HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO, CASO DE ESTUDIO: HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Gloria A. Ramírez Ordóñez Ing. (1), Lady V. Salazar Narváez Ing. (2)
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (1) (2)
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL) (1) (2)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral (1) (2)
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador (1) (2)
gramirez@interagua.com.ec (1), lsalazar@interagua.com.ec (2)

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo dar a conocer las ventajas del empleo de hormigones de alto desempeño, específicamente del hormigón autocompactante, en la construcción de grandes estructuras, densamente armadas, que requieren desarrollar altas resistencias a corto plazo, rapidez de colocación, reducción de ruido por la ausencia de vibrado y minimizar los posibles riesgos de lesiones por parte de los operarios de la obra.

El Hormigón Autocompactante nace en el año de 1986 en Japón, por los requerimientos específicos de dicho país, como zona de gran influencia sísmica y espacio limitado para construir en las grandes ciudades, donde eran necesarias edificaciones de gran altura. Inicialmente los costos de producción de este tipo de hormigón eran elevados, pero gracias al avance de la tecnología y la creación de aditivos de última generación, el hormigón autocompactante puede ser utilizado en diversos tipos de obras a un costo global menor.

Las características principales del HAC son: la autocompactación, altas resistencias, baja relación agua/cemento, alta impermeabilidad, alta durabilidad y excelente fluidez sin segregación. Los materiales que componen el Hormigón Autocompactante son de suma importancia para lograr las características requeridas de acuerdo al diseño. HAC contiene como materiales necesarios para su mezcla los siguientes: alta cantidad de finos (áridos finos y fillers), cemento, agua, superfluidificantes (reductores de agua de alto rango) y dependiendo del requerimiento es también usado un agente modificador de viscosidad.

Las aplicaciones del HAC van desde la ejecución de losas en edificaciones de gran altura hasta la aplicación en elementos arquitectónicos y estructuras complejas.

Palabras claves: *Hormigón Autocompactante, agentes modificadores de viscosidad, superplastificantes, concreto estructural.*

Abstract

This research has as an objective to give to know about the advantages of using High Development Concrete, specifically Self Compacting Concrete (SCC), at reinforced concrete structures with high steel density, which require to develop high resistance in the short term, fast application, noise reduction for vibration absence, and minimizing possible workman injury risks.

Self Compacting Concrete was born on 1986 at Japan, because of high seismic performance requirements and reduced space to build in big cities, where there were necessary to build tall structures. At the very beginning the cost production of this concrete type was high, but the technological advances and the creation of last generation additives have transformed the use of this concrete to several kinds of constructions at low global cost.

The main characteristics of SCC are: self- compacting, high resistances, low water/cement ratio, high impermeability, high toughness and excellent fluidity without segregation. The materials that compound Self Compacting Concrete are of very importance in order to obtain the required characteristics for a specific design. SCC contains as necessary materials for your mix the next one: large quantities of fine aggregates (particles smaller and fillers), cement, water, superplasticizings (high-range water-reducing, HRWR) and depending the requirement too is used some viscosity-modifying admixtures.

The application of Self Compacting Concrete to go since slabs in tall building until the application in architectonical elements and complex structures.

***Keywords**: Self compacting concrete, viscosity modifying admixtures, superplasticiser, structural concrete.*

1. Introducción

Los Hormigones Autocompactantes son hormigones de ultima generación, se consiguen gracias a la inclusión de aditivos hiperfluidificantes que logran reducir la relación agua - cemento, la reducción de agua está entorno al 30%, su alta fluidez ganada gracias a los aditivos hace que pueda ser vaciado por su propio peso y a la vez capaz de rellenar los encofrados sin vibración consiguiendo una buena consolidación sin producirse exudación ni segregación, de ahí el nombre de Hormigón Autocompactante.

El hormigón autocompactante tuvo su origen en la Universidad de Tokio en Japón en 1986 y su desarrollo fue motivado por preocupaciones respecto a la homogeneidad y la consolidación del hormigón colocado en estructuras intrincadas y muy reforzadas. Más allá de lo esperado, el hormigón autocompactante pronto mostró claras ventajas en la construcción de muros delgados y de elementos con acceso limitado, ahorros al reducir requisitos de equipo y mano de obra e incluso mejoras en el comportamiento de los elementos, entre muchas otras. En la actualidad el hormigón autocompactante es considerado como un “hormigón especial”, pero se cree que a medida que se vayan difundiendo sus ventajas y se expanda su uso, se transformará en el estándar del futuro.

Como complemento a las cualidades técnicas que presenta el hormigón autocompactante, esta tecnología permite mejorar aspectos como: reparaciones por falta de consolidación, entregar terminaciones más acabadas, reducir los espesores en el diseño de las estructuras y eliminar el ruido derivado de los equipos de vibración, mejorando con ello el ambiente de trabajo y las condiciones de salud y seguridad del personal.

2. Componentes del HAC

El Hormigón Autocompactante contiene como materiales necesarios para su mezcla los siguientes: alta cantidad de finos (áridos finos y fillers), cemento, agua, superfluidificantes y dependiendo del diseño, un agente modificador de viscosidad.

2.1. Aridos

Para que un hormigón fluya adecuadamente como autocompactante, la cantidad adecuada de finos menos de 100 micras, debe ser de unos 550-600 Kg/m3; esa cantidad tan alta produce una elevada compacidad, dicha compacidad nos producirá altas resistencias a todas las edades.

Los finos necesarios para fabricar hormigones autocompactantes, podrían ser de diferente naturaleza (arenas calizas, cemento, cenizas volantes, filler calizo, metacaolín, humo de sílice, etc.)

2.2. Materiales Cementicios

De los diferentes materiales posibles el filler calizo, sería en una relación costo/efectividad el más adecuado para la fabricación industrial de los hormigones autocompactantes. Dicho filler nos demanda agua y si no dispusiéramos de potentes superfluidificantes estos hormigones tendrían resistencias muy bajas al ser muy altas las relaciones A/C. Por esa razón, su aparición coincide con la aparición de los policarboxilatos.

2.3. Relación Agua/Cemento

Optimizar el consumo de cemento manteniendo inalterados ó mejorados parámetros tales como la relación A/C, es posible conseguirlo gracias al empleo de aditivos, estos son fundamentales para asegurar la durabilidad del hormigón.

No obstante, la introducción de esos aditivos requiere de unos procedimientos que deben ser seguidos, para evitar algunos de sus inconvenientes.

Cuando se habla de optimizar el consumo de cemento, parece que lo que se oculta detrás es quitar cemento de la formulación. Pero esta acepción implica algo más que eso. La utilización de un exceso de cemento en las formulaciones no es beneficioso para el hormigón. De hecho, en los hormigones de alta resistencia, los principales problemas que encontraremos en su elaboración, vienen marcados precisamente por el elevado contendido en cemento. Los controles en cuanto a su fabricación, curado, retracciones etc., son mucho más rigurosos.

2.4. Aditivos

Los últimos desarrollos que se han producido en aditivos de hormigón basados en polímeros de tipo vinílico y, más tarde de tipo carboxilato han permitido producir hormigones de alto desempeño y, entre ellos el hormigón autocompactante ya que se ha confirmado su superior comportamiento comparado con aditivos tradicionalmente mas utilizados.

En la tecnología del hormigón autocompactante, para conseguir una fluidez adecuada y evitar segregaciones, debe encontrarse un diseño de mezcla con una granulometría equilibrada y un aporte de finos adicional (< 100 micrómetros) y el uso de un aditivo superplastificante que proporcione una trabajabilidad larga al hormigón junto con una alta reducción de agua. Como no siempre los constituyentes del hormigón son los adecuados, a veces es importante la combinación con aditivos especiales llamados agentes de viscosidad. Estos productos no son nuevos en el mercado y son bien conocidos, basándose en tecnologías ya establecidas en la mayoría de los casos.

Los desarrollos de nuevos aditivos se centran ahora en el aumento de la producción y calidad del hormigón. Las nuevas generaciones de aditivos permitirán la utilización de productos con un equilibrio controlado entre la manejabilidad y las resistencias a primeras edades.

2.4.1. Superfluidificantes

Los plastificantes y superplastificantes son los productos más numerosos y ampliamente utilizados. Estos pueden clasificarse en las siguientes categorías:

1. Lignosulfonatos
2. Naftalénsulfonatos
3. Melamina-sulfonado policondensados
4. Copolímeros Vinílicos (Tecnología Sika)
5. Policarboxilatos

De forma general, se enumeran a continuación las características principales de los distintos tipos de aditivos plastificantes:

1. Lignosulfonatos.

Pertenecen a la primera generación de aditivos plastificantes para el hormigón. Probablemente, son aún los más utilizados dentro de la tecnología simple de aditivos. Se extraen del proceso de producción de celulosa y de la industria del papel.

Se consigue una reducción de agua de aproximadamente el 10%. Debido a la presencia de sustancias reductoras, tienden a producir retrasos en el fraguado del hormigón cuando se usan a altas dosificaciones y esto puede tener un efecto negativo en el desarrollo de resistencias.

2. Naftalénsulfonatos

Son parte de la segunda generación de plastificantes para hormigón. La materia prima se extrae del proceso de refinado del carbón. Proporcionan una reducción de agua de hasta 25%. Debido a su estructura molecular hidrofóbica, tienden a generar espumas que pueden traducirse en la incorporación de algo de aire en el hormigón. Sin embargo, ofrecen una eficiente reducción de agua comparados con los lignosulfonatos.

3. Melaminasulfonatos.

Se clasifican también dentro de la segunda generación de aditivos y están basados en polímeros sintéticos. La reducción de agua es similar al naftaleno, pero las resistencias a edades tempranas son aquí más altas. Puede ocurrir que a bajas relaciones agua/cemento, se produzca un flujo viscoso.

4. Copolímeros vinílicos.

Son aditivos superplastificantes de tercera generación y se trata de una tecnología única de Sika. Estos polímeros sintéticos poseen moléculas de mayor tamaño que los anteriores citados, proporcionando un efecto plastificante mayor, la dispersión de las partículas de cemento es mucho más efectiva y así proporciona una mayor reducción de agua (alrededor del 30%) dando al hormigón mayores resistencias mecánicas. En este tipo de superplastificantes se alcanza una relación óptima costo/comportamiento, cuando se compara con los aditivos de tipo carboxilato, de mayor costo. Este tipo de aditivos es válido para la confección de hormigones autocompactantes debido a que se logra una alta manejabilidad del hormigón.

5. Policarboxilatos.

Pertenecen a la última generación de superplastificantes. Químicamente se basan en copolímeros de ácido acrílico y grupos éter de ácido acrílico y poseen cadenas laterales a diferencia de los plastificantes tradicionales (macromolécula tipo peine). Se alcanza una reducción de agua de hasta el 40% combinado con una manejabilidad controlada y desarrollo de resistencias mecánicas tempranas. Estas características ofrecen nuevas aplicaciones.

Estas tecnologías se utilizan muchas veces en combinación. Los aditivos tradicionales se basan en un efecto de dispersión. La molécula de aditivo tiene una estructura de dipolo con grupos cargados negativamente. Estas moléculas se adsorben en las partículas de cemento y les dotan así de carga negativa, haciendo que las partículas de cemento se repelan entre sí. Al pasar el tiempo, progresa la hidratación del cemento y las moléculas de aditivo llegan a cubrirse por los productos de hidratación y entonces deja de haber un efecto de dispersión.

En el caso de la nueva generación de aditivos, ya con el tipo vinílico, pero especialmente con los carboxilatos, no sólo se produce un efecto de dispersión sino también un efecto estérico. Como estos aditivos se basan en moléculas complejas con un alto grado de flexibilidad, y comprenden diferentes grupos funcionales y con diferentes longitudes de cadena. Las largas cadenas laterales crecen más allá de los productos de hidratación del cemento formados, proporcionando un mayor efecto de dispersión. Estas cadenas laterales son responsables del efecto estérico e interaccionan con el agua. Al transcurrir el tiempo, una segunda molécula se hace activa mediante el mismo efecto estérico, y así se logra una actividad más duradera en el tiempo.

Por este motivo, estas nuevas generaciones de aditivos son especialmente adecuadas para la elaboración de hormigón autocompactante.

2.4.2. Agentes de viscocidad.

Como aditivos complementarios para la confección de hormigón autocompactante suelen utilizarse los llamados agentes de viscosidad. Estos productos se hacen necesarios cuando no se cuenta con los materiales más adecuados para obtener un hormigón de características adecuadas de fluidez y cohesión o cuando la mezcla de hormigón ha variado desde su diseño hasta su ejecución por diversos motivos y se producen segregaciones por exceso de agua. En estos casos, adición de pequeñas cantidades de estos aditivos, dotan al hormigón de cohesión. Estos productos, como ya se ha citado, no responden a una nueva tecnología, sino que productos ya existentes para otros usos han encontrado aquí una nueva aplicación, aunque también han surgido nuevos desarrollos de sustancias específicas para esta función. De forma general, pueden dividirse en los siguientes grupos:
Éteres de celulosa, micro/nano sílices y sílices coloidales, los llamados biopolímeros basados en gomas naturales, óxidos de polietileno y varias formulaciones algo más innovadoras, pero con este mecanismo de funcionamiento en el sistema de hormigón.

Algunos de ellos presentan un costo elevado y otras características desfavorables como alta viscosidad, altas dosificaciones, corta vida útil, etc. y se están realizando nuevos desarrollos actuales en el sentido de buscar otras alternativas.

3. Aplicaciones de HAC

El hormigón Autocompactante se emplea en:

- Puentes.
- Obras que necesiten una rápida colocación el hormigón, con mayores rendimientos de mano de obra y reducción de equipos.
- Revestimientos de túneles.
- Obras donde no sea posible vibrar o sólo se permita una mínima compactación.
- Rellenos de difícil acceso.
- Diseños arquitectónicos con superficies complejas, que necesiten un excelente acabado, etc.

En el sector del prefabricado de hormigón es donde el empleo del HAC se ha consolidado con mayor rapidez, fundamentalmente porque la evaluación de costos de producción de hormigón y de ejecución es más sencilla y permite apreciar rápidamente las ventajas económicas del hormigón autocompactante

También por supuesto por lo que representa para el ambiente de trabajo, eliminando por completo el constante ruido de los vibradores (reduciendo los riesgos laborales a largo plazo) y también por la mejora de la calidad del producto, especialmente por los mejores acabados que se obtienen.

En países como Holanda el HAC ha alcanzado cuotas de uso cercanas al 70%, y con una tendencia aun creciente.

En España el sector del prefabricado de hormigón también ha sido pionero en la consolidación del uso del HAC. Su cuota de utilización se estima cercana al 20% y con una progresión ascendente, confirmándose que el empleo del HAC aporta ventajas en reducción de plazos de ejecución, calidad del producto final y mejora de las condiciones de trabajo.

El HAC destinado para aplicaciones convencionales, además de la mejora del ambiente de trabajo y de la durabilidad de la estructura, repercute en un ahorro económico debido a la trascendente reducción del tiempo de colocación (incremento de la capacidad productiva) y a la menor implicación de mano de obra.

3.1. Aplicación en Losas

Una de las más exitosas aplicaciones para el HAC ha resultado ser la ejecución de losas. Especialmente para la ejecución de losas en edificación, por el hecho de representar una aplicación muy frecuente, el HAC se reafirma como un hormigón de uso cotidiano, donde a pesar de su superior costo, ofrece suficientes argumentos y ventajas para resultar en el global un hormigón mucho más económico que el convencional.

Las principales ventajas en esta aplicación son las siguientes:

- Menor implicación de mano de obra para la colocación del hormigón.
- Aplicación mucho más rápida, incluso con menos mano de obra.
- Mejor calidad de la estructura final.
- Mayor resistencia mecánica.
- Eliminación de ruidos y mejorar del entorno de trabajo.

Para el HAC destinado a losas no son necesarias atenciones especiales para el diseño de éste. Que cumpla con las mínimas condiciones de autocompactabilidad (Slump-flow, L-Box, V-Funnel…) es suficiente para obtener un resultado satisfactorio.

Sin embargo, si deberá prestarse atención especial con la estanqueidad del encofrado para evitar fugas de pasta de cemento y en la estabilidad y resistencia de éste, ya que la presión ejercida por el HAC sobre el encofrado es superior a la del hormigón convencional.

La gran ventaja del uso del HAC en la ejecución de losas recae en el significativo ahorro de operarios y a su vez en la reducción del tiempo de aplicación (ver Tabla II). La reducción en el tiempo de aplicación dependerá del método de hormigonado seguido, oscilando aproximadamente entre el 30% y el 40% menos del tiempo necesario con hormigón convencional.

Un equipo de dos operarios es suficiente para completar la ejecución de una losa con HAC: uno encargado del vertido del hormigón y otro ayudando en el extendido. Para las operaciones de alisado no es necesaria la regla vibrante. Aplicando unos ligeros toques con una barra horizontal en la superficie del hormigón extendido se consigue hundir el árido grueso y obtener una superficie completamente lisa.

En el caso del vertido del hormigón mediante cubeta, para aumentar al máximo el rendimiento productivo, esta operación debería realizarse mientras se está rellenando de nuevo la cubeta de hormigón.

Al igual que con el hormigón convencional, en estructuras de elevada relación superficie/volumen el curado es sumamente importante para minimizar la retracción del hormigón, especialmente ante condiciones adversas (calor, viento, baja humedad, etc.). El curado con agentes filmógenos aplicados inmediatamente después del alisado o simplemente el regado constante con agua son métodos efectivos para la prevención de la desecación superficial del hormigón, que debido a la menor cantidad de agua, resulta más problemática en el HAC que en el hormigón convencional

3.2. Aplicación en Muros

Solamente la eliminación del vibrado permite hormigonar a ritmo continuo y sin interrupciones, con mejor recubrimiento de las armaduras que en el caso del hormigón convencional, y simplemente con un solo operario.

Las consideraciones para el diseño del HAC para estas aplicaciones dependerán de la exigencia de acabado y de la altura del muro a hormigonar.

Para el caso de muros de baja altura no existen consideraciones especialmente significativas, sin embargo, si la altura del muro es significativa (a partir de 3 metros), el HAC diseñado deberá poseer una elevada fluidez (Slump-Flow cercano a 70 cm) pero con una elevada resistencia a la segregación, debido a que además del efecto de la altura de vertido, la propia columna de hormigón ejecutada podría provocar segregación en el hormigón de la parte baja del muro, causando nidos de grava que alterarían el acabado.

La estanqueidad del encofrado es importante ya que las fugas de lechada también provocan nidos de grava en las zonas cercanas a la fuga. La resistencia y estabilidad del encofrado son muy importantes en el caso de los muros.

El HAC ejerce más presión sobre el encofrado que el hormigón convencional y podría deformar o incluso romper el encofrado. Se recomiendan encofrados rígidos, no flexibles. No son recomendables los encofrados de madera si no están debidamente reforzados. Asimismo, si se desean acabados de calidad, no puede olvidarse el uso de un desencofrante adecuado para este fin.

El método y la velocidad del vertido de hormigón son muy importantes en el caso del hormigonado de muros con HAC, trascendiendo directamente sobre la calidad del acabado. Si la puesta en obra se realiza con cubeta deberá controlarse la velocidad de vertido.

Vertidos muy súbitos de hormigón causan un atrapamiento de aire que permanece en el interior del hormigón colocado, y cuando se va aumentando la altura de hormigón en el molde el aire atrapado inicialmente tiende a evacuar por presión. Generalmente escapa por la interfase molde-hormigón, donde se encuentra el desencofrante, provocando formas ascendentes de ancho reducido donde se aprecia el lavado de la pasta superficial.

Si se desea un buen acabado es imprescindible controlar el ritmo y la altura de vertido para minimizar el aire atrapado.

El vertido por cubeta es peligroso puesto que la descarga es súbita y muy rápida.

Debe regularse la salida de hormigón colocando un tubo flexible en la salida de la cubeta para reducir la altura de caída y minimizar el aire atrapado. Bombeando el hormigón se mejoran los resultados porque se mantiene un ritmo de vertido constante, gradual y moderado, aunque también debe considerarse la altura de caída, que debería ser inferior a los dos metros.

Los mejores resultados se consiguen bombeando el hormigón por la parte inferior del encofrado, empleando válvulas anti-retorno que pueden montarse sobre el mismo encofrado. De este modo no se atrapa aire durante el vertido y se evita la caída del hormigón y su impacto con las armaduras, que podría causar una ligera segregación suficiente para alterar el acabado.

Además de las válvulas anti-retorno mencionadas, que se pueden acoplar al encofrado para permitir la aplicación del HAC desde la parte inferior del muro, existen otros equipamientos especialmente adaptados a las características del HAC para agilizar la puesta en obra, como por ejemplo moldes integrados utilizados en la construcción de viviendas.

3.3. Aplicación en Elementos Arquitectónicos

El Hormigón Autocompactante es también aplicado en obras arquitectónicas de hormigón visto con altos requerimientos estéticos: gris, blanco o coloreado, en obras con hormigonado muy complejo de ejecutar por su forma o extensión, obras con plazos de ejecución mínimos.

3.4. Aplicación en Estructuras Complejas

Una importante aplicación donde se está consolidando progresivamente el uso del HAC es en la ejecución de estructuras complejas, fundamentalmente debido a una alta densidad de armado a complicados accesos al punto de hormigonado, mostrándose como una garantía para la calidad y durabilidad de la estructura.

Existen en España numerosos ejemplos de aplicación:

El puente del Ebro constituye la estructura más importante de la Ronda de la Hispanidad de Zaragoza.

El cauce tiene aproximadamente 120 m de anchura en la zona de cruce y se desarrolla en un paraje llano, protegido en sus bordes ante la acción de las crecidas.

Otro dato importante para el diseño son las condiciones funcionales. Se trata de una estructura que aunque está situada actualmente en las afueras de la ciudad, se convertirá en un puente urbano, con vías de tráfico que discurren a lo largo del río y que atravesarán el puente por debajo.

Para evitar la intrusión visual que supondría el adoptar unos cantos importantes se ha recurrido a una solución constituida por un arco central de 120 m de luz de uno a otro lado del río, que cuelga el tablero en su eje. De esta manera la torsión debida a la sobrecarga no simétrica es resistida por el dintel y su sección cajón, y el arco resiste la mayor parte de la carga centrada.

El arco es simple, mixto de hormigón y acero, de gran esbeltez longitudinal y transversal, con sección triangular y que produce un adelanto significativo en la solución del problema del pandeo fuera del plano, pues se considera la eficacia de la componente transversal del tirante, cuando el arco tiende a salirse del plano. El dintel, por su parte, es de canto constante y esbelto (2,2m).

Está constituido por cinco vanos de 40m + 52m + 120m + 52m + 40m. Transversalmente tiene 31,9m de anchura, divididos en dos aceras de borde de 4m, una mediana central de 3 m y dos calzadas de 10m cada una.

El puente se subdivide en tres tramos. El central está constituido por el arco de 120m de luz, mientras que los dos laterales, de 92m de longitud, están separados del central por sendas juntas de dilatación.

El tramo principal, el correspondiente al puente arco, está constituido por dos elementos básicos fundamentales, el arco por un lado y el dintel por otro.

El arco, de directriz parabólica de 18m de flecha, tiene una sección triangular variable, desde un canto mínimo en el centro de 1,6 m, hasta un canto máximo junto a los apoyos de 1,74m. Dicha sección triangular se achaflana en las esquinas. El espesor de la chapa es de 60mm de acero. El hormigón interior rellena completamente el arco y está vinculado con él hasta formar una estructura mixta.

El tablero está formado por un cajón central bicelular de 2,2m de canto en el eje del puente y disminuye ligeramente hacia los bordes de este mismo cajón, que distan entre sí 10m. El dintel está pretensado longitudinal y transversalmente. Longitudinalmente para enfrentar el empuje del arco, que se cortocircuita a lo largo del dintel, y además para reducir el efecto de la flexión vertical.

Transversalmente, en los nervios o costillas transversales para transmitir su efecto al cuerpo central.

Las péndolas están formadas por dos unidades, en cable cerrado, separadas entre sí, en dirección transversal, 1,3 m. Sus diámetros son variables según su localización en el puente, con valor típico de 80mm y las extremas de 92 mm.

Los tramos de acceso tienen dos luces continuas de 50m y 42m. En este caso el cajón es monocelular, pero manteniendo el canto y las células transversales del tramo colgado del arco. Está pretensado longitudinal y transversalmente, así como armado con la armadura pasiva correspondiente.

Entre ambos tramos de acceso se dispone una pila principal y en su extremo un estribo. Pilas y estribos descansan sobre pilotes.

Para la construcción del puente se aprovecharon las épocas de estiaje del Ebro para generar unos apoyos provisionales que independizaran el desarrollo de la ejecución de la estructura de la corriente del río, que se retiraron al finalizar las obras. Sobre esta plataforma de trabajo se fue generando el tablero, todo él con hormigón in situ, en dos fases: núcleo y voladizos, con la ayuda de cimbras porticadas y carro de voladizos autónomo. Con el tablero terminado se montó la parte metálica del arco, se rellenó de hormigón, y se materializaron los tirantes de suspensión que, una vez puestos en tensión, liberaron el puente de los soportes provisionales para dejar la estructura en su esquema estático definitivo.

En el puente se usó hormigón de 70 MPa de resistencia característica a compresión en la unión del arco metálico al tablero, y hormigón autocompactante de 50 MPa de resistencia característica a compresión en el relleno del arco, por dificultades de vibración. La dosificación por m3 de este último fue la siguiente:

- Cemento: 450kg
- Cenizas: 100kg
- Arena 0/6: 895kg
- Árido 6/12 rodado: 880kg
- Superfluidificantes: 9kg
- Agua: 160 l

Gracias a su gran trabajabilidad se colocaron 300m3 de este hormigón en 5 horas.

4. Conclusiones y Recomendaciones

HCA es sensible a las variaciones del contenido de agua. El diseño de la mezcla del hormigón autocompactante debe confirmar que se logra una gran fluidez sin indicios de segregación o exudación de la mezcla.

El costo inicial de un HAC es superior al de un HC, pero el costo global resulta ser menor y de mejor calidad.

Variaciones de la gradación pueden causar efectos adversos.

El uso de HAC no debe restringirse para los casos de puesta en obras complejas.

La creación de nuevos aditivos están logrando obtener una nueva variedad de hormigón autocompactante para el uso en construcciones convencionales: un hormigón con las mismas características de autocompactabilidad y trabajabilidad, con el uso de menor cantidad de finos y menor resistencia mecánica, ajustable a los requerimientos del constructor.

El HAC representa una garantía de calidad en todos los aspectos: reduce el tiempo de ejecución de la obra y la implicación de personal, mejorando las condiciones y entorno de trabajo; garantiza la calidad de la estructura con independencia de la calificación de los operarios de la obra.

Los tipos de hormigones autocompactantes que van en estructuras que no necesitan ser fuertemente reforzadas (estructuras ordinarias, hormigón no pretensado, etc.) pueden eliminar los costos extras relativos a la gran cantidad de finos, logística, etc. y reducir la fuerza requerida en el diseño de mezcla.

Las distintas reacciones de hidratación del cemento según el tipo de filler presente en el hormigón tienen una influencia fundamental en el desarrollo de resistencias mecánicas.

Es importante tener presente que los aditivos superplastificantes de última generación incrementan su efecto a través de un mezclado eficaz del hormigón, por ello se hace aconsejable efectuar pruebas con los equipos de fabricación que se adoptarán para la ejecución de las obras.

La colocación del hormigón autocompactante debe estar asociada a un proceso continuo de suministro y vaciado de hormigón, ya que a diferencia de un hormigón tradicional que se compacta por vibrado de inmersión, la calidad de las juntas entre capas de hormigón vaciado depende directamente de la capacidad del autocompactante para mantener su fluidez a lo largo del tiempo, puesto que la unión entre capas sólo puede ser asegurada por la compactación que imprime únicamente el peso propio del material y no podrán ser mitigadas por vibración, como ocurre en un hormigón normal.

El éxito en la calidad de la terminación de una estructura construida con autocompactante exige asegurar una faena de hormigonado continuo y un adecuado control en terreno de la mezcla para asegurar su fluidez. Para ello, es necesario programar los recursos de transporte y colocación del hormigón para evitar tiempos de espera entre capas superiores a una hora como límite.

Cubrir o hidratar con agua atomizada para prevenir contracción plástica y desecamiento. Es muy importante tener cuidado en el curado para este tipo de hormigón ya que debido a su bajo contenido de agua comparado con un hormigón convencional, la perdida del contenido de agua de la mezcla de diseño sería muy significativa en el producto que se espera.

Prevenir las juntas frías y la diferencia de color entre capas si han sido elaboradas por sistemas diferentes.

En elementos verticales una mejor superficie de acabado se obtiene cuando el hormigón es colocado de abajo hacia arriba. (realizado con bombas para este tipo de trabajo).

El menor contenido de pasta "agua y cemento" dificulta la puesta en obra del hormigón. Cantidades ajustadas de pasta pueden dar problemas en el bombeo, posibles segregaciones durante la colocación y, aunque las relaciones A/C sean bajas, la deficiencia de pasta puede provocar el inadecuado recubrimiento de las armaduras del hormigón, produciendo por tanto futuras vías de ataque al mismo "ataques físicos ó químicos".

Los menores contenidos de pasta se pueden corregir aumentando el contenido de finos por otras vías. Las cenizas "como filler activo", las arenas correctoras con buenos contenidos en finos ó los filler inertes del tipo carbonato cálcico son las mejores opciones para aumentar el contenido de pasta, mejorando enormemente la colocación del hormigón fresco y contribuyendo a cerrar poros en el hormigón endurecido. Cuando se producen problemas en el bombeo, las correcciones pueden pasar por la corrección en pasta ó por la corrección en curva granulométrica "incorporación de intermedios en la arena, disminución ó eliminación de las gravillas para generar una curva discontinua, etc.".

Los hormigones con demasiado aditivo son más sensibles a cambios en la dosificación. Pequeñas variaciones en la humedad de los áridos, en la granulometría de las arenas, etc. pueden provocar un cambio de consistencia mayor.

El control de humedades y granulometrías, si bien debe ser mayor para no incurrir en variaciones excesivas de consistencia, no implica cambios en las propiedades del hormigón endurecido que no se produjeran anteriormente. Por otro lado, un hormigón más sensible nos avisa mejor cuando algo está pasando. Un exceso de humedad no controlada en los áridos puede convertir un hormigón tradicional de cono 7 a cono 9. Seguiría estando en el intervalo de consistencia blanda, pero se habría aumentado la relación A/C. En un hormigón con mucho superplastificantes, el cambio podría suponer pasar de ese cono 7 a cono 14. Esta sería una clara señal de alarma de que hay un mayor contenido de agua, por lo que en la siguiente carga se ajustaría a la baja.

Las variaciones de temperatura afectan en mayor medida a los hormigones con relaciones A/C bajas en cuanto a tiempos de manejabilidad sin pérdida de consistencia.

Bibliografía:

[1] España, I. Aris, J. Domínguez, and M.L. Granizo, Altas resistencias del hormigón Autocompactante, Sika S.A., Centro Tecnológico.

[2] España, P. Borralleras Mas, BASF, Hormigón Autocompactante para aplicaciones convencionales (HAC 2008), Ponencia impartida en el Congreso de Hormigón Autocompactante (HAC 2008).

[3] Enrique Pina Mateo, Juan Domínguez García Cuevas, Aditivos de última generación para hormigones de Sika, Product Managers. Sika, S.A.

[4] España, Luz Granizo, Jefa I+D Aditivos y Morteros, Tecnología de aditivos para hormigón, Centro Tecnológico España, Artículo cedido por: Sika, S.A.

[5] Fernando Galán y Samir González de Prevalesa, Hormigón autocompactante: una apuesta para la disminución de los niveles de ruido y mejoramiento, Ponencia de Expuesta en HAC 2008, Congreso Hormigón Autocompactante.

[6] Enrique Pina Mateo, Juan Domínguez García Cuevas, Aditivos de última generación para hormigones de Sika, Información facilitada por Sika.

[7] Pepe Borralleras, Carlos Jofré, Comité Técnico de Anfah y Director Técnico IECA, respectivamente, Realizaciones con Hormigón Autocompactante (Parte 1).

[8] Valencia, Manuel Burón, Dr. Ing. De Caminos, Canales y Puertos, IECA, Utilización de nuevos hormigones en la fabricación: El Hormigón Autocompactante, Congreso ANFAH.