

Los aglomerantes en las obras marítimas¹

XI Y ULTIMO

Detalles de construcción

Las armaduras deben limpiarse, muy cuidadosamente, de toda traza de óxido, aceite y grasas que puedan contener. Lo mejor es evitar que se oxiden o manchen.

Algunos ingenieros aconsejan embadurnarlas con lechada de cemento Portland puro, que puede darse con una brocha antes del hormigonado.

En varios casos se ha recurrido en Norteamérica al galvanizado ordinario para prevenir los efectos de la oxidación, y aun lo recomienda actualmente, lo mismo que el recubrimiento de cobre, ingeniero tan experimentado en estas materias como Nicholson, director de las obras del puerto de Los Angeles. Se ha hecho al galvanizado la objeción de que, para que resulte eficaz, se requiere una capa protectora de bastante espesor, lo que se supone entraña el peligro de disminuir la adherencia del mortero; hay que hacer notar, sin embargo, que no se aducen, en apoyo de esa opinión, pruebas experimentales que demuestren que la reducción en la adherencia, si es que existe, ha de resultar peligrosa en los casos de aplicación más corrientes, como son, por ejemplo, los pies derechos y pilotes.

Es siempre muy importante que, al tiempo del hormigonado, se hallen las armaduras fuertemente sujetas, para evitar se separen de la posición prevista en el proyecto y, como consecuencia, el peligro de que se acerquen al paramento.

Se recomienda sean proscritos los estribos planos y los anclajes de pasadores y hierros en la masa del hormigón, al menos en la forma ordinaria.

La plasticidad o fluidez del hormigón debe ser aun mayor en el armado que en el ordinario. Anteriormente se han consignado cifras expresivas de lo que en los Estados Unidos se exige normalmente cuando se emplea Portland sin adición de puzolana.

Algunos ingenieros recomiendan se reduzca el tamaño máximo de la piedra a 25 mm, y aun exigen otros no exceda de 16. Ello podrá estar justificado en casos en que lo requiera la estrechez de los espacios a llenar, pero no en general.

Luiggi y algún otro autor consideran preferible a la gravilla la piedra machacada, porque suponen da mejor resultado; pero esta opinión, que se halla contradicha por la de otros ingenieros, no convendrá sea aceptada mientras no vengan a confirmarla los resultados de una experimentación adecuada.

Es ocioso quizá encarecer la importancia que para la duración del hormigón armado expuesto a la acción del mar tiene una ejecución tan perfecta como sea prácticamente posible en todos los detalles, y especialmente cuanto conduzca a obtener una alta compacidad e impermeabilidad en la masa. Obsérvese que en este caso, aunque pudiese formarse el hormigón permeable a que el Sr. Castro alude en sus estudios, no cabría aceptarlo por el mayor riesgo

de oxidación a que se hallarían sujetas las armaduras.

En los cuidados de fabricación se ha llegado a extremos, en algún caso, como el de emplear martillos neumáticos que, golpeando los moldes, producen una acción vibratoria que se supone aumenta la compacidad.

El uso del agua salada en el amasado debe ser proscrito terminantemente para no provocar la oxidación o, por lo menos, para no contribuir a que se presente prematuramente.

A ser posible, deben evitarse las uniones del hormigón más o menos fraguado con otro fresco, pues cualesquiera que sean las precauciones que se tomen será punto menos que imposible conseguir que la junta correspondiente sea bastante perfecta para que no constituya una superficie, a más de débil, propicia al acceso del agua. Así, pues, el hormigonado de las distintas piezas conviene se haga con sólo las interrupciones que permita el fraguado.

A la cura deben concederse plazos muy amplios, no menores de un mes generalmente, y aun a veces de dos en climas y estaciones secos, ventosos o con mucho sol. Han de mediar dos meses, y más si se puede, entre la terminación del hormigonado y el levantamiento, transporte y colocación en obra de las piezas, con lo cual se dará tiempo a una carbonatación intensa y podrá en cierta medida, por la mayor resistencia del hormigón, prevenirse la formación de grietas.

La hincas de los pilotes debe hacerse con gran cuidado para evitar flexiones laterales, desperfectos en las partes que definitivamente hayan de quedar en la obra y, sobre todo y en lo posible, grietas. El peso de la maza y la altura de caída deben guardar relación adecuada con la resistencia a vencer, conviniendo muchas veces sea el primero próximamente igual al del pilote.

Aun cuando es de temer que los enlucidos puedan caerse, los puzolánicos, de Zumaya o de cemento aluminoso, no dejarán de producir buenos efectos si se aplican lo antes posible y con las precauciones adecuadas, máxime cuando el mortero pueda proyectarse a presión con aparatos neumáticos. A falta de enlucidos, el asfaltado o, más sencillamente muchas veces, el alquitranado de las superficies es siempre muy recomendable, y acaso lo más práctico. Debe preferirse el alquitrán mineral (*coal tar*) deshidratado, aplicando dos capas, en caliente, estando las superficies bien secas. En las partes no cubiertas constantemente por el agua, las aplicaciones han de repetirse cuando lo haga necesario la desaparición del alquitrán.

Materiales y proporciones en el hormigón armado

Cuanto se ha dicho sobre materiales y proporciones en el hormigón ordinario es aplicable, como es lógico, al armado.

Existe poco margen en la elección de aglomerantes. Las mezclas de Portland, cal ordinaria y puzolana, que han recibido algunas aplicaciones en Ale-

¹ Véase el número anterior, pág. 153.

mania, por su poca resistencia y porque no pueden inspirar completa confianza, no deben ser recomendadas.

El cemento aluminoso, aparte las reservas ya expuestas en cuanto a su estabilidad química a largos plazos, es material que, debidamente empleado, llena todas las condiciones, salvo la del coste, que resulta bastante elevado; aun así, dadas las altas resistencias que proporciona y la poca masa de hormigón a que suele aplicarse, su adopción podrá ser conveniente en algunos casos.

El aglomerante a que, en la actualidad, habrá de recurrirse generalmente es el constituido por la mezcla de cemento Portland de primera calidad y puzolana natural de las más acreditadas. La variedad de Portland llamado de alta resistencia o supercemento, cada día más empleada en las estructuras terrestres de hormigón armado, no puede ser igualmente recomendada en las marítimas ínterin la experiencia, que ahora falta, demuestre que su extremada finura y lo bajo del índice de hidraulicidad, que es frecuente, no han de constituir un peligro para la estabilidad química.

Ha de observarse que, tanto por exigirlo la resistencia como para alcanzar un grado de compacidad elevada, la dosis de cemento y, por consecuencia, de puzolana habrán de ser en el hormigón armado muy altas, lo que, a más del gasto que implica, podrá ofrecer el inconveniente de dar origen a retracción intensa en el fraguado, con el peligro de producción de grietas que ello supone.

Aparte de lo que resulte de los ensayos de mezclas que deben realizarse, a que siempre conviene atenerse, imprescindibles de todo punto en estas fábricas, por poco importantes que sean, se indican a continuación algunas proporciones empleadas o propuestas:

Luiggi recomendaba en 1910 estas dosificaciones: 300 kg de cemento Portland de fraguado lento, 100 a 150 kg de puzolana en polvo fino, 0,4 m³ de arena y 0,8 m³ de piedra machacada. En estructuras sometidas a vibraciones la dosis de cemento debe llegar a 400 y aun a 500 kg, y si se trata de pilotes ha de variar entre 400 y 450 kg, añadiéndose en todos estos casos de un tercio a una mitad más de puzolana, finamente pulverizada. Acaso a estas últimas mezclas deba serle aplicada la observación hecha más arriba sobre los inconvenientes de una gran riqueza en aglomerante.

Foerster aconseja este mortero: 390 kg de cemento Portland, 155 de tras y 0,40 m³ de arena.

En las tablestacas, vigas y plataformas de los muros de muelle de Ymuiden se emplearon primero las proporciones siguientes: 240 kg de Portland, 95 kg de tras, 0,55 m³ de arena y 0,65 m³ de gravilla. Posteriormente se adoptó esta dosificación: 260 kg de Portland, 105 kg de tras, 0,50 m³ de arena y 0,70 m³ de gravilla. En otras obras hechas en Holanda años atrás, ha sido menor la dosis de puzolana.

En la nueva gran esclusa de Ymuiden, actualmente en construcción, la relación, en peso, de tras a cemento es tan sólo de un quinto, empleándose en los pilotes esta dosificación: 400 kg de Portland, 80 kg de tras, 0,56 m³ de arena y 0,64 m³ de piedra, lo que equivale a unos 425 kg de cemento por metro cúbico de hormigón.

En un puente de hormigón armado del puerto de

Marghera (Italia) se usaron estas dos mezclas: 200 y 300 kg de Portland, 75 kg de puzolana, 0,40 m³ de arena y 0,80 m³ de grava.

En Muralt, isla de Schowen (Holanda) y en Wilhelmshaven (mar del Norte, Alemania) se han empleado estas proporciones: 225 kg de Portland, 90 kg de tras, 0,50 m³ de arena y 0,7 m³ de piedra, lo que supone, aproximadamente, 0,47 m³ de mortero para 0,78 m³ de piedra.

Para el puerto de la bahía de Jamaica (Nueva York, Estados Unidos) han sido previstos recientemente los dos hormigones siguientes: 420 kg de Portland, 150 kg de tras, 0,45 m³ de arena y 0,75 m³ de piedra machacada, no caliza, y 240 kg de cemento, 130 kg de tras, 0,35 m³ de arena y 0,85 m³ de piedra de igual clase.

Adviértase que algunas de las anteriores cifras son tan sólo aproximadas, por hallarse expresadas en volúmenes las medidas del cemento y tras en las publicaciones de donde se han tomado.

Aspecto económico

Dadas las dimensiones, clase y dosificación de los materiales y los exquisitos cuidados requeridos por el hormigón armado cuando se emplea en las estructuras marítimas, su coste ha de resultar, en general, más elevado que el de las análogas construídas en tierra, siendo por ello frecuente que, desde el punto de vista económico, no pueda aquél soportar la comparación con los hormigones y fábricas ordinarios y aun, en algunos casos, con las estructuras metálicas. Si a esto se agrega el peligro, más o menos lejano, de oxidación de las armaduras a que da lugar la permeabilidad, difícilmente evitable por completo, se comprenderá bien la necesidad de que, antes de decidir la adopción del hormigón armado en estructuras permanentes de puertos y costas, se pesen bien las razones de orden técnico que puedan aconsejarla, teniendo en cuenta los gastos representados por esta solución y los de otras posibles.

No puede afirmarse se halle enteramente resuelto el problema, por su antigüedad más que milenaria¹, de la estabilidad de los aglomerantes utilizables en las obras marítimas; pero planteado hoy debidamente, y advertidos los constructores de los peligros que entraña continuar empleando, a menudo sin las precauciones y discernimiento necesarios y posibles, materiales sujetos a los riesgos de la descomposición, cabe admitir se ha entrado ya en el camino seguro que señale la investigación científica para llegar en todos los casos a soluciones satisfactorias. En ese sentido, y sin abandonar del todo el criterio de los últimos años demasiado exclusivista, de las altas resistencias, porque éstas seguirán siendo en muchos casos necesarias y constituirán siempre factor valioso de progreso, es de prever y de desear se acentúe la producción de varios tipos de cemen-

¹ El empleo de arcilla y cal parece se remonta en Egipto y Asia a una antigüedad remota. Las mezclas de cal y puzolana natural han sido usadas en las obras marítimas, primero por los griegos y luego por los romanos que propagaron por su Imperio las aplicaciones de toda clase de productos puzolánicos. Rota la tradición romana, fueron nuevamente empleadas las puzolanas naturales por los españoles, en Filipinas y en América, en la construcción de fábricas marítimas y terrestres.

tos, homogéneos o mezclados, que puedan adaptarse económicamente a las diversas condiciones y requerimientos de las construcciones en el mar y que reúnan todos una perfecta inmunidad contra la acción destructora de sus aguas.

Mientras tanto, indicaciones parecidas a las que en el presente trabajo han sido en lo posible puntua-

lizadas están sirviendo de base muy razonable en distintas partes para las edificaciones marítimas que se levantan, con la esperanza, no infundada, de que basten a prevenir o, al menos, aminorar grandemente los fracasos provocados en casi todos los países por el empleo de los productos hidráulicos, aun los que mayor confianza venían inspirando.

José NICOLÁU

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

ELECTRIFICACIÓN DE FERROCARRILES

Estudios sobre su conveniencia económica

I

Métodos expeditos para su comprobación

Adelantándome a lo que hoy es una realidad oficial, publiqué el pasado año, en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS ¹ un extenso trabajo, en que demostraba la necesidad de estudiar la formación de un plan general de electrificación de los ferrocarriles españoles, estableciendo al mismo tiempo un procedimiento general, a la vez que muy expedito, para la determinación, mediante el estudio de su conveniencia económica, de las líneas férreas que debían electrificarse. Su contenido era el resumen de otro trabajo, más detenido, que dificultades varias me impidieron se editara ², donde se fundamentaba el método seguido, y en que se contiene la parte de verdadera aplicación práctica del mismo.

Suponemos que uno de los fines primeros de la Comisión de Electrificación, recientemente nombrada, será la determinación de las líneas férreas en que sea conveniente, económicamente considerada, la electrificación. Esto, que parece tan sencillo, encierra indudables dificultades, no precisamente por la que pueda existir en tal cuestión *técnicamente considerada*, sino en la *elección del procedimiento*. Es sabido, y en mis artículos quedó suficientemente probado, que todo modo expedito de comprobar si una electrificación es o no conveniente, económicamente considerada, tiene que ser forzosamente aproximado. Todos los procedimientos de tal carácter son verdaderamente eliminatorios, de primera aproximación. Pero es precisamente esta eliminación la que es difícil de hacer de un modo justo y equitativo, encerrando estas dos preguntas: ¿Hasta dónde se extenderá la electrificación? ¿Cuál será—en el terreno de un plan amplio de electrificación—la línea que separe los ferrocarriles electrificables y los no electrificables desde el punto de vista económico?

Evidentemente, todo dependerá de la exactitud del procedimiento de comprobación seguido. Pero éstos no han de perder su carácter de sencillez y fácil aplicación, necesario en todo trabajo preparatorio. Examinar y compulsar estas dos cuestiones casi antagónicas (exactitud-expedición), al objeto de faci-

tar—si ello es posible—los trabajos de la Comisión citada, es el fundamento de todo lo que sigue.

* * *

Una electrificación introduce, al primer examen que se hace de esta cuestión, ciertas economías, brutas si sólo se tienen en cuenta los gastos—y, por tanto, su diferencia—de explotación en ambos sistemas de tracción. Netas, si, como es lógico, se ponen en presencia los gastos de intereses y amortización del capital necesario para la electrificación. Esta comienza a ser conveniente en el momento que hay economías netas. Todos los procedimientos expeditos se reducen, por tanto, a encontrar rápidamente la existencia o no de estas economías netas. Las economías netas iguales a cero establecerán una condición de mínima economía. Yo he llamado *ecuación de mínima economía* a la siguiente

$$G_v - G_e - C = 0 \quad [1]$$

donde G_v son los gastos totales de explotación por vapor, G_e ídem por electricidad, y C las cargas que se derivan del capital necesario para efectuar la electrificación. De aquí nacen todos los procedimientos de comprobación de la conveniencia económica. Hasta mis trabajos del pasado año, todos los procedimientos se basaban en hallar $G_v - G_e$ solamente tomando la economía del combustible consumido en vapor con la energía necesaria en tracción eléctrica, principalmente, y algunos gastos de material y tracción de un modo secundario. Así, fórmulas de Parodi, Balatroni, Lucia, entre los más significados. Ya Parodi, en la segunda exposición de su fórmula ¹ que después examinamos, insiste en «los gastos de entretenimiento y reparación del material fijo», y Lucia, en su segunda ² introduce un coeficiente para la relación entre la economía total de la electrificación y la debida sólo a la energía de la tracción. Yo demostré, con anterioridad, que no tener en cuenta los gastos de material y tracción *distintos* del combustible era una causa de error inadmisibles, pues dicha economía llegaba hasta el 55 por 100 de la debida a la tracción, término medio, pudiendo determinar por sí sola la conveniencia económica.

¹ *Bulletin de l'Union Internationale des Chemins de Fer*, abril 1927.

² *Ingeniería y Construcción*, abril 1928. Véanse sus primeras fórmulas en su folleto *Estudios económicos sobre electrificación de F. C.*

¹ Números de 15 febrero, 1.º y 15 de marzo y 1.º de abril de 1927, páginas 70, 89, 111 y 139.

² Este trabajo fué presentado al concurso de 1925-1927 del Instituto de Ingenieros Civiles, y premiado por el mismo.