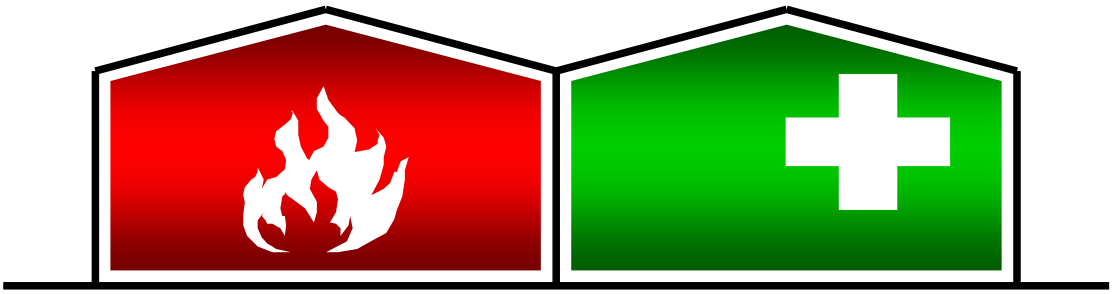
Proyecto financiado con el
Programa de Investigación del Research Fund for Coal and Steel
(Fondo de Investigación del Carbón y el Acero) RFS2-CR-2007-00032



Seguridad ante incendios de Pabellones industriales

Guía de diseño

Índice

1. Introducción....3
2. Comportamiento de las estructuras en un incendio....5
3. Campo de aplicación....8
3.1. Aspectos no considerados en este manual....8
3.2. Aspectos considerados en este manual....8
3.3. Estructura y compartimentación de edificios destinados a almacén....10
3.4. Muros cortafuegos y elementos de fachada....11
4. Método de diseño....12
4.1. Medios de comprobación....12
4.2. Casos....14
4.2.1. Una sola nave....14
4.2.2. Múltiples naves – muro cortafuegos perpendicular a los armazones principales – armazones de portal y de celosía....15
4.2.3. Múltiples naves – muro cortafuegos paralelo a los armazones principales – armazones de portal y de celosía....22
4.3. Cómo se utilizan los valores....22
5. Software "LUCA"....23
5.1. Introducción....23
5.2. Descripción, Input y Output....23
5.3. Informes....23
5.4. Ventanas del software....24
6. Recomendación de diseño....28
6.1. Muros cortafuegos....28
6.1.1. Unión de los elementos de fachada y de partición a la estructura de acero....28
6.1.2. Estructuras de acero junto a los elementos de separación....29
6.1.3. Sistema de tejado por encima de los elementos de separación....29
6.2. Muros cortafuegos perpendiculares a los armazones de acero....30
6.2.1. Muro cortafuegos introducido entre las bridas de la columna....31
6.2.2. Muro cortafuegos unido a una brida de la columna....31
6.3. Muros cortafuegos paralelos a los armazones de acero....32
6.3.1. Muro cortafuegos en el plano del armazón de acero....32
6.3.2. Muro cortafuegos unido al armazón de acero....33
6.3.3. Muro cortafuegos entre dos armazones de acero....34
6.4. Recomendaciones para el sistema de arriostramiento....35

6.4.1. Muros cortafuegos perpendiculares a los armazones de acero 35
6.4.2. Muros cortafuegos paralelos a los armazones de acero 36
6.5. Recomendaciones adicionales de diseño para armazones de acero de portal simple ...37
7. Bibliografía 38

1. Introducción

Este manual ha sido elaborado por varios miembros de la industria del acero en respuesta a la nueva normativa de seguridad ante incendios implantada recientemente en gran parte de los países europeos.

Como resultado de los numerosos trabajos de investigación, financiados por el proyecto RFCS [6], se ha desarrollado una metodología y una serie de recomendaciones para el diseño de pabellones industriales de una planta. Los resultados han sido obtenidos mediante el estudio numérico y paramétrico realizado para celosías y pórticos de diferentes alturas y luces.

No se recomienda un análisis estructural fuera del alcance estudiado en este proyecto, a menos que sea tratado como un diseño preliminar, el cual deberá ser validado posteriormente.

Las dimensiones consideradas en este proyecto son las dimensiones típicas de pabellones industriales, véase a continuación:

- ⇒ Longitud del tramo de nave simple: 15 m , 20 m y 30 m
- ⇒ Longitud del tramo de nave múltiple: 20 m , 30 m y 40 m
- ⇒ Altura – nave simple: 5 m, 7,5 m y 12,5 m
- ⇒ Altura – nave múltiple: 7,5 m, 12,5 m y 20 m
- ⇒ Pendiente: 5°
- ⇒ Número de vanos: 1, 3 y 5
- ⇒ Viga de celosía: ángulos iguales 50 x 50 x 5 hasta 120 x 120 x 12

Mediante la evaluación de riesgos y la simulación estructural se ha demostrado que la seguridad de ocupantes y bomberos queda garantizada por medio de los siguientes criterios:

- **criterios de “no-colapso hacia el exterior”. En el caso que se produzca un incendio en uno de los compartimentos del edificio, la estructura no se derrumba hacia el exterior del edificio.**
- **criterios de "no-colapso progresivo”. En el caso que se produzca un incendio en uno de los compartimentos del edificio, el fallo localizado del compartimento no conduce al colapso de los compartimentos adyacentes.**

El objetivo de este manual de diseño es el de facilitar a los estudios de arquitectura o ingeniería unas normas y métodos simples de cálculo que garanticen que el comportamiento estructural (estructura portante de carga, elementos de fachada, tejado y muros cortafuegos) del edificio industrial en estudio satisface los criterios

anteriores, cumpliendo con los objetivos de seguridad de personas (ocupantes y bomberos) en términos de comportamiento estructural.

2. Comportamiento de las estructuras en un incendio

El comportamiento de pórticos de múltiples vanos de un edificio industrial sometido a incendio puede desglosarse en dos fases que dan lugar a comportamientos estructurales diferentes. [1]

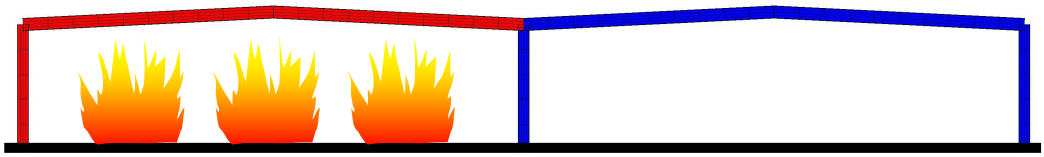


Gráfico 2.1 Estado de calentamiento

La primera fase corresponde a la dilatación térmica de los miembros afectados térmicamente. Durante dicha fase, se observaron los siguientes eventos:

- **un incremento progresivo de los desplazamientos laterales hacia el exterior del compartimento producido en la parte superior de las columnas que sustentan las estructuras de cubierta;**
- **un incremento progresivo de fuerzas internas (fuerza de compresión adicional) en las vigas afectadas térmicamente. Estas fuerzas de compresión se deben a la coacción axial contra la dilatación térmica inducida por la parte fría de la estructura;**

[1] Nota: En los análisis del comportamiento estructural presentados se ha considerado que la temperatura de las columnas coincidentes con los muros cortafuegos permanecen a temperatura ambiente.

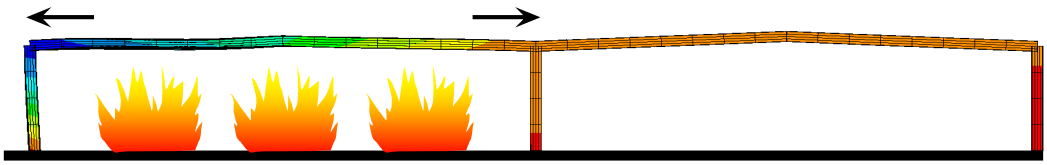


Gráfico 2.2 Perfil deformado durante la fase de dilatación

La **segunda fase** corresponde al colapso de la parte calentada de la estructura. Durante esta fase, se hicieron las siguientes observaciones:

- **El estado de la viga cambia progresivamente desde el estado combinado de compresión y flexión al estado elástico simple;**
- **desde el comienzo de esta fase, los desplazamientos en los extremos del compartimento cambian de dirección: la parte superior de las columnas externas vuelven al estado inicial y después éstas se desplazan hacia el compartimento ante incendios;**

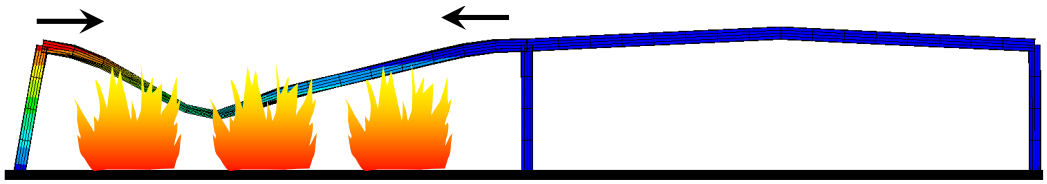


Gráfico 2.3 Perfil deformado durante la fase de colapso

- **la viga afectada térmicamente se comporta como una cable sometida a una fuerza de tracción significativa;**
- **el desplazamiento lateral de la parte superior de las columnas no afectadas térmicamente y la fuerza de tracción alcanzan el punto máximo. Después, se reducen ligeramente debido al colapso de la viga calentada;**
- **si, en la fase final, la rigidez de la parte estructural fría es lo suficientemente fuerte, la estructura afectada térmicamente se derrumbará hacia el interior del compartimento. Si la rigidez de la parte fría es suficientemente intensa, la parte fría permanece en pie, sin derrumbarse posteriormente.**

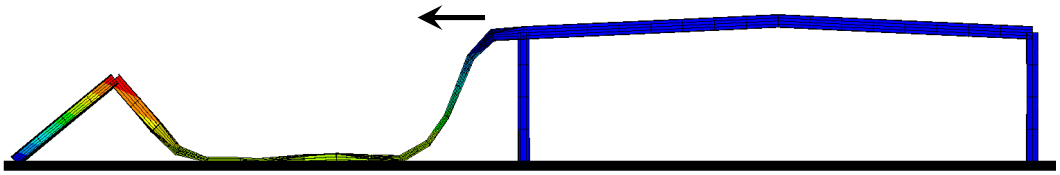


Gráfico 2.4 Perfil deformado al final de la fase de colapso

3. Campo de aplicación

3.1. Aspectos no considerados en este manual

Este manual de diseño **NO**:

- **explica como calcular la grado de resistencia de las estructuras sometidas a incendio;**
- **define la resistencia ante incendios exigida por la normativa;**
- **explica la forma de calcular la estabilidad de la estructura fría;**
- **indica la forma de diseñar fachadas o muros cortafuegos.**

3.2. Aspectos considerados en este manual

Este manual de diseño ilustra los posibles modos de fallo de pabellones industriales que deben ser evitados, proponiendo unos métodos para evitarlos. Los fallos tratados son los siguientes:

- **colapso de la estructura hacia el exterior;**
- **colapso de fachadas y muros cortafuegos hacia el exterior;**

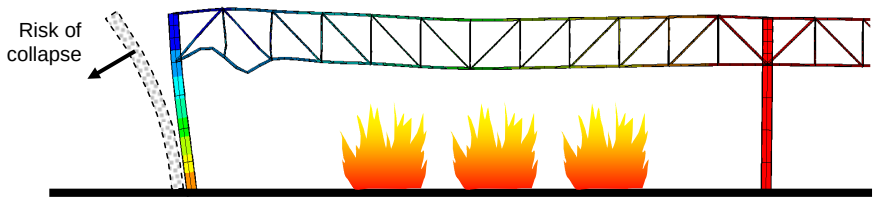


Gráfico 3-1 Riesgo de colapso de los elementos de la fachada hacia el exterior durante la fase de dilatación

- **colapso de las estructuras frías adyacentes – colapso progresivo.**

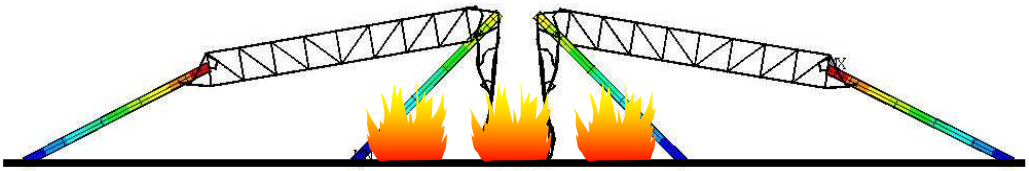


Gráfico 3-2 Riesgo de colapso progresivo de la estructura portante de carga

3.3. Estructura y compartimentación de edificios de almacenaje

El presente documento se aplica a edificios de almacenaje que cumplan las siguientes condiciones:

- **edificios con estructura de acero destinados al almacenaje; bien con pórticos de acero laminados en caliente de sección transversal en "H" o "I". (o realizados con placas soldadas equivalentes), o vigas en celosía con columnas de perfiles estándar laminados en caliente en "H" o "I" (o placas soldadas equivalentes);**
- **edificios destinados al almacenaje divididos en uno o varios vanos separados entre sí por muros cortafuegos. Estos muros pueden ser perpendiculares o paralelos a los pórticos de acero.**

El Gráfico 3-3 y el Gráfico 3-4 representan ejemplos de sistemas estructurales de acero y las posibles ubicaciones de los muros cortafuegos en el edificio.

Se da por sentado que el incendio se desarrolla en todo el sector de incendio.

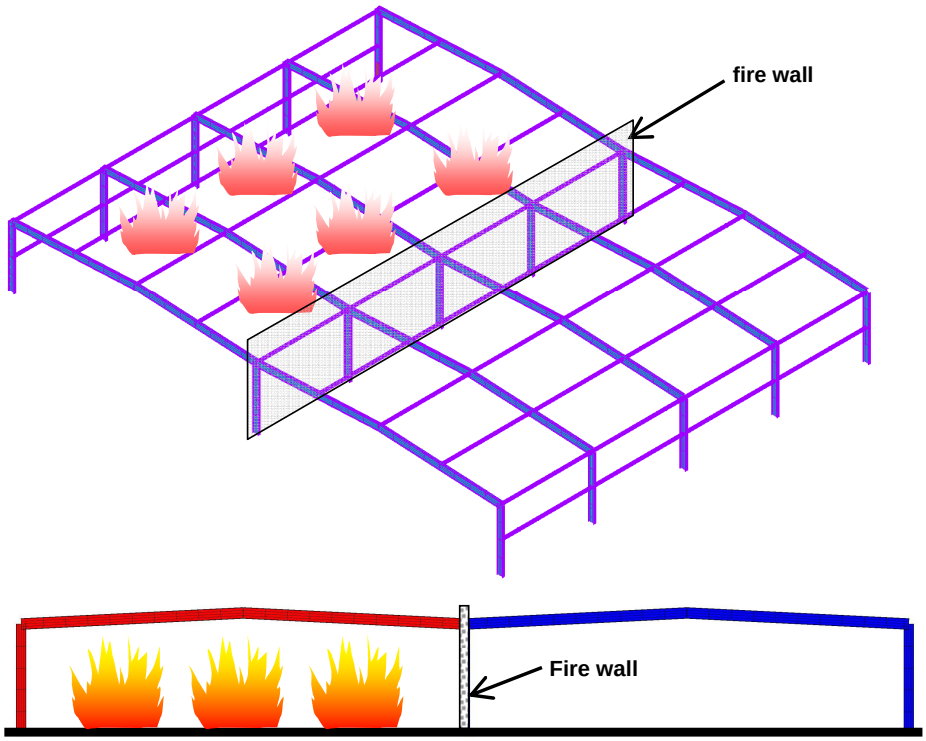


Gráfico 3-3 Muro cortafuegos perpendicular al armazón de portal

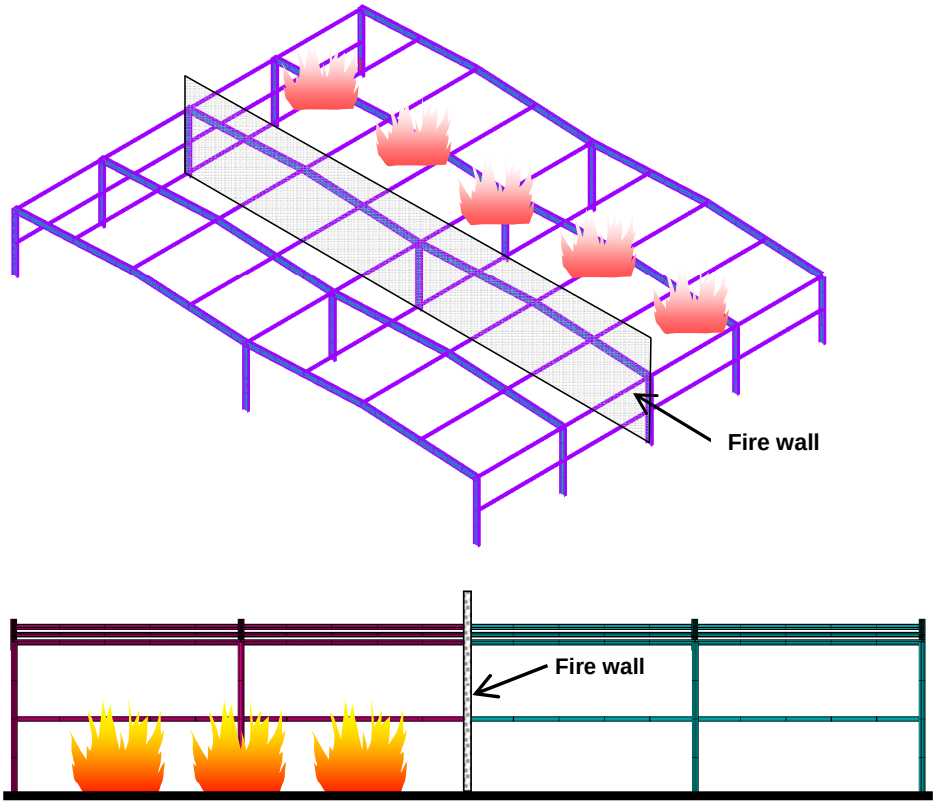


Gráfico 3-4 Muro cortafuegos paralelo al armazón de portal

3.4. Muros cortafuegos y elementos de fachada

Las recomendaciones que se proponen en la sección 5 de este documento pueden aplicarse a cualquier tipo de muro, como los muros fabricados de hormigón ligero, hormigón armado, bloque hueco, láminas de acero con aislante, pladur (cartón-yeso), ladrillo o construidos con cualquier otro tipo de material.

Sin embargo, los muros cortafuegos deben ser lo suficientemente flexibles de forma que sigan siendo compatibles con los desplazamientos laterales de pórtico de acero en caso de incendio.

El empleo de elementos de fachada no se limita solo a los edificios de almacén. Además, debe asegurarse su adecuación estructural, su integridad y su compatibilidad con respecto al movimiento del pórtico. De esta manera, estos elementos colapsarán junto con el pórtico hacia el interior del edificio en el caso de producirse dicho colapso.

No se recomienda el uso de fachadas auto-estables como consecuencia de los efectos del arqueo térmico que hace que se desplacen hacia el exterior. Sólo se utilizarán estas fachadas si su comportamiento se evalúa por medio de modelos de cálculo avanzado, teniendo en cuenta efectos de segundo orden, o si su estructura portante

de carga se encuentra situada en el exterior, protegida así lo suficiente contra el calentamiento, para permanecer estable.

Además, durante la fase de dilatación, la estructura se desplaza hacia el exterior aunque puede que no se llegue al colapso. En consecuencia, los elementos de fachada deben ser capaces de absorber este movimiento. Posteriormente, la estructura se mueve en dirección contraria y cae hacia el interior (ver sección 2). Los elementos de fachada deben ir unidos a la estructura de acero de forma que se colapsen conjuntamente hacia el interior del edificio.

4. Método de diseño

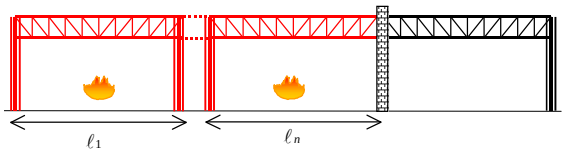
4.1. Criterios de comprobación

➢ Colapso hacia el exterior:

Valoración del posible colapso de la estructura hacia el exterior del sector de incendio.

➢ Esfuerzos de tracción:

Cálculo de los esfuerzos de tracción de la parte superior de la parte fría de los pórticos que aparecen como resultado del incendio en el compartimento adyacente. Estos esfuerzos permiten la comprobación de estabilidad de la estructura fría restante.



Caso de ***n*** vanos calentados

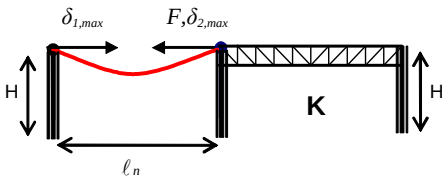
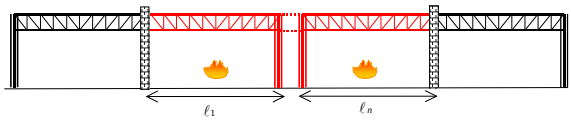


Gráfico 4-1-a El máximo es las aplicaciones y fuerzas transmitidas a partes frías de la estructura

a) Sector de incendio en el extremo del almacén



Caso de ***n*** tramos calentados

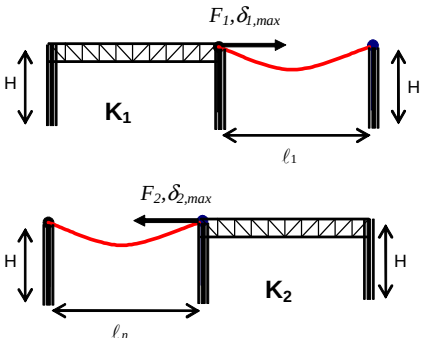
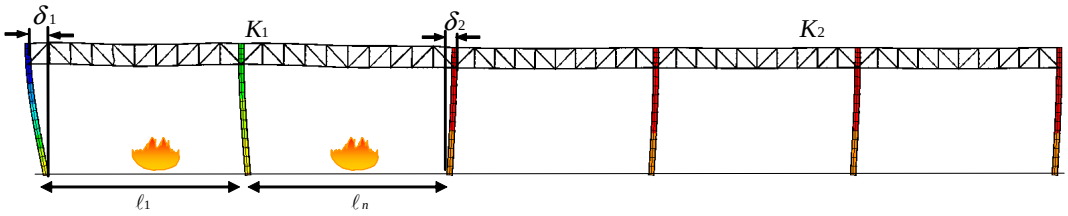


Gráfico 4-2-b El máximo es las aplicaciones y fuerzas transmitidas a partes frías de la estructura

b) Sector de incendio en la mitad del almacén

➢ Desplazamientos laterales:

Cálculo de los desplazamientos laterales máximos que aparecen en la parte superior de la parte calentada del pórtico como resultado de la dilatación térmica de las vigas del sector de incendio. Se utiliza el desplazamiento lateral máximo para valorar la estabilidad de los muros cortafuegos y fachadas.

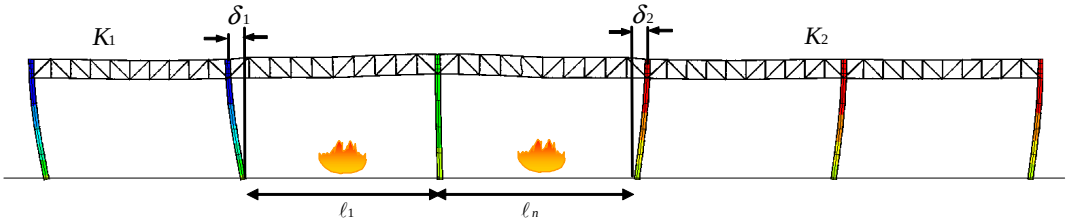


K_2 es la rigidez lateral del pórtico de acero de la parte fría de la estructura.

K_1 es la rigidez lateral del pórtico de acero del sector de incendio.

Gráfico 4-3-a Desplazamientos laterales de la estructura durante la fase de expansión

a) sector de incendio en un extremo del almacén



K_1 y K_2 son las rigideces laterales equivalentes de los pórticos de acero de partes frías de la estructura

b) Sector de incendio en el medio del almacén

Gráfico 4-4-b Desplazamientos laterales de la estructura durante la fase de expansión

4.2. Casos

4.2.1. Una solo vano

- **Colapso hacia el exterior:**

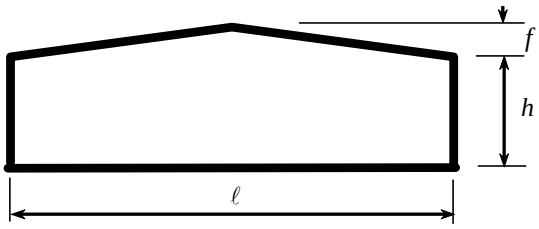
El colapso hacia el exterior del compartimento se evita si se cumple la ecuación 4-1:

$$h / l < 0.4 \qquad \text{Ecuación 4-1}$$

Donde

h: altura de las columnas.

l: longitud del vano.



- **Fuerza de tracción:**

Not applicable

- **Desplazamiento lateral:**

$$\delta_i = 0.5\% \ l \qquad \text{Ecuación 4-2}$$

4.2.2. Múltiples vanos – muro cortafuegos perpendiculares a las estructuras principales – pórtico y celosía

➢ Colapso hacia el exterior:

Nunca ocurre [6] en edificios de hasta 20 m de altura.

➢ Fuerza de tracción:

Fase 1 – Coeficiente relacionado con la pendiente de la cubierta $\boldsymbol{c_p}$

⇒ Pórtico

$$c_p = \begin{cases} 1.19 & \text{for } 0\% \text{ slope} \\ 1.16 & \text{for } 5\% \text{ slope} \\ 1.10 & \text{for } 10\% \text{ slope} \end{cases}$$ Ecuación 4-3

⇒ Celosía

$$c_p = 1.45$$ Ecuación 4-4

Fase 2 – Coeficiente relacionado con el número de vanos calentadas *n* en el compartimento ante incendios $\boldsymbol{n_{eff}}$

⇒ Pórtico

$$n_{eff} = \begin{cases} \left.\begin{matrix} 0.5 & \text{at the end of the frame} \\ 1.0 & \text{in the middle of the frame} \end{matrix}\right\} & \text{for } n = 1 \text{ (one bay under fire)} \\ \left.\begin{matrix} 1.0 & \text{at the end of the frame} \\ 2.0 & \text{in the middle of the frame} \end{matrix}\right\} & \text{for } n \geq 2 \text{ (more than one bay under fire)} \end{cases}$$

Ecuación 4-5

⇒ Celosía

$$n_{eff} = \begin{cases} \left.\begin{array}{ll} 0.6 & \text{at the end of the frame} \\ 1.0 & \text{in the middle of the frame} \end{array}\right\} & \text{for } n = 1 \text{ (one bay under fire)} \\ \left.\begin{array}{ll} 1.0 & \text{at the end of the frame} \\ 1.0 & \text{in the middle of the frame} \end{array}\right\} & \text{for } n \geq 2 \text{ (more than one bay under fire)} \end{cases}$$

Ecuación 4-6

Ejemplo

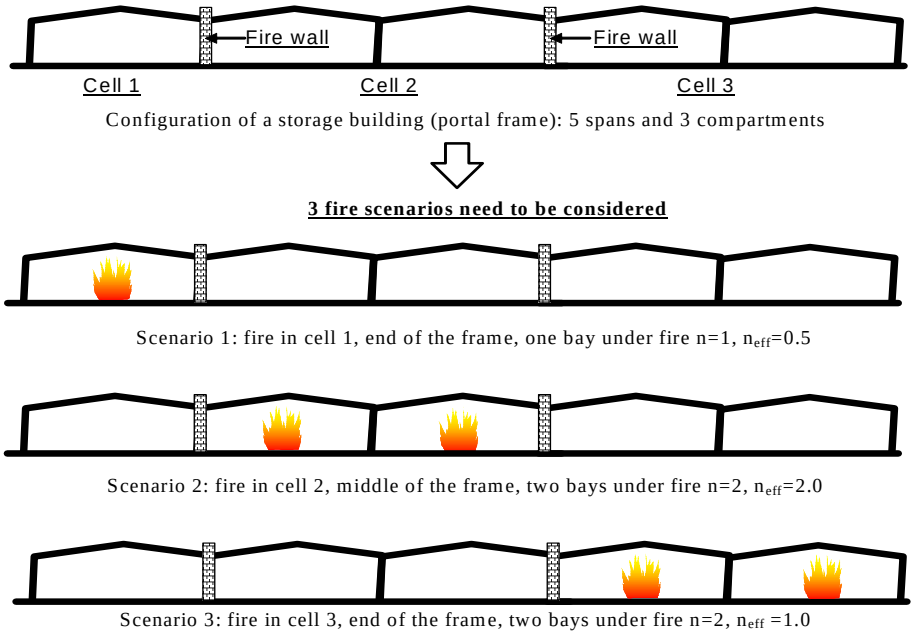


Gráfico 4-5 Posibles escenarios de incendio en un almacén con tres compartimentos

Fase 3 – Carga vertical [2] ***q***

$$q = G + 0.2\ S \qquad \text{Ecuación 4-7}$$

Donde:

G- es la carga permanente

S- es la carga de nieve en caso de incendio

[2] Nota: El valor de diseño de la carga aplicada en la situación de incendio "q" se calculará, si es necesario, según los coeficientes de combinación de carga definidos en los anexos nacionales correspondientes en lugar de utilizar la ecuación 4-7.

Fase 4 – Fuerza de tracción $\boldsymbol{F}$

$$F = c_p \;\; n_{eff} \;\; q \;\; l$$ Ecuación 4-8

donde:

l- es longitud del vano calentado

➢ Desplazamiento lateral:

Fase 1 – Factor de reducción relacionado con la pendiente de cubierta $\boldsymbol{c_{th}}$

⇒ Pórtico

$$c_{th} = \begin{cases} 0.01 & \text{for } 0\% \text{ slope} \\ 0.011 & \text{for } 5\% \text{ slope} \\ 0.015 & \text{for } 10\% \text{ slope} \end{cases}$$ Ecuación 4-9

⇒ Celosía

$$c_{th} = 0.009$$ Ecuación 4-10

Fase 2 – Rigidez lateral equivalente $\boldsymbol{K_i}$ de la parte fría de la estructura de acero

⇒ Si el sector de incendios se encuentra en el medio del edificio industrial, tal y como aparece ilustrado en el Gráfico 4-3 deberían calcularse K_1 y K_2 mediante uno de los métodos elásticos clásicos.

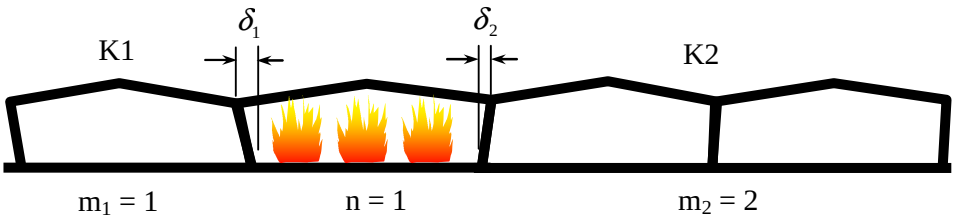


Gráfico 4-6 Incendio localizado en una celda en el medio de un pabellón de almacén

Aviso:

En estructuras de acero normales (distancia constante, incluso con perfiles de acero estándar de un tramo a otro), puede calcularse la rigidez lateral equivalente K_i de una forma aproximada según el número de tramos fríos m_i utilizando las siguientes relaciones:

Para $m_i = 1$ *:*

$$K_i = k \qquad \text{Ecuación 4-11}$$

Para $m_i \geq 2$ *:*

$$K_i = c\,k \qquad \text{Ecuación 4-12}$$

with

$$k = \frac{\alpha}{1+2\alpha}\,\frac{12EI_c}{(h+f)^3}$$

$$c = 1 + \sum_{i=2}^{m} \frac{i}{2}\,\frac{2\alpha+1}{1+2i\alpha} \qquad \text{Ecuación 4-13}$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_c}\,\frac{h+f}{l}\left(1-\frac{f}{0.6h}\right)$$

donde (como se indica en el Gráfico 4-4):

h – es la altura de las columnas

f – es el caballete

l – es la longitud del vano

I_b – es el segundo momento de la superficie de la columna

I_c – es el segundo momento de la superficie de la columna

E – es el módulo de elasticidad del acero a temperatura normal

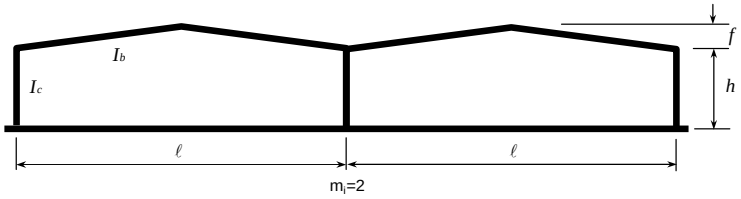


Gráfico 4-7 Definición de los parámetros de las partes frías

⇒ Si el sector de incendios se encuentra en el extremo de la nave industrial

K_2 deberá calcularse como en el incendio del compartimento central

K_1, que se define como la rigidez lateral del pórtico de acero del sector de incendio de acero, deberá calcularse de la siguiente manera:

$$K_1 = \begin{cases} \left.\begin{array}{ll} 0.065\,k & \text{for } n = 1 \\ 0.13\,k & \text{for } n = 2 \\ 0.13\,c\,k & \text{for } n > 2 \end{array}\right\} \text{for portal frame} \\ \\ \left.\begin{array}{ll} 0.2\,K_2 & \text{for } n = 1 \\ 0.3\,K_2 & \text{for } n \geq 2 \end{array}\right\} \text{for lattice frame} \end{cases}$$

Ecuación 4-14

donde k y c se calculan a partir de la Ecuación 4-13 con $m = n - 1$, con lo que n es el número de vanos calentadas tal y como se muestran en el Gráfico 4-5.

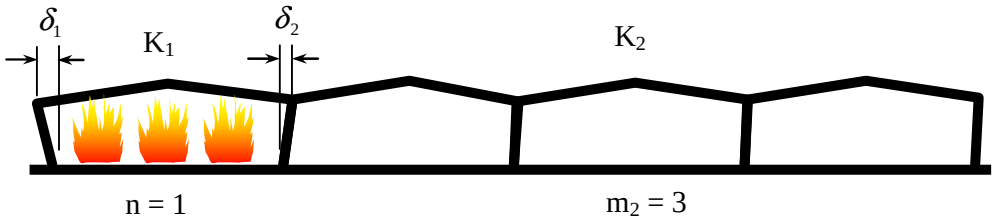


Gráfico 4-8 Fuego en un compartimento en el extremo del edificio de almacén

Fase 3 – Desplazamientos laterales δ_i en la fase de dilatación

$$\delta_i = \begin{cases} \dfrac{K_t}{K_i} c_{th} \sum_{i=1}^{n} l_i & \text{at the end of frame} \\ \\ \dfrac{c_p q}{K_i} \sum_{i}^{n} l_i & \text{in the middle of the frame} \end{cases}$$

Ecuación 4-15

donde:

n - es un número de vanos calentados

$K_t = \dfrac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$, con K_1, K_2 de rigidez equivalente en los desplazamientos laterales del pórtico de acero (Gráfico 4-8)

Fase 4 – Desplazamiento máximo $\delta_{max,i}$ inducido por la fuerza de tracción en la parte superior de columnas

$$\delta_{max,i} = F / K_i \qquad \text{Ecuación 4-16}$$

donde

F -es la fuerza de tracción calculada en la Ecuación 4-17

4.2.3. Múltiples vanos – muro cortafuegos paralelo a las estructuras principales – Pórticos y celosía

Pueden evitarse el riesgo de colapso hacia el exterior y el de colapso progresivo (entre diferentes sectores de incendios) simplemente con respetar algunas de las recomendaciones indicadas en la sección 6.2.

4.3. Cómo utilizan los valores

La fuerza de tracción, F, calculada en la parte superior del pórtico frío (Ecuación 4-8) debería utilizarse como carga horizontal adicional para la comprobación de estabilidad del pórtico que quede tras el incendio.

La comprobación de la estabilidad deberá llevarse a cabo considerando el acero a temperatura ambiente, pero en la situación de incendio según el anexo nacional del Eurocódigo (adecuado para la combinación de cargas y coeficientes).

Deberá utilizarse el desplazamiento lateral máximo calculado en la parte superior del pórtico frío para comprobar la estabilidad del muro cortafuegos y los elementos de fachada. El método de esta verificación depende del tipo de muro, de las uniones al pórtico, etc. Por lo tanto, no se incluye en el manual de diseño.

5. Software “LUCA”

5.1. Introducción

El software LUCA tiene como objetivo facilitar las labores de diseño y cálculo de los estudios de arquitectura e ingenierías.

Los métodos de cálculo que se presentan en el **Manual de diseño FS$^+$,** para verificar que los sectores de incendio de los edificios de almacenamiento cumplen con los criterios de seguridad (*sin colapso hacia el exterior ni colapso progresivo*), se implementan en el software.

Con esta sencilla herramienta, la verificación de la integridad del edificio industrial de una sola planta en caso de incendio resultará de fácil aplicación.

5.2. Descripción, Input y Output

Este software se suministrará en tres idiomas (español, francés e inglés). Sin embargo, el programa **FS$^+$** ha sido implementado para que el usuario sea capaz de utilizarlo fácilmente con otro idioma diferente. El usuario que desee trabajar con el programa redactado en otro idioma que no sean los anteriormente indicados, sólo tendrá que traducir una serie de términos y frases de un archivo que se facilitará con el software.

La ventana de inicio está configurada de tal manera que se propone la configuración del idioma (inglés, español y francés). Una vez realizada la selección haciendo clic en el idioma en cuestión, todo el software se redactará en dicho idioma, y aparecerá una segunda ventana.

Esta segunda ventana contiene el campo de aplicación y la descripción de como tratar los resultados obtenidos con el software.

En la tercera ventana el usuario debe elegir entre los diferentes tipos de estructura (sencillo, con perfiles laminados en caliente de sección transversal en H o I y con vigas y columnas de celosía en h o en I).

Una vez realizada la selección, aparecerá otra ventana con una relación de datos que son necesarios para los cálculos que tendrán que ser especificados por el usuario. Así, por ejemplo, el usuario tiene que indicar el tipo de perfil de las vigas y columnas, la longitud y altura de los pórticos, el número de vanos en el compartimento ante incendios y en la parte fría, la posición del sector de incendios, la del muro cortafuegos (paralelo o perpendicular al pórtico), el valor de diseño total de la carga en la cubierta (situación de incendio), etc.

Una vez facilitada esta información, aparece el botón "Siguiente” en la parte inferior de la ventana. Si se hace clic, aparece otra ventana con todos los cálculos, resultados (desplazamiento en la fase de expansión, desplazamientos en la fase de colapso, fuerzas de tracción en la parte superior de las columnas, etc.).

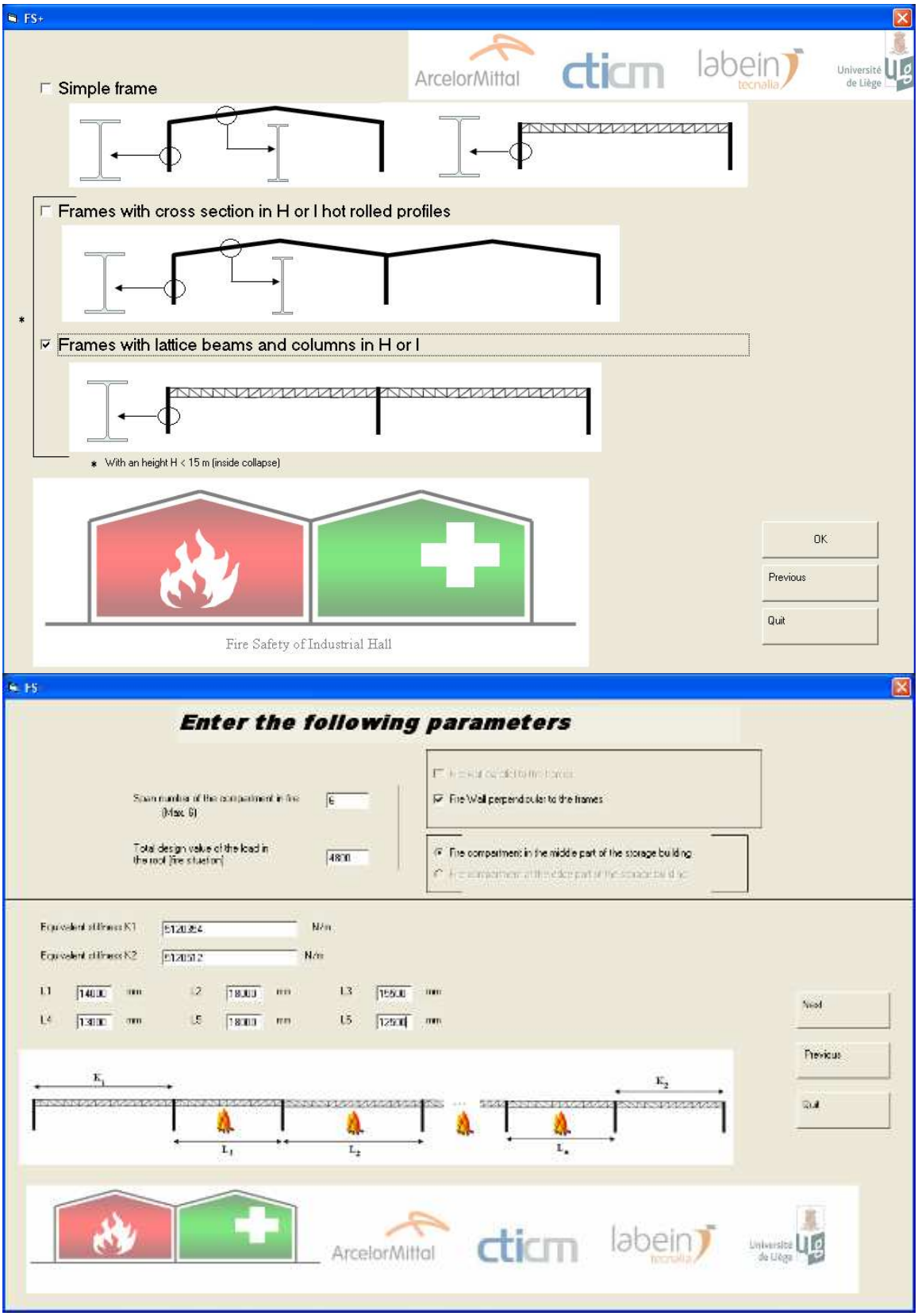
Todos los resultados se ilustran con imágenes esquemáticas en aras de una más fácil comprensión y control de datos.

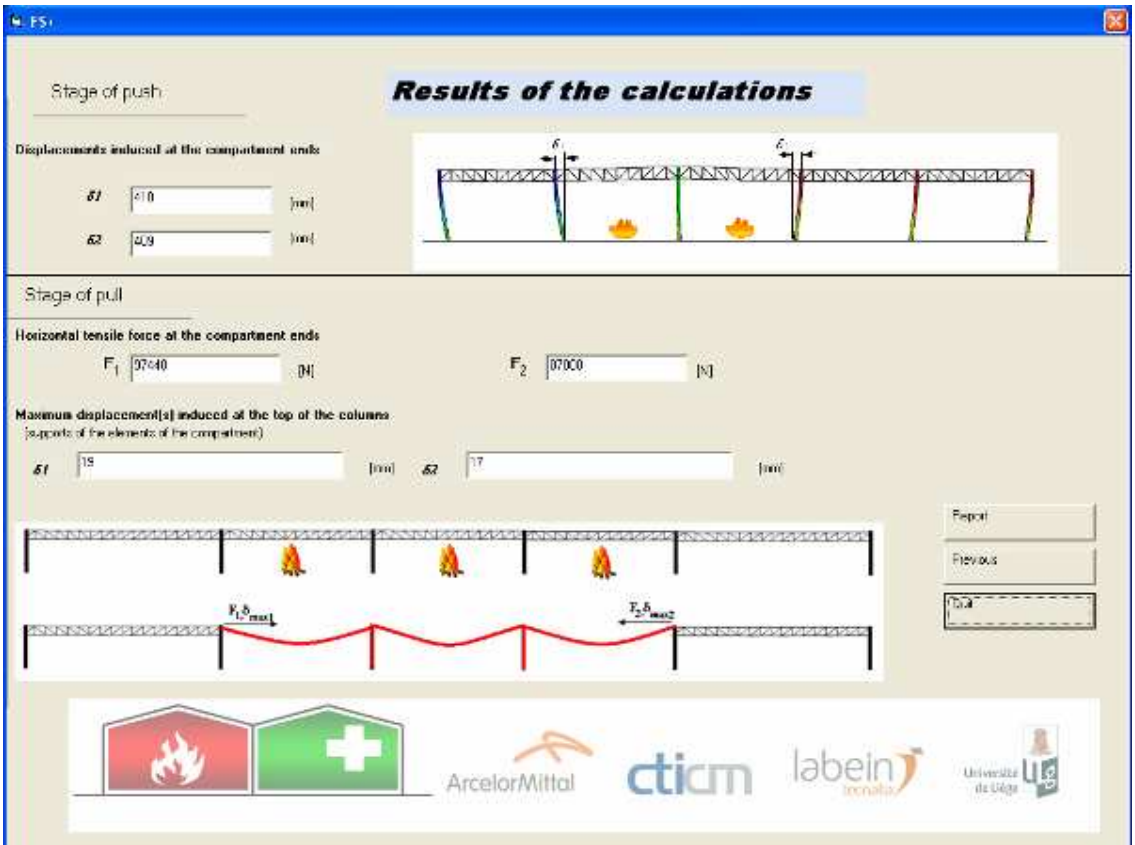
5.3. Informes

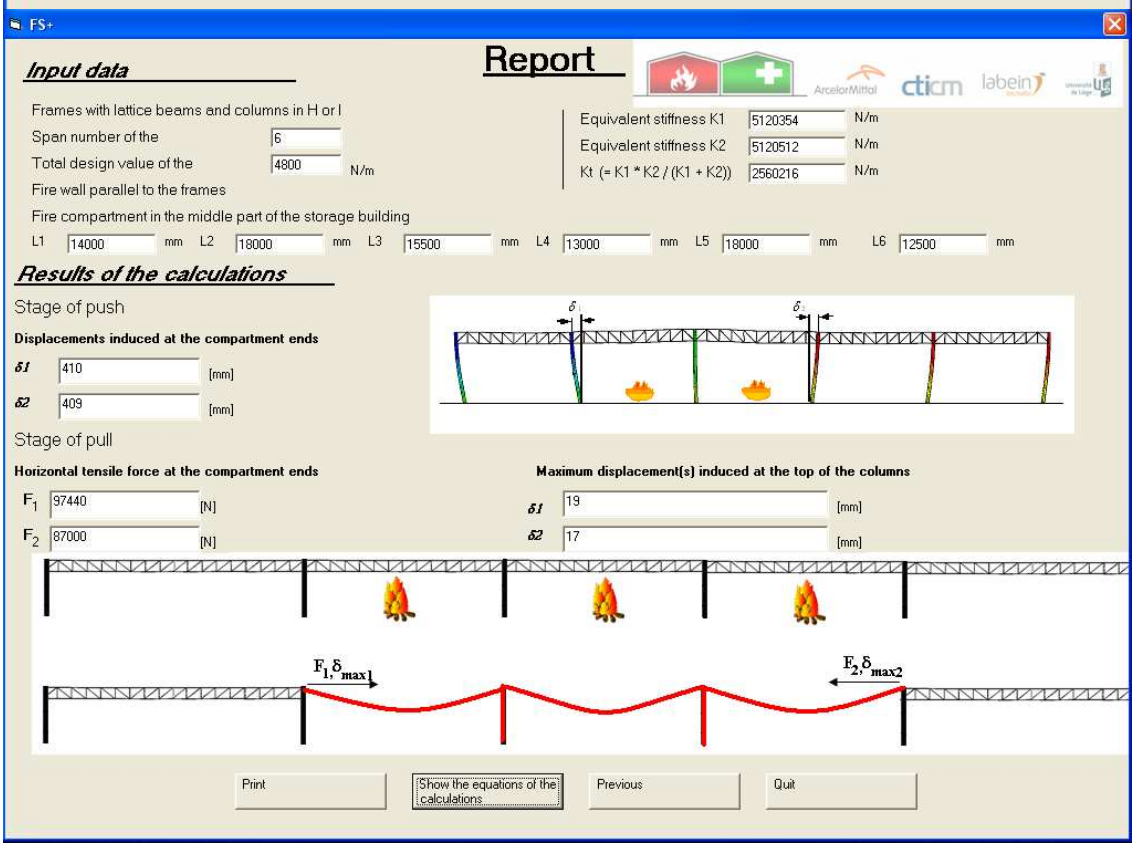
Pulsando en el botón "Imprimir", el software elaborara un documento en formato pdf. Este documento tendrá un informe del cálculo desarrollado. El software identificará un “pdfwriter” para producir el informe en formato electrónico, o bien, si el ordenador del usuario no tiene el “pdfwriter”, imprimirá directamente el informe en una impresora por defecto. Este documento reunirá los datos que han sido implementados, los resultados intermedios utilizados para los cálculos finales, los resultados finales y un resumen de las ecuaciones utilizadas para los cálculos.

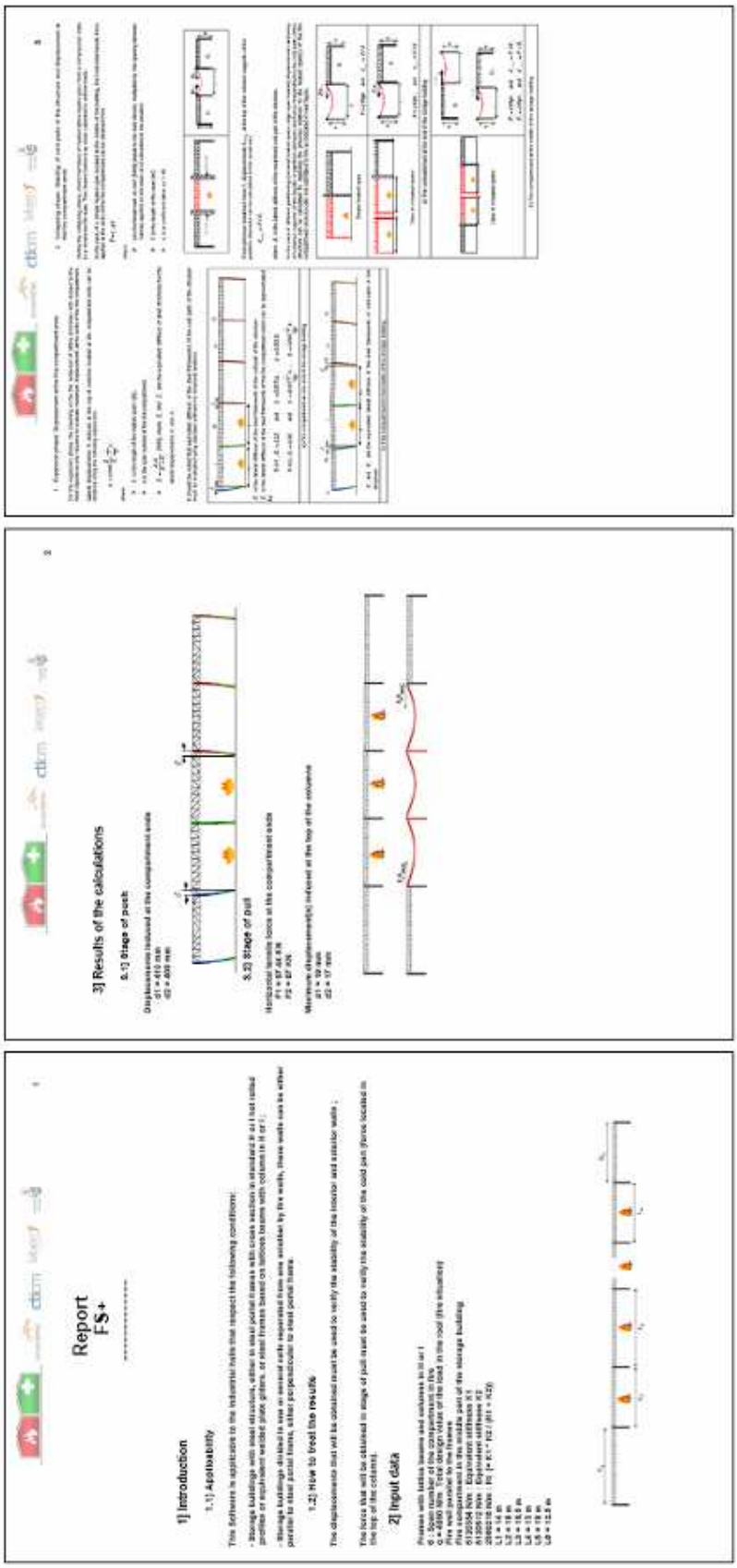
También se puede abrir directamente el resumen de este **Manual de diseño** haciendo clic en un botón con el nombre ‘ver las ecuaciones de los cálculos’.

5.4. Ventanas del software


FS+
Simple frame
Frames with cross section in H or I hot rolled profiles
Frames with lattice beams and columns in H or I
* With an height H < 15 m (inside collapse)
Fire Safety of Industrial Hall
OK
Previous
Quit
Enter the following parameters
Fire Wall perpendicular to the frames
Fire compartment in the middle part of the storage building
Next
Previous
Quit


FS+
Stage of push
Results of the calculations
Displacements induced at the compartment ends
δ1
410
[mm]
δ2
409
[mm]
Stage of pull
Horizontal tensile force at the compartment ends
F1
97440
[N]
F2
87000
[N]
Maximum displacement(s) induced at the top of the columns
(supports of the elements of the compartment)
δ1
19
[mm]
δ2
17
[mm]
Report
Previous
Quit
ArcelorMittal
cticm
labein


FS+
Input data
Report
Frames with lattice beams and columns in H or I
Span number of the
6
Total design value of the
4800
N/m
Fire wall parallel to the frames
Fire compartment in the middle part of the storage building
Equivalent stiffness K1
5120354
N/m
Equivalent stiffness K2
5120512
N/m
Kt (= K1 * K2 / (K1 + K2))
2560216
N/m
L1
14000
mm
L2
18000
mm
L3
15500
mm
L4
13000
mm
L5
18000
mm
L6
12500
mm
Results of the calculations
Stage of push
Displacements induced at the compartment ends
δ1
410
[mm]
δ2
409
[mm]
Stage of pull
Horizontal tensile force at the compartment ends
F1
97440
[N]
F2
87000
[N]
Maximum displacement(s) induced at the top of the columns
δ1
19
[mm]
δ2
17
[mm]
F1,δmax1
F2,δmax2
Print
Show the equations of the calculations
Previous
Quit


Report
FS+
1] Introduction
1.1) Applicability
1.2) How to find the results
2] Input data
3] Results of the calculations
3.1) Stage of push
3.2) Stage of pull

6. Recomendación de diseño

Se deben poner en práctica las siguientes recomendaciones de diseño para obtener el colapso de la estructura de acero en caso de incendio sin ocasionar daño alguno al muro cortafuegos.

6.1. Muros cortafuegos

Se pueden aplicar las recomendaciones propuestas a continuación a cualquier tipo de muro cortafuegos, como de hormigón ligero, hormigón armado, bloque hueco, láminas de acero con aislante, pladur, ladrillos o construido con cualquier otro material. Sin embargo, el muro cortafuegos debe instalarse de la forma adecuada para seguir siendo compatible con los desplazamientos laterales del pórtico de acero en caso de incendio.

6.1.1. Unión de los elementos de fachada y partición a la estructura de acero

Para evitar fallos en los elementos de partición (muros cortafuegos) y elementos de fachada por desplazamientos laterales significativos de la estructura de acero, es necesario garantizar que dichos elementos están unidos con solidez a la estructura.

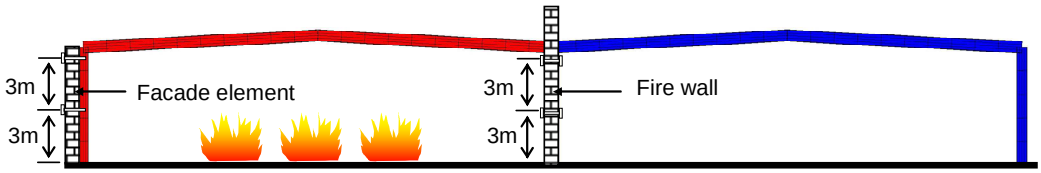


Gráfico 6-1 Detalle de diseño de los elementos de separación

Una de las soluciones consiste en fijar estos elementos con las columnas de la estructura portante por medio de sistemas de unión adecuados distribuidos de manera uniforme en toda la altura del edificio, dispuestos en columnas y separados con una profundidad máxima específica. Este valor máximo será determinado por el fabricante de los muros, y se recomienda un valor máximo de 3 m para muros fabricados in situ (hormigón, albañilería…).

Además, los elementos de fijación utilizados para conectar muros cortafuegos y elementos de fachada a las columnas deben diseñarse para que resistan las fuerzas producidas por el viento y el peso propio de los elementos de partición bajo el efecto del desplazamiento lateral inducido por el pórtico de acero del edificio de almacén. Si estos elementos de fijación son de acero y están desprotegidos contra el fuego, cada uno de ellos deberá ser diseñado a temperatura ambiente para que soporte la siguiente fuerza de extracción:

$$F = W + 5\ p\ \delta_i\ d / n$$ Ecuación 6-1

donde

W – es la carga del viento característica utilizada para el diseño a temperatura ambiente y aplicada a cada elemento de fijación.

p – es el propio peso del muro.

d – es la distancia entre pórticos.

n – es el número total de elementos de fijación (uniformemente distribuidos en toda su altura).

δ_i - es el desplazamiento lateral de la estructura de acero.

6.1.2. Estructuras de acero junto a los elementos de separación

Los elementos que podrían dañar los muros cortafuegos (que se encuentran cerca de estos muros o los atraviesen) deben permanecer estables con un valor de resistencia al incendio que sea, al menos, igual al de los muros.

- **Se puede calcular fácilmente la protección ante incendios aplicada a <u>columnas y vigas</u> con una sección de acero expuesta en las cuatro caras, durante un tiempo de exposición de una hora y un calentamiento limitado a una temperatura de 500° C.**
- **Puede calcularse el espesor de la protección ante incendios aplicada a las <u>vigas de celosía</u> asumiendo: una sección de acero expuesta por las cuatro caras a las barras de cordón inferiores, elementos verticales y diagonales, y tres caras de los cordones superiores, durante una exposición estándar al fuego de una hora, con un calentamiento limitado a 500º C.**

6.1.3. Sistema de cubierta por encima de los elementos de separación

El comportamiento de cubierta será independiente a los otros sistemas estructurales.

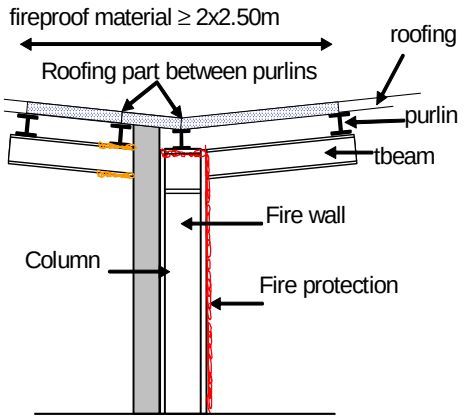


Gráfico 6-2 Protección de la cubierta

- **Correas a ambos lados del muro cortafuegos.**
- **Detener la cubierta a ambos lados del muro cortafuegos.**
- **Cubierta con material ignífugo, con una anchura de 2,50 m a cada lado del muro.**
- **Otra posibilidad sería la de permitir que el muro excediera la altura de la cubierta hasta una distancia específica.**

6.2. Muros cortafuegos perpendiculares a los pórticos de acero

A continuación se presentan las recomendaciones generales relativas a la protección ante incendios de columnas, vigas y correas:

- **Las COLUMNAS que se encuentren en el interior o cerca de un muro deberán estar protegidas contra incendios.**
- **Las VIGAS que atraviesan los muros deberán estar protegidas hasta una distancia específica del muro. En el caso de pórticos dicha longitud mínima deberá alcanzar los 200 mm, y en celosías, una longitud mínima igual a la distancia que separa el muro del primer elemento vertical.**
- **Las CORREAS nunca deben atravesar los muros, con lo que no es necesario que estén protegidas contra incendios.**

6.2.1. Muro cortafuegos entre las alas de la columna

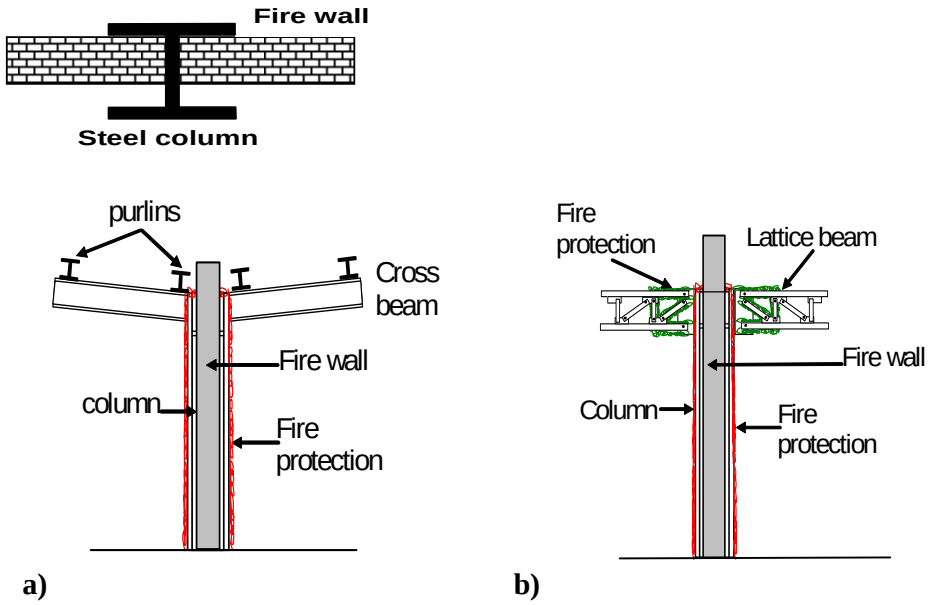


Gráfico 6-3Protección ante incendios necesaria para la zona próxima al muro, insertada entre las alas de la columna a) pórtico b) celosía

Aparte de la columna, las estructuras reticulares de acero junto al muro cortafuegos deben ir protegidas en una distancia mínima igual a la distancia que separa el muro del primer elemento vertical de la celosía para evitar cualquier posible desorden inducido por el fallo de la viga de celosía que se encuentra junto al muro cortafuegos

6.2.2. Muro cortafuegos unido al ala de la columna

Si el muro cortafuegos está construido junto al ala de la columna debe aplicarse una protección ante incendios a la viga para evitar daños en el muro por el colapso de la viga adyacente al muro cortafuegos:

- **hasta una longitud mínima de 200 mm. a partir del extremo del muro, para el pórtico de acero.**
- **hasta una longitud mínima igual a la distancia que separa el muro de su elemento vertical en la celosía.**

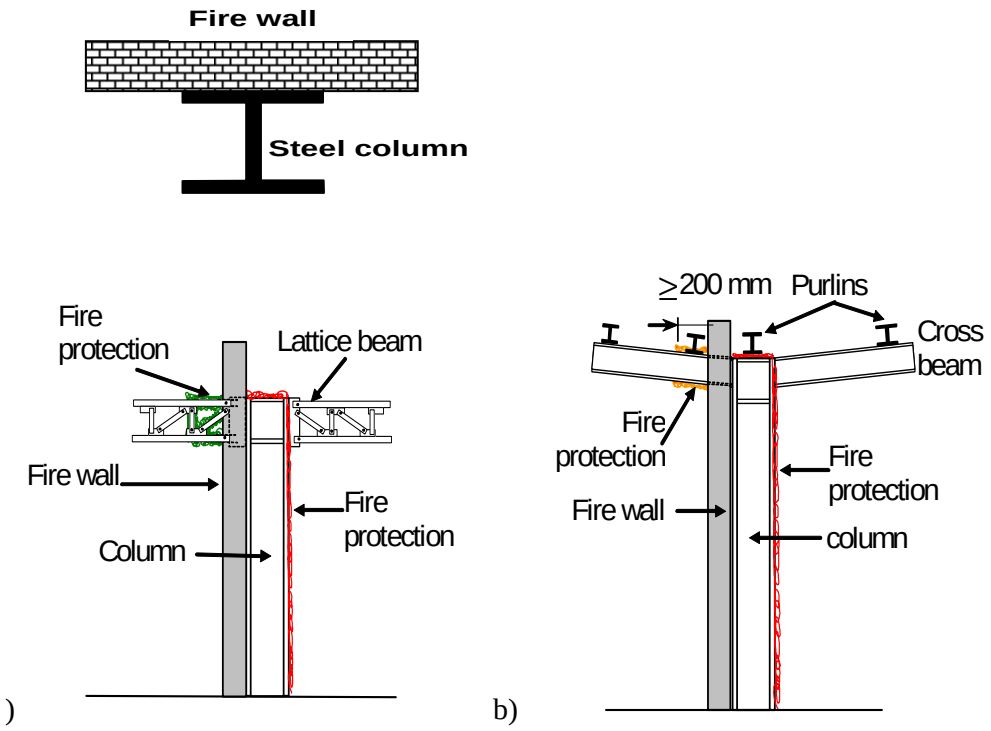


Gráfico 6-4 Protección ante incendios necesaria para vigas y columnas junto al muro cortafuegos fijo al ala de la columna a) celosía b) Pórtico

6.3. Muros cortafuegos paralelos a los armazones de acero

- **Las COLUMNAS que se encuentren en el interior o cerca de un muro deberán estar protegidas contra incendios**
- **Las VIGAS que se encuentren en el interior o cerca de un muro deberán estar protegidas contra incendios.**
- **Las CORREAS, al ser transversales a los muros, es necesario proteger contra incendios solo las correas continuas (a una distancia de 200 mm. del muro) o diseñar un sistema de correas no-continuas.**

6.3.1. Muro cortafuegos en el plano del pórtico de acero

En esta situación, deben protegerse la viga y la columna contra incendios.

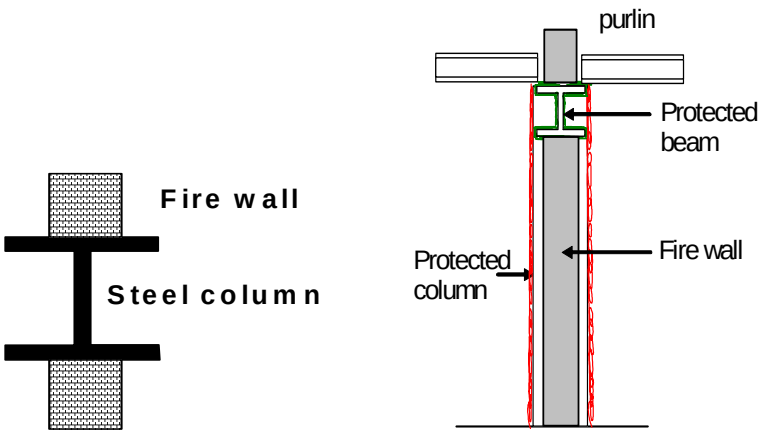


Gráfico 6-5 Protección ante incendios de la columna cuando el muro cortafuegos se encuentre en el plano del pórtico

6.3.2. Muro cortafuegos unido al pórtico de acero

Los elementos de acero que atraviesen un muro cortafuegos no deberán afectar al rendimiento ante incendios del este (estabilidad, cualidades de aislamiento térmico…). Así pues, es necesario considerar soluciones de diseño para que el colapso de la estructura de cubierta más próxima al muro cortafuegos no de lugar al fallo del muro.

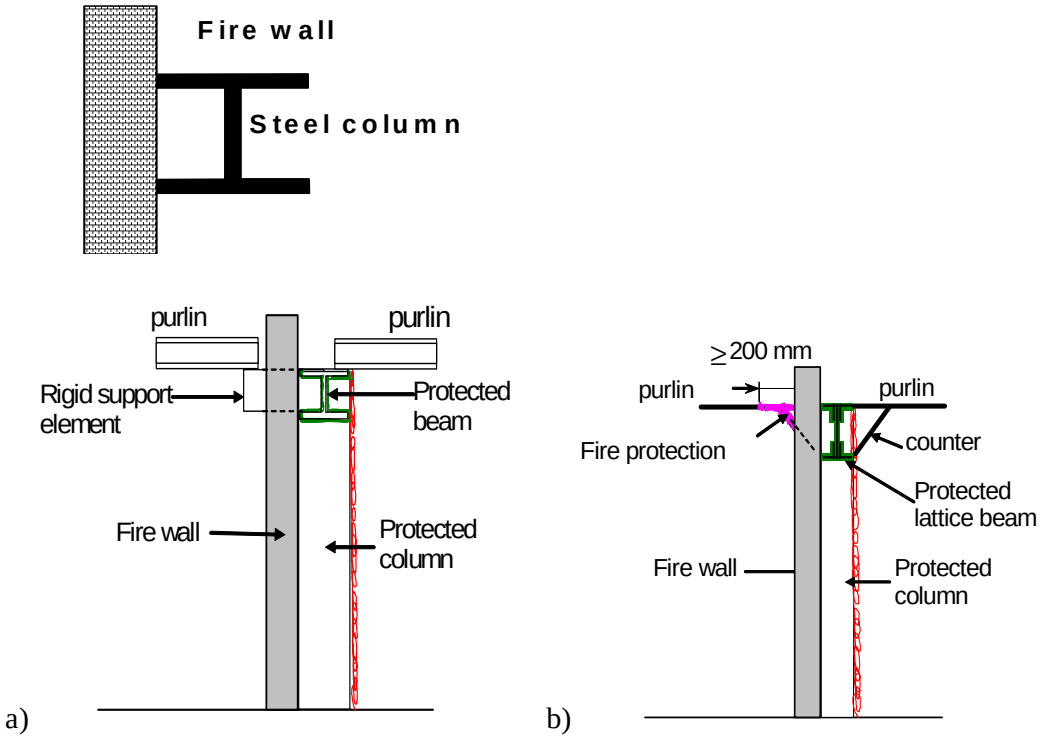


Gráfico 6-6 Detalles de diseño de los elementos junto al muro cortafuegos

En el caso del pórtico, se recomienda lo siguiente:

- **cuando el muro cortafuegos esté insertado en el pórtico, los elementos rígidos de acero fijados a las vigas deberán ir insertados a través de la pared para sujetar las correas;**
- **en el caso de las correas continuas, se deberá aplicar una protección ante incendios a las correas a ambos lados del muro, a una longitud mínima de 200 mm. del muro.**

En el caso de una celosía, se recomienda lo siguiente:

- **protección de correas y contrafuertes junto al muro hasta una longitud mínima correspondiente con la distancia desde el muro al contrafuerte/correa de unión cuando la estructura de cubierta esté compuesta por correas;**
- **aplicación de protección ante incendios a vigas, situada en la parte del muro, hasta una longitud mínima correspondiente a la distancia desde el muro hasta los primeros elementos verticales de la viga cuando la estructura del techo esté hecha de vigas de celosía.**

6.3.3. Muro cortafuegos entre dos pórticos de acero

Las vigas de celosía no permiten la inserción de un muro continuo hasta la cubierta, con lo que una posible solución sería subdividir la construcción en dos estructuras independientes y la inserción del muro cortafuegos entre ellos.

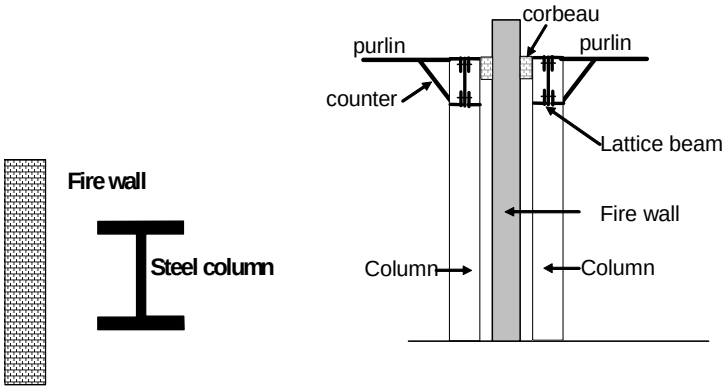


Gráfico 6-7 Muro cortafuegos entre dos pórticos

6.4. Recomendaciones para el sistema de arriostramiento

6.4.1. Muros cortafuegos perpendiculares a los pórticos de acero

Los requisitos de "no-colapso" hacia el exterior en la dirección longitudinal (perpendicular a los pórticos de acero) pueden ser cumplidos utilizando los sistemas de arriostramiento apropiados. De una forma específica, cada compartimento debe tener su propio sistema de arriostramiento (consulte el Gráfico 6-8). Así pues, habrá que adoptar las siguientes soluciones:

- **utilizar un sistema de arriostramiento vertical adicional en cada lado del muro cortafuegos. Este sistema de arriostramiento deberá ser diseñado para soportar una carga lateral como del 20 % de la carga normal del viento (según la combinación de cargas en situación de incendio) calculado para una zona de cubierta "S" limitada a la amplitud de solo un tramo ($S = h \times l$);**
- **duplicar el arriostramiento a ambos lados de los muros cortafuegos o proteger contra incendios los sistemas de arriostramiento precedentes.**

Sin embargo, estos sistemas de arriostramiento serán compatibles con un diseño a temperatura ambiente de forma que no ocasionen problemas, por ejemplo, por la dilatación de juntas.

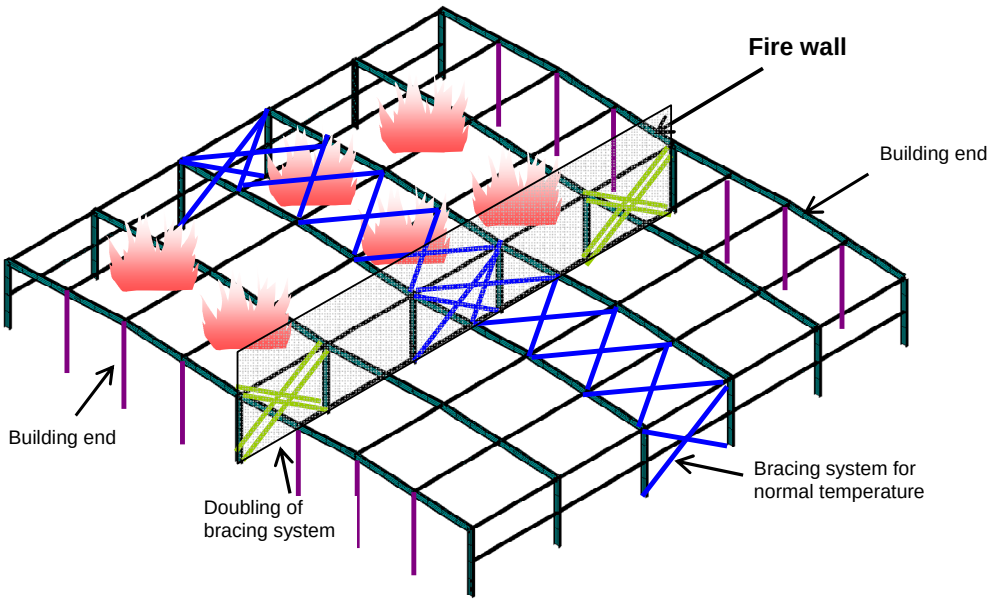


Gráfico 6-8 Sistemas de arriostramiento en el extremo longitudinal del almacén

6.4.2. Muros cortafuegos paralelos a los pórticos de acero

Los sistemas de arriostramiento (verticales entre columnas u horizontales en la cubierta) suelen estar normalmente situados en el interior del mismo compartimento. Cuando los muros cortafuegos son paralelos a los pórticos de acero, es necesario instalar un sistema de arriostramiento adicional (vertical y horizontal en la cubierta) en cada compartimento, de manera que el colapso de la estructura de acero calentada no conduzca a la inestabilidad de todo el edificio (Gráfico 6-9). Todo sistema de arriostramiento debe ser diseñado para soportar una carga uniforme horizontal tomada como:

$$F = 1.19\, q \qquad \text{Ecuación 6-2}$$

donde:

$$q = G + 0.2S \qquad \text{Ecuación 4-7}$$

Cuando el muro cortafuegos forma parte del pórtico de acero, los elementos de los sistemas de arriostramiento deben ir fijos a los elementos de acero rígidos implementados para sujetar las correas a cada lado del muro.

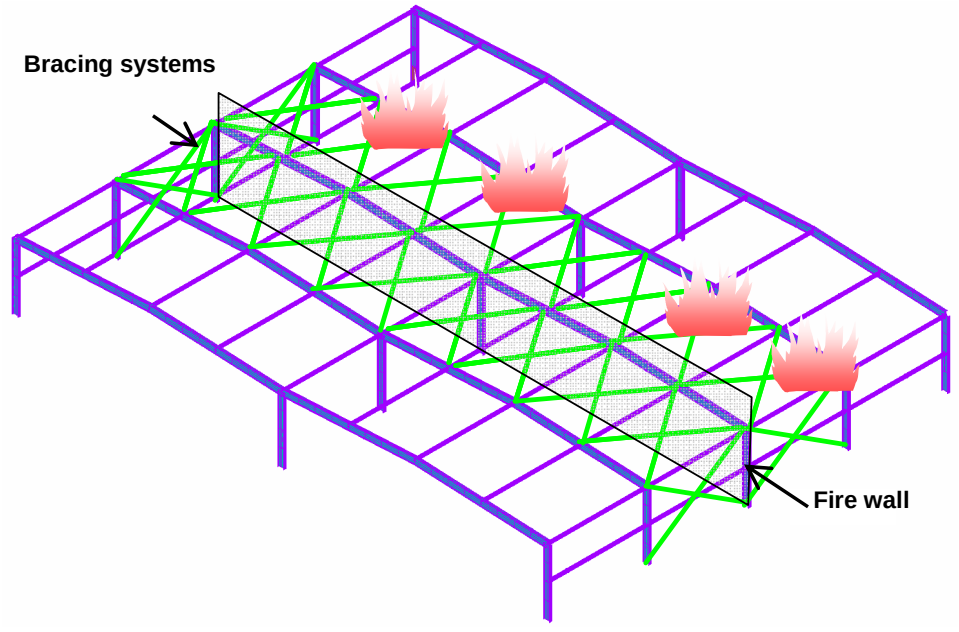


Gráfico 6-9 Sistema de arriostramiento de edificios de almacén

6.5. Recomendaciones adicionales de diseño para pórticos de acero de un vano

Estudios paramétricos [6, 11, 12] realizados con el modelo numérico avanzado SAFIR [5, 10] muestran que el colapso podría producirse en determinadas condiciones hacia el exterior en el caso de edificios de almacén con pórtico sencillo (Gráfico 6-10).

En estos casos, el modo de fallo hacia el exterior puede evitarse aplicando uniones entre columnas y cimentación, así como aumentado la capacidad de resistencia de la cimentación, una resistencia última a temperatura ambiente. La resistencia deberá ser de tal magnitud que las cargas verticales correspondientes a la situación ante incendios puedan ser realizadas con un momento de flexión adicional igual al 20% del momento plástico último de la columna a temperatura ambiente.

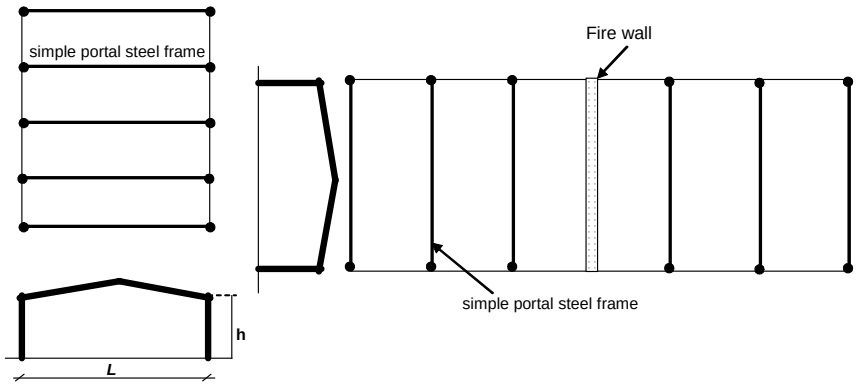


Gráfico 6-10 Edificios industriales con armazón de acero de portal simple

7. Bibliografía

[1] LENAS – Logiciel de simulation du comportement mécanique des structures métalliques soumises à un incendie – Article de la Revue Construction Métallique n°3 – 1999.

[2] N. AYME et D. JOYEUX, "Méthode de vérification du comportement au feu d'entrepôts en acier", revue Construction Métallique, n°1,2005.

[3] N. AYME et D. JOYEUX, "Guide d'application d'une méthode de vérification du comportement au feu de la structure d'entrepôt suivant l'arrêté du 5 août 2002", CTICM, INSI - 04/277 - NA/PB, 2004.

[4] XP ENV 1993-1-2 - Eurocode 3 "Calcul des structures en acier" et Document d'Application Nationale – Partie 1-2 : Règles générales – calcul du comportement au feu.

[5] ANSYS, "ANSYS User's Manual for Revision 8.0 – Volume IV – Theory", Swanson Analysis SYSTEM, INC., Houston USA, 1992.

[6] O. VASSART, L-G. CAJOT, B. ZHAO, J. DE LA QUINTANA, J. MARTINEZ DE ARAGON, A. GRIFFIN, "Fire Safety of Industrial Halls and Low-rise Buildings : Realistic Fire Design, Active Safety Measures, Post-local failure simulation and Performance Based Requirements", ECSC Research 7210-PA/PB/PC/PD/378.

[7] O'MEAGHER, AJ, BENNETTS, ID, DAYAWANSA, PH AND THOMAS, IR, "Design of Single Storey Industrial Buildings for Fire Resistance" , Journal of the Australian institute of Steel Construction, Vol. 26, n°2, May 1992.

[8] O'MEAGHER, AJ, BENNETTS, ID, DAYAWANSA, PH AND THOMAS, IR, "Fire protection of steel framing" AUBRCC Research project AP25 BHP Research & New Technology, BHPRML/CM7/90/001, December 1990.

[9] NFPA 221, "Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls", 2000.

[10] SAFIR Software, "A Computer Program for Analysis of Structures Submitted to the Fire", Université de Liège, Département Structures du Génie Civil, Service Ponts et Charpentes; 2000.

[11] K. PILLANT, J-P MUZEAU, O. VASSART, "Etude par éléments finis de la sécurité au feu des halls de stockage" CUST, Département Génie Civil; 2004

[12] P. HONORE, P. SPEHL, E. SCHMIT, O. VASSART, "Quantification de l'effondrement en cas d'incendie, d'une structure métallique sur les compartiments au feu voisins, pour un bâtiment d'un seul niveau" Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées; 2005.