

Los incendios y el hormigón armado

III

Los ensayos alemanes sobre casas, que comenzaron el año 1908, se limitaron al principio, durante cuatro series de estudios en los años 8, 9, 10 y 13, a comprobar la resistencia al fuego de las construcciones de hormigón, pero sin tratar de sacar ninguna consecuencia que pudiera servir de norma en lo sucesivo.

Alentada la Comisión por los resultados obtenidos, decidió construir dos casas iguales, que habían de servir para hacer estudios metódicos, y en las cuales se trató de evitar los errores que, en cuanto a proyecto y marcha a seguir, se habían observado en los anteriores ensayos. Los más importantes de éstos fueron las faltas en las uniones de la armadura, humedad del hormigón durante las pruebas e insuficiente aproximación a las condiciones prácticas.

Las dos casas, que tenían dos pisos de cuatro metros, unidos por una escalera, se ensayaron un año después de construídas, durante el cual estuvieron resguardadas en lo posible de la lluvia, con objeto de evitar la segunda de las causas de error anteriormente indicadas. Una de las casas se hizo empleando basalto como árido del hormigón, y teniendo 20 centímetros de espesor dos de los muros del piso inferior, sin armadura alguna. Otro de los muros de este piso era de hormigón armado de 10 centímetros, y el cuarto, de ladrillo, de 25 centímetros. El piso superior, cubierta, vigas de escalera y muros, estos últimos de ocho centímetros de grueso, eran de hormigón armado, y la escalera estaba compuesta de seis peldaños de piedra arenisca y el resto de piedra artificial.

En la otra casa se usó piedra a base de cuarzo para uno de los muros inferiores,

de 25 centímetros de espesor; granito para los restantes, uno de 20 y dos de ocho centímetros de espesor, estos dos últimos armados, y granito también para el hormigón del piso superior, con espesor en los muros de ocho centímetros. En una parte de la cubierta se empleó escoria como árido, y la escalera se hizo la mitad inferior de hormigón granítico armado y la superior de hierro.

Se llenó el piso superior de las dos casas con leña rociada de petróleo hasta una altura de tres metros; se colgaron del techo dos pesos de 200 kilos cada uno, que quedaban a una altura de 2,20 metros sobre el piso, mediante un alambre que podía ser cortado durante el fuego, con objeto de estudiar el efecto de su caída; se cerraron las cuatro ventanas con maderas hasta una cierta altura, y finalmente se adoptaron diversos dispositivos con objeto de conocer la temperatura en puntos determinados.

Iniciado el incendio, a los pocos minutos se dejaron caer los pesos, y antes de la media hora se alcanzó la temperatura máxima, que fué de 1.100 grados para la casa de hormigón de basalto y de 800 grados para la de granito, empezando a verse claramente las grietas que se habían señalado desde los veinte minutos, principalmente en la casa últimamente citada. Las fisuras que se acusan en los muros de la casa a base de basalto, no dan lugar a rotura ni desprendimiento de ningún elemento, y a pesar de haberse mantenido la alta temperatura mediante sucesivas adiciones de combustible, durante una hora y tres cuar-

tos que duró el experimento, casi todas las grietas se cerraron al cesar el fuego.

En la casa a base de granito las fisuras dieron lugar, a la media hora, a desprendimientos de grandes pedazos (60 por 60), sobre todo en el hormigón que rodeaba las ventanas, y produciéndose al mismo tiempo violentas explosiones, algunas de las cuales lanzó pequeños trozos a distancias de 40 metros.

Cuarenta y ocho horas después, y cuando aun estaba resentido el piso superior por la acción del primer incendio, se procedió a iniciarlo en la misma forma en el piso inferior de las dos casas, luego de colgar los mismos pesos que anteriormente, que se hicieron caer a los pocos minutos de empezar el experimento.

Al cuarto de hora de fuego apareció una grieta vertical en el muro de 10 centímetros de la casa de árido basáltico, y a los veinticinco empiezan a señalarse en gran número de ellas en el muro de ladrillo y otra de pequeña importancia en el muro de hormigón de 20 centímetros de espesor, acentuándose las del ladrillo rápidamente, sobre todo en las proximidades de los ángulos. A la media hora se logra la temperatura de 1.150 grados, y se produce cierta resudación en algunos puntos de los muros que luego se convierte en vapor, sin notarse por ello nuevas fisuras, y siendo el único hecho digno de mencionarse, en la hora y tres cuartos que duró el incendio, la caída de los escalones de piedra arenisca, que ocurrió a los treinta y dos minutos. Como en el caso anterior, ninguno de los elementos de hormigón

sufrió desperfecto alguno, cerrándose también casi por completo las grietas que habían aparecido en los muros, y acusándose, solo netamente, las del ladrillo.

En la casa de hormigón granítico, los muros de ocho centímetros empiezan a abrirse por numerosos sitios a los veinte minutos de iniciado el fuego, produciéndose también alguna grieta en el de 25 centímetros de espesor, y desplomándose el de 20 centímetros hacia fuera de un modo alarmante, pero sin producirse el fenómeno de las explosiones del piso superior, siendo de observar, acerca de esto, que, aunque algunos con el mismo espesor, los muros del piso inferior tenían doble armadura, y en cambio sólo sencilla los del superior. Durante el resto del experimento nada nuevo hubo que señalar, sino el mal estado en que quedó la escalera en su parte metálica, pues apenas pudo sostener el peso de un hombre.

En vista de la diferencia entre los efectos del fuego en las dos casas, se trató de investigar si aquella era debida a la humedad posible de los muros superiores de la casa de granito, que se había mojado por un aguacero que cayó antes de comenzar los experimentos, decidiéndose repetir éstos sobre la casa de basalto después de una lluvia de varios días. Los resultados fueron prácticamente idénticos a los anteriormente reseñados, demostrándose que la marcada diferencia entre los hormigones de los dos áridos, en cuanto a su resistencia al fuego, no era debida a la humedad del hormigón, aunque es de advertir la posibilidad, en esta segunda prueba, de

una ligera influencia favorable por la edad del hormigón y la sequedad interior del mismo a causa del primer fuego.

Los resultados obtenidos acerca de la conductibilidad y resistencia mecánica del hormigón después del fuego, nada nuevo añaden a lo dicho en artículos anteriores, y además, las diferencias exageradas a que se llegó en algunos casos, demuestran la poca confianza que pueden merecer; pero, sin embargo, diremos que, en cuanto a la resistencia mecánica, la pérdida fué de un 23 por 100 para los hormigones silíceos, del 17 por 100 para los graníticos, y que hubo un aumento de resistencia en el basalto.

El comportamiento de las escaleras es de las deducciones más importantes de este estudio, dado que en caso de siniestro es un elemento que con su destrucción añade un peligro más para la vida de los habitantes, y el resultado justifica un decreto en vigor en Prusia desde 1911, que prohíbe, para edificios que tengan más de treinta camas, la construcción de escaleras que no sean de hormigón armado o piedra artificial y rodeadas de fuertes muros.

Las dos casas fueron por último destruídas, cortándolas por la base, y demostró la gran resistencia que aun tenía el hormigón, por los enormes trozos que quedaron intactos sin sufrir deterioro, ni en los ángulos siquiera.

Posteriormente a estos ensayos se hicieron otros en un almacén de dos pisos en Wetzler, durante los cuales, la sobrecarga de los pisos fué de dos veces la de cálculo, permaneciendo el edificio intacto, a pesar

de la dura prueba a que se le sometió, pero no enseñando nada nuevo.

Aparte de los experimentos, algunos siniestros han proporcionado numerosas consecuencias, muy dignas de tenerse en cuenta, y que afectan a detalles constructivos. En el incendio ocurrido en junio de 1920 en la fábrica de productos químicos Barrett Manufacturing Co., en Frankford (Estados Unidos), en que la naftalina al arder produjo tan terribles temperaturas que la fábrica quedó destruida en menos de una hora, se evidenció que este edificio excelente en otros aspectos no lo era en cuanto a su resistencia al fuego. En primer término se usó como árido grava silíceo y no se protegió el hormigón en la forma debida, ni aun en los elementos esenciales, cosa que está siempre dentro de los límites económicos de una construcción de este género; pero, además, las columnas, demasiado esbeltas, y la excesiva multiplicación de las vigas, muy delgadas y que creaban en sus uniones con el forjado otros tantos puntos débiles, hacían que la construcción no fuese la indicada para soportar un incendio de la extraordinaria intensidad del que nos ocupa.

La mayor resistencia de las superficies planas de grandes dimensiones, sin entranques ni salientes, se comprobó en el incendio de un almacén de cuerdas y similares, en Galveston, en 2 de octubre de 1920, edificio de dos pisos, de 400 metros de largo por 30 a 90 de ancho y dividido en cuatro secciones por muros de hormigón armado de 30 centímetros de espesor.

Esta construcción, buena en el concepto que nos ocupa, puso de manifiesto en cambio la importancia de las uniones que resultan de la paralización de trabajo de un día para otro, pues en ellas se acusó marcadamente la influencia del fuego, aunque el hormigón contiguo no diese la menor señal de quebranto. También se dedujo de este incendio una consecuencia, que es común a toda clase de construcciones: la necesidad de una razonada subdivisión por muros aislantes en número proporcionado a la combustibilidad de los materiales almacenados.

Por último, y sin entrar a detallar, por su carácter general constructivo, la extraordinaria importancia que tiene la disposición de ventanas y toda clase de aberturas, sus elementos de cierre automáticos o no, la altura de los edificios y la instalación de dispositivos extintores, haremos resaltar la decisiva influencia de una buena dirección y vigilancia en la obra, ya que algunas destrucciones parciales han sido ocasionadas por esa falta de vigilancia, como se observó en el incendio de un almacén en Far Rockaway, en que la falta de superposición y buena unión de unas barras con otras, en el caso de un forjado de más longitud que la de las barras, y el no levantarlas en las uniones del piso con las vigas, fueron la causa de que el hormigón se quebrantase en estas partes no armadas, aunque permaneciese intacto en el resto de la construcción.

Las destrucciones parciales o totales de edificaciones de hormigón armado nada dicen en contra de la gran resistencia de

este material comparado con los demás usados actualmente en la construcción. Se podrían citar centenares de casos, como los depósitos de Hamburgo y Dresde, en que la temperatura alcanzada fundió el cristal de lámparas y vidrieras; las fábricas de juguetes de Villard, en Luneville, y de Albert Falva, en Budapest, en que a consecuencia del amontonamiento de telas embreadas, madera, celuloide y sus desperdicios, se elevó la temperatura a más de 1.300 grados durante tres horas, etcétera, y de los cuales salió el hormigón tan brillantemente, que con ligeras reparaciones en los desconchados y enlucidos volvieron las fábricas a su primer estado. Solamente en casos en que no se tuvo en cuenta la extraordinaria rapidez de propagación e intensidad del fuego, al proyectar y construir las estructuras de hormigón, como en la fábrica de productos químicos antes mencionada, o en los Docks de Marsella, ocurrieron destrucciones irreparables.

Antes de terminar estos artículos queremos dar algunos datos de los experimentos llevados a cabo en la Universidad de Birmingham por Mr. Robert C. Panton y publicados recientemente, en los cuales se ha tratado de hallar reglas acerca de la conductibilidad del hormigón.

Los ensayos se hicieron sobre forjados de 10, 15 y 20 centímetros de espesor, con hormigones de 300 kilogramos de cemento, usándose como único árido la grava silícea, siendo las consecuencias más importantes:

1.^a Para temperaturas de 400 a 1.400

grados, el descenso de temperatura por cada 2,5 centímetros, en los 7,5 primeros centímetros de un forjado, viene expresado por la fórmula

$$Y = \frac{1}{5} X - 43,$$

en la que X es la temperatura del foco de calor aplicado a una de las caras.

También puede expresarse por

$$Y = 0,013^8 X^{1,35},$$

y mejor aún si se añade 2,5 grados a Y para espesores de 10 centímetros, si se resta 2,25 grados para 15 centímetros y si se resta 4 grados para espesores de 20 centímetros.

2.^a En un forjado expuesto por una de sus caras a temperaturas de 1.300 grados a 1.400 grados, y la otra estando a la temperatura ambiente, se alcanzan los 625 grados, a una profundidad de 2,5 centímetros, a contar desde la cara caliente, en:

Una hora cuarenta minutos para forjados de 10 centímetros.

Una hora veintidós minutos para forjados de 15 centímetros.

Una hora para forjados de 20 centímetros.

Se llega a los mismos 625 grados a profundidades de 5 y 7,5 centímetros; en tres horas veinte minutos y seis horas, respectivamente, para forjados de 10 centímetros; en dos horas cincuenta minutos y cinco horas diez minutos para forjados de 15 centímetros de espesor, y en dos horas veinte minutos y cuatro horas diez minutos para forjados de 20 centímetros de espesor.

Estas cifras concuerdan bastante bien

con las dadas en nuestro artículo anterior, y deben ser modificadas ligeramente al cambiar el árido silíceo por otros más aptos para la resistencia al fuego como son los basaltos, calizas, escorias y desperdicios de ladrillo.

De lo expuesto en este y en los anteriores artículos, podemos deducir las siguientes consecuencias:

1.^a El hormigón armado es actualmente el mejor elemento de construcción conocido, en cuanto a la resistencia al fuego. Esto no quiere decir que lo consideremos incombustible en absoluto, sino en relación con el género de construcción a que se destina, teniendo cada edificio una cierta capacidad de resistencia al fuego, que depende de infinitos factores y que siempre puede ser superada variando el combustible.

2.^a Los áridos a base de cuarzo, los granitos, los gneiss, las areniscas, etc., son malos para este género de resistencia, dando peores resultados cuanto mayor es la proporción de sílice. En los granitos y similares, los de cristales más pequeños y uniformes y de mayor proporción de feldespato dan los mejores hormigones.

3.^a Siguen a estos áridos los basaltos, traquitas y calizas, y dentro de cada grupo, las rocas de grano más fino y más densas son las preferibles.

4.^a Los áridos artificiales, escorias, desechos de fabricación de ladrillos y similares, dan las mayores resistencias, y, en particular, los últimos demuestran en todas las pruebas su gran superioridad.

5.^a Dentro de estos hormigones tiene

más influencia un buen amasado y dosificación que dé mezclas muy densas, que un aumento en la riqueza de cemento, siempre que ésta oscile dentro de los límites corrientes en el hormigón armado.

6.^a Teniendo en cuenta que la carga de trabajo en el acero se convierte en la de rotura cuando su temperatura llega a 600-650 grados, es necesario evitar que ésta se alcance, disponiendo recubrimientos y enlucidos que no se agrieten y que sean aislantes del calor.

7.^a La influencia de estos revestimientos y enlucidos depende principalmente de su permanencia, de su acción aislante y de su resistencia mecánica.

8.^a No hay gran diferencia entre las conductibilidades de los distintos hormigones, a menos que los áridos usados en ellos cambien químicamente a las temperaturas a que se llega en los incendios.

9.^a Aproximadamente puede decirse que con forjados de 10 a 15 centímetros y duraciones del fuego de tres a cuatro horas con 1.100 grados de temperatura el descenso de temperatura es de 125-200 grados para centímetro y medio de profundidad, de 300-375 grados para 2,5 centímetros y de 600-675 para cinco centímetros, correspondiendo las diferencias menores a los áridos silíceos y las mayores a las escorias y desperdicios de la fabricación de ladrillos.

Expresado de otra manera, diremos que siempre que la temperatura del foco no pase de 1.300 a 1.400 grados, el tiempo que se tarda en alcanzar los 625 grados a una profundidad de 2,5 centímetros, es de una

hora cuarenta minutos para el forjado de 10 centímetros de espesor, de una hora veinte minutos para el forjado de 15 centímetros, y de una hora para el de 20 centímetros. Si la profundidad es de cinco centímetros, el tiempo invertido es de tres horas veinte minutos, dos horas cincuenta minutos y dos horas veinte minutos, respectivamente, para los tres tipos de forjado, y si la profundidad sube a 7,5 centímetros, los tiempos empleados en lograr los 625 grados son: seis horas, cinco horas diez minutos y cuatro horas diez minutos.

10.^a Aunque no se haya podido demostrar la superioridad de las columnas redondas sobre las cuadradas, es indudable que éstas sufren más y son de más costosa reparación por los desperfectos en los ángulos, por lo cual hay una marcada preferencia por las redondas o redondeadas en las construcciones de gran resistencia al fuego. Por la misma razón es conveniente matar los ángulos de las vigas y toda clase de salientes.

11.^a Debe procurarse tener en los forjados grandes superficies planas sin entrantes ni salientes.

12.^a Es necesario tomar precauciones en las diferentes juntas de trabajo, que pueden ser un elemento de debilidad en la construcción.

13.^a Conviene dotar a la construcción de muros aislantes que la dividan en partes cuyo tamaño depende de la naturaleza del edificio y de su contenido.

14.^a No hay que olvidar la gran influencia de la disposición y tamaño de todo género de aberturas, de su cierre, de la altura de los edificios en relación con los medios extintores, de la disposición de éstos y del número y situación de las escaleras y medios de escape.

15.^a Es importantísima una buena dirección y vigilancia, no debiendo escatimarse gasto alguno para tener la máxima seguridad en este punto.

ALFONSO GARCÍA RIVES.

Ingeniero de Caminos.