

ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Calle San Martín N.º 352-Casilla 487-Teléf. 88841-Santiago-Chile

Año LVII (1)

Julio Agosto de 1944

N.os 7-8

(1) Año LVII desde la fecha de su primera publicación en 1888 como «Anales del Instituto de Ingenieros». Año XLIV desde la fecha de su primera publicación, Enero de 1901, como «Anales del Instituto de Ingenieros de Chile»

Ing. Jorge Lira Orrego

Empleo del hormigón en las Obras Marítimas (Conclusión)

II. — HORMIGON ARMADO

Las aplicaciones del hormigón armado en las obras marítimas se refieren a todos los tipos y presentan las disposiciones más variadas; pero no es difícil reconocer que se las puede agrupar, según sean sus características generales y su objeto, de la manera siguiente:

- a) — Construcciones del tipo de los muelles, ya sean perpendiculares a la costa o ya paralelos o situados a lo largo de ella, compuestas por un verdadero puente, soportado por una serie de cepas, cuyos elementos fundamentales son pilotes y cabezales, convenientemente arriostrados, en las que el hormigón armado ha venido a reemplazar a la madera;
- b) — Construcciones del mismo tipo, en que el hormigón armado reemplaza al metal;
- c) — Construcciones en las que el hormigón armado constituye el medio empleado para realizar grandes macizos, tales como cajones monolíticos, columnas, etc., que una vez puestos en su sitio se rellenan con hormigón, rico o pobre, o con un material más económico.

En el primer grupo de estas aplicaciones, que es el de las más numerosas y de las en que se han presentado mayor número de averías y casos de descomposición del hormigón, este material presenta sobre la madera ventajas que, salvo casos excepcionales, son indiscutibles. En efecto, el hormigón armado permite realizar pilotes cuya longitud y cuyas dimensiones transversales serían muy difíciles o imposibles de obtener con la madera; por otra parte, las uniones entre las diferentes piezas que forman la construcción, pilotes, cabezales, diagonales, etc., constituyen verdaderos empotramientos, que dan al conjunto una rigidez muy grande y que no toman juego con el tiempo; finalmente, la duración del hormigón armado, aunque sea discutible y muchas veces bastante limitada, si se la compara con la que puede tener el hormigón en bloques o en grandes macizos, siempre será muy superior a la de la madera, que en muchas ocasiones apenas puede alcanzar a uno o dos años, en el agua del mar. Estas aplicaciones del hormigón armado serán, pues, siempre perfectamente justificadas.

No quiere decir esto que esta clase de obras no merezca críticas o no presente inconvenientes, que pueden ser serios, entre los cuales puede citarse en primer lugar el peligro de que un choque, generalmente producido por una embarcación, es decir por un cuerpo flotante de muchas toneladas de peso, que no sea suficientemente fuerte para producir la quebradura completa de una pieza de importancia capital, como un pilote, sea sin embargo suficiente para provocar la formación de grietas, por las cuales se introduce el aire marino y provoca la oxidación de las barras de acero en un plazo muy corto, lo que puede comprometer seriamente toda la parte afectada de la construcción. De más está decir que, en el caso que la construcción se hubiera llevado a cabo con madera, las consecuencias de un accidente de esta naturaleza habrían sido casi seguramente mucho más graves.

En un párrafo anterior he dicho que en este tipo de obras es en las que se han presentado, probablemente, mayor número de averías por causa de la descomposición del hormigón y esto no tiene, en efecto, por qué llamar la atención. En numerosos artículos de revistas, publicados principalmente hace unos veinte o más años, y en muchas memorias que tratan de los inconvenientes que puede encontrar la aplicación del hormigón armado en las construcciones marítimas, se ha llamado la atención hacia el mal estado en que se han encontrado los pilotes de estas obras, relativamente poco tiempo después de su construcción; este mal estado se manifiesta exteriormente por la formación de manchas de un color ocre amarillo, más o menos pronunciado, acompañadas o no de grietas, y en algunos casos ha llamado la atención la proporción considerable de pilotes en que se ven estas manifestaciones, que indican que los pilotes no están sanos y hacen prever una duración limitada de la obra, que es muchas veces menor que la que se creía tener derecho a esperar; pero, si se tienen presentes las circunstancias que acompañan a la clavadura de los pilotes, sobre todo si el terreno es un poco duro, aunque más no sea, y si se trata de determinar los esfuerzos a que se encuentra sometido el material de los pilotes durante la clavadura, se puede llegar muchas veces a la conclusión de que las fatigas correspondientes son vecinas a la ruptura. En el caso de pilotes de madera estos esfuerzos extraordinarios se traducen en que los pilotes revientan debajo del suelo, ya sea en el cuerpo mismo del pilote o ya sea en la punta; en el caso de pilotes de hormigón armado, que son siempre fretados de una madera muy robusta, no es posible que se produzcan accidentes de esta clase, produciéndose la ruptura, pero sí es casi seguro que se producirán grietas, extremadamente finas y numerosas, imposibles de reconocer a la vista, pero suficientes, sin embargo, para que por ellas penetre el aire marino y produzca la oxidación de las armaduras, causa de las manchas indicadas. Esta deterioración de los pilotes de hormigón armado, es debida únicamente a efectos dinámicos de la clavadura y no debe confundirse con la que puede provenir del ataque del cemento por el agua del mar, y por la misma razón no tiene por qué ser inherente a la aplicación del hormigón armado en forma de pilotes; así por ejemplo, en los terrenos arenosos, en los cuales es posible hacer la clavadura por medio de lanzas de agua, como se efectúa siempre, no hay por qué temerla y la duración de los pilotes puede ser muy larga.

En resumen, cuando se trata de estudiar la conveniencia de emplear el hormigón armado en esta clase de obras, en reemplazo de la madera, no se puede sino convenir en que ella es perfectamente justificada.

Las aplicaciones del hormigón armado en el caso de las obras que he reunido en el grupo b), es decir, en el de muelles o construcciones de ese tipo, en que el hormigón armado reemplaza al metal, las cosas son muy diferentes y vale la pena tratarlas con cierta calma, para formar un criterio justo al respecto. Naturalmente al estudiar este punto me referiré principalmente a obras construídas en nuestro país, que son las que mejor conozco y en las cuales he tenido muchas veces intervención directa.

La principal de estas obras es el muelle de El Barón, del puerto de Valparaíso, que está formada por un tablero de hormigón armado, soportado por grandes columnas del mismo material, rellenas con hormigón rico, colocado bajo agua; la superestructura de esta obra, pertenece al tipo que nos ocupa y su infraestructura, al tipo que he designado con la letra c). Nos ocuparemos ahora sólo de la primera.

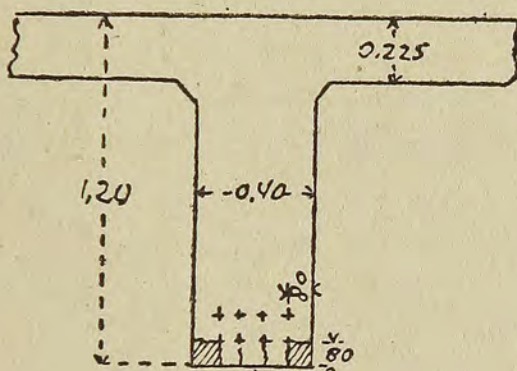


fig. 2

Sin entrar en detalles, que no hacen al caso, recordaré que la superestructura está formada por vigas gemelas de hormigón armado, que quedaban a plomo de los rieles; estas vigas, de 1,20 m. de altura, tienen 0,40 m. de ancho y una luz de 12,00 mts.; en la figura 2 pueden verse sus disposiciones principales, entre las cuales el diámetro de las barras de acero y las distancias de sus centros a las paredes de los moldes, que son de 0,08 m., como es costumbre en los hormigones armados destinados a ser expuestos al agua y al aire del mar. La armadura principal de estas vigas está formada por 8 barras de 38 mm. de diámetro; en cuanto a la composición del hormigón que se empleó en su fabricación, es bastante rica, pues se emplearon 500 kg. de cemento por metro cúbico de piedra chancada y la cantidad de arena necesaria para llenar enteramente los huecos de la piedra. La fabricación de estas vigas se hizo de manera muy cuidadosa, en tierra, amoldándolas de a dos, junto con la parte de losa correspondiente a ellas, y fueron colocadas en su lugar en el muelle después de un período de endurecimiento muy largo; en los extremos de las vigas así fabricadas se dejaban salientes las prolongaciones de las barras de armadura, que se unían con los de las barras de las vigas siguientes, sobre un fuerte cabezal, que servía para transmitir todas las cargas a las columnas de la infraestructura; en seguida se armaban en el sitio las paredes de los moldes y se colocaba el hormigón que venía a hacer solidarias las vigas de uno y otro lado del cabezal. Como se ve, se adoptaron todas las precauciones que es posible recomendar para conseguir un buen resultado en la obra, tanto en lo que se refiere a la composición del hor-

migón, como a la distancia entre las armaduras y las paredes de los moldes y a la fabricación anticipada de las vigas; sin embargo, los resultados no fueron como se esperaba.

En efecto, este muelle fué terminado en el año 1916 y ya diez años después se pudieron comprobar en la parte inferior de las vigas efectos muy notables producidos por la oxidación de las barras, siendo fácil establecer que primero se habían producido grietas verticales y horizontales, como las que se indican en la figura, debidas al aumento de volumen de las barras oxidadas; poco después se desprendía la parte hachurada, que corresponde a las aristas de las vigas, y más tarde toda la parte del hormigón que quedaba debajo de las barras, quedando éstas enteramente al desnudo. Un examen de la parte inferior del muelle permitía ver todas las etapas de esta destrucción del hormigón, que, por lo que se veía, se ha debido únicamente a la oxidación de las barras, ya que en otras partes no había ninguna muestra de alteración del hormigón. No me ocuparé ahora de la reparación de los daños que resultaban para la construcción, en la cual las armaduras quedaban enteramente expuestas a la acción del aire marino y aún a la del agua del mar, cuando la agitación de éste fuera un poco notable: lo que nos interesa por ahora es solamente buscar la causa probable de la oxidación del acero y deducir las consecuencias que puedan resultar de ella para el futuro, debiendo desde luego notar que averías de esta naturaleza, que en todo caso son de reparación costosa y difícil vienen a quitar al hormigón armado, naturalmente sólo en esta clase de aplicaciones, una de las ventajas que más se han invocado en su favor, cual es la de que este material no exige gastos de conservación.

Por lo que hemos dicho más arriba acerca de la ejecución de esta obra, no es posible achacar a ella los desperfectos que hemos señalado, de manera que es necesario buscarlos en otra parte, que no puede ser sino la formación de grietas pequeñísimas, imperceptibles, por las cuales puede penetrar el aire marino y producir la oxidación de las barras; y en cuanto al origen de estas grietas, lo primero que se ocurre es buscarlo en un trabajo excesivo del hormigón a la tracción, causa que muchos ingenieros han creído posible, ya que en varias Normas para el cálculo y disposición de las obras de hormigón armado se prescribe la condición de que, cuando las vigas vayan a encontrarse expuestas a una atmósfera capaz de atacar las armaduras, se limite la fatiga del hormigón a la extensión en 20 ó 24 kg. por centímetro cuadrado.

Cuando se proyectó el muelle de que nos ocupamos, hacia 1911, los ingenieros se contentaban, respecto a las fatigas del hormigón, con suponer que no trabajaba a la extensión, con lo cual el acero tenía que hacerse cargo de todos los esfuerzos de esta clase; esta suposición era sin duda desfavorable, en lo que al acero se refiere y por consiguiente era favorable a la seguridad de la obra. Más tarde se estudiaron las cosas un poco más a fondo, probablemente después de haber notado algunos desperfectos como los que hemos señalado, y se buscó el remedio a ese defecto, limitando la fatiga a la extensión del hormigón. Como era probable que en el muelle a que me refiero las fatigas de extensión del hormigón fueran considerables, verifiqué el cálculo de ellas y obtuve como resultado la cifra bastante elevada de 49 kg. por centímetro cuadrado, cifra que no tenía nada de particular, desde el punto de vista de la seguridad de la obra, ya que no se contaba para nada con la resistencia del hormigón a la extensión, pero que indicaba que era posible que por ese motivo se produjeran las grietas que habían provocado la oxidación de las

barras. Sin embargo, desde el primer examen un poco cuidadoso de la cuestión se vió que esta explicación de la formación de grietas no era suficiente, pues las partes en que la fatiga del hormigón a la tracción es excesiva ocupan una longitud muy pequeña de las vigas, mientras las partes en que la oxidación se había producido se extendían a todo lo largo de ellas; por otra parte en las regiones de la parte inferior de las vigas en que el hormigón trabajaba a la compresión únicamente, como la que se encuentra cerca de los apoyos de las vigas, la oxidación de las barras se habían manifestado lo mismo que en aquellas en que la fatiga a la extensión era mayor, lo que está indicando que la causa de la formación de las grietas es otra, a la cual se agrega sin duda la de la fatiga excesiva del hormigón a la extensión.

Esta otra causa es el alargamiento del hormigón que resulta de que las armaduras le impiden acortarse durante el endurecimiento. En efecto basta pensar un poco esto para darse cuenta del papel que desempeñan las barras de acero en este sentido y de que necesariamente tienen que producirse grietas finísimas, distribuídas de una manera uniforme a lo largo de toda la viga y en las inmediaciones de las barras, grietas que no pueden ser perceptibles y que no tienen por qué localizarse en ninguna parte determinada y por las cuales puede penetrar el aire marino y llegar hasta las barras, pues la distancia que quede entre las barras y las paredes de los moldes no será nunca suficiente para que las grietas no lleguen hasta la superficie exterior de las vigas. Ahora bien prácticamente no hay manera de impedir la formación de estas grietas, pues la única sería colocar las barras de acero bajo tensión y soltarlas, solamente, cuando el hormigón hubiera endurecido, con lo cual el acortamiento del hormigón que provocaría la contracción de las barras cerraría las grietas que hubieran podido formarse; pero esto es muy difícil de realizar y aumentaría de una manera extraordinaria el costo de las obras, de tal manera que sólo se justificaría, si no fuera posible resolver el problema constructivo sin recurrir al hormigón armado o si no se considerara preferible emplear este material con el inconveniente que nos ocupa, resolviéndose a examinarlo periódicamente y a reparar los desperfectos, a medida que fueran produciéndose.

En cuanto a la solución que consiste en limitar en poco más de 20 kg. por centímetro cuadrado la fatiga a la extensión del hormigón, pensando así asegurar la conservación de la obra, me parece que no es recomendable, desde luego porque no evita la oxidación del acero, por lo que hemos dicho, y en seguida, porque obliga a emplear una cantidad de metal tan grande que la obra resulta antieconómica. En efecto, si se limita a 24 kg. por cm. cuadrado la fatiga a la tracción del hormigón, se limita también al mismo tiempo la del acero a 12 veces más, o sea a unos 300 kg. por cm. cuadrado, y como el acero es susceptible de trabajar fácilmente a 1.400 kg. por cm. cuadrado, se empleará una cantidad de este material 4,5 veces superior a la necesaria, de tal manera que probablemente esa cantidad de metal habría sido suficiente para formar una viga enteramente metálica, ahorrándose el costo del hormigón y su colocación en la obra. Es cierto que la viga metálica necesita gastos de conservación; pero se cuenta con ellos y, por otra parte, ya hemos visto que las de hormigón armado, en las condiciones de exposición al aire marino, de que se trata, la necesitan también, y es más difícil y costosa que la del acero. Por otra parte las vigas metálicas ofrecen facilidades de colocación en la obra y exigen un plazo mucho más corto para ser puestas en servicio,

circunstancias que también son dignas de ser tomadas en cuenta, cuando se trata de establecer una obra de esta clase.

De las consideraciones expuestas se podría desprender que no se puede asegurar la conservación del hormigón armado en las obras como el muelle que hemos examinado sin hacer en él reparaciones, costosas y difíciles, lo que aconsejaría emplear el acero en la construcción de la superestructura de los muelles y obras análogas, reservando el hormigón para aquellas en que no se presentan los mismos inconvenientes.

En el Congreso Internacional de Navegación que se celebró en Venecia en 1931 se incluyó entre los temas que fueron motivo de *comunicaciones*, es decir que serían discutidos, pero acerca de los cuales no se iban a adoptar conclusiones, el de las aplicaciones del Hormigón, armado o no, a las Obras Marítimas, como tuve ocasión de recordar al tratar de la descomposición de los cementos por el agua del mar, y entre los informes que se presentaron se da cuenta de desperfectos parecidos a los que he señalado más atrás, que fueron reparados de manera también parecida a la que se empleó en Valparaíso, lo que indica que este caso no es extraordinario; por otra parte en Chile mismo, en el puerto de Quintero, en un muelle cuya superestructura está formada por vigas y losas de hormigón armado, con infraestructura de columnas del mismo material, rellenas con hormigón, se produjeron a los pocos años manchas de color amarilloso, que delataban la situación de las barras metálicas, lo que indica que se deben a oxidación de éstas, y cuando tuve ocasión de visitar esa obra, algunos años después, ya se veían grietas análogas a las que he señalado en el caso del muelle de El Barón, debajo de las armaduras o a la altura de ellas, que terminarán por acarrear la caída del hormigón, en la misma forma que se ha producido en esta obra. Y respecto a esta última obra es interesante saber que algunos años después de hecha la reparación de los primeros desperfectos, que se notaron unos diez años después de terminada la obra, fué necesario volver a hacerla en varias partes de las que ya habían sido reparadas y que luego será necesario volver a reparar por tercera vez algunas partes, pues ya se ven grietas que son indicios de deterioros graves.

En otros muelles hechos en el país, como los de Corral, para el servicio de los altos hornos, y en Arica, para el servicio del ferrocarril de Arica a La Paz, también se han observado deterioros análogos a los de que me he ocupado, pero no tengo detalles acerca de ellos; la primera de estas dos obras debe haber sido terminada en los alrededores de 1910, de manera que tiene a la fecha treinta y cuatro años, la segunda es de construcción mucho más reciente, pues no alcanza a tener quince años; si los desperfectos que se han notado en ellas son de alguna consideración, ellas no harían sino confirmar las observaciones hechas a propósito del muelle de El Barón, de Valparaíso, que, a mi juicio, deben corresponder a la mayoría de los casos en que se han hecho obras de esta clase, que se encuentran expuestas a una atmósfera fuertemente oxidante, como es el caso, pues el sitio en que se encuentra este muelle es enteramente desahogado y el mar es ahí constantemente movido, lo que hace que el agua del mar se encuentre ordinariamente en suspensión en el aire, contribuyendo a hacer más notables sus efectos oxidantes; es probable que en los muelles construídos en ríos, aunque sea cerca de su desembocadura, los efectos de la humedad no sean tan notables como en el caso que he estudiado, pero en todo caso conviene tener presente que el hormigón armado, en estas obras puede no ser tan invulnerable como se creía en un

principio, cuando sólo se le había aplicado a la edificación o a otras obras que no se encontraban en condiciones francamente desfavorables a su conservación.

Las obras que he comprendido en el grupo c) son ya muy numerosas y las aplicaciones de esta clase se hacen cada vez más frecuentes, porque permiten obtener soluciones de costo bajo, si se las compara con las de otros tipos. Como dije más atrás ellas consisten en grandes cajones de hormigón armado, que se llevan flotando hasta el sitio de su empleo, se encallan, llenándolos con agua o sobrecargándolos, y se rellenan en seguida con hormigón pobre o simplemente con un material de menos precio, como piedras o arena o ambas cosas mezcladas; también se le ha empleado con mucha frecuencia en forma de columnas de diámetro más o menos grande, 4,00 m. en el caso del muelle de El Barón y 1,50 m. en el del muelle de Quintero, que se fundan haciéndolas penetrar en el suelo por medio de dragado interior y sobrecarga o que se las hace descansar sobre el terreno duro, previamente emparejado o bien sobre una infraestructura de piedras, que rellena una excavación dragada, para hacer que el terreno sea insocavable. En uno y otro caso el hormigón armado desempeña el papel de un intermediario, destinado a permitir ejecutar la obra, si el relleno de los cajones o de las columnas se hace con un hormigón rico, capaz de resistir a los efectos destructores del agua del mar, de acuerdo con las indicaciones que hemos visto a este respecto, y los desperfectos que pudieran producirse en él no tendrían mayor importancia, pues no alcanzarían a comprometer la resistencia del macizo interior; en el caso de un relleno pobre y particularmente de uno formado por un material sin consistencia, como las piedras sueltas o la arena, los desperfectos del hormigón armado tendrían mucho mayor importancia y hasta podrían llegar a significar la ruina de la obra, pues el empuje de las piedras o de la arena, obrando por el interior podría provocar la salida del material de relleno, con lo cual el elemento de que se tratara perdería gran parte de su peso, lo que generalmente causaría su ruina.

En el caso de los cajones monolíticos, que han tenido mucha aplicación en la construcción de rompeolas de muro vertical se han empleado los diferentes tipos de relleno que he indicado, pero no es posible todavía dar indicaciones que tengan algún valor sobre la duración de esta clase de obras, porque hace relativamente pocos años que se las ha construido. En el trozo perpendicular a la costa del molo de abrigo del puerto de Valparaíso, en una extensión de 120 metros, en que la profundidad es superior a 18 metros, se empleó este sistema, bajo la forma de seis grandes cajones de hormigón armado, de 20 m. de largo por 16 m. de ancho en el fondo y 15 m. en la parte superior, con 15 m. de altura total. Estos cajones están formados por losas más o menos gruesas, según sea su situación que, por medio de nervios horizontales transmiten las presiones del agua a tabiques verticales transversales; las presiones que obran en el sentido longitudinal de los cajones son transmitidas de un extremo al otro, a fin de equilibrarlas, por medio de piezas horizontales. En Los Anales he hecho la descripción de esta obra, así como también en un trabajo presentado al Congreso de Ingeniería de la USAI, que tuvo lugar en Santiago en Enero de 1939. Estos cajones fueron colocados en su sitio por flotación y encallados, sobrecargándolos con bloques; en seguida se rellenan con hormigón rico, colocado en seco; se les dejó asentarse durante un año y después se construyó encima de ellos un macizo de hormigón, colocado en sitio, y un muro-parapeto. Los cajones de hormigón armado

tienen actualmente alrededor de veinticinco años de exposición al agua y al aire del mar; hace poco los visité detenidamente por la parte exterior, que es la más expuesta, y pude constatar que solamente en uno de ellos se notan algunos desperfectos; en efecto a la altura del borde superior, cerca de un extremo del cajón, se ven las armaduras longitudinales, bastante oxidadas, y el hormigón se ha desprendido en una longitud de algunos metros. Este desperfecto ¿se ha debido a que las armaduras quedaran demasiado cerca de la superficie exterior y se habrá oxidado con relativa rapidez? o bien ¿se deberá al choque de algún cuerpo flotante? es bien difícil establecerlo; pero en todo caso, y cualquiera que sea su causa, no se observa nada de parecido en ninguno de los otros cinco cajones, y por lo demás, aunque se observara, creo que no tendría importancia mayor, dado que el relleno de estos cajones se hizo con un hormigón rico, que contiene 500 kg. de cemento por metro cúbico de arena y un metro cúbico de mortero por dos de piedra chancada.

En el mismo puerto se ha hecho otra aplicación de los cajones monolíticos de hormigón armado, en el malecón llamado *de defensa*, que se extiende en una longitud de 750 m., desde el espigón de atraque hasta la estación de Bella-Vista; en esta parte se colocaron cajones de dimensiones mucho menores que las de los del rompeolas, que tienen 10 m. de largo, 7 m. de ancho en la parte inferior y 5,70 m. en la superior y 9,50 m. de altura; están fundados a 8,00 m. de profundidad y coronados por un macizo de hormigón, colocado en sitio; esta obra fué terminada hace unos 25 años y en los cajones, que es la parte que nos interesa, no se han notado señales que indiquen una descomposición del hormigón; por lo demás, vale para estos cajones la observación hecha para los anteriores acerca del efecto que podría producir en la obra cualquier alteración superficial de las paredes, porque el relleno es de la misma clase que el otro.

En resumen, por lo que se ha podido observar en las obras de este tipo hechas en Chile, cuya duración es cierto alcanza, hasta ahora a unos 25 años, no se han producido alteraciones que permitan fundar temores acerca de su comportamiento en el futuro más o menos cercano; pero será interesante examinar de cuando en cuando la parte visible de los cajones, principalmente por el lado expuesto al mar abierto, para ver si se notan avances en los desperfectos que se han notado hasta ahora o si permanecen más o menos invariables, lo que sería signo de que su causa ha sido el choque producido por algún cuerpo flotante.

Por lo que se refiere a las grandes columnas de hormigón armado, empleadas en los muelles que he indicado antes, no se han notado en ellas alteraciones dignas de mención, a pesar de que hace ya 28 años que fueron terminadas, en el de El Barón. Esto hace pensar que pueden resistir en buenas condiciones un tiempo bastante largo y que, si se las rellena con un material duradero, como el hormigón rico, se puede tener la confianza de que durarán todo el tiempo que sea necesario su uso; en caso que el relleno se hiciera con un material de menor resistencia a la acción posible del agua del mar, como un hormigón pobre, o con materiales sueltos, como la piedra o la arena, la destrucción de la envoltura, que podría producirse al cabo de un tiempo mayor que el considerado, dejaría expuesto el relleno a la destrucción más o menos rápida o al desaparecimiento, lo que tendría el efecto que hemos visto más atrás. Esto recomendaría no hacer la economía, en esta clase de obras, de reemplazar al hormigón rico por otro material de menor precio; por lo demás la economía que se puede obtener por este capítulo es mucho menor en las columnas que en los cajones monolíticos, porque la superficie de hormigón armado

es mucho mayor relativamente al volumen del relleno, y no vale la pena exponerse a un riesgo de mucha importancia, por conseguir una economía que no es tan grande.

Como se ve por las observaciones contenidas en los párrafos anteriores, aunque los estudios hechos, tanto en las obras mismas como en los laboratorios resulta que los cementos del tipo Portland son susceptibles de ser atacados por el agua del mar, cuando su composición química es favorable, se puede tener la confianza de que resistirán durante un tiempo muy largo, que puede estimarse como prácticamente indefinido, siempre que se adopten proporciones en la composición de los hormigones que aseguren una compacidad y una impermeabilidad suficientes y que el hormigón sea empleado en macizos de dimensiones bastante grandes, como los bloques artificiales de 50 o más toneladas de peso, que son actualmente de uso corriente, y tanto mejor cuanto más grande sea éste. Estas mismas consideraciones aconsejarían emplear el hormigón colocado bajo el agua del mar en estado fresco lo menos posible y sólo cuando alguna circunstancia desfavorable haga imposible el empleo del hormigón en bloques endurecidos de antemano, siendo entonces preferible la colocación del hormigón en sacos, para que haya menor peligro de que sea lavado por el agua del mar. En cuanto se refiere al empleo del hormigón armado, se ve que puede ser admitido en obras en que reemplaza a la madera, sin ningún inconveniente, aunque su duración no pueda ser garantizada sino por un tiempo limitado, pero superior en todo caso a la de la madera, aparte de las otras ventajas que presenta sobre este material; respecto al empleo del hormigón armado en los tableros de muelles y obras de la misma categoría, en reemplazo del acero, es decir de un material que es de duración bastante larga, si se le conserva de una manera adecuada, parece que no sea recomendable, porque también exige conservación y ésta es más difícil y más costosa que la del acero, y porque el hormigón armado no permite obtener una economía digna de ser tomada en cuenta. Finalmente este último material empleado en forma de grandes cajones o columnas, rellenos con hormigón rico, parece hasta ahora perfectamente recomendable, porque su duración se puede considerar tan larga como se necesite; menos seguro es el empleo del relleno de hormigón pobre en estas obras, y con mayor razón podría decirse lo mismo del relleno hecho con materiales sueltos, pero cuando su empleo pueda procurar una economía digna de ser puesta al frente de la menor garantía de duración, se puede correr el riesgo, aunque remoto tal vez, de una menor duración, como se ha hecho muchas veces y como se hace cada día con mayor frecuencia en todos los países constructores de obras en el mar. Se ve, como decía al principio que no hay en efecto contradicción entre los temores de que el cemento sea atacado por el agua de mar, temor reconocido por todos los Ingenieros que estudian esta cuestión, y las aplicaciones cada vez más numerosas del hormigón en macizos y en la forma de hormigón armado, en que el cemento se encuentra más expuesto a ser atacado, porque se le emplea en espesores muy reducidos y principalmente por la presencia de las armaduras, cuya oxidación es la causa principal de la alteración del hormigón mismo.
