

PROTECCION de elementos estructu- rales contra el fuego

Por: Esteban Rifá

Dr. Ingeniero Industrial

Por su interés, reproducimos este artículo de la Revista ASELF, 66, enero-febrero 1978.

El principal objeto de este estudio está en la parte técnica de protección, pero el arquitecto deberá conjugarla con el diseño.

Los objetivos que persigue la protección contra el fuego son, esencialmente:

Evitar el desplome o derrumbamiento de la estructura resistente durante un período de tiempo determinado, en caso de incendio.

Evitar la propagación del fuego a otras zonas del edificio no afectadas por él.

Estudiemos someramente el comportamiento de algunos materiales de empleo usual en estructuras, bajo la acción del fuego.

MADERA

La madera se inflama fácilmente (clase M-4) y su combustión desarrolla gran cantidad de calor. Estudiemos la variación de sus propiedades mecánicas durante un incendio.

Al examinar una pieza de madera después de un siniestro, constatamos que está recubierta de una capa más o menos espesa de «carbón vegetal», hallándose la parte central totalmente intacta.

La resistencia mecánica del carbón vegetal es prácticamente nula, pero la central es prácticamente igual a la de la madera original.

Por tanto, la disminución de las cualidades sustentantes de la viga o pilar es debida únicamente a la disminución de la sección útil. El espesor de la capa carbonizada depende, naturalmente, de la duración del ataque, de la intensidad del fuego y de la especie vegetal de la madera.

La resistencia al fuego de maderas laminadas y enlacadas depende de la calidad del encolado. Si éste es mediocre, los elementos se separan rápidamente y la viga pierde todas sus cualidades portantes.

Si el encolado resiste, se comportan entonces como un material macizo, e incluso mejor.

La lenta degradación de la resistencia mecánica de la madera en un incendio es debida a su débil conductividad térmica. La humedad juega también un papel importante en el retraso de la acción. Además de mantener los 100° C, esta humedad no se elimina toda por evaporación, sino que pasa a enriquecer las capas más profundas.

Por último, el carbón vegetal antes citado protege de la siguiente forma:

Se acumula durante el desarrollo del incendio, ya que no es más que lentamente quemado. Mientras el incendio se mantiene, las partes superiores de los espacios son lamidas

por las llamas. El oxígeno no consumido se diluye, tanto en los gases de la combustión como en los productos volátiles combustibles todavía intactos. Este fenómeno se acentúa en la proximidad de las vigas, por la expansión de productos volátiles inflamables e incombustibles provenientes de la propia pirogenación. El oxígeno para la combustión del carbón es escaso, por lo que éste prácticamente arde mientras las vigas o pies derechos se hallan rodeados por las llamas.

Cuando las llamas van disminuyendo, aparece el peligro de incendio del carbón y la consiguiente no protección del alma de la pieza; sin embargo, mientras las partes centrales continúan emitiendo gases, la ignición es débil, y como la incandescencia trae como consecuencia una elevada radiación, la combustión no es suficiente para compensar la pérdida de calor, por lo que la viga se enfría y el carbón se extingue. Si las vigas o pies derechos se rodean de obra, naturalmente quedan más protegidos. Por el contrario, si se hallan en contacto con piezas metálicas, éstas transmiten el calor al interior de la madera (si la atraviesan), con lo que la pérdida de resistencia mecánica es muy rápida.

De lo antedicho, se deducen dos consecuencias importantes:

Que, lógicamente, la madera, aun siendo un material de la clase M-4, se tolera como elemento estructural en las Ordenanzas.

Que esta tolerancia deberá ser mucho menor cuando se utilicen tornillos metálicos para unir piezas de madera diferentes o se coloquen perfiles metálicos de refuerzo en vigas de madera obsoletas (sujetos a ellas con pernos), ya que entonces se ocasionan caídas de resistencia mucho mayores que las normales en los mismos elementos estructurales de iguales secciones.

ACERO

Veamos, en este material de propiedades perfectamente conocidas, cómo influye la llama de un incendio.

En primer lugar, la velocidad de caldeo depende de tres factores primordiales: masa, capacidad calorífica y flujo de calor que recibe. Este último es proporcional, en un ambiente dado, a su superficie de contacto.

La resistencia de un acero de cualquier tipo (tubular, redondo, etcétera), disminuye rápidamente a partir de 350° C a 400° C y los coeficientes de seguridad son insuficientes para compensar esta disminución desde los 500° C a 550° C.

Así pues, la protección de los elementos estructurales de acero debe ser el mantenerlos el mayor tiempo posible por debajo de los 500° C. Si admitimos que una viga de acero puede transportar una cantidad apreciable de calor, veremos que puede transmitir el fuego de un local a otro mientras se uniformiza la temperatura en el elemento constructivo transmisor. La continuidad de la protección es, por tanto, muy importante para este material, pues bastaría un defecto local para provocar la ruina del conjunto.

La teoría del hundimiento de las estructuras metálicas en un incendio puede resumirse así:

En un armazón hay elementos que trabajan a tracción y otros a compresión. La tendencia a derrumbarse por el fuego es más acentuada en los elementos largos y de poca sección, porque los elementos

que trabajan a compresión tienen más masa y suelen ser más cortos que los que trabajan a tracción. La inercia térmica en ambos es distinta, y los primeros en acusar la acción del calor son los largos y de poca sección.

Supongamos que la elevación de temperatura es uniforme en las proximidades de todos los elementos de una armadura. Desde que las llamas lamen el techo, las piezas en estado de tracción tienden a alargarse, lo que acentuará la fatiga a compresión de los otros elementos. Por otro lado, las vigas que se apoyan sobre los muros tienden a provocar su vuelco hacia el exterior. El muro, sin embargo, resistiendo a estos empujes, crea esfuerzos sobre las vigas, y la dilatación elástica se convierte en un acortamiento que compensará parcialmente la dilatación térmica.

Luego, rápidamente, las vigas se flexarán ligeramente, lo que tenderá a anular los esfuerzos de vuelco sobre el muro; por tanto, es muy posible que el muro quede dislocado, pero no derrumbado.

Al acentuarse la elevación de temperatura, las piezas que trabajan a compresión comienzan a notar los efectos de las llamas, tendiendo a plegarse; la flexión de las piezas largas se acentúa, la estructura se acorta y el esfuerzo sobre los muros se invierte de sentido. Por último, la estructura, completamente deformada, cae, arrastrando hacia el interior los muros del edificio.

Este supuesto es puramente teórico, pero la experiencia nos ha permitido comprobar que los hechos son prácticamente similares a lo descrito. Además, en la mayor parte de los incendios, las temperaturas no se distribuyen uniformemente, lo que implica diferencias importantes en el comportamiento mecánico antes supuesto, aunque el conjunto, más complejo, es parecido y el derrumbamiento de los muros se ocasiona hacia dentro.

Si el incendio se extingue antes del desplome, pero las deformaciones no elásticas quedan, lo que provoca una serie de tensiones que

habrá que tener en cuenta en la estructura incendiada para ver si su estabilidad continúa en las mismas condiciones de cálculo inicial, y, por tanto, se puede garantizar su seguridad. Este estudio es indispensable, y los arquitectos deben tenerlo muy en cuenta antes de asegurar la habitabilidad de espacios con estructuras metálicas que han sido afectadas por un incendio.

HORMIGON

En la evolución térmica del cemento portland a elevadas temperaturas, hay aún muchas incógnitas.

Consiste principalmente en una deshidratación de los principales componentes, que se inicia hacia los 150° C y termina sobre los 500° C, apareciendo después reacciones de descomposición y disociación.

Las variaciones de volumen que resultan de todo ello son más conocidas, pero varían según el grado de hidratación del portland. Por ello, los resultados obtenidos por diferentes autores no coinciden. Nekrassow dice: «Después de una ligera dilatación, hasta los 100° C, las pérdidas de agua conllevan una contracción importante. La deshidratación es irreversible y el cemento no retorna a su volumen inicial una vez enfriado, sino que continúa contrayéndose. Si procedemos a un segundo ciclo de caldeo, la dilatación es entonces positiva y se superpone a la rama del primer ciclo, después de la desecación». Nuestras experiencias parecen confirmar bastante esta teoría.

La descomposición del carbonato cálcico absorbe gran cantidad de energía (del orden de 550 Kc/kg), lo que resulta de gran importancia para la resistencia al fuego de las estructuras de hormigón armado, pretensado, etc.

Podemos decir, por último, que en virtud de las modificaciones químicas y de volumen de los constitutivos del hormigón, sus propiedades mecánicas son rápidamente alteradas por la temperatura. Hacia los 300° C, se produce un incremento en la resistencia, seguido de rápido desmoronamiento de la misma. De todas formas, este proceso,

y la temperatura a que se ocasiona, está muy en función de la dosificación del hormigón.

HORMIGON AISLANTE

Especialmente nos referiremos a los hormigones celulares. Sabemos que su resistencia mecánica es inferior a la de los hormigones normales. Veamos cómo varía la temperatura en sus distintas caras expuestas al fuego. Las caras vecinas a la expuesta al fuego directamente se calientan aún más rápidamente que en el hormigón normal, lo que se explica por una capacidad calorífica más débil y una menor cantidad de agua a evaporar.

Por el contrario, las capas profundas permanecen mucho más tiempo frías, lo que permite las aplicaciones aislantes y de carácter cortafuegos de este tipo de hormigones.

HORMIGON ARMADO

Las tensiones que se han indicado antes para hormigón en masa se encuentran en este caso sensiblemente agravadas, ya que la dilatación del acero comportará la flexión de las barras, lo que hará saltar el hormigón. Las consecuencias son distintas en vigas que en pilares.

El hormigón armado tiene las ventajas de unir la tracción y la compresión en las zonas idóneas. Los hierros deben estar colocados en los elementos horizontales, en el punto próximo a la cara flexionada, es decir (excepto en voladizos y casos similares), en la más expuesta directamente al fuego.

La presencia de las armaduras en la parte inferior (zonas de tracción) con encintados reducidos, es una fuente de debilidad en caso de incendio, ya que la disgregación del hormigón se produce más rápidamente y la temperatura de fluencia se alcanza antes, apareciendo en este momento el peligro de derrumbamiento.

En el caso de pies derechos, las armaduras están más embebidas en la masa de hormigón y, por tanto, mejor protegidas, no llegándose más

que tras largo espacio de tiempo a la temperatura crítica.

Sin embargo, esta ventaja es desgraciadamente compensada porque el acero a compresión tiende a ceder a más baja temperatura. Además, los pilares suelen estar expuestos al fuego por las cuatro caras, lo que dificulta la evacuación del calor que absorben. Por ello, se hallan en peores condiciones que las vigas.

En resumen, en cualquier caso la resistencia al fuego depende esencialmente de la capa protectora de hormigón, siendo preciso que ésta no caiga ni se agriete, pues entonces se reduciría la duración de su eficaz acción protectora.

HORMIGON PRETENSADO

En las vigas pretensadas se utiliza acero de alto límite elástico, cuya acción tiene por resultado reducir, e incluso anular, las zonas tensionadas ya en carga. Con ello se beneficia la resistencia a compresión del hormigón en toda la sección de la viga.

Esto crea problemas graves en caso de incendio, debido a la naturaleza de los aceros empleados.

Trabajando cerca de su límite elástico, soportan bajo la acción del calor una variación «relativa», más importante que su resistencia mecánica y la de aceros del hormigón ordinario.

Es difícil dar reglas generales sobre los estados de esfuerzos del hierro y el hormigón a temperaturas elevadas. Sin embargo, podemos afirmar que es preciso proteger las armaduras mucho más que en el caso del hormigón ordinario. Si enfundamos los hierros hasta una profundidad de 50 mm, la temperatura de un incendio normal no suele provocar efectos peligrosos hasta un tiempo superior a dos horas.

TRATAMIENTOS PROTECTORES

Vamos a dar seguidamente unas ideas de los tratamientos protectores más utilizados, lo que justificará su empleo, incluso recogido en forma normalizada en las Ordenanzas

vigentes, entre las que destacamos las aprobadas de los Ayuntamientos de Barcelona y Madrid y las que sirven de modelo para su posible adopción por distintos municipios, propuestas por la Diputación Provincial de Barcelona.

PROTECCIONES EXTERNAS

Formas de actuar:

Crear un obstáculo mecánico que impida el aporte de oxígeno cerca del material deflagrado y el desarrollo de gases y vapores inflamables.

Impedir que los objetos lleguen a la temperatura crítica.

Formar la pantalla mecánica, lo que sólo se hace para materiales combustibles. Normalmente, consiste en proteger con una plancha de hierro las dos, o una sola, de las caras del material combustible.

PANTALLA MECANICA

Como el único material combustible (clase M-4) que se utiliza como componente de elementos estructurales es la madera, a ella nos referimos en este esquema de protección.

Si la madera es chapeada, por ambas caras, los gases sólo pueden salir a lo largo de los bordes y se inflaman, en su caso, junto a los mismos, mientras que si sólo hay la cara expuesta al fuego chapeada, los gases se escapan a través de la madera sin protección metálica y penetran en el local aún frío.

Lo que se intenta lograr con este tipo de protección es impedir la llegada de oxígeno al «carbón vegetal» que se forma, para que éste no arda, ya que lo que en realidad impide la transmisión de calor es la capa de carbón, no la chapa metálica. Por otra parte, ésta retrasa el ataque directo de las llamas a la madera.

Las circunstancias en que se aplica esta clase de protección son muy particulares, reduciéndose casi siempre a la construcción de puertas cortafuegos.

DISPERSION DEL CALOR

Este tratamiento consiste en aumentar la claridad (albura de los

materiales) y absorbiendo el calor por contacto con un material inerte adecuado.

En los incendios aparecen radiaciones infrarrojas en proporción importante, que deberán ser, por tanto, absorbidos y reflejados en la mayor cantidad posible.

Debemos tener en cuenta que los cuerpos de colores claros, e incluso blancos, tienen una reflexión muy débil para las radiaciones infrarrojas, mientras que los cuerpos oscuros o negros suelen ser altamente reflectantes para esa zona del espectro. Asimismo, los cuerpos metálicos de superficie pulimentada (cobre, aluminio, etc.), son muy reflectante~.

Una hoja de aluminio de centésimas de milímetro de espesor da un excelente resultado, manteniendo frío el objeto que protege; también puede emplearse pintura a base de polvo de aluminio.

Este sistema protector es de rara aplicación, exigiendo para su uso todas las condiciones previas fundamentales:

Que la emisión de calor sea sólo por radiación.

Que las superficies puedan permanecer perfectamente limpias.

ABSORCION DEL CALOR POR TRANSFORMACIONES ENDOTERMICAS

Todo compuesto susceptible de volatilizarse absorbiendo calor, reartar la inflamación de otro material, con la única condición de que la temperatura de transformación sea inferior a la de pirogenación del cuerpo a proteger.

Quando calentamos progresivamente un material húmedo, su temperatura se mantiene en 100° , aproximadamente, hasta su total desecación (temperatura de vaporización del agua a presión normal). La cantidad de calor absorbido es del orden de 600 Kcs/Kg, ocupando cada gramo de vapor formado, a dicha temperatura, un volumen de 1.700 cc, aproximadamente.

Si consideramos, por ejemplo, madera con un 18 por 100 de peso en agua, a 20° C, en equilibrio

con el aire ambiente saturado de humedad, se precisará algo más de 108 Kcs para secar un Kg de madera, y el vapor de agua producido ocupa unos 300 dm^3 , es decir, unas 500 veces el volumen de la madera. El calor absorbido es del orden de un 2,25 por 100 del de combustión de la madera, pese a lo cual se ha comprobado experimentalmente que ejerce una acción importante, complementada por la migración del vapor a las capas profundas de la madera.

Por tanto, un tratamiento puede ser, simplemente, mantener una humedad elevada para la protección de ciertos materiales, lo que puede lograrse con productos de naturaleza coloidal, extraídos de las algas, que aseguran una humedad elevada, incluso superior a la del equilibrio entre la madera y la atmósfera saturada.

Este tratamiento es poco utilizado, debido al tacto viscoso que adquieren los materiales y a la acumulación de polvo sobre los mismos. Pueden sustituirse, como se verá posteriormente, con materiales como el yeso, cuyas reacciones de transformación son también endotérmicas y su aplicación más adecuada.

AISLAMIENTO TERMICO

El aislamiento térmico es un tratamiento de los materiales que consiste en la no transmisión del calor a los elementos protegidos. Esta transmisión es función de un coeficiente de conductibilidad, propio del material aislante, del espesor del mismo y de la forma en que se realiza la unión entre el material aislante y el protegido.

Quando ambas capas están en contacto directo, la cara interior de la capa protectora está (teóricamente) a la misma temperatura que la primera cara del material protegido; por tanto, sólo interviene la inercia térmica del aislante.

Si hay una capa de aire intermedia, los intercambios de calor se hacen por radiación y convección, siendo los más importantes los de convección, si la temperatura no pa-

sa de un cierto límite, especialmente si la cara interna de la pantalla protectora es metálica.

Los principales protectores de este tipo de acción son:

1. YESO

El yeso es $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Las pastas de yeso adquieren un exceso de agua, que, en realidad, no pierden nunca en condiciones normales, ya que en equilibrio con la humedad atmosférica, retienen un cierto porcentaje de humedad por capilaridad.

Bajo la acción del calor, el yeso se seca y luego pierde su agua de cristalización, transformándose en semihidrato y yeso anhidro. La primera de las reacciones empieza hacia los 115° C, hasta los 170° C, y la segunda, que empieza a partir de ahí, es máxima a 215° C y acaba a 220° C. Hacia los 380° C, se produce una tercera reacción, debida a una modificación molecular del sulfato anhidro, que adopta otra forma alotrópica idéntica a la anhidrita. A los 960° C el yeso se descompone en CaO, anhídrido sulfúrico y agua.

Las dos primeras reacciones son endotérmicas y la tercera ligeramente exotérmica. Al calor absorbido en conjunto por estas tres transformaciones, hay que añadir el necesario para la vaporización del agua.

Si el yeso se aplica en capas sucesivas, éstas no tienen la misma porosidad ni la misma higroscopicidad, por lo que presentan tendencia a exfoliarse en láminas independientes. Pero si el yeso es mantenido en su sitio por un anclaje adecuado, puede conservar sus cualidades de aislamiento térmico casi absolutamente. A veces se emplea «stalf» (mezcla plástica de yeso, cemento y dextrina), para aumentar su resistencia mecánica y adherencia, con un comportamiento como aislante prácticamente igual al yeso puro. Otras veces, se le añade en el amasado fibras de vidrio, obteniéndose un yeso armado que conserva sus propiedades aislantes y mecánicas cerca del punto de fusión del vidrio (unos 650° C), con lo

que se mejora su comportamiento frente al fuego,

2. VERMICULITA Y PERLITA

Las vermiculitas son silicatos naturales de composición variable, parecidas a las micas, pero en las que los metales alcalinos son reemplazados en parte por moléculas de agua. Tienen, por tanto, silicatos magnésicos con elevada proporción de magnesio y una pequeña cantidad de óxidos trivalentes (aluminio e hierro III).

Las vermiculitas son estables hasta 7500 C. Cuando se calientan por encima de esta temperatura, el vapor de agua de constitución se expansiona. Los iones H^+ , al no asegurar más que una débil cohesión entre los estratos, no pueden resistir la presión ejercida por el vapor y aquellos se separan.

Si la temperatura no es muy elevada y se enfría bruscamente la vermiculita para evitar el reajunte de los estratos, el material queda en estado «expandido». Las vermiculitas conservan su estructura hojosa y resistente bajo la acción de temperaturas elevadas, hasta casi la temperatura de fusión, 1.030° C. A esta temperatura, el material se convierte en polvo.

La perlita es un silicato complejo, de un grupo diferente a la vermiculita. Su contenido en sílice amorfo es elevado; posee además óxidos de metales trivalentes y pequeñas cantidades de silicato alcalino y silicato de calcio.

Bajo la influencia del calor, la perlita se transforma análogamente a las vermiculitas. Su campo de aplicación es, sin embargo, más restringido que el de las vermiculitas, ya que la temperatura no puede pasar de 920° C, puesto que las «perlas» se ablandan a esa temperatura y funden a 1.2600 C.

Las capas de aire entre las hojas de ambos minerales les confieren un coeficiente de conductibilidad térmica muy bajo (se entiende, con los minerales expandidos), por lo que se utilizan para el tratamiento

de materiales, especialmente estructuras metálicas, contra incendios, generalmente en forma de morteros con cemento y yeso, aunque con el yeso presentan menor estabilidad, dado que este material desde 200" C se hace pulverulento (yeso anhidro).

También pueden utilizarse como aislantes, rellenando en forma desordenada el espacio comprendido entre dos caras, de las cuales, una al menos, debe ser resistente al fuego, en caso de que deban servir también como protectores contra incendios.

La perlita y vermiculita expandidas tienen hoy una gran aplicación como protectores, hasta el punto de que los espesores necesarios al fuego a alcanzar, se especifican en las Normas y Ordenanzas españolas.

3. AMIANTO

Los amiantos son utilizados como aislante térmico, en el tratamiento contra la propagación del calor. Además, son también utilizados como recubrimientos de estructuras de hierro o elementos determinados de éstas.

Las fibras de amianto pueden ser hiladas directamente, pero el trabajo del hilado se facilita con pequeñas cantidades de algodón (4 por ciento hasta 10 por 100), resultando materiales prácticamente no combustibles. Sin embargo, según las Normas francesas, se autoriza el empleo de este calificativo cuando su poder calorífico no pase de 500 cal/gr, lo que ya cumple un amianto con un 13 por 100 de algodón, si no contiene trazas de hierro. En un amianto con hierro se admite un límite de 2,2 por 100; un amianto de 300 cal/gr no puede llevar más que un 6,5 por 100 de algodón. Damos estos datos para deducir de ello el grado de protección en función del tratamiento seguido, e, incluso, se podrían calcular las horas de resistencia al fuego partiendo de la potencia calorífica desarrollada.

Una de las aplicaciones del amianto es la de servir para la fabricación de paneles protectores

prefabricados. Un panel debe resistir al fuego y al choque térmico, lo que elimina el amianto-cemento con poco amianto. Lo más simple para dar esta calidad al material es conferirle plasticidad. Para este fin se utiliza el amianto en proporción adecuada.

Los carbones de amianto se obtienen incorporando a las fibras del material un aglomerante. Algunos de estos minerales, obteniéndose entonces una buena protección. Como ejemplo, en el mercado hay el «fibertolux», «marinite», «navilite», etcétera. Estos materiales pueden usarse hasta los 500" C, a partir de cuya temperatura se contraen y se desmenuzan.

TRATAMIENTOS IGNIFUGANTES

Maderas

Los tres sistemas más conocidos son:

Impregnación con sales inorgánicas.

Impregnación con compuestos de fósforo.

Recubrimiento a base de yeso, paneles, etc.

Los inconvenientes del primer sistema (que se basa en impregnación al vacío y/o a presión) son, especialmente:

El material pierde higroscopicidad, por relleno de poros de la madera.

Pierden, como consecuencia, pintabilidad.

Pierden cualidades de deformación, ya que las sales minerales confieren trabazón y dureza a las piezas.

Se trabajan con más dificultad.

Los inconvenientes del segundo método radican, cuestión que no se observa en las aplicaciones del primer método, en la pérdida de efectividad por lavado, lo que constituye un grave problema para las superficies expuestas a la lluvia.

Del primer método citamos:

Impregnación con CL_2Zn , sumer-

giendo la pieza en una solución de cloruro y urea (Depew-Waitkins).

Impregnación más eficaz se logra con $\text{SiF}_6\text{Zn } 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{So}_4\text{Zn H}_2\text{O}$, lográndose piezas que resisten muy bien el ensayo al fuego y dan pérdidas muy reducidas (método de Quinn).

Con disoluciones de matabisulfito sódico y tetraborato sódico (Dufresne y Campbell).

Del segundo método, muy utilizado, transcribimos un cuadro comparativo, en el que damos las siguientes valoraciones relativas:

- 0 = no combustión a la llama.
- 1 = la llama se autoextingue.
- 2 = la llama se mantiene, muy atenuada.
- 3 = la llama se mantiene casi normal.

También se utilizan modernamente el pentaclorofenol disuelto en ésteres fosfóricos.

El inconveniente de la pérdida

por lavado puede mitigarse parcialmente tratando la madera con oxícloruro de fósforo + una mezcla de acetato y cloruro de polivinilo, con lo que se obtienen impregnaciones de base muy eficaces.

En cuanto al tercer método, indicamos lo siguiente:

Ensayo con un pie derecho de roble, de 15 X 15 X 230 m³, cargado con 10 Tm.

Se han obtenido, por tanto, resistencias suplementarias de protección de 30 minutos y 60 minutos, prácticamente.

El inconveniente básico del yeso, según determinación experimental, es que al cabo de unos 15 minutos se fisura, produciéndose la inflamación primaria de la madera, a través de las fisuras, al cabo de 45 minutos de la acción del fuego.

De todas formas, el yeso resulta ser una protección bastante adecuada para la madera, aplicándose generalmente en forma de placas.

drillos macizos o perforados, el hormigón de portland normal, los morteros de cemento, los morteros de cal y yeso, las placas de yeso, etcétera. Especialmente se utilizan con gran eficacia y constituyendo revestimientos ligeros y de fácil aplicación por proyección, los morteros de cemento-vermiculita, yeso-vermiculita y yeso-perlita, los cuales pueden aplicarse con o sin malla metálica, proporcionando protecciones de duración prolongada, si la dosificación está correctamente realizada, e incluso resistentes al agua que normalmente actuará sobre dichos revestimiento~durante el desarrollo del ataque a un incendio.

En España se han realizado ya ensayos normalizados sobre estructuras metálicas tipo revestidas con mortero de cemento-vermiculita expandida y yeso-vermiculita expandida, en el Instituto Eduardo Torroja, de Madrid, con actuación sobre ellos del calentamiento y acción directa de llamas de un fuego normalizado, con carga de fuego perfectamente controlada. La extinción se llevó a cabo por el Servicio de Extinción de Incendios y Salvamentos del Ayuntamiento de Madrid, pudiéndose comprobar la permanencia o no de la estabilidad de los revestimientos, después de sofocado el siniestro, dominando en calidad los resultados obtenidos con vermiculita-cemento, que con yeso-vermiculita.

Los revestimientos de estructuras metálicas con morteros vermiculíticos y perlíticos suelen ser bastante más caros que los conseguidos con otros métodos, lo que ha vetado hasta ahora su aplicación en muchos casos; sin embargo, dada su resistencia a la acción de envejecimiento normal e incluso su estabilidad en caso de incendio y subsiguiente actuación sobre ellos del agua, estimamos son muy recomendables.

Con amianto proyectado también se obtienen revestimientos protectores recomendables. Una proyección de amianto de 1,25 cm sobre una viga de hierro le confiere una resistencia al fuego de 60 minutos;

Compuesto

% concentración en peso madera

Valoración ignífuga

Bis(2Bromometil)2bromoetano fosfonato	2,2	0
Bis(2Clorofenil)2cloroetana fosfonato	2,2	0
Bis(3Cloropropil)3cloropropano fosfonato	2,1	1
Fosfonato de dietil 2bromoetano.	5,1	2
Fosfato de trifenilo	2,9	3

ACEROS

Se ha experimentado que la fatiga de tracción del acero aumenta desde 37 KpJmm² hasta 50 Kp/mm², al incrementarse la temperatura desde 50° C a 200° C, disminuyendo después hasta su valor inicial, para descender a 10 Kp/mm², a los 600° C, aproximadamente; el valor inicial lo vuelve a tomar a unos 350° C. El módulo de elasticidad pasa de 21.000 Kp/mm² a 13.400 KpJmm² entre los mismos límites. A 600° C se inicia la fase plástica del acero, con notables deformaciones, hasta la ruina total. Otra causa a tener en cuenta en el

tratamiento es la dilatación térmica lineal.

Para la protección de las estructuras metálicas elegiremos materiales que posean: aislamiento térmico, ligereza, resistencia al fuego y a las altas temperaturas y resistencia a la acción del agua lanzada sobre ellos en caso de incendio. El factor de ligereza es básico tenerlo en cuenta a fin de evitar la sobrecarga excesiva sobre las estructuras, especialmente cuando se procede al revestimiento de jácenas, cerchas, etc.

Pueden citarse entre los materiales más comúnmente usados los la-

con 2,50 cm llegaremos a 120 minutos, y con 3,80 cm a 180 minutos, no siendo recomendables espesores mayores por temor a su agrietamiento.

HORMIGONES

Los problemas del hormigón a ser atacado por el fuego hemos visto que son de muy diversa índole y muy complejos, dada la constitución del mismo. No obstante, de todos los materiales normalmente empleados en construcción, es el que más resistencia ofrece al fuego. La Norma DIN 4028 lo considera como elemento resistente al fuego sin necesidad de comprobaciones especiales. Las losas huecas de hormigón armado, cuando tienen por lo menos 10 cm de grueso y están enlucidas por la cara inferior con 1,5 cm de mortero del grupo II sobre mortero de revoque del grupo III (Norma DIN sobre morteros) no precisan protección especial contra el fuego, como tampoco los pilares de 30 cm de lado, cuya resistencia mínima a compresión sea de 225 Kp/cm², a los 28 días de fraguado.

A pesar de esto, en la mayoría de los casos es recomendable la protección de las estructuras de hormigón con enlucidos. Hay que tener la precaución de que las armaduras queden completamente embebidas en el hormigón y se respeten las distancias dadas anteriormente entre la cara extrema de dichas armaduras. En pilares, las juntas verticales debe procurarse que queden alternadas o contrapuestas.

Una solución puede ser añadir al cemento de los hormigones perlita o/y vermiculita, en forma de granos, en una proporción adecuada. Es indispensable que el tratamiento térmico durante la expansión de la perlita o vermiculita sea correcto, ya que si la temperatura es demasiado baja o el tratamiento se hace en un tiempo insuficiente, no sólo las propiedades aislantes son peores, sino que cuando el producto sube nuevamente a altas temperaturas, sufre una nueva expansión, lo que ocasiona la explosión de la mezcla y caída parcial del hormi-

gón, que pierde así su carácter sustentante y protector.

Las calidades de aislamiento térmico dependen de la densidad de los hormigones obtenidos y, por consiguiente, de las proporciones de vermiculita, perlita y cemento. Cuanto más elevada es la proporción de vermiculita, más bajo es el coeficiente de conductibilidad térmica, pero menos resistente es el hormigón.

La protección con morteros de vermiculita y perlita expandidas, morteros aislantes, viene incorporada a la Norma

NTE-IPF/1974,

para su aplicación sobre estructuras de hormigón armado.

Otro tratamiento muy eficaz de los hormigones puede conseguirse con yeso, aunque sometido a las condiciones de aplicación que indicaremos. Como ejemplo, aducimos la siguiente prueba, controlada en laboratorio:

«Tres pilares idénticos, de hormigón armado, de 15 cm de lado, han sido ensayados en las siguientes condiciones: sin revestir; con revestimiento de yeso de 1 cm de espesor, sobre enrejado, y con revestimiento de yeso, de 2 cm de espesor, sobre enrejado».

Sin embargo, y pese a estos espectaculares resultados, el problema más importante que presenta el yeso en cuanto a protección, es la disminución de adherencia cuando se somete al calor. Las retracciones ocasionadas por la deshidratación ejercen, a la larga, una clara influencia sobre la abertura de grietas y la correspondiente desestabilidad del elemento protector.

La retracción natural por secado del hormigón oscila entre 0.03 por 100 a 0.08 por 100, dependiendo de la composición y calidad del hormigón, mientras que la contracción correspondiente a los yesos no es normalmente superior a 0.01 por 100. Por ello, cuando se precisa aplicar un enlucido de dos capas sobre el hormigón, es ventajoso

emplear un yeso suficientemente elástico como para poder soportar la deformación inducida por los movimientos diferenciales; por ejemplo, puede utilizarse un yeso ligero, que contenga vermiculita como árido, con una capa de acabado normal, de poco espesor.

Cuando el material no reúna las condiciones de adherencia y cohesión requeridas, puede suplirlas una armadura metálica u otro sistema de anclaje o enganche.

En general, este problema de anclaje no es exclusivo de las aplicaciones del yeso sobre las estructuras de hormigón, sino que se presenta en otras muchas similares (amianto sobre hierro, etc.), por lo que normalmente se hace uso de la malla metálica para aumentar la cohesión.

Anexo

Clasificación de Elementos de Construcción, de madera, según su comportamiento ante el fuego

1. MUROS Y TABIQUES

MADERA COMO MATERIAL BASE

Panel de tablas de abeto de 18 milímetros de espesor, RF-15.

Panel de tablas de abeto de 25 milímetros de espesor, RF-18.

Panel de tablas de roble de 18 milímetros de espesor, RF-20.

Panel de tablas de roble de 25 milímetros de espesor, RF-22.

Tablero de 25 mm de espesor a base de madera aglomerada con materias minerales inertes —amianto, vermiculita, etc.— mediante aglutinante sintético nitrogenado clase DC, RF-45.

Panel de tablero de aglomerado de 35 mm de espesor y densidad 475 Kg/m³, RF-50.

Tabique de tablas de pino machihembradas de 22 mm de espe-

sor e impregnadas con base de fosfato monoamónico y bórax, RF - 60.

Panel de viruta aglomerada con cemento, de 50 mm de espesor, guarnecido con 1,50 cm de yeso en ambas caras, RF - 100.

Panel de viruta aglomerada con cemento, de 100 mm de espesor, RF - 135.

2. PUERTAS

Puerta plana con doble tablero contrachapeado de 5 mm, RF - 5.

Puerta plana con doble tablero de aglomerado de 5 mm, RF - 8.

Puerta de tablero de pino de 17 milímetros de espesor, RF - 15.

Puerta plana de tablero simple, de 36 mm de espesor, RF - 20.

Puerta de tablero de roble macizo, de 35 mm de espesor, RF - 30.

Puerta de tablero de roble macizo, de 40 mm de espesor, RF - 45.

3. PILARES

Soporte de roble macizo de 15 X 15 cm. Altura, 2,30 m. Carga máxima, 10 Tm, EF - 50.

Soporte de roble macizo de 15 X 15 cm con revestimiento de yeso —sobre tela metélica— de 1 cm de espesor. Altura, 2,30 m. Carga, 10 Tm, EF - 80.

Soporte de roble macizo de 15 X 15 cm con revestimiento de yeso —sobre tela metálica— de 2 cm de espesor. Altura, 2,30 m. Carga, 10 Tm, EF - 120.