

CONCRETO ANTIDESLAVE: RETOS DE CONSTRUCCIÓN BAJO EL AGUA



Por *Criss Talita Zanelli Flores,*
Leandro Giovanni Fernandez
(Miebrs del capítulo de estudiantes
ACI - PUCP)

Con el transcurrir del tiempo, aumenta la complejidad de las estructuras por construir en distintos lugares del planeta, desde gigantescos edificios en altura hasta majestuosas obras de infraestructura como puentes, túneles, autopistas, presas, complejos hidráulicos, entre muchas otras. Las dificultades que plantean no se superan únicamente en el diseño estructural, sino también en el campo de la construcción y, por ende, en el desarrollo de materiales más robustos que sean capaces de satisfacer los más exigentes requerimientos técnicos.

En líneas generales, muchas de las estructuras que se construyen hoy en día enfrentan en algún momento las dificultades propias de vaciar concreto en condiciones adversas, específicamente, cuando deben tener contacto directo, y a veces prolongado con el agua, tanto de manera estática como en movimiento. Tal es el caso, cada vez más común, de la construcción de cimentaciones profundas como pilotes¹, bases para muelles y plataformas marinas, aunque también la construcción en tierra con afluencia de acuíferos² superficiales o subterráneos es bastante frecuente.

Hace muchos años que las construcciones bajo agua utilizan el concreto como principal material estructural, pero en general su diseño ha considerado que existan pérdidas de resistencia derivadas del lavado de finos



(cementantes y agregados finos) durante el contacto con el agua. Siendo así, las mezclas suelen sobrediseñarse; por consiguiente, aumentan su costo y la incertidumbre sobre el comportamiento final del concreto.

La principal manera de superar este problema ha sido el uso de aditivos químicos cuya evolución ha permitido, desde finales del siglo XX hasta la fecha, aumentar la viscosidad y cohesión del concreto. Como consecuencia de ello, se mejora significativamente su resistencia a la segregación, en especial cuando se combina con aditivos superplastificantes que permiten lograr la autocompactación y autonivelación; al final, se crea un concreto de alto comportamiento.

Si la estructura se encuentra en condiciones desfavorables de ejecución o requiere construirse en sitios de difícil acceso donde existen situaciones perjudiciales para el concreto fresco (como sitios inundados o bajo el agua), y se necesita garantizar durabilidad de la estructura evitando, por ejemplo, la colocación de pilotes hincados³ prefabricados, lo que disminuye costos por procesos complicados de colocación, el concreto antideslave⁴ es la mejor alternativa.

Los materiales y el producto final son controlados y ensayados de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones y el código ACI 318. Estos cumplen con las expectativas de falla y criterios de aceptación establecidos por dichos documentos.





VENTAJAS

- Existe elevada acción tixotrópica⁵, propiedad que le impide deslavarse al ser colocado bajo el agua.
- No se modifican los contenidos de agua en la mezcla.
- Reduce el deslave de finos en la pasta durante el proceso de colocación.
- Reduce el impacto ambiental marino, debido a que la pasta del concreto no se dispersa en el agua, lo cual evita la destrucción de los ecosistemas marinos.
- Disminuye y controla el sangrado⁶ y la segregación.
- Su trabajabilidad es muy elevada.
- Permite la reducción de mano de obra y plazos de ejecución de obra.
- Reduce o elimina costos operacionales de drenaje.
- Es bombeable y mantiene el tiempo de fraguado de un concreto convencional.
- No requiere equipos especiales para su colocación.

DATOS TÉCNICOS

- Revenimiento⁷ desde 10 cm, compatible con autocompactable
- Peso unitario entre 2,200 y 2,400 kg/m³
- Fraguado inicial de 4 a 6 horas
- Resistencia a la compresión a 28 días desde 200 kg/cm²
- Pérdida de masa en prueba de lavado menores al 2% en comparación al 15% de pérdida de un concreto convencional

PROPIEDADES

Teniendo en cuenta que el concreto enfrenta una situación adversa, especialmente durante su colocación, y que, por ello, se le deben agregar aditivos químicos especiales que garanticen un adecuado transporte, compactación, resistencia y durabilidad, sus propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido resultan afectadas; ante ello, cobran importancia el diseño de mezclas y la validación previa en laboratorio.

Al diseñar un concreto bajo agua, debe tenerse especial cuidado en que las propiedades específicas que se están dando al concreto sean las necesarias, pues los requerimientos de exposición son, por lo general, mucho más exigentes en cuanto a dosificaciones que los requerimientos de resistencia.

Las características generales de este concreto son las siguientes:

- El concreto que ha sido diseñado para aplicaciones bajo el agua normalmente se dosifica con un revenimiento de 200-250 mm (8-10 in).
- Relación a/c máxima de 0.40. Sin embargo, pueden considerarse satisfactorias las relaciones a/c de 0.45.
- Cantidad de cemento entre 400 y 600 kg/m³, aunque reportes como el ACI 304R mencionan cantidades inferiores cercanas a los 360 kg/m³. La utilización de cementos puzolánicos o de adiciones puzolánicas en el concreto cobran importancia por su mejora en la fluidez de la mezcla y por el aumento significativo en la durabilidad del elemento estructural.

Según el ACI 304R, se recomienda que el contenido de agregado fino sea en volumen entre 45 % y 55 %.

Además de los aditivos plastificantes y superplastificantes convencionales, destinados principalmente a controlar el contenido de agua en la mezcla y los tiempos de fraguado, el concreto antideslave utiliza aditivos especiales destinados a controlar su viscosidad con el fin de evitar el lavado de los finos, especialmente si el concreto se vacía cuando el agua está en movimiento. Debe considerarse que, a mayor dosis de este tipo de aditivos, mayor será su costo; sin embargo, mayor será su resistencia a la pérdida de finos.

La tabla 1 presenta las características, ensayos y algunas observaciones de las propiedades del concreto antideslave.

Básicamente se busca determinar la pérdida de finos de una mezcla de concreto una vez que se ha sometido a un proceso físico de contacto con el agua. La norma del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps) indica que se requiere de un tubo cilíndrico de plástico con las siguientes dimensiones:

- Diámetro interior = 190 mm ± 2mm
- Diámetro exterior = 200 mm ± 2mm
- Altura = 2.000 mm ± 2mm

Asimismo, se requiere un recipiente cilíndrico de acero inoxidable perforado con espesor nominal de 1,4 mm. Este recipiente debe tener diámetro de 130 mm ± 2mm y altura de 120 mm ± 2mm. Son necesarios otros elementos menores como una soga (longitud mínima 2,5 m), una balanza y una varilla de diámetro 10 mm y longitud 300 mm.

APLICACIONES

El procedimiento de ensayo comienza llenando con agua el tubo cilíndrico de plástico a una altura de 1.700 mm ± 5 mm. Luego, se mide el peso vacío del recipiente metálico perforado. Este se llena con concreto fresco con una masa que supere ligeramente los 2.000 g, se compacta 10 veces con la varilla de acero y con la misma se golpea el exterior del recipiente de 10 a 15 veces. Posteriormente, se retira el exceso de concreto y se registra la masa inicial (Mi), que debe tener un rango de 2.000 g ± 20 g. Se amarra la cuerda a la tapa superior del recipiente cilíndrico, el cual se deja caer libremente hasta el fondo del tubo cilíndrico con agua. Luego de 15 segundos de inmersión, se saca la muestra por la parte superior en un tiempo de 5 segundos, y se deja al aire libre por 2 minutos, inclinándola levemente para sacar el exceso del agua; la operación debe realizarse tres veces. Por último, se registra la masa final (Mf) y se efectúa el cálculo según la siguiente fórmula:

$$D = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

D = Porcentaje de lavado, %

Mi = Masa inicial, gramos

Mf = Masa final después de cada ensayo, gramos

Este método permite evaluar las diferentes estrategias aplicadas al diseño de mezclas, como la variación en los contenidos de cementantes, la variación en los contenidos de agregados finos y, por supuesto, lo más importante, los tipos de aditivos modificadores de viscosidad y sus respectivas dosificaciones.

Se ha utilizado concreto antideslave en grandes obras de ingeniería como las bases del Puente Akashi Kaikyo (Japón), las fundaciones de los puentes de conexión al nuevo aeropuerto internacional de Kansai (Japón), el puente de conexión a Ciudad del Carmen en Campeche (México) y las reparaciones de la presa Braddock sobre el río Monongahela en Pittsburgh, Pennsylvania (Estados Unidos), entre otros. Son muchas las estructuras en que este material puede ser útil: diques, malecones, plataformas costeras, puertos, estructuras de puentes, estructuras hidráulicas, construcción de ataguías, cajones de cimentación, etc.

1. **Pilote.** Madero rollizo armado frecuentemente de una punta de hierro, que se hinca en tierra para consolidar los cimientos.
2. **Acuíferos.** Dicho de una capa o vena subterránea: Que contiene agua.
3. **Pilotes hincados.** Elementos prefabricados de concreto similares a postes, colocados verticalmente sobre la superficie del terreno y posteriormente anclados en el piso a base de golpes
4. **Tixotrópica.** Proveniente de la palabra tixotropía: propiedad de algunos fluidos que muestran un cambio de su viscosidad o resistencia en el tiempo.
5. **Sangrado.** Tendencia del agua a separarse de los otros componentes del concreto subir hasta la parte superior.
6. **Revenimiento.** Medida del asentamiento del concreto después de ser sometido a la prueba del cono de Abrahams. Esta medida refleja qué tan trabajable es la mezcla.

Característica	Consideraciones de ensayo aplicables	Observaciones
Manejabilidad	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto	Debido a que la cohesividad aumenta significativamente en el concreto, la pérdida de asentamiento en el tiempo es menor. Su apariencia es la de un fluido gelatinoso.
Tiempo de fraguado	Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración.	Es normal que aumente el tiempo de fraguado. En el caso de requerirse un fraguado más rápido, no se recomienda combinarlo con acelerantes con cloruros cuando el concreto se ha de colocar en ambiente marino.
Contenido de aire	Determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método de presión.	Tiende a aumentar ligeramente, pero mantiene los niveles normales, alrededor de 5%.
Resistencia	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.	Tiende a disminuir; por lo tanto, se recomienda la combinación con aditivos superplastificantes para recuperar la resistencia.
Pérdida de finos	CRD-C 61-06. US Army Corps of Engineers. Test method for determining the resistance of freshly mixed concrete to washing out in water. BS 8443:2005. British Standard. Specification for establishing the suitability of special purpose concrete admixture.	Permite cumplir, e inclusive exceder significativamente, el máximo permitido en la norma BS 8443 que equivale al 15% de pérdida de finos. Varios reportes indican que es posible llegar a niveles inferiores al 5%.
Durabilidad	ASTM C1202:12. Standard test method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Penetration. ASTM C1012. Método de ensayo para determinar el cambio longitudinal de morteros de cemento hidráulico.	Siempre y cuando se mantengan las provisiones o cuidados en el diseño de mezclas según las normas técnicas (ACI 201.2R) para cuando existan ambientes agresivos (por ejemplo, sulfatos y cloruros del agua marina), el concreto antideslave mantiene las propiedades de durabilidad deseadas.