



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

MORTEROS DE ALTAS PRESTACIONES CON ADITIVOS ANTI-DESLAVE PARA REPARACIONES BAJO AGUA

M. J. Segerer¹

¹ Presidente de Control y Desarrollo de Hormigones S.A. - Gutenberg 8115 Luján - Mendoza - ARGENTINA

RESUMEN

Para la reparación del aliviadero principal de una presa en Neuquén (Argentina), se realizaron numerosos estudios específicos de laboratorio para caracterizar los materiales a emplear. Este proyecto presenta condicionantes particulares, como lograr elevadas resistencias (> 40 MPa) y la imposibilidad de eliminar el agua por bombeo debiendo trabajar con agua. Además, no es factible la aplicación de puentes de adherencia, ni puede consolidarse el material de reparación o visualizar los resultados antes del desencofrado, una vez que ha fraguado el material de reparación. Se estudiaron diferentes mezclas cohesivas y la influencia de fibras plásticas y principalmente de aditivos anti-deslaves, de uso de casi nulo en Argentina. Se discute la influencia de distintos aditivos empleados en la resistencia anti-deslave de mezclas y la determinación de sus dosis óptimas. Para cuantificar la adherencia se realizaron modelos en laboratorio simulando condiciones de obra. La reparación se llevó a cabo a fines de 2011.

Palabras claves: Reparación bajo agua, aditivos anti-deslave, grouts de reparación, hormigonado bajo agua, ensayos de adherencia

ABSTRACT

Under water repairs: Characteristics of high-performance cement grouts with anti-washout admixtures

In order to repair the main spillway of a dam in the province of Neuquen (Argentina), specific lab tests were carried out to identify the materials to be used. There were numerous conditioning factors to this project, such as the need of obtaining high resistance concrete (> 40 MPa) and having to work under water since pumping it was not possible. This was made more difficult because it was not possible to use concrete bonding adhesives, nor could the repair material consolidate or the results be observed before removing the forms, once the material had set. Various cohesive mixes were tried, and the effect of using plastic fibers was studied, focusing especially on anti-washout admixtures, which are barely used in Argentina yet. The influence on the anti-washout resistance of the different types of admixtures employed in the mixes is discussed, together with the optimum dosage for each. Models simulating the building conditions were prepared allowing the quantification of adherence properties. These repairs were finished successfully towards the end of 2011.

Key words: under-water repairs, anti-washout admixtures, repair cement grouts, under-water concrete works, bonding testing

INTRODUCCIÓN

El trabajo tuvo como principal objetivo obtener una mezcla apta para la reparación de daños por erosión, previendo que aquélla se realizará en presencia de agua. El proyecto del cual forma parte es el de “Reparación de hormigones para la cresta y pilas del derivador, aguas arriba de las ataguías de mantenimiento”, sobre la presa Portezuelo Grande. En distintos relevamientos subacuáticos se detectaron daños y erosiones apreciables en diferentes vanos del azud (Figura 1). Estas erosiones se presentan en tabiques y en la rápida a 45° de la obra de derivación donde se realizarán las reparaciones (8 a 9 metros de profundidad). Las zonas erosionadas tienen dimensiones de 1 a 2 metros y espesores muy variables, con exposición de armaduras en muchos casos. Las armaduras se aprecian íntegras en el relevamiento subacuático. Respecto a la calidad del hormigón de la obra a reparar no pudieron obtenerse valores de resistencia u otros parámetros cuantificables; según testimonios de reparaciones anteriores “era muy difícil para remover con medios mecánicos”. El TMN es de 2” a 3”. Como otros datos de interés, pueden señalarse: la visibilidad bajo agua no es buena, las temperaturas promedio del agua presentan valores de 20 °C para febrero y 7 °C para junio.

El diseño de la mezcla juega un rol muy significativo en la eficiencia de la construcción, tanto desde el punto de vista técnico como económico. El hormigón y otras mezclas cementíceas colocadas bajo agua son inherentemente susceptibles al lavado del cemento, formación de lechadas indeseadas, segregación, juntas frías, entrapamiento de agua, posible baja adhesión al sustrato, entre otras, dificultando estas tareas ^{1 2}.



Figura 1. Daños típicos de erosión de la obra de referencia.

MATERIALES Y MEZCLAS EMPLEADAS

Por una gran cantidad de y debido al bajo volumen de las reparaciones y la dificultad de las mismas, se ha preferido trabajar con morteros cementíceos en bolsa.

- **Grouts o morteros cementíceos.** Se utilizaron 3 mezclas en bolsa comerciales. El denominado “Grout A” fue con el que se realizaron la mayor cantidad de ensayos debido a la performance superior que presentó. El “Grout B” se apreció como segregable y las resistencias a edades tempranas fueron del 10% del Grout “A”. El “Grout C” presenta tiempos iniciales de fragüe muy extendido, como así también resistencias a 24 horas muy inferiores a las del Grout “A”.
- **Aditivos empleados.** Se emplearon aditivos anti-deslave (manufacturados por el proveedor específicamente para el proyecto). Además, se verificó el comportamiento de un aditivo reductor de agua de muy alto rango (hiperfluidificante).
- **Agregado grueso.** En algunas mezclas se empleó gravilla de 9 mm en estado SSS, cuantificando sus efectos hasta un 30% del reemplazo del grout. El único efecto desfavorable fue la reducción de un 10% de la resistencia a compresión.

- **Fibras.** Se emplearon fibras de polipropileno de 12 mm, apreciando un muy buen comportamiento por el aporte de cohesividad y disminución de microfisuras. También se ensayaron pastones con fibras de acero, pero debido a las dificultades de inyección en obra (tuberías de 1 ½”) y la discusión en la bibliografía sobre su efecto benéfico en estructuras erosionadas ^{2 3}, no se profundizaron los estudios.

Los aditivos anti-deslave en las mezclas presentan las siguientes características ^{2 5 6}: ligan el agua libre en la mezcla y reducen la pérdida de materiales finos durante la colocación bajo agua; son polímeros solubles en agua que incrementan la viscosidad, también reduciendo la segregación; las dosis de aditivos no pueden ser muy elevadas para evitar la excesiva cohesividad y dificultad para trabajar las mezclas; y prácticamente no tienen exudación ya que toda el agua queda atrapada dentro de la mezcla.

ANÁLISIS DE ENSAYOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Consistencia, fluidez y tiempo de trabajabilidad de la mezcla fresca.

- Se propone un asentamiento de la mezcla fresca comprendido entre 15 y 21 cm; de esta manera se logra la fluidez necesaria para el colado, teniendo en cuenta las zonas a reparar y la forma de colocación por bombeo o inyección.
- El empleo de fibras de polipropileno y aditivos anti-deslave, no modifica de manera importante la fluidez a igualdad de demanda de agua.
- Para el Grout “A”, con contenidos de agua del 13 al 14%, empleando fibras de polipropileno y aditivo anti-deslave se obtuvieron asentamientos medios de 17 cm.
- Al incorporar gravilla en un 30% se aumentó la demanda de agua al 16%.
- Debe apreciarse el aspecto autocompactante de la mezcla fresca (ya que no se vibrará), aunque no es necesario que sea totalmente autonivelante, ya que para una fluidez demasiado elevada aumenta el riesgo de segregación.
- El tiempo abierto o “ventana de trabajo” del producto a la temperatura prevista durante la colocación, debe ser de al menos 15 minutos para las reparaciones.
- El tiempo abierto de trabajo con el Grout “A” se determinó en 10 a 20 minutos para temperaturas de 18°. Sin embargo, cuando se continuaba mezclando o remezclando el producto se incrementaba. Al momento de dejarlo en reposo en algún lugar por más de 10 minutos, se pierde completamente la trabajabilidad

Cohesividad y resistencia al deslave de la mezcla fresca.

El parámetro más crítico para este tipo de reparaciones, es el referido a la resistencia a la segregación de la mezcla fresca, para que cuando esté en contacto con el agua y fluya a través de ésta, no exista casi pérdida de material o alteración de las propiedades del mismo. Existen diferentes ensayos para cuantificar la cohesividad y resistencia al lavado de las mezclas coladas en agua. Si bien existen otros dos ensayos ^{1 5} para verificar la pérdida de material (resistencia a segregación con caída libre de forma visual y medición de pH y turbiedad del agua), se empleó por contar con mayores antecedentes, el ensayo CRD-C 61-89A del Cuerpo de Ingenieros de EE.UU. ^{6 7}. El procedimiento se resume a continuación (Figura 2). Se llena un cilindro metálico de 20 cm de diámetro con agua hasta una altura de 1,7 metros. Se determina la masa de un cesto (similar al de densidad de agregado grueso) con tapa y atándolo a una soga, colocando en ella una masa de mezcla fresca un poco superior a 2 kg. Se debe compactar con 10 golpes con la varilla de 10 mm y golpear al costado del recipiente con la misma. Se registra así la masa de mezcla en el recipiente, habiendo antes limpiado la pasta de

cemento que pueda aflorar por los orificios del recipiente. Se lo sostiene con la soga sobre el cilindro y se lo suelta, dejándolo caer libremente en el agua hasta el fondo del cilindro, dejándolo en esta posición bajo agua 15 seg. Luego se lo eleva con ayuda de la soga en un tiempo de 5 seg y se lo inclina levemente durante 2 min para determinar la masa remanente, sin que exista agua acumulada sobre ésta. Se realizan tres sumergidas sucesivas determinando en cada caso la masa de la mezcla remanente en el cesto.



Figura 2. Fotografías del ensayo para la resistencia al lavado de mezclas según CRD-C 61-89A.

Los resultados de ensayo que se presentan en la Figura 3 son para el Grout “A”, sin incorporación de gravilla, con incorporación de fibras al 0,1% del peso del grout y obteniendo un asentamiento próximo a 16 cm (14% de agua). Estas mezclas se ensayaron con los dos aditivos referenciados: anti-deslave e hiperfluidificante. En función de su análisis:

- Es recomendable el uso de fibras, en cantidades del orden del 0,10 a 0,15% en peso.
- Es recomendable el empleo de aditivos anti-deslave, para incrementar la resistencia al deslave. A priori, las dosis recomendadas oscilan entre el equivalente a 3,5 a 4,5 kg/m³ para las mezclas estudiadas. Al incrementar un 20% la dosis por encima del máximo, cae el efecto y es similar al caso cuando no se utiliza el aditivo anti-deslave.
- El aditivo hiperfluidificante no se considera apto para la aplicación, ya que no reduce la pérdida de material, sino que la incrementa de manera proporcional a su adición, con lo cual sería contraproducente su empleo en mezclas de reparación bajo agua.

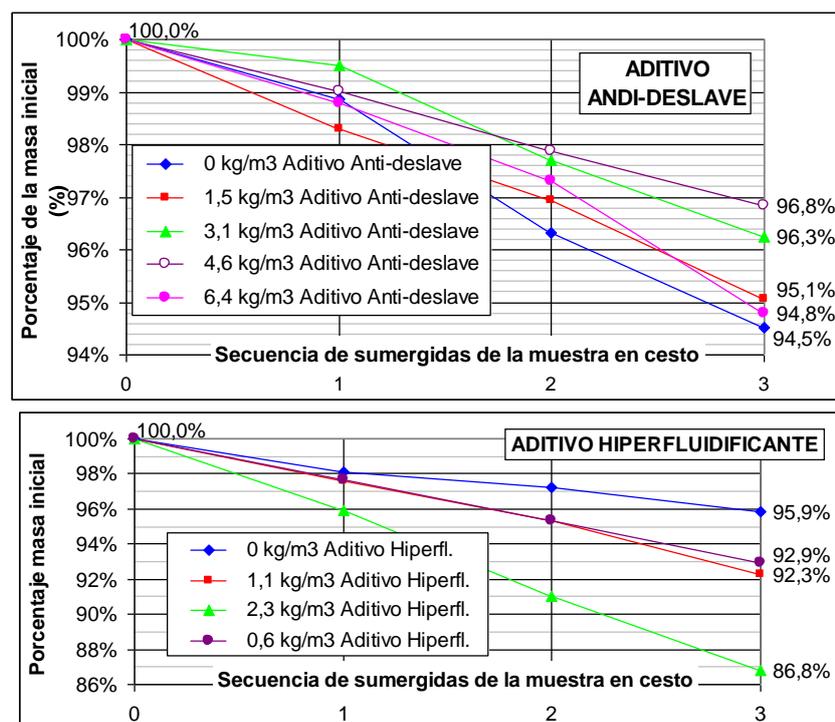


Figura 3. Resultados de ensayo de inmersiones en cesto según CRD-C 61-89A.

Tiempo inicial de fragüe en diferentes condiciones.

Para la determinación del tiempo inicial de fragüe se empleó la metodología de IRAM 1662; bien sea de ensayos al aire o bajo agua. La modelación de diferentes temperaturas se materializó sumergiendo las probetas en baño maría en pileta.

- Sobre varios ensayos de probetas al aire y sumergidas no existió una variación apreciable del tiempo inicial de fragüe, siendo levemente superior al aire, ya que el ambiente del aire permite elevar más la temperatura del grout.
- Los tiempos inicial de fragüe con los Grout “B” y “C” presentaron valores superiores a las 2 horas, con lo que se incrementa el riesgo de lavado e implica una lentitud en los trabajos
- Se estudió detalladamente para el Grout “A”, la influencia de la temperatura en el tiempo inicial de fragüe y la misma es muy importante (Figura 4).
- La incorporación de aditivos anti-deslave en diferentes proporciones no tuvo incidencia significativa en retrasar o acelerar el fragüe.
- Para variar el tiempo inicial de fragüe es factible su manejo mediante la temperatura inicial de la mezcla y del agua en contacto. Para ello en obra es recomendable brindar al grout una temperatura inicial entre 15 y 17 °C y dotar a los encofrados de espuma de poliuretano. Puede hacerse circular agua mediante la misma inyección a la temperatura deseada en la zona de colocación.

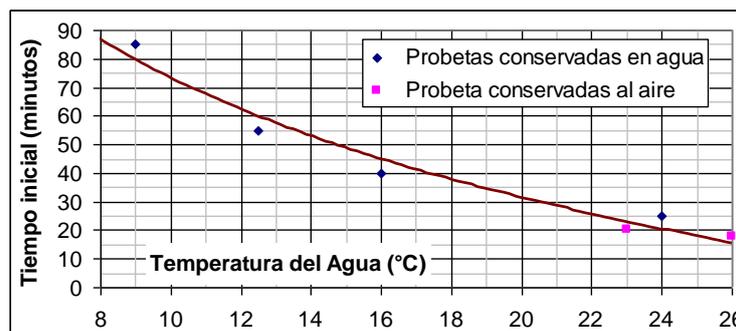


Figura 4. Resumen de principales valores de tiempo inicial de fragüe.

Ganancia de resistencias en primeras horas.

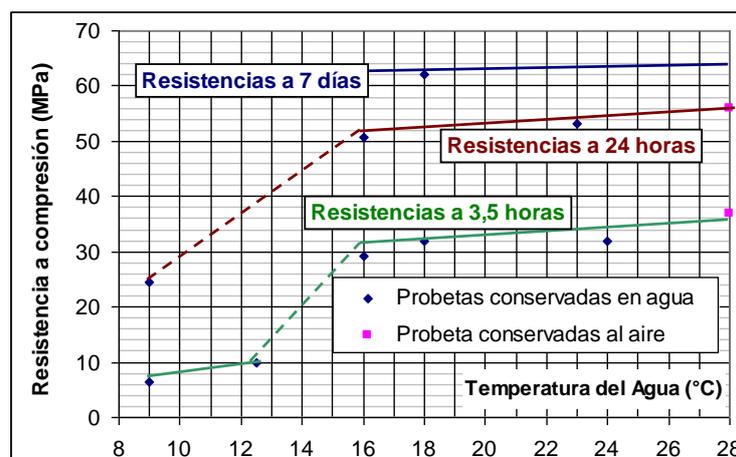


Figura 5. Resumen de principales valores de resistencias a compresión.

Para el moldeo de probetas se siguió la norma ASTM C-1019 sin consolidación interna. Para el moldeo de probetas en agua, se llenó el molde con agua y se colocó con la cuchara la mezcla y que desplazara el agua sin otra ayuda.

- **Efecto del moldeo al aire o al agua de las probetas.** La diferencia de probetas moldeadas al aire o en agua, fue del 10 a un 15% inferior para el caso del moldeo en agua. Asimismo, se moldearon probetas en seco con el remanente del ensayo de inmersiones, obteniendo bajas de resistencias del 14% respecto al moldeo en seco.
- **Efecto de las diferentes temperaturas de conservación de probetas y evolución.** En la Figura 5 se resume la relación entre ambos parámetros.
- **Efecto del aditivo anti-deslave en las resistencias.** Se moldeó una gran cantidad de probetas con aditivos anti-deslave no apreciando influencia en la resistencia.
- **Efecto de la incorporación del 30% de gravilla al grout.** Se apreció a la edad de 3,5 horas y 24 horas, una reducción del 15% de la resistencia a compresión.
- **Correlación con resistencia a tracción.** Se obtuvieron relaciones del 11% y 13% por tracción por compresión diametral, respecto a la resistencia a compresión.

Adherencia con sustratos previamente tratados.

Otro de los aspectos fundamentales, es garantizar la adherencia entre el material de reparación y el sustrato a reparar. Para la modelación en laboratorio (Figura 6), indispensable para verificar la adherencia con el sustrato, se procedió como se detalla:

- Se hormigonó y consolidó de forma convencional un volumen representativo con H-30 para la posterior extracción de testigos, con la mayor parte de la superficie plana y en un extremo un plano a 45°; curándolo con 10 cm de agua de forma continua hasta 28 días.
- Se procedió a la limpieza superficial con cepillo de alambre y después al martelinado con rotomartillo pequeño hasta lograr que los agregados queden expuestos quitando la capa superficial eliminando los restos de demolición. En obra, esta tarea la realizó buzos mediante la aplicación de hidrolavado a elevada presión (70 a 90 MPa).
- Con una capa de agua de 30 cm sobre el modelo, se preparó en hormigonera la mezcla escogida (grout “A”, 14% agua, 4,3 kg/m³ de anti-deslave y 0,12% fibras) y se vertió directamente sobre el hormigón preparado con la presencia de agua
- Se acomodó levemente con las manos para lograr las superficies necesarias para la posterior extracción de testigos, dejándolo en esta situación (bajo agua) 5 días

Para la metodología propuesta y que se asemeja bastante a la situación de obra, se extrajeron testigos cilíndricos para su posterior ensayo e inferir sobre su adherencia. Una primera observación es al extraer el testigo, el apreciar visualmente la zona de unión entre ambos materiales tanto en el testigo como en el taladro que queda al extraer la muestra del modelo. Siempre los testigos deben tener parte de ambos componentes: hormigón del sustrato y material de reparación. En la bibliografía ^{4 6}, figuran diferentes tipos de ensayo, pero aplicables a probetas o testigos cilíndricos, se pueden señalar como dos principales para juzgar la tensión de adherencia (Figura 7).



Figura 6. Preparación superficie del modelo y extracción de testigos.

Los ensayos sobre los testigos fueron realizados a la edad de 7 días de haber colado el material de reparación sobre el hormigón preparado superficialmente. Esta edad es coincidente con la propuesta para la liberación a sus funciones de la estructura reparada, desde el momento que se realice el colado del material de reparación.

- **Ensayo de adherencia por compresión en plano a 45°** (Testigo Figura 6). La tensión de adherencia por compresión (carga máxima dividido la sección elíptica del plano de unión) fue de 18,3 y 20,4 MPa en dos testigos. La rotura también fue como la descrita anteriormente. Ambos valores superaron holgadamente (del orden del doble) a la tensión mínima de 10 MPa fijada por la Norma ASTM C 882.
- **Ensayo de tracción por carga puntual en plano de unión de materiales.** La tensión de adherencia en dos ensayos sobre dos testigos diferentes, fueron de 1,8 y 2,1 MPa respectivamente (Carga dividido sección transversal del testigo). La rotura es mixta en el sentido que en ambos trozos de los testigos ensayados se observó una rotura tanto en el hormigón como en el grout de reparación.
- **Ensayo de compresión con plano a 90° de las tensiones de compresión.** La tensión de rotura a los 7 días fue de 36,4 MPa, comportándose como un único material.

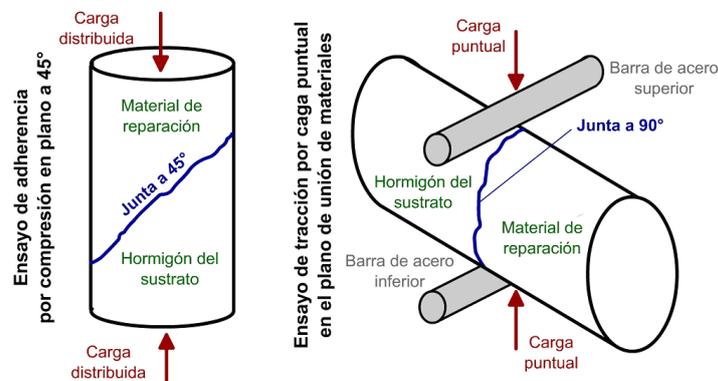


Figura 7. Ensayos escogidos para determinar la tensión de adherencia.

En función de los aspectos y resultados de ensayo, puede resumirse que:

- Mediante la extracción de testigos se verificó una muy buena compacidad del material de reparación, lo que asegura el carácter autocompactante sin necesidad de vibración
- Con el adecuado diseño de la mezcla de reparación y la muy buena preparación de superficies, no es necesario el empleo de puentes de adherencia. En todos los casos se presentó como mixta (hormigón y material de reparación) y no existió un “despegue”.
- Los valores de tensiones de adherencia se muestran como adecuados, presentando valores dos veces la tensión exigida por normas ASTM cuando se emplean puentes de adherencia.
- Se aprecia una buena correlación entre ellos, ya que para el ensayo de tracción por carga puntual se obtuvo una resistencia promedio de 2,0 MPa y para el de adherencia por compresión en plano a 45° una resistencia de 19,3 MPa.
- En el ensayo a compresión, se obtuvieron valores de resistencia a 7 días que permitirían caracterizar al hormigón + material de reparación como H-40.

Resistencia a la erosión y desgaste bajo agua de diferentes mezclas.

En el presente trabajo no se abordaron estudios de resistencia al desgaste y abrasión. Para la obra de referencia pero para otra tarea de reparación se realizaron numerosos ensayos de caracterización de estas propiedades, pudiendo reseñar según la referencia citada ⁸:

- Los grouts cementíceos presentan un comportamiento mejor que para hormigones de alta resistencia, en lo que respecta a pérdida de masa por erosión bajo agua ⁸.

- Aunque los productos de base epoxídica presentan un mejor comportamiento, no serían adecuados para la obra de referencia por criterios técnicos (espesores de reparación muy superiores a los 7-10 cm recomendados para epoxis y posibilidad de incompatibilidad en módulos de elasticidad o comportamiento térmico).
- Se considera que con una resistencia de 50 MPa de probetas moleadas “en agua”, se obtendrá una adecuada performance, cumpliendo con los requisitos recomendados. Para ello se deberá prever resistencias de 60 MPa en probetas moldeadas “al aire”.

CONCLUSIONES

- En función de los requerimientos de la obra a reparar, se considera como conveniente el empleo de grouts cementíceos y sistema de inyección o bombeo para colocarlos.
- Son recomendables asentamientos de 15 a 21 cm para su adecuada colocación sin necesidad de vibración, evitando mayor fluidez que pudiera segregar la mezcla.
- El tiempo abierto o “ventana de trabajo” del producto de reparación a la temperatura prevista durante la colocación, debe ser entre 15 y 30 minutos.
- Es recomendable el empleo de fibras de polipropileno para mejorar la cohesividad.
- Es muy benéfico el empleo de aditivos anti-deslave en dosis óptimas, determinadas mediante ensayos previos con los materiales a emplear en la reparación.
- Los aditivos hiperfluidificantes no presentan resultados adecuados para la reparación bajo agua, es más, su incorporación es contraproducente.
- El tiempo inicial de fragüe varía con la temperatura inicial y del ambiente en contacto durante las primeras horas, con lo cual es un parámetro a tener en cuenta en las prácticas constructivas; apreciando mejores resultados con temperaturas de 15-17 °C
- Para reparaciones bajo agua, se recomienda trabajar con mezclas de resistencia de 50 a 60 MPa, debido a que la baja de resistencias de probetas moldeadas en agua es del 10 al 15%, necesitando al menos una categoría H-40 para estructuras sometidas a la abrasión.
- Se lograron adecuadas adherencias con el sustrato de hormigón sin la aplicación de productos específicos como puentes de adherencia.
- Los dos ensayos realizados en la modelación de laboratorio para cuantificar la adherencia, brindaron resultados positivos y correlacionados entre sí, considerando la evaluación de realizar los dos ensayos debido a su simplicidad de ejecución.
- Aunque no se incluya en el trabajo y será objeto de otra presentación, las tareas de reparación se llevaron a cabo hace pocos meses con éxito.

REFERENCIAS

- 1 McLeish A., “Underwater concreting and repair”, Halsted Press, Toronto, (1994)
- 2 ACI 546.2R-06, “Guide to underwater repair of concrete”, American Concrete Inst., (2006)
- 3 ACI 210.1R-94, “Compendium of case histories on repair of erosion-damaged concrete in hydraulic structures”, American Concrete Institute, (1999)
- 4 Neeley B., Saucier K., Thornton T., “Laboratory evaluation of concrete mixtures and techniques for underwater repairs”, Report REMR-CS-34, Army Corps of Engineers, (1991)
- 5 REMR Technical CS-MR-7.2, “Antiwashout admixtures for underwater concrete), (1991)
- 6 CRD-C 661-06, “Specification antiwashout admixtures”, Army Corps of Engineers, (2006)
- 7 CRD-C 61-89A, “Test method for determining the resistance of freshly mixed concrete to washing out in water”, U. S. Army Corps of Engineers, (1989)
- 8 Fernández C., Pisani G., “Materiales para la reparación del vertedero de Portezuelo Grande”, Comité de Grandes Presas – Instituto Tecnológico del Hormigón (ITH), (2010)