

Los aglomerantes en las obras marítimas

VII

Condiciones e inspección técnicas de la ejecución

Debe ser reputado como uno de los medios más eficaces a que puede recurrirse para que las obras marítimas resulten duraderas, que el pliego de condiciones facultativas del proyecto correspondiente incorpore las prescripciones necesarias en lo relativo a morteros y hormigones mediante fórmulas claras, precisas y concisas que, siendo resultado de un estudio basado en el conocimiento de las mejores prácticas constructivas y en ensayos previos, determinen y concreten los materiales, proporciones, preparación, fabricación, transporte, colocación y cura de las mezclas; y es también de la mayor importancia que en aquel documento sean eludidas las prescripciones ociosas o ambiguas, las exigencias que traspasen el límite de la necesidad o posibilidad práctica y los preceptos que confíen a las facultades discrecionales del personal técnico encargado de la obra el modo y forma de cumplir condiciones determinadas, cuando ello no sea indispensable, por existir medios suficientemente eficaces de precisarlas.

La labor considerable realizada en los últimos tiempos por ingenieros e investigadores en Universidades, Asociaciones y Congresos, relativa a la determinación de las cualidades y características que deben reunir los materiales y el modo más conveniente de emplearlos, tiene en buena parte por finalidad poder formular prescripciones precisas y concretas en los pliegos de condiciones facultativas, acabando así con prácticas viciosas e imponiendo y vulgarizando las que se reputan mejores.

Además, a juicio de muchos, constituye un error manifiesto y aun grave el supuesto frecuentemente admitido de que la ejecución de las fábricas de hormigón no requiere cuidados especiales y puede ser entregada, como de hecho lo es con harta frecuencia, a jornaleros y capataces sin práctica adecuada, tal como suele hacerse con las obras de tierra; por el contrario, importa mucho que los hormigones sean ejecutados por personal en buena parte suficientemente experto y especializado en esta clase de trabajo.

No bastará, seguramente, establecer las condiciones y reglas a que materiales y ejecución han de someterse; es indispensable, además, asegurar su observancia razonable, rigurosa e ininterrumpida mediante una vigilancia e inspección ejercidas sistemáticamente por agentes competentes, severos y dignos de confianza, comprendiendo el examen y pruebas de los materiales, especialmente de los hidráulicos y puzzle; la construcción y preparación de moldes; la formación, proporciones y consistencia de las mezclas, su transporte, colocación en obra y cura; la protección de las estructuras y la comprobación de que, una vez terminadas, tienen la forma y disposiciones prevenidas en los planos y demás documentos del proyecto. En una palabra, los pliegos de condiciones facultativas, en estos casos, no deben ser letra

muerta, o a lo sumo arma destinada a utilizarse ocasionalmente, sino norma constante del trabajo y garantía insustituible del éxito.

Frente al sistema que se acaba de indicar de estudio y determinación previos de lo que en concreto debe hacerse durante la construcción y cumplimiento riguroso de lo aceptado, colocan algunos como preferible el de dejar casi enteramente al arbitrio del personal facultativo encargado, con la mayor libertad posible, el estudio y resolución de gran parte de los problemas y cuestiones que plantea una obra al tiempo mismo de su ejecución, fijando entonces las condiciones y reglas que vayan requiriendo los trabajos. Inútil parece, por ser patentes, hacer resaltar los inconvenientes y desventajas del sistema último, que se reduce a trasladar a momentos, generalmente de apremio, la realización de un trabajo de todos modos indispensable y, sin necesidad, llenar de indeterminaciones y dificultades los contratos de ejecución de las obras a los cuales se recurre, en general, casi universalmente, como sistema más ventajoso, en fin de cuentas, que la ejecución directa por la Administración pública, las Empresas o los particulares.

DOSIFICACIÓN DE MORTEROS Y HORMIGONES

Elementos de que depende la dosificación

La determinación de las relaciones numéricas que han de ligar las cantidades de los distintos componentes integrantes de una mezcla es cuestión de capital importancia, tanto desde el punto de vista económico, como de los que se refieren a su duración y estabilidad química. Aquella determinación depende, de un lado, de las cualidades o características que en cada caso hayan de reunir morteros y hormigones y, de otro, de las que tengan los materiales disponibles.

Definen las mezclas y constituyen sus principales características el grado de plasticidad al tiempo del transporte y empleo, la duración del fraguado, la resistencia a la rotura por compresión, la compacidad y la permeabilidad.

Las condiciones de los áridos podrán estudiarse y conocerse casi siempre al tiempo de preparar el proyecto de la obra a construir; y aunque no ocurrirá lo mismo con las de los aglomerantes que en definitiva puedan emplearse en la ejecución, bastará para los primeros ensayos conocer las características que se crea necesario imponer y que han de figurar en el pliego de condiciones facultativas.

La fijación de las cantidades relativas de los diversos componentes de las mezclas, por poco importante que sea la obra, ha de basarse necesariamente en la práctica de ensayos: unos, al tiempo de la redacción del proyecto, para las proporciones que en él hayan de prescribirse y servir de base al presupuesto; otros, antes de comenzar la ejecución para las que en definitiva deban adoptarse dadas las características de los aglomerantes y áridos definitivamente aceptados; y los últimos, en el curso de la ejecución, para comprobar que los morteros y hormigones efectivamente empleados llenan las condiciones impuestas. Aunque laborioso, es procedimiento de

todo punto inexcusable y el único que puede inspirar confianza para conseguir los resultados perseguidos y evitar las dificultades y aun fracasos que en cuanto a mezclas suele ofrecer, de otro modo, la ejecución de las obras.

Ensayos previos semejantes a los que aquí se aconsejan se hallan prescritos, con todo acierto, en el pliego de condiciones facultativas de 1.º de diciembre de 1924 para el hormigón armado que en las obras públicas haya de emplearse.

Método de dosificación y principios en que descansa

Para formar las mezclas que han de ser sometidas a ensayos y realizar los tanteos y correcciones que conduzcan a determinar las proporciones definitivas de la que mejor cumpla las condiciones que se hubiesen fijado, podrán servir de guías muy competentes los estudios hechos en los últimos años, a base de extensa experimentación, por Talbot¹, Fuller², Edwards³, Abrams⁴, Núñez Casquete⁵, Féret⁶, Bolomey⁷, Leclerc du Sablon⁸ y otros investigadores, cuya exposición, no obstante su utilidad, no es posible presentar aquí, porque alargaría demasiado las dimensiones de este trabajo, harto excesivas ya.

Debe llamarse la atención, a este propósito, sobre los inconvenientes que ha de ofrecer basar la composición de morteros y hormigones en curvas que representen términos medios de numerosos experimentos hechos con materiales variados, pues si las características de los elementos que intervienen en el caso que se estudie difieren sustancialmente de las correspondientes a los términos medios citados, los resultados que se obtengan podrán hallarse incursos en errores de consideración.

A falta de los autorizados guías a que se ha aludido, podrán, quizá, los ingenieros, al hacer los ensayos, orientarse por las indicaciones que a continuación se harán, basadas, en parte, en las conclusiones experimentales y sugerencias de varios autores, y especialmente en las de Féret, complementadas por Leclerc du Sablon.

Arena y piedra

Para la mejor inteligencia de lo que ha de decirse se advertirá que se consideran con separación las

¹ Véanse: *Engineering News-Record*, 1.º mayo 1919; «The Strength of Concrete: its Relations to the Cement Aggregates and Water», by A. N. Talbot and F. E. Richart.
² Véase: «Laws of proportioning Concrete», by W. B. Fuller and S. E. Thomson, *Proceedings of the Society of Am. Civ. Engineers*, 1907.

³ Véase: «Proportioning the Materials of Mortars and Concrete by Surface Areas of Aggregates», by L. N. Edwards; *Engineering News-Record*, 15 agosto 1918.

⁴ Véanse: «Design of Concrete Mixtures», *Bulletin I*, Structural Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago; «How to design Concrete Mixtures», *Engineering News-Record*, 17 abril 1919; «Dosificación racional de los hormigones para la obtención de un producto de resistencia uniforme», por A. E. Wynn, *Ingeniería y Construcción*, enero 1927.

⁵ Véase: «Dosificación de hormigones en las obras de riego del Alto Aragón», por D. José Núñez Casquete, *Revista de Obras públicas*, 15 agosto y 1.º septiembre 1924.

⁶ Véanse: *Chimie appliquée à l'Art de l'Ingénieur*, par R. Féret, y las numerosas publicaciones de este autor que contienen los resultados de su extensa, perseverante y admirable labor experimental de cerca de medio siglo.

⁷ Véanse: *Bulletin technique de la Suisse romande*, 1925 y 1927; *Annales des Ponts et Chaussées*, II, 1926.

⁸ Véase: *Annales des Ponts et Chaussées*, II, 1927.

composiciones granulométricas de la piedra y de la arena, y que entre los granos finos se comprenden generalmente los de ésta y las adiciones de polvos inertes y también, a veces, los del cemento o producto hidráulico que se emplee y los de la puzolana.

Conviene clasificar los granos de la arena, según su tamaño, en tres categorías, pudiendo adoptarse para las necesidades de la práctica tres tipos, en la forma siguiente:

Tamaño de los granos	Tipo de arena A Dimensiones en milímetros	Tipo de arena B Dimensiones en milímetros	Tipo de arena C Dimensiones en milímetros
Grueso...	De 8 a 3	De 5 a 2	De 3 a 1,5
Mediano...	De 3 a 0,5	De 2 a 0,5	De 1,5 a 0,5
Fino...	De menos de 0,5	De menos de 0,5	De menos de 0,5

En las aplicaciones deberá elegirse el tipo de arena según las condiciones de las fábricas de que haya de formar parte. Los A y B son propios para el hormigón ordinario; el C, y algunas veces el B, para el armado.

La composición granulométrica de la piedra ejerce poca influencia en las condiciones técnicas del hormigón, salvo en la plasticidad; pero puede tener alguna en lo que atañe al coste.

Con excepción, si acaso, de los grandes macizos, no conviene que el tamaño efectivo de las piedras más grandes exceda de 100 milímetros, y aun los de 75 y 50 son los más frecuentemente adoptados; pues piedras de dimensiones mayores que las primeras, sin reportar, en general, ventajas positivas, suelen ser de difícil o imposible empleo fuera de los casos aludidos, perjudican la plasticidad y causan deterioros en las hormigoneras. En el hormigón armado, las dimensiones máximas no exceden, de ordinario, de 30 milímetros.

Consistencia y fraguado de las mezclas

Expongamos ahora cuanto en la actualidad es conocido y más generalmente aceptado respecto a las leyes que afectan a las características de morteros y hormigones.

La consistencia de las mezclas, llamada también plasticidad, depende principalmente de la proporción de agua, aglomerante y áridos y de la composición granulométrica de éstos, y, algo también, de la forma de los granos, temperatura, etc., siendo prácticamente la cantidad relativa de agua y de materiales finos, incluido el aglomerante, lo que ejerce mayor influencia.

Féret supone que un hormigón no llega a ser completamente plástico sino a condición de que la cantidad de polvo impalpable constituido por el cemento y la parte de arena de menos de una décima de milímetro, que corresponde próximamente al tamaño que pasa al través del cedazo de 4 900 mallas por centímetro cuadrado, forme la mitad, por lo menos, del conjunto de los elementos finos inferiores a medio milímetro.

Abrams ha propuesto que el grado de finura de un árido sea medido por lo que llama *módulo de finura*, es decir, la suma de los residuos que una cantidad determinada del mismo deja al ser cribada sobre cada uno de los nueve tamices de una serie cuyas mallas, cuadradas, tienen en el primero 0,147 milímetros de

lado y en que éstos van duplicándose en longitud al pasar de un tamiz al inmediato. Los residuos se expresan en centésimas del peso de la cantidad de árido ensayada.

Según Abrams, a igualdad de agua y aglomerante, y cualquiera que sea la composición granulométrica, la consistencia y resistencia permanecen constantes mientras no varíe el módulo de finura. Esta propiedad de las mezclas permite variar la composición granulométrica de los áridos sin alterar la plasticidad ni la resistencia.

Los plazos en que empieza el fraguado de las mezclas y su duración dependen de los análogos de las pastas formadas con los aglomerantes empleados. La aireación de los cementos, el uso del agua del mar y la adición de yeso o de puzolana, suelen retrasarlo. El calor, la adición de polvos de gran finura, sobre todo si son de cemento de fraguado rápido, éstos aun en pequeñas cantidades, producen generalmente el efecto contrario. En particular, ligeras cantidades de cemento o cal hidráulica añadidas a los morteros de cemento aluminoso suelen provocar su fraguado instantáneo.

Resistencias de morteros y hormigones

La resistencia a la compresión que alcanzan las mezclas plásticas es función creciente de la relación del aglomerante empleado a la suma de agua y vacíos y, por tanto, función creciente también de la compacidad; y tratándose de morteros y hormigones plásticos, en que los vacíos son casi siempre muy pequeños, cabe aceptar en la práctica, con Abrams y otros, que aquella resistencia crece también con la relación de cemento a agua. Con aglomerantes distintos, y a igualdad de las demás condiciones, la misma resistencia varía proporcionalmente a la de la pasta pura de cada uno.

En muchas partes de las construcciones marítimas las cargas a la compresión son muy moderadas, según ya se recordó, y fácilmente soportables por los morteros y hormigones pobres a base de cemento Portland, por lo cual la proporción de éste dependerá, en tales casos, más bien que de la resistencia, del grado de compacidad e impermeabilidad que hayan de reunir las mezclas; pero en partes determinadas de las obras, y siempre en las de hormigón armado, las cargas previstas habrán de ser altas y servirán para fijar

las mínimas de rotura por compresión que deban resistir morteros y hormigones.

Las Instrucciones francesas para el hormigón armado admiten, en general, cargas iguales a $\frac{1}{3,57}$ de las de rotura por compresión a los noventa días, mientras que las alemanas, aplicables a toda clase de hormigones, establecen para las fatigas permanentes cargas máximas equivalentes, en general, a $\frac{1}{5}$ de las de rotura a los veintiocho días (que, además, no han de bajar, para el hormigón armado, de 150 kilogramos por centímetro cuadrado), con límite superior de 50 kilogramos en los casos ordinarios. Las nuevas normas alemanas para el hormigón armado reducen mucho el coeficiente de seguridad cuando se trata de los cementos de alta resistencia, elevando en este caso la carga límite permanente a 60 kilogramos por centímetro cuadrado, lo que parece más bien moderado.

El coeficiente de $\frac{1}{5}$, aplicable en general, mas no a piezas especiales, es mucho más reducido que el aceptado en los Estados Unidos. Tratándose del Portland corriente, parece admisible, sin embargo, pero acaso podría aumentarse algo para otros productos hidráulicos y reducirse cuando se empleen cementos aluminosos, supercementos y aun las clases más selectas de los Portland ordinarios.

Cuando los aglomerantes estén constituidos por mezclas de Portland y puzolana en las proporciones corrientes, ese mismo coeficiente resultaría algo bajo si se refiriese a las cargas de rotura a los veintiocho días, porque es sabido que en ese plazo las resistencias de aquellas mezclas suelen ser algo más pequeñas que las formadas con el mismo peso de Portland solo de iguales condiciones, especialmente si los cubos de prueba no se conservan en el agua del mar en uno y otro caso, mientras que, al cabo de cierto tiempo, las resistencias se igualan si la proporción de puzolana está bien fijada. Atendiendo a esta consideración, sería lo más conveniente hacer los ensayos de rotura de los hormigones con mezclas de Portland y puzolana a los noventa días, en vez de veintiocho, o bien, conservando este último plazo, elevar algo el coeficiente de seguridad, por ejemplo, a $\frac{2}{9}$.

José NICOLÁU
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Estado actual de algunas cuestiones de Geofísica geológica¹

II

Formación y permanencia de los continentes y de los mares

Varios geólogos han creído que los primitivos mares recubrían toda la Tierra, aunque con escasas

profundidades. Pero si se considera que aun cuando desapareciesen los actuales continentes e islas, por la destrucción de sus rocas y consiguiente sedimentación en los fondos marinos, quedarían éstos con una profundidad media de 2 640 m y que no ha aumentado la cantidad de agua en la hidrosfera, habrá que admitir que siempre hubo profundos océanos.

La cantidad de agua habrá tal vez disminuido

¹ Véase el número anterior, página 75.