

# Situación de los hormigones de alta resistencia en Chile

**Hernán Zabaleta G.**

Jefe Departamento de Ingeniería Civil, ENDESA, Santa Rosa 76, oficina 1604, Santiago, Chile.

**RESUMEN:** este trabajo presenta una visión general de la situación de los hormigones de alta resistencia en nuestro país. Se describen algunas aplicaciones de esta tecnología en el medio nacional y se presenta un análisis de las condiciones de los materiales disponibles en el mercado local en relación a su utilización en este tipo de hormigones.

## I. INTRODUCCION

En este trabajo se expone cual es la situación de nuestro país en relación con el estudio y el empleo de los hormigones de Alta Resistencia en nuestras obras de ingeniería. Esta es realmente una tarea difícil, dado que su uso no se encuentra muy extendido y por lo tanto, no resulta fácil obtener la información respectiva.

En todo caso, gracias a la buena voluntad de varios profesionales que se desempeñan en el campo de la Tecnología del Hormigón, más lo que al autor le ha correspondido ver personalmente, se entrega una visión, la que, aunque seguramente incompleta, permite visualizar cual es la situación del país en esta materia. En base a esta información es posible describir algunas aplicaciones, varias de ellas bastante originales, en las cuales se ha hecho uso de este tipo de tecnología.

Para este objeto, se debe señalar, en primer lugar, que arbitrariamente y a falta de una definición en nuestro país al respecto, se ha considerado como hormigones de alta resistencia aquellos en los cuales la resistencia especificada a 28 días es igual o superior a  $400 \text{ kg/cm}^2$ , pues corresponde al valor a partir del cual el hormigón se considera como de características especiales y no es suministrado o fabricado en forma habitual.

De esta definición resulta como primera conclusión general que nuestro país se encuentra en una etapa que puede considerarse incipiente en este campo, puesto que dicho valor de resistencia, aún cuando corresponde al mismo que el American Concrete Institute (ACI) utiliza como definición para este objeto, este mismo organismo señala que actualmente en EEUU puede considerarse como un límite superado, puesto que numerosos fabricantes de hormigones premezclados ya consideran esta clase de hormigones como de abastecimiento normal en ese país.

A continuación se exponen algunas aplicaciones en que se han empleado hormigones de alta resistencia en nuestro país y sus características generales.

## II. APLICACIONES DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA EN CHILE

Debe señalarse en primer término que, en general, se ha dado un uso bastante sistemático de hormigones de alta resistencia en la industria de elementos prefabricados pre y post-tensados. En ellos, la alta resistencia a 28 días ha sido obtenida más bien en forma indirecta, como derivado de las exigencias a edades más tempranas, generalmente entre 1 y 3 días, puesto que generalmente es la resistencia en el momento del tensado de los cables la que determina la resistencia del hormigón. Sin embargo, también son determinantes las resistencias intermedias, por razones del transporte de los elementos prefabricados, así como la resistencia de diseño para su uso estructural en obra, las cuales aprovechan el hecho de que el hormigón es de alta resistencia inicial.

Por este motivo, ha sido frecuente la producción de hormigones con resistencias iguales o superiores a los 400 o 500 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, partiendo de condiciones de resistencia de unos 350 kg/cm<sup>2</sup> a 3 días. Para alcanzar estas resistencias, los hormigones han sido dosificados generalmente con el uso de aditivos plastificadores, eventualmente superplastificadores, con dosis de cemento de alta resistencia, que oscilan alrededor de los 380 a 400 kg/m<sup>3</sup> y trabajabilidades de alrededor de 6 cm, medida como asentamiento en el cono de Abrams, y empleando áridos gruesos de tamaño máximo 3/4".

Estas condiciones, unidas a un riguroso control de calidad en la fabricación y puesta en obra de los hormigones, han sido aplicadas en la producción de un volumen total en nuestro país que supera largamente los 400.000 m<sup>3</sup>, elaborándose con esta metodología elementos tales como:

- Vigas pretensadas para cubierta de las Estaciones del Metro de Santiago
- Losetas pretensadas para numerosas construcciones de viviendas y edificios industriales
- Postes pretensados de longitudes de hasta 18 metros
- Vigas pre y post tensadas para puentes

En este mismo campo, pero en relación con hormigones en sitio, pueden también señalarse las aplicaciones efectuadas en vigas postensadas de puentes, de las cuales una de las más importantes se produjo al poner en servicio el Puente Centenario, en Santiago.

Una aplicación interesante de los hormigones de alta resistencia se ha hecho en la minería del cobre, en la División El Teniente de CODELCO. En esta empresa minera es de gran importancia la velocidad de carguío del mineral en los frentes de extracción, pues, debido a las limitaciones de espacio que se producen en esos sectores, estas faenas pueden condicionar el ciclo productivo en forma importante. Por este motivo, desde hace un tiempo atrás se había observado que la colocación de un radier de hormigón en los frentes de trabajo conducía a un aumento significativo en los rendimientos de carguío, al permitir una reducción de los tiempos perdidos por el equipo. Sin embargo, la práctica demostró que estos radieres se desgastaban rápidamente por la

erosión provocada por el tránsito de los cargadores y que, en consecuencia, podría ser rentable el empleo de hormigones de alta resistencia para este objeto. Para ello, se efectuaron los estudios respectivos, en los cuales se llegó a la conclusión de que era factible el uso práctico de hormigones de resistencias de hasta  $700 \text{ kg/cm}^2$ . Como consecuencia de estos estudios, se especificó el empleo de dos tipos de hormigones:

- Uno de  $500 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia especificada a 28 días, para ser empleado en el pavimento de los túneles de acceso a los frentes de trabajo, en los cuales la alta resistencia se logró empleando una dosis de cemento de  $400 \text{ kg/m}^3$ , gracias al uso de un superplastificador para rebajar la dosis de agua. El tamaño máximo del árido grueso fue de  $1^{1/2}$ " y el asentamiento de cono del hormigón de 6 cm.
- Otro de  $700 \text{ kg/cm}^2$  para revestimiento del piso en el frente mismo de extracción, caso en el cual la alta resistencia indicada se obtuvo con una dosis de cemento de  $380 \text{ kg/m}^3$ , mediante el empleo de sílica y aditivo superplastificador. El tamaño máximo del árido grueso fue también de  $1^{1/2}$ ", al igual que el asentamiento de cono de 6 cm.

Es importante señalar en esta aplicación el efecto logrado con el empleo de sílica en el hormigón, la cual gracias a su fuerte efecto puzolánico permitió la obtención de una mayor resistencia especificada con una menor dosis de cemento. Sin embargo, debe también señalarse que este efecto favorable se contrarresta parcialmente por el alto costo de este material, no existente en nuestro país, y por las dificultades que introduce en el manejo del hormigón al tornarlo excesivamente cohesivo, lo cual se corrigió en gran medida con el empleo de dosis más altas que lo normal de aditivo superplastificador. En todo caso, la metodología descrita resultó muy favorable, habiéndose demostrado que la solución adoptada condujo a un notable aumento de la resistencia al desgaste de los radieres construidos con esta tecnología y, en consecuencia, una apreciable mayor durabilidad, que justificaba el mayor costo directo del material base.

En ENDESA también se han hecho aplicaciones con hormigones de alta resistencia. Aparte de la participación en la producción de postes pretensados de luces superiores a 15 metros que se han mencionado anteriormente, también se han empleado hormigones de alta resistencia en obra en dos casos específicos.

Uno de ellos lo constituye el de las estructuras sometidas a flujos de agua de alta velocidad, como sucede en las obras de evacuación de crecidas y en los evacuadores de fondo de los muros de embalse. Esta situación ha sido el caso de los Embalses Rapel y Colbún y está siendo considerado para el de Pangué, la primera central que se construirá en el río Bío-Bío.

En los hormigones de obras sometidas a escurrimiento de alta velocidad, en estricto rigor una alta resistencia no es el primer factor que condiciona su comportamiento sino lo es más bien la calidad de terminación superficial. Dado que la obtención de una buena calidad como la que normalmente se exige a este tipo de obras no es simple, considerando que se trata de tolerancias de construcción que oscilan alrededor de los pocos milímetros en elementos cuyas dimensiones son de decenas de metros, el empleo de hormigones de alta resistencia constituye un factor de seguridad

adicional que resulta rentable en obras de gran magnitud. Por este motivo, ha sido habitual que en este tipo de obras se especifiquen resistencias de 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, valor que normalmente ha sido obtenido con el uso de hormigones de trabajabilidad relativamente baja, de alrededor de 6 cm de asentamiento de cono, aditivos plastificadores, áridos de tamaño máximo de 1 1/2" o 3", y dosis de cemento de 360 a 380 kg/m<sup>3</sup>. Es conveniente señalar, sin embargo, que es probable que a futuro estas altas exigencias de resistencia se rebajen, pues el procedimiento actualmente empleado de emulsionar aire en el flujo de agua ha permitido aumentar en forma importante la resistencia a la cavitación de los hormigones en este tipo de obras.

Otra aplicación relativamente masiva efectuada en ENDESA con hormigones de alta resistencia, lo ha sido la aplicación de elementos de postensado, principalmente mediante cables, en los machones de apoyo de las estructuras de compuertas de los evacuadores de crecidas. En estos elementos, la aplicación de los empujes que significan el traspaso de la presión hidrostática experimentada por las compuertas a sus machones de apoyo, induce en estos fuertes tensiones de tracción, que los afectan en una extensión importante de su volumen. Para anular el efecto de estas tensiones, es normal la aplicación de tensiones de compresión mediante cables postensados, cuyo uso hace necesario el empleo de volúmenes importantes de hormigón de alta resistencia. Un caso importante de aplicación de esta técnica se produjo en el vertedero de evacuación del Embalse Colbún, perteneciente a la Central del mismo nombre, en el cual se especificó para estos hormigones una resistencia de 400 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días. Estas resistencias fueron logradas mediante el uso de hormigones de tamaño máximo de 3" y un asentamiento de 5 a 6 cm, lo cual permitió en ellos lograr la resistencia mencionada con una dosis de cemento de 380 kg/m<sup>3</sup>.

Debe destacarse que un factor común importante en estas obras de ENDESA ha sido el riguroso control de calidad empleado, lo cual, al redundar en una alta uniformidad de producción, ha permitido el empleo de las dosis de cemento señaladas, lo que resulta importante en obras masivas, en las cuales los procesos térmicos derivados de la hidratación del cemento deben limitarse al mínimo posible.

Los casos descritos permiten llegar a la conclusión de que en nuestro país la técnica de uso de hormigones de alta resistencia puede estimarse aplicable en obras de magnitud importante, en las que se cuenta con recursos apropiados para efectuar estudios y un buen control de calidad durante su empleo en obra. Sin embargo, la extensión de su empleo a obras importantes, pero de menor envergadura que las mencionadas, en las cuales no se dispone normalmente de tiempo ni recursos para efectuar estudios detallados, hace necesario poder preveer en forma razonablemente segura las propiedades generales de este tipo de hormigones a partir de antecedentes de carácter general. Esto significa disponer en el mercado, de materiales de calidad garantizada y, lo que es igualmente importante, de calidad uniforme, y acceso simple al conocimiento sobre la dosificación, características y condiciones de uso en obra de los hormigones de alta resistencia. Estas condiciones son especialmente importantes, si se considera que mientras más altas son las resistencias de trabajo, más cercanas se encuentran éstas de los límites de capacidad de los hormigones, especialmente en lo que concierne a la adherencia entre árido grueso y pasta, de manera que, por ello, cualquier efecto no

previsible puede significar simplemente la imposibilidad de cumplimiento de las características de resistencia esperadas.

Es por este motivo que se presenta a continuación un análisis desde el punto de vista de las condiciones en que los aspectos señalados se cumplen actualmente en el medio nacional, reconociendo que la generalidad con que es posible desarrollarlo, sólo permite sacar conclusiones también muy generales.

### **III. CONDICIONES DE LOS MATERIALES**

En primer término, en lo concerniente a calidad de los materiales componentes y su uniformidad, es posible señalar los siguientes antecedentes:

#### **3.1 Los cementos**

Los cementos nacionales poseen características que son apropiadas para la obtención de hormigones de alta resistencia, en especial en lo que concierne a plazos largos, por ejemplo 28 días y posteriores. Por otra parte, su bajo calor de hidratación asegura el poder usar las dosis relativamente altas que requieren este tipo de hormigones, evitando problemas de fisuración por causa de la retracción térmica.

La calidad de los cementos está suficientemente normalizada y debido a un buen control de calidad ejercido por las fábricas y también por el Estado, la uniformidad de su producción puede considerarse adecuadamente garantizada. Tal vez el único aspecto que sería conveniente mejorar para un usuario común es el poder disponer de mejor acceso a información general sobre sus características en el momento de su empleo, aspecto que en nuestro país no es público ni tampoco fácilmente obtenible. Ello puede estimarse una limitación al empleo de hormigones de alta resistencia, si se acepta como válido el criterio establecido por el ACI sobre la materia, organismo que señala como conveniente conocer la información correspondiente al último año de fabricación del cemento que se va a utilizar, de manera de poder establecer fehacientemente sus niveles de resistencia y uniformidad reales. Sin embargo, se estima que ello podría ser superado a través de las asesorías técnicas que actualmente poseen las fábricas.

#### **3.2 Los aditivos**

En nuestro país existe una gama amplia de aditivos utilizables para hormigones de alta resistencia, en particular plastificadores y superplastificadores y últimamente de sílica. No existe, en cambio, una normalización que permita una adecuada clasificación y previsión de las cualidades exigidas a los aditivos ni tampoco estandarizar la información entregada a los usuarios, aspecto que realmente debe ser superado para lograr una elevación más generalizada de las resistencias de los

hormigones empleados en obra. Por estas razones, al contemplarse el empleo de hormigones de alta resistencia en una obra, es muy importante recurrir a proveedores que puedan proporcionar, además de aditivos de calidad, una asesoría técnica de apoyo.

### **3.3. Los áridos**

La resistencia natural de los áridos en nuestro país es, por su constitución, ampliamente apropiada en la mayoría de los casos para obtener hormigones de alta resistencia. No sucede, sin embargo lo mismo, con sus características de fabricación, en particular en aquellas regiones en que, por no existir plantas productoras de características industriales, su elaboración se efectúa en forma artesanal, por lo que la variabilidad de sus características los hace inapropiados para su empleo en hormigones de alta resistencia.

Este aspecto debe ser también analizado en las plantas de tipo industrial, pues se observa que también en ellas los áridos producidos presentan variabilidad en los tamaños de corte empleados para producir los distintos tipos de áridos que comercializan y también en su limpieza. Por este motivo, parece ser éste un aspecto que debe ser analizado con cuidado al pensar en el empleo en obra de hormigones de alta resistencia.

## **IV. CONCLUSIONES**

Los estudios realizados para las obras que se han descrito anteriormente han producido un primer impulso que está llevando actualmente al desarrollo de investigaciones para elevar las resistencias más allá de los valores descritos y, de acuerdo a las informaciones que se han recibido, los ensayos de laboratorio indican resultados promisorios. Sin embargo, es la opinión del autor que ellos deben ser generalizados mediante una investigación más sistemática y amplia, orientada hacia las condiciones medias existentes en nuestro país para así poder desarrollar métodos de dosificación específicos. Por ello, el conocimiento en relación con los hormigones de alta resistencia, constituye al mismo tiempo que un campo amplio de estudio, un desafío para los profesionales dedicados a la tecnología del hormigón en todos sus aspectos, tanto de laboratorio como de obra.