para almacenamientos de tipo *homogéneo* y almacenamientos *estándar* pueden obtenerse también mediante el Cuadro Auxiliar del método.

6. Volumen máximo de almacenamiento en la misma clasificación

Es una aplicación para almacenamientos de tipo *homogéneo*, que permite determinar el máximo almacenamiento posible en un recinto de tamaño conocido (V) manteniéndose en la misma clasificación de riesgo. Resulta especialmente interesante para conocer qué fluctuaciones en el volumen de producto almacenado (V_1) se pueden efectuar sin que ello implique la necesidad de incrementar las medidas de seguridad como consecuencia de que varíe el nivel de riesgo. Por este motivo también es una aplicación útil para la inspección.

Como la tabla de clasificación es de doble entrada, el resultado depende de dos factores: la densidad de carga de fuego (Q_S) y la carga de fuego total (Q_T). Análogamente, el volumen máximo admisible de almacenamiento (V_{1max}) puede quedar determinado en función del límite en el cambio de clasificación, bien debido a la carga de fuego total o bien debido a la densidad de carga de fuego.

a) **Volumen máximo debido a la carga de fuego total** ($V_{1\max(Q_T)}$):

Para este análisis se supone que la densidad de carga de fuego no cambia de fila de la tabla de clasificación. Es decir:

- En la primera fila de la tabla: Q_S es mayor que 200 MJ/m² (425 MJ/m² si es subsidiario del uso comercial), pero no supera 850 MJ/m², en cuyo caso puede ser un almacenamiento clasificado *sin riesgo* si no se supera Q_{Tlim_bajo} ($850 \cdot 10^2/3$ MJ) o de *riesgo bajo* en caso contrario.
- En la segunda fila de la tabla: Q_S es mayor que 850 MJ/m², pero no supera 3.400 MJ/m² en cuyo caso puede ser un almacenamiento clasificado *sin riesgo* si no se supera Q_{Tlim_bajo} ($850 \cdot 10^2/3$ MJ) o de *riesgo bajo* si no se supera Q_{Tlim_medio} ($3400 \cdot 10^2/3$ MJ).
- En la tercera fila de la tabla: Q_S es mayor que 3.400 MJ/m², en cuyo caso puede ser un almacenamiento clasificado *sin riesgo* si no se supera Q_{Tlim_bajo} ($850 \cdot 10^2/3$ MJ) o de *riesgo bajo* si no se supera Q_{Tlim_medio} ($3400 \cdot 10^2/3$ MJ) o de riesgo medio si no se supera Q_{Tlim_alto} ($13600 \cdot 10^2/3$ MJ).

Se precisa relacionar las variables con el volumen de producto almacenado (V_1).

$$[Q_T = k_f \cdot k_a \cdot V \quad \text{y} \quad k_a = V_1 / V \quad \text{por lo que} \quad Q_T = k_f \cdot V_1 \quad \text{y} \quad V_1 = Q_T / k_f]$$

$$\text{Resulta: } V_1 = \frac{Q_T}{k_f}$$

Sustituyendo en el numerador del cociente las cargas de fuego totales que suponen el límite entre las diferentes clasificaciones de riesgo (Q_{Tlim}) se obtiene:

$$[V_{1\max} = Q_{Tlim} / k_f]$$

- El volumen máximo de almacenamiento para una clasificación *sin riesgo*:

$$V_{1\max(Q_T)} = \frac{850 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f} = \frac{28333}{k_f}$$

- El volumen máximo de almacenamiento para una clasificación de *riesgo bajo*:

$$V_{1\max(Q_T)} = \frac{3400 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f} = \frac{113333}{k_f}$$

- El volumen máximo de almacenamiento para una clasificación *riesgo medio*:

$$V_{1\max(Q_T)} = \frac{13600 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f} = \frac{453333}{k_f}$$

b) **Volumen máximo debido a la densidad de carga de fuego** ($V_{1\max(Q_S)}$):

Se trata de determinar el coeficiente máximo de almacenamiento (k_a) que supone el límite para los diferentes intervalos de densidad de carga de fuego (o filas de la tabla) que sirven a la clasificación.

Se precisa relacionar las variables con el coeficiente de cantidad de almacenamiento (k_a).

$$[Q_S = k_f \cdot k_a \cdot H \quad \text{por lo que} \quad k_a = Q_S / (k_f \cdot H)]$$

Considerando los valores $Q_S = Q_{S\text{lim}}$, resulta: $k_{a\text{lim}} = \frac{Q_{S\text{lim}}}{k_f \cdot H}$

Conociendo el coeficiente k_a queda determinado el volumen de producto.

$$[k_a = V_1 / V \quad \text{por tanto} \quad V_1 = k_a \cdot V]$$

Sustituyendo k_a por $k_{a\text{lim}}$ resulta que V_1 corresponde a $V_{1\text{max}}$:

$$V_{1\text{max}(Q_S)} = k_{a\text{lim}} \cdot V = \frac{Q_{S\text{lim}}}{k_f \cdot H} \cdot V$$

Finalmente se obtienen los volúmenes máximos en el límite entre los intervalos de densidad de carga de fuego:

- El volumen máximo de almacenamiento para una clasificación **sin riesgo** ($Q_{S\text{lim}} = 200 \text{ MJ/m}^2$):

$$V_{1\text{max}(Q_S)} = \frac{200 \cdot V}{k_f \cdot H}$$

- El volumen máximo de almacenamiento para una clasificación **sin riesgo** en un almacenamiento subsidiario del uso comercial ($Q_{S\text{lim}} = 425 \text{ MJ/m}^2$):

$$V_{1\text{max}(Q_S)} = \frac{425 \cdot V}{k_f \cdot H}$$

- El volumen máximo de almacenamiento para una clasificación de **riesgo bajo** ($Q_{S\text{lim}} = 850 \text{ MJ/m}^2$):

$$V_{1\text{max}(Q_S)} = \frac{850 \cdot V}{k_f \cdot H}$$

- El volumen máximo de almacenamiento para una clasificación **riesgo medio**:

$$V_{1\text{max}(Q_S)} = \frac{3400 \cdot V}{k_f \cdot H}$$

c) Evaluación de los volúmenes:

Una vez obtenidos los volúmenes máximos por los dos criterios, se observa que el volumen a considerar es el **mayor** valor de los dos ($V_{1\text{max}(QT)}$ y $V_{1\text{max}(QS)}$)

Existen situaciones en las que se puede incrementar el almacenamiento sin que se produzca un cambio en la clasificación del riesgo.

[Por ejemplo, si Q_S no supera 850 MJ/m^2 y Q_T excede 28333 MJ sin límite, se clasifica como riesgo bajo. Si Q_S está comprendido entre 850 y 3400 MJ/m^2 y Q_T excede 113333 MJ sin ningún límite, se clasifica como riesgo medio.]

En estos casos, el volumen máximo de almacenamiento está limitado únicamente por el volumen del recinto disponible, aunque ningún almacenamiento real puede ocupar el 100% del espacio, por razones de acceso a los productos. Para integrar esta circunstancia en el cálculo del volumen máximo, deberá establecerse una comparación entre el volumen obtenido por el procedimiento anterior (considerando la densidad de carga de fuego y la carga de fuego total) y el volumen de recinto, considerando el **menor** de los dos valores.

Esto significa:

$$V_{1\max} = \min \{ V; \max \{ V_{1\max(QT)}; V_{1\max(QS)} \} \}$$

d) **Evaluación de los intervalos:**

El volumen de almacenamiento (V_1) no puede ser mayor que el volumen del recinto disponible (V). El coeficiente de la cantidad de almacenamiento (k_a) puede ser como máximo la unidad. Cuando $k_a = 1$, la densidad de carga de fuego alcanza su valor máximo posible ($Q_{S\max}$) para ese tipo de almacenamiento (caracterizado por k_f).

$$[Q_S = k_f \cdot k_a \cdot H \quad \text{y} \quad k_a = 1 \quad \text{por lo que} \quad Q_{S\max} = k_f \cdot H]$$

Al comparar los valores de la densidad de carga de fuego máxima ($Q_{S\max}$), limitada por el tamaño del recinto, con los valores límite que marcan los intervalos descritos en cada fila de la tabla de clasificación ($Q_{S\lim}$), se observa lo siguiente:

- Si $Q_{S\max} \leq 200 \text{ MJ/m}^2$, la única clasificación posible es **sin riesgo**. Por tanto, no hay ningún límite en el volumen salvo el del propio recinto.
- Si $Q_{S\max} \leq 425 \text{ MJ/m}^2$, y el almacenaje es subsidiario del uso comercial, la única clasificación posible es **sin riesgo**. Las consecuencias son idénticas al anterior.
- Si $Q_{S\max} \leq 850 \text{ MJ/m}^2$, las clasificaciones posibles son **sin riesgo** y **riesgo bajo**. El volumen a considerar es el máximo admisible en la clasificación **sin riesgo**.
- Si $Q_{S\max} \leq 3400 \text{ MJ/m}^2$, las clasificaciones posibles son **sin riesgo**, **riesgo bajo** y **riesgo medio**. Hay dos posibles volúmenes, el máximo admisible en la clasificación **sin riesgo** y el máximo admisible en la clasificación de **riesgo bajo**.
- Si $Q_{S\max} > 3400 \text{ MJ/m}^2$, las cuatro clasificaciones son posibles (**sin riesgo**, **riesgo bajo**, **riesgo medio** y **riesgo alto**). Hay que considerar entonces los tres volúmenes (clasificación **sin riesgo**, **riesgo bajo** y **riesgo medio**).

e) **Fórmula resumen:**

Sustituyendo $Q_{S\max}$ en función de " $k_f \cdot H$ " y reinterpretando las consecuencias que se tienen invirtiendo el sentido de las desigualdades anteriores se llega una fórmula de aplicación que reúne todos los casos:

- Si $k_f \cdot H > 200 \text{ MJ/m}^2$:
$$V_{\text{Imax_sin_riesgo}} = \min \left\{ V; \max \left\{ \frac{850 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f}; \frac{200 \cdot V}{k_f \cdot H} \right\} \right\}$$
- Si $k_f \cdot H > 425 \text{ MJ/m}^2$ y almacenaje subsidiario del uso comercial:
$$V_{\text{Imax_sin_riesgo}} = \min \left\{ V; \max \left\{ \frac{850 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f}; \frac{425 \cdot V}{k_f \cdot H} \right\} \right\}$$
- Si $k_f \cdot H > 850 \text{ MJ/m}^2$:
$$V_{\text{Imax_riesgo_bajo}} = \min \left\{ V; \max \left\{ \frac{3400 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f}; \frac{850 \cdot V}{k_f \cdot H} \right\} \right\}$$
- Si $k_f \cdot H > 3400 \text{ MJ/m}^2$:
$$V_{\text{Imax_riesgo_medio}} = \min \left\{ V; \max \left\{ \frac{13600 \cdot 10^2}{3 \cdot k_f}; \frac{3400 \cdot V}{k_f \cdot H} \right\} \right\}$$

Se recomienda reducir ligeramente estos valores en la práctica, ya que al haberse calculado justamente en el límite, los redondeos que no hayan sido aplicados por defecto pueden dar lugar a resultados inesperados, que suponen, por muy poco, un cambio en la clasificación del riesgo.

Finalmente se incluye otro artículo adjunto que recoge ejemplos de aplicación de las tablas, de las fórmulas y del Cuadro Auxiliar.

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