EL HORMIGON MATERIAL ESTRUCTURAL ARQUITECTONICO*

Miguel Adam

Director en la Union Technique Interprofessionnelle des Fédérations Nationales du Bâtiment et des Travaux Publics

600-2

1. El hormigón como modo de expresión

Hace más de un siglo, cuando se inventó el hormigón, sirvió para copiar los tipos de arquitectura existentes a base de piedra o ladrillo, hierro y madera, pero no tenía expresión propia.

Poco a poco buscó su propio modo de expresión, en el cual el factor economía era preponderante.

Sólo se pensó en la estructura, que era una necesidad absoluta para la seguridad, y se manifestó poco y sin ningún interés por la arquitectura, resultando así la idea de que el hormigón era una cosa fea, pero que, sin embargo, imponía una noción de fuerza.

Más tarde, con el desarrollo del hormigón pretensado, las estructuras se aligeraron y el diseño intervino de nuevo, influyendo el mismo en el hormigón armado.

Hoy empezamos a ver algunas obras en las cuales se nota la preocupación arquitectónica del autor hasta en las mismas viviendas corrientes, como en este "gran teatro" que está construyendo Ricardo Bofill en los suburbios de París, cuya fachada está constituida por elementos prefabricados (figs. 1 y 2).

Sin embargo, tenemos que contar con las dificultades y las ventajas del modo de fabricación:

- monolitismo;
- alturas de hormigonado;
- retracción;
- envejecimiento...

(*) Se recoge en este artículo el texto y parte de la información gráfica de la conferencia pronunciada por M. Adam, en el Instituto, con motivo del IX CEMCO (Curso de Estudios Mayores de la Construcción) el pasado 6 de mayo de 1982.

Figs. 1 y 2.—Viviendas de alquiler en los suburbios de París, proyecto de Ricardo Bofill (1982).

Quisiera aquí llamar la atención sobre dos puntos principales:

- la concepción general de la obra y su fabricación;
- el envejecimiento.

2. Concepción general

Deben retenerse dos características principales que separan el hormigón de los otros materiales:

- la densidad de 2,35 a 2,40, es mucho más baja que la densidad de las piedras de construir que se sitúa alrededor de 2,65 t/m³. De esta diferencia se deduce fácilmente que el hormigón presenta una cierta porosidad, que debemos tener en cuenta por la absorción de las aguas más o menos limpias que corren por las fachadas;
- el monolitismo que conduce con frecuencia a realizar elementos demasiado grandes que no son compatibles, ni con las estructuras (variaciones de espesor, alturas de hormigonado...) ni con el hecho

de que cuanto más grande es una zona uniforme, más se nota en ella el menor defecto.

Como saben todos ustedes, el hormigón fresco se echa en los encofrados y su comportamiento no es igual:

- cuando se vierte en un elemento horizontal el problema mayor es la progresión del hormigón, que rechaza los excesos de producto para desmoldear;
- o cuando se vierte verticalmente la manera de echar el hormigón y la influencia de las capas superiores sobre las anteriores tiene importancia.

Estos problemas son de mayor importancia para el contratista, pero es indispensable que el arquitecto que concibe una obra los tenga en cuenta.

Así vemos que si se desea una superficie uniforme de cierta importancia, es necesario o darle cierta variedad en el relieve, para conseguir juegos de sombra, o colar el hormigón sobre un molde horizontal.

En la práctica, la unidad de hormigonado es la menor de las tres cantidades siguientes:

- el amasado;
- el volumen echado de una vez en los encofrados (una cuba, el contenido de una mezcladora...);
- la unidad hormigonada (pilar, panel...).

Cuando la unidad de hormigonado es más pequeña que el elemento realizado, el arquitecto debe buscar un artificio para conciliar su creación con la técnica, lo mismo que en otros tiempos su antecesor tenía en cuenta las dimensiones de las piedras o de las piezas de madera.

Debemos notar también que, por otra parte, se puede adaptar a la creación y que alimentando los encofrados con hormigón mediante bomba se puedan conseguir volúmenes importantes de calidad homogénea, con tal que el hormigón suministrado por la bomba sea muy uniforme.

Por último, otros factores específicos de la ejecución tienen una importancia considerable sobre el aspecto y deben ser definidos con la aprobación del arquitecto.

Estos factores son:

- la composición del hormigón y, sobre todo, la relación agua/cemento;
- la materia de los encofrados;
- el estado de servicio de los encofrados (nuevos, usados...) y su estanquidad;
- los productos de desmoldeo que se deben escoger, según el encofrado, el hormigón y el curado;
- la edad del hormigón en el momento del desmoldeo (cuanto más se tarda, más oscuro sale el hormigón);
- y hasta la vibración.

Después de estos preliminares vamos a tratar problemas específicos del aspecto:

- problemas de color;
- problemas de suciedad y limpieza.

3. Problemas de color

3.1. El curado

El curado tiene una importancia capital sobre el aspecto final más o menos claro del hormigón, ya que viene influido por la formación de carbonato cálcico en la superficie.

Siempre se necesita para la puesta en obra ($a/c = 0,4$ a $0,7$) más agua de la estrictamente necesaria para la hidratación del cemento ($0,26$ a $0,3$) y el agua sobrante, cargada de cal, al evaporarse deja formarse carbonato de color muy claro. Según que la zona de evaporación se encuentre en el interior del hormigón o en la superficie, el aspecto resultante será oscuro o claro.

Por esta razón es muy necesario el tratar de que las condiciones de evaporación del agua sean las mismas en todas las partes vistas del hormigón.

3.2. La composición

En un hormigón, tal como sale de los encofrados, sólo los elementos finos tienen efecto, o sea:

- el cemento;
- los pigmentos;
- las partes más finas de la arena;
- y el agua.

Si, por el contrario, se quita el mortero superficial, los áridos tienen importancia.

3.3. Exposición a la luz

Lamaré la atención sobre un factor importante que nuestros constructores de hoy, tanto arquitectos como

Fig. 3.—Influencia de la luz: el puente, en primer plano, está hecho con un cemento de clínker ordinario; en el edificio al fondo se utilizó un cemento de clínker blanco, pero se trata de la fachada norte, mientras que el borde del puente está levemente orientado hacia arriba.

Fig. 4.—Estribo de puente sobre el río Sena, en París: la superficie en acordeón crea un juego de luz violento en buen tiempo que difumina no solamente los niveles de reanudación, sino incluso las trazas de amasadas sucesivas, a pesar de ser muy visibles.

ingenieros, olvidan a menudo, lo que en otros tiempos era preferente: el efecto de la luz.

Como ejemplo enseñaré sólo dos obras:

- la primera es una pasarela hecha con cemento gris ordinario, que se destaca en claro sobre un fondo hecho con cemento blanco; esto sólo porque el paramento de la pasarela está levemente orientado hacia el cielo (fig. 3);
- la segunda es el estribo de un puente: la superficie en acordeón crea un juego de luz violento en buen tiempo, que difumina, no solamente los niveles de reanudación, sino incluso las trazas de amasadas sucesivas, a pesar de ser muy visibles (fig. 4).

4. Medios para limitar las suciedades

Desde los tiempos más remotos, la exposición de las fachadas y las recogidas o conducciones de las aguas (aleros, goterones...) desarrollan un papel determinante.

Así el edificio de la figura 5, en la ciudad de Gand, subraya la diferencia entre la fachada expuesta a los vientos y lluvia; la fachada principal está protegida y ennegrecida por el polvo de la ciudad.

En las catedrales góticas los resaltes de piedra que alejan el agua de la obra están dispuestos cada vez más próximos, conforme nos acercamos al suelo donde hay más polvo (fig. 6).

Hoy estos principios no han cambiado:

- toda superficie orientada hacia el cielo y expuesta a la lluvia permanece limpia (¡cuidado con los vientos dominantes!);
- por el contrario, toda superficie dirigida hacia el suelo se pondrá cada día más oscura;

pero si el agua puede caminar libremente por esta superficie, por falta de goterón, seguirá los caminos

Fig. 5.—En este edificio (Ayuntamiento de Gand) se nota la importancia de la orientación de las fachadas: vientos y lluvia a izquierda, protegida a derecha.

Fig. 6.—Catedral de Beauvais: los resaltes de piedra más sobresalientes cuanto más altos, alejan las aguas de los pilares.

Figs. 7 y 8.—El mismo patio interior tomado durante su construcción y seis años más tarde: las partes inclinadas hacia abajo se han ensuciado muy mal, las partes inclinadas hacia arriba (parte baja) permanecen correctamente.

Fig. 9.—Ejemplo de estructura con estudio de escurrimiento de las aguas.

Fig. 10.—Ejemplo que envejecerá muy mal, por no haber pensado en apartar las aguas (no hay goterón al principio de la curva).

Figs. 11 y 12.—Escalera en la cual no se ha estudiado el problema de envejecimiento: el lado oeste está correcto, el lado este ha fallado.

más fáciles que se marcarán progresivamente y dará un aspecto desastroso.

Esto lo vemos perfectamente en el patio interior de un aeropuerto comparando la figura 7, tomada en 1973 al construirse, y la figura 8 tomada seis años más tarde.

Las figuras 9 y 10 muestran ejemplos de superficies redondas que se ensuciarán correctamente por tener ranuras conductoras del agua y otras que quedarán mal por falta de goterones.

Así, cada vez que tenemos paramentos con dominante

horizontal hay que guiar el agua, de aquí el desarrollo de los ranurados verticales.

La exposición tiene un papel importante; la misma escalera, según la vemos de un lado o del otro, presenta dos aspectos diferentes: aquí el arquitecto hubiera debido disponer los goterones citados anteriormente (figs. 11 y 12). Algo semejante puede decirse del edificio prefabricado que se muestra en las figuras 13 y 14.

La cota de la parte considerada de un edificio también tiene importancia como se ve en este inmueble de

Figs. 13 y 14.—Edificio de hormigón blanco, en París, con fachadas arquitectónicas: se nota la diferencia entre el oeste y el este.

cinco plantas, donde el ático es correcto y los otros no. Este comportamiento puede ser aprovechado para conseguir un efecto arquitectónico, como en la iglesia Saint-Sulpice, en París (figs. 15 y 16).

5. La estructura

Sólo daré unos ejemplos que me parecen característicos de nuestros modos corrientes de construcción.

La figura 17, además de las dificultades ya señaladas con las superficies orientadas hacia el suelo, subraya el no haber tomado en cuenta las juntas de retracción donde las fisuras han provocado carbonatación muy marcada.

La figura 18 muestra las dificultades debidas a la protección de las armaduras en los pilares muy finos.

6. El envejecimiento

Al concebir una obra se necesita pensar en los dos factores siguientes:

- la calidad del hormigón, que depende de su compacidad y homogeneidad por una parte y de la disposición de las armaduras, por otra, disposición que, además del cálculo, se debe hacer con algo de

Fig. 15.—En una misma fachada (cinco plantas en París), debido a que el polvo se deposita más en las partes bajas y que la lluvia tiene más capacidad para limpiar la parte alta, se nota muy bien la evolución de la suciedad.

Fig. 16.—En la iglesia San Sulpicio, en París, el arquitecto ha sabido sacar partido a las diferencias de tonalidades para que el aspecto sea correcto (blanco del todo arriba, negro del todo abajo).

Fig. 17.—Dificultades debidas en la parte de las juntas, donde se ha producido una fisura con disolución de cal y depósito blanco.

sentido común: una vez encofrado, la armadura debe encontrarse correctamente envuelta de hormigón; para esto, la distancia entre armaduras y encofrado debe mantenerse con una tolerancia que debe precisarse.

- la calidad atmosférica: no se puede tratar igual una fachada protegida, que una fachada expuesta a los vientos dominantes; el trayecto de las aguas debe estar previsto y hasta ser objeto de estudios específicos, que raramente se hacen hoy día (figs. 13 y 14).

7. Modo de apreciar

Para acabar, en calidad de animador de la comisión núm. 29 del Conseil International du Bâtiment, que trata de los paramentos de hormigón, diré que al cabo de nuestros trabajos, en el año 1973, hemos distinguido cuatro clases de paramentos:

- una clase especial;
- una clase cuidada;
- una clase corriente;
- una clase basta (para esta última no se exige nada).

Para definir estas clases hemos determinado tolerancias sobre:

Fig. 18.—Pilar hecho con retardador de superficie en una escuela, para demostrar que siempre, donde están las armaduras, el hormigón es más poroso: encima del acero los áridos más gruesos tapan el camino y por debajo del acero la composición es la de un mortero.

- la geometría (planeidades, desnivelaciones, juntas...);
- los defectos locales (huecos);
- las variaciones de tonos.

Estos dos últimos puntos pueden ser precisados, gracias a unas escalas de defectos y de grises que son fáciles de utilizar, mediante algunos acuerdos que hemos tomado.

Estas referencias se encuentran en el Rapport núm. 24 del C. I. B., que se está traduciendo al español.*

8. Conclusión

Tenemos en el hormigón un material de características propias, con muchas posibilidades.

Para aprovecharse de sus posibilidades, debemos tener en cuenta su relativa porosidad, que le predispone más que la piedra a ensuciarse y ser sensible a la corrosión; hemos de saber que las reanudaciones plantean problemas y que el curado tiene mucha importancia para conseguir un color uniforme.

Si tomamos las precauciones pertinentes, podemos usar del hormigón para realizar estructuras arquitectónicas.

(*) La traducción a la que se refiere M. Adam se incluyó en el número 337 como "Cuadernos de Informes".