

# Los aglomerantes en las obras marítimas<sup>(\*)</sup>

## IV

### MORTEROS Y HORMIGONES PARA OBRAS MARÍTIMAS

#### Prescripciones y reglas generales

Expuestas en lo que antecede las causas a que debe atribuirse la descomposición de los aglomerantes y la disgregación de los morteros y hormigones cuando se hallan sometidos a la acción de las aguas marinas y señalados también los medios directos de orden físico y químico que se consideran más eficaces y adecuados para contrarrestarlas, procede ahora dar a conocer las reglas que para la formación y empleo de las mezclas cabe recomendar al proyectista y al constructor. Ellas se refieren, en primer término, al hormigón en general y, más especialmente, al hormigón en masa, siendo en buena parte aplicables, como caso particular, al mortero que entra en las mamposterías, sillerías, etc. En segundo término, comprenden las reglas cuanto atañe particularmente a las estructuras marítimas de hormigón armado.

En el supuesto de que sean más ventajosas las fábricas que los otros materiales a que se ha hecho alusión anteriormente, habrá que decidir, ante todo, si han de estar constituidas por hormigón o por mampostería y aun, en casos excepcionales, por fábricas mixtas. Atendido a la rapidez de su fraguado, podrá convenir en ocasiones, para mejor utilizar los cementos de Zumaya, adoptar las mamposterías, no sólo en los macizos construidos *in situ*, sino también en los bloques artificiales. Además, las mamposterías, desdeñadas con exceso en los últimos tiempos, no dejan de ofrecer la posibilidad de reducir grandemente la superficie vulnerable si, como es necesario, puede elegirse piedra no sujeta a descomposición y poco expuesta al ataque peligroso de folas y litófagos. En estos casos el empleo de la mampostería constituirá una solución con ventajas positivas que la justificarán y la harán recomendable sobre la del hormigón, cuyo empleo en el mar requiere siempre cuidados y precauciones múltiples que no dejan de encarecerla muy sensiblemente.

A ser posible, deben evitarse particularmente los hormigones a base de productos hidráulicos expuestos a descomposición en los parajes de la costa azotados por el oleaje y, más que nada, donde las heladas suelen ser intensas, a menos de adicionar puzolana. Aun en lugares más o menos tranquilos en que el hormigón se halle sujeto a choques y desgastes, el empleo de revestimientos y defensas y la supresión de ángulos y aristas vivas debe estimarse útil y a veces imprescindible. En especial son recomendables estas precauciones en la zona recorrida por la marea.

El arte de formar buenos hormigones, aunque otra cosa pudiera creerse, no es todo lo fácil y generalmente conocido que se necesita, máxime cuando se trata de obras marítimas. Enfrente de prácticas inadmisibles, pero bastante extendidas, en que colabo-

ran frecuentemente el descuido y la ignorancia de lo que debe hacerse, podrán parecer excesivas las precauciones y reglas que se recuerdan a continuación; mas ha de tenerse en cuenta que son el resultado de la experiencia y práctica de los que en estas materias gozan de justificada autoridad y que de su observancia dependerá en buena parte muchas veces la duración larga, si no indefinida, de las estructuras de hormigón, especialmente las construídas en el mar.

Es esencial que, al quedar la masa del hormigón definitivamente en el sitio que ha de ocupar, tenga el mayor grado posible de homogeneidad, no sólo por lo que la falta de ella pueda afectar a su resistencia, sino para evitar defectos locales de compacidad que se traducen en la existencia de puntos vulnerables donde el ataque químico puede producirse fácilmente.

La elección de áridos suele ser, ante todo, un problema principalmente económico que ha de resolverse teniendo en cuenta los materiales próximos de que se pueda disponer, las características que el hormigón ha de reunir, y que han de ser previamente conocidas y medibles, los aglomerantes que se presume hayan de emplearse y el resultado de los ensayos, que al formular el proyecto de una obra algo importante nunca deben omitirse, pues sin ellos el acierto es, casi siempre, imposible.

La arena, como es sabido, puede ser natural, artificial o mixta. Lo fundamental es que sus elementos sean suficientemente resistentes, la composición granulométrica adecuada y que no contenga materias que, como el yeso y las orgánicas, por ejemplo, puedan ejercer sobre los cementos una acción química perjudicial. Es de orden secundario lo relativo a su naturaleza mineralógica y a la forma de sus elementos, si bien las arenas silíceas suelen resultar las mejores, y las de río o mar, de granos redondeados, a pesar de que adolecen frecuentemente de los defectos de exceso de uniformidad y falta o insuficiencia de elementos finos, contienen menos huecos y contribuyen mucho a la plasticidad de las mezclas que, en cambio, perjudican las formas angulosas. Las arenas de mina también suelen ser buenas, y aun excelentes a veces.

La importancia que para la resistencia y compacidad de morteros y hormigones representa una adecuada proporción de elementos finos en las arenas, a igualdad de cemento, no había sido reconocida hasta los últimos tiempos; pero debe recordarse, como ya se indicó, que, pasado un cierto límite, la compacidad y resistencia disminuyen con el aumento de dichos elementos y que el predominio de ellos ofrece el gravísimo inconveniente de facilitar el ataque de las mezclas sometidas al agua del mar. En Francia suele prescribirse, muy generalmente, que la proporción de granos de menos de 0,5 mm, polvo inclusive, esté comprendido entre 15 y 30 por 100, en peso, del total de la arena, y el último pliego de condiciones elaborado en los Estados Unidos para obras de hormigón prescribe que los granos inferiores a 0,3 mm han de variar entre 10 y 30 por 100 del total de la arena.

(\*) Véase el número anterior, pág. 17.

En general, las naturales, sobre todo las de río o mar y, a veces, aunque muy raramente, las artificiales para dosis no muy altas de aglomerante, contienen proporción insuficiente de elementos finos, y aun algunas carecen de ellos. Por eso resultan inaceptables, de ordinario al menos, las prescripciones que imponen la separación sistemática del polvo o elementos más finos que en las arenas pueda haber, cualquiera que sea la proporción de aglomerante que se emplee.

Por el contrario, si se trata de arenas naturales, será a veces ventajoso no someterlas a lavados, aunque contengan materias terrosas con alguna cantidad de arcilla, que a veces puede llegar hasta el 10 por 100, pero que ordinariamente se exige no pase del 7, y aun convendría limitar al 5 en las fábricas marítimas. Es, sin embargo, indispensable en tales casos que las materias terrosas sean de naturaleza tal que, con el batido del mortero o con la formación del hormigón, puedan quedar distribuidas uniformemente en la masa, y en modo alguno continuar en grumos o adheridas a los otros granos de la arena o a la piedra.

El ácido húmico y otras materias orgánicas son generalmente perjudiciales, salvo cuando la proporción es muy reducida.

Tratándose de arenas artificiales podrá resultar excesiva la proporción de polvo fino, que suele ser mucho mayor que en las naturales; lo más seguro en tales casos, aunque también lo más costoso, es separar completamente el polvo y añadir después la cantidad justa que reclame la composición granulométrica, teniendo en cuenta, si ha lugar, el que se produce al machacar la piedra y se emplea con ésta.

En suma, la proporción de granos finos, incluido el polvo que pueda contener la arena, depende, ante todo, de la de aglomerante que se emplee y, en segundo lugar, de la composición granulométrica del conjunto del árido; por eso podrá suceder, como ha sido probado repetidamente, que adiciones de arcilla u otro material muy fino, en proporciones que han llegado hasta el 20 por 100, aumenten la compacidad y, consiguientemente, la resistencia, sin variar los restantes elementos, mientras que en otras ocasiones una reducción de la excesiva cantidad de polvo que las arenas contenían ha conducido también a resultados favorables.

Son, pues, los ensayos de las mezclas los que habrán de marcar en cada caso la mejor composición de las arenas y, en especial, la cantidad de polvo fino que deban contener.

La piedra para hormigones en el mar, como la que constituye la arena, conviene no sea porosa, y habrá de tener, por lo menos, una resistencia igual a la que se pretenda alcance el hormigón de que forma parte. Donde sean muy de temer los ataques de moluscos, podrá revestir importancia elegir la que sea capaz de resistirlos, y a este fin será preferible la no caliza, máxime si ésta no es muy dura.

La piedra, como se sabe, puede ser machacada o estar constituida por elementos naturales redondeados (guijo, grava, cantos rodados), o por mezclas de unos y otros. Aunque no faltan partidarios de la primera cuando no resulta demasiado laminar, lo general es que sean preferidas las gravas y gravillas porque, a igualdad de proporciones de elementos finos, aglomerante y agua, las mezclas resultan más

plásticas. En cambio puede suceder que la piedra partida proporcione compacidad mayor que las gravas. La elección, sin embargo, habrá de obedecer casi siempre a motivos económicos, entre los cuales no ha de olvidarse la cantidad de mortero requerido en cada caso, dependiente de la proporción de huecos, que en la piedra partida suele exceder en un 10 por 100, y más, a la de las gravas.

El grado de consistencia o plasticidad que deben alcanzar los morteros y hormigones es siempre importante; pero tratándose de obras marítimas, sobre todo cuando se emplean puzolanas, fijarlo con precisión resulta de la mayor conveniencia.

Las mezclas algo secas, a menos de un apisonado cuidadosísimo, difícil de lograr en la práctica corriente, y que por eso mismo no conviene prescribir, son peligrosas desde el punto de vista de la permeabilidad, aparte de que dificultan las reacciones químicas.

El grado de plasticidad más conveniente de la masa será, en general, el que estrictamente permita llenar con ella los moldes en todas sus partes mediante un apisonado muy ligero y que permita también con muy poco esfuerzo hacer aparecer en la superficie una resudación o excedente de agua muy pequeño. Con esto la homogeneidad, siempre esencial, no padecerá.

En paredes verticales delgadas y postes y, sobre todo, en placas delgadas horizontales de hormigón armado, la plasticidad ha de ser mayor que en las grandes piezas y en el hormigón macizo.

Si se emplean cementos aluminosos, la consistencia ha de ser más blanda aún que con los demás.

Debe tenderse a producir el hormigón con la mayor uniformidad. Fijadas las dosis de los componentes correspondientes a las características que ha de reunir, mientras las condiciones de aquéllos no varían, las proporciones de los elementos han de ser constantes. Tratándose de obras marítimas, conviene mucho queden invariables, mientras sea posible, la compacidad y el grado de plasticidad de la mezcla en el punto de empleo. La práctica de limitarse a variar la cantidad de agua para lograr la plasticidad conveniente no está justificada; no lo está mucho más, de ordinario, en las construcciones marítimas, la de dejar invariable la relación de cemento a agua, de la que depende la resistencia mecánica, salvo, si acaso, en el hormigón armado.

Ligeras variaciones en la proporción de los componentes, incluida el agua, bastarán generalmente para contrarrestar las pequeñas e inevitables alteraciones que pueda experimentar la composición de los áridos empleados y el grado de humedad de los mismos y de la atmósfera, conservándose constante la compacidad y la consistencia.

Para medir ésta, o sea la plasticidad que el hormigón debe tener al ser fabricado, empléase mucho en los Estados Unidos de América la *slump-test*. Se reduce a formar con aquél un tronco de cono recto mediante un molde de palastro galvanizado, de 30 cm de altura y 10 y 20 cm de diámetro, respectivamente, en sus bases superior e inferior. Vertida la mezcla en cuatro veces y distribuida y apisonada con una varilla puntiaguda de 13 mm de grueso, se levanta el molde después de transcurrir tres minutos. El aplastamiento o pérdida de altura del tronco representa el grado de plasticidad de la mezcla.

Otra prueba más sensible se hace con el mismo

tronco de hormigón puesto sobre una mesa, a la cual se comunican, con un mecanismo adecuado, un número determinado de sacudidas, midiendo luego el aumento de diámetro que experimente la base inferior y relacionándolo con el primitivo. Esta prueba es mucho menos usada que la anterior.

La *slump-test* ordinaria, y mejor la obtenida con la mesa de sacudidas, es medio práctico y suficientemente sensible para poder conservar constante el grado de plasticidad al fabricar un mismo hormigón mientras sus componentes varíen poco; pero no lo es tanto para proporcionar medidas que sean comparables si se trata de áridos de condiciones muy diferentes. Tampoco se presta bien para medir la consistencia de los que contienen elementos de gran tamaño o constituidos por piedra partida, ni de las mezclas pobres. En estos últimos casos será probablemente lo mejor atenerse al resultado de pruebas prácticas hechas por personal experimentado.

Para evitar pérdidas de agua precisa que las juntas de los moldes sean prácticamente impermeables. Es conveniente también que las superficies interiores estén bien lisas, y aun se recomienda engrasarlas para facilitar el deslizamiento y buena colocación del hormigón sin perjudicar su homogeneidad. En todo caso, ha de exigirse que los moldes no estén secos y que sean suficientemente rígidos para que no puedan operarse movimientos durante el fraguado y los macizos resulten con las formas proyectadas.

Las mejores aguas para el amasado serán las que más se aproximen a las potables. El principal inconveniente de la del mar en el hormigón ordinario es requerir un pequeño exceso de cemento para neutralizar sus sales; por ello es lo mejor desecharla siempre que haya facilidad para hacerlo, pero su uso, fuera del hormigón armado y cuando se emplea cemento aluminoso, no supone grave inconveniente.

La medición de los áridos del hormigón se hace casi siempre por volumen; pero con este procedimiento se cometen necesariamente errores que en la arena pueden llegar al 50 por 100 y que en la práctica fluctúan entre 10 y 20 por 100; pues aparte el que nace de la medida misma, que no suele ser pequeño, son de mucha importancia en la arena los procedentes de su mayor o menor grado de humedad y compresión. Por eso es preferible recurrir al peso para todo, teniendo en cuenta en cada momento, mediante pruebas sencillas y sistemáticamente realizadas, el grado de humedad de la arena, no sólo para que resulte cada amasijo con las proporciones realmente fijadas, sino también para poder hacer la deducción que proceda en la cantidad de agua que deba añadirse a la mezcla.

Otro medio para medir la arena, que se está propagando en Norteamérica, es el llamado de inundación, cuyos resultados son muy exactos, pues elimina los dos principales factores de error, o sean los que proceden de la humedad y de la compresión. Se funda el procedimiento en la propiedad que la arena tiene de presentar casi el mismo volumen aparente, seca y con el máximo de compresión (estado a que deben referirse siempre las proporciones en volumen) que cuando se halla anegada en el agua. En la práctica se utiliza para la medición el agua misma que ha de entrar en la mezcla.

En los Estados Unidos, sobre todo cuando se trata de cantidades importantes, se recurre cada vez más a las mediciones automáticas de los componentes del

hormigón, empleando al efecto máquinas conjugadas con las hormigoneras, obteniéndose por tal medio una mayor exactitud en las proporciones y economía.

Se prescribe de ordinario que, a partir del momento en que empieza la mezcla, no dure el batido menos de un minuto en hormigoneras que giren a la velocidad aproximada de un metro por segundo en la periferia; pero la notoria influencia que la duración de la operación ejerce en la plasticidad, cohesión y homogeneidad y, por tanto, en la resistencia, permeabilidad y duración del hormigón, ha inducido a no pocos ingenieros a prescribir que el batido se prolongue minuto y medio, por lo menos, y aun algunos aconsejan un mínimo de dos minutos.

Los medios de transporte del hormigón son todos aceptables con tal de que no resulte perjudicada su homogeneidad y llegue al punto de empleo con la plasticidad que ha de tener. En este concepto es de aconsejar sea proscrito el uso de canales cuando no pueda dárseles inclinación adecuada para formar un chorro continuo de hormigón sin separación de sus elementos.

Se ha de procurar que el hormigón quede de primera intención colocado tan cerca como sea posible de su posición definitiva mediante un mínimo de manipulación, sin que en caso alguno caiga de demasiada altura. Hay que evitar a toda costa las bolsas de áridos en el interior y en las superficies; éstas han de resultar como si estuviesen enlucidas sin necesidad de alisarlas o retocarlas. La masa ha de adaptarse perfectamente a moldes y fondos, evitándose también que en los ángulos se acumule demasiado mortero.

La producción de lechadas es particularmente temible en el hormigón de las obras marítimas, pues forman verdaderas superficies abiertas a la fácil penetración y ataque de las aguas. Si a pesar de los cuidados aportados y, sobre todo, del empleo de la puzolana, que las reduce mucho, no es posible prevenirlas, deben ser levantadas a toda costa hasta donde se pueda. Y como son tan perjudiciales como difíciles de evitar en el hormigón sumergido, éste sólo deberá considerarse admisible cuando sea imposible o excesivamente difícil colocarlo en seco. Para la inmersión de las mezclas es de aconsejar en estos casos, en términos generales, el procedimiento del tubo y, en su defecto, el de la tolva que se abra precisamente por el fondo con la menor perturbación posible de las aguas.

Apenas si hará falta recomendar un aumento en la proporción de aglomerante en la composición del hormigón sumergido para compensar las pérdidas a que da lugar la agitación del agua, que casi nunca puede evitarse por completo. Igualmente conviene recordar que algún retraso en el vertido desde el momento de la mezcla, sobre todo empleando puzolana, para permitir la iniciación del fraguado al tiempo de la inmersión, puede, sin inconvenientes, reducir mucho el peligro de deslavazamiento, que también tiende a evitar la misma puzolana.

Es sabido que, en general, debe suspenderse el hormigonado cuando sean de temer heladas, máxime si se emplean cementos naturales, y que no son admisibles, de ordinario, los morteros con un principio de fraguado, no existiendo tampoco ventaja, y sí probablemente inconvenientes, en aceptar los rebatidos.