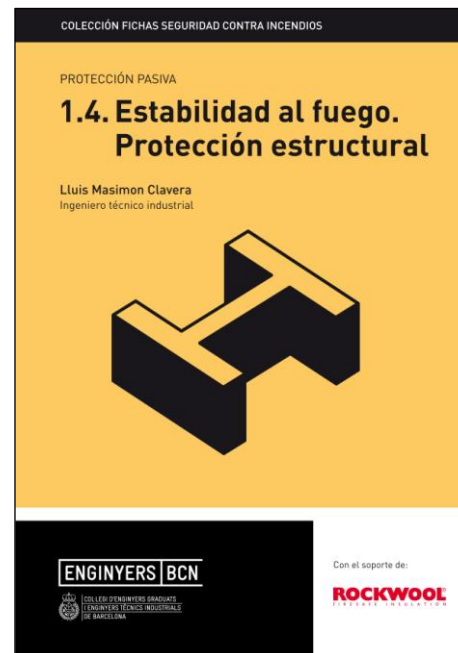


PRESENTACIÓ

1.4. ESTABILIDAD AL FUEGO. PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

Lluís Masimon



PROTECCIÓN PASIVA CONTRA INCENDIOS

La **protección pasiva contra incendios** comprende todos aquellos materiales, sistemas y técnicas, diseñado para prevenir la aparición de un incendio, impedir o relentecer su propagación, y facilitar su extinción.

Existen tres grandes grupos de PASIVA:

Diseño Materiales (Reacción): Ficha 1.1

Sectorización: sellado de penetraciones, compartimentaciones, etc.,
(Integridad, Aislamiento): Ficha 1.3

Protección de estructuras portantes (Resistencia): Ficha 1.4

OBJECTIVO y ALCANCE

La ficha 1.4 es eminentemente práctica y pretende definir los diferentes sistemas mas habituales para la Protección al fuego de los elementos estructurales que requieren según normativa una estabilidad al fuego determinada, y profundizar en cada uno de los tipos de Estructura a tratar para encontrar los sistemas mas adecuados de protección a prescribir.

El alcance de esta ficha va desde las Normativas de referencia, hasta como calcular en cada caso la Protección específica que se determine. Da una visión global de cada tipo de sistema para poder elaborar un criterio adecuado para cada situación.

PRESENTACIÓN FICHA 1.4

TEMARIO

SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

Pinturas

Morteros

Lanas minerales

Paneles

TIPOS DE SOPORTES A PROTEGER

Hormigón

Acero

Madera

Mixtos

MANTENIMIENTO

CADUCIDADES

CASO PRÀCTICO

SISTEMAS PARA A LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

PINTURAS INTUMESCENTES:

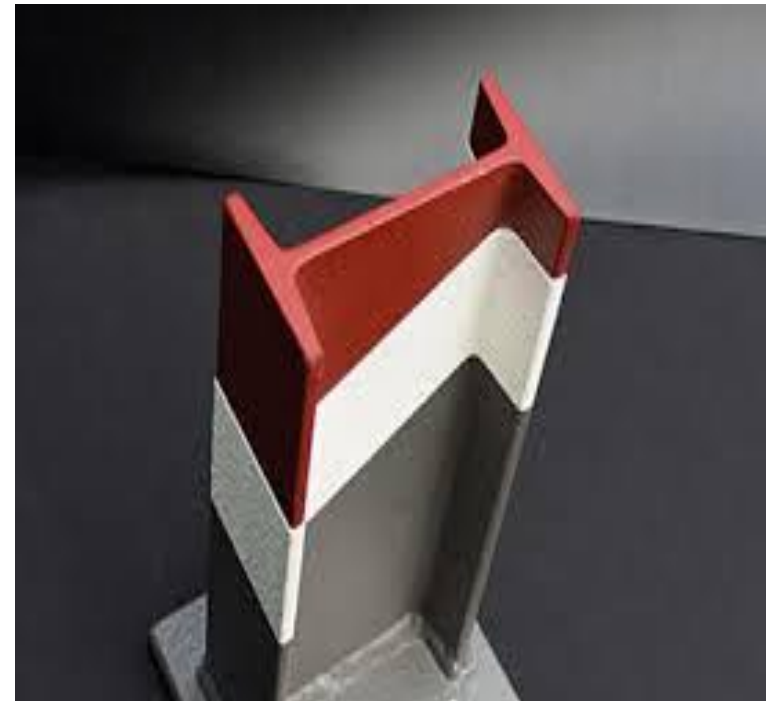
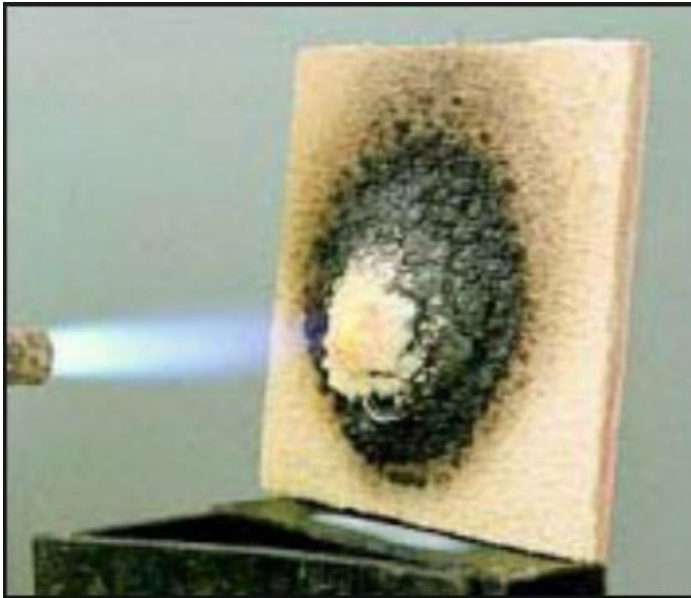
Son productos que frente al fuego actúan de forma *reactiva*; forman un aislamiento térmico al crear una masa carbonosa expandida i aislante (intumescencia) cuando se produce un incremento significativo de la temperatura.

- Capa fina
- Coeficiente de conductividad térmica del Carbono es mil veces menor que el del acero
- Reacción química endotérmica
- El volumen de espuma carbonosa formado (intumescencia), muy porosa y llena de gases, es un eficaz aislante térmico.
- Estos materiales se pueden aplicar a brocha, rodillo o pistola Airless.

Pinturas “Ablativas”, que se usan principalmente para la protección del hormigón.

Las pinturas intumescentes y las ablativas son productos que según el “Reglamento UE nº 305/2011 de PRODUCTOS DE CONTRUCCIÓN”, no necesitan el marcado C.E. y van por la vía DEE (Documento de Evaluación Europeo), antiguamente Guía DITE.

SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL



Ver video intumescencia

SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

MORTEROS PERLITA-VERMICULITA:

Son morteros secos de grano fino fabricado industrialmente sobre la base de perlita (roca volcánica tratada), aligerado con minerales laminares tipo vermiculita, y formulado con diversos aditivos para mejorar su aplicación mecánica

Se aplica mediante una máquina mezcladora automática de proyección por vía húmeda y con bomba helicoidal.

- Aspecto final rugoso.
- Capa gruesa (mm)
- Efectivo también por su baja conductividad térmica. **NO REACTIVO !!!**
- En el caso del hormigón actúa por espesor equivalente.
- En el caso de la madera, el ensayo indica el grosor a aplicar según la resistencia al fuego.

Son productos que según el “Reglamento UE nº 305/2011 de PRODUCTOS DE CONTRUCCIÓN”, no necesitan el marcado C.E., y van por la vía DEE (Documento de Evaluación Europeo), antiguamente Guía DITE.

SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL



SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

LANAS MINERALES:

Las Lanás Minerales son productos aislantes naturales constituidos por un entramado de ahilamientos de materiales pétreos que forman un fieltro que mantiene entre el aire inmovilizado, confiriéndole unas elevadas características contra el fuego.

- Son materiales incombustibles (EUROCLASSE a).
- No existe aportación de energía calorífica, ni desprendimiento de humos de combustión.

Este material lo encontramos comercialmente en dos formas distintas:

- Como a mortero para proyectar.
- Como paneles semi-rígidos.

Las Lanás Minerales para aplicaciones en la edificación tienen la obligatoriedad del **mercado CE** como materiales aislantes térmicos.

SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

LANAS MINERALES:

Mortero proyectado de lana mineral

El mortero de Lana de Roca se aplica mediante una máquina neumática que proyecta el mortero en seco hasta la punta de la embocadura, que es donde se realiza la mezcla con agua pulverizada.

El proyectado se ejecuta directamente sobre el soporte a proteger sin ninguna operación previa ni ningún tipo de refuerzo.

El grosor a aplicar depende directamente del factor de forma del perfil y de la resistencia al fuego.



SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

LANAS MINERALES:

Paneles semirrígidos de lana mineral

Los paneles semirrígidos tienen unas características equiparables en cuanto a ensayos a las placas rígidas.

No obstante, es un sistema centrado en protección de ventilaciones o sectorización oculta.

También se pueden utilizar para estructuras metálicas tal y como se muestra en la foto, cuando se requiere una instalación limpia y/o una elevada estabilidad al fuego.

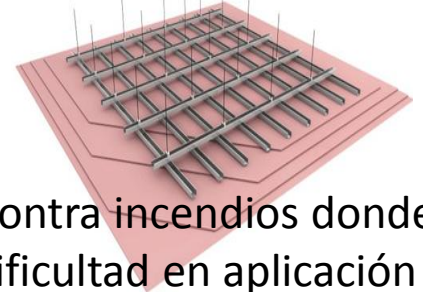


SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN ESTRUCTURAL

PANELES EN BASE YESO o FIBROSILICATO (placas)

El sistema de placas rígidas contra el fuego es material principalmente de sectorización:

- Compartimentación de falsos techos
- Pantallas cortafuegos
- Encajonado de perfiles, etc.,
- También se utiliza en aplicaciones específicas de protección contra incendios donde se prioriza un acabado especialmente embellecido, o donde haya dificultad en aplicación de mortero o pintura, o donde la estabilidad al fuego es elevada.
- Hay que poner especial atención en el sistema de perfiles necesarios para su instalación.



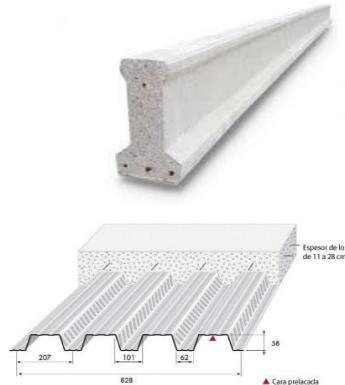
Los paneles rígidos de cartón-yeso y de fibra-silicato requieren del **mercado CE**.



TIPOS DE SOPORTE A PROTEGER

Según el tipo de material constructivo, cambia el tipo de protección contra el fuego.

Por lo tanto, hay que diferenciar los soportes (materiales) a proteger, y ajustar la prescripción técnica a dicho material.



DISTINTOS MATERIALES:

- ACERO: habitual en vigas y pilares estructurales.



- HORMIGÓN: habituales en vigas, pilares y forjados.

- MIXTOS: en forjados “mixtos” (chapa colaborante)

- MADERA: en vigas (también pilares pero no tan habitual)

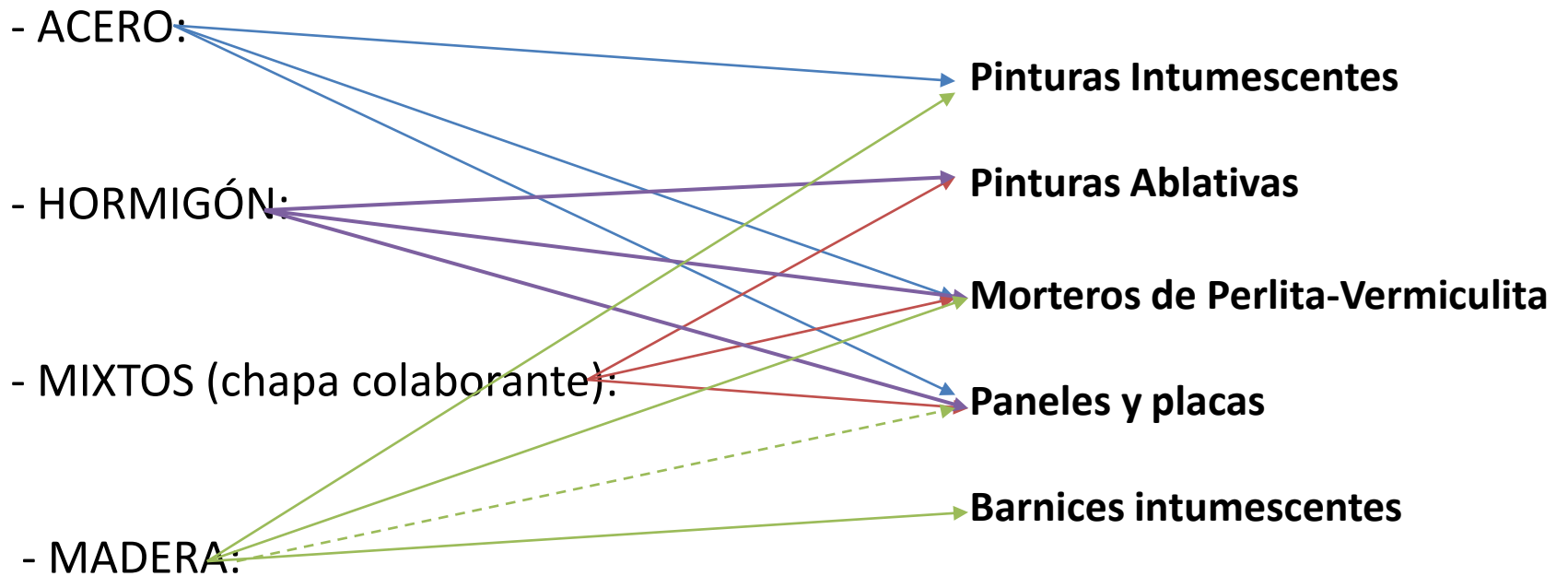
TIPOS DE SOPORTE A PROTEGER

TABLA RESUMEN DE PROTECCIÓN SEGÚN SOPORTE:

	MORTERO	PLACA	PINTURA	BARNIZ
ACERO	√	√	√	
HORMIGÓN	√	√	√	
MIXTO	√	√	√	
MADERA	√	√ (*)	√	√

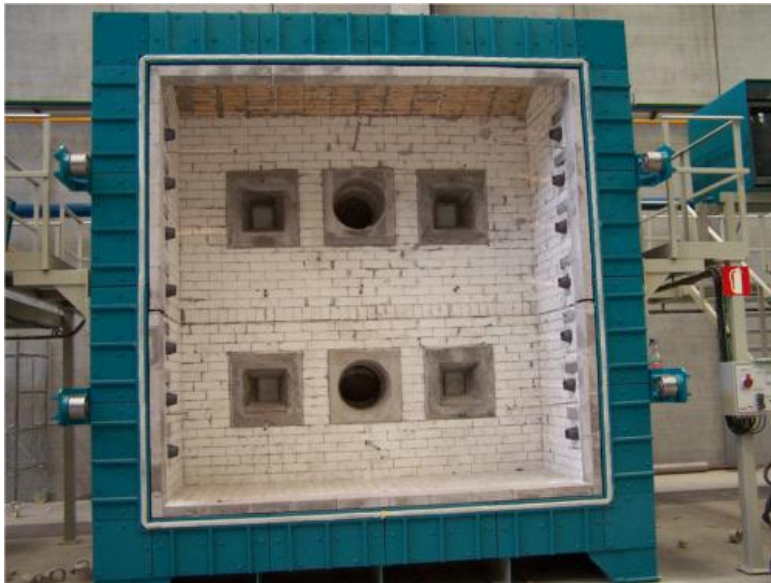
(*): A modo de sectorización, no directamente sobre perfiles portantes.

TIPOS DE SOPORTE A PROTEGER



ENSAYOS

UNE EN-13381: Para ensayos estándares de acero y hormigón se utiliza la curva del fuego ISO 834.

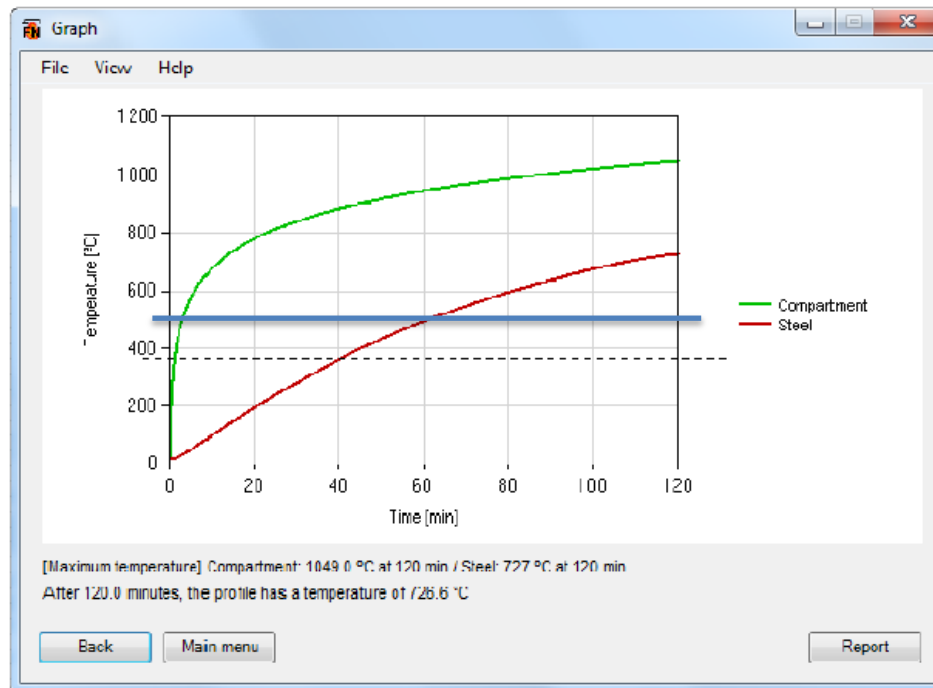


ENSAYOS

PILAR: HEB 220 a 3 caras

Temperatura gas – Curva ISO 834

Protección con mortero de perlita vermiculita para un R60 a 500 °C de temperatura crítica.



RECORDATORIO NOMENCLATURA

NOMENCLATURA DE ESTABILIDAD AL FUEGO

R: Capacidad portante (*resistance*)

E: Integridad (*integrity*)

I: Aislamiento (*insulation*)

R(t): tiempo que cumple la estabilidad al fuego o capacidad portante (similar al concepto de estabilidad al fuego, EF). Específico para elementos que solamente actúan como portantes, tipo vigas y pilares.

EI(t): tiempo que cumple la integridad al paso de las llamas y gases calientes (similar al concepto de parallas, PF) y a la temperatura. Específico en elementos separadores no portantes, tipo medianeras, paredes, fachadas, corta-fuegos, etc.,

REI(t): tiempo que cumple la estabilidad al fuego, la integridad y el aislamiento térmico (similar al concepto de resistencia al fuego, RF). Específico en elementos separadores que también actúan como portantes; tipo forjados y muros portantes.

EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

¿COMO REACCIONA EL HORMIGÓN FRENTE AL FUEGO?

Disminución de su resistencia en función de la temperatura; a los 500 °C pierde un 50% de la capacidad resistente (el acero un 80%).

- Presenta excelente comportamiento a la compresión, pero no tanto a la flexión. Este componente es absorbido por el acero.
- La dilatación y evaporación del agua de los poros produce un desprendimiento explosivo del recubrimiento (Spalling).
- **Los recubrimientos de hormigón de las armaduras** son buenos aislantes térmicos que evitan el calentamiento de las mismas actuando como protección integrada. Por ese motivo es un punto clave, y un aspecto crítico la alteración de la adherencia entre armadura y hormigón.

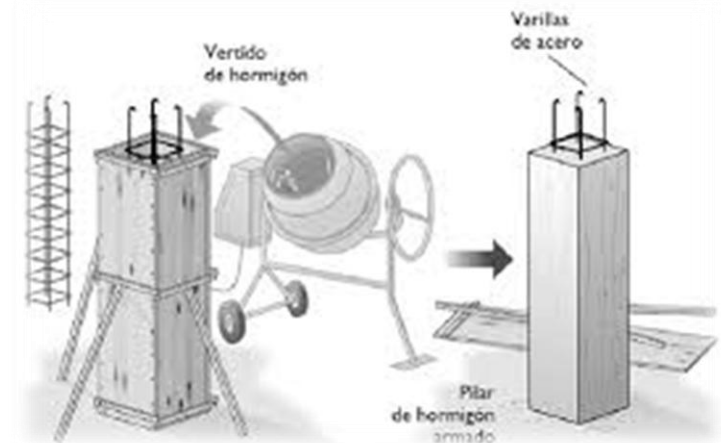


EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

-VIGAS: La exposición térmica en los techos es más severa debido a el efecto combinado de la convección y la radiación. Las barras situadas a la cara inferior han de absorber importantes esfuerzos de tracción y la reducción de las capacidades resistentes puede comportar una situación de colapso del elemento.

-PILARES: En estos elementos el esfuerzo principal es la compresión, no obstante las armaduras tienen un papel importante en la absorción de la compresión oblicua y del pandeo.

-En ambos casos la resistencia al fuego del elemento depende principalmente del recubrimiento de las barras.



EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

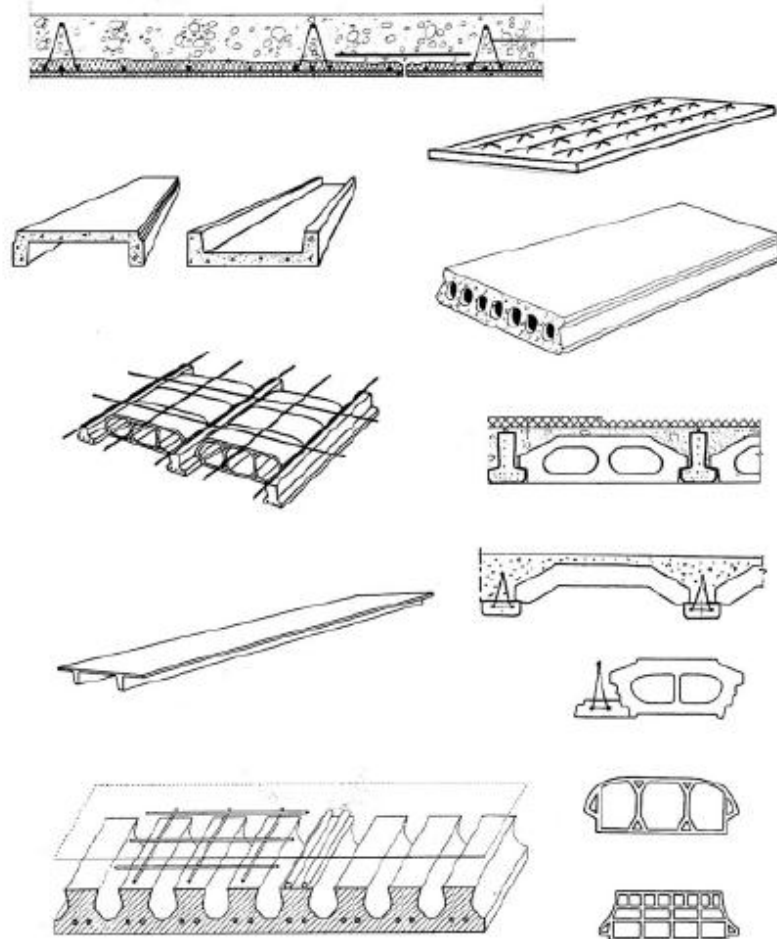
En el caso de las estructuras de hormigón armado, es necesario fijarse principalmente en el grosor (ancho) de la estructura estudiada (h_{\min}) y en la capa de hormigón que tienen su armadura, que en el anejo C se llama distancia mínima equivalente a_m (se examinará un caso para su cálculo). Estas dos variables nos darán la estabilidad del fuego de la estructura.

Una vez se sabe estos dos datos, es necesario consultar las tablas del anexo C de los 6 DBSI para saber qué resistencia al fuego tiene la estructura estudiada.

En el caso de no alcanzar la estabilidad deseada, es necesario actuar con los métodos de protección pasiva para conseguirla.

Los recubrimientos estándar de las armaduras para la durabilidad de estructuras de hormigón armado a nivel anticorrosivo puede ser entre 15-65 mm. Si no está claro, se recomienda hacer una cata para confirmar el valor. Un valor común es de 25 mm, pero puede ser diferente en cada caso

EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN



Se define la distancia mínima equivalente al eje a_{min} a efectos de resistencia al fuego según la ecuación:

$$a_m = \frac{\sum [A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si})]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$

EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO DE CÀLCULO DE LA DISTANCIA MÍNIMA EQUIVALENTE DE UN PILAR:

Se define la distancia mínima equivalente al eje a_{min} a efectos de resistencia al fuego según:

$$a_m = \frac{\sum [A_{si} f_{yki} (a_{si} + \Delta a_{si})]}{\sum A_{si} f_{yki}}$$

Donde:

A_{si} : área de cada una de las armaduras "i".

a_{si} : distancia al eje de cada una de las armaduras "i", al paramento expuesto más cercano.

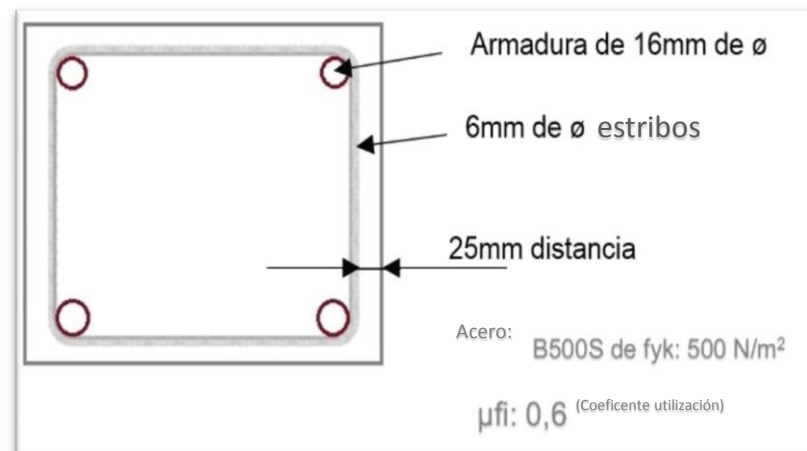
f_{yki} : resistencia característica del acero de las armaduras "i".

Δa_{si} : corrección debida a las diferentes temperaturas críticas del acero según tabla C.1 del Anejo D del DBSI.

Si todas las armaduras son de la misma sección, el valor de la distancia mínima equivalente queda reducida según la fórmula:

$$a_{min} = a_{si} + \Delta a_{si}$$

Donde según el ejemplo del pilar: $a_{si} = 25mm + 6mm + (16mm / 2) = 39mm$



EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA DISTANCIA MÍNIMA EQUIVALENTE DE UN PILAR:

Se necesita Δa_{si} para sumarlo al valor de a_{si} y obtener finalmente la a_{min} . Para ello debemos consultar la tabla C.1 del Anejo C del DBSI.

Para leer la tabla, necesitaremos saber el coeficiente de utilización (μ_{fi}), que habitualmente es 0 para un elemento sin carga, 1 para un elemento a carga máxima, y de 0,5 a 0,6 para un elemento en situación de incendio.

Tabla C.1. Valores de Δa_{si} (mm)

μ_{fi}	Acero de armar		Acero de pretensar			
	Vigas ⁽¹⁾ y losas (forjados)	Resto de los casos	Vigas ⁽¹⁾ y losas (forjados) Barras	Alambres	Barras	Alambres
≤ 0,4	+5	0	-5	-10		
0,5	0	0	-10	-15	-10	-15
0,6	-5	0	-15	-20		

⁽¹⁾ En el caso de armaduras situadas en las esquinas de vigas con una sola capa de armadura se reducirán los valores de Δa_{si} en 10 mm, cuando el ancho de las mismas sea inferior a los valores de b_{min} especificados en la columna 3 de la tabla C.3.

Es una tabla de corrección del tipo de material utilizado y de su uso estructural. Por ejemplo, castiga al hormigón pre-tensado.

EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA DISTANCIA MÍNIMA EQUIVALENTE DE UN PILAR:

En el caso que nos ocupa:

Sabemos que μ_{fi} es 0,6 y que se trata de un pilar, por lo tanto $\Delta a_{si} = 0$.

Finalmente obtenemos:

$$a_{min} = a_{si} + \Delta a_{si} = 39 + 0 = 39 \text{ mm}$$

A partir de aquí, el cálculo para proteger este tipo de elementos es igual al que se verá ahora, ejemplo de un forjado, pero utilizando las tablas específicas del Anejo C del DBSI para cada elemento (para pilares las tablas del punto C.2.2 y las tablas del punto C.2.3 para vigas).

EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA RESISTÈNCIA DE UN FORJADO COLABORANTE:

-EJEMPLO: Tenemos un forjado bidireccional.
-La anchura de las vigas b_{min} es de 160mm, la altura mínima es de 10cm y el recubrimiento del acero a_{min} es de 45mm.

Este forjado bidireccional según la tabla C.5 del Anejo C cumple un REI90 en la Opción 1, pero necesitamos un REI180:

Tabla C.5 Forjados bidireccionales

Resistencia al fuego	Anchura de nervio mínimo b_{min} / Distancia mínima equivalente al eje a_m ⁽¹⁾ (mm)			Espesor mínimo h_{min} (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
	REI 30	80 / 20	120 / 15	
REI 60	100 / 30	150 / 25	200 / 20	80
REI 90	120 / 40	200 / 30	250 / 25	100
REI 120	160 / 50	250 / 40	300 / 35	120
REI 180	200 / 70	300 / 60	400 / 55	150
REI 240	250 / 90	350 / 75	500 / 70	175

⁽¹⁾ Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.

EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

- Por lo tanto, para llegar a REI180 hace falta:

Una anchura mínima de nervio (b_{min}) de 200 mm, un recubrimiento de hormigón de la armadura (a_m) de 70 mm, i un grosor de forjado (h_{min}) de 150 mm

Tabla C.5 Forjados bidireccionales

Resistencia al fuego	Anchura de nervio mínimo b_{min} / Distancia mínima equivalente al eje a_m ⁽¹⁾ (mm)			Espesor mínimo h_{min} (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
	REI 30	80 / 20	120 / 15	
REI 60	100 / 30	150 / 25	200 / 20	80
REI 90	120 / 40	200 / 30	250 / 25	100
REI 120	160 / 50	250 / 40	300 / 35	120
REI 180	200 / 70	300 / 60	400 / 55	150
REI 240	250 / 90	350 / 75	500 / 70	175

⁽¹⁾ Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.



EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

- ¿Qué nos falta de grosor de hormigón equivalente?

Tabla C.5 Forjados bidireccionales

Resistencia al fuego	Anchura de nervio mínimo b_{min} / Distancia mínima equivalente al eje a_m ⁽¹⁾ (mm)			Espesor mínimo h_{min} (mm)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
REI 30	80 / 20	120 / 15	200 / 10	60
REI 60	100 / 30	150 / 25	200 / 20	80
REI 90	120 / 40	200 / 30	250 / 25	100
REI 120	160 / 50	250 / 40	300 / 35	120
REI 180	200 / 70	300 / 60	400 / 55	150
REI 240	250 / 90	350 / 75	500 / 70	175

⁽¹⁾ Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.

Al nervio (b_{min}) hay que añadirle un grosor de hormigón equivalente de 20mm por cada lado, obteniendo un total de los 40 que necesitamos (tenemos que pasar de 160mm a 200mm).

De la distancia mínima equivalente (a_{min}) nos faltan 25mm (pasar de 45 a 70mm).

Y de grosor mínimo (h_{min}) hace falta **50mm** (pasar de 100mm a 150mm). Por lo tanto, necesitamos **50 mm de espesor equivalente de hormigón**.

EL HORMIGÓN Y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO DE PROTECCIÓN CON MORTERO DE PERLITA-VERMICULITA.

- Sabemos que es una estabilidad al fuego de 180 minutos, y sabiendo que necesitamos 50mm de espesor equivalente ... MIRANDO EN ENSAYO... Debemos prescribir 10,61mm de grosor de mortero a aplicar. Si en la prescripción concretamos este grosor, deberemos especificar el producto concreto (marca comercial).

Evaluación del Espesor equivalente de hormigón.

El espesor equivalente de hormigón final obtenido según las curvas isotermas del Eurocódigo 2 (UNE ENV 1992-1-2:1995. Proyecto de Estructuras de Hormigón. Parte 1-2: Reglas Generales. Proyecto de Estructuras frente al Fuego) para el hormigón, de fecha Diciembre de 1996 es:

	Tiempo (min)					
	30	60	90	120	180	240
$d_{pmin} = 10,61 \text{ mm}$ Espesor medio total de aplicación .	31	37	41	42	44	44
$d_{pmax} = 20,18 \text{ mm}$ Espesor medio total de aplicación .	38	49	59	62	66	69
Valores de espesor equivalente de hormigón en mm						

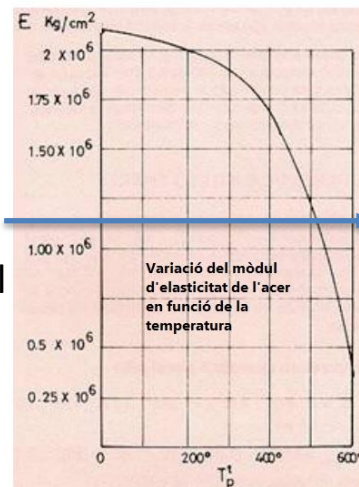
EL ACERO y SU PROTECCIÓN

¿COMO REACCIONA EL ACERO FRENTE AL FUEGO?

- Con la temperatura reduce los valores resistentes y su límite elástico.
- Tiene una fase plástica muy importante y deforma mucho antes de su rotura.

A tener en cuenta:

- Temperatura crítica:**
Es la temperatura de un elemento con una capacidad portante igual a las cargas actuantes.



EL ACERO y SU PROTECCIÓN

FACTOR DE FORMA (masividad)

Para la protección del acero frente al fuego, necesitamos saber: **TEMPERATURA CRÍTICA y FACTOR DE FORMA**

Temperatura crítica: Viene determinada según la UNE-EN 1993-1-1 y que habitualmente se escoge 500°C para el acero grueso de clase 1,2 y 3, ya que se considera que a partir de esta temperatura el elemento puede colapsar. Y una temperatura crítica de 350°C en casos de secciones esbeltas (clase 4 según el Euro código 3 parte 1.1).

Factor de forma (masividad), que según el Anejo D del DBSI es:

$$\text{Factor de forma} = \frac{A_m}{V} \quad (m^{-1})$$

Donde:

A_m - Es la superficie expuesta al fuego del elemento por unidad de longitud, considerando únicamente la del contorno expuesto.

V - Volumen del elemento de acero por unidad de longitud.

No obstante, si se trata de perfiles de sección constante, esta fórmula queda reducida a:

$$\text{Factor de forma} = \frac{P_s}{A_s} \quad (m^{-1})$$

Donde:

P_s - Perímetro expuesto al fuego del elemento.

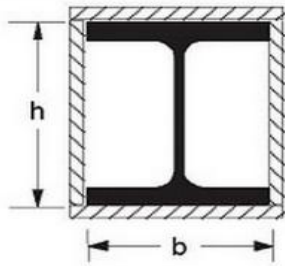
A_s - Área de la sección del elemento de acero.

Las unidades del Factor de forma son m^{-1} .

EL ACERO y SU PROTECCIÓN

FACTOR DE FORMA (masividad)

En el caso del cálculo del factor de forma de los perfiles que se protegen con paneles de lana de roca o placas, la fórmula es algo distinta y es la siguiente:



$$\text{Factor de forma} = \frac{2(b + h)}{A_s} (m^{-1})$$

Hay tablas confeccionadas del Factor de forma ya calculado, incluso teniendo en cuenta las diferentes caras expuestas al fuego e incluso con caras protegidas.

No obstante siempre puede darse el caso de posiciones de perfiles, o de propios perfiles, distintos a los de las tablas confeccionadas. Por lo tanto es necesario saber calcular manualmente el factor de forma (se verán ejemplos en el caso práctico)

EL ACERO y SU PROTECCIÓN


FACTOR DE FORMA (masividad)





Ejemplo de tabla de factor de forma:

PERFILES IPN

UNE 36.521
DIN 1025-1

TABLETA IV. PERFILES NORMALIZADOS. MASIVIDADES



DENOMINACIÓN IPN	PESO kg/m	h mm	b mm	t mm	T mm	Sección cm²	Masividades			
							 m³	 m³	 m³	 m³
80	5,95	80	42	3,9	5,9	7,58	401,1	321,9	345,6	266,5
100	8,32	100	50	4,5	6,8	10,60	349,1	283,0	301,9	235,8
120	11,10	120	58	5,1	7,7	14,20	309,2	250,7	268,3	209,9
140	14,40	140	66	5,7	8,6	18,30	274,3	225,1	238,3	189,1
160	17,90	160	74	6,3	9,5	22,80	252,2	205,3	219,7	172,8
180	21,90	180	82	6,9	10,4	27,90	229,4	187,8	200,0	158,4
200	26,30	200	90	7,5	11,3	33,50	211,6	173,1	184,8	146,3
220	31,10	220	98	8,1	12,2	39,60	195,7	160,6	171,0	135,9
240	36,20	240	106	8,7	13,1	46,10	183,1	150,1	160,1	127,1
260	41,90	260	113	9,4	14,1	53,40	169,7	139,7	148,5	118,5
280	48,00	280	119	10,1	15,2	61,10	158,1	130,6	138,6	111,1
300	54,20	300	125	10,8	16,2	69,10	149,1	123,0	131,0	104,9
320	61,10	320	131	11,5	17,3	77,80	140,1	115,0	123,3	99,1
340	68,10	340	137	12,2	18,3	86,80	132,5	109,9	116,7	94,1
360	76,20	360	143	13,0	19,5	97,10	124,6	103,6	109,9	88,9
380	84,00	380	149	13,7	20,5	107,00	118,7	98,9	104,8	85,0
400	92,60	400	155	14,4	21,6	118,00	112,7	94,1	99,6	80,9
450	115,00	450	170	16,2	24,3	147,00	100,7	94,4	89,1	72,8
500	141,00	500	185	18,0	27,0	180,00	90,6	76,1	80,3	65,8
550	167,00	550	200	19,0	30,0	213,00	84,0	70,4	75,1	61,0
600	199,00	600	215	21,6	32,4	254,00	75,6	64,2	67,1	55,7

EL ACERO y SU PROTECCIÓN

MATERIALES PARA LA PROTECCIÓN DEL ACERO:

Pintura:

La protección a la Estabilidad al fuego de las pinturas de Protección Pasiva Contra el fuego en el acero, es el grosor en micras que indican las tablas que nos facilitan los fabricantes, cruzando el factor de forma y la Resistencia al fuego necesaria.

Morteros Perlita-Vermiculita:

Igual que el caso de las pinturas, pero el grueso es en mm.

Placas / Paneles:

Según la resistencia al fuego irán más o menos placas, para llegar al grosor que indique el ensayo.

EL ACERO y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO PROTECCIÓN CON PINTURA:

Ejemplo:

Disponemos de un pilar IPN 300 a cuatro caras i requerimos un R90. Observando las tablas siguiente de pintura intumescente que nos ha facilitado el fabricante (de temperatura crítica **500°C**), podremos obtener el grosor a aplicar de pintura para llegar a la estabilidad al fuego que nos interesa.

Si observamos la tabla de factor de forma (anterior), i buscamos una IPN 300 a cuatro caras, veremos que su factor de forma es de $149,1 \text{ m}^{-1}$.

Por lo tanto, con esta pintura en concreto y para un R90 y a una factor de forma de $149,1 \text{ m}^{-1}$, tendremos que prescribir un grosor de 2.469 micras.

MASIVIDAD	VIGAS	COLUMNAS	SECCIONES HUECAS*
47			1,278
49		1,067	1,278
50		1,134	1,278
55		1,200	1,385
60		1,267	1,523
65		1,334	1,660
70		1,401	1,798
75	0,907	1,467	1,935
80	0,943	1,534	2,073
85	0,980	1,601	2,210
90	1,016	1,668	2,347
95	1,053	1,734	2,485
100	1,090	1,801	2,622
105	1,126	1,868	2,760
110	1,163	1,935	2,897
115	1,199	2,001	3,035
120	1,236	2,068	3,172
125	1,272	2,135	3,309
130	1,309	2,202	3,447
135	1,345	2,268	3,584
140	1,382	2,335	3,722
145	1,418	2,402	3,859
150	1,455	2,469	3,997
155	1,491	2,535	4,134
160	1,528	2,602	4,295
165	1,575	2,669	4,551
170	1,622	2,736	4,806
175	1,669	2,802	5,061
180	1,716	2,864	5,317
185	1,763	2,923	5,572
190	1,810	2,982	5,828

LOS ELEMENTOS TIPO NOU-BAU y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE SUBSTITUCIÓN:

Es un sistema de **sustitución** funcional de vigas degradadas.

No es un elemento de refuerzo; es de sustitución.

Se utiliza para sustituir perfiles en mal estado por las diferentes patologías según el material del perfil: termitas en la madera, aluminosis o carbonatación u oxidación de la armadura de acero en el hormigón, etc.,

Se trata de piezas metálicas de poco grosor que envuelven el perfil a sustituir, relleno con cemento celular el vacío entre el perfil antiguo y el envolvente metálico instalado.

Dado que es un elemento de sustitución, en cuanto a la protección al fuego deberemos de tener en cuenta el sistema nuevo instalado. Esta protección se realiza utilizando el mismo criterio que el de los forjados colaborantes (que ahora veremos), ya que no existen ensayos propios del sistema.

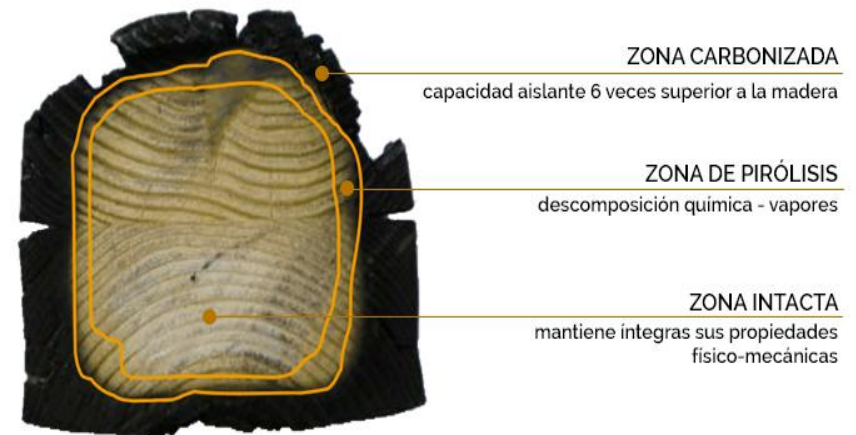


LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

¿COMO REACCIONA LA MADERA FRENTE AL FUEGO?

Aunque sea el único de ellos que es combustible, es un material que tiene unas características muy buenas en situación de incendio:

- Buen aislamiento térmico.
- La capa carbonizada aísla 6 veces más que la madera no afectada; ella misma se auto protege de la temperatura.
- Temperatura de auto ignición en superficie superior a 400 °C. La temperatura de auto ignición es la temperatura a la que empieza a quemar sin presencia de llama.
- Una relación lineal entre el espesor de carbonización y el tiempo (velocidad de carbonización).



LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA

En el Anejo E del DBSI explica como calcular con el Método de la sección reducida la Resistencia al fuego de la madera sin protección. Si una vez hecho este cálculo, no se llega a la Estabilidad al fuego requerida, hay que plantearse la protección pasiva de la madera.

Dos tipos de protección de la estabilidad al fuego según el elemento a proteger:

REI, si estamos ante un forjado (el conjunto).

R, si estamos ante la estructura portante.

LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA (cálculo de la sección reducida)

-En el Anejo E del código Técnico de la edificación se describe como calcular con el Método de la sección reducida la Resistencia al fuego de la madera sin protección.

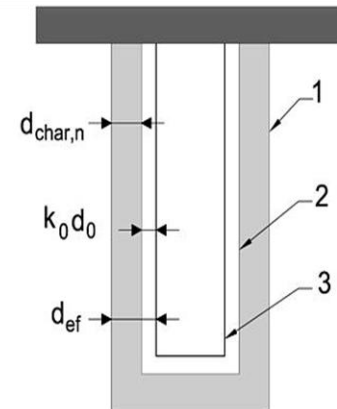
$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

Donde:

$d_{char,n}$ profundidad carbonizada nominal de cálculo.

d_0 de valor igual a 7 mm

k_0 (constante de corrección) de valor igual a 1 por un tiempo, t , mayor o igual a 20 minutos y $t/20$ para tiempos inferiores, en el caso de superficies no protegidas o superficies protegidas cuyo tiempo desde el inicio de la carbonización, t_{ch} , sea menor o igual a 20 minutos. Para t_{ch} mayor a 20 minutos se considerará que k_0 varía linealmente desde cero hasta a uno durante el intervalo de tiempo comprendido entre cero y t_{ch} , siendo constante e igual a uno a partir de este punto.



- 1 Superficie inicial del elemento
- 2 Límite de la sección residual
- 3 Límite de la sección eficaz

Si una vez hecho este cálculo, no se llega a la Estabilidad al fuego requerida, habrá que plantearse la protección de la madera.

LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA (cálculo sección reducida)

Tabla E.1. Velocidad de carbonización nominal de cálculo, β_n , de maderas sin protección

	β_n (mm/min)
Coníferas y haya	
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
Fronosas	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de 290 kg/m^3 ⁽¹⁾	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,55
Madera microlaminada	
Con una densidad característica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,70

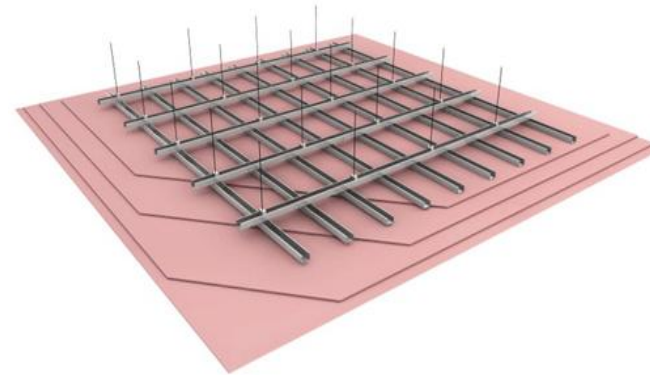
⁽¹⁾ Para densidad característica comprendida entre 290 y 450 kg/m^3 , se interpolará linealmente

LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA EN FORJADOS (REI):

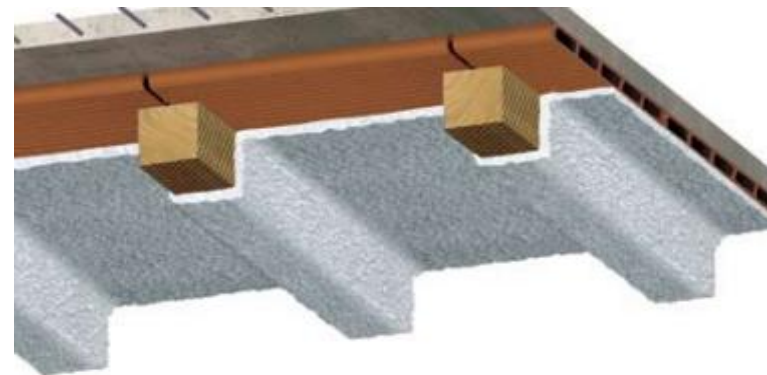
INSTALACIÓN PLACAS:

La filosofía de estos sistemas es la instalación de un falso techo con placas ensayadas contra el fuego, y el grosor de placas o paneles a colocar depende directamente de la estabilidad al fuego que nos piden. Es un sistema que oculta las vigas protegidas.



PROYECCIÓN MORTERO O LANA DE ROCA:

Aplicación a la parte inferior con proyectado de mortero perlítico (utilizando una malla metálica de soporte), o proyectado de Lana de Roca mineral, tal y como se indica en la foto adjunta. Con estos sistemas se puede llegar a un REI180. Para saber el grosor a aplicar, deberemos consultar al ensayo de cada fabricante.



LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA EN ELEMENTOS PORTANTES (R):

INSTALACIÓN PLACAS DE FIBROSILICATO O PANELES DE LANA DE ROCA:

La Estabilidad al fuego que confieren estos productos es proporcional al grosor instalado en base a los ensayos del fabricante. Se trata de encajonar el perfil según instrucciones del propio fabricante del sistema utilizado.

Es un sistema que oculta los elementos protegidos.



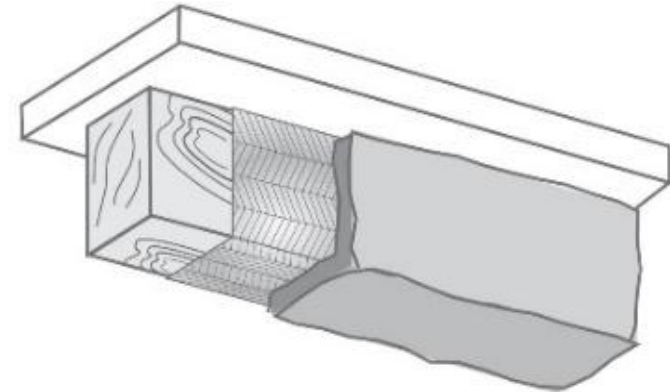
LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA EN ELEMENTOS PORTANTES (R):

PROYECCIÓN MORTERO O LANA DE ROCA:

Si el forjado ya cumple el “EI” requerido, y solamente se necesita llegar a la “R” de las vigas de madera, se puede plantear actuar solamente sobre estos elementos con mortero perlítico o lana de roca, tal y como se indica en el dibujo.

En estos casos hay que prestar atención a los ensayos del producto, ya que seguramente obliga a armar al producto con alguna malla para evitar futuros desprendimientos del producto proyectado. Estos productos se proyectan con agua, y ésta humedece la madera y la dilata. Cuando la madera seca, se contrae y si el producto no se ha armado, puede desprenderse con facilidad.



¡¡OJO!!
CONTROL EN OBRA

LA MADERA Y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA EN ELEMENTOS PORTANTES (R):

PINTADO CON PINTURA O BANIZ INTUMESCENTE:

Barniz intumescente:

- Mantener el aspecto original (valor patrimonial)
- Estabilidades al fuego bajas (como orientación R60 con pintura y a R30 con barnices).
- Estabilidad al fuego dependiendo sobretodo del sobredimensionado que tenga el elemento calculado con el Método de la sección reducida.
- No se acepta que se sume la Resistencia al fuego del propio elemento tal cual.
- Hay que remitirse directamente al ensayo del fabricante y en base a la sección sobredimensionada calculada, aplicar el consumo de producto por a la resistencia al fuego requerida.



¡¡¡OJO!! ENSAYOS MERCADO

La norma que describe el ensayo para elementos estructurales de madera (UNE EN-13381-7) concreta la temperatura crítica en aquella que empieza la carbonización y la concreta a 300°C.

FORJADOS COLABORANTES y SU PROTECCIÓN

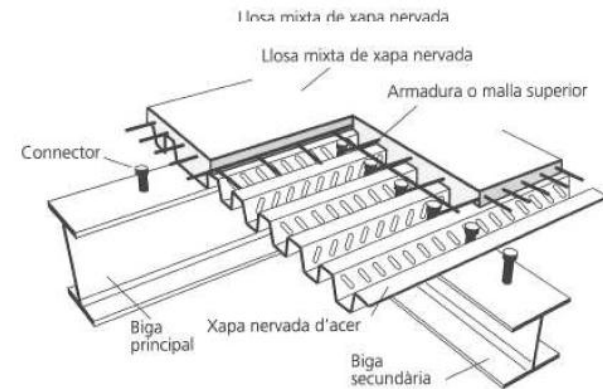
SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE FORJADOS COLABORANTES (REI) y TIPO NOU-BAU:

PLACAS (PANELES RÍGIDOS):

En el caso de paneles rígidos o de placas se trata como si fuera un forjado. Es a decir, se coloca en forma de falso techo y el grosor necesario (número de placas) que indique el ensayo a la estabilidad al fuego requerida.

MORTEROS PROYECTADOS O PINTURA:

En el caso de morteros proyectados o pintura son ensayos específicos que indican el grosor a aplicar según la resistencia al fuego necesaria. La temperatura crítica considerada en el ensayo es de 350°C, ya que es trata de acero laminado en frío (esbelto); son perfiles de poco espesor de la clase 4 según la tabla 5.1 del CTE de Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores.



[Figura 5.4.1 Elements convencionals del sostre d'estructura mixta d'un edifici]

Font: Guia per a la comprovació de la resistència al foc de les estructures.



FORJADOS COLABORANTES y SU PROTECCIÓN

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE FORJADOS COLABORANTES (REI) y TIPO NOU-BAU:

EJEMPLO:

Disponemos de un forjado colaborante done nos piden un REI 90. Se hará con mortero perlítico y disponemos del ensayo siguiente:

El aislamiento térmico del conjunto forjado mixto + la protección de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 1363-1 ha sido el siguiente:

	Muestra nº	
	7497A	7497B
	Espesor de protección máximo $\equiv dp_{max} \equiv 27,6 \text{ mm}$	Espesor de protección mínimo $\equiv dp_{min} \equiv 11,4 \text{ mm}$
Tiempo (min) Cumplimiento con criterios de <i>aislamiento</i> según Norma UNE-EN 1363-1:2000	182	74

RESULTADO:

Observando el ensayo veremos que necesitamos aplicar 27,6 mm de mortero para llegar a la R90, y la protección que nos dará será de 182 minutos.

EXISTE OTRA FORMA DE LEER EL ENSAYO:

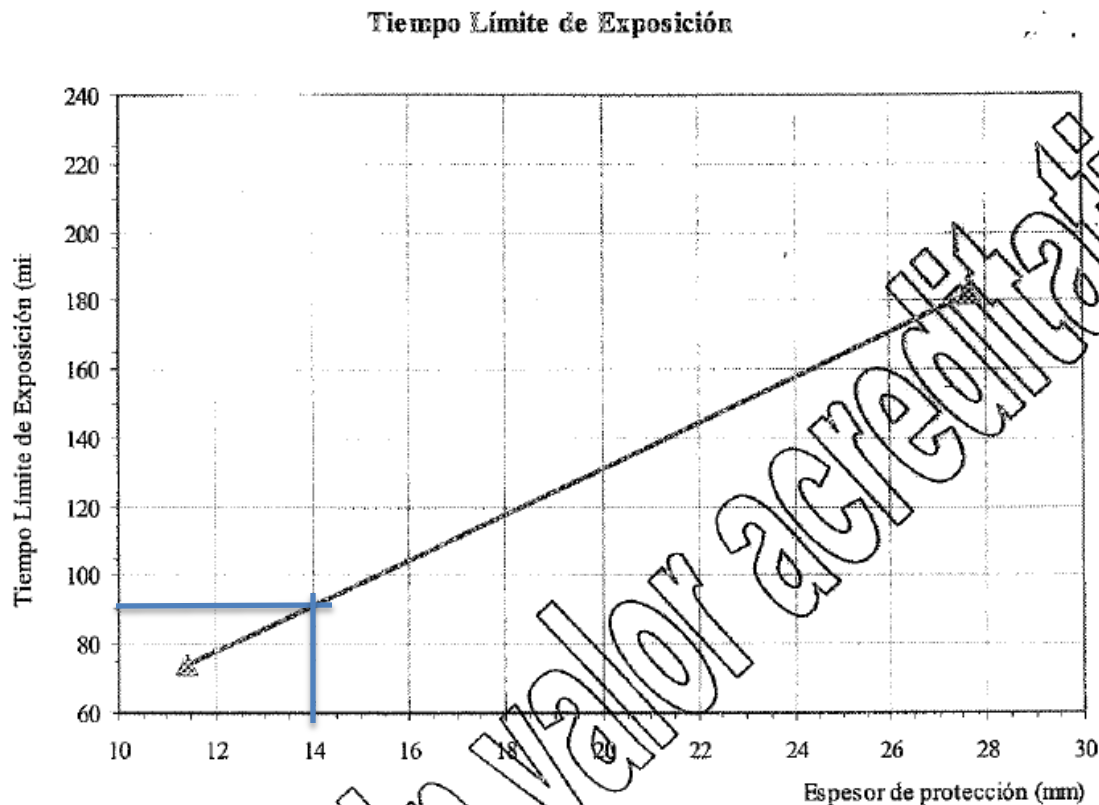
Los presentes resultados se consideran válidos pues las condiciones de ensayo establecidas durante el mismo están dentro de las tolerancias indicadas por la norma.



FORJADOS COLABORANTES y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO DE PROTECCIÓN DE FORJADOS COLABORANTES (REI) y TIPO NOU-BAU:

GRÁFICO DEL PROPIO ENSAYO:



RESULTADO:

Si se utiliza el gráfico, veremos que aplicando 14 mm de mortero es suficiente para llegar a los 90 minutos.

FORJADOS COLABORANTES y SU PROTECCIÓN

EJEMPLO DE PROTECCIÓN DE FORJADOS COLABORANTES (REI) y TIPO NOU-BAU:



MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN PASIVA

MANTENIMIENTO

NO EXISTE NORMATIVA QUE CONCRETE LOS MANTENIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA ESTOS SISTEMAS.

POR LO TANTO, HABRÁ QUE CONSULTAR A LOS FABRICANTES PARA CONOCER SUS RECOMENDACIONES, Y ÉSTAS SERÁN PROGRAMADAS PERIÓDICAMENTE A TRAVÉS DE INSPECCIONES VISUALES, Y ACTUAR SOBRE AQUELLO QUE ESTÉ DETERIORADO.

CADUCIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN PASIVA

DOS CASOS A DIFERENCIAR:

ENSAYO PRODUCTO: 10 AÑOS CADUCIDAD

Recae sobre el fabricante rehacer el ensayo de su producto para volver a comercializarlo

CERTIFICADO APLICADOR: NO TIENE CADUCIDAD.

POR LO TANTO, SE DEBERÁ TENER EN CUENTA EL PUNTO DE MANTENIMIENTO

CERTIFICAT APLICADOR DEBE INCLUIR:

- 1.- DOCUMENTO FIRMADO DEL PROPIO INSTALADOR DONDE RATIFICA Y DETALLA LOS TRABAJOS REALIZADOS (ver la reciente estrenada SP 136:2017)
- 2.- CERTIFICADO DE SUMINISTRO DEL PRODUCTO INSTALADO CON LOS DATOS DE LA OBRA Y CON ENSAYO DEL PRODUCTO REFERENCIADO POR EL APLICADOR
- 3.- INFORME DE CONTROL DE LA E.C.A. SI LO PIDE LA ENTIDAD OFICIAL QUE GESTIONE LA LICENCIA DEL PROYECTO

!!!TODA ESTA DOCUMENTACIÓN NO CADUCA!!!

CASO PRÁCTICO:

Supongamos que estamos ante la Protección Contra el Fuego de un típico altillo de oficinas de un taller. Las vigas del altillo son IPE 160 a tres caras, los pilares de soportación de son HEB 180 a cuatro caras, y las zancas de la escalera que sube a oficinas son una UPN 100 a cuatro caras y otra a tres caras (una cara está aplacada a la pared).

El techo (suelo) del altillo es de aglomerado de madera.

Por el tipo de actividad y configuración de la nave se requiere una estabilidad al fuego de 90 minutos.

Techo madera → **EI90**

Vigas y pilares → **R90**

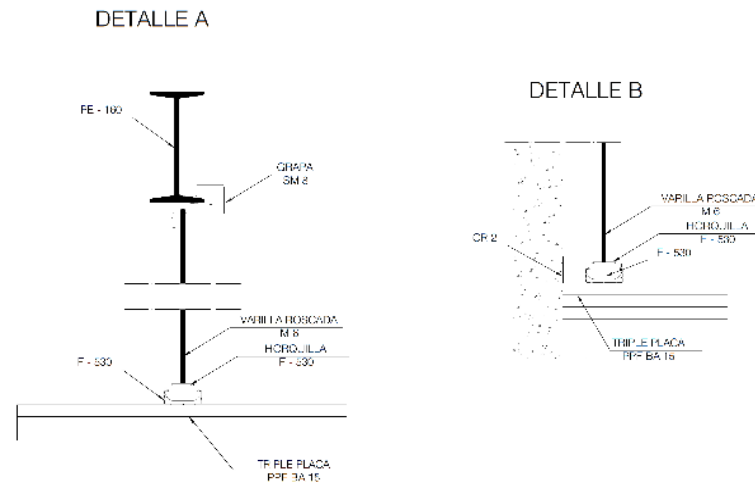
CASO PRÁCTICO:

SOLUCIÓN VIGAS:

VIGAS:

*Puesto que el taller y oficinas son dos sectores de incendio diferenciados, es necesario sectorizar el techo del altillo a una estabilidad **EI90**. De este modo las vigas IPE 160 quedarán ocultas y por lo tanto también protegidas al fuego, evitándonos tener que actuar sobre ellas directamente.*

EL TECHO TIENE QUE SER TOTALMENTE CONTINUO, SIN MANIPULACIONES POSTERIORES.



CASO PRÀCTICO:

SOLUCIÓN 1 PILARES:

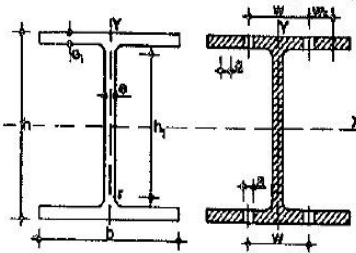
PILARES:

Los pilares podríamos plantearlos con **mortero**. Deberemos saber su Factor de forma (masividad), y con este dato y con la estabilidad requerida R90 y mirando el ensayo del fabricante, podremos saber el grosor a aplicar.

Calcularemos el factor de forma en base a la fórmula general (para perfiles estándares done la sección es igual a lo largo de toda la longitud).

$$\text{Factor de forma} = \frac{P_s}{A_s} \quad (m^{-1})$$

Tabla B.3 Perfiles HEB, HEA, HEM



A = Área de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X
 $W_x = 2I_x : h$. Módulo resistente de la sección respecto a X
 $i_x = \sqrt{I_x : A}$. Radio de giro de la sección, respecto a X
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y
 $W_y = 2I_y : b$. Módulo resistente de la sección, respecto a Y
 $i_y = \sqrt{I_y : A}$. Radio de giro de la sección, respecto a Y
 I_t = Módulo de torsión de la sección
 I_a = Módulo de alabeo de la sección
 u = Perímetro de la sección
 a = Diámetro del agujero del roblón normal
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
 h_1 = Altura de la parte plana del alma
 p = Peso por m

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso p	Suministro
	h	b	e	e ₁	r	h ₁	u	A	S _x	I _x	W _x	i _x	I _y	W _y	i _y	I _t	I _a	w	w ₁	a		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁵	mm	mm	mm		
HEB 100	100	100	6	10	12	56	567	26,0	52,1	450	90	4,16	167	33	2,53	9,34	3375	55	—	13	20,4	P
HEB 120	120	120	6,5	11	12	74	686	34,0	62,6	664	144	5,04	318	53	3,06	14,9	9410	65	—	17	26,7	P
HEB 140	140	140	7	12	12	92	805	43,0	123	1509	216	5,93	550	79	3,58	22,5	22480	75	—	21	33,7	P
HEB 160	160	160	8	13	15	104	918	54,3	177	2492	311	6,78	889	111	4,05	33,2	47940	85	—	23	42,6	P
HEB 180	180	180	8,5	14	15	122	1040	65,3	241	3821	426	7,66	1363	151	4,57	46,5	93750	100	—	25	51,2	P
HEB 200	200	200	9	15	18	134	1150	78,1	321	5696	570	8,54	2003	200	5,07	63,4	171100	110	—	25	61,3	P
HEB 220	220	220	9,5	16	18	152	1270	91,0	414	6091	736	9,43	2843	258	5,59	84,4	295400	120	—	25	71,5	P

CASO PRÁCTICO:

SOLUCIÓN 1 PILARES:

PILARES:

Consultando la tabla de medidas obtenemos:

Sección de 65,3 cm², y un perímetro total de 1040 mm.

Para no equivocarnos con las unidades, se recomienda trabajar en milímetros y una vez obtenido el resultado, se multiplica éste por 1.000 y obtendremos directamente la masividad en m⁻¹.

$$\text{Factor de forma} = \frac{1040\text{mm}}{6530\text{mm}^2} \times \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} = 159,3 \text{ m}^{-1}$$

Con este valor, y con el de la estabilidad requerida R90, consultando la tabla del fabricante obtendremos directamente el grosor de mortero a aplicar (habitualmente en mm).

Si el valor obtenido del factor de forma no corresponde exactamente a los de la tabla, se cogerá el valor inmediatamente superior.

CASO PRÁCTICO:

SOLUCIÓN 1 PILARES:

Se cruzan los valores de Factor de forma y el de Resistencia al fuego requerida, y obtendremos el grosor a aplicar de mortero.

Por lo tanto, aplicando 23 mm de Mortero perlita-Vermiculita, obtendremos una R90 para los pilares HEB 180 a cuatro caras.

Factor de Forma (m ⁻²)	Resistencia al fuego (minutos)						
	R 15	R 30	R 45	R 60	R 90	R 120	R 180
60	10	10	10	12	17	23	33
65	10	10	10	13	18	23	34
70	10	10	11	13	19	24	35
75	10	10	11	14	19	24	35
80	10	10	11	14	19	25	36
85	10	10	11	14	20	25	36
90	10	10	12	15	20	26	37
95	10	10	12	15	20	26	37
100	10	10	12	15	21	26	38
110	10	10	13	16	21	27	39
120	10	10	13	16	22	28	39
130	10	10	13	16	22	28	40
140	10	11	13	16	22	28	40
150	10	11	14	17	23	29	41
160	10	11	14	17	23	29	41
170	10	11	14	17	23	29	41
180	10	11	14	17	23	30	42
190	10	11	14	17	24	30	42
200	10	11	15	18	24	30	42
210	10	12	15	18	24	30	43
220	10	12	15	18	24	30	43
230	10	12	15	18	24	30	43
240	10	12	15	18	24	31	43
250	10	12	15	18	24	31	43
260	10	12	15	18	25	31	43
270	10	12	15	18	25	31	44
280	10	12	15	18	25	31	44
290	10	12	15	18	25	31	44
300	10	12	15	19	25	31	44
310	10	12	15	19	25	31	44
320	10	12	15	19	25	31	44
330	10	12	16	19	25	31	44
340	10	12	16	19	25	32	44

Informe de ensayo: AFIT LUCOF 2200T11-3
Espesores de recubrimiento (mm) para una temperatura crítica de referencia de 500° C.

CASO PRÁCTICO:

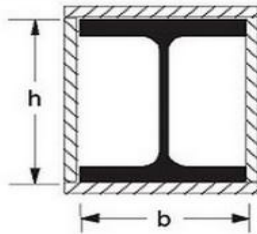
SOLUCIÓN 2 PILARES:

IMPORTANTE:

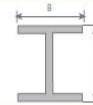
Si quisiéramos proteger los pilares con paneles:

el factor de forma no sería el mismo, se calcularía según la siguiente ecuación:

$$m^{-1} = \frac{2(b + h)}{A_s} (10^3) = \frac{2(180 + 180)}{6530} (10^3) = 110,3m^{-1}$$



PERFILES HEB
UNE 36,522
DIN 1026



Denominación HEB	h (mm)	B (mm)	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
100	100	100	218,1	153,8	179,6	115,4
120	120	120	201,8	141,2	166,5	105,9
140	140	140	187,2	130,2	154,7	97,7
160	160	160	169,1	117,9	139,6	88,4
180	180	180	157,7	110,3	130,2	82,7
200	200	200	147,2	102,4	121,6	76,8
220	220	220	139,6	96,7	115,4	72,5
240	240	240	130,2	90,6	107,5	67,9
260	260	260	126,7	87,8	104,7	65,9
280	280	280	123,3	85,2	102,0	63,9
300	300	300	116,0	80,5	95,9	60,4
320	320	300	109,7	76,9	91,1	58,3
340	340	300	105,9	74,9	88,4	57,3
360	360	300	102,4	73,1	85,8	56,5
400	400	300	97,6	70,8	82,4	55,6
450	450	300	91,3	68,4	77,5	55,0
500	500	300	88,9	67,1	76,3	54,5
550	550	300	87,4	66,9	75,6	55,1
600	600	300	85,9	66,7	74,8	55,6

Mediante las tablas se obtiene la masividad de inmediato para perfiles estándares.

CASO PRÁCTICO:

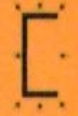
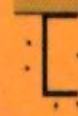


SOLUCIÓN ZANCAS DE LA ESCALERA:

Las zancas de la escalera, las plantearemos con pintura. Con mortero no es muy recomendable, ya que una escalera metálica cimbrea, y ello puede provocar desprendimiento del mortero.

Los perfiles son UPN 100: uno a cuatro caras, y el otro a tres. En el primer caso el factor de forma lo obtendremos consultando las tablas.

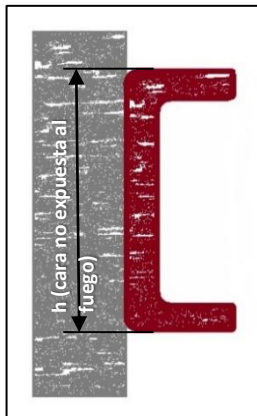
Según esta tabla, el Factor de forma de la UPN100 a cuatro caras es de $275,6 \text{ m}^{-1}$.

Pero el perfil expuesto a tres caras que indica el enunciado, no está calculado, por lo tanto tendremos que hacerlo según la ecuación estudiada.

UPN (m ⁻¹)				
80	283.6	242.7	170.0	40.9
100	275.6	238.5	164.4	37.0
120	255.3	222.9	152.4	32.4
140	239.7	210.3	141.7	29.4
160	227.5	200.4	133.8	27.1
180	218.2	193.2	128.9	25.0
200	205.3	182.0	119.9	23.3
220	192.0	170.6	111.8	21.4
240	183.2	163.1	106.4	20.1
260	172.7	154.0	100.2	18.6
280	166.98	149.2	96.62	17.8
300	161.6	144.6	93.5	17.0

CASO PRÁCTICO:

SOLUCIÓN ZANCAS ESCALERA:



Consultando una tabla de medidas de perfiles, y en base a la posición del perfil en obra, veremos que al perímetro total del perfil hay que restarle la h (100mm), ya que según la ecuación del Factor de forma debemos dividir el perímetro **expuesto al fuego** entre la sección total del perfil:

Tabla B.4

Perfiles UPN

A = Área de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X
 $W_x = 2I_x / h$: Módulo resistente de la sección respecto a X
 $i_x = \sqrt{I_x / A}$: Radio de giro de la sección respecto a X
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y
 $W_y = I_y / (b - c)$: Mínimo módulo resistente de la sección respecto a Y
 $i_y = \sqrt{I_y / A}$: Radio de giro de la sección respecto a Y
 J = Módulo de torsión de la sección
 c = Posición del eje Y
 m = Distancia al centro de esfuerzos cortantes
 a = Diámetro del agujero del roblón normal
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
 h_1 = Altura de la parte plana del alma
 p = Peso por m
 u = Perímetro

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros		Peso p kp/m	Suministro	
	h mm	b mm	e mm	$e_1=r_1$ mm	r_1 mm	h_1 mm	u mm	A cm ²	S_x cm ³	I_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	I_y cm ⁴	W_y cm ³	i_y cm	I_t cm ⁴	c cm	m cm	w mm			a mm
UPN 80	80	45	6	8	4	46	312	11,0	15,9	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	2,24	1,45	2,67	25	13	8,64	C
UPN 100	100	50	6	8,5	4,5	64	372	13,5	24,5	208	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	2,96	1,55	2,93	30	13	10,6	P
UPN 120	120	55	7	9	4,5	62	434	17,0	38,3	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	4,30	1,60	3,03	30	17	13,4	P

$$\text{Factor de forma} = \frac{(372 - 100)\text{mm}}{1350\text{mm}^2} \times \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} = 201,48 \text{ m}^{-1}$$

CASO PRÁCTICO:

SOLUCIÓN ZANCAS ESCALERA:

Finalmente, con las masividades calculadas y consultando la tabla de grosores facilitada por el fabricante de pintura, obtendremos el grosor (en micras) a aplicar para proteger el acero a un R90, tal y como indica la siguiente tabla resumen:

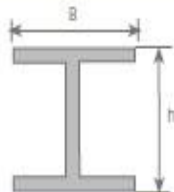
PERFIL	Caras vistas	m ⁻¹	Grosor
			(µm)
UPN 100	4	275,6	2.607
UPN 100	3	201,5	1.903

MASIVIDAD	VIGAS	COLUMNAS	SECCIONES HUECAS*
47			1,278
49		1,067	1,278
50		1,134	1,278
55		1,200	1,385
60		1,267	1,523
65		1,334	1,660
70		1,401	1,798
75	0,907	1,467	1,935
80	0,943	1,534	2,073
85	0,980	1,601	2,210
90	1,016	1,668	2,347
95	1,053	1,734	2,485
100	1,090	1,801	2,622
105	1,126	1,868	2,760
110	1,163	1,935	2,897
115	1,199	2,001	3,035
120	1,236	2,068	3,172
125	1,272	2,135	3,309
130	1,309	2,202	3,447
135	1,345	2,268	3,584
140	1,382	2,335	3,722
145	1,418	2,402	3,859
150	1,455	2,469	3,997
155	1,491	2,535	4,134
160	1,528	2,602	4,272
165	1,575	2,669	4,410
170	1,622	2,736	4,548
175	1,669	2,802	4,686
180	1,716	2,869	4,824
185	1,763	2,935	4,962
190	1,810	3,002	5,100
195	1,856	3,069	5,238
200	1,903	3,135	5,376
205	1,950	3,202	5,514
210	1,997	3,269	5,652
215	2,044	3,335	5,790
220	2,091	3,402	5,928
225	2,138	3,469	6,066
230	2,185	3,535	6,204
235	2,232	3,602	6,342
240	2,279	3,669	6,480
245	2,326	3,735	6,618
250	2,373	3,802	6,756
255	2,420	3,869	6,894
260	2,466	3,935	7,032
265	2,513	4,002	7,170
270	2,560	4,069	7,308
275	2,607	4,135	7,446
280	2,654	4,202	7,584
285	2,701	4,269	7,722

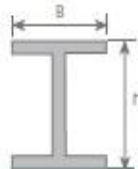


TABLAS DE FACTOR DE FORMA

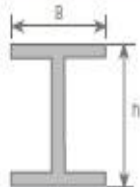
PERFILES HEB
 UNE 36,522
 DIN 1026



Denominación HEB	h (mm)	B (mm)	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
100	100	100	218,1	153,8	179,6	115,4
120	120	120	201,8	141,2	166,5	105,9
140	140	140	187,2	130,2	154,7	97,7
160	160	160	169,1	117,9	139,6	88,4
180	180	180	157,7	110,3	130,2	82,7
200	200	200	147,2	102,4	121,6	76,8
220	220	220	139,6	96,7	115,4	72,5
240	240	240	130,2	90,6	107,5	67,9
260	260	260	126,7	87,8	104,7	65,9
280	280	280	123,3	85,2	102,0	63,9
300	300	300	116,0	80,5	95,9	60,4
320	320	300	109,7	76,9	91,1	58,3
340	340	300	105,9	74,9	88,4	57,3
360	360	300	102,4	73,1	85,8	56,5
400	400	300	97,6	70,8	82,4	55,6
450	450	300	91,3	68,4	77,5	55,0
500	500	300	88,9	67,1	76,3	54,5
550	550	300	87,4	66,9	75,6	55,1
600	600	300	85,9	66,7	74,8	55,6

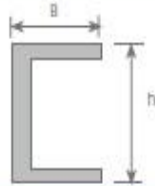
PERFILES IPN
 UNE 36,521
 DIN 1025-5


Denominación IPN	h (mm)	B (mm)	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
80	80	42	401,1	321,9	345,6	266,5
100	100	50	349,1	283,0	301,9	235,8
120	120	58	309,2	250,7	268,3	209,9
140	140	66	274,3	225,1	238,3	189,1
160	160	74	252,2	205,3	219,7	172,8
180	180	82	229,4	187,8	200,0	158,4
200	200	90	211,6	173,1	184,8	146,3
220	220	98	195,7	160,6	171,0	135,9
240	240	106	183,1	150,1	160,1	127,1
260	260	113	169,7	139,7	148,5	118,5
280	280	119	158,1	130,6	138,6	111,1
300	300	125	149,1	123,0	131,0	104,9
320	320	131	140,1	115,0	123,,3	99,1
340	340	137	132,5	109,9	116,7	94,1
360	360	143	124,6	103,6	109,9	88,9
380	380	149	118,7	98,9	104,8	85,0
400	400	155	112,7	94,1	99,6	80,9
450	450	170	100,7	84,4	89,1	72,8
500	500	185	90,6	76,1	80,3	65,8
550	550	200	84,0	70,4	75,1	61,0
600	600	215	75,6	64,2	67,1	55,7

PERFILES IPE
 UNE 36,526
 DIN 1025-5


Denominación IPE	h (mm)	B (mm)	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
80	80	46	430,6	329,8	370,4	269,6
100	100	55	389,3	301,0	335,9	247,6
120	120	64	359,1	278,8	310,6	230,3
140	140	73	335,4	259,8	290,9	215,2
160	160	82	309,5	240,8	268,7	200,0
180	180	91	292,1	226,8	254,0	188,7
200	200	100	269,5	210,5	234,4	175,4
220	220	110	253,9	197,6	221,0	164,7
240	240	120	235,5	184,1	204,9	153,5
270	270	135	226,6	176,5	197,2	147,1
300	300	150	215,6	167,3	187,7	139,4
330	330	160	199,7	156,5	174,1	131,0
360	360	170	185,7	145,8	162,3	122,4
400	400	180	174,0	137,3	152,7	116,0
450	450	190	163,0	129,6	143,7	110,3
500	500	200	150,0	120,7	132,8	103,4
550	550	210	140,3	113,4	124,6	97,8
600	600	220	129,5	105,1	115,4	91,0

PERFILES **UPN**
UNE 36,522
DIN 1026



Denominación UPN	h (mm)	B (mm)	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
80	80	45	283,6	227,3	242,7	186,4
100	100	50	275,6	222,2	238,5	185,2
120	120	55	255,3	205,9	222,9	173,5
140	140	60	239,7	196,1	210,3	166,7
160	160	65	227,5	187,5	200,4	160,4
180	180	70	218,2	178,6	193,2	153,6
200	200	75	205,3	170,8	182,0	147,5
220	220	80	192,0	160,4	170,6	139,0
240	240	85	183,2	153,7	163,1	133,6
260	260	90	172,7	144,9	154,0	126,3
300	300	100	161,6	136,1	144,6	119,0

REFLEXIÓN SOBRE LA INEXISTENCIA DE NORMATIVA QUE REGULE LOS APLICADORES/INSTALADORES DE PROTECCIÓN PASIVA



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**