

Los incendios y el hormigón armado

Causa verdadero asombro el conocer las enormes pérdidas ocasionadas en las estructuras de hierro por la oxidación y los incendios.

En una comunicación dirigida a la Institution of Civil Engineers, en el año 1920, por Mr. Robert Hadfiel, se calcula el peso total de hierro y acero perdidos por oxidación en el mundo entero, en la increíble cifra de 29 millones de toneladas, que, aun contadas sólo a 500 pesetas, dan la respetable suma de 14.500 millones de pesetas; y si a ello agregamos los gastos efectuados para proteger inútilmente a las armaduras contra la oxidación, dicha cantidad se acrece notablemente.

Por otra parte, la National Fire Protection Association, de los Estados Unidos, evalúa para 1921 en 500 millones de dólares las pérdidas ocasionadas en las armaduras de hierro o acero por los incendios, a pesar de los medios puestos en práctica para conseguir una mayor resistencia al fuego.

Estas cifras, sentidas desde hace mucho tiempo, han dado lugar a experimentos para determinar la resistencia al fuego de los materiales de construcción, y en particular de los hormigones, que datan de casi veinte años, aunque los verdaderamente interesantes sólo tienen la mitad de ese tiempo y sean de los años de la pasada guerra europea. En todos los que vamos a resumir se eligió como material menos combustible el hormigón armado, sin perjuicio de que en algunos de ellos se hicieran comparaciones con elementos análogos de hierro, protegido de muy diversas maneras.

Desde luego, no hay ningún género de construcción que se pueda llamar incombustible, existiendo únicamente una mayor o menor resistencia al fuego, que es función principalmente de los materiales empleados, y que puede ser casi absoluta en el hormigón armado, si se toma como término de comparación la de la madera. Esto nos lleva también a la consideración de que sólo se puede asegurar la resistencia al fuego

en las condiciones ordinarias, pero que en circunstancias excepcionales de acumulación de materias inflamables, y alcanzándose, por tanto, elevadísimas temperaturas, ningún material resiste, necesitándose entonces contar con dispositivos especiales, además de con la propia resistencia del material a la combustión, para proteger debidamente la construcción.

Los ensayos efectuados se pueden dividir en tres grandes grupos: 1.^o, sobre columnas; 2.^o, sobre pisos; 3.^o, sobre construcciones completas; estando los primeros representados por los experimentos realizados en los Estados Unidos, y más particularmente en Pittsburgh por el United States Bureau of Standards; los segundos, por los del British Fire Prevention Comitee, de Londres, y los terceros, por los llevados a cabo por el Material Pruefungsamt, de Berlín, y otros por encargo del Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

Los estudios hechos en los Estados Unidos sobre columnas de hierro y de hormigón armado, suponen en los dos casos el material cargado a su carga de trabajo y una elevación de 1.100 a 1.200 grados centígrados, estableciendo para las diferentes clases el siguiente orden:

1.^o Pilares de perfiles no protegidos, de sección simple o compuesta, de alma llena o en celosía. Estas columnas tienen resistencias muy débiles, y quedan destruidas en intervalos de tiempo que varían entre once y veinte minutos.

2.^o Pilares de fundición sin enlucido protector. Son estos pilares poco resistentes, ya que no pasan de treinta y cinco minutos.

3.^o Pilares de tubos de acero, llenos o no de hormigón. Tienen una resistencia mucho mayor que los anteriores tipos, pues algunos llegan a duraciones de una hora y media.

4.^o Pilares de acero, parcialmente revestidos de hormigón. Estas columnas equivalen a las del tercer grupo cuando el revestimiento consiste en el simple relleno de las partes entrantes; pero si el espesor del revestimiento alcanza a 25 milímetros sobre las partes no principales, y es aún mayor en estas últimas, la duración de la columna a la acción del fuego aumenta considerablemente, pudiendo llegar hasta cinco horas.

5.^o Pilares de diversos tipos, revestidos de enlucido de mortero, puesto en una o dos capas sobre emparrillado metálico. Si se trata de una sola capa, la duración media es de una hora quince minutos, y llega a dos horas cuarenta minutos si hay dos enlucidos separados por un espacio de uno a dos centímetros de espesor.

6.^o Pilares protegidos por revestimientos de ladrillo hueco o macizo. Las resistencias son muy variables, según el tipo de columna, es decir, según se trate de perfiles, de tubos de fundición llenos o no de hormigón y que estén o no revestidos de hormigón. Su duración es de una a cinco horas.

7.^o Pilares protegidos por revestimientos de yeso. Estas columnas resisten más o

menos, según su constitución y el espesor del revestimiento; con cinco centímetros de espesor, la duración es de dos horas veintidós minutos a dos horas treinta y seis minutos, y para revestimientos de 10 centímetros dan resistencias de cuatro horas cuarenta minutos a seis horas veinticinco minutos.

8.^o Pilares protegidos con revestimientos de hormigón de 5 a 10 centímetros de espesor. Estas columnas dan buenos resultados, variables según el tipo empleado, siendo su duración de dos a ocho horas para revestimientos de cinco centímetros, y de tres horas cuarenta minutos a más de ocho horas para revestimientos de 10 centímetros.

9.^o Pilares de hormigón armado, con armadura a cinco centímetros de profundidad. Resisten como las mejores del grupo anterior, las cuales no son, en realidad, sino un caso particular del que tratamos.

Por lo que antecede vemos la alta resistencia de las columnas de hormigón armado, comparada con las otras clases de columnas, y también la gran influencia de ciertos revestimientos para mejorar la resistencia al fuego de estos elementos constructivos, faltando determinar el efecto del árido con que se hace el hormigón, el de la riqueza de la mezcla, el de la armadura y el de la forma de la columna como más principales influencias.

Todo esto ha quedado suficientemente aclarado por los ensayos llevados a cabo en Pittsburgh por el United States Bureau of Standards, en un horno de gas provisto de un dispositivo para cargar las columnas sometidas al fuego, hasta llegar a algo más de cuatro veces la de trabajo de 45 kilogramos por centímetro cuadrado, adoptada para el hormigón de 300 kilos de cemento, que fué el que se empleó. El horno se llevó de modo que a los veinte minutos se alcanzaba la temperatura de 800 grados, y al cabo de una hora la temperatura era de 1.100 grados, aproximadamente, que se conservaba durante tres horas más.

La primera serie de estudios se hizo sólo con columnas en que entraban como áridos la grava y la caliza, variando dentro de cada clase la armadura transversal, que fué en unos casos en forma de hélice, y en forma de estribos en otros, y la forma de la columna, redonda o cuadrada, pero conservando siempre el mismo recubrimiento de la armadura, igual a cuatro centímetros aproximadamente.

Desde luego se acusó una marcada superioridad de las columnas de caliza sobre las de grava, observación tanto más importante cuanto que la caliza se ha mirado, durante mucho tiempo, con prevención, y aun hoy día es opinión bastante extendida la de su inferioridad con relación a los áridos a base de cuarzo o sílice, demostrándose, por el contrario, que los hormigones de piedra caliza buena, sin tener nada que envidiar a los hechos con grava o piedras a base de cuarzo, en cuanto a su resistencia mecánica, tienen una mucho mayor resistencia a la acción del fuego.

En las columnas a base de grava, empezaban a marcarse fisuras a la media hora de empezar el experimento, en forma idéntica a las que se producen cuando se cargan hasta la rotura, fisuras que, una vez producidas, crecen rápidamente, y se multiplican y entrelazan hasta caer en pedazos el recubrimiento de las armaduras, dejando a éstas expuestas a la acción directa del horno, elevándose, como consecuencia, rapidísimamente la temperatura del hierro entre la primera y segunda horas, en que se alcanza el máximo. Al cabo de las cuatro horas, aproximadamente, que duraba el experimento, las temperaturas del hierro oscilaban entre 950 y 1.050 grados; las del hormigón comprendido entre las armaduras y el centro de la columna eran de 350 a 450, y las del hormigón, en el centro de la columna, variaban de 200 a 300, rompiéndose todas las columnas, o poco antes de terminar las cuatro horas bajo la carga de trabajo con que, como hemos dicho, estaban todas cargadas, o poco después, en cuanto se aumentaba la carga de la columna algo por encima de la de trabajo.

Este efecto de la grava y compuestos a base de cuarzo o sílice era de esperar, dadas las propiedades térmicas del cuarzo, que se dilata el 5 por 100 de su volumen cuando se calienta a 600 grados, aumentando lentamente ese coeficiente hasta temperaturas próximas a 1.200, en que el crecimiento es rapidísimo, debido a la transformación del cuarzo en otros compuestos silíceos.

En las columnas a base de árido calizo sólo se eleva la temperatura, al cabo de cuatro horas de fuego, a algo más de 550 grados en el hierro, a unos 220 de media en el hormigón situado entre la armadura y el centro de la columna, y a 100 en el centro mismo, no rompiéndose ninguna columna durante la prueba, ni aun con la carga de cuatro veces la de trabajo (1), y siendo necesario romperlas en frío con resistencias medias del 70 por 100 de las alcanzadas por elementos idénticos no sometidos al fuego.

En cuanto a la armadura, su efecto es nulo al llegar a estas altas temperaturas, puesto que la carga de rotura del hierro, que al principio aumenta al calentarse lentamente, decrece rápidamente cuando se llega a 300 grados, hasta el punto de que a unos 600 la carga de rotura del hierro es sólo de 1.000 a 1.200 kilos por centímetro cuadrado, carga que es con frecuencia la de trabajo en las obras de hormigón armado, y, al seguir creciendo la temperatura, la carga de trabajo queda por encima de la rotura del material, sobreviniendo ésta. Los peores resultados se obtuvieron en el caso de árido silíceo y armadura transversal en hélice, siendo preferible la sustitución por estribos. Con los calizos, la armadura transversal en hélice, no estando tan expuesta

(1) Siguiendo a la Comisión francesa, se suele tomar como carga de trabajo, a los veintiocho días, el 0,28 de la de rotura a los tres meses, adoptando para esta última valores de 160, 180 y 200 kilogramos por metro cuadrado para los hormigones de 300, 350 y 400 kilogramos por metro cúbico, que son mínimos muy prudentes, pues con las precauciones usuales en las obras, se logra casi doblar esos valores.

al fuego como en el caso anterior, dió buen resultado, aunque no muy distante del obtenido por la sustitución por estribos.

La forma redonda o cuadrada de la columna no afecta de una manera muy sensible a la resistencia al fuego, a pesar de que pudiera creerse que los ángulos son puntos débiles por donde se hiciera más intensa dicha acción.

En vista de los anteriores resultados, y en la necesidad de usar en muchos casos, por su abundancia y economía, materiales a base de cuarzo o sílice, se trató de investigar en una segunda serie de experimentos el efecto de algunos revestimientos sobre las columnas de grava o cuarzo y de compararlas con los resultados obtenidos en pilares a base de basalto y escorias de altos hornos. Estos ensayos, hechos sobre sólo dos tipos de columnas, primero redondas, con una armadura vertical y otra transversal en hélice, y segundo cuadradas, con armadura vertical y estribos, dieron por resultado el comprobar una vez más los desastrosos efectos del fuego sobre las columnas de hormigón silíceo, poniendo en evidencia la superioridad de los áridos a base de escoria y basalto.

El uso de revestimientos de yeso con espesores de cinco centímetros sobre las columnas a base de grava, dieron por resultado el igualarlas a las de escoria y basalto, sobre todo si ese revestimiento se anclaba a la columna. También se logra una importante mejora con enlucidos de mortero de cemento de espesores de cinco a seis centímetros, aumentada si en su composición entra el asbesto, gran aislante del calor.

Resumiendo los resultados obtenidos en todos estos estudios, se deduce:

1.^º Que en las columnas de hormigón armado, revestido o no, se conserva la temperatura alrededor de 100 grados durante un cierto período de tiempo, que corresponde al de deshidratación del revestimiento.

2.^º Que los hormigones de áridos a base de cuarzo en sus diferentes formas y proporciones, son mucho peores que los basaltos, escorias, calizas, etc.

3.^º Que los hormigones de áridos de granito, gneis, etc., son generalmente malos, dependiendo su mayor o menor resistencia al fuego de las dimensiones y disposición de los cristales de cuarzo que contienen.

4.^º Las calizas, basaltos, escorias y similares son buenos áridos para el hormigón, ya que todos han resistido las pruebas durante las cuatro horas, y después de ellas sólo se han roto bajo cargas, por lo menos, iguales a cuatro veces la de trabajo.

5.^º Dentro de los áridos calizos, los de grano fino presentan mayor resistencia que los de grano grueso.

6.^º La diferencia de temperatura entre el foco y el hierro es sólo de un 10 a un 20 por 100 para las columnas de hierro no protegidas, y llega a un 50 por 100 para las de hormigón armado. Siendo la carga de rotura del hierro igual a la del trabajo



que ha de desarrollar en el hormigón armado cuando su temperatura se eleva a 600 grados es indispensable lograr que esta temperatura no se alcance.

7.^o No hay diferencia notable entre las columnas redondas y las cuadradas, a pesar de lo que pudiera creerse que los ángulos de estas últimas constituyen otros tantos puntos débiles.

8.^o La relación del radio a la longitud de la columna parece tener poca influencia cuando varía dentro de los límites usuales.

9.^o Los revestimientos con yeso, mortero de cemento y asbesto dan buenos resultados, dependiendo el aumento de resistencia de los siguientes factores:

- a) Permanencia del revestimiento.
- b) De su acción aislante al calor.
- c) De su resistencia mecánica.

10. Es de observar que estos revestimientos existen siempre en todas las construcciones en mayor o menor escala, pero siempre en la suficiente para protegerlas dentro de ciertos límites, y que además, si bien en los incendios se alcanzan las temperaturas de 1.100 a 1.200 grados en algunos casos, éstas no obran nunca con la duración que en los anteriores experimentos, lo que hace que los pilares o columnas de hormigón armado hayan resistido grandes siniestros sin sufrir en su resistencia.

ALFONSO GARCÍA RIVES,
Ingeniero de Caminos.