



## **Hormigón Autocompactante**

### **Primera presentación en Argentina.**

#### **RESUMEN**

Ing. Gastón Fornasier

Ing. Carlos Fava

Centro Técnico LOMA NEGRA

#### **1.- Introducción**

Desde principios del año 2000, el Centro Técnico Loma Negra junto con la empresa de hormigón elaborado LOMAX ha comenzado a desarrollar los hormigones autocompactantes (Self Compacting Concrete - SCC) en nuestro país.

Se trata de un material que presenta enormes ventajas comparativas respecto de los hormigones convencionales en lo que hace a mano de obra, tiempos de ejecución, terminación superficial y mejoramiento de las condiciones laborales.

Los hormigones autocompactantes pueden definirse como la mezcla que se coloca en los encofrados sin necesidad de compactación mecánica interna ni externa, con capacidad de sortear las barras de armadura sin dificultad y sin observarse segregación de sus materiales componentes. Además, presenta una excelente terminación superficial, hecho que disminuye sensiblemente las reparaciones que deben realizarse comúnmente por defectos de compactación.

En esta primera etapa, el desarrollo de las mezclas fue realizado íntegramente en el Centro Técnico LOMA NEGRA, buscándose obtener con distintas combinaciones de aditivos químicos y adiciones minerales las mezclas adecuadas desde un punto de vista técnico-económico.

En primer lugar, los estudios realizados evaluaron la compatibilidad de los aditivos superfluidificantes de cuarta generación (de base policarboxilatos) con distintos tipos de cementos, para después estudiar las características autocompactantes del mortero y finalmente las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón. Como paso posterior y en conjunto con LOMAX, fueron realizadas dos pruebas a escala industrial donde se estudió en detalle el comportamiento de las mezclas al ser colocadas mediante bomba en un tabique experimental.

Los resultados obtenidos hasta el momento son alentadores y vale la pena destacar que ya se evidencia una muy pronta utilización de este tipo de hormigones en la industria de la construcción.

Un dato importante que nos permite establecer cuál es la real importancia de este tipo de hormigones a nivel mundial está dado por lo previsto por el gobierno japonés: al menos el 50% del hormigón elaborado deberá ser autocompactante para el año 2003.

Por lo tanto, queda plantado nuestro objetivo principal: conocer detalladamente este nuevo material y hacerlo económicamente factible para poder acercarle a nuestros clientes las grandes ventajas que ofrecen los hormigones autocompactantes respecto de los hormigones convencionales.

---

## 2.- Materiales utilizados

### 2.1.- Cementos:

- Cemento Portland Compuesto CPC40 – IRAM 50000 (ex IRAM 1730)
- Cemento Portland Normal CPN40 – IRAM 50000 (ex IRAM 1503)
- Cemento Portland con Escoria de Alto Horno CPE40 – IRAM 50000 (ex IRAM 1636)

### 2.2.- Agregados:

Los agregados utilizados (finos y gruesos) son los de uso habitual en las plantas de hormigón elaborado de LOMAX.

### 2.3.- Adiciones:

Si bien se dispone de varios tipos de adiciones minerales, en esta primera etapa se utilizó únicamente filler calcáreo como agregado pulverulento. Actualmente se están empezando a estudiar variantes con la utilización de escoria de alto horno y humos de sílice como adiciones minerales.

### 2.4.- Aditivos:

Se utilizaron en este estudio dos tipos de aditivos: los reductores de agua de alto rango denominados de cuarta generación (tipo policarboxilatos) y los aditivos modificadores de la viscosidad (polímeros celulósicos).

## 3.- Desarrollo:

El desarrollo de los hormigones autocompactantes se puede resumir en cinco etapas bien diferenciadas que comentaremos brevemente a continuación:

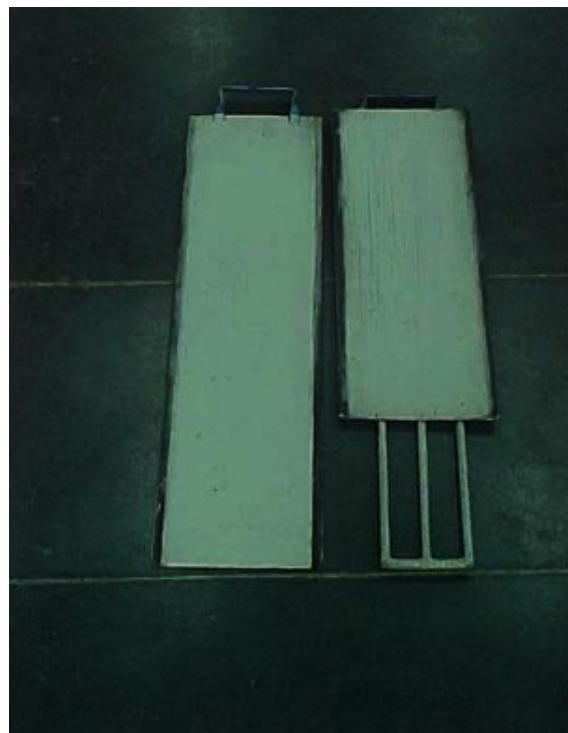
### 3.1- ETAPA CERO:

Es la etapa previa al desarrollo propiamente dicho, donde se consultó la bibliografía internacional en el tema y donde se construyeron una serie de equipos especiales necesarios para evaluar el comportamiento en estado fresco de estos hormigones. Los equipos diseñados son varios y mostramos en la Fotos Nº 1 y 2 uno de ellos. El ensayo que se realiza con este equipo se denomina U-Test y permite evaluar la capacidad del hormigón autocompactante de sortear obstáculos. Para ello la mezcla debe ascender más de 30 cm luego de levantar la compuerta central ciega.

Foto 1



Foto 2



### 3.2.- ETAPA UNO:

En esta segunda etapa, se evaluó la compatibilidad entre los cementos elegidos y las distintas marcas de aditivos superfluidificantes proporcionados por los distintos fabricantes presentes en nuestro mercado.

Se estudió el comportamiento en pasta midiendo el tiempo de escurrimiento por el cono de Marsh y se determinó el par cemento/aditivo superfluidificante de mejor comportamiento a lo largo del tiempo para continuar con los ensayos en mortero.

### 3.3.- ETAPA DOS:

Se buscó obtener las propiedades del mortero autocompactante con dos ensayos realizados con equipos diseñados especialmente: el V-Funnel de morteros y el Flow Test. El método adoptado para ajustar estos parámetros es el propuesto por Okamura en 1989, luego de realizar estudios durante varios años en la Universidad de Tokio.

El objetivo buscado es obtener un mortero autocompactante ajustando las dosis de aditivos y la relación agua/cemento que luego serán utilizadas en los hormigones.

### 3.4.- ETAPA TRES:

Contempla el estudio de las propiedades en estado fresco y endurecido de este tipo de hormigones. En estado fresco se realizaron los siguientes ensayos:

- Slump Test y T50 (Foto 3)
- U-Test
- V- Funnel para hormigones
- L-Box, T20 y T40
- Peso unitario
- Aire incorporado
- Exudación
- Tiempo de fraguado
- Slump Test y T50 en el tiempo

Foto 3



---

**Por otra parte, en estado endurecido los ensayos de caracterización de las mezclas estudiadas consistió en:**

- Evolución de resistencia a la compresión (IRAM 1546)
- Resistencia a la tracción por compresión (IRAM 1658)
- Módulo de elasticidad estático (ASTM C469)
- Módulo de elasticidad dinámico (ASTM C215)
- Contracción por secado (IRAM 1597)
- Absorción (ASTM C642)
- Succión Capilar (SIA 162/1)
- Permeabilidad al aire (Torrent)
- Penetración de agua (IRAM 1554 – CIRSOC 256)
- Resistividad eléctrica
- Carbonatación
- Permeabilidad a los cloruros (método rápido ASTM C1202)
- Perfil de concentración de cloruros y coeficiente de difusión aparente
- Durabilidad frente a ciclos de congelamiento y deshielo (ASTM C666, método A)

Como resultado de esta primera parte de la investigación se obtuvieron dos tipos de hormigones autocompactantes con combinaciones de materiales componentes diferentes. Un tipo de mezcla se obtuvo con cemento más la combinación de aditivo superfluidificante con un agente modificador de la viscosidad. El otro tipo de mezcla se logró con la incorporación de filler calcáreo y aditivo superfluidificante con la opción de utilizar o no el agente modificador de la viscosidad. Es importante mencionar que las probetas moldeadas para la realización de todos los estudios fueron llenadas sin ningún tipo compactación interna ni externa.

### **3.5.- ETAPA CUATRO:**

Luego de estudiadas en laboratorio, los dos tipos de mezclas mencionados se elaboraron a escala industrial en una planta de hormigón elaborado en conjunto con LOMAX. Con ambas mezclas se llenaron dos tabiques experimentales de unos 2.5 m<sup>3</sup> de capacidad. Los tabiques fueron llenados con bomba por la parte inferior utilizando un encofrado metálico y el llenado del mismo no demandó más de 5 minutos. Los ensayos en estado fresco con los equipos especiales se realizaron a pie de obra y se moldearon probetas para los ensayos de resistencia y durabilidad correspondientes, de forma tal de poder comparar resultados con los obtenidos en laboratorio.

El estudio se completó con la evaluación de la velocidad del pulso ultrasónico in situ (ASTM C597 – IRAM 1683) y con la extracción de testigos de la estructura a distintas alturas y distancia de la boca de llenado.

Los testigos fueron ensayados a la compresión a los 28 días de edad y se determinó la absorción, peso específico, módulo de elasticidad dinámico y ultrasonido de cada uno de ellos con el objeto de evaluar la homogeneidad del hormigón colocado en el tabique sin compactación. La terminación superficial obtenida fue excelente como puede observarse en la Foto 4.

Foto 4



---

## 4.- Conclusiones

Las conclusiones y comentarios finales de esta primera etapa del proyecto son las siguientes:

- El paso previo de evaluación del comportamiento de morteros autocompactantes es fundamental para evitar múltiples pastones de ajuste y permite obtener una base racional muy útil para entender luego la performance del hormigón en el estado fresco.
- Los ensayos con los equipos especiales diseñados en la primera etapa brindan una información muy completa acerca de la autocompactabilidad de las mezclas y son necesarios para poder evaluar al hormigón tanto en obra como en el laboratorio.
- La utilización de estos hormigones requiere una alta tecnología en las técnicas de encofrados que aseguren la estanqueidad y la buena terminación superficial. El hormigón autocompactante tiene una elevada fluidez y una viscosidad moderada, motivo por el cual no puede utilizarse con encofrados de baja calidad.
- El comportamiento de las mezclas a nivel de obra fue muy bueno y la homogeneidad de las propiedades del hormigón a lo ancho y a lo alto del tabique experimental es muy satisfactoria, con niveles de resistencia correspondientes a un hormigón clase H-38.
- En todas las mezclas estudiadas se verificó que es muy dificultoso disminuir los niveles de resistencia a la compresión. En efecto, para lograr resistencias a la compresión menores a hormigones clase H-30 es necesario aumentar la relación agua/cemento, con lo cual surge como limitante un elevado riesgo de segregación de la mezcla en estado fresco.
- El costo de las mezclas autocompactantes oscila entre un 25% y un 50% mayor que la de un hormigón convencional de similar nivel de resistencia. Este mayor costo del hormigón deberá contraponerse con la disminución del costo de la mano de obra, la rapidez de colocación y la excelente terminación superficial que evita las reparaciones posteriores.

## 5.- Referencias

- [1] de Larrard, F. "Concrete mixture proportioning". Modern Concrete Technology 9. E & FN Spon. 1999.
- [2] Okamura, Ozawa y Kazumasa: "Mix design for self-compacting concrete". Concrete library of JSCE N° 25. June 1995.
- [3] Ouchi, Masahiro: "State of the art report: self-compactability evaluation for mix proportioning and inspection". International Workshop on self-compacting concrete. August 1998.
- [4] Billberg, Peter. "Self compacting concrete for civil engineering structures – The Swedish experience". Rapport Report. 1999.
- [5] 1º International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete. Estocolmo, Suecia. Septiembre 13-14. 1999. RILEM publications.
- [6] Khayat, Kamal H.: "Testing and performance of Self Compacting Concrete". Department of Civil Engineering, University of Sherbrooke. Sherbrooke, Canadá
- [7] Kitamura, Nishizaki y otros: "Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete". International workshop of self-compacting concrete. August 1998.
- [8] Aïtcin, P.C.: "High Performance Concrete". Modern Concrete Technology 5. E & FN Spon. 1998.
- [9] Fernández Luco, L. "Método para evaluar la compatibilidad superfluidificante cemento para hormigones de alto desempeño". 1º Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires. Junio 1998.
- [10] Rixom y Mailvaganam. "Chemical admixtures for concrete". 3º Edición. E & FN Spon. 1999.
- [11] Wallevik, Saasen y otros: "Effect of Filler Materials on the Rheological Properties of Fresh Concrete". Aci Materials Journal. September – October 1995.
- [12] Domone, P.L.: "Self-compacting concrete". Department of Civil and Environmental Engineering University College London. Concrete Society Seminar. April 1999.
- [13] Erlien y Heimdal: "High performance self compacting concrete norwegian experiences". 1999.
- [14] Nilsson, Marten: "The use of SCC by the Swedish National Road Administration, experiences and results". 1998
- [15] Maeyama, Maruyama, Midorikawa y Sakata: "Characterization of powder for self-com-

- 
- packing concrete". International Workshop on self-compacting concrete. August 1998.
- [16] Klaric , Fava: "Parámetros de referencia para la evaluación del hormigón en estructuras mediante ultrasonido". 1989.
- [17] Torrent, R. "Un enfoque innovador para asegurar la durabilidad de las estructuras". 1º Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires. Junio 1998.
- [18] Aïtcin , Neville y Acker : "Integrated view of shrinkage deformation". September 1997.
- [19] Khayat , Bickley y Lessard : "Performance of self-consolidating concrete for casting base-ment and foundation walls". Aci materials journal. May – June 2000.
- [20] Adams y Race : "Effect of limestone additions upon drying shrinkage of portland cement mortar". 1995.
- [21] Aïtcin y Neville : "El hormigón de alto desempeño desmitificado". Revista Cemento. Sección American Concrete Institute. Junio 2000.
- [22] Khayat y Roussel : "Testing and performance of fiber-reinforced, self consolidating concrete". Materials and Structures Vol.33. July 2000.
- [23] Khayat , Ghezal y Hadriche : "Utility of statistical models in proportioning self-consolidating concrete". Materials and Structures Vol.33. June 2000.
- [24] Yoshiki Uno : "State of the art report on the concrete products made of self-compacting concrete". International workshop on self-compacting concrete. Agosto 2000.
- [25] Kazunori Takada , Pelova y Walraven: "Influence of mixing efficiency on the fresh properties of self-compacting concrete". International workshop of self-compacting concrete. August 1998
- [26] Khayat , K.H.: "Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete. Aci materials journal. May-June 1999.
- [27] Okamura , Hajime: "Self-compacting high-performance concrete". Concrete International. 1999.
- [28] Walraven , Joost: "The development of self-compacting concrete in the Netherlands". International Workshop on self-compacting concrete. August 1998.
- [29] Nawa , Izumi y Edamatsu : "State of the art report on materials and design of self-compacting concrete". International Workshop on self-compacting concrete. Agosto 1998.
- [30] Higuchi , Masanori : "State of the art on manufacturing of self-compacting concrete". International Workshop on self-compacting concrete. August 1998.