

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Acción del agua del mar sobre los cementos.

Dictamen de la Comisión de que es Presidente D. Luis Gaztelu, de acuerdo con la ponencia de D. Juan M. de Zafra.

La Comisión para el estudio de las cales y cementos de producción nacional, reorganizada por R. O. de 16 de Marzo de 1910, cumpliendo lo ordenado por esa Dirección general, ha revisado el voluminoso expediente que le fué remitido; encomendándole que, en su vista, «proponga lo que juzgue conveniente para evitar en lo sucesivo averías en las obras construídas con cemento ó cales hidráulicas» (se sobreentiende *sometidos á la acción del mar*).

Ardua es la cuestión, objeto desde largo tiempo de numerosísimos estudios. El último Congreso celebrado por la Asociación internacional de los de Navegación (Filadelfia, 1912) no llegó á formular conclusiones concretas.

Pese á la cantidad y calidad de los datos aportados por Ingenieros de todos los países desde varios años atrás (San Petersburgo, 1908), el Congreso acordó mantener para el inmediato el tema *Aplicaciones del hormigón armado* (á las obras marítimas) y *medios de asegurar su conservación*.

Pero aun á falta de los nuevos y más concluyentes informes que en el Congreso convocado para 1915 en Estocolmo se hubieran seguramente acumulado, cree la Comisión que el caudal de datos hasta el día reunidos sobre cuestión tan prolijamente estudiada, es el necesario y suficiente para poder establecer *normas fundamentales*.

Con estas reglas de carácter genérico, y con lo que en su buen criterio deduzcan los Ingenieros, como de carácter específico, por las condiciones peculiares de cada caso, se podrá llegar siempre á la solución práctica deseada.

Las acciones destructivas del agua de mar sobre los hormigones armados ó sin armar y sobre los morteros de las fábricas, son físicas y químicas. Las primeras, por fortuna desconocidas en las costas españolas, son las debidas en los climas duros á las heladas y se localizan en las partes comprendidas por el juego de mareas. Las acciones químicas consisten, principalmente, en la formación de sulfoaluminato cálcico, á expensas de los sulfatos magnésicos en el agua de mar, cálcico en las selenitosas y de la cal libre en algunos cementos anhidros ó del hidrato cálcico que durante el fraguado se libera inevitablemente, al parecer, en todos.

A esta acción primordial y decisiva, tanto más fácil de pro-

ducirse cuanto más aluminoso es el aglomerante, se suman otras secundarias, que hacen mucho más complejo el fenómeno y dan lugar á variadísimas formas de operarse la destrucción, por reblandecimiento, fragmentación, etc.

Sean las que fueren, todas esas acciones químicas se producen tanto más fácilmente cuanto más pronto después del fraguado se opera el contacto con el agua salada y todas se propagan del exterior al interior de la masa, gracias á la permeabilidad.

De lo que precede, escueto resumen de lo hoy admitido por todos los Ingenieros, se deriva la norma fundamental, solución genérica del problema planteado. Para evitar averías en las obras marítimas construídas con aglomerantes hidráulicos, es menester no someter á la acción del mar los morteros y hormigones sino lo más tarde posible, y conseguir que lleguen á un *estado final de impermeabilidad*.

La primera condición involucra, desde luego, la de no amasar el aglomerante con agua salada ni selenitosa. Es, además, perfectamente racional, evidente, puede decirse, y fácil de cumplir en la práctica, aun cuando se traduzca por un aumento de coste.

Conseguir un *estado final de impermeabilidad* es factible también, aunque implique más todavía, un sacrificio de dinero, aparente, no real.

Cree la Comisión que el importantísimo problema de la subsistencia de las obras marítimas es perfectamente resoluble siempre que se le trate con la elevación de miras que á su trascendencia corresponde, no con mezquino criterio de momentánea baratura, de engañosa economía.

Aunque hace ya veinte años que un ilustre Ingeniero, del que la Comisión lamenta verse hoy privada, expuso claramente la enorme influencia de la composición granulométrica de las arenas en las cualidades de los morteros; aunque después se han publicado estudios análogos respecto á los áridos en los hormigones, hay que reconocer que, en general, no se ha prestado la atención debida á ese capitalísimo elemento, *composición física del esqueleto*, que se trata de aglomerar. Raro será el pliego de condiciones en que se impongan análisis granulométricos, cribados, mezclas, etc., para conseguir determinadas condiciones de los áridos en los morteros y hormigones.

No es de extrañar que tal haya sucedido entre los Ingenieros españoles, cuando en muchísimos de los estudios extranjeros acerca de los efectos destructivos del agua del mar, casi todo se refiere á la composición química del aglomerante, nada ó muy poco á la composición física del árido.

Sobre la base de que este árido, formado por piedras y arenas

químicamente inatacables, tiene, desde luego, mayor resistencia mecánica que los mejores aglomerantes en pasta pura, el conglomerado ideal desde todos los puntos de vista sería el que desde un principio ofreciera una compacidad absoluta.

A falta de esta condición, difícil de realizar, se obtiene la mayor compacidad relativa posible en un mortero cuando el volumen absoluto del total de granos gruesos dobla, próximamente, el análogo de los elementos finos de la arena y del aglomerante reunidos.

Contribuye poderosamente á exaltar la compacidad que los granos sean redondeados y no angulosos y, sobre todo, que los tamaños dentro de cada clase sean, aproximadamente, uniformes y de una á otra muy opuestos, lo más grande posible los gruesos, lo más pequeños los finos.

Pero está demostrado de un modo innegable que la arena fina es de fatales resultados en las obras marítimas, y *debe ser implacablemente proscrita, aun caso que la arena gruesa tenga precio mucho más alto*, dice Férét.

El mortero ideal, de máxima aptitud para resistir la infiltración del agua del mar, sería el antes definido, cuyos elementos finos se redujeran al aglomerante tan sólo. Corresponde esto á la dosificación (término medio) de 800 kilogramos de cemento por metro cúbico de arena gruesa, ó bien á una riqueza de alrededor de 700 kilos de aglomerante por metro de mortero obtenido.

En los países ricos en materias puzolánicas se llega á una solución altamente satisfactoria y económica, componiendo los elementos finos del mortero por aglomerante y puzolana, trass, etc. Bien molida ésta, de preferencia en unión del mismo cemento, no sólo le equivale y sustituye granulométricamente desde el punto de vista físico, sino que interviene como factor químico importantísimo, al fijar en combinación estable el hidrato cálcico que el fraguado libera.

No son comunes, por desgracia, dichas materias en España, y sólo cabe recomendar *previos ensayos*, y como ya en los Estados Unidos se va haciendo, la introducción de puzolanas artificiales. Son fáciles de fabricar como ladrillos de baja cochura y sólo requieren como cosa especial una esmeradísima pulverización. En moderadas dosis de un cuarto, á lo sumo un tercio, del peso total de elementos finos, rebajan considerablemente el costo del mortero sin hacerle perder la deseada compacidad y lo mejoran dándole mayor estabilidad química. Equivale esto, en suma, á fabricar una arena especial, puzolánica, que sustituya á los granos finos de la otra, eliminados en absoluto.

No existe para los hormigones (cuando las piedras exceden de un par de centímetros) una ley experimental sencilla y bien definida, que como en los morteros permita fijar *a priori* la óptima dosificación. Es indiscutible que el mortero ha de rellenar con exceso, aunque muy ligero, los vacíos de la piedra, los que importa reducir al mínimo. De un modo general sólo puede afirmarse que las formas redondeadas son preferibles á las angulosas y los grandes tamaños de los elementos mayores á los escasos ó reducidos.

El interés del problema es más que suficiente para justificar la necesidad de una experimentación previa en toda obra marítima de alguna importancia. Sólo así, estudiados los recursos que en piedras y arenas, rodadas ó quebrantadas, ofrezcan no sólo la misma localidad sino todas las en posible comunicación económica con ella, se podrá llegar al ideal constructivo, á fabricar grandes, enormes piedras, todo lo compactas y pesadas posible, formadas por la máxima proporción de elementos naturales, cuya durabilidad no ofrece duda alguna y por la mínima de los artificiales, nunca merecedores de tanta confianza.

En términos generales, para las obras de poca cuantía, ó

como base para la experimentación ya dicha, cabe señalar prudencialmente límites de dosificación. Desde luego jamás debe admitirse que el aglomerante esté medido en volumen: por ignorancia, por descuido, por mala fe, pueden resultar enormes diferencias de riqueza efectiva. La dosificación más usual en las construcciones de hormigón armado, 300 kilos de cemento para unos 400 litros de arena y 800 de piedra (términos medios), es el *límite inferior* que, á juicio de la Comisión, cabe admitir. El hormigón así obtenido es permeable y puede, sin embargo, resultar admisible, alcanzar un *estado final de impermeabilidad*, siempre que las condiciones granulométricas del árido sean buenas: arena gruesa, cuya dosis conviene rebajar algo y piedra también gruesa y en cantidad algo mayor, si es redondeada. Algunos sencillos experimentos, bien fáciles de hacer en cada caso, indicarán las mejores correcciones. Cabe desde luego y conviene ensayar la sustitución de parte del aglomerante por puzolana, artificial ó natural, para reducir el costo. Y conviene asimismo determinar experimentalmente la óptima proporción de agua, que desde luego es preferible en general, peque ligeramente por exceso mejor que por defecto.

La inclusión de piedras sueltas muy gruesas, cuanto mayores mejor, hasta llegar á la de grandes mampuestos sentados á mano dentro de la masa, de suerte que no se toquen, mejora en grandísima escala las condiciones constructivas y económicas de los conglomerados: pueden llegar á ofrecer una compacidad prácticamente absoluta, aun con riqueza relativamente escasa en aglomerante. En las obras marítimas debe tenderse todo cuanto sea posible al empleo de *hormigones ciclópeos ó mamposterías hormigonadas*; y á su factibilidad y caracteres constructivos y económicos deben encaminarse los estudios experimentales previos que la Comisión ha señalado ya como imprescindibles en obras importantes.

En lo relativo á la naturaleza de los aglomerantes, objeto de la información abierta entre los Ingenieros que tienen á su cargo obras marítimas, la Comisión no vacila en pronunciarse decididamente en pro de los cementos artificiales y más decididamente aún en pro de los españoles.

A la opinión, siempre respetable, de quienes, fundados en que los cementos nacionales han dado lugar á ciertas averías en nuestros puertos del Cantábrico, sostienen la conveniencia de admitir, pese á la ley de protección, los extranjeros, la Comisión se limita ó oponente la opinión de carácter más general manifestada en el Congreso de Filadelfia en 1912, como resumen de los datos allí aportados, por la ponencia del tema «Medios de asegurar la conservación (en obras marítimas) del hormigón armado».

«El hormigón de cemento, empleado con inteligencia, ha mostrado ser un precioso auxiliar del Ingeniero moderno; pero en manos de Ingenieros ó de obreros inhábiles para su estudio, su fabricación ó su manejo ha revelado muchas veces la insuficiencia de aquéllos por los defectos y fracasos. Mas no se puede concluir de éstos que el hormigón no convenga en tales obras, sino solamente que no se han realizado en las debidas condiciones.»

La Comisión sostiene, conforme en todo con lo transcrito, que la mayor parte de las averías ocurridas en construcciones marítimas se debe á no haberse dado importancia más que á la dosificación del aglomerante, poca ó ninguna á la calidad y cantidad de los áridos, y, sobre todo, á un mal entendido criterio de economía, que ha hecho preferir obras baratas á obras duraderas. Una y otra causa han sido errores hijos de la época, cometidos en más ó menos escala por Ingenieros lo mismo españoles que extranjeros.

Ese criterio de la baratura á todo trance es el único que hoy día pudiera aconsejar la admisión de las cales hidráulicas en obras

bañadas por el mar. Sin desconocer que en ciertas localidades y con ciertas condiciones se han obtenido con dichos aglomerantes buenos resultados, que con hábil manejo comercial han llegado á constituir una dorada leyenda en pro de uno de ellos, francés, en perjuicio de los similares españoles, cree la Comisión que en las obras directamente expuestas al agua del mar deben ser proscritas de un modo general las cales hidráulicas. Tan sólo en aquellos puertos en que una larga experiencia ha sancionado su empleo, pudiera excepcionalmente mantenerse su uso. Y, en cambio, convendría, con ese mismo carácter local, estudiar la aplicación de los cementos naturales rápidos, que en ciertas zonas de España se producen con extraordinaria baratura.

Respecto al valor práctico que á las llamadas pruebas de invariabilidad de volumen deba darse, cuestión que en el Congreso de Nueva York quedó pendiente, los estudios proseguidos en América desde entonces hasta el día parecen justificar la recientísima propuesta hecha á la Sociedad Americana de Ingenieros civiles. Se sustituye al ensayo de Le Chatelier el de una galleta de pasta pura, de la forma y dimensiones usuales, formada sobre una placa de vidrio, mantenida veinticuatro horas en atmósfera húmeda y sometida después durante cinco horas al vapor de agua entre 98 y 100°, á una distancia de 25 milímetros de la superficie del líquido hirviendo. La galleta no debe presentar ni distorsión ni retracción que la separen del vidrio ó la fragmenten.

La Comisión resume todo lo ya expuesto, encaminado á evitar averías en las obras marítimas construídas con aglomerantes hidráulicos, en las siguientes conclusiones:

Empleo exclusivo de cementos lentos artificiales, de producción nacional.

Limitación especial de la alúmina y del anhídrido sulfúrico á menos de 7 y de 1,75 por 100, respectivamente, aun cuando la del último obligue á tolerar algo mayor rapidez del fraguado.

Estudio experimental concienzudo, sin escatimar tiempo ni dinero, para conocer las arenas y piedras, naturales ó artificiales, disponibles en radio extenso si necesario fuere; las dosificaciones de ellas y la posibilidad de llegar á los hormigones ciclópeos, la riqueza en aglomerante y la mejora económica y química de éste por la adición de puzolana artificial ó natural.

Amasado con agua potable; mano de obra esmeradísima; fraguado durante el máximo tiempo fuera del contacto con agua del mar.

Es cuanto respetuosamente tiene el honor de informar á V. I. esta Comisión.

LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES ⁽¹⁾

POR

PEDRO M. GONZÁLEZ QUIJANO

El prodigioso desarrollo de los transportes de todo género que caracteriza á nuestra época, es debido, en su mayor parte, al considerable progreso de la navegación y al perfeccionamiento de las vías terrestres, y muy especialmente de los ferrocarriles, que, reuniendo entre sí y con el litoral más inmediato las distintas comarcas de una nación, contribuyen á disminuir sus desventajas naturales, robusteciendo la agrupación política merced á una mayor solidaridad económica, y acercando, por decirlo así, el conjunto á las grandes vías del comercio universal.

Por eso ha podido decirse, con razón, que es por el valor de sus vías de comunicación, caminos, carreteras, cauales, ferrocarriles, por lo que se mide actualmente la potencia económica de un Estado, justificándose así la importancia preponderante que se concede hoy á este ramo de la riqueza pública en todo país atento al vigoroso desarrollo de sus intereses materiales.

Al estudiar desde este punto de vista la red ferroviaria española, bueno será conocer en primer término las vicisitudes por que ha pasado hasta llegar á su situación actual, para que, comparando las dificultades superadas con los resultados obtenidos, se puedan deducir enseñanzas que ayuden á resolver los problemas presentes y futuros.

No fué, ciertamente, por falta de iniciativas por lo que se retrasó la construcción de nuestros ferrocarriles, pues ya en 1829, es decir, un año antes de que se abriera al servicio público la línea de Liverpool á Manchester, fué solicitada en España por don Marcelino Calero Portocarrero la primera concesión de que hay noticias, la que había de unir á Jerez de la Frontera con Sanlúcar, pasando por el Puerto de Santa María y Rota; pero aunque la concesión fué otorgada en 28 de Marzo del año siguiente, la situación que atravesaba el país, trastornado por luchas políticas que pronto degeneraron en cruenta guerra civil, no era la más á propósito para allegar los capitales requeridos para empresas de esa índole, y después de varias prórrogas y transferencias, reveladoras de intentos fracasados, hubo de decretarse la caducidad en 1838.

A la misma época corresponde, é igual suerte corrió, la del ferrocarril de Tarragona á Reus, otorgada en 1833, y sólo después de asegurada la paz interior volvió á tratarse seriamente de iniciar la constitución de nuestra red, mediante las autorizaciones concedidas en 1843 para la construcción del ferrocarril de Barcelona á Mataró, y en 1844 para la del de Madrid á Aranjuez, con facultad de prolongación hasta Alicante á las que pronto siguieron otras varias, avanzándose en este camino con tal profusión, que en 1846 se habían hecho ya concesiones provisionales ó definitivas de 6.700 kilómetros de líneas.

No fué tan rápido el progreso en la construcción. La línea de Barcelona á Mataró, de solos 28,5 kilómetros de longitud, se abrió la primera al tránsito público en 28 de Octubre de 1848; tras ella se inauguraron la de Madrid á Aranjuez y la de Jerez al Trocadero; en 1855 no había en explotación más que 475 kilómetros. Los entusiasmos de los primeros días se habían amortiguado mucho, y las exageradas esperanzas, fundadas en los éxitos alcanzados en Inglaterra por la iniciativa privada, se desvanecieron al contacto con la realidad.

El asunto había llegado á preocupar á los Poderes públicos. Se había empezado por cometer el error de reservar la preferencia en las concesiones á los peticionarios de *conocido arraigo*, dándoles un plazo prudencial para que pudieran formular los proyectos, lo que dió lugar á un agio desordenado, por cuanto permitía á los iniciadores constituirse en intermediarios obligados y, sin el menor gasto ni servicio por su parte, exigir de las Empresas serias, primas más ó menos cuantiosas por la cesión, con perjuicio evidente del buen éxito del negocio, que ya por sí solo ofrecía pocos atractivos.

Para evitar estos abusos y poner orden y regularidad en los procedimientos administrativos, de los que dependía el más rápido desarrollo de la red, se llegó al fin, tras de varios intentos, á la promulgación de la ley de 3 de Junio de 1855, primera medida legislativa merced á la cual la construcción de nuestros ferrocarriles tomó nuevo impulso, llegándose en el período de gran actividad, comprendido entre 1855 y 1868, á abrir á la explotación 4.967 kilómetros de vía.

(1) De la Revista Nacional de Economía.