

## **PROPIEDADES Y USO DEL HORMIGON AUTOCOMPACTANTE**

### **PROPERTIES AND USE OF SELF- COMPACTING CONCRETE**

**Por / By Bernardo De la Peña Riquelme**

#### **Resumen**

El Hormigón Autocompactante se define como un hormigón que tiene una fluidez significativamente alta, con gran resistencia a la segregación durante su transporte y colocación, que puede ser vaciado dentro de encofrados estrechos y áreas densamente armadas sin aplicar vibración. Este nuevo tipo de hormigón fue desarrollado a fines de la década de los ochenta y ha sido usado en la práctica en diferentes tipos de estructuras, especialmente en grandes obras, aprovechando las ventajas que otorga una tecnología que evita la pesada faena de vibración en la construcción con hormigón. En Chile, la tecnología del Hormigón Autocompactante, junto con los aditivos químicos que se emplean en este hormigón, comenzó a ser introducida a comienzos del 2000. Una alta fluidez, así como una alta viscosidad en el Hormigón Autocompactante se obtiene con un apropiado diseño de la mezcla y empleando un aditivo de extrema capacidad de reducción de agua. Las propiedades del Hormigón Autocompactante en estado endurecido son similares o superiores a las del hormigón tradicional que ha sido vibrado. El Hormigón Autocompactante se aplica en obras de todo tipo, ya sea para elementos prefabricados, pisos industriales, estanques, presas, túneles, muros y losas en edificios.

En este artículo se describe esta nueva tecnología y sus ventajas, se mencionan ejemplos de grandes obras realizadas con Hormigón Autocompactante, se indican los principales ensayos que se realizan para verificar sus propiedades junto con las consideraciones de diseño de este nuevo tipo de hormigón.

#### **Abstract**

Self-Compacting Concrete is defined as a concrete that has a significantly high flowability, with notable resistance to segregation during transport and placement, it can be poured inside narrow formwork and high density reinforcing bar arrangement without applying vibration. This new concrete type was developed at the end of the eighty and it has been used in the practice in different types of structures, especially in big works, taking the advantages of a technology that avoids the heavy task of vibration in the construction with concrete. In Chile, the technology of the Self-Compacting Concrete together with the chemical admixtures that are used in this concrete, started to be introduced at the beginning of the 2000. The main properties of interest in their fresh state are flowability and segregation resistance. A high flowability as well as a high viscosity in the Self-Compacting Concrete is obtained with an appropriate design of the mixture and using an Ultra High Range Water Reducer (UHRWR) admixture. The properties of Self-Compacting Concrete in

Pág. 74 - 80

hardened state are similar or superiors to those of the traditional vibrated concrete. Self Compacting Concrete is applied in all type of concrete works, either for precast concrete elements, industrial floors, tanks, bridges, dams, tunnels, walls, columns and slabs in buildings.

In this article this new technology and its advantages are described, examples of big works constructed with Self Compacting Concrete are mentioned, together with the tests that are carried out to verify the main properties and the considerations of design of this new concrete type.

## **1. INTRODUCCION**

El Hormigón Autocompactante se define como un hormigón que tiene una fluidez significativamente alta, con gran resistencia a la segregación durante su transporte y colocación, que puede ser vaciado dentro de encofrados estrechos y áreas densamente armadas sin aplicar vibración. En el idioma inglés, este hormigón se denomina habitualmente Self Compacting Concrete (SCC); también se ha denominado Self Levelling Concrete o Self Placing Concrete, entre otras.

Este nuevo tipo de hormigón fue desarrollado a fines de la década de los ochenta y ha sido usado en la práctica en diferentes tipos de estructuras, incluyendo obras de gran envergadura, aprovechando las ventajas que otorga una tecnología que evita la pesada faena de vibración en la construcción con hormigón. A la fecha, se han realizado muchas investigaciones y aplicaciones prácticas buscando nuevos sistemas de construcción con este tipo de hormigón.

La tecnología del Hormigón Autocompactante junto con los aditivos químicos que se emplean en este hormigón, comenzó a ser introducida en Chile por Sika S.A. a comienzos del 2000. Desde esa fecha, el Hormigón Autocompactante ha estado utilizándose industrialmente en este país, principalmente en obras de edificación.

## **2. VENTAJAS Y USO DEL HORMIGON AUTOCOMPACTANTE**

La tecnología del Hormigón Auto Compactante suprime la obligatoria fase de vibrado, por lo cual el hormigón se consolida simplemente por su propio peso (Fig.1). Las ventajas son : facilidad de operación de la faena de hormigonado, mejor terminación de las superficies, mayor rapidez de hormigonado, menos contaminación acústica, ahorro en personal y equipos, óptima calidad de los elementos hormigonados, alta impermeabilidad y durabilidad de las estructuras.

Como resultado de la intensiva investigación y aplicación práctica llevada a cabo, la utilización del Hormigón Autocompactante se incrementa gradualmente en todo el mundo. Las principales razones para el uso de este hormigón se indican a continuación:

Para acortar los plazos de construcción.

Para asegurar la consolidación en la estructura: especialmente en áreas con gran densidad de armaduras o encofrados estrechos donde la vibración es dificultosa.

Para eliminar ruido debido a vibración.

Para eliminar reparaciones por mala consolidación.

Para mejorar la terminación.

Para reducir espesores.

Para hormigonar elementos delgados y de formas complicadas.

Para aumentar la productividad.

Para asegurar la impermeabilidad y durabilidad de las estructuras.

Mediante el empleo de Hormigón Autocompactante se ahorra el costo de vibración y se asegura la consolidación del hormigón en la estructura. El Hormigón Autocompactante puede mejorar enormemente los sistemas de construcción basados en hormigón convencional que requiere de compactación por vibración. Este tipo de compactación, que puede fácilmente causar segregación,

Pág. 74 - 80

ha sido un obstáculo para la racionalización del trabajo de construcción. Al eliminar este obstáculo, la construcción en hormigón puede ser racionalizada y nuevos sistemas de construcción pueden ser desarrollados, incluyendo moldajes, armaduras, diseño estructural y arquitectónico.



Fig. 1.- Colocación del Hormigón Autocompactante en losas.

### 3.- APLICACIONES EN GRANDES OBRAS

El Hormigón Autocompactante se aplica en obras de todo tipo, ya sea para elementos prefabricados, muros y losas de edificios, pisos industriales, estanques, presas, túneles, etc. A continuación se indican algunos ejemplos de uso en grandes obras.

#### a) Estanque pretensado para gas

Con el uso de Hormigón Autocompactante en la construcción del muro pretensado (de 0,8m de espesor) de un gran estanque pretensado para gas licuado, de 38,4m de altura y 84,2m de diámetro perteneciente a Osaka Gas Company, se logró reducir a un tercio la mano de obra y de 22 a 18 meses el plazo de construcción. La faena de hormigonado se terminó en Junio de 1998. Se utilizó Hormigón Autocompactante para asegurar la impermeabilidad, durabilidad y rapidez de hormigonado, con una fluidez de 65 cm de escurrimiento de cono y árido de 20 mm de tamaño máximo. Para prevenir agrietamiento por efecto térmico, se utilizó cemento de bajo calor de hidratación, además de un aditivo compensador de retracción. (Nishizaqui, Kamada, 1999).

El muro fue dividido en capas de 4,4 m de altura cada una, de aprox. 1000m<sup>3</sup> por capa. El Hormigón Autocompactante se colocó bombeado continuamente en toda la circunferencia de 267 m de largo. Cada capa se realizó en 5 horas (200 a 250 m<sup>3</sup>/hora), utilizando cinco plantas de premezclado operadas simultáneamente.

### **b) Hormigón Autocompactante en túneles**

La compactación por vibración del hormigón de revestimiento o relleno en túneles ha sido siempre dificultosa. Además, el transporte del hormigón por el interior del túnel suele ser lento y a menudo éste debe ser colocado rápidamente para no demorar otras faenas. El Hormigón Autocompactante se ha utilizado exitosamente en grandes obras de túneles aprovechando todas sus ventajas. Producto de la mayor rapidez de hormigonado, se ha considerado que la velocidad de avance con Hormigón Autocompactante puede superar el 30% de lo factible de obtener con hormigón tradicional (Botte, Burdin, 1999).

En el proyecto hidroeléctrico Cleuson Dixence, en Suiza, se colocaron en total 73.000 m<sup>3</sup> de Hormigón Autocompactante de diferentes tipos:

- En la parte horizontal del túnel, para rellenar el espacio dejado entre la roca y el revestimiento de acero de 4,1 m de diámetro y 2930 m de largo, se colocaron 20.500 m<sup>3</sup>; este hormigón tenía una fluidez de 55 cm después de 2 horas y una resistencia de 35 Mpa.
- En la parte inclinada y chimenea de equilibrio, para rellenar entre la roca y la tubería de acero, se colocaron 35.000 m<sup>3</sup> de Hormigón Autocompactante a través de canoas inclinadas con pendiente de hasta 68%, 910m de longitud y velocidad de escurrimiento de hasta 80m por minuto.
- Como revestimiento, en el túnel de alimentación se colocaron 16.000 m<sup>3</sup> de Hormigón Autocompactante con el objetivo de obtener rapidez de hormigonado (25 m<sup>3</sup>/hora), rápido desarrollo de resistencia (10 Mpa a 18 horas), alta impermeabilidad y buena calidad de terminación en la superficie del hormigón.

### **c) Vertedero de Presa**

En el vertedero ubicado en el centro de una presa en arco de 116m de altura y 244m de largo, se decidió utilizar un Hormigón Autocompactante masivo debido a que la zona a hormigonar tenía una gran densidad de armaduras y difícil acceso, con altas posibilidades de que quedaran puntos sin consolidar por vibración; El hormigón se colocó en capas de 1 a 2 m de espesor. Dado que se utilizó una gran cantidad de cemento para otorgar la suficiente cantidad de finos, se recurrió a enfriar previamente el hormigón para controlar el desarrollo de temperatura. La resistencia requerida a compresión fue de 32,5 Mpa y la fluidez medida como escurrimiento de cono fue de 65 cm. Se utilizó cemento Portland de bajo calor de hidratación (Mizobuchi, Yanai, 1999).

### **d) Puente en suspensión**

Un ejemplo típico de uso en construcciones de gran envergadura con el objetivo de acortar el plazo de construcción, son las dos estructuras de anclaje del puente en suspensión con mayor luz en el mundo - 1991 m de largo - Akashi-Kaikyo. En las estructuras de anclaje de este puente se utilizó un nuevo sistema de construcción con Hormigón Autocompactante que permitió acortar el periodo de construcción en 20% - de 2,5 años a 2 años. El puente se terminó en Abril de 1998 (Okamura, Ouchi, 1999).

## 4. METODOS DE ENSAYO Y COMPORTAMIENTO DEL HORMIGON AUTOCOMPACTANTE

### 4.1 Hormigón fresco

Entre los muchos métodos de ensayo propuestos para evaluar la capacidad de autocompactación del hormigón, se destacan el escurrimiento de cono, la caja L, el tipo U y el embudo V, los cuales se describen más adelante. Además de los mencionados, están el reometro, el anillo J y algunos aparatos especiales para medir la capacidad de llenado simulando secciones con alta densidad de armaduras. El objetivo de los ensayos es determinar la fluidez necesaria y la cohesión suficiente para que no se produzca segregación en la mezcla.

#### a) Flujo o escurrimiento de cono

Se utiliza el cono de Abrams tradicional, pero en lugar de medir asentamiento se mide el diámetro alcanzado por el flujo de hormigón. También se mide el tiempo que demora el hormigón para alcanzar 50 cm de diámetro, lo cual indica la viscosidad del hormigón. El Hormigón Autocompactante puede tener un valor de escurrimiento de cono entre 55 y 75 cm según el tipo de elemento y las condiciones de colocación, usualmente se requiere entre 65 y 75 cm. También se verifica visualmente que no haya segregación ni exudación en el hormigón. (Fig. 2)



Fig. 2.- Ensayo de medición del flujo dejado por el cono.



Fig. 3.- Ensayo en la "caja L".

#### b) Caja L

Se han diseñado varios aparatos similares. El equipo de la figura 3 consta de una columna desde la cual escurre el hormigón a través de armaduras espaciadas a una distancia determinada. Se mide la diferencia de altura en el hormigón entre los puntos inicial y final. La altura final debe ser mayor a 80% de la altura inicial.

c) Ensayo tipo U (U-type test)

En este ensayo, el grado de autocompactación puede ser indicado por la altura que el hormigón alcanza después de fluir a través de un obstáculo. El hormigón que alcanza una altura de 300 mm puede ser considerado como autocompactante. (Fig. 4)

d) Embudo V

Este ensayo se utiliza para determinar la viscosidad de la mezcla. Se han desarrollado tamaños para mortero y hormigón ( fig.5 ). Se mide el tiempo que demora la mezcla en escurrir del embudo.

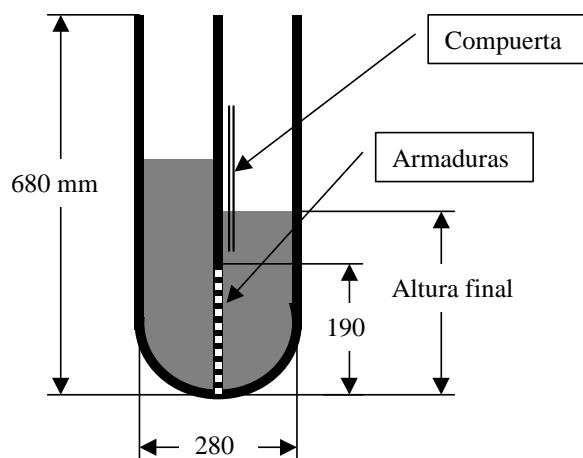


Fig. 4.- Ensayo en equipo "Tipo U"



Fig.5.- "Embudo V"

#### 4.2 Hormigón endurecido

Los resultados en probetas moldeadas así como los de testigos extraídos de diferentes zonas de estructuras endurecidas, demuestran que las propiedades del Hormigón Autocompactante en estado endurecido son similares o superiores a las del hormigón tradicional que ha sido vibrado (Gibbs y Zhu, 1999).

Pese a la gran fluidez del Hormigón Autocompactante, se obtienen perfectamente altas resistencias para aquellas estructuras que lo requieran. En la figura 6, se observa la resistencia obtenida con cemento portland - puzolánico grado corriente, aditivo reductor de agua de última generación Sika Viscocrete y árido de 20 mm de tamaño máximo, para un hormigón típico de columnas y muros de edificios. En la figura 7, se observa la resistencia obtenida con cemento portland - puzolánico grado alta resistencia, aditivo reductor de agua de última generación Sika Viscocrete y árido de 20 mm de tamaño máximo, para hormigón de vigas pretensadas.

El efecto de un curado deficiente en la resistencia del hormigón también ha sido analizado (Gibbs y Zhu, 1999), demostrándose que a edades de hasta 90 días la resistencia del Hormigón Autocompactante es menos afectada que la del hormigón tradicional, cuando el curado es inapropiado. Esto se atribuye a una mejor capacidad de retención de agua del Hormigón Autocompactante. En la figura 8 se muestra comparativamente el efecto en la resistencia de la falta de curado.

### RESISTENCIA HORMIGON AUTOCOMPACTANTE

Escurrecimiento de cono de 72 cm

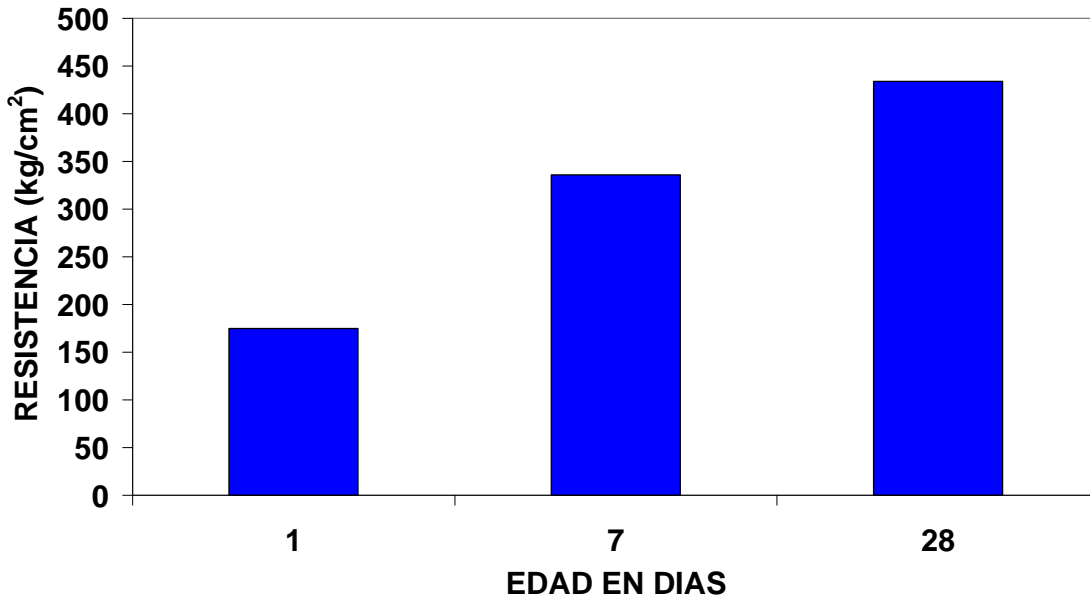


Fig. 6.- Hormigón con cemento portland - puzolánico corriente, aditivo Sika Viscocrete y árido de 20 mm de tamaño máximo.

### RESISTENCIA HORMIGON AUTOCOMPACTANTE

PARA VIGAS PRETENSADAS

Escurrecimiento de cono de 70 cm

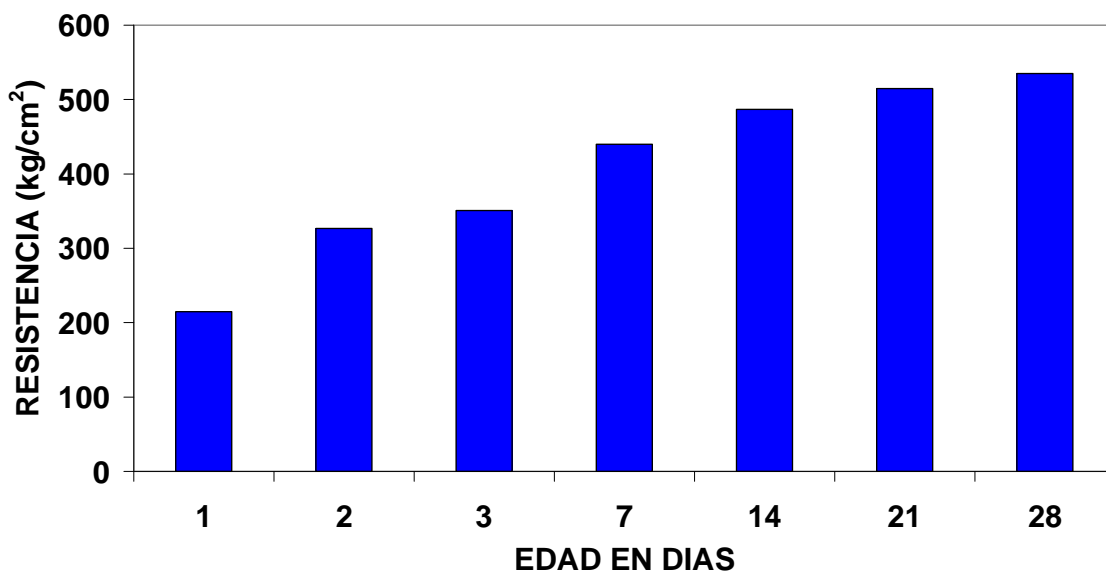


Fig. 7.- Hormigón con cemento portland - puzolánico de alta resistencia, aditivo Sika Viscocrete y árido de 20 mm de tamaño máximo



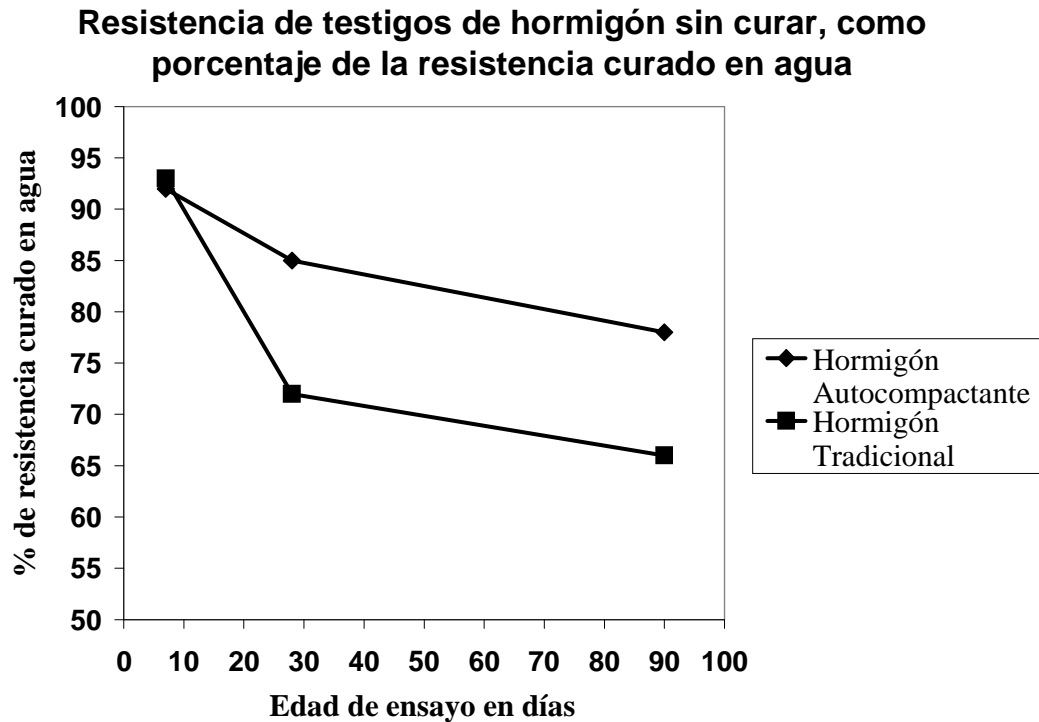


Fig. 8.- Comparación del efecto del curado en la resistencia

La relación de la resistencia a tracción y adherencia del Hormigón Autocompactante respecto a la resistencia a compresión son similares para ambos hormigones y la adherencia al acero llega a ser superior (Gibbs y Zhu, 1999).

## 5. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL HORMIGON AUTOCOMPACTANTE

Las principales propiedades del Hormigón Autocompactante en su estado fresco son su fluidez y resistencia a segregación. Alta fluidez es necesaria para asegurar el adecuado escurrimiento bajo su propio peso. Una adecuada resistencia a la segregación es necesaria para asegurar que sus componentes, en especial el árido grueso, se mantengan uniformemente distribuidos en el Hormigón Autocompactante cuando éste está en posición estática o escurriendo alrededor de las armaduras sin que se produzca bloqueo. Se debe, por lo tanto, aplicar procedimientos apropiados de diseño en orden a alcanzar dichas propiedades.

El método que se elija para alcanzar la autocompactación debe considerar una alta capacidad de fluidez de la mezcla en conjunto con una alta resistencia del hormigón fresco a la segregación cuando el hormigón fluye a través de zonas con congestión de armaduras o lugares estrechos. Se debe tener en cuenta el balance adecuado entre el total de los finos de la mezcla y el tamaño máximo

Pág. 74 - 80

del árido grueso. Habitualmente se utilizan tamaños máximos de 10 a 20 mm, pudiendo utilizarse un tamaño mayor con un adecuado diseño de la mezcla.

Una alta fluidez, así como una alta viscosidad en el Hormigón Autocompactante se obtiene sin inconvenientes empleando un aditivo químico de última generación de alta capacidad de reducción de agua. Mediante la adsorción superficial del aditivo por las partículas de cemento y un efecto de separación espacial, en paralelo al proceso de hidratación, se obtiene una alta fluidez con un fuerte comportamiento autocompactante en conjunto con una alta cohesión. Este tipo de aditivo, junto con la tecnología del Hormigón Autocompactante, fue introducido en Chile por Sika S.A. a comienzos del 2000.

El Hormigón Autocompactante puede ser afectado por las características de los materiales y por la proporción de sus componentes. En la dosificación de un hormigón convencional, la razón agua/cemento es determinada por la resistencia requerida; en el Hormigón Autocompactante, en cambio, la razón agua/cemento, incluyendo adiciones o filler, se determina tomando en cuenta la autocompactación. En muchos casos la resistencia no es el factor determinante en la razón agua/cemento, puesto que habitualmente ésta es lo suficientemente baja para obtener la resistencia necesaria para las estructuras más comunes. El contenido de agua puede variar entre 150 y 200 lts/m<sup>3</sup>, según la resistencia deseada, contenido de finos, condiciones de autocompactación y dosis de aditivo.

La cantidad de cemento, junto con el material fino y el aditivo afectan fuertemente las propiedades del hormigón, por lo que la razón agua/cemento y la dosis de aditivo no puede ser fijada sin la realización de mezclas de prueba. Por lo tanto, una vez que se ha decidido la proporción de la mezcla, deben realizarse los ensayos necesarios para confirmar la autocompactación.

En la figura 9 se observa un esquema acerca de la relación entre los distintos factores que influyen para alcanzar la autocompactación (Okamura, Ouchi, 1999).

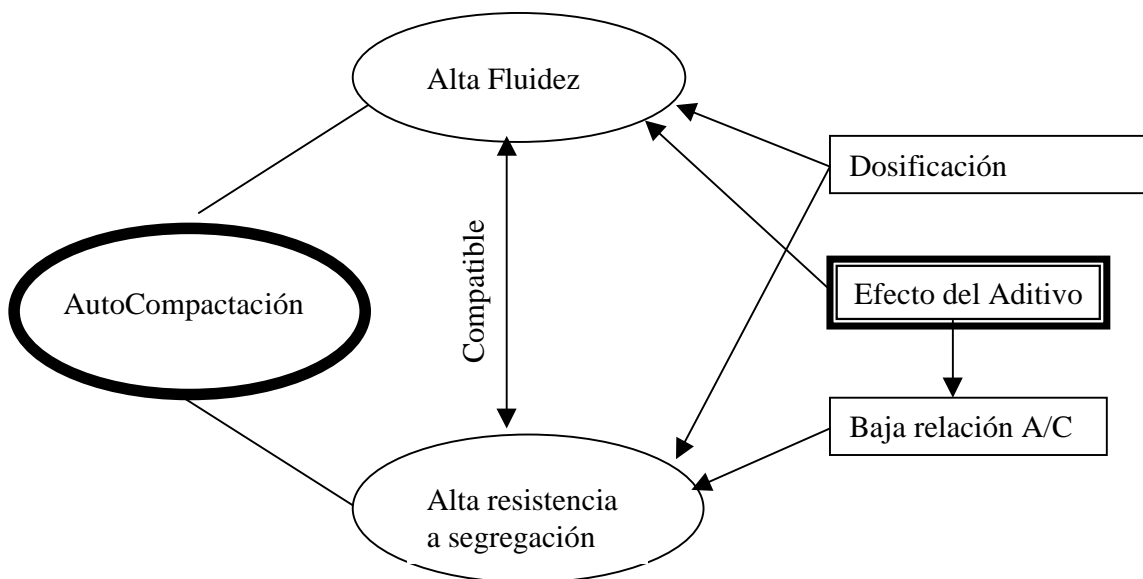


Fig. 9.- Relación entre los factores que influyen en la autocompactación

Un ejemplo de métodos de dosificación para Hormigón Autocompactante, es el desarrollado por Bui y Montgomery, 1999, el cual considera al hormigón como un material dividido en una fase sólida y una fase líquida. Se determina el mínimo contenido de pasta en orden a obtener la fluidez y resistencia a segregación necesaria. En la figura 10, se observa el volumen mínimo de pasta según la relación entre árido grueso y árido total para un hormigón con gravilla de 20 mm de tamaño máximo y razón agua/ cemento más filler de 0,35.

### Volumen mínimo de pasta

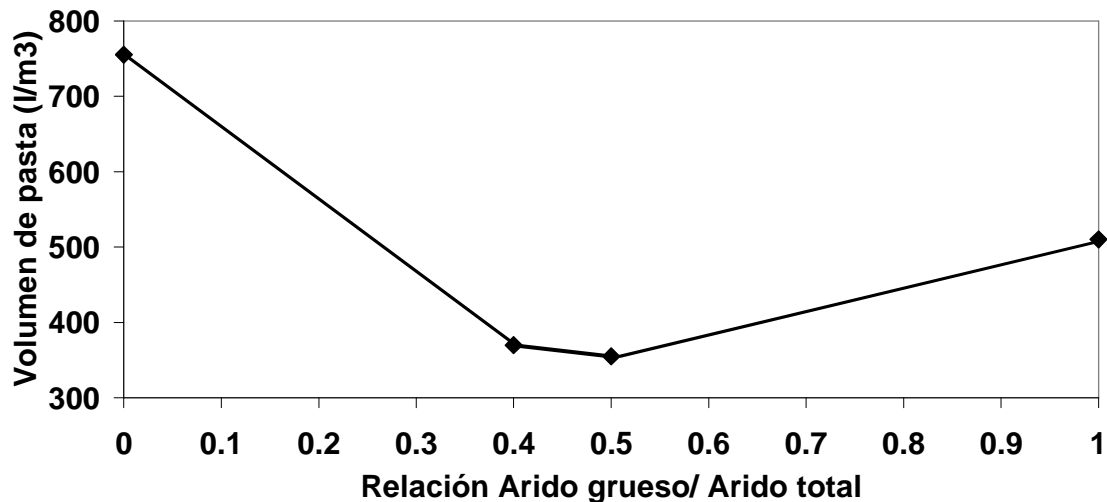


Fig. 10.- Determinación del volumen mínimo de pasta de cemento en Hormigón Autocompactante

## 6.- COLOCACION EN OBRA

El Hormigón Autocompactante se puede colocar por simple gravedad a través de capachos, grúas, canoas, etc., o mediante bombeo o inyección. En la obra, debe formularse un plan de hormigonado considerando la alta fluidez del Hormigón Autocompactante, tomando en cuenta las secciones y formas, el orden de colocación, la cantidad de hormigón por unidad de tiempo, el tiempo de espera entre capas continuas y los demás aspectos relacionados.

Si bien en muchos casos no habrá necesidad de reforzar el moldaje, se recomienda por seguridad, especialmente en elementos de gran altura, que la presión lateral del Hormigón Autocompactante

Pág. 74 - 80

sea calculada considerando al hormigón como un líquido. Además, el moldaje debe ser estanco para prevenir la fuga de lechada en las juntas.

Un método de colocación altamente eficaz es la inyección del Hormigón Autocompactante a través de puntos en la zona inferior de los encofrados. En la figura 11 se muestra la inyección del Hormigón Autocompactante por la base del encofrado en vigas de puentes.

Cuando la superficie del hormigón debe cumplir con requerimientos estéticos muy exigentes es recomendable colocar el Hormigón Autocompactante a presión, bombeado a través de bocas instaladas en la base del elemento o por medio de tuberías colocadas por debajo del nivel de la superficie de hormigonado.



Fig. 11.- Inyección de Hormigón Autocompactante por la base del encofrado en vigas de puentes.

## 7. REFERENCIAS

- DE LA PEÑA, B. (2000), Hormigón AutoCompactante, Nueva tecnología para la construcción con hormigón, Revista BIT, Cámara Chilena de la Construcción, Junio 2000, pag. 41.
- OKAMURA, H., OUCHI, M. (1999), Self-Compacting Concrete. Development, present use and future. First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm.
- SCHLUMPF, J., OPPIKOFER, R. (1999), Self-Compacting Concrete (SCC), Concrete Technology. Tunnel 4/99. Sika AG. Switzerland.
- MIZOBUCHI, T., YANAI, T. (1999), Field Applications of Self-Compacting Concrete with advantageous performances. First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm.
- HOLLAND, T. (1999), Beyons supers. The Concrete Producer, February 1999.pg 21.

Pág. 74 - 80

BOTTE, J., BURDIN, J. ZERMATTEN, M. (1999), SCC Tunnel applications: Cleuson Dixence project and Loetschberg basis tunnel, Switzerland. First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm.

SONEBI, M., BARTOS, P. (1999), Hardened SCC and its bond with reinforcement. First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm.

NISHIZAKI, T., KAMADA, F., CHIKAMATSU, R., KAWASHIMA, H. (1999), Application of high-strength self-compacting concrete to prestressed concrete outer tank for LNG storage. First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm.

GIBBS, J., ZHU, W. (1999), Strength of hardened self compacting concrete. First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm.

OKAMURA, H. (1997), Self-Compacting High-Performance Concrete. Concrete International, July 1997, pg. 50.

BUI, VK., MONTGOMERY, D. (1999), Mixture proportioning method for self-compacting high performance concrete with minimum paste volume. First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm.

Bernardo de la Peña Riquelme  
Constructor Civil  
Jefe Departamento Técnico  
Sika S.A. Chile  
Av. Salvador Allende 85 San Joaquín, Santiago

Civil Constructor  
Technical Department Manager  
Sika S.A. Chile  
[delapena.bernardo@cl.sika.com](mailto:delapena.bernardo@cl.sika.com)