



CONTART

IGNIFUGACIÓN DE TENSORES METÁLICOS MEDIANTE PINTURA INTUMESCENTE. UNA SOLUCIÓN PRESTACIONAL PARA EL PABELLÓN PUENTE DE ZAHA HADID DE LA EXPOSICIÓN INTERNACIONAL DE ZARAGOZA 2008

Pérez Cebrian A.¹

¹ Expozaragoza Empresarial S.A., Zaragoza, España

Palabras clave: Pabellón Puente, Tirantes Tensionados, Diseño Basado en Prestaciones, Tirantes con pintura intumescente.

RESUMEN

En la actualidad, no existe una norma de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego, de las pinturas intumescentes, en tirantes de acero macizos en tensión. La norma UNE-EN-13381-8 es la norma de ensayo aplicable para determinar la contribución a la resistencia al fuego a elementos estructurales utilizando protecciones reactivas aplicadas a elementos de acero. No obstante, dicha norma no es directamente aplicable a elementos estructurales en tracción sin una evaluación adicional. Igualmente, presenta limitaciones de aplicación a ciertos elementos por su geometría, no siendo aplicable a barras macizas de sección circular, cómo son los tirantes del Pabellón Puente, quedando estos expresamente fuera de la normativa de aplicación.

INTRODUCCIÓN

El Pabellón Puente fue uno de los principales elementos arquitectónicos realizados en la Exposición Internacional celebrada en Zaragoza en el año 2008 y fue proyectado por la laureada arquitecta anglo-iraquí Zaha Hadid. La gran singularidad del edificio no permitía cumplir con todas las exigencias de la normativa contraincendios entonces vigente, NBE-CPI-96 [1] y OMPCAZ 95 [2], hizo necesario aplicar una solución prestacional, desarrollando una estrategia contra incendios donde las medidas adoptadas aportaran al edificio un nivel de seguridad equivalente o superior respecto a la aplicación de medidas prescriptivas de la norma. No obstante, se estableció que, una vez concluida la Exposición Internacional, en la que no se podía garantizar estas condiciones, se debería aplicar un sistema de protección basado en reglas prescriptivas.

Justificado por la solución prestacional, hubo elementos estructurales fundamentales en la imagen del edificio que, durante su construcción, no se ignifugaron. Dichos elementos fueron los tirantes de acero que soportan los forjados suspendidos y las rampas de acceso al nivel superior y que están conformados de una sección de acero circular maciza y sometida a esfuerzos de tracción. Se justificó en que en las hipótesis analizadas, nunca se superaba la temperatura crítica para el estado límite último en situación de incendio localizado. La aplicación directa de la norma indicaba que se debería garantizar una resistencia R90 y R60 a los tirantes en función de su situación.



CONTART

En la actualidad, no existe una norma de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego, de las pinturas intumescentes, en tirantes de acero macizos en tensión. La norma UNE-EN-13381-8 es la norma de ensayo aplicable para determinar la contribución a la resistencia al fuego a elementos estructurales utilizando protecciones reactivas aplicadas a elementos de acero. No obstante, dicha norma no es directamente aplicable a elementos estructurales en tracción sin una evaluación adicional. Igualmente, presenta limitaciones de aplicación a ciertos elementos por su geometría, no siendo aplicable a barras macizas de sección circular, cómo son los tirantes del Pabellón Puente, quedando estos expresamente fuera de la normativa de aplicación.

El problema del uso de pinturas intumescentes sobre elementos en tensión radica en el desconocimiento del comportamiento de la adherencia del elemento intumescente frente al alargamiento del tirante por motivo de la temperatura.

METODOLIGÍA

SOLUCIONES CONVENCIONALES DE IGNIFUGACIÓN DE TENSORES

Las soluciones convencionales para la ignifugación de tirantes metálicos se basan en el revestimiento del elemento estructural con sistemas homologados, que acreditan su comportamiento por medio del certificado de homologación proporcionado por el laboratorio acreditado por el ENAC.

Estos sistemas basan su efectividad al conseguir independizar el movimiento entre el elemento estructural y el revestimiento que proporciona la ignifugación. Para ello, el revestimiento protector se conecta a una subestructura que no se conecta al elemento estructural, de forma que no se transmitan movimientos diferenciales entre ambos.

El sistema utilizado en algunos tirantes puntuales durante la construcción, consistió en un un forro de placas de fibrosilicatos rodeando el tirante, permitiendo las dilataciones relativas y acabado con un forro de chapa de acero inoxidable, pasando de una sección inicial de 30mm a 200mm. Esta protección al fuego de los tirantes empleado de manera muy puntual en fase Expo no resultaba la solución idónea para aplicarla al resto de los tirantes, ya que pasarían a tener una gran presencia frente a su liviandad inicial, por lo que se consideró oportuno el estudio de otras alternativas de menor impacto visual como sería la aplicación de una pintura intumescente.

Con la intención de dar una respuesta adecuada a la ignifugación de los tirantes metálicos con una solución acorde a la estética e imagen de la construcción, se diseñó un protocolo de ensayo que permitiera determinar, mediante una solución a través de aplicación de pintura intumescente, el tiempo equivalente al dato de Resistencia a Fuego normalizado. El presente trabajo tiene por objeto presentar la problemática, metodología de resolución y resultados obtenidos para cumplir con la resistencia al fuego en los tirantes metálicos de la estructura del Pabellón Puente.

METODOLOGÍA DE LA SOLUCIÓN PRESTACIONAL.

La alternativa prestacional planteada tuvo por objeto el estudio de la casuística concreta de los



CONTART

tirantes, aplicando criterios de ingeniería de fuego e ingeniería estructural y definiendo un protocolo de ensayo que permitiese determinar, mediante una solución a través de pintura intumescente, el tiempo equivalente al dato de Resistencia a Fuego Normalizado.

La metodología aplicada se desarrolló a lo largo de las fases que se enumeran a continuación y se describen en detalle en las fases siguientes y fue realizada por Efectis France:

Fase 1: Determinación de la temperatura crítica de los tirantes para la selección del caso más desfavorable para los requerimientos de estabilidad al fuego R90 y R60.

Fase 2: Definición del protocolo experimental para realización de ensayos de resistencia al fuego que permitan estimar la contribución a la resistencia al fuego de los tirantes con pintura intumescente.

Fase 3: Preparación de las muestras y realización de los ensayos de reacción al fuego.

Fase 1: determinación de la temperatura crítica de los tirantes.

Esta etapa inicial consistió en el análisis documental general del proyecto para un mejor conocimiento del edificio y de su estructura y, en particular, de los tirantes de acero. El objetivo fue determinar la temperatura crítica de los tirantes no protegidos en la fase Expo, y se evaluó el comportamiento al fuego de dichos tirantes mediante el método de cálculo simplificado del Eurocódigo 3, Parte 1-2, en su apartado 4.3.4 [4]. En la evaluación de la temperatura crítica de los tirantes se tuvo en cuenta, como criterio, la flecha máxima de las rampas o de los forjados, con el fin de limitar la deformada de los tirantes bajo efecto de las solicitaciones térmicas. De este modo se seleccionó la temperatura crítica del tirante más solicitado, que fue tomado como elemento a considerar (caso más desfavorable).

La temperatura crítica, en °C, se define por (1) las relaciones siguientes:

$$Oa, cr = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674\mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (1)$$

Siendo μ_0 el grado de utilización definido por (2):

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} \quad (2)$$

donde,

$E_{fi,d}$: efecto de cálculo de las acciones para la situación de incendio, según Eurocódigo 1 Parte 1-2 [5]

$R_{fi,d,0}$: valor de cálculo de la resistencia del elemento en situación de incendio para el instante $t=0$



CONTART

En este caso, al ser tirantes solicitados únicamente a tracción, el grado de utilización (3) μ_0 es:

$$\mu_0 = N_{fi,Ed} / N_{fi,Rd,0} \quad (3)$$

donde,

$N_{fi,Ed}$: esfuerzo de tracción en el tirante para la combinación de acciones en situación de incendio

$N_{fi,Rd,0}$: resistencia a la tracción en situación de incendio para el instante $t=0$

Además de la temperatura crítica de los tirantes, se calculó el valor del alargamiento total de los tirantes (deformación térmica + mecánica) con el fin de evaluar el impacto potencial sobre la flecha de los forjados soportados por los tirantes (rampa y forjado superior). Se consideraron las mismas hipótesis de cálculo que las del proyecto.

Fase 2: Definición del protocolo de ensayo de resistencia al fuego.

El protocolo realizado incorpora un método de ensayo que permite determinar la contribución de sistemas reactivos de protección contra el fuego a la resistencia al fuego de los tirantes de acero del Pabellón Puente, cuyo objetivo de estabilidad al fuego es de R90 y R60 (dependiendo de su situación), expuestos al incendio normalizado. Los objetivos del ensayo fueron:

- Verificar que los tirantes mantienen el grado de estabilidad al fuego buscado.
- Verificar el buen comportamiento de la pintura con la creación y mantenimiento de la espuma intumescente y la capacidad para proporcionar aislamiento térmico al elemento estructural.
- Asegurar que el calentamiento de los elementos no sobrepasara la temperatura crítica determinada.

El protocolo de ensayo se inspiró en informaciones y resultados disponibles en el momento de su redacción, en especial en el contexto de normalización europea, cuyas principales normas eran las que a continuación se citan:

- EN 1363-1: 2012, *Fire resistance tests – Part 1: General requirements*. [6]
- EN ISO 13943: *Fire safety – Vocabulary (ISO 13943:2008)*. [7]
- ISO 8421-2:1987, *Fire protection – Vocabulary – Part 2: Structural fire protection*. [8]

Durante su preparación, fue sometido a la aprobación de la autoridad competente en materia de prevención contra incendios de la ciudad, y se obtuvo su acuerdo para llevar a cabo los ensayos en las condiciones descritas en el mismo.



CONTART

El protocolo indica que un tirante de acero, protegido por el sistema elegido de protección contra el fuego, será sometido a una carga definida y calentado en un horno de acuerdo con la Norma EN 1363-1 [6]. De la curva normalizada de calentamiento Tiempo (min.)-Temperatura (°C), de dicha norma, se obtiene la tabla que relaciona el tiempo de calentamiento y la temperatura alcanzada "Tabla 1".

Tabla 1. Tabla de valores que relacionan el tiempo de calentamiento y la temperatura alcanzada.

T	°C	T	°C
0	20	90	1006
5	579	120	1049
10	678	150	1082
15	738	180	1110
20	781	210	1133
30	842	240	1153
45	902	300	1186
60	945	360	1214

T=tiempo; °C=temperatura

Las condiciones experimentales del protocolo determinan además que las muestras serán ensayadas en horizontal y con una longitud de exposición mínima de 1000mm., la superficie de acero deberá ser preparada y el sistema de protección al fuego deberá ser aplicado sobre el tirante de una manera representativa de la práctica, el sistema de protección deberá ser aplicado después de la instalación de los termopares en el acero y antes de la aplicación de la carga del tirante y que el ensayo se continuará hasta que la temperatura media registrada sobre el tirante exceda la temperatura máxima y la duración del ensayo exceda el periodo de tiempo máximo para el cual el solicitante requiere aprobación.

Fase 3: Preparación de las muestras y realización de los ensayos de reacción al fuego.

Las muestras que se sometieron a ensayo reprodujeron fielmente los tirantes del Pabellón Puente.

Para el ensayo se contactó con importantes fabricantes europeos de pinturas. Algunos no tenían experiencia en aplicación sobre redondos macizos tensionados y otros, solo habían realizado algunas pruebas en laboratorios propios en soportes de mayor diámetro y con menor tiempo de calentamiento. Finalmente, se contó con la empresa fabricante HEMPEL para la realización del ensayo.

El pequeño diámetro del tirante supone que la superficie de contacto de la pintura es muy reducida con respecto a las dimensiones que toma la espuma cuando esponja (del orden de 6-8 cm), por lo que queda un paquete cilíndrico de espuma intumesciente adherida a un núcleo metálico formado



CONTART

por el tirante de 30 mm de diámetro. En un metro lineal de tirante se pueden encontrar 22.700 cm³ de espuma con solo 707 cm² de superficie de contacto y sometido durante 90 minutos a más de 1.000 °C de temperatura y a una tensión de 123 Ton.

Los tirantes fueron enviados al laboratorio de AFITI en Madrid, donde se prepararon las muestras de acuerdo a lo establecido en el protocolo de ensayo EFR-15-002673 [9]. AFITI realizó las labores de inspección y control de las muestras de ensayo, siguiendo las instrucciones tanto del citado protocolo como del fabricante de los tirantes [10] y del fabricante de la pintura intumescente [11], [12].

El protocolo de ensayo indica que la aplicación de la pintura intumescente se debe llevar a cabo una vez que el tirante está sometido a tensión, por lo que el alargamiento por efecto de la tensión no es asumido por la pintura. En el laboratorio, la aplicación de la pintura fue previa a la introducción de las muestras en el sistema de carga, lo que supone un elemento de estrés añadido, ya que la adherencia de la pintura al tirante debe asumir no solo el alargamiento por efecto de la temperatura (lo que ocurre en un fuego real) sino también el alargamiento del tirante por efecto de la tensión.

La recomendación de HEMPEL fue aplicar un espesor de 4000 para un R60 y un espesor de 5000 micras para un R90. La aplicación se realizó a brocha, ya que se consideró el método más adecuado tanto por el aplicador como por el fabricante de pinturas. En total, se prepararon 4 muestras de ensayo, con las características siguientes recogidas en la "Tabla 2".

Tabla 2. Valores de espesores, número de capas y código para cada uno de los cuatro tirantes ensayados.

Nº Ensayo	Muestra			Imprimación	Pintura Intumescente	
	Tipo	Código	Protección objetivo (mm)	Esesor (mm)	Nº capas	Esesor (mm)
1º	con carga	9333A	4.000	22	34	4.036
1º	sin carga	9333B	4.000	22	34	4.031
2º	con carga	9333C	5.000	25	38	5.077
2º	sin carga	9333F	5.000	24	35	5.094

Para la medida del espesor de protección se siguió lo indicado en el protocolo de ensayo realizado por Efectis [9], aplicándose los límites de variabilidad admisibles en los puntos de medición. Así mismo se tuvieron en cuenta las directrices del fabricante de la pintura, relativas a no sobrepasar ni en exceso ni por defecto más del 5% respecto al espesor de protección objetivo. El exceso de espesor de pintura tuvo que ser retirado mediante cuchilla, ya que los espesores se debían ceñir a lo prescrito.



CONTART

Se llevaron a cabo dos sesiones de ensayos según la norma UNE-EN 1363-1 y protocolo de ensayo EFR-15-002673, en un laboratorio acreditado situado en Metz (Francia). En el primer ensayo se emplearon dos tirantes de 30mm protegidos por 4mm de pintura intumescente, uno de ellos sometido a carga y otro sin carga. En el segundo ensayo se probaron dos tirantes de 30mm protegidos con 5mm de pintura, uno con carga y otro sin carga. Para la realización del ensayo hubo que llevar a cabo, en la zona superior del horno, las adaptaciones necesarias para la instalación de los tirantes a ensayar, así como la colocación del equipo de carga. En la "Figura 1" se muestran los detalles de la disposición de las muestras ensayadas en el interior del horno.

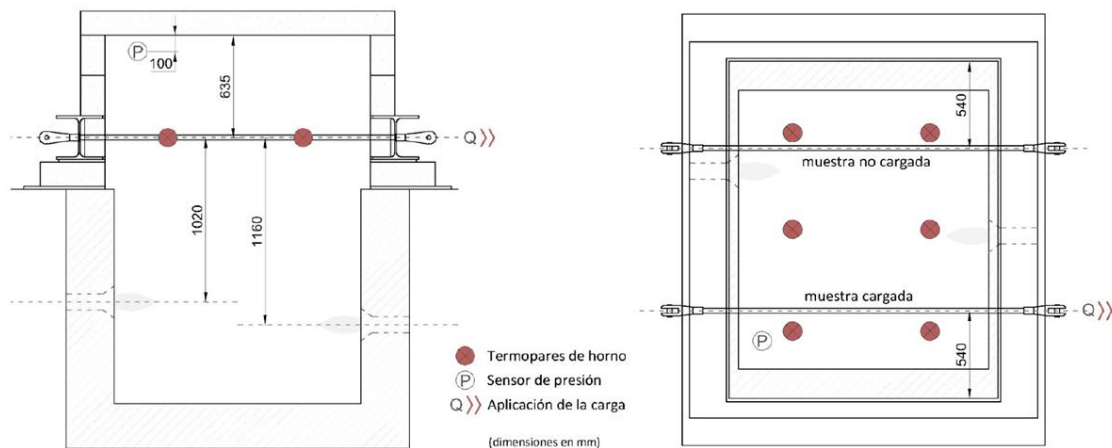


Figura 1. Alzado y planta del horno con la disposición de las muestras ensayadas.

RESULTADOS.

Los cálculos de temperaturas críticas realizados sobre la totalidad de tirantes, de acuerdo a las hipótesis consideradas que se presentaron en el apartado 2.2.1, recogen para el tirante más desfavorable un valor de 589 °C para el grado de resistencia al fuego R90 [13]. Por otra parte, la temperatura crítica para R60 es superior, alcanzando los 622 °C.

Para estos valores de temperatura crítica, el alargamiento total de los tirantes (deformación térmica+mecánica) es del orden del 3% (es decir, como máximo 11 cm), considerándose despreciable en términos de impacto sobre la flecha de los forjados (rampa y forjado superior) soportados por los tirantes.

La resistencia a la tracción del tirante más solicitado de diámetro 30 mm en situación de incendio a temperatura $t=0$, según datos del fabricante es de $N_{fi,Rd,0} = 254$ kN

Por todo ello, las condiciones seleccionadas para la ejecución de los ensayos fueron las siguientes:

- Tirante de acero de alta resistencia de 30 mm de diámetro
- Grado de utilización de 0,48 (carga de 123 kN)
- Temperatura crítica 589°C



CONTART

El informe de ensayo de AFITI [14] describe dos ensayos realizados sobre tirantes protegidos por una pintura intumescente, y cada ensayo se ha realizado sobre dos tirantes macizos de acero S460, con un grado de utilización de 0,48 en el caso del tirante con carga. En el primer ensayo los tirantes estaban protegidos por 4 mm de la pintura de referencia y en el segundo por 5 mm. Las temperaturas se midieron en 3 secciones diferentes, con dos termopares en cada sección.

La temperatura retenida para evaluar el comportamiento del tirante es la temperatura máxima de las temperaturas medias en sección (salidas de las lecturas de 2 termopares por sección). Estas temperaturas se incluyen en la "Figura 2" para los 4 tirantes:

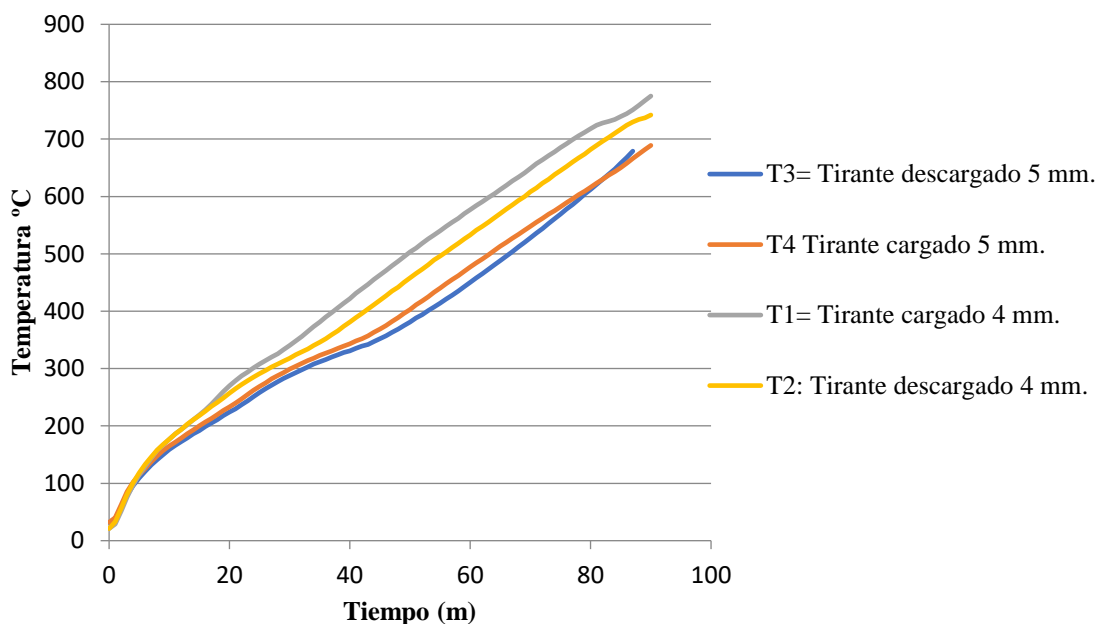


Figura 2. Temperatura máxima en la sección de los tirantes ensayados

La diferencia de temperaturas medidas sobre los tirantes protegidos por 4 mm, en el caso de tirante cargado y no cargado resultó bastante marcada, de hasta 40°C a los 60 min y 90 min. La temperatura más elevada es la que se toma como referencia, es decir la del elemento cargado.

En lo relativo a la protección R60, la temperatura crítica más baja encontrada entre estos tirantes es de 622°C. En la "Figura 2" se deduce que el tirante protegido por 4 mm de pintura intumescente alcanza una temperatura máxima durante del ensayo de 576°C a los 60 minutos. Por lo tanto, se puede concluir que 4 mm de protección, mediante la pintura intumescente ensayada, permiten garantizar el grado de estabilidad al fuego R60.

Por otra parte, las temperaturas medidas sobre los tirantes cargado y no cargado protegidos por 5 mm de pintura son bastante similares. El valor que se toma como referencia es el medido en el elemento no cargado pues es en el que se pudo medir hasta los 90 min, teniendo en cuenta lo anterior.



CONTART

En la "Figura 2" se observa que el tirante protegido por 5 mm de pintura intumescente alcanza una temperatura máxima durante del ensayo en laboratorio de 689°C a los 90 minutos. En 6 tirantes de los 98 totales, presentan temperaturas críticas inferiores a ésta, por lo que en esos casos la estabilidad al fuego de 90 min no se alcanza, con necesidad de protección distinta a la de la pintura. Estos seis tirantes fueron protegidos con el mismo sistema que se empleó anteriormente, es decir forrado de placas de fibrosilicatos y forro de acero inoxidable de sección circular.

PUESTA EN OBRA.

La puesta en obra del revestimiento intumescente se antojaba más complicada que la operación de pintado de las muestras en laboratorio. La aplicación de las 38 capas de pintura previstas con unas condiciones higrotérmicas muy distintas al del laboratorio, la complejidad de la aplicación en obra con necesidades de elevación de personal y materiales de hasta 12 metros sobre las rampas inclinadas y conseguir retirar la pintura existente obteniendo un acabado en el soporte Sa 2 ½ [15], que garantizara la adherencia de las 5.000 micras de pintura eran tan solo algunos de muchos interrogantes.

Para garantizar la adherencia de la pintura y el acabado del soporte Sa 2 1/2, se probó con varios tipos de lijas y posteriormente mediante radial con cepillo de alambres, la cual consiguió retirar la totalidad de la capa de pintura existente dejando el tirante con el metal totalmente visto y brillante.

La aplicación de la pintura se realizó a brocha y de acuerdo a las *Instrucciones de aplicación* del fabricante, así como y el documento *Assessment of rying level for intumescent films* [16], que ayuda a determinar el estado óptimo de secado de las capas precedentes.

Durante los trabajos se respetaron los tiempos de secado para evitar la retención de disolvente. La pintura intumescente tiene una alta viscosidad, pero un exceso de disolvente provoca:

- Reducción en los espesores de las capas aplicadas de alrededor del 30%, en húmedo.
- Pérdida de espesor de la capa húmeda por evaporación del disolvente, de entre el 20-30%.
- Retraso en la ejecución, ya que se necesita más tiempo para secarse la capa precedente antes de aplicar la siguiente. El material aplicado puede llegar a adquirir una consistencia blanda (similar al chicle), y es necesario espesar incluso varias semanas para poder continuar con la aplicación.
- Control de los espesores de forma regular por el propio aplicador para determinar el grado de avance en el espesor, así como para averiguar la regularidad de la capa aplicada desde el inicio.

A continuación, se incluye la "Tabla 3" con las capas aplicadas, el porcentaje de disolvente, las micras medias por capa y el tiempo de espera entre capas.



CONTART

Tabla 3. Capas aplicadas, porcentaje de disolvente, micras medias por capa y tiempo de espera entre capas.

Nº de capa	Disolvente	Micras desde inicio	Micras por capa	Tiempo espera entre capas
1 a 8	5 - 7%	1600	200	24 h.
9 a 11	5%	2350	250	24 h.
12 a 16	5%	4000	350	48 h.
16 a 20	5%	5000	350	72 h.

La reducción del disolvente en la pintura originó una disminución sustancial del número de capas a aplicar llegando a casi la mitad con respecto al ensayo: 20 capas para R90 y 16 capas para R60.

DISCUSIÓN.

Mediante un ensayo no normalizado aprobado se ha conseguido proporcionar un dato equiparable a la resistencia a fuego normalizada para los tirantes traccionados del Pabellón Puente de Zaha Hadid construido en la Exposición Internacional de 2008. Estos elementos estructurales, se encuentran expresamente fuera de la norma de aplicación. Los resultados del ensayo (5.000 micras para R90 y 4.000 micras para R60 en tirantes de 30mm) y sus conclusiones [17], fueron llevados a la práctica con éxito.

En el ensayo realizado con 5.000 micras, el comportamiento de la pintura fue bueno, aunque se desconoce si con un espesor mayor el resultado hubiera sido el mismo. El límite superior de aplicación era, de acuerdo a las indicaciones del fabricante, hasta un 5% mayor, es decir 5.250 micras. Un exceso sobre este espesor, obligaba a dejarlo por debajo del límite máximo indicado.

Los resultados del presente trabajo se circunscriben expresamente a los tirantes del edificio de estudio y aunque sus resultados concretos no pueden extrapolarse directamente a otras casuísticas, sí lo podría ser la metodología de trabajo y los procedimientos empleados.

Para la realización de los ensayos y la selección de las muestras, se tuvieron además en cuenta los documentos de trabajo de las futuras normas de ensayo al fuego de tirantes protegidos por pinturas intumescentes (ISO 834-14 y EN 13381-10). Estos textos no son definitivos y se hicieron públicos en los grupos de trabajo de los comités de normalización, en fechas posteriores a la aprobación del protocolo diseñado. Al no estar claro, por el momento, si las futuras normas establecerán la obligación de realizar el ensayo con el tirante sometido a tensión o sin tensión, se decidió realizar los ensayos con un elemento cargado, tal y como indica el protocolo [9] y un elemento idéntico sin carga, de forma que se obtuviese información complementaria sobre el comportamiento de la pintura.

El exceso de disolvente en la pintura resulta ser un condicionante muy negativo, por la necesidad de su evaporación completa, dando lugar a una gran pérdida del espesor aplicado en húmedo, por lo que supone un aumento en la aplicación de capas y un aumento del tiempo de espera entre capas.



CONTART

La elección de aplicación por brocha fue siempre recomendada por el fabricante de pintura, y en ambos casos, la elegida por el aplicador frente al airless, por las pérdidas de pintura en la aplicación y por la pulverización frente a la gran curvatura del soporte, que supondría un reparto muy irregular.

La retirada por medio de lijado manual se ha mostrado como una respuesta excelente para eliminar los excesos de espesor de pintura en aras de conseguir al final de la aplicación un espesor constante, frente a lo realizado en la preparación de las muestras del ensayo, a base de acuchillar las zonas con exceso y aplicar pintura en las zonas con defecto.

CONCLUSIONES

El diseño y aplicación de un protocolo experimental para la realización de un ensayo que estime la contribución a la resistencia al fuego de una pintura intumescente en tirantes sometidos a tracción, macizos y de sección circular, ha permitido dar respuesta a la necesidad de protección contra el fuego frente a los sistemas convencionales de placas. Con ello, se alcanzó el doble objetivo de cumplimiento de los requerimientos de protección al fuego para los tirantes del Pabellón Puente y de respetar la estética de esta obra arquitectónica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NBE-CPI-96. Condiciones de Protección contra incendio en los edificios. BOE nº 261. España.
- [2] OMPCAZ 95. Ordenanza Municipal Contra Incendios de Zaragoza, 1995.
- [3] UNE-EN 13381-8: 2011. Ensayos para determinar la contribución a la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Parte 8: Protección reactiva aplicada a los elementos de acero.
- [4] EN 1993-1.2: 2005: Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.
- [5] EN 1991-1-2: 2002: Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego.
- [6] EN 1363-1: 2015, Fire resistance tests – Part 1: General requirements.
- [7] EN ISO 13943: Fire safety — Vocabulary (ISO 13943:2008).
- [8] ISO 8421-2:1987, Fire protection — Vocabulary — Part 2: Structural fire protection.
- [9] Chiva, R., "Protocolo de ensayo de resistencia al fuego", Efectis France, Saint Aubin, Francia, nº EFR-15-002673, 2016.
- [10] Catálogo Pfeiffer, Tension Members, Pfeiffer, Memmingen, Alemania.
- [11] Ficha técnica de imprimación, Hempel's shopprimer E15280, Pinturas Hempel, S.A.U.
- [12] Instrucciones de Aplicación, Hempacore One 43600, Pinturas Hempel, S.A.U.
- [13] Ayme, N., "Determinación de la temperatura crítica de los tirantes de acero del Pabellón Puente"



CONTART

de Zaragoza”, Efectis France, Saint Aubin, Francia, nº 16-000185-MLP, 2016.

[14] Villegas, M., “Ensayo para la determinación de la contribución a la resistencia al fuego de una pintura intumescente, a un redondo metálico sometido a tracción de acuerdo a un protocolo de ensayo no normalizado”, Afiti, Madrid, España, Informe de Laboratorio, nº 9333/16.R1, 2014.

[15] EN-ISO 8501-1: 2007, Manual de grado de oxidación.

[16] Assessment of rying level for intumescent films, Pinturas Hempel, S.A.U.

[17] Monet, K., Lago, M., “Conclusiones sobre la estabilidad al fuego de los tirantes del Pabellón Puente (Zaragoza)”, Efectis-Afiti, Saint Aubin, Francia, nº IB-17-000080, 2017.