

dosificación de hormigones

EDUARDO HERRERO NUÑEZ
Licenciado en Ciencias Físicas
INTERBETONG, S. A.

EVOLUCION DE LAS ESPECIFICACIONES PARA EL HORMIGON

Si consideramos que los áridos llenan entre el 66 y el 76 % del volumen del hormigón, el cemento del 16 al 7 % y el agua ocupa el resto, podemos pensar que las propiedades del hormigón fresco y del endurecido son completamente dependientes de las proporciones en que, dentro de los valores citados, mezclamos los ingredientes.

De aquí que una alta e importante fase de la tecnología del hormigón es la dosificación de sus componentes, lo que proporciona el medio de solucionar las necesidades fundamentales de calidad y economía.

Resulta, por tanto, imprescindible el obtener unas especificaciones idóneas que permitan el aprovechamiento más racional de las características de los materiales.

Pero, desgraciadamente, en la tecnología del hormigón no se ha llegado todavía a una ley matemática, válida para todos los casos, que dé las especificaciones para la composición y propiedades del hormigón, necesarias para cada obra en particular.

Todo lo más a que hemos llegado, es a un conjunto de leyes empíricas que sirven sólo dentro de intervalos de valores de los parámetros que entran en su formulación.

Es decir, estamos aún en un estado de conocimiento empírico del hormigón. Esto lo demuestran la cantidad de métodos de dosificaciones existentes y las numerosas publicaciones sobre la influencia de las características de sus componentes, a veces con teorías contradictorias, evidencia de enfoques parciales de los problemas.

Ahora bien, es innegable que los avances, que con más o menos lentitud se van haciendo, contribuyen a una sistematización de la tecnología del hormigón y a dar un mayor rigor científico a la misma.

DESARROLLO DE LOS METODOS DE DOSIFICACION

Los primeros sistemas de dosificar el hormigón, aún hoy en uso, consistían en expresar mediante partes o relaciones arbitrarias las cantidades de cemento, arena y grava.

Así, se indicaba con la nomenclatura 1:2:3 una mezcla que consiste en una parte de cemento, dos partes de arena y tres de grava, todas ellas en volumen aparente.

Esta práctica fue establecida antes de que se comprendiera la importancia de la influencia del agua sobre la calidad del hormigón, y éste era considerado como una mezcla de materiales granulares y cemento, con agua añadida para darle fluidez.

Era corriente decir con la frase “*agua la que pida*” la cantidad del líquido elemento a añadir, aunque después se echase no la que precisamente “*pidiese*” el hormigón, sino mucha más para hacerlo fácilmente trabajable.

Fuller fue el primero que introdujo series de curvas granulométricas que representaban composiciones de áridos con la mayor compacidad, y que podían servir de referencia para efectuar, en cada caso, la combinación de áridos más idónea.

El método de Fuller fue perfeccionado por Bolomey en el año 1925, al introducir en la expresión de las curvas de Fuller un nuevo parámetro que tenía en cuenta la naturaleza de los áridos y la consistencia del hormigón.

En 1926, Ferét demostró la importancia y necesidad de obtener una compacidad máxima en los morteros y hormigones gracias a una composición juiciosa de los elementos. Anteriormente, había dado su fórmula que ligaba *la resistencia del hormigón* con la relación *agua/cemento*. Otras fórmulas análogas fueron obtenidas por el americano Abrams en 1908 y por Bolomey en 1925.

En 1929, F. R. Millan llamó la atención sobre el hecho de que la consistencia del hormigón para un tipo y una granulometría de áridos es determinada por la cantidad de agua y permanece casi constante, independientemente de la riqueza en cemento de la mezcla.

Ahora bien, las fórmulas citadas sólo han demostrado su validez dentro de ciertos límites, confirmando su empirismo.

Como puede suponerse, la colocación en obra del hormigón era defectuosa y sin vibración. En Francia, la vibración externa del hormigón empezó a aplicarse en 1917 y la vibración interna en 1933.

En la misma época que Bolomey ponía a punto su método de dosificación en Europa, en América exponía Abrams el suyo basado en la definición del módulo de finura dada por él.

El ingeniero francés M. Caquot, en su teoría sobre la composición granulométrica publicada en 1936, muestra la necesidad de fabricar el hormigón en función de las características de volumen y superficie de los lugares donde haya de colocarse.

Otro francés, Faury, en su obra *Le Béton*, desarrolla un método de dosificación en el cual tiene en cuenta, por primera vez, el llamado *efecto pared*, es decir, la resistencia que a la colocación del hormigón oponen el conjunto de armaduras y paredes de encofrados.

Este método fue considerado como un gran adelanto por los técnicos franceses, sobre todo para su aplicación al hormigón armado.

El francés M. Vallete expone en 1940 su método basado en realizar experimentalmente la dosificación de un hormigón que, una vez colocado en obra, tenga a todos sus huecos llenos de mortero con un mínimo contenido de arena. Otro principio de este método consiste en el empleo de granulometrías netamente discontinuas.

En 1952, el ingeniero francés A. Joisel, basándose en la teoría de Caquot, desarrolla un método, todavía poco aplicado; pero, según especialistas franceses, de gran eficacia.

Simultáneamente a los métodos indicados, se pueden citar otros que o bien se apoyan en ensayos experimentales o en la superficie específica de los áridos o son modificaciones del de Fuller y que, hasta ahora, no han aportado ninguna solución definitiva.

DESARROLLO DE LAS ESPECIFICACIONES SOBRE EL HORMIGÓN

Los métodos de dosificación han evolucionado y se han multiplicado.

La necesidad de aumentar la calidad del hormigón, juntamente con buscar su economía, hace investigar para la consecución del método perfecto válido para cualquier clase de materiales.

¿Es esto posible? Hoy no podemos decirlo; pero, sí tienen los ingenieros y arquitectos una poderosa arma en sus manos para apurar hasta el máximo todas las posibilidades de los métodos en uso: “*las especificaciones para el hormigón de sus obras*”.

Sabemos que lo que *se debe pedir* a un hormigón es *resistencia mecánica, estabilidad de volumen y durabilidad*, que son las características que después van a influir o a hacer posible la realización y buena conservación de la obra.

El técnico que proyecta una obra, necesita considerar una resistencia del hormigón para sus cálculos y que el material no se deteriore en las circunstancias que van a rodear a la obra, una vez terminada; pero, ¿cuál es la manera lógica de especificar el hormigón que necesita a la luz del estado actual de la tecnología del hormigón?

Al principio, el método empleado era el de expresar las proporciones en volumen aparente y la resistencia se determinaba variando la cantidad de cemento; por ejemplo, una mezcla rica era la 1:1:2 y una mezcla pobre la 1:3:6.

Este método, aún hoy en uso, con resultado variable, es en general poco satisfactorio, porque no tiene en cuenta la necesidad del agua, las diferencias de forma granulométrica, el tamaño máximo del árido o la densidad de los áridos.

Incluso la proporción de grava: arena, que siempre era de 2:1 respectivamente, conducía normalmente a mezclas de poca trabajabilidad, lo que se subsanaba con la adición de agua, a la que seguía la correspondiente bajada de resistencia, so pena de aumentar la cantidad de cemento en perjuicio de la economía.

Un *ejemplo de la influencia que en la resistencia del hormigón, dosificado por el método de proporciones en volumen, tienen las variaciones en la cantidad de agua añadida para hacer más o menos trabajable la mezcla es el indicado a continuación:*

Se trata de una dosificación 1:2:4 con cantidades de agua distintas.

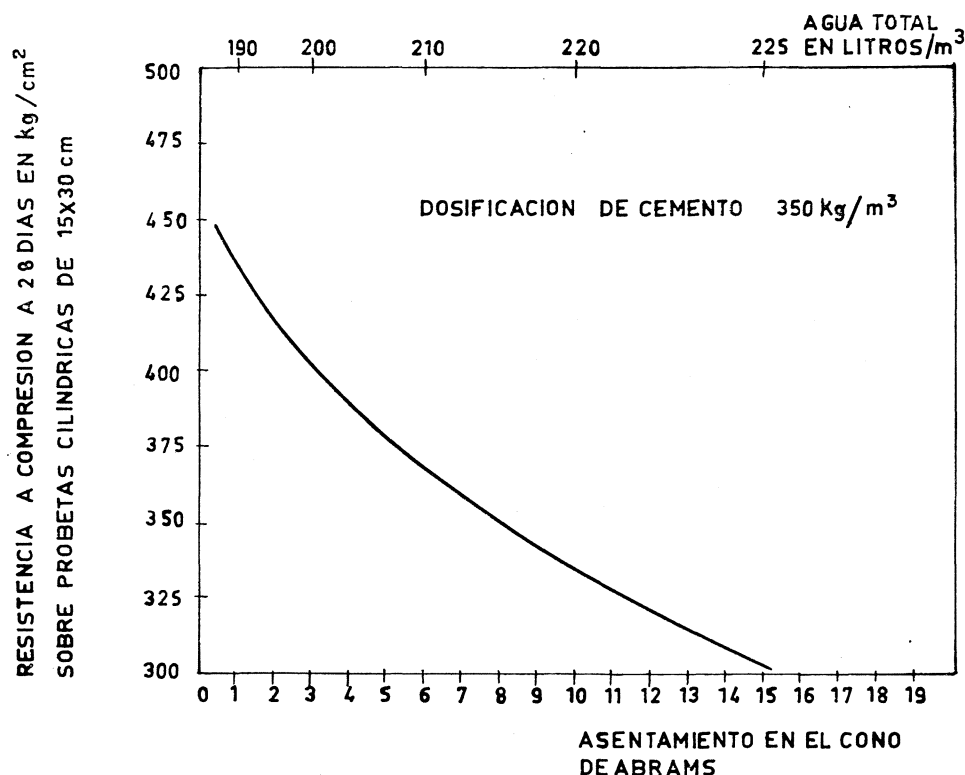
Agua l/m ³	125	137	149	158	170
Contenido de cemento kg/m ³	280	280	280	280	280
Asentamiento cm.	1/2	6	17	18	22
Resistencia en probetas cilíndricas kg/cm ²	350	340	285	235	180

Vemos que la dosificación en cemento es la misma para todos los casos, como asimismo las proporciones cemento/arena/grava; pero la resistencia puede sufrir un descenso del 50 % según la cantidad de agua añadida.

La gráfica de la página siguiente nos da otra idea de las variaciones que puede sufrir un hormigón en su resistencia al cambiar de una amasada a otra la cantidad de agua de amasado.

O sea, la *riqueza en cemento* de una mezcla *no es por sí sola* indicativa de la calidad del hormigón que se pueda obtener.

Como, por otra parte, las relaciones resistencia/contenido de cemento están basadas únicamente en la experiencia y sufren modificaciones en función de las calidades del cemento y de los áridos; de la maquinaria para amasar el hormigón; de los medios de puesta en obra y del curado, resulta evidente la necesidad de ir a exigir al hormigón sus características de trabajo y que sean éstas, y solamente éstas, las que se especifiquen y sean cumplidas, en cada caso, por los hormigones.



Los métodos de dosificación han evolucionado; pero se ha seguido considerando la riqueza en cemento como determinante principal de la resistencia del hormigón, sin pensar que esto es un residuo de la aplicación de los métodos volumétricos y que, como hemos visto, puede conducir a resultados muy variados.

Así, sigue habiendo especificaciones en las que únicamente se señala la cantidad de cemento por m³ y el tipo de dicho cemento.

Se podrá argumentar que para fijar el costo de un hormigón en un presupuesto es más fácil hacerlo como suma del de sus componentes, y como el cemento es el más caro conviene precisarlo. Pero la industrialización también ha alcanzado al hormigón, y ahora existen centrales de hormigón preparado que pueden suministrar todo tipo de hormigones y presentan tarifas de precios según las características que deba tener el hormigón, como resistencia, impermeabilidad, etc., al igual que las demás fábricas de materiales empleados en la construcción ofertan sus productos. Es decir, permiten fijar los costos del hormigón según las características necesarias para la obra con una garantía de uniformidad en la calidad.

Un ejemplo de ello lo tenemos en Estados Unidos, donde la industria del hormigón preparado consume más del 60 % de cemento producido en dicho país y en el que, actualmente, todo el hormigón se especifica por resistencia y no por dosificación.

Esto está de acuerdo con las etapas consideradas como básicas para la elaboración de un hormigón por los especialistas modernos y que son las siguientes:

- 1.^a Seleccionar la relación agua/cemento por durabilidad y resistencia.
- 2.^a Seleccionar la consistencia.
- 3.^a Tamaño máximo del árido que se puede emplear.
- 4.^a Mínima proporción de arena/grava.
- 5.^a Cantidad de agua necesaria.

Como se ve, la cantidad de cemento no viene fijada de antemano, sino que resulta de las diferentes características exigidas al hormigón.

El fijar especificaciones en las que se dan el contenido en cemento de la mezcla y la resistencia que se debe alcanzar tiene el peligro, como ya hemos citado, de que aquéllas se queden atrasadas técnicamente, salvo que sean revisadas periódicamente, y, en caso de ser oficiales, no permitan un aprovechamiento más racional y económico de los materiales, posible merced a los medios más poderosos de fabricación y manipulación del hormigón.

Así, por ejemplo, en Suiza se prescribía en las Normas de la S.I.A. anteriores al año 1968, que la resistencia mínima que se debía alcanzar con 300 kg/m³ debía ser de 220 kg/cm², mientras que en 1968 se han modificado y, para la misma cantidad de cemento, los hormigones cumplirán lo siguiente:

Calidad del hormigón	Cantidad de cemento por m ³ (kg)	Resistencia mínima a 28 días (kg/cm ²)
1. ^a	300	375
2. ^a	300	350
3. ^a	300	300

Ello ha sido debido a la utilización de hormigones de consistencia seca e incluso de consistencia de tierra húmeda en los que, al necesitarse menos agua, se requieren menores cantidades de cemento con una mayor economía en la relación precio/resistencia, y una mayor seguridad para la durabilidad de las obras al ser más débiles las retracciones hidráulicas y térmicas, y la cal liberada en la hidratación del cemento.

Por tanto, vemos que *las especificaciones sobre hormigón van tendiendo a fijar las características de trabajo de este material más bien que su composición*, o sea, fijar resistencias mecánicas, puesto que las otras condiciones van variando con los adelantos de la tecnología del hormigón.

Corroborando lo anterior, transcribimos el editorial del prestigioso *Journal Indian Concrete*, de enero de 1966, ante la revisión de las normas de la India sobre hormigón y en las que se pasaba de prescribir por volumen a especificar por resistencia.

“Sobre el punto de la calidad del hormigón me gustaría referirme a la revisión del *India Standard Code of Practice for Plain and Reinforced Concrete*, I. S. 406. El avance más significativo es la designación del hormigón por resistencia tal como M-100, M-150, M-200 hasta M-400, en vez de la vieja práctica de designarlo por proporciones volumétricas tales como 1:4:8. 1:3:6. 1:2:4 ó 6.”

“Especificando el hormigón por resistencia, se pueden hacer considerables economías en la cantidad de cemento que vaya a utilizarse si la dosificación de la mezcla y control de la calidad están hechos apropiadamente. Esto capacita la calidad superior de algunos de nuestros cementos para ser utilizados. La introducción de la industria del hormigón preparado junto con la especificación del hormigón por resistencia, es un gran paso en asegurar la buena calidad del hormigón en nuestras estructuras con los resultados que cabe esperar en la durabilidad y economía” (*Journal Indian Concrete*. Enero 1966. Editorial).

RESUMEN

Se describe la evolución histórica de los métodos de dosificación del hormigón, indicando las principales desventajas de ellos, el estado actual de la situación y los métodos modernos de especificar el hormigón para obtener el mayor aprovechamiento de los materiales que lo componen.