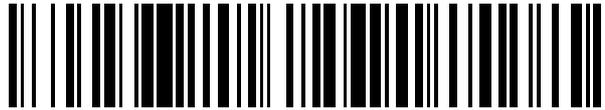


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 131**

21 Número de solicitud: 201830242

51 Int. Cl.:

<b>E04B 1/19</b>	(2006.01)
<b>E04B 1/94</b>	(2006.01)
<b>A62C 2/06</b>	(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**20.12.2016**

30 Prioridad:

**20.12.2016 ES P201631627**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**18.04.2018**

62 Número y fecha presentación solicitud inicial:

**P 201631627 20.12.2016**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA (100.0%)  
Avenida Cervantes, Nº 2  
29071 Málaga ES**

72 Inventor/es:

**HEREDIA CORTÉS, Francisco Javier y  
LÓPEZ TABOADA, Carlos**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE CONTROL DEL COLAPSO DE ESTRUCTURAS DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES EN CASO DE INCENDIO MEDIANTE DEBILITACIÓN VÍA DISMINUCIÓN DE LA SECCIÓN DE PERFIL**

57 Resumen:

Procedimiento de control del colapso de estructuras de establecimientos industriales en caso de incendio mediante debilitamiento vía disminución de la sección de perfil. El objeto de la invención es un procedimiento que permite, mediante la implementación de una debilitación determinada en un punto concreto, o en varios, de la estructura del establecimiento en cuestión, controlar el colapso del mismo en caso de incendio, y para ello el procedimiento comprende (1) la caracterización del establecimiento industrial, que comprende la determinación de las acciones o cargas que actúan sobre la estructura de dicho establecimiento; (2) el diseño y cálculo de la debilitación a practicar en la estructura de dicho establecimiento industrial, en especial tomando en consideración la debilitación mediante disminución de la sección de perfil de la estructura; y (3) la implementación de la debilitación seleccionada.

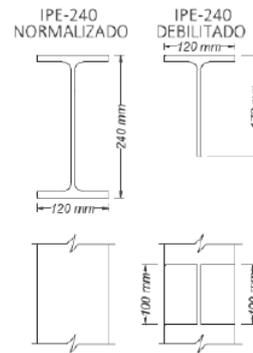


Figura 19

**DESCRIPCIÓN**

**PROCEDIMIENTO DE CONTROL DEL COLAPSO DE ESTRUCTURAS DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES EN CASO DE INCENDIO MEDIANTE DEBILITACIÓN VÍA DISMINUCIÓN DE LA SECCIÓN DE PERFIL**

5

**SECTOR DE LA TÉCNICA**

10 La presente invención se encuadra en el sector de la construcción, más concretamente en el ámbito de las medidas de protección contra incendios en establecimientos de uso industrial.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

15 Actualmente, las medidas de protección contra incendios en establecimientos de uso industrial vienen reguladas, en España, por el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales.

En el citado Reglamento, se clasifican los edificios industriales según su Configuración y su Ubicación respecto a su entorno, creándose para los establecimientos ubicados en edificio, tres tipos:

20

- Configuración tipo A: Naves adosadas a otras con estructura compartida.
- Configuración tipo B: Naves adosadas a otras sin estructura compartida.
- Configuración tipo C: Edificio aislado con una distancia superior a 3 m del resto de edificios.

25

Las medidas de protección contra incendios para una nave tipo A son más exigentes que para una del tipo B, y a su vez, las medidas del tipo B son más exigentes que las del tipo C. Esto provoca que para que una nave tipo A, y en particular si se pretende que cumpla con lo exigido en la normativa, ya sea de antigua como de nueva construcción, la implantación de las medidas de protección contra incendios requiera de una gran inversión económica.

30

Como bien es sabido, en la mayoría de los polígonos industriales, el tipo de construcción que más predomina es el tipo A, pues normalmente la ejecución de dichos edificios se hace en grupos, realizando una estructura común para un conjunto de naves.

Pues bien, el procedimiento objeto de la presente invención tiene como finalidad, en esencia, lograr que el comportamiento estructural de un edificio industrial tipo A se ajuste al correspondiente a un edificio industrial tipo B, reduciéndose por tanto las necesidades, y

35

exigencias legales, en lo referente a las medidas de protección contra incendios a implantar en dichos establecimientos industriales, así como abriéndose la puerta a situar los mismos en ubicaciones no permitidas para edificaciones tipo A.

## 5 EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

Es objeto de la presente invención un procedimiento de control del colapso en caso de incendio de estructuras de establecimientos industriales que comprende las siguientes etapas:

- 10 1. Caracterización del establecimiento industrial cuyo colapso en caso de incendio se desea controlar.
2. Diseño y cálculo de la debilitación a practicar en la estructura de dicho establecimiento industrial.

### 1. Etapa de caracterización

15

En una realización preferida del procedimiento objeto de la invención, la etapa de caracterización del establecimiento industrial comprende la obtención de información sobre su configuración y su ubicación respecto a su entorno, en particular información de su geometría, de los perfiles de los que consta la estructura del establecimiento (sección y materiales), y de su ubicación geográfica, incluidas las correspondientes zonas eólica y climática. En una realización aún más preferida, dicha etapa de caracterización del establecimiento industrial comprende además la determinación del nivel de riesgo intrínseco del establecimiento industrial en función de la densidad de carga de fuego ponderada o corregida. En cualquiera de los casos, dicha información puede ser obtenida bien experimentalmente, mediante la observación y el uso de las herramientas y métodos que correspondan, bien a partir de fuentes de documentación en las que dicha información está disponible, bien combinando fuentes documentales con determinaciones experimentales.

25

En una realización aún más preferida, la etapa de caracterización del establecimiento industrial comprende la obtención de información sobre las acciones o cargas que actúan sobre la estructura de dicho establecimiento, especialmente las actuantes sobre paramentos verticales y cubiertas. En una realización aún más preferida, dichas acciones comprenden:

30

- Cargas permanentes: Peso propio de todos los elementos (estructura, fachadas, cubiertas, anclajes, puertas, etc.).
- Sobrecarga de nieve: Acción sobre la cubierta que, en un terreno horizontal, viene determinada por la altitud y por la zona de clima invernal.
- Acción o carga del viento: Acción sobre las cubiertas y paramentos.

35

- Sobrecarga de uso: Toma en consideración el peso de las personas sobre la cubierta, por ejemplo cuando suben a ésta para realizar tareas de mantenimiento.
- Acción o carga sísmica: Su valor depende directamente de la masa del edificio.

5 Dicha información puede ser obtenida bien de forma automatizada, mediante el uso de algún programa de cálculo para obtener acciones en estructuras (por ejemplo, un programa que determine automáticamente los valores de las acciones a aplicar, definiendo el usuario, previamente, el conjunto de cargas que actúan sobre la superficie); bien de forma no automatizada, mediante el cálculo de las cargas, con la ayuda del Código Técnico de la Edificación (CTE), y su descomposición sobre las correas y pilares en forma de cargas lineales.

10 En una realización preferida, la determinación de la acción del viento sobre un paramento vertical o cubierta comprende la determinación de:

- Presión dinámica, dependiente de la ubicación geográfica del establecimiento;
- coeficiente de exposición, dependiente de la altura del edificio y del grado de aspereza del entorno, cuyo valor es siempre mayor que la unidad, variando fuertemente con la altura; y
- coeficiente de presión, que determina el sentido del viento (un valor positivo indica que el viento ejerce una presión sobre la superficie; un signo negativo indica succión), que, a su vez y en una realización más preferida, se descompone en:
  - Coeficiente de presión exterior, dependiente de la forma de la cubierta o paramento estudiado; y
  - coeficiente de presión interior, dependiente de la esbeltez del edificio y de la ubicación de los huecos de éste. Este coeficiente resta al anterior, y considera la acción del viento en el interior del edificio, entendiéndose que hay huecos abiertos en la envolvente del mismo.

25 En una realización aún más preferida, la determinación de la acción del viento sobre un paramento vertical o cubierta se realiza tomando en consideración las tres direcciones del viento siguientes:

- 30 ▪ Viento +X: Correspondiente a la dirección paralela a los pórticos, determinará la carga más importante de viento en cubierta y en pilares laterales. En caso de estructuras no simétricas, es necesario plantear el viento en  $-X$ .
- Viento +Y: Viento perpendicular a la fachada frontal, que servirá para comprobar el pórtico hastial frontal y los arriostramientos.
- 35 ▪ Viento  $-Y$ : Igual que el anterior, pero sobre la fachada posterior.

En dicha realización aún más preferida en la que se toman en consideración las tres direcciones posibles del viento, el cálculo del viento (+X) en paramentos verticales suponiendo huecos cerrados, carga que actúa sobre las cuatro caras del edificio, comprende la determinación de:

- 5
- Presión dinámica,
  - coeficiente de exposición, dependiente de la altura media del cerramiento y del grado de aspereza; y
  - coeficiente de presión, dependiente del paramento que se trate, y pudiéndose distinguir hasta entre tres zonas o regiones diferentes en el caso de las fachadas laterales, en
- 10 cuyo caso es posible adoptar un único coeficiente de presión por paramento, calculado como la media ponderada de los coeficientes de cada región, esto es: fachada enfrenteada, fachada opuesta, y fachadas laterales.

En dicha realización aún más preferida, el cálculo del viento (+X) en paramentos verticales suponiendo huecos abiertos, supuesto en el que actúa la presión interior, es preciso determinar, además de la presión dinámica y el coeficiente de exposición, el coeficiente de presión interior, dependiente de la esbeltez de la nave, y el porcentaje de huecos que están a succión (o en presión) cuando el viento toma la dirección +X. Dicho coeficiente de presión interior puede calcularse, como en el caso del coeficiente de presión en el caso de viento (+X) en paramentos

20 verticales suponiendo huecos cerrados, separadamente para (1) fachada enfrenteada, (2) fachada opuesta, y (3) fachas laterales.

En dicha realización aún más preferida, el cálculo del viento (+X) en cubiertas con huecos cerrados es preciso determinar además de la presión dinámica, el coeficiente de exposición, que en este caso es dependiente de la altura media de la cubierta; así como dos coeficientes

25 de presión por faldón, uno negativo y otro positivo, que pueden combinarse entre sí para generar hasta un total de 4 hipótesis de carga de viento en cubiertas, dividiéndose las cubiertas en 5 regiones: 3 en el faldón a barlovento, y 2 en el faldón a sotavento. Dichos coeficientes de presión son dependientes de la longitud de la nave, de las alturas de pilares, de la longitud de luz, y del porcentaje de pendiente, se calculan, conforme a lo anterior, tanto en succión como

30 en presión, y tanto a barlovento como a sotavento, resultando cuatro coeficientes de presión que a su vez determinan cuatro valores de carga de viento, según el escenario: barlovento/succión, sotavento/succión, barlovento/presión, y sotavento/presión.

En dicha realización aún más preferida, el cálculo del viento (+X) en cubiertas con huecos abiertos comprende la determinación, además de la presión dinámica, del coeficiente de

35 exposición, y de los dos coeficientes de presión por faldón, uno negativo y otro positivo conforme al caso anterior, de dos coeficientes de presión interior, uno por faldón (a barlovento

y a sotavento), de forma que se obtienen cuatro coeficientes globales de presión y, por tanto, tras multiplicarlos por el coeficiente de exposición y la presión dinámica, cuatro valores de las cargas de viento (succión/barlovento, presión/barlovento, succión/sotavento, y presión/sotavento).

5 Conforme a lo anterior, se pueden tomar en consideración hasta un total de 8 modos de viento para la dirección +X (4 con huecos abiertos, y 4 con huecos cerrados):

- Modo 1: Huecos cerrados, presión en ambos faldones.
- Modo 2: Huecos cerrados, presión-succión.
- Modo 3: Huecos cerrados, succión en ambos faldones.
- 10 • Modo 4: Huecos cerrados, succión-presión.
- Modo 5: Huecos abiertos, presión en ambos faldones.
- Modo 6: Huecos abiertos, presión-succión.
- Modo 7: Huecos abiertos, succión en ambos faldones.
- Modo 8: Huecos abiertos, succión-presión.

15

Sin embargo, es posible reducir el número de modos de viento a considerar para la dirección +X, para lo que es preciso analizar los modos de viento antes referidos, prestando particular atención a aquellos más desfavorables, y más particularmente aún a los modos denominados “modo 3” (huecos cerrados, succión en ambos faldones) y “modo 5” (huecos abiertos, presión en ambos faldones).

20

En dicha realización aún más preferida en la que se toman en consideración las tres direcciones posibles del viento, el cálculo del viento (+Y/-Y) en paramentos verticales, viento que va a determinar el dimensionado de los pilares hastiales y los elementos de arriostramientos de la nave, se determina de forma similar al caso del viento +X pero “dándole la vuelta al edificio”, comprendiendo la determinación de, además de los valores de presión dinámica y de coeficiente de exposición, que son los mismos que en el caso de viento (+X) en paramentos verticales, tres coeficientes de presión exterior, dependientes de la longitud de luz y de la altura: Uno para la fachada frontal, otro para la fachada posterior, y otro para las fachadas paralelas al viento.

25

30

En dicha realización aún más preferida en la que se toman en consideración las tres direcciones posibles del viento, el cálculo del viento (+Y/-Y) en cubiertas, viento que produce un efecto de succión en las mismas y cuya carga es igual en ambos faldones, comprende, además de la presión dinámica, el coeficiente de exposición, que en este caso es dependiente de la altura media de la cubierta, la determinación de un coeficiente de presión exterior.

35

Conforme a lo anterior, se pueden tomar en consideración hasta un total de 4 modos de viento para la dirección +Y/-Y (2 con huecos abiertos, y 2 con huecos cerrados):

- Modo 9: Viento +Y con huecos cerrados.
- Modo 10: Viento +Y con huecos abiertos.
- Modo 11: Viento –Y con huecos cerrados.
- Modo 12: Viento –Y con huecos abiertos.

5

Sin embargo, es posible reducir el número de modos de viento a considerar para la dirección +X, para lo que es preciso analizar los modos de viento antes referidos, prestando particular atención a aquellos más desfavorables, y más particularmente aún al denominado “modo 10” (viento +Y con huecos abierto).

10 En dicha realización aún más preferida, y para el caso particular de estructuras no simétricas, la determinación de la acción del viento sobre un paramento vertical o cubierta se realiza tomando en consideración también el viento en –X.

En una realización preferida, el cálculo de la carga o acción sísmica se realiza mediante el método simplificado de las fuerzas estáticas equivalentes. En una realización aún más preferida, dicho cálculo comprende la determinación de:

15

- La aceleración de cálculo,
- los períodos y modos de vibración,
- el coeficiente de respuesta, que depende del nivel de ductilidad;
- las masas que intervienen, y
- las fuerzas estáticas equivalentes.

20

En una realización aún más preferida, la determinación de la aceleración de cálculo comprende la determinación de:

25

- La aceleración básica,
- el coeficiente adimensional de riesgo, que mide la probabilidad de que el edificio exceda su vida útil de cálculo;
- el coeficiente del terreno, y
- el coeficiente de amplificación del terreno.

30

En una realización aún más preferida, la determinación de los períodos y modos de vibración comprende la determinación de:

35

- Los períodos característicos del espectro de respuesta,
- el período fundamental del edificio, que depende del tipo de estructura y del número de plantas del edificio, y del que depende el número de modos de vibración; y
- el valor del espectro de respuesta.

En una realización preferida, las masas a considerar en el cálculo son el peso propio, las cargas permanentes, la sobrecarga de nieve, y la sobrecarga de uso.

5 2. Etapa de diseño y cálculo

La etapa de diseño y cálculo de la debilitación a practicar en la estructura comprende tanto el cálculo de la carga térmica como el análisis del comportamiento tanto de la estructura sin debilitar como de la estructura teóricamente debilitada, en función del cuál se decide la debilitación finalmente a implementar de forma práctica, lo que constituye la última etapa del procedimiento objeto de la invención.

Una carga térmica o sollicitación térmica es una fuerza, sollicitación o acción indirecta que aparece en una estructura resistente como resultado de una dilatación impedida o condicionada. Es decir, al aplicar calor a un elemento resistente este experimenta cambios de temperatura y se deforma como consecuencia de ellos, esa deformación altera la distribución de tensiones en el cuerpo. El resultado de la nueva distribución de tensiones son cargas y esfuerzos no ejercidos directamente por ningún agente exterior pero que tienen un efecto que puede afectar a la estabilidad mecánica.

Tal y como se indica en el apartado 3.4 del Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación (DB SE-AE) del CTE, los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura ambiente exterior. La magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y de la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos, y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislamiento térmico.

Estas variaciones de la temperatura en el edificio conducen a deformaciones de todos los elementos constructivos, en particular, los estructurales, que, en los casos en los que estén impedidas, producen tensiones en los elementos afectados.

Por otro lado, la disposición de juntas de dilatación puede contribuir a disminuir los efectos de las variaciones de la temperatura. En edificios habituales con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m de longitud.

En una realización preferida, el cálculo de la carga térmica en caso de incendio comprende la determinación, para un tiempo determinado, de la temperatura del aire, dependiente de la ubicación de la estructura, y de la temperatura del material constructivo de la estructura. En una realización aún más preferida, la determinación de la temperatura del aire comprende la

determinación de una temperatura máxima, una temperatura mínima, y una temperatura de referencia.

En una realización preferida, el análisis del comportamiento de la estructura en caso de incendio se realiza conforme al Anejo 8 ("Acciones para el análisis térmico) de la EAE-11 y por tanto comprende:

- La selección de los escenarios de incendio,
- La determinación de la acción de incendio de cálculo correspondiente; se define la acción de incendio de cálculo, o abreviadamente "fuego de cálculo", mediante la curva de incremento de temperatura de los gases del recinto de incendio en función del tiempo, que se adopta para caracterizar la acción del incendio. Al seleccionar el fuego de cálculo se puede optar bien por un modelo matemático apropiado de un incendio real, bien por la curva normalizada tiempo-temperatura que representa el programa térmico de los hornos de ensayo.
- El cálculo de la evolución de la temperatura en el interior de los elementos estructurales como consecuencia de su exposición al fuego de cálculo adoptado. Si se elige un modelo de fuego real, el cálculo debe abarcar toda la duración del incendio, con la fase de enfriamiento incluida. Si se opta por el fuego normalizado, en el que no hay fase de enfriamiento, el tiempo de exposición al fuego preceptivo debe ser fijado siguiendo las especificaciones de la normativa en vigor.
- El cálculo del comportamiento mecánico de la estructura expuesta al fuego a lo largo de un intervalo de tiempo concreto.

De este modo, para identificar la situación accidental de cálculo, se determinan los escenarios de fuego de cálculo oportunos y los fuegos de cálculo asociados a ellos, a partir de una evaluación del riesgo de incendio. Para cada escenario de fuego de cálculo se considera un fuego de cálculo en un sector de incendio. El fuego de cálculo se aplica únicamente a un sector de incendio del edificio cada vez, salvo cuando se especifique otra cosa en el escenario de dicho fuego. Para aquellas estructuras para las que las autoridades nacionales especifiquen exigencias de resistencia al fuego, puede suponerse que el fuego de cálculo apropiado es el fuego normalizado, excepto cuando se especifique otra cosa.

Por otra parte, dependiendo del fuego de cálculo adoptado se utilizan los siguientes procedimientos:

- Con una curva normalizada tiempo-temperatura, el análisis térmico de los elementos estructurales se aplica para un periodo de tiempo especificado, sin considerar la fase de enfriamiento. Dicha curva está definida por

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

**EC. 1**

Donde:

$\theta_g$  Temperatura del gas en el sector de incendio  $[^{\circ}\text{C}]$

T tiempo transcurrido [min]

5 El coeficiente de transferencia de calor por convección es:  $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

- Con un modelo de fuego real o natural, el análisis térmico de los elementos estructurales se hace para toda la duración del incendio, incluida la fase de enfriamiento. Los modelos de fuego real o natural son modelos que, con mayor o menor complejidad, incorporan diversos parámetros físicos presentes en el desarrollo de un incendio real. Dentro de los modelos de fuego natural se encuentran los modelos de fuego simplificados y los avanzados.

10

Los modelos de fuego simplificados se fundamentan en parámetros físicos específicos con un campo de aplicación limitado. Cuando se utilicen modelos de fuego simplificados, como coeficiente de transferencia de calor por convección se adoptará  $\alpha_c = 35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , y las temperaturas del gas se adoptarán en función de parámetros físicos, considerando al menos la densidad de carga de fuego y las condiciones de ventilación. Cuando sea improbable que se alcance la inflamación súbita generalizada (*flash-over*) se deberían tener en cuenta las acciones térmicas correspondientes a un fuego localizado, en el se supone una distribución no uniforme de la temperatura en función del tiempo, en contraposición a los fuegos de sector.

15

20

Los modelos avanzados de fuego deben tener en cuenta las propiedades del gas y el intercambio de masa y de energía. En particular, deberían tener en cuenta los siguientes las propiedades del gas, el intercambio de masa, y el intercambio de energía.

25

En lo que respecta al análisis térmico de un elemento se debe tener en cuenta la posición del fuego respecto a dicho elemento. Para elementos exteriores se considera la exposición al fuego a través de las aberturas de las fachadas y de las cubiertas. Para los muros delimitadores de un sector de incendio se considera, en su caso, la exposición a un fuego en el interior de dicho sector y, alternativamente, a un fuego exterior en otros sectores de incendio.

30

Asimismo, para obtener la evolución de la temperatura en la estructura hay que distinguir entre elementos sin protección y elementos con protección, tal y como considera la EAE-11. Éstos últimos habitualmente se realizan, para el caso del acero, mediante aplicación de pinturas intumescentes, morteros a base de lana de roca/yeso o instalación de placas de fibrosilicato

cálculo, con un espesor que es aportado por el fabricante en sus ensayos en función de la masividad del elemento a proteger.

En lo que respecta al análisis mecánico, la duración considerada para dicho análisis debe ser la misma que para el análisis térmico. La verificación de la resistencia al fuego puede realizarse de alguna de las siguientes maneras:

- El valor de cálculo de la resistencia al fuego sea mayor que el tiempo de resistencia al fuego exigido.
- El valor de cálculo de la resistencia del elemento en situación de incendio en un instante  $t$ , sea mayor que el valor de cálculo de los efectos pertinentes de las acciones en situación de incendio en el instante  $t$ .
- El valor de cálculo de la temperatura del material sea inferior al valor de cálculo de la temperatura crítica del material.

Cuando una estructura está sometida a incendio, se produce un aumento considerable de la temperatura en ésta. Este aumento de temperatura hace que varíen las propiedades mecánicas de los elementos estructurales, como son el límite elástico y el módulo de elasticidad, por lo que es necesario adoptar los siguientes coeficientes correctores de las características mecánicas del acero estructural, en función de la temperatura alcanzada por el mismo ( $\theta_a$ ):

$K_{y,\theta}$  Cociente entre el límite elástico efectivo para la temperatura ( $\theta_a$ ) y el límite elástico a 20 °C.

$$K_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y \quad \text{EC. 2}$$

$K_{E,\theta}$  Cociente entre el módulo de elasticidad en la fase lineal del diagrama tensión-deformación, para la temperatura ( $\theta_a$ ) y el módulo de elasticidad a 20°C.

$$K_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a \quad \text{EC. 3}$$

La aplicación de estos coeficientes es válida si se aplican los modelos de cálculo simplificado de las temperaturas del acero recogidos en la Instrucción, u otros procedimientos admitidos por la misma, pero en este segundo caso se debe verificar que la velocidad de incremento de

temperatura se mantenga entre los límites  $2 \leq d_{\Theta a}/dt \leq 50^\circ\text{C}/\text{minuto}$ .

Por otra parte, el parámetro siguiente:

$k_{p,\Theta}$  Cociente entre el límite de proporcionalidad para la temperatura ( $\Theta_a$ ) y el límite elástico a  $20^\circ\text{C}$ .

$$k_{p,\Theta} = f_{p,\Theta}/f_y$$

**EC. 4**

5 Junto con los anteriores, interviene en la formulación de un diagrama tensión ( $\sigma$ ) - deformación ( $\epsilon$ ) uniaxial (figura 1) que puede adoptarse si se emplean métodos de cálculo avanzados.

En una realización preferida, el comportamiento de la estructura en caso de incendio se analiza mediante cálculo de estructuras planas, más preferentemente mediante análisis de  
10 estructuras reticulares planas, más preferentemente aún mediante el método de rigidez, considerando que (1) la carga es debida a una variación lineal de la temperatura en el canto de la barra, y por lo tanto está definida por su valor medio y su gradiente a lo largo del canto, y (2) que las temperaturas son uniformes a lo largo de toda la longitud de la barra, si bien es posible analizar dicha barra como si estuviera dividida en varios "segmentos virtuales" de manera que  
15 la temperatura sí que variará a lo largo del perfil que forma el dintel.

En una realización preferida de la invención, la etapa de diseño y cálculo de la debilitación a practicar en la estructura de dicho establecimiento industrial se realiza tomando en consideración el método de debilitación mediante disminución de la sección de perfil.

Según se indica en la Guía de aplicación del RSCIEI, los sistemas de protección de las  
20 estructuras metálicas se basan esencialmente, en el recubrimiento de los perfiles con materiales aislantes.

Entre los sistemas más utilizados se encuentran los siguientes:

- Placas o paneles resistentes al fuego, que están compuestas por silicatos cálcicos u otros materiales. Se instalan recubriendo todo el perímetro del perfil metálico y su  
25 espesor depende del factor de forma, del coeficiente de conductividad térmica del revestimiento y de la disposición en la obra del perfil, pudiéndose alcanzar resistencias al fuego hasta R 240.
- Pinturas intumescentes, que son productos que en contacto con el calor sufren una transformación debido a reacciones químicas, que evita la transmisión del calor al  
30 elemento a proteger. Lo más habitual es que se alcancen resistencias al fuego de hasta

R 60 (actualmente ya existen pinturas que alcanzan una R90 si la masividad no es muy desfavorable). Hay que tener en cuenta que este producto está en plena evolución.

- Morteros, que son sistemas de protección mediante el recubrimiento del perfil con proyección de mortero. Al igual que las placas, el espesor de protección dependerá del factor forma, del coeficiente de conductividad térmica del revestimiento y de la disposición en la obra del perfil, pudiéndose alcanzar resistencias al fuego hasta R 240.

El método de debilitación mediante disminución de la sección de perfil consiste en modificar (debilitar) la estructura en un punto determinado, en las zonas menos solicitadas en lo que a tensiones soportadas se refiere, modificando sus dimensiones, geometría, valores mecánicos, etc., con objeto de que se haga que sea precisamente ese punto donde colapse la estructura, de manera que dicho colapso sea “controlado”.

Para ello, primero hay que comprobar la estructura, con una determinada zona debilitada, en situación convencional, esto es, sin incendio. Una vez que se ha comprobado que la estructura está dentro de los límites de resistencia adecuados, se procede a estudiar la evolución del comportamiento de la estructura en caso de incendio, en función de la temperatura que se va alcanzando en cada momento, considerando las alteraciones de las características del material por efecto de la acción del fuego.

Como es de imaginar, existen muchas maneras de debilitar un perfil a base de ir haciendo cortes en el mismo de manera que se disminuya la sección de éste. Dependiendo de dónde hagamos el corte, influirá en mayor o menor medida en sus características mecánicas, y fundamentalmente en su momento de inercia. En realidad, lo que se debe hacer es desarrollar un proceso iterativo en el que se empieza desde la incertidumbre y se van afinando los resultados paso a paso, hasta que se llegue a la solución más óptima. En buena medida el número de iteraciones dependerá de la experiencia previa del ingeniero.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Diagrama tensión ( $\sigma$ ) - deformación ( $\epsilon$ ) uniaxial para el acero.

Figura 2. Coeficientes de presión para viento (+X) en paramentos verticales suponiendo huecos cerrados.

Figura 3. Coeficientes de presión para viento (+X) en cubiertas suponiendo huecos cerrados.

Figura 4. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos cerrados, presión en ambos faldones.

Figura 5. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos cerrados, presión - succión.

Figura 6. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos cerrados, succión en ambos

faldones.

Figura 7. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos cerrados, succión - presión.

Figura 8. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos abiertos, presión en ambos faldones.

5 Figura 9. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos abiertos, presión - succión.

Figura 10. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos abiertos, succión en ambos faldones.

Figura 11. Valores de cargas de viento para viento (+X), huecos abiertos, succión - presión.

Figura 12. Valores de cargas de viento para viento (+Y), huecos cerrados.

10 Figura 13. Valores de cargas de viento para viento (+Y), huecos abiertos.

Figura 14. Valores de cargas de viento para viento (-Y), huecos cerrados.

Figura 15. Valores de cargas de viento para viento (-Y), huecos abiertos.

Figura 16. Esquema ilustrativo de nave adosada a otras naves por ambos lados y con estructura compartida.

15 Figura 17. Esquema ilustrativo de nave adosada a otra nave sólo por uno de sus lados, estando en contacto con el exterior por el lado libre.

Figura 18. Opción 1 de debilitación del perfil.

Figura 19. Opción 2 de debilitación del perfil.

Figura 20. Opción 3 de debilitación del perfil.

20 Figura 21. Caso 1-0-0-3-0, cargas de viento modo 5 (pero sin viento lateral) y carga térmica en condiciones convencionales.

Figura 22. Caso 1-0-0-3-0, cargas lineales en el pórtico.

## **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN**

25

Aunque el procedimiento objeto de la presente invención debe particularizarse para cada caso concreto, a continuación se ilustra el mismo mediante su aplicación a una nave industrial cuya tipología es bastante común en las áreas industriales de la ciudad de Málaga, de su municipio, y muy posiblemente de gran parte del territorio nacional. Señalar además que el presente

30 ejemplo de realización de la invención tiene por objeto controlar el colapso en caso de incendio de estructuras de establecimientos industriales de conformidad con la legislación imperante en España, en especial con Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales, Reglamento que recoge la tipología de naves tipo A, B y C en relación a los establecimiento ubicados en

35 edificio, así como las medidas de protección legalmente exigibles para cada uno de dichos tipos A, B y C.

Además es destacable que, por la superficie del establecimiento industrial escogido, la opción de calificarlo como tipo A o tipo B es particularmente relevante. Por ejemplo, no es lo mismo tener que ocupar un espacio de unos 30 m<sup>2</sup> en una nave de 350 m<sup>2</sup> que en una de 1000 m<sup>2</sup>. Lo mismo pasa con la inversión, se presupone que la inversión inicial para una nave mayor debe ser también más alta que para una nave más pequeña, por lo que el porcentaje del presupuesto total destinado a las medidas de protección contra incendios será menor.

**1. Caracterización del establecimiento industrial cuyo colapso en caso de incendio se desea controlar**

**1.1. Características geográficas, climáticas y geométricas**

Conforme a lo anterior, habiéndose determinado que la nave predominante en los polígonos industriales analizados tiene una luz de pórtico comprendida entre 10 y 14 m y una altura comprendida entre 5 y 8 m, dependiendo del polígono que se trate, se ha establecido como establecimiento industrial tipo para el presente ejemplo de realización una nave con las características geográficas y climáticas, así como geométricas, referenciadas en las tablas 1 y 2, respectivamente.

<b>Localización Geográfica</b>	Málaga
<b>Zona Eólica-</b> Anejo D, DB SE-AE, fig. D.1	A
<b>Situación-</b> tabla 3.4, apdo. 3.3.3 DB SE-AE	Entorno IV – Zona urbana en general, industrial o forestal
<b>Zona Climática-</b> Anejo E, DB SE-AE, fig. E.2	6
<b>Altitud</b>	8-9 m sobre nivel del mar.

Tabla 1

Luz	12 m
Longitud (largo)	30 m
Altura pilares a cabeza de soportes	7 m
Nº de pórticos	7 pórticos separados cada 5 m
Pendiente de Cubierta	Aprox. 15% = 9,46°
Altura cumbre	8 m
Longitud ½ dintel	6,08 m

Tabla 2

## **1.2. Acciones en la edificación**

Una vez conocida la geometría de la nave es preciso determinar las acciones que actúan sobre la estructura.

### **1.2.1. Cargas Permanentes**

Las cargas permanentes a considerar serán:

- Chapa de acero galvanizado de 1 mm de espesor:  $0,09 \text{ kN/m}^2 \approx 9 \text{ kg/m}^2$
- Anclajes de la chapa: podemos considerar  $0,03 \text{ kN/m}^2 \approx 3 \text{ kg/m}^2$ .
- Peso de las puertas: consideraremos  $0,15 \text{ kN/m}^2 \approx 15 \text{ kg/m}^2$ .
- Peso propio de la estructura: lo aproximamos a  $0,33 \text{ kN/m}^2$ .

De este modo, las cargas permanentes serán de  $0.6 \text{ kN/m}^2$ .

### **1.2.2. Sobrecarga de nieve**

Se calcula la sobrecarga de nieve a partir de los datos que aparecen en el Anejo E del CTE-DB-SE. Para especificar por  $\text{m}^2$  de cubierta es necesario tener en cuenta la inclinación de la misma.

$$S_n = 0.2 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 9.46^\circ = 0.197 \text{ kN/m}^2 \quad \text{EC. 5}$$

Por la forma de la cubierta, no es preciso tener en cuenta acumulación de nieve.

### **1.2.3. Acción del Viento**

25

En principio se va a calcular la estructura para tres direcciones del viento: Viento +X (al ser la estructura simétrica, no se considera necesario plantear el viento en -X), viento +Y y viento -Y.

30 Viento (+X) en paramentos verticales: suponiendo huecos cerrados.

Esta carga actúa sobre las cuatro caras del edificio. Los pasos a seguir para calcular la carga vertical serán:

- Presión dinámica: Según se indica tabla 3.4 del apartado 3.3.3. del DB SE-AE, ANEJO D, ZONA A, obtenemos un valor de 0,42 kN/m<sup>2</sup>. También se puede obtener mirando la hoja AE.01, para zona A tenemos 0,42 kN/m<sup>2</sup> (lógicamente, este valor será el mismo para todas las cargas de viento del edificio).
- 5
- Coeficiente de exposición: de nuevo en la hoja AE.01, miramos el coeficiente de exposición para la *altura media del cerramiento* (DB-SE-AE 3.3.3 Pto.1). La altura del cerramiento en estudio es de 7,00 metros, según podemos observar en los planos. Para un grado de aspereza IV (entorno industrial), obtenemos un coeficiente de exposición igual a 1,336.
- 10
- Coeficiente de presión: tomará un valor distinto dependiendo del paramento que se trate, y en el caso de las fachadas laterales, el CTE distingue entre tres zonas diferentes. Por simplicidad, utilizaremos un único coeficiente de presión por paramento, calculado como la media ponderada de los coeficientes de cada región. Podemos extraer los valores medios del coeficiente de presión exterior de la hoja AE.02:
    - *Fachada enfrentada*: para una altura h=8,00 metros, y 12 metros de luz de la nave, se obtiene en la tabla de “Fachadas laterales” de la hoja AE.02, cp=0,756
    - *Fachada opuesta*: tomando la misma tabla que en el caso anterior, cp=-0,411.
    - *Fachadas laterales*: en este caso, la relación altura/luz es igual a 8,00/12=0,67, y la pendiente de la cubierta 15%. Consultando la tabla “Frontal / Trasera” de la hoja AE.02, se obtiene cp=-0,854.
- 15
- 20

Operando con los valores obtenidos, se obtienen los valores referidos en la tabla 3 y representados en la figura 2.

<b>Viento +X en fachada con huecos cerrados</b>					
	<b>Presión dinámica kN/m<sup>2</sup></b>	<b>Coeficiente exposición</b>	<b>Coeficiente presión</b>	<b>Carga viento kN/m<sup>2</sup></b>	<b>Efecto</b>
<b>Enfrentada</b>	0.42	1.336	0.756	0.424	Presión
<b>Opuesta</b>	0.42	1.336	-0.411	-0.231	Succión
<b>Paralela</b>	0.42	1.336	-0.854	-0.479	Succión

25

Tabla 3

Viento (+X) en paramentos verticales: suponiendo huecos abiertos

- 30
- Suponiendo abiertos los huecos de la fachada frontal, de forma que actúa la presión interior, el valor del coeficiente de presión interior lo podemos obtener en la hoja AE.01 del *Prontuario de*

consulta. La esbeltez de nuestro edificio es  $8/12=0,67 < 1$ , y el 100% de los huecos están a succión cuando el viento toma la dirección +X. Así, entrando en la tabla correspondiente, el coeficiente de presión interior es -0,5 (succión interior).

Los coeficientes de presión serán:

- 5 • Fachada enfrentada: en este caso se suman:  $0,756 - (-0,5)$ .  $cp=1,256$
- Fachada opuesta: en este caso se restan:  $-0,5 - (-0,411)$ .  $cp=-0,089$ .
- Fachadas laterales: en este caso se restan:  $-0,854 + 0,5$ .  $cp=-0,354$ .

Operando con los nuevos coeficientes se obtienen los valores referidos en la tabla 4.

10

<b>Viento +X en fachada con huecos abiertos</b>					
	<b>Presión dinámica kN/m<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente exposición</b>	<b>Coefficiente presión</b>	<b>Carga viento kN/m<sup>2</sup></b>	<b>Efecto</b>
<b>Enfrentada</b>	0.42	1.336	1.256	0.705	Presión
<b>Opuesta</b>	0.42	1.336	-0.089	-0.049	Succión
<b>Paralela</b>	0.42	1.336	-0.354	-0.199	Succión

Tabla 4

Viento (+X) en cubiertas con huecos cerrados

15

Para el cálculo de la carga de viento en cubiertas tomaremos el mismo valor de la presión dinámica: 0,42 kN/m<sup>2</sup>. En cuanto al coeficiente de exposición referido a la altura media de la cubierta: 7,50 metros; interpolando entre los valores de la tabla 3.4 del DB-SE-AE se obtiene  $c_e=1,588$ .

20

El DB-SE-AE define en cada faldón dos coeficientes de presión, uno negativo y otro positivo, que pueden combinarse entre sí para generar hasta un total de 4 hipótesis de carga de viento en cubiertas.

25

Para el cálculo del coeficiente de presión el CTE divide las cubiertas en 5 regiones: 3 en el faldón a barlovento, y 2 en el faldón a sotavento. Calcular las cargas para cada una de las regiones, puede resultar innecesariamente complicado, así que utilizaremos las tablas de las hojas AE.03a y AE.03b, que contienen valores medios del coeficiente de presión para una nave de 50 metros de longitud, para las alturas de pilares de 5 y 10 metros.

30

Interpolando para una altura  $h=7,5m$  a partir de los coeficientes calculados para  $h=5m$  y  $h=10m$  se obtienen los coeficientes de presión referidos en la tabla 5 y representados en la figura 3, y a partir de dichos coeficientes de presión se obtienen las cargas de viento referidas en la tabla 6.

		H=7.5m	
		Barlovento	Sotavento
Succión		-0.671	-0.682
Presión		0.071	0.235

Tabla 5

5

		Viento (+X) en cubiertas kN/m <sup>2</sup>	
		Barlovento	Sotavento
Succión		-0.448	-0.455
Presión		0.047	0.157

Tabla 6

10 Viento (+X) en cubiertas con huecos abiertos

Al igual que sucedía con las cargas en paramentos verticales, habrá que tener en cuenta los coeficientes de presión interior para considerar el caso de huecos abiertos. Así, considerando el coeficiente de presión interior igual a -0,5, los nuevos coeficientes globales de presión se refieren en la tabla 7, y multiplicando los mismos por el coeficiente de exposición y la presión dinámica, se obtienen los valores de las cargas de viento referidas en la tabla 8.

15

		H=7.5m	
		Barlovento	Sotavento
Succión		-0.171	-0.182
Presión		0.571	0.735

Tabla 7

20

Viento (+X) en cubiertas kN/m <sup>2</sup>		
	Barlovento	Sotavento
Succión	-0.114	-0.121
Presión	0.381	0.490

Tabla 8

Atendiendo a los cálculos realizados en los casos anteriores, existe un total de 8 modos de viento para la dirección +X (4 con huecos abiertos, y 4 con huecos cerrados):

- Huecos cerrados. Presión en ambos faldones (modo 1, figura 4).
- Huecos cerrados. Presión – Succión (modo 2, figura 5).
- Huecos cerrados. Succión en ambos faldones (modo 3, figura 6).
- Huecos cerrados. Succión – Presión (modo 4, figura 7).
- Huecos Abiertos. Presión en ambos faldones (modo 5, figura 8).
- Huecos Abiertos. Presión – Succión (modo 6, figura 9).
- Huecos Abiertos. Succión en ambos faldones (modo 7, figura 10).
- Huecos Abiertos. Succión – Presión (modo 8, figura 11).

Este número de modos de viento generaría un gran número de hipótesis muy similares y de escasa utilidad. Lo ideal es quedarse con dos modos de viento únicamente, ya que de los ocho posibles casos, la mayoría resultarán despreciables. Para escoger los modos de viento a utilizar en el cálculo nos planteamos cuáles son los más desfavorables:

- Mayor carga en el dintel: MODO 3.
- Mayor flecha en el dintel: MODO 5, porque las acciones sobre la cubierta van en el mismo sentido que las cargas gravitatorias, y su efecto se suma.
- Mayor carga en un pilar: MODO 5, también los 6-7-8, pero el modo 5 además es el que mayor flecha ocasiona en el dintel.
- Mayor desplazamiento horizontal: MODO 2, porque la suma de las acciones tiene la mayor componente horizontal posible.

Así, en principio los modos de viento más desfavorables son el 2, el 3 y el 5. Sin embargo, la importancia del criterio del desplazamiento horizontal en naves industriales es moderada (no ocurriría así, por ejemplo, en edificios con varias plantas), ya que el CTE sólo exige un límite de ese desplazamiento para combinaciones casi permanentes. Así que en principio se va a despreciar el modo 2, y se estudiará el modo 3 y el modo 5.

Viento (+Y/-Y) en paramentos verticales

La presión dinámica sigue siendo  $0,42 \text{ kN/m}^2$ , y el coeficiente de exposición  $1,336$ .

- 5 Para obtener el coeficiente de presión exterior en las fachadas frontal y posterior, entraremos en la tabla de *Fachadas perpendiculares al viento TABLA AE.02* con una luz de 30 metros y una altura de 8,00 metros, lo que interpolando, da unos coeficientes de  $0,705$  en la frontal y  $-0,327$  en la posterior.

- 10 La relación H/L ahora es  $8,00/30=0,267$ . Entrando con este valor en la tabla de *Fachadas paralelas al viento* obtenemos, mediante interpolación, un valor del coeficiente de presión exterior de  $-0,674$

Así, las cargas de viento +Y/-Y en las fachadas tomarán los valores referidos en la tabla 9.

<b>Viento +Y/-Y en fachada con huecos cerrados</b>					
	<b>Presión dinámica kN/m<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente exposición</b>	<b>Coefficiente presión</b>	<b>Carga viento kN/m<sup>2</sup></b>	<b>Efecto</b>
<b>Enfrentada</b>	<b>0.42</b>	<b>1.336</b>	<b>0.705</b>	<b>0.396</b>	<b>Presión</b>
<b>Opuesta</b>	<b>0.42</b>	<b>1.336</b>	<b>-0.327</b>	<b>-0.183</b>	<b>Succión</b>
<b>Paralela</b>	<b>0.42</b>	<b>1.336</b>	<b>-0.674</b>	<b>-0.378</b>	<b>Succión</b>

15

Tabla 9

Ahora bien, el coeficiente de presión interior variará en función de si el viento sopla en +Y o en -Y, ya que la relación huecos a succión / huecos a presión cambia:

- Viento +Y: El tanto por ciento de huecos a succión es 0, y el coeficiente de presión interior  $0,705$ .
- Viento -Y: El tanto por ciento de huecos a succión es 100, y el coeficiente de presión interior  $-0,327$ .

20

Operando con los valores anteriores, de forma similar a como se hizo con el viento +X, se obtienen los valores referidos en la tabla 10.

25

Viento +Y en fachadas con huecos abiertos					
	Cpe	Cpi	Cp	q (kN/m <sup>2</sup> )	Efecto
Enfrentada	0.705	0.705	0.000	0.000	---
Opuesta	-0.327	0.705	-1.032	-0.579	Succión
Paralela	-0.674	0.705	-1.379	-0.774	Succión
Viento -Y en fachadas con huecos abiertos					
	Cpe	Cpi	Cp	q (kN/m <sup>2</sup> )	Efecto
Enfrentada	0.705	-0.327	1.032	0.579	Presión
Opuesta	-0.327	-0.327	0.000	0.000	---
Paralela	-0.674	-0.327	-0.347	-0.195	Succión

Tabla 10

Viento (+Y/-Y) en Cubiertas

5

El viento frontal produce en las cubiertas un efecto de succión que viene recogido en la tabla D.6 b) del DB-SE-AE. En la hoja AE.04 del prontuario se encuentran tabulados los valores medios del coeficiente de presión exterior para este caso, que en naves industriales siempre estará en torno a -0,6.

10

Si observamos en la mencionada hoja los valores que tenemos para nuestro caso oscilan entre -0,576 de la nave con 5 m de altura y 20% de pendiente hasta los 0,618 de la nave con 10 metros de altura y un 15 % dependiente. De forma simplificada, tomaremos  $c_p = -0,6$ .

Así, la carga de viento +Y / -Y en las cubiertas (igual en ambos faldones) toma un valor de:

$$q = 0,42 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,336 \cdot (-0,6) = -0,337 \text{ kN/m}^2 \text{ (succión)}$$

**EC. 6**

15

Ahora bien, como en el caso anterior, del viento Y en fachadas, en el caso de haber huecos abiertos los valores de las cargas cambiarán en los sentidos +Y/-Y, dependiendo del valor del coeficiente de presión interior, se obtienen los valores referidos en la tabla 11

Viento +Y/-Y en fachadas con huecos abiertos					
	Cpe	Cpi	Cp	q (kN/m <sup>2</sup> )	Efecto
+Y	-0.600	0.705	-1.305	-0.732	Succión
-Y	-0.600	-0.327	-0.273	-0.153	Succión

20

Tabla 11

Del mismo modo que en el caso del viento +X, es posible distinguir un total de 4 modos de

viento para la dirección +Y (4 con huecos abiertos, y 4 con huecos cerrados):

- +Y con huecos cerrados (modo 9, figura 12).
- +Y con huecos abiertos (modo 10, figura 13).
- -Y con huecos cerrados (modo 11, figura 14).
- -Y con huecos abiertos (modo 12, figura 15).

5

Y ahora hay que plantearse qué modos coger:

- Mayor carga sobre el dintel: MODO 10 (es lógico que la mayor succión en la cubierta se dé cuando el viento entra por los huecos).
- Mayor carga sobre el pórtico hastial posterior: MODO 10
- Mayor carga sobre el pórtico hastial frontal: MODO 9
- Mayor carga sobre pilares principales: MODO 10.

10

Queda claro que el modo más desfavorable es el nº10.

15

#### **1.2.4. Sobrecarga de Uso**

La sobrecarga de uso en cubiertas de este tipo viene dada por la tabla 3.1 del DB-SE-AE. La sobrecarga de uso toma un valor de 0,4 kN/m<sup>2</sup>. Pero hay una nota bajo dicha tabla que indica que *“esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables”*.

20

Así, no tiene sentido considerar esta carga, si ya estamos teniendo en cuenta una sobrecarga de nieve de prácticamente el mismo valor, que sí es concomitante con el resto de acciones variables.

25

#### **1.2.5. Acción sísmica**

La aceleración básica de Málaga es 0,11g y por tanto, es de aplicación la norma NCSE-02 al ser mayor que 0,04g y tratarse de un edificio de importancia *normal*, es decir, que su derrumbe por terremoto pueda causar víctimas o daños a terceros. Por tanto, es obligatorio considerar la carga sísmica en el cálculo de la estructura, aunque como ya veremos, en naves industriales no suele ser una carga de importancia.

30

Vamos a aplicar el método simplificado de las *fuerzas estáticas equivalentes* para determinar la acción sísmica aplicable a la nave.

35

#### **Aceleración de Cálculo**

Para calcular la aceleración de cálculo necesitamos conocer:

- Aceleración básica ( $a_b$ ), que para Málaga es 0,11g.
- Coeficiente adimensional de riesgo ( $\rho$ ), que mide la probabilidad de que el edificio exceda su vida útil de cálculo. Para construcciones de importancia normal es igual a 1,0.
- Coeficiente del terreno (C), se considerará una arcilla firme, que de acuerdo con NCSE-02, Apdo. 2.4, le corresponde un coeficiente de 1,6. En realidad se debería tener en cuenta todos los estratos del terreno situados 30 metros por debajo de la cota de apoyo, pero a falta de más datos, nos quedaremos con éste.
- Coeficiente de amplificación del terreno (S), según NCSE-02 2.2 vale:

10

$$S = \frac{C}{1.25} + 3.33 \cdot \left( \rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0.1 \right) \cdot \left( 1 - \frac{C}{1.25} \right) \quad \text{EC. 7}$$

$$S = \frac{1.6}{1.25} + 3.33 \cdot \left( 1 \cdot \frac{0.11}{9.8} - 0.1 \right) \cdot \left( 1 - \frac{1.6}{1.25} \right) = 1.271 \quad \text{EC. 8}$$

De este modo, la aceleración sísmica valdrá:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b = 1.271 \cdot 1 \cdot 0.11 = 0.140 \quad \text{EC. 9}$$

15 Periodo y modos de vibración

Para el modelo de respuesta del edificio, es necesario conocer también los *periodos característicos del espectro de respuesta*,  $T_A$  y  $T_B$ , que valen (NCSE-02 2.3):

$$T_A = \frac{K \cdot C}{10} = \frac{1 \cdot 1.6}{10} = 0.16 \quad \text{EC. 10}$$

$$T_B = \frac{K \cdot C}{2.5} = \frac{1 \cdot 1.6}{2.5} = 0.64 \quad \text{EC. 11}$$

20

El periodo fundamental del edificio para el caso de pórticos rígidos de acero laminado toma el valor de  $T_F=0,11 n$ , siendo “n” el número de plantas del edificio. Por tanto, nuestro periodo fundamental es  $T_F=0,11 s$ .

25 El *valor del espectro de respuesta* ( $\alpha$ ) es función del periodo  $\alpha=\alpha(T)$ , y para valores inferiores a  $T_A$  es igual a  $1+1,5 T/T_A$ , que para nuestro caso es:

$$\alpha(0.11) = 1 + 1.5 \cdot \frac{0.11}{0.16} = 2.03$$

**EC. 12**

Se considerará un único modo de vibración, al ser TF inferior a 0,75 s (NCSE-02 3.7.2.1).

Coeficiente de respuesta  $\beta$

5

Este coeficiente depende del comportamiento del edificio en caso de sismo, y viene dado por la tabla 3.1 de la NCSE-02 en función del nivel de ductilidad adoptado por el proyectista.

El nivel de ductilidad depende de la forma en que la estructura resiste las acciones horizontales. En la dirección +X/-X, nuestra nave resiste las acciones horizontales mediante pórticos de nudos rígidos, correspondiéndole por tanto un nivel de ductilidad muy alta ( $\mu=4$ ).

10

En la dirección perpendicular los resiste mediante cruces de San Andrés, correspondiéndole por tanto un nivel de ductilidad alta ( $\mu =3$ ). Simplificando, y del lado de la seguridad, nos quedaremos con el valor más desfavorable ( $\mu =3$ ).

Según la tabla 3.1 de la NCSE-02, el coeficiente de respuesta será  $\beta=0,36$ .

15

Masas que intervienen en el cálculo.

Las fuerzas estáticas equivalentes dependen de las masas de cada planta del edificio. En el caso de nuestra nave, la única planta que tiene es la cubierta, y sus masas a considerar en el cálculo son:

20

- Peso propio: considerando el peso propio de las correas y los dinteles, podemos aproximarlos a unos 0,30 kN/m<sup>2</sup>.
- Cargas permanentes: la única carga permanente que tenemos es el peso del material de cubrición: 0,09 kN/m<sup>2</sup>.
- Sobrecarga de nieve: al no estar aplicada más de 30 días, no es necesario tenerla en cuenta.
- Sobrecarga de uso: el uso por mantenimiento no está recogido dentro de las masas a tener en cuenta en el cálculo (NCSE-02 3.2).

25

30

Por tanto, la masa a considerar será 0,39 kN/m<sup>2</sup>, que referido al área tributaria de cada pórtico (cada carga irá aplicada a uno de los nudos superiores del pórtico):

$$\frac{5 \cdot 12}{\cos 9.46} = 60.83m^2$$

**EC. 13**

$$P_1 = 60.83m^2 \cdot \frac{0.39kN}{m^2} = 23,72kN$$

EC. 14

La masa de los muros de cerramiento no se considera actuando sobre los soportes por consideraciones de tipo constructivos, ya que se ha apreciado que no suele haber enlaces rígidos entre aquellos y los soportes, por lo que no se llegará a producir interacción.

5

### Fuerzas Estáticas Equivalentes

En cada pórtico se aplicará una carga horizontal igual a:

$$F_1 = \frac{a_c}{g} \cdot P_1 \cdot \eta_1 \cdot \alpha_1 \cdot \beta$$

EC. 15

$$F_1 = \frac{0.14g}{g} \cdot 23.72 \cdot 1 \cdot 2.50 \cdot 0.36 = 2.99kN$$

EC. 16

10

Donde:

- $\alpha_1$  toma el valor 2,5 al ser el periodo de cálculo (T) menor que TB.
- $\eta_1$  es el factor de distribución, que depende de la altura de la planta considerada en relación a la total del edificio. Para edificios de una planta, toma un valor igual a la

15

La carga resultante por pórtico es despreciable si se compara con la carga de viento +X. Además, la carga sísmica se considera *accidental*, y por tanto tiene mucho menos peso en el cálculo de la estructura, al ser mucho menores los coeficientes de seguridad que se aplican en las combinaciones de este tipo.

20

Así que en nuestro cálculo no se va a tener en cuenta la carga sísmica.

## 2. Etapa de diseño y cálculo

25

### 2.1. Acciones por Carga Térmica

En nuestro caso podemos encontrarnos con diversas situaciones. En la realidad la carga térmica va a depender de la ubicación de la nave respecto al conjunto total de naves que comparten la misma estructura.

30

De esta manera aunque nos encontremos con una nave o conjunto de ellas, que disponga

de juntas de dilatación a una distancia inferior o igual a 40 m, realmente aunque se permite el desplazamiento de la estructura, este desplazamiento no es del todo libre, sino que cada unión dintel-pilar se comportaría como si se dispusiera de un resorte con una determinada constante elástica.

5 En nuestro caso, con objeto de acercarnos lo más posible a la realidad, habría que estudiar el conjunto de naves que comparten la estructura. Para ello, se ha considerado que como la longitud de estructura continua para no tener en cuenta la carga térmica es de 40m, equivaldría a 3 naves de 12m de luz como máximo ( $3 \times 12\text{m} = 36\text{m}$ ), que por otro lado es un caso muy habitual en la construcción de conjunto de naves con estructura compartida.

10 Para ello se tendrá en cuenta los siguientes parámetros:

- La temperatura de referencia será de  $10^{\circ}\text{C}$ , según se indica en el apartado 3.4.2. del DB SE-AE.
- Para la ciudad de Málaga se tomará una temperatura mínima de  $-6^{\circ}\text{C}$  (apartado 2, Anejo E del DB SE-AE).
- La temperatura máxima será de  $48^{\circ}\text{C}$  (apartado 1, Anejo E del DB SE-AE).

Para comprobación de la estructura se ha utilizado un programa de cálculo interactivo de estructuras planas "CESPLA" realizado y registrado por D. Juan Tomás Celigüeta, en colaboración con la Escuela Superior de Ingenieros de San Sebastián, Universidad de Navarra.

20 Se utilizará la versión 5.01, es de libre distribución y se ha descargado de la web TECNUN de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Navarra: <http://www1.ceit.es/asignaturas/Estructuras1/Programas.htm>.

25 El programa CESPLA (Cálculo de estructuras planas) efectúa el análisis de estructuras reticulares planas de cualquier tipo, como celosías, pórticos o vigas. El programa utiliza el método de rigidez, por su sencillez de programación y generalidad y se basa en los fundamentos teóricos explicados en el libro Curso de Análisis Estructural (Juan Tomás Celigüeta, Ed. EUNSA). De hecho este programa es un elemento complementario para el lector de dicho libro.

## 30 **2.2. Estudio de estructura de acero frente al incendio.**

Para estudiar el comportamiento de una estructura de acero en el caso de un incendio se tendrá en cuenta lo indicado en el Capítulo XII del *Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE-11)*

35 En dicho capítulo se establece los criterios a aplicar en el proyecto de estructuras de acero de edificación para verificar su capacidad portante bajo la acción de un incendio, considerado

como una "situación accidental", a efectos de seguridad estructural.

La acción de incendio o acción térmica se define por el flujo de calor que incide sobre las superficies de los elementos de estructura expuestas al fuego.

5 Dependiendo del "fuego de cálculo" adoptado, deben utilizarse los siguientes procedimientos:

- Con la curva normalizada tiempos-temperaturas definida por CTE, el análisis térmico de los elementos estructurales se efectúa para un período de tiempo especificado.
- Con otro modelo de incendio, el análisis térmico de los elementos estructurales se realiza para el proceso completo del incendio.

10

Los procedimientos de comprobación de la seguridad de las estructuras de acero ante el incendio explícitamente incluidos en la citada Instrucción pertenecen a la categoría de los modelos de cálculo catalogados como "simplificados", que son métodos de cálculo basados en hipótesis apropiadas para su aplicación a elementos estructurales simples, o pequeños subconjuntos de ellos.

15

### Fuego de Cálculo

Para cada escenario de fuego de cálculo se considera un fuego de cálculo en un sector de incendio, conforme a la sección 3 de la Norma UNE-EN 1991-1-2.

20

Los coeficientes  $\alpha_c$  aplicables a las curvas normalizadas tiempo-temperatura se indican en A8.3 de la EAE, definida por el fuego de cálculo elegido.

25

Temperatura de la superficie del elemento [°C]. Se obtiene como resultado del análisis térmico del elemento conforme al Capítulo XII relativo al cálculo estructural en situación de incendio.

$\Phi$  Factor de forma; si se carece de datos específicos debe adoptarse  $\Phi = 1,0$ . Para tener en cuenta los efectos de posición y de sombra puede adoptarse un valor menor.

$\varepsilon_m$ : Emisividad de la superficie del elemento, se adoptará  $\varepsilon_m = 0,7$ .

$\varepsilon_f$  Emisividad del fuego; generalmente se adopta  $\varepsilon_f = 1,0$ .

30

Las temperaturas de los gases del sector de incendio  $\theta_g$  pueden adoptarse en forma de curvas nominales tiempo-temperatura conforme a A8.3 de la EAE, o según los modelos de fuego natural indicados en A8.6 y A8.7. Entre las curvas nominales tiempo-temperatura, además de la curva normalizada UNE-EN 1363, se puede utilizar la curva de fuego exterior para caracterizar los incendios menos severos producidos en zonas exteriores adyacentes al edificio, o para medir los efectos sobre elementos exteriores de las llamas saliendo por las

35

ventanas.

Para el presente estudio, solo se utilizará un modelo de fuego simplificado, por lo que para obtener más información de este tipo de modelo de fuego habría que acudir a lo indicado en el apartado 3.3.2. de la Norma UNE-EN 1991-1-2:2004.

5

Cálculo de temperaturas en el acero

Para el cálculo de la temperatura en el acero se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado 48 del *Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE)*.

10

- Elementos sin protección

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{S_m k_{sh} h_{net,d} \Delta t}{\rho_a c_a} \quad \text{EC. 17}$$

15

$\rho_a, c_a$  Densidad y calor específico del acero definido en el apartado 45.1 de la EAE expresado en kg/m<sup>3</sup> y J/(kg°K) respectivamente. Tal y como se indica en el siguiente apartado se tomará un calor específico para procedimientos simplificados, que será independiente de la temperatura, tomando un valor de  $c_a = 600$  J/(kg°K)

Para la densidad del acero se tomará un valor de  $\rho_a = 7850$  kg/m<sup>3</sup>

20

- Elementos con revestimiento protector

$$\Delta\theta_{a,t} = \left[ \frac{\left( \frac{S_p}{r_{p,ef,d}} \right) (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t}{(\rho_a c_a)} - (e^{\varphi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \right] > 0 \quad \text{EC. 18}$$

$\rho_a, c_a$  Densidad y calor específico del acero definido en el apartado 45.1 de la EAE expresado en kg/m<sup>3</sup> y J/(kg°K):

$$c_a = 600 \text{ J/(kg°K)}$$

Para la densidad del acero se tomará un valor de:

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$\phi$	Relación de capacidades caloríficas totales del revestimiento y del elemento de acero, en los casos a) y d) del apartado 48.3 de la EAE
	$\phi = \rho_{p,D} \cdot C_{pD} \cdot d_p \cdot S_p / \rho_a c_a$ <b>EC. 19</b>
$\rho_{pd} C_{pd}$	Valores de cálculo de la densidad y calor específico del revestimiento según 48.3, en $\text{kg/m}^3$ y $\text{J}/(\text{kg}^\circ\text{K})$ .
$r_{p,ef,d} = r_{p,ef,k} / Y_p$	Valor de cálculo de la resistividad térmica efectiva del revestimiento, en $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$ , con $Y_p$ dado en 48.3 de la EAE-11
$r_{p,ef,k} = (1 + \phi/3) d_p / \lambda_{pk}$	Valor característico de la resistividad térmica efectiva del revestimiento, en los casos a) y d) del apartado 48.3. de la EAE
$r_{p,ef,k}$	Valor determinado según 48.4, en los casos b) y d) del apartado 48.3 de la EAE-11.
$\Theta_{g,t}$	Temperatura de la masa gaseosa ( $^\circ\text{C}$ ) definida en 43.2. de la EAE-11.

Variación de las propiedades mecánicas del acero en caso de incendio

5 Para las comprobaciones resistentes en situación de incendio, se adoptará  $Y_{M,fi} = 1$  como coeficiente parcial para la resistencia del acero.

Para su aplicación en los procedimientos de comprobación resistente definidos en el capítulo 13 de la EAE-11, se deberán adoptar los siguientes coeficientes correctores de las características mecánicas del acero estructural, en función de la temperatura alcanzada por el mismo ( $\theta_a$ ):

10

$K_{y,\theta}$  Cociente entre el límite elástico efectivo para la temperatura ( $\Theta_a$ ) y el límite elástico a 20  $^\circ\text{C}$ .

$$K_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$$

**EC. 20**

$K_{E,\theta}$  Cociente entre el módulo de elasticidad en la fase lineal del diagrama tensión-deformación, para la temperatura ( $\theta_a$ ) y el módulo de elasticidad a 20°C.

$$K_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$$

**EC. 21**

Los valores de estos coeficientes se toman de la tabla 45.1 de la EAE-11, en la que se admite interpolar linealmente. La aplicación de estos coeficientes es válida si se aplican los modelos de cálculo simplificado de las temperaturas del acero recogidos en la Instrucción, u otros procedimientos admitidos por la misma, pero en este segundo caso se debe verificar que la velocidad de incremento de temperatura se mantenga entre los límites  $2 \leq d_{\theta a}/dt \leq 50^\circ\text{C}/\text{minuto}$ .

En procedimientos simplificados se puede considerar una relación lineal entre la dilatación y la temperatura utilizando el coeficiente:

$$\alpha_\theta = 14 \times 10^{-6} (\theta_a - 20)$$

Igualmente, en procedimientos simplificados se puede considerar el calor específico independiente de la temperatura, tomando el valor:

$$c_a = 600 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{K})$$

Y se puede considerar la conductividad térmica independiente de la temperatura, tomando el valor:

$$\lambda_a = 45 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{K})$$

Aunque la norma da unos valores característicos para cada material de protección, es posible tomar en consideración valores reales como por ejemplo los aportados por los propios fabricantes en sus ensayos.

### **2.3. Método de debilitación mediante disminución de la sección de perfil**

En apartados anteriores, se han calculado todas las acciones que pueden actuar en una

edificación, con objeto de poder evaluarlas, poder hacer las correspondientes comprobaciones y así, poder justificar que cumple con lo establecido en el CTE.

De entre todas las hipótesis, se estudiará, con la ayuda del mencionado programa CESPLA, el cual se describió en el apartado de acciones por cargas térmicas, solo las más desfavorables, pues son las que van a determinar el cumplimiento, o no, de la seguridad estructural.

Como lo que se busca es justificar que el fallo de una estructura en caso de incendio no afecta a las estructuras de las naves colindantes, nos encontramos con 2 casos bien diferenciados y que se entiende que se deben estudiar por separados, ya que de esto va a depender la elección de las hipótesis estudiadas anteriormente:

- Caso 1: nave adosada a otras naves por ambos lados con estructura compartida.
- Caso 2: nave adosada a otra nave sólo por uno de sus lados, estando en contacto con el exterior por el otro.

Las cargas gravitatorias tienen un valor de  $0.6 \text{ kN/m}^2$ , tal y como se indicó anteriormente.

Debido a que se va a dar por hecho que la estructura es existente, y de cierta antigüedad, se va a considerar que la estructura estará formada por perfiles A42b, si bien el proceso de cálculo con perfiles actuales es idéntico, ya que las variaciones de las propiedades mecánicas de los mismo se hacen mediante coeficientes, tal y como se vio en un apartado anterior.

Dada la gran variedad de casos que se pueden estudiar, a continuación se va a estipular un criterio para ir numerándolos, de manera que viendo el número que corresponde a cada caso, se pueda saber perfectamente cuáles son las condiciones del mismo. De este modo, un caso denominado “Caso 1–2–60-3-3” significaría “Caso de nave adosada a ambos lados, con la estructura debilitada según la opción 2 y con un tiempo transcurrido de 60 minutos de incendio, 3 cm de protección en el dintel y 3 cm de protección en la zona debilitada.”

Ya que el estudio, que en este trabajo se representa es distinto para cada tipo de nave que se pueda encontrar, y el objetivo del mismo es que sirva de guía para poder estudiar cada caso singular que se pueda presentar, sólo se va a estudiar el caso 1, es decir, naves adosadas a ambos lados; particularmente los casos 1-0-0-3-0 (en base al cuál se determinan las zonas menos solicitadas del dintel, adecuadas para realizar el debilitamiento), 1-3-90-3-1.5 (en el que se observa un incremento de la tensión por Von Mises pero aún sigue por debajo del límite elástico), y 1-3-90-3-1.5 (en el que ya sí se supera dicho límite elástico).

En relación a las opciones de debilitamiento analizadas, son tres:

- Opción 1 (figura 18): Para debilitar el perfil, se empezará por recortar las alas inferiores del mismo, una distancia de 3 cm por cada lado, de modo que el canto inferior de la IPE medirá 6 cm en lugar de los 12 cm del perfil normalizado, tal y como se muestra en la siguiente figura.

- Opción 2 (figura 19): Con objeto de poder debilitar mucho más el perfil en la zona modificada, se opta por hacer un corte más drástico en la geometría de éste, de manera que quede de la siguiente forma.
- Opción 3 (figura 20): Con objeto de poder debilitar algo menos el perfil en la zona modificada, se opta por hacer un corte más pequeño en el perfil, de manera que quede de la siguiente forma.

Conforme a lo anterior, se procede ahora a comentar los diferentes casos estudiados.

Caso 1-0-0-3-0: nave adosada a ambos lados, estructura sin debilitar, sin incendio, 3 cm de protección en todo el dintel

El modo a estudiar en este caso será el más desfavorable de los estudiados en el apartado de cálculo de las acciones en la estructura modelo elegida, esto es, el modo 5, pero sin viento lateral + carga térmica en condiciones convencionales (figura 21).

A partir de estos datos calculamos las cargas lineales en el pórtico, que se representan en la figura 22:

$$\frac{0.381kN}{m^2} \cdot \frac{101.97kg}{kN} \cdot 5m \cdot \frac{1m}{100cm} = 1.94kg/cm \quad \text{EC. 22}$$

$$\frac{0.490kN}{m^2} \cdot \frac{101.97kg}{kN} \cdot 5m \cdot \frac{1m}{100cm} = 2.50kg/cm \quad \text{EC. 23}$$

$$\frac{0.600kN}{m^2} \cdot \frac{101.97kg}{kN} \cdot 5m \cdot \frac{1m}{100cm} = 3.06kg/cm \quad \text{EC. 24}$$

Con estos datos, se introduce el modelo en el programa de cálculo de estructuras, obteniéndose los momentos flectores, cortante y deformaciones referidos en las tablas 12 y 13.

Debido a que dicho programa, no aporta datos parciales de la barra completa del pórtico con detalle suficiente, el dintel se ha dividido en segmentos de 1m de longitud aproximadamente, y se han introducidos las cargas indicadas en la figura 22. Además se ha considerado una carga térmica correspondiente a la temperatura máxima en la provincia de Málaga, de 48°C (apartado 1, Anejo E del DB SE-AE).

Tal y como se indicó anteriormente, el modelo matemático de dicho programa para calcular los efectos de las cargas térmicas, consiste en considerar que esta carga es debida a una variación lineal de la temperatura en el canto de la barra, y por lo tanto está definida por su

valor medio y su gradiente a lo largo del canto. Estas temperaturas se suponen uniformes a lo largo de toda la longitud de la barra, según se indica en el apartado 4.2 de la norma *UNE-EN 1993-1-2 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero*.

Debido a que tanto las estructuras existentes como nuevas, suelen disponer de soluciones constructivas denominadas cartelas, en la unión del pilar con el dintel, y ya que el programa no permite la introducción de una barra de sección variable respecto al eje x, se opta por la introducción de una barra en el “segmento 2 y 13” de un perfil mayor, en nuestro caso una IPE-300, consideración que estaría del lado de la seguridad, puesto que por las características geométricas de la cartela, estas tiene en su mayor parte de la longitud una sección mayor, además de que la opción elegida ocasiona un aumento del esfuerzo en las barras 3 y 12.

CASO	BARRA 3			BARRA 4			Deformación Pilar-dintel	Deform. Max. Adm. Pilar- Dintel cm (L/250)	¿CUMPLE?
	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>			
SIN DEBILITAR									
1-0-0-3-0	-1173,68	130,42	1195,22	-524,13	102,20	553,21	0,67	2,80	SI

Tabla 12

CASO	BARRA 12			BARRA 11			Deformación Pilar-dintel	Deform. Max. Adm. Pilar- Dintel cm (L/250)	¿CUMPLE?
	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>			
SIN DEBILITAR									
1-0-0-3-0	-1113,97	136,28	1138,70	-440,69	104,87	476,66	0,59	2,80	SI

Tabla 13

Como ya es sabido, los valores de cortante son poco significativos respecto al flector, y tal y como se puede ver en las tablas de datos correspondientes, estos valores son irrelevantes.

De los datos obtenidos se desprende que las barras 4 y 11 son las zonas menos solicitadas del dintel, por lo que a priori esta sería la zona ideal para hacer alguna debilitación del perfil, puesto que, en el caso más habitual (en el que la sección es constante a lo largo de toda la barra) se trata de la zona en la que una reducción de la sección compromete en menor medida la seguridad de la barra para cualesquiera condiciones de uso compatibles con las existentes en el momento del análisis.

Del mismo modo, tanto el valor mínimo de momento flector como de tensión por el Criterio de Von Mises ocurre en la barra 3.

Caso 1-3-80-3-1.5: nave adosada a ambos lados. Estructura debilitada – opción 3, 80 minutos de incendio, 1.5 cm de protección en la zona debilitada y 3 cm de protección en el resto del dintel

5

La tabla 14 recoge los valores de la temperatura a 80 minutos con 1.5cm de protección en la zona debilitada y 3 cm de protección en el resto del dintel.

Perfil	Disposición	Perímetro Expuesto (m)	Sección (M <sup>2</sup> )	Espesor protección (cm)	T <sup>a</sup> Acero (°c)	Mód. Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	Límite elástico Kg/cm <sup>2</sup>
IPE-270	PILAR	0.1482	0.00459	3	74.96	2.100.000	2600
IPE-240	DINTEL	0.9220	0.00391	3	255.83	1.772.751	2600
IPE-300	CARTELA	1.1600	0.00538	3	241.77	1.802.289	2600
IPE-240 Debilitación 3	DINTEL	0.6209	0.002487	1.5	496.8	1.266.728	2600

10

Tabla 14

Con estos valores y la ayuda de CESPLA, obtenemos los valores referidos en las tablas 15 y 16.

CASO	BARRA 3			BARRA 4			Deformación Pilar-dintel (cm)	Deform. Max. Adm. Pilar-Dintel cm (L/250)	¿CUMPLE?
	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>			
DEBILITACIÓN OPCIÓN 3									
1-3-80-3-1,5	-1082,87	122,81	1103,56	-2123,40	-183,37	2147,02	2,38	2,80	SI

15

Tabla 15

CASO	BARRA 12			BARRA 11			Deformación Pilar-dintel	Deform. Max. Adm. Pilar-Dintel cm (L/250)	¿CUMPLE?
	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>			
DEBILITACIÓN OPCIÓN 3									
1-3-80-3-1,5	-1067,86	130,26	1091,43	-1890,37	191,64	1919,29	2,26	2,80	SI

Tabla 16

20

Se observa que ha subido la tensión por Von Mises, pero aún sigue por debajo del límite elástico. El desplazamiento de los nudos pilar-dintel sigue aumentando.

Caso 1-3-90-3-1.5: nave adosada a ambos lados. Estructura debilitada – opción 3, 90 minutos de incendio, 1.5 cm de protección en la zona debilitada y 3 cm de protección en el resto del dintel

- 5 Los valores de la temperatura a 90 minutos con 1.5cm de protección en la zona debilitada y 3 cm de protección en el resto del dintel se recogen en la tabla 17.

Perfil	Disposición	Perímetro Expuesto (m)	Sección (M <sup>2</sup> )	Espesor protección (cm)	T <sup>a</sup> Acero (°c)	Mód. Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	Límite elástico Kg/cm <sup>2</sup>
IPE-270	PILAR	0.1482	0.00459	3	81.40	2.100.000	2600
IPE-240	DINTEL	0.9220	0.00391	3	288.54	1.704.077	2600
IPE-300	CARTELA	1.1600	0.00538	3	272.65	1.737.426	2600
IPE-240 Debilitación 3	DINTEL	0.6209	0.002487	1.5	546.06	979.505	1656

Tabla 17

10

Con estos valores y la ayuda de CESPLA, obtenemos los valores referidos en las tablas 18 y 19.

CASO	BARRA 3			BARRA 4			Deformación Pilar-dintel (cm)	Deform. Max. Adm. Pilar-Dintel cm (L/250)	¿CUMPLE?
	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>			
DEBILITACIÓN OPCIÓN 3									
1-3-90-3-1,5	-1034,84	121,54	1056,03	-1912,84	-180,91	1938,33	2,64	2,80	SI

15

Tabla 18

CASO	BARRA 12			BARRA 11			Deformación Pilar-dintel	Deform. Max. Adm. Pilar-Dintel cm (L/250)	¿CUMPLE?
	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>	Axil kg/cm <sup>2</sup>	Cortante kg/cm <sup>2</sup>	Von Mises kg/cm <sup>2</sup>			
DEBILITACIÓN OPCIÓN 3									
1-3-90-3-1,5	-1039,29	129,68	1063,28	-1756,52	190,53	1787,25	2,51	2,80	SI

Tabla 19

- 20 Se comprueba que tanto en la barra 4 como la barra 11 se supera el límite elástico de la zona debilitada, que tal y como se indicó en la anterior tabla de parámetros del material en función de la temperatura, era de 1656 kg/cm<sup>2</sup>.

De este modo, se observa que se cumplen las siguientes condiciones:

- El único punto donde se supera el límite elástico del material y por tanto donde se produciría el colapso de la estructura es en la zona debilitada.
- El colapso se produce después de superar los 60 minutos que exige el REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad  
5      Contra Incendios en los Establecimientos Industriales.
- En el momento en el que colapsa la estructura el desplazamiento de los nudos de las uniones pilar-dintel tienen una deformación inferior al máximo indicado en el apartado 4.3.3.2. del DB-SE del CTE sobre desplazamientos horizontales. En dicho apartado se indica que cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura  
10     global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones casi permanente, el desplome relativo es menor que 1/250.

También hay que recordar, tal y como se indicó anteriormente, la necesidad de disminuir el espesor de la protección para conseguir que la temperatura en la zona debilitada aumente más  
15     rápidamente, lográndose que el límite elásticos de dicha zona caiga antes que en el resto de la estructura.

Una vez observados los resultados, se considera que la opción de debilitación 3, y protegiendo la estructura con 1,5 cm de espesor de mortero de lana de roca en la zona debilitada y 3 cm de espesor en el resto del pórtico se cumplen las condiciones para poder  
20     afirmar que el colapso de la estructura de la nave en estudio en caso de incendio no afectaría a las naves colindantes ni compromete la sectorización respecto a éstas.

#### Conclusiones del método de debilitación mediante disminución de la sección de perfil

Aunque en la actualidad, los técnicos de la administración, como norma general, obligan a que los materiales utilizados para la protección pasiva, y que son denominados “con marcado CE” deban cumplir al menos el espesor que se indica en los ensayos realizados por los propios fabricantes, en este caso, y dado el carácter de estudio de investigación que posee el presente trabajo, se entiende que no sería necesario dicho cumplimiento, toda vez que se realizan  
30     cálculos analíticos para el cálculo de la temperatura del acero en caso de incendio con fuego normalizado, utilizando para ellos los datos de conductividad térmica, calor específico y densidad aportado por el propio fabricante en su ficha técnica de producto. De este modo se pretende que el presente estudio pueda convertirse en un posible referente a la hora de poder diseñar un estudio alternativo de la protección pasiva en establecimientos industriales.

A pesar de lo indicado en el párrafo anterior, es necesario insistir que la única zona que va a tener un espesor menor que el indicado en los ensayos aportados por el fabricante, es en la

zona debilitada, siendo esta zona de una longitud no superior a 10 cm, además de contarse con un margen de tiempo de aproximadamente 30 minutos, ya que la zona debilitada colapsa en el minuto cercano al 90, cuando lo que se le exige son 60 minutos de resistencia al fuego.

5 Por tanto, tal y como se indicó anteriormente, queda demostrado que el comportamiento de la estructura en caso de incendio no menoscaba la estabilidad u otras condiciones de las naves colindantes, debido a que las deformaciones son menores que las máximas permitidas por el CTE, por lo que se puede afirmar que la sectorización respecto a las naves colindantes no se ve comprometida por el colapso de la estructura. Esta afirmación se hace extensible tanto a los  
10 muros delimitadores del establecimiento, como a la posible franja corta fuegos para la sectorización por cubierta, ya que dicha franja, habitualmente se encuentra fijada mediante tornillos al propio muro, y no a la estructura de cubierta, método, que por otro lado, es el que se indica en los ensayos de los principales fabricantes de materiales para protección pasiva.

15

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de control del colapso de estructuras de establecimientos industriales en caso de incendio caracterizado por que comprende las siguientes etapas:
  - 5 1. Caracterización del establecimiento industrial cuyo colapso en caso de incendio se desea controlar, que comprende la determinación de las acciones o cargas que actúan sobre la estructura de dicho establecimiento;
  2. Diseño y cálculo de la debilitación a practicar en la estructura de dicho establecimiento industrial; e
  - 10 3. Implementación de la debilitación seleccionada.
  
2. Procedimiento según la reivindicación anterior caracterizado por que la etapa de caracterización comprende la determinación de las siguientes acciones o cargas:
  - 15 • Cargas permanentes (peso propio de todos los elementos (estructura, fachadas, cubiertas, anclajes, puertas, etc.);
  - Sobrecarga de nieve (acción sobre la cubierta que, en un terreno horizontal, viene determinada por la altitud y por la zona de clima invernal);
  - Acción o carga del viento (acción sobre las cubiertas y paramentos);
  - Sobrecarga de uso (toma en consideración el peso de las personas sobre la cubierta);
  - 20 y
  - Acción o carga sísmica, que depende directamente de la masa del edificio.
  
3. Procedimiento según la reivindicación anterior caracterizado por que la caracterización de la acción o carga del viento toma en consideración las tres direcciones del viento siguientes:
  - 25 • Viento +X, que corresponde a la dirección paralela a los pórticos;
  - Viento +Y, perpendicular a la fachada frontal; y
  - Viento -Y, igual que el viento +Y, pero sobre la fachada posterior.
  
4. Procedimiento según la reivindicación anterior caracterizado por que comprende la determinación y evaluación del viento para la dirección +X considerando bien huecos abiertos o cerrados, bien presión o succión en ambos faldones, y bien presión-succión o succión-presión.
- 30
  
5. Procedimiento según la reivindicación anterior caracterizado por que la determinación y evaluación del viento para las direcciones +Y y -Y considerando bien huecos abiertos o cerrados.
- 35

6. Procedimiento según cualquiera de la reivindicación 2 caracterizado por que la caracterización de la carga o acción sísmica comprende la determinación de:
- La aceleración de cálculo,
  - Los períodos y modos de vibración,
  - El coeficiente de respuesta, que depende del nivel de ductilidad;
  - Las masas que intervienen, y
  - Las fuerzas estáticas equivalentes.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la etapa de diseño y cálculo comprende tanto el cálculo de la carga térmica como el análisis del comportamiento de la estructura, análisis que a su vez comprende:
1. La selección de los escenarios de incendio,
  2. La determinación de la acción de incendio de cálculo (“fuego de cálculo”) correspondiente;
  3. El cálculo de la evolución de la temperatura en el interior de los elementos estructurales como consecuencia de su exposición al “fuego de cálculo” adoptado; y
  4. El cálculo del comportamiento mecánico de la estructura expuesta a dicho “fuego de cálculo” a lo largo de un intervalo de tiempo concreto.
8. Procedimiento según la reivindicación anterior caracterizado por que la etapa de diseño y cálculo toma en consideración, para el diseño de la debilitación, el método de debilitación mediante disminución de la sección de perfil, que consiste en modificar (debilitar) la estructura en las zonas menos solicitadas en lo que a tensiones soportadas se refiere, modificando sus características (por ejemplo, dimensiones, geometría, valores mecánicos, etc.).

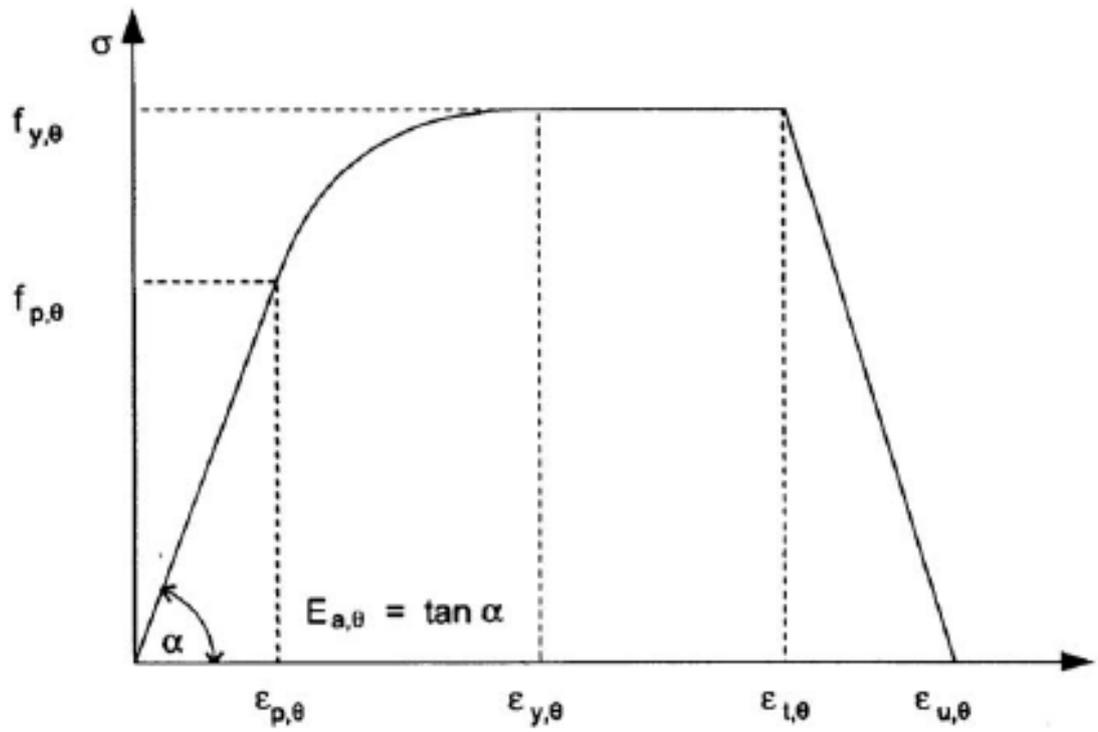


Figura 1

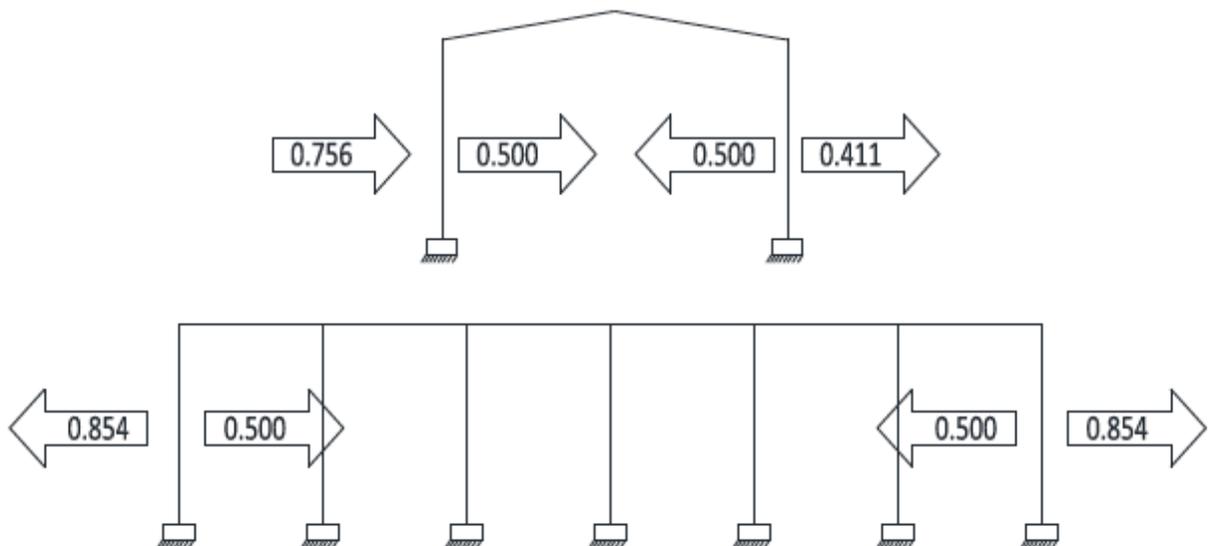


Figura 2

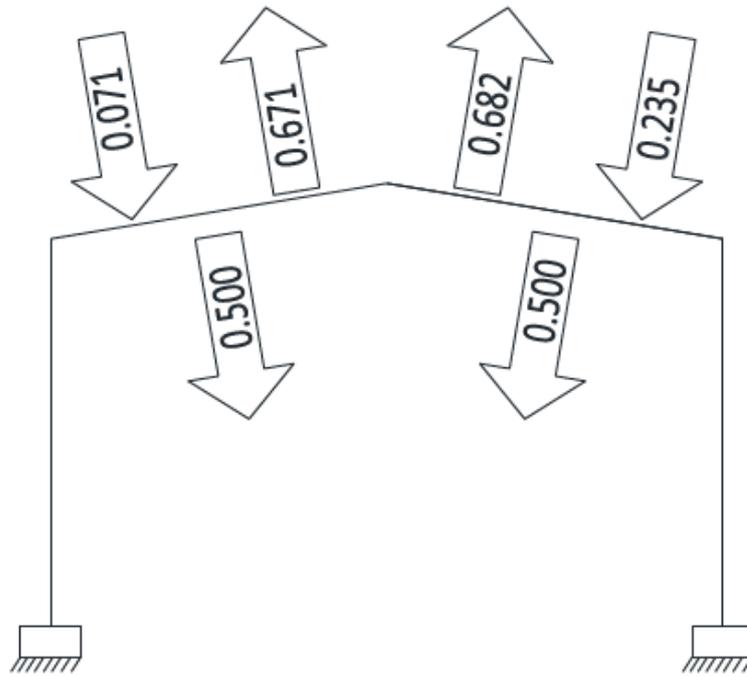


Figura 3

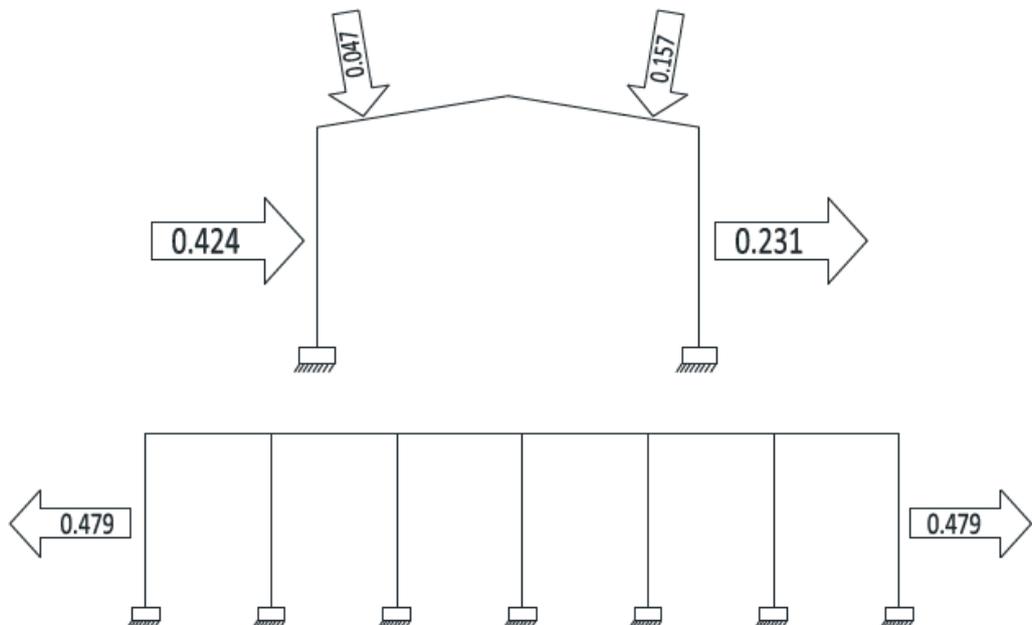


Figura 4

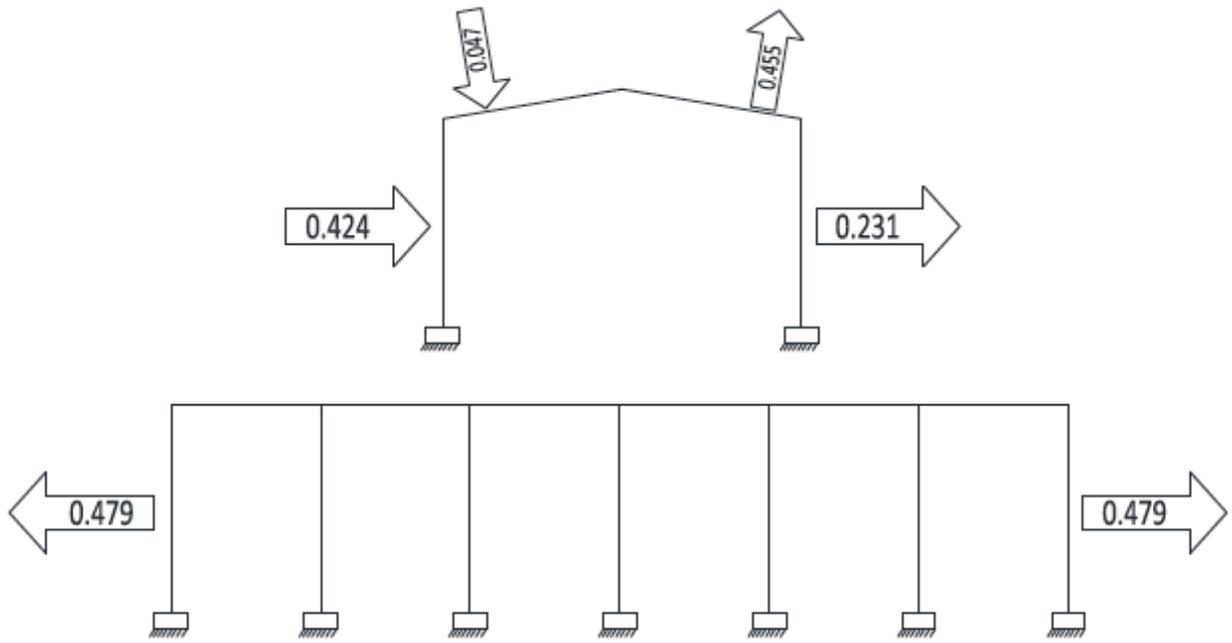


Figura 5

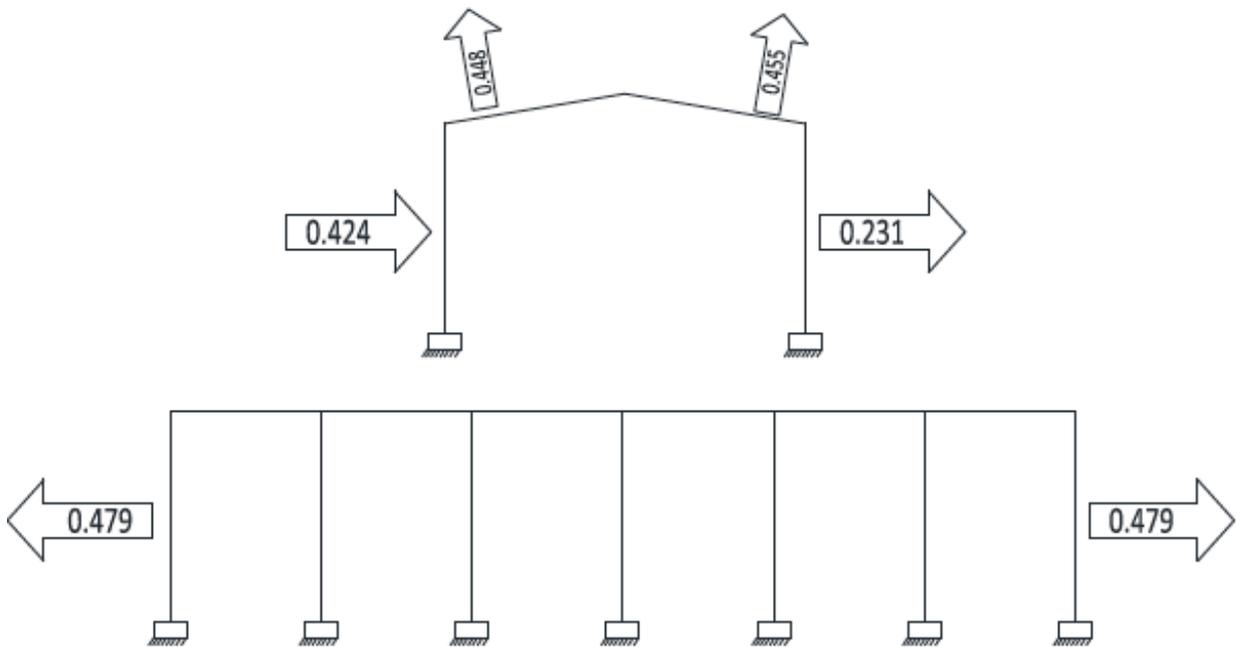


Figura 6

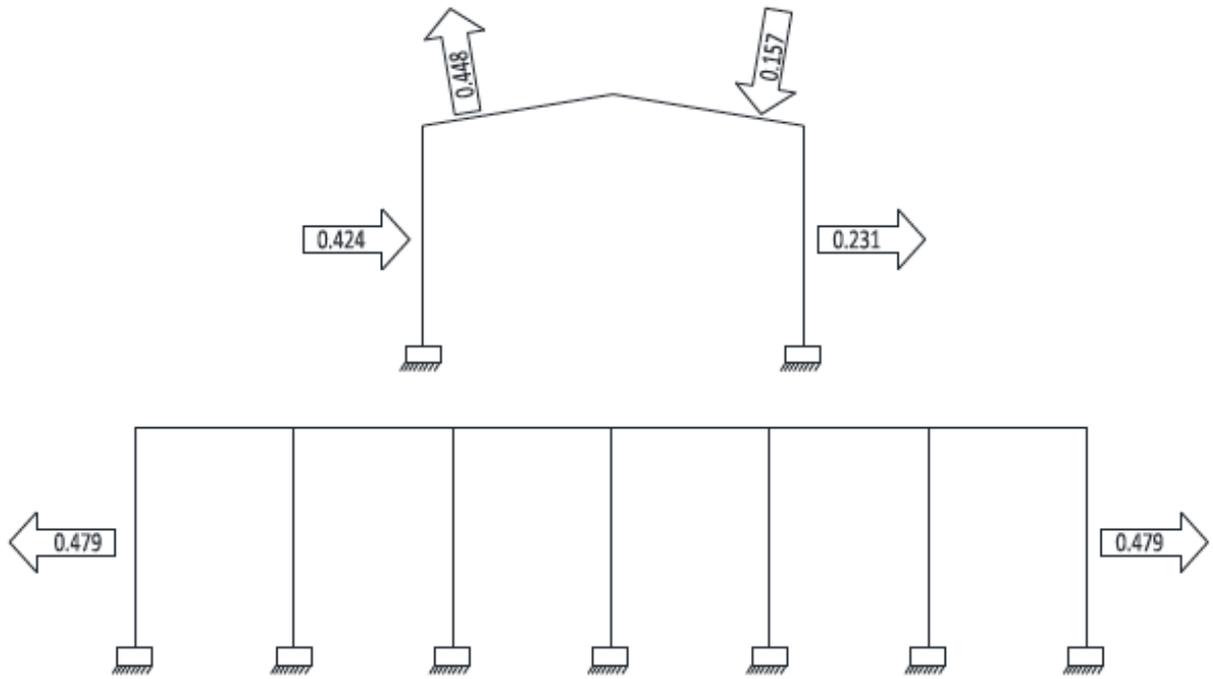


Figura 7

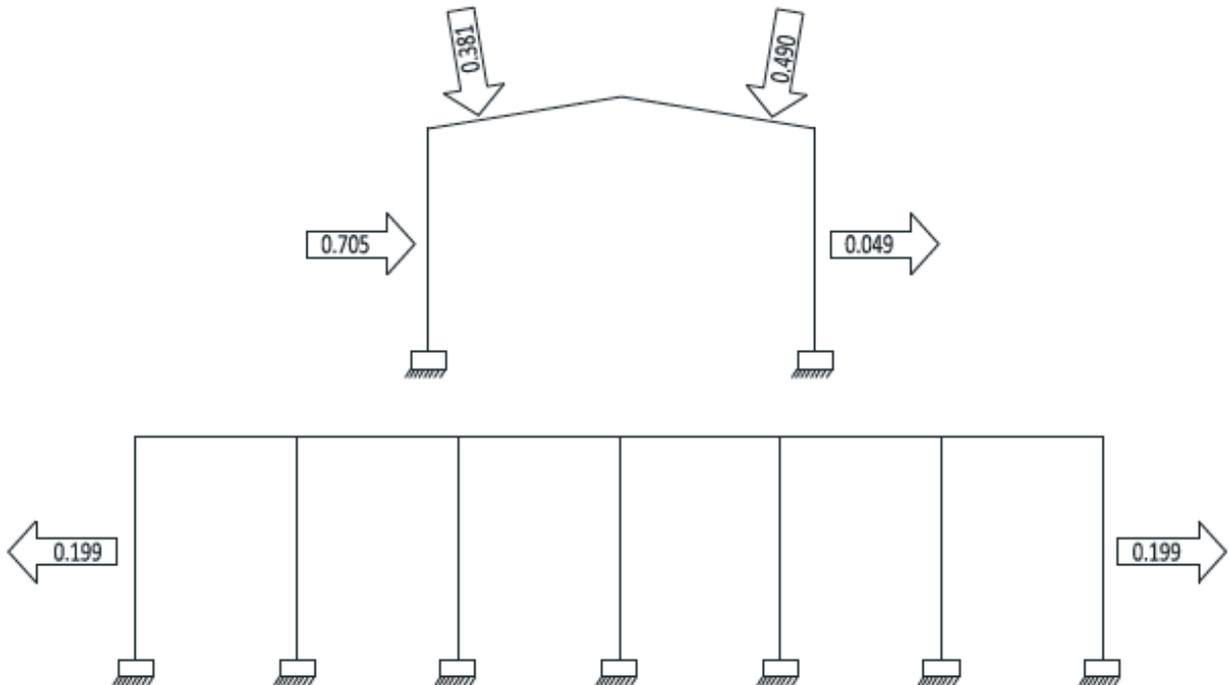


Figura 8

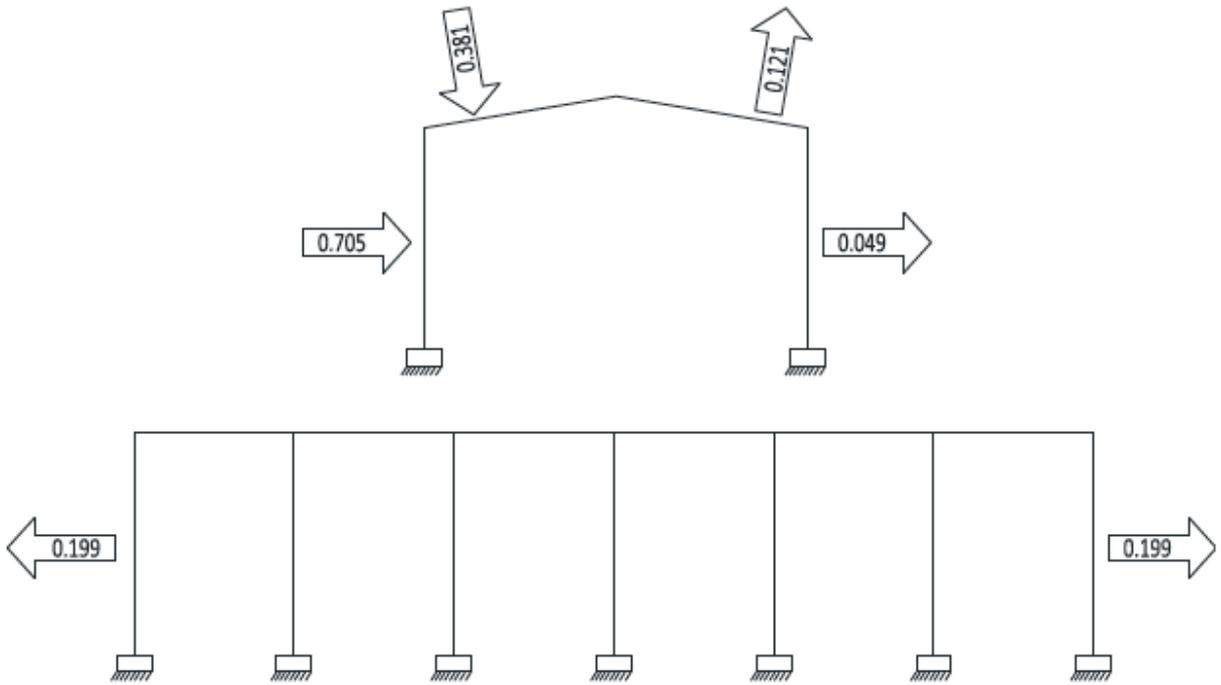


Figura 9

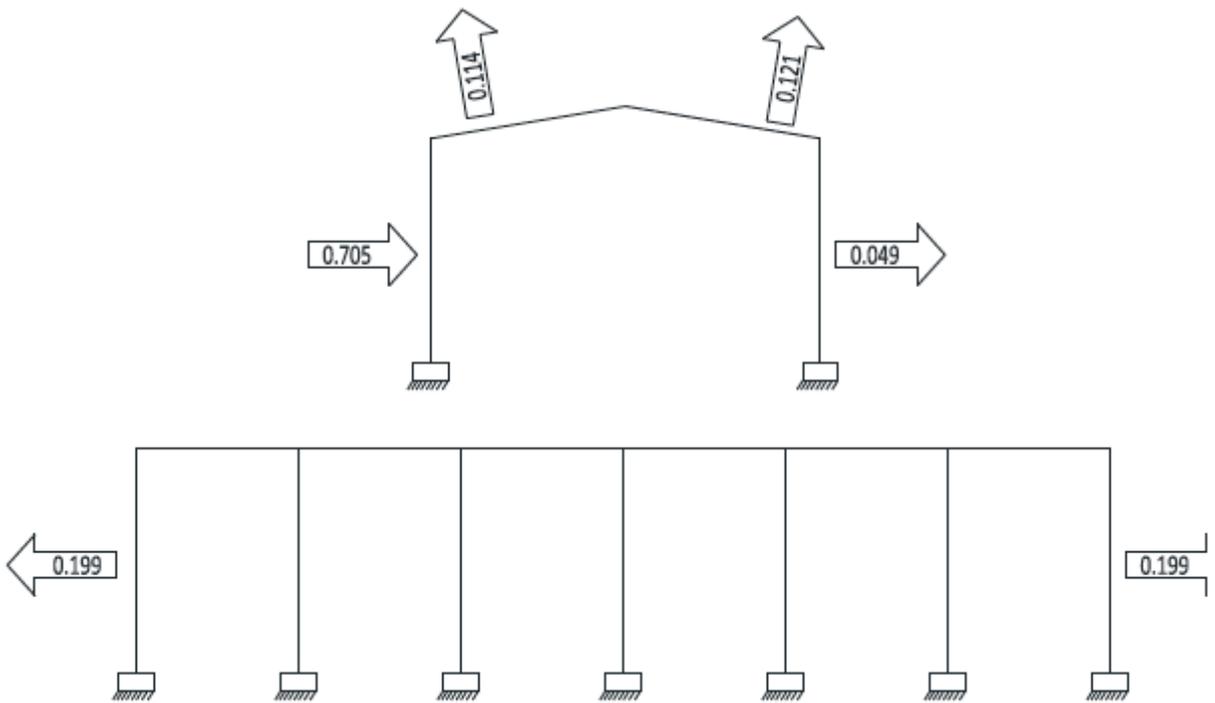


Figura 10

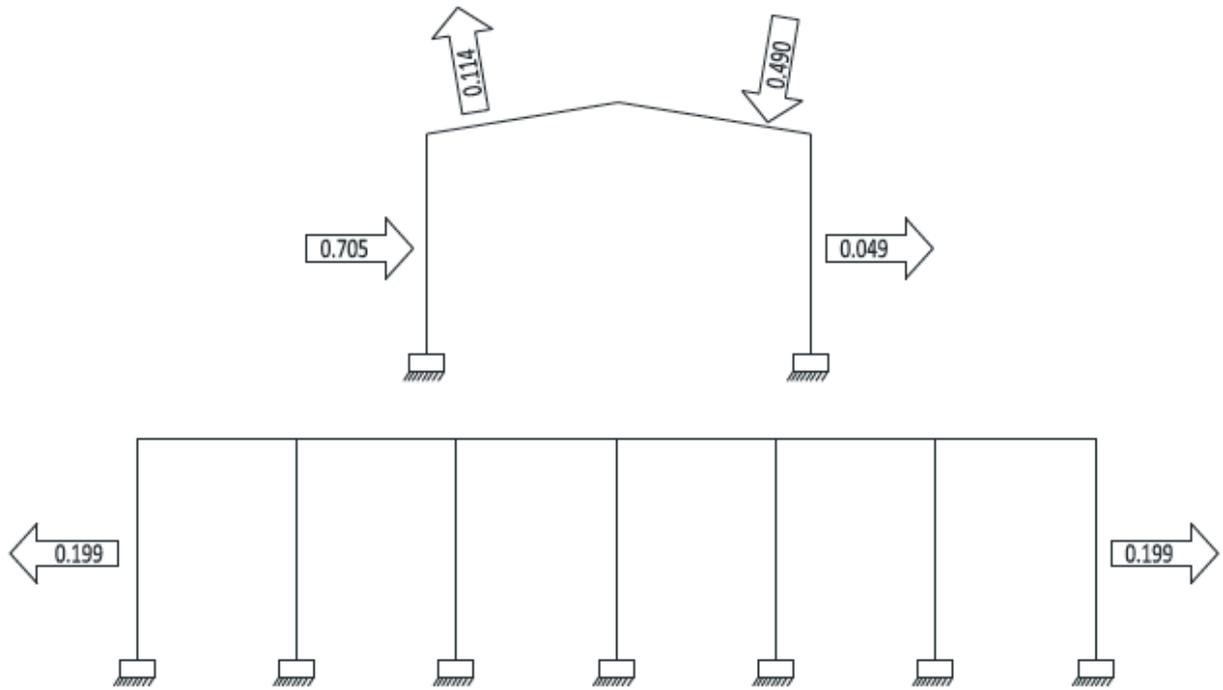


Figura 11

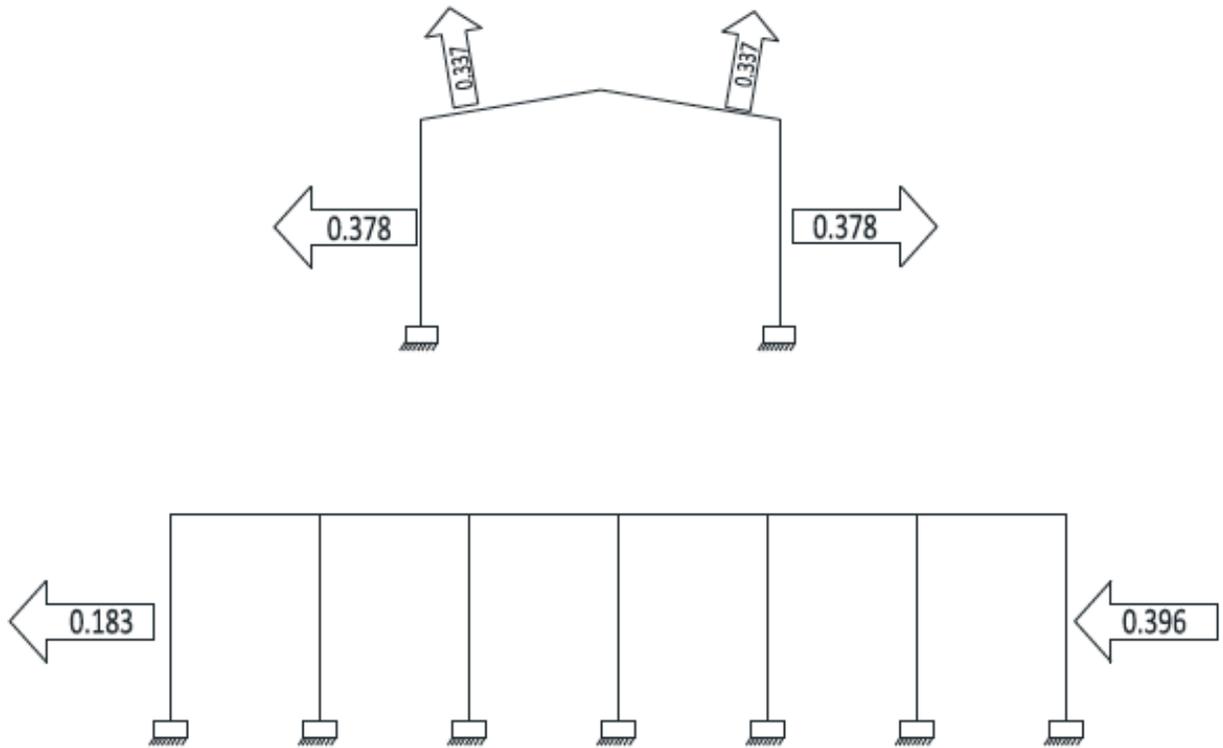


Figura 12

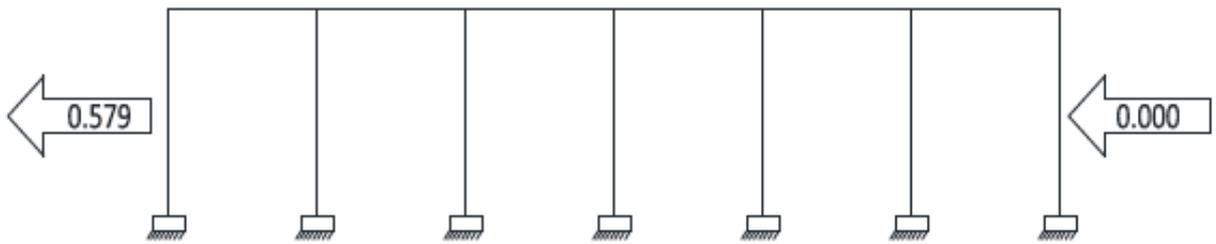
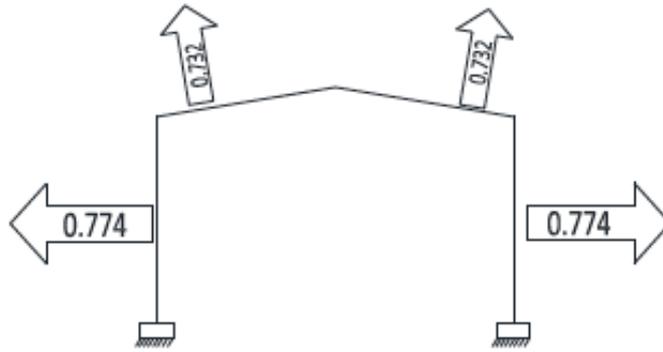


Figura 13

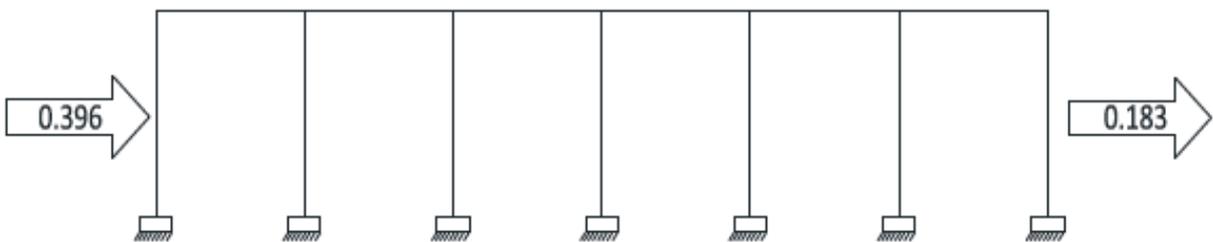
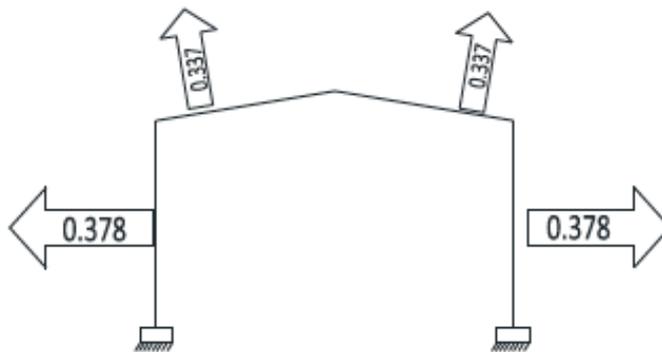


Figura 14

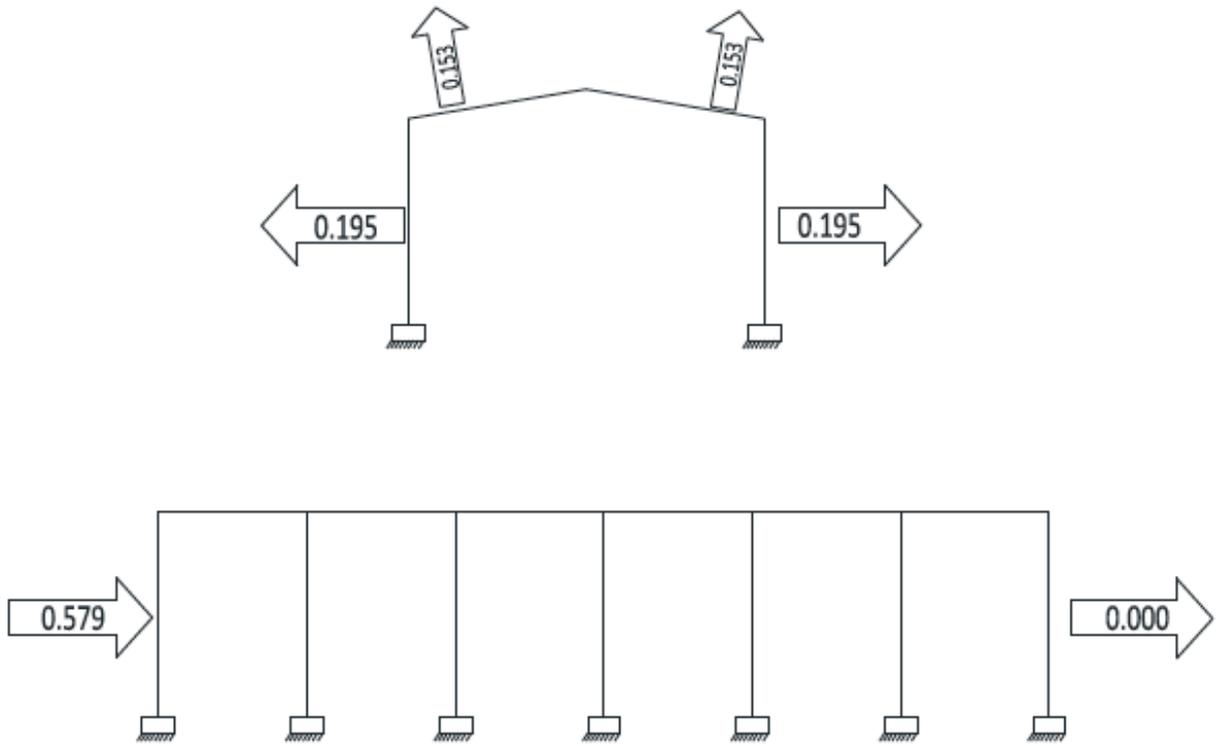


Figura 15



Figura 16

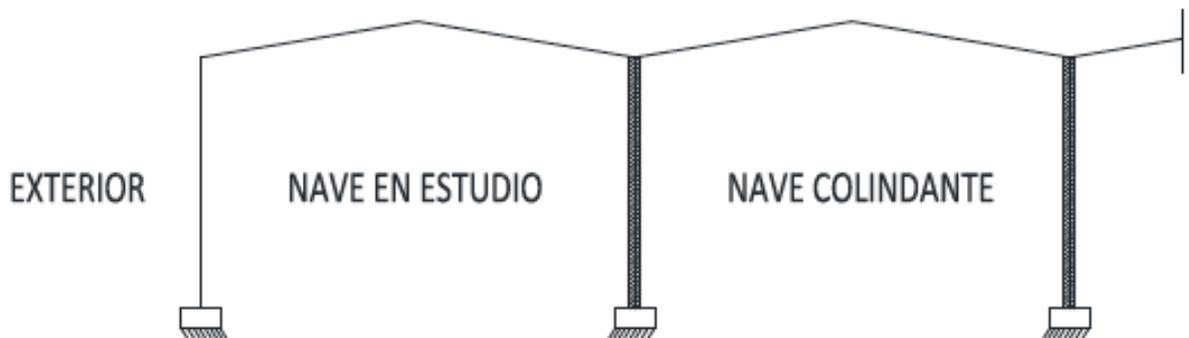


Figura 17

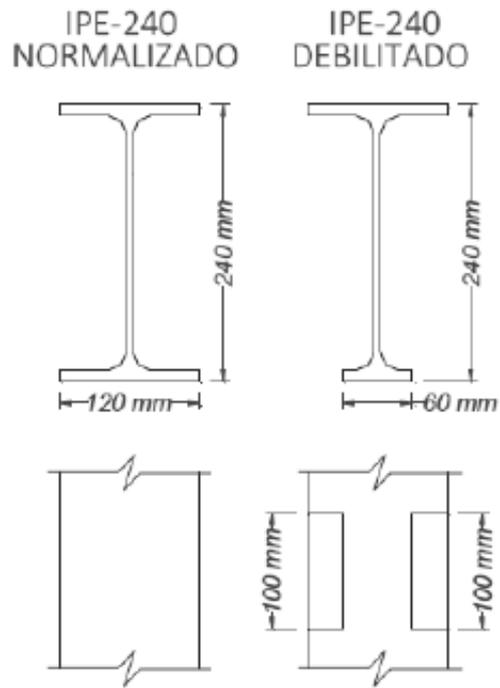


Figura 18

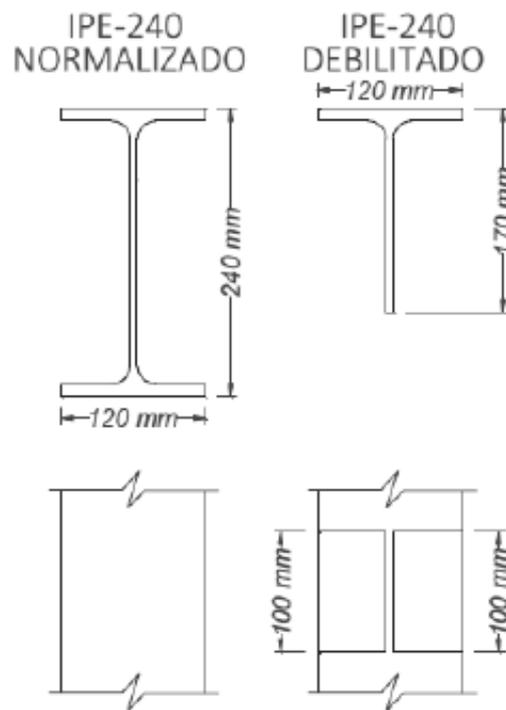


Figura 19

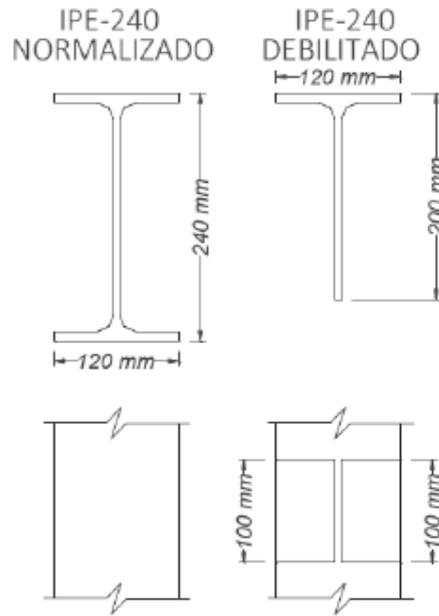


Figura 20

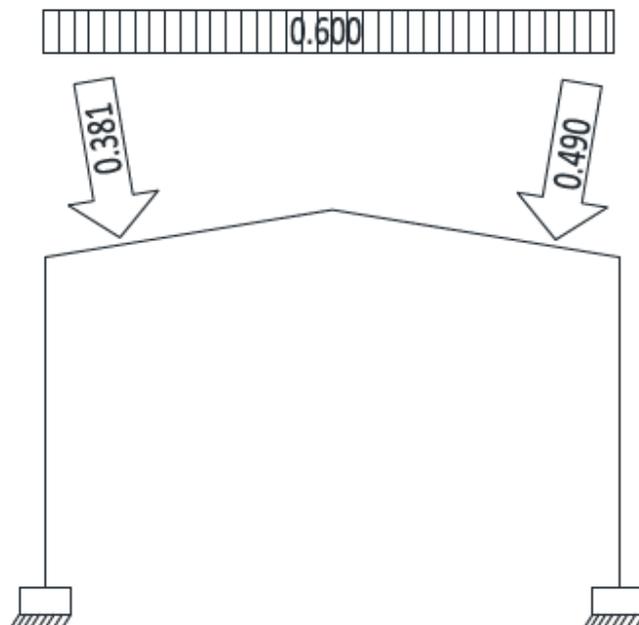


Figura 21

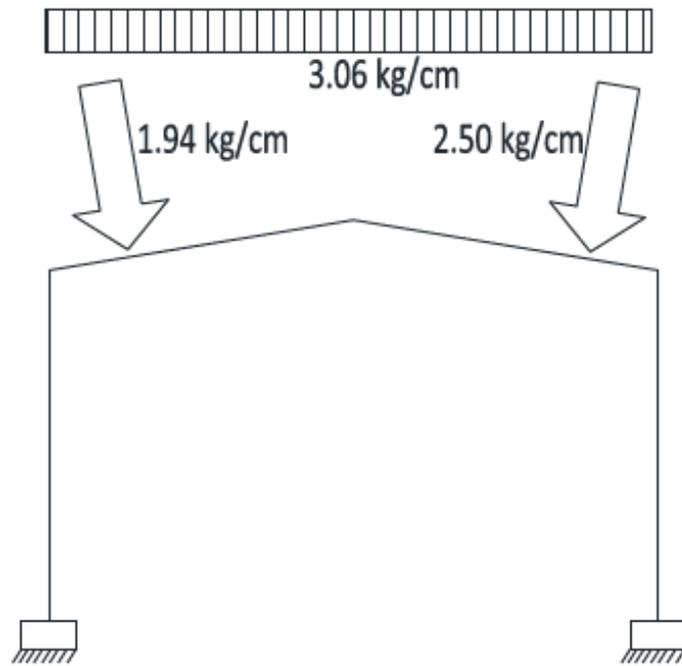


Figura 22



②① N.º solicitud: 201830242

②② Fecha de presentación de la solicitud: 20.12.2016

③② Fecha de prioridad: **20-12-2016**

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2012279143 A1 (HATZNIKOLAS MICHAEL) 08/11/2012, & Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE; AN US-201113098908-A; página 1, párrafos [0001] - [0011]; página 2, párrafo [0017],[0019];figuras 1,11, 13.	1-8
X	WO 9901624 A1 (MANNING NOEL CHRISTOPHER) 14/01/1999, Página 1, línea 3 - página 4, línea 27; figuras.	1-8
X	US 3974607 A (BALINSKI HENRY A) 17/08/1976, & Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE; AN US-51630274-A; figuras.	1-8
A	US 3716959 A (BERNARDI J) 20/02/1973, & Resumende la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE; AN US-3716959D-A; figuras.	1-8
A	ES 2341582T T3 (ARCELORMITTAL COMMERCIAL SECTI) 22/06/2010, Descripción; figuras.	1-8

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
09.04.2018

Examinador  
R. Puertas Castaños

Página  
1/4

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**E04B1/19** (2006.01)

**E04B1/94** (2006.01)

**A62C2/06** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E04B, A62C

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 09.04.2018

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-8	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-8	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2012279143 A1 (HATZNIKOLAS MICHAEL)	08.11.2012
D02	WO 9901624 A1 (MANNING NOEL CHRISTOPHER)	14.01.1999
D03	US 3974607 A (BALINSKI HENRY A)	17.08.1976
D04	US 3716959 A (BERNARDI J)	20.02.1973
D05	ES 2341582T T3 (ARCELORMITTAL COMMERCIAL SECTI)	22.06.2010

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Entre los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, cabe citar como más próximo a la invención, el documento **US20120279143 (D01)**.

**D01** divulga (ver resumen; página 1, párrafo [0007]; y figuras 1,11 y13) un procedimiento de construcción de muros cortafuegos, susceptible de ser utilizado como procedimiento de control del colapso en estructuras de establecimientos industriales en caso de incendio, caracterizado porque comprende la etapa de disposición de una debilitación (elemento fusible, 14) sobre un soporte estructural (32), con elementos que provocan el fallo del forjado soportado, por deslizamiento, cuando se debilita este fusible por la acción del fuego.

Reivindicación 1 a 7

Las diferencias entre el procedimiento de la invención según la reivindicación 1 y lo divulgado por D01 son las siguientes:

- La invención incluye las siguientes etapas, no divulgadas explícitamente por D01:
  - **Caracterización del establecimiento industrial** cuyo colapso en caso de incendio se desea controlar, que comprende la determinación de las acciones o cargas que actúan sobre la estructura de dicho establecimiento.
  - **Diseño y cálculo de la debilitación** a practicar en la estructura del establecimiento industrial.

Tanto la caracterización del establecimiento industrial, que comprende la determinación de acciones y cargas, como la etapa de diseño y cálculo de la estructura, con los escenarios de incendio, fuego de cálculo, etc., y el cálculo del comportamiento mecánico de la estructura, así como el diseño y cálculo de la debilitación, responden a un **dimensionamiento de los elementos resistentes, habitual y necesario** para el proyecto de cualquier establecimiento industrial, sometido a una normativa y a una práctica habitual del proyectista de estructuras.

El **cálculo de la debilitación** es necesario y **se incluye implícitamente** en el procedimiento divulgado por D01, ya que siempre es necesario un dimensionamiento, conforme a la normativa vigente, de cualquier elemento componente de la estructura, con diferentes hipótesis o escenarios previsibles durante la vida útil de la misma, en particular el escenario de funcionamiento frente a incendios.

Por lo tanto estas dos etapas del procedimiento de la invención de acuerdo con la reivindicación 1, son obligadas para el cálculo de la estructura de la nave industrial y su debilitamiento, **al alcance del experto en la materia** y, en consecuencia, **sin actividad inventiva**.

Las reivindicaciones 2 a 7 corresponden a reivindicaciones dependientes que desarrollan las etapas comentadas de caracterización del establecimiento, cálculos y diseño, por consiguiente, al igual que las etapas de la reivindicación principal, **sin actividad inventiva**.

Reivindicación 8

En esta reivindicación se particulariza la debilitación en una **disminución de la sección del perfil estructural**. Esta técnica de debilitación de las características resistentes en una determinada sección es bien conocida en el estado de la técnica, como, a modo de ejemplo, puede verse en **D04** (ver resumen, columna 2, líneas 27 a 45 y figuras). Por lo tanto, la reivindicación **carece de actividad inventiva**.

De la consideración de cualquiera de los documentos **D02 o D03** y, siguiendo un razonamiento similar, se llegaría a la misma conclusión de **falta de actividad inventiva de las reivindicaciones 1 a 8**.

El documento **D05** constituye un reflejo del estado de la técnica.

Conclusiones

**Las reivindicaciones 1 a 8 son nuevas, pero no implican actividad inventiva (art. 6 y 8 de la Ley de Patentes 11/1986).**