

1. GENERALIDADES

Esta ficha técnica describe los daños que pueden ocurrir en los diversos materiales de construcción y edificios a consecuencia de un incendio. Este documento tiene como objeto proporcionar una base científica para evaluar la extensión y grado de deterioro estructural producido en un edificio que haya sido sometido a un incendio. Mediante esta evaluación podrá determinarse si la construcción (o partes de ella) puede ser rehabilitada o debe derribarse. También se proporciona información sobre los tipos de daños que pueden esperarse de acuerdo a los materiales de construcción, lo cual ayudará a una mejor selección de tipos de materiales y sistemas constructivos.

2. DAÑOS POR INCENDIO

2.1 Daños Producidos por la Combustión y por los Agentes Extintores.

2.1.1 Daños Producidos por la Combustión

Durante la combustión, se producen gases y vapores, se libera calor y se forman productos tales como humo, hollín y ceniza. Los daños ocasionados por tales efectos, pueden clasificarse por su origen. La exposición al calor tiene las siguientes consecuencias:

- Cambios en la estructura del material y pérdida de resistencia, temporal o permanente, en materiales no combustibles.
- Combustión, carbonización y destrucción de materiales combustibles.
- Agrietamientos, desprendimientos.
- Deformaciones. Los gases acarrear problemas de corrosión si son agresivos, tal es el caso, por ejemplo, del cloro proveniente de la combustión de materiales plásticos (PVC). El humo y gases transportan productos sólidos que normalmente contienen Acido Sulfúrico y Carbón, produciendo ennegrecimiento, olores y agresión química en las superficies donde se depositan.

2.1.2 Daños producidos por los Agentes Extintores

El agua se utiliza como producto extintor por excelencia, sin embargo, puede causar problemas, tales como:

- Humedecimiento, manchas, pérdida de color, ataque de hongos, descomposición.
- Corrosión, principalmente si se utiliza agua de mar.
- Desprendimientos o agrietamientos causados por enfriamientos puntuales súbitos que producen esfuerzos concentrados muy altos.

El agua combinada con ciertos residuos de la combustión, puede convertirse en sales ácidas, por ejemplo, en ácido clorhídrico (cloro yagua). Algunas sales ácidas son muy agresivas y tienen gran capacidad de penetrar diversas protecciones anticorrosivas. Los agentes extintores como el bióxido de carbono (CO₂), los productos halogenados y los polvos químicos secos producen daños pequeños en comparación a los ocasionados por el agua. En muchos casos, la elección del agente extintor se basa en que éste no ocasione mayores daños que los del mismo incendio. Por ejemplo, para equipos electrónicos generalmente se eligen extinguidores a base de anhídrido carbónico o gas halón).

2.2 Corrosión en Edificios Quemados

Después de un incendio, es importante evaluar los daños a la brevedad, especialmente donde haya la sospecha de combustión de PVC u otros materiales que liberan gases corrosivos al quemarse, Estos gases pueden producir graves deterioros en maquinarias, equipos y construcciones, siendo entonces de vital importancia efectuar una limpieza inmediata, mediante firmas capacitadas para estos trabajos.

2.2.1 Agua

Para que la corrosión electroquímica en el medio ambiente tenga lugar, es necesario que la humedad ambiental exceda un porcentaje crítico. Para el acero, la humedad relativa crítica es de 50- 60 %. En caso que la humedad sea tal que se origine la condensación en forma de una película delgada de agua, la velocidad de corrosión se incrementará notablemente. En toda combustión de materiales orgánicos se genera agua y los trabajos para combatir el fuego también involucran la evaporación de grandes

cantidades de agua. Por esto, los gases producidos a menudo contienen gran humedad y se condensan fácilmente en lugares más fríos del edificio.

2.2.2 Ácidos, Sales y Substancias Solubles en Agua

La combustión de materiales orgánicos produce pequeñas cantidades de ácidos y sales, los cuales disueltos en agua, aceleran la velocidad de corrosión. Muchos de los plásticos corrientes contienen halógenos tales como cloro y flúor. El Cloruro de Polivinilo (PVC), el plástico más utilizado en edificios, ocupa un lugar preponderante en este contexto, ya que contiene grandes cantidades de cloro, el cual, debido a un calentamiento o combustión a más de 100°C produce gases que al combinarse con agua, resultan en ácido clorhídrico. Puede mencionarse que 1 kg de PVC sólido, al quemarse, da aproximadamente 580 gr de ácido clorhídrico gaseoso. Si este gas se disuelve en agua con una concentración de 4%, se obtiene 15 litros de ácido con un PH entre 0 y 1, es decir, un líquido con propiedades muy corrosivas. Dicha cantidad alcanza a cubrir 150 m² con una membrana de 0.1 mm de espesor. La velocidad de corrosión aumenta con la concentración de ácido. El PVC es uno de los plásticos más comunes y se utiliza para alambres eléctricos, pisos, enchapes, láminas, perfiles, mangueras y tuberías de agua y desagüe.

2.3 Daños en Construcciones de Concreto Armado y Pre Esforzado.

2.3.1 Secciones Resistentes Reducidas como consecuencia de Desprendimientos, Agrietamientos y Corrosión.

Para evaluar correctamente las temperaturas a las que un elemento constructivo ha estado sometido durante un incendio, es importante conocer el momento en que el desprendimiento ocurrió (hacia el inicio o al final del fuego). Un desprendimiento temprano resultará en una transmisión de calor más rápida hacia el interior de la construcción. Se pueden diferenciar 3 tipos de desprendimientos;

- a. Desprendimientos explosivos, ocurren dentro de los primeros 30 minutos del fuego, como una serie de explosiones, debido a la sobrepresión del vapor de agua atrapado en el material.
- b. Desprendimientos sin carácter explosivo, ocurren en zonas débiles, por ejemplo, en la transición entre concreto y acero de refuerzo. Generalmente se dan a lo largo de las esquinas de columnas y vigas dejando la armadura al descubierto. Se originan en la diferencia de temperatura entre las distintas capas de material.
- c. Desprendimientos a raíz de grandes variaciones de temperatura causadas por el agua utilizada en el combate del fuego. La reducción de la sección resistente como resultado de la corrosión, toma mayor tiempo; pero se debe prestar atención a este aspecto, en especial a la ocurrencia simultánea de combustión de PVC y concreto agrietado.

2.3.2 Reducción en la Resistencia a la Compresión, Resistencia Residual

La reducción depende, entre otras cosas, de:

- La temperatura máxima
- La relación agua/ cemento
- Tipo de agregados: calcáreos o cuarcíferos
- Tiempo transcurrido después del incendio. Cuando las temperaturas sobrepasan los 300°C en el concreto, su resistencia residual decrece rápidamente. Sin embargo, los experimentos muestran gran dispersión. Si el concreto se calienta a más de 300°C, adquiere una tonalidad rosada, y es así que la diferencia entre concreto bueno y malo, puede establecerse visualmente.

La figura 1 muestra la reducción de una sección de concreto después de un incendio, como función de la temperatura a que ha estado sometida. Para la rehabilitación de construcciones en concreto armado afectadas por fuego, debe tomarse en cuenta el hecho de que su resistencia ha disminuido. El concreto color rosado debe eliminarse. Hacia dentro de la sección, el concreto comprendido entre las isothermas 100°C y 300°C tiene resistencia reducida. La resistencia original (a los 28 días, multiplicada por un factor de edad), se multiplica por un factor de resistencia residual que, según la figura 1, es de aproximadamente 0.8 para una temperatura de 200° C. Para concreto dentro de la isoterma 100°C, no se considera reducción de resistencia, es decir, el factor de resistencia residual es de 1.0. Es conveniente conocer la distribución de temperatura en una construcción de concreto durante el incendio, para evaluar la profundidad de afectación del mismo. La figura 1 muestra la distribución de temperatura en diversas secciones de vigas sometidas a una prueba normalizada de incendio. Para losas, el punto medio de la viga

más ancha, nos dará valores con la suficiente aproximación. Después de un incendio, el tiempo estandarizado de fuego se puede calcular con ayuda de la figura 1. Ejemplo; En una losa, la profundidad entre el concreto sano y el rosado es de 30 mm. De la figura 1 se obtiene que el tiempo de incendio equivalente fluctúa entre 30 y 60 minutos. Una relación agua/cemento baja resulta en una menor reducción de resistencia que en una alta. Sin embargo, la diferencia es tan pequeña, que a este factor no debe otorgarse mucha importancia. La capacidad de transmisión de calor en el concreto es una función del tipo de agregados, así, los agregados calcáreos son mejores aislantes que los silíceos y además tienen mayor resistencia contra los desprendimientos y agrietamientos.

El módulo de elasticidad sufre grandes reducciones y después del enfriamiento, puede llegar al 35 % para temperaturas cercanas a 300°C. Es poco probable, sin embargo, que una mayor deformación elástica sea de importancia comparada con otros efectos de un incendio. Existen experimentos que demuestran que un concreto que ha sufrido pérdida de resistencia y módulo de elasticidad, recuperará algo de las mismas después de un tiempo prolongado (años). Existe gran dispersión en los resultados y por eso es difícil proporcionar valores.

2.3.3 Ejemplo: Columna de Concreto Sometida a un Incendio

Una columna con una dimensión 450 mm x 300 mm = 135,000 mm²

2

, con un tiempo estándar (según la carga combustible) de combustión de T = 60 minutos, tendrá la siguiente situación, después de un fuego:

-

La isoterma 300°C se encuentra dentro de la sección (Ver Fig. 1) estos 40 mm deben demolerse.

-

La isoterma 100°C ha penetrado 90 mm.

-

El núcleo con temperatura menor a 100°C ha conservado su resistencia, esto es, el factor de resistencia residual es de 1.0

-

La zona entre 100°C y 300°C tiene resistencia reducida, el factor es de 0.8.

-

El factor de edad, en relación a la resistencia a los 28 días es de 1.25. Se deben reemplazar los 40 mm. del concreto eliminado con otros de la misma resistencia original. La sección efectiva, después de la reparación es: Núcleo: (450-2x90) x (300-2x90) x 1.25 x 1.0 = 40,500 mm²

2

Zona rosada: 2x50 (320+170) x 0.8 x 1.25 = 49,000 mm²

2

Concreto nuevo: 2 x 40 (260+410) = 53,600 mm²

2

TOTAL = 143,100 mm²

2

La nueva sección efectiva es mayor que la original y por eso tendrá, por lo menos, la misma capacidad.

2.3.4 Reducción del Límite de Fluencia del Acero de Refuerzo

La resistencia a la fluencia del refuerzo se reduce notablemente al calentarse. Al enfriarse, esta resistencia se recuperará en gran parte, dependiendo del tipo de acero. El acero liso y corrugado con un límite de fluencia entre 4,000 a 6,000 kg/cm²

2

es de acero fundido, es decir que no experimenta reducción hasta los 800°C. Las mallas de refuerzo y los cables de tendido son acero trabajados en frío y sus propiedades se describen en el punto 2.3.6 (concreto pre-esforzado).

2.3.5 Reducción en la Adherencia entre concreto y acero

Los resultados experimentales sugieren que la reducción en adherencia puede ser significativa, en especial para temperaturas mayores de 500°C. Comúnmente, la adherencia no se utiliza a su máximo en el diseño, pero para armadura gruesa y fuerzas cortantes altas, esta reducción debe tomarse en cuenta. La figura 2 muestra diversos resultados de pruebas de adherencia a distintas temperaturas, para concreto y acero liso/corrugado.

2.3.6 Construcciones de concreto Pre-Esforzado

En este caso, la resistencia residual es difícil de evaluar. La pérdida de la fuerza tensora se debe a los siguientes factores que pueden actuar aisladamente o en conjunto:

- Contracciones y deformaciones en el concreto durante el incendio y el enfriamiento.

- Reducción en el límite de fluencia, del acero de tensado (límite 0.2) y un alargamiento no recuperable del acero. La contracción por fatiga del concreto bajo calentamiento es alta y depende de los esfuerzos a que trabaja. En una contracción pre-esforzada, la expansión térmica del concreto puede ser equilibrada por la contracción y deformaciones del mismo. Por temperaturas sobre los 600°C, la expansión predominará; bajo enfriamiento, el concreto se contraerá térmicamente. Estas condiciones pueden resultar en que una viga pre tensada a menudo se acorta durante un incendio (y no se alarga), significando que la viga sufre una deflexión hacia arriba y no hacia abajo, como sería de esperar. Durante el fuego, el acortamiento no juega un papel importante, toda vez que el esfuerzo en el acero de tensado se reduce. Esto se debe a que el límite de fluencia (límite 0.2) también se reduce, dependiendo de la máxima temperatura a que el acero se somete y al alargamiento no recuperable (relajación) que sufre el acero al ser sometido a temperaturas altas durante cierto tiempo. Las fuerzas de tensión en los cables son difíciles de calcular después de un incendio, según los factores nombrados. Por eso que en la práctica, solamente una prueba de cargas dará una idea cabal sobre el estado de la construcción.

2.4 Daños en Construcciones de Acero

2.4.1 Reducción en la Resistencia a la Tensión, a la Fluencia y Capacidad de Deformación en el Acero

La figura 3 muestra el límite de fluencia después de enfriamiento, como una función de la máxima temperatura. El acero común de construcción calentado hasta unos 800°C, recuperará completamente su resistencia a la fluencia al enfriarse. Por eso, los daños más comunes son las deformaciones que pueden observarse visualmente. Es así que, las construcciones que no presenten deformaciones dañinas se consideran no afectadas con respecto a su resistencia. Lo mismo sucede con la resistencia a la tensión y a la deformación. Los productos de acero trabajado en frío, pueden sufrir reducciones importantes en su capacidad de soporte. Al mismo tiempo, a menudo estos productos sufren graves daños en cuanto a deformaciones y recubrimientos destruidos, de manera que su reparación es poco rentable.

2.4.2 Reducción en la capacidad de las Uniones y Conectores

a. Remaches: Los remaches se colocan al caliente y al enfriarse se contraen dando una unión fija. Durante un incendio, tanto el remache como el material base se calientan y el remache sufre una fluencia. Cuando el conjunto se enfría, ambos elementos se contraen con la misma proporción. La fuerza de tensión en el remache se reduce y la unión puede aflojarse, resultando en rotaciones que a su vez generan deflexiones, las cuales deben evaluarse en función del sistema estático.

b. Pernos: El material utilizado comúnmente es de 2,400 kg/cm

2

,

comparable al acero corrugado y por eso no se esperan mayores

pérdidas de resistencia después del enfriamiento.

c. Pernos de Fricción: Los pernos de fricción en general se hacen a base de acero corrugado y por eso no se esperan mayores pérdidas de resistencia después del enfriamiento.

d. Uniones Soldadas: Generalmente el material de soldadura se elige de igual o mejor calidad que las piezas a unir. Por esto, no es de esperarse mayores reducciones permanentes.

2.5 Daños en Coberturas de Acero para Paredes y Techos

Por coberturas entendemos elementos laminados y construcciones ensambladas para techos, paredes y entrepisos.

Los siguientes factores son de importancia:

2.5.1 Capacidad de Aislamiento Reducida o Destruída

El aislamiento térmico a base de Poliestireno extruido se derrite fácilmente al calentarse sobre los 100°C. Se ha demostrado que el aislamiento desaparece mucho antes que se deformen las planchas y antes que el lado superior de las mismas se deteriore. El daño se descubre inspeccionando el lado superior y eventual mente cortando el cartón protector del techo, que ha menudo se encuentra indemne, a pesar que el aislamiento ha desaparecido (Ver Fig.4). El algodón mineral mantiene su capacidad aislante por largo tiempo durante un incendio. Este material contiene un pegamento, generalmente un plástico fenólico, que se derrite a los 400°C. Cuando esto sucede, el algodón mineral perderá algo de su elasticidad y tendrá la tendencia a contraerse. En elementos verticales, esto significa que se produce un vacío y se pierde parte del aislamiento. La pérdida de aislamiento debido al agua utilizada para apagar el fuego, debe evaluarse en base a las posibilidades de ingreso del agua y su posterior secado. Es preferible abrir las

partes expuestas a daño. En caso de que las planchas de acero no hayan sufrido deformaciones permanentes, se puede suponer que el algodón mineral está intacto.

2.6 Daños en Construcciones de Mader2.6.1 Reducción de Sección Portante por Carbonización

La carbonización ocurre a una velocidad que depende, entre otras cosas, de la densidad y humedad de la madera y de las condiciones de ventilación en el ambiente afectado. La velocidad de carbonización puede estimarse en unos 0.6 mm/ minuto.