

CHARLA CAMARA DE LA CONSTRUCCION SITUACION DE LOS HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA EN CHILE

EXPOSITOR SR. HERNAN ZABALETA G.

Ingeniero Civil, mención Estructuras, Universidad de Chile. Obtuvo su título profesional en 1956, año en que se desempeñó como ingeniero investigador de hormigones en el Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales (IDIEM).

En 1957 ingresó a la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA), donde ha desempeñado diversos cargos. En 1961, efectuó una comisión de servicios en Europa, realizando prácticas de estudio en los Laboratorios de Investigación Cerilh (París), de Travaux Publics (París), Nacional de Ingeniería Civil (Lisboa), y en obras de construcción en Francia, Suiza, España, Italia y Portugal.

Entre 1962 y 1969 efectuó trabajos de control de hormigones e inspección durante la construcción de Central Rapel, desempeñando los siguientes cargos: Jefe del Laboratorio de Hormigones, Jefe Inspección Ingeniería Civil, Jefe Inspección Subgerencia Ingeniería y Encargado del control estructural de la obra durante el llenado del embalse.

En 1970 ocupó el cargo de Jefe del Grupo Laboratorios; entre 1971 y 1973 se desempeñó como Jefe Inspección Ingeniería durante la construcción de Central El Toro. De 1974 a 1979 ejerció como Jefe Sección Estructuras, que efectúa trabajos de proyecto en las áreas estructural, mecánica de suelos e inyecciones y que incluye los laboratorios de ingeniería civil tanto en Santiago como en diferentes obras de la empresa. Desde 1980 se desempeña como Jefe del Departamento de Ingeniería Civil, encargada de la evaluación de los proyectos, los estudios en el terreno y el diseño básico y de detalle de todas las obras civiles de ENDESA, en particular de las centrales hidroeléctricas. Este departamento incluye tres secciones especializadas y seis grupos de proyectos, con un total de 180 empleados, de los cuales 64 son ingenieros. En la actualidad es Director del Instituto de Ingenieros de Chile.

Agradezco la oportunidad que me han dado los auspiciadores de esta Charla para prologar la exposición que nos efectuará Alberto Vives, con quien me ligaron tantos lazos de amistad durante su permanencia en Chile y que ahora, con su característica generosidad, nos viene a entregar la experiencia adquirida en estos últimos quince años de regreso a su patria. Espero poder responder dignamente a esta demostración de confianza.

En esta exposición se me ha solicitado exponer cuál es la situación en 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, pues, dado que su uso no se encuentra muy extendido, no resulta fácil obtener la información respectiva.

En todo caso, valiéndome de la buena voluntad de varios profesionales que se desempeñan en el campo de la Tecnología del Hormigón más lo que me ha correspondido ver personalmente, espero poder darles una visión, la que, aunque seguramente incompleta, creo permite visualizar cuál es nuestra situación en la materia.

Aprovecho desde ya para agradecer a quienes con total desinterés me han facilitado la información de la que disponían, así como de las Empresas en las cuales trabajan y entre las que menciono a las Asesorías Técnicas de las Fábricas de Cemento, a la Empresa Adicret, fabricante de aditivos para hormigones, a Pretesa, fabricante de elementos pretensados, a Pétreos S.A., proveedor de áridos y hormigones premezclados, y a ENDESA, la Empresa donde me desempeño.

En base a esta información me es posible describirles ahora algunas aplicaciones, algunas de ellas bastante originales, en las cuales se ha hecho uso de este tipo de tecnología.

Para este objeto, debo en primer lugar señalarles que, arbitrariamente, a falta de una definición en nuestro país al respecto, he considerado como hormigones de alta resistencia aquellos en los cuales la resistencia especificada a 28 días es igual o superior a 400 kg/cm², 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 necesariamente en nuestro país nos encontramos en una etapa que puede considerarse incipiente en este campo, puesto que dicho valor de resistencia, aún cuando corresponde al mismo que el ACI utiliza como definición para

este objeto, también este organismo señala que actualmente en EE.UU. 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.

Hecho este preámbulo paso a exponerles algunas aplicaciones en que se han empleado hormigones de alta resistencia en nuestro país y sus características generales.

Debe señalarse en primer término que, en general, un uso bastante sistemático de hormigones de alta resistencia se ha dado en la industria de elementos prefabricados pre y post tensados.

En ellos, la alta resistencia a 28 días ha sido obtenido más bien en forma indirecta, como derivado de las exigencias a edades mas tempranas, generalmente entre 1 y 3 días, puesto que habitualmente es la resistencia en el momento del tensado de los cables el 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, los cuales aprovechan del hecho 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/cm² a 28 días, partiendo de condiciones de resistencia de unos 350 kg/cm² 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/m³ y trabajabilidades de alrededor de 6 cm., medidas 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 m³, elaborándose con esta metodología elementos tales como:

- * Vigas pretensadas para cubierta de las Estaciones del Metro de Santiago.
- * Loseñas 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 nuestra ciudad.

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 kg/cm².

Como consecuencia de estos estudios, se especificó el empleo de dos tipos de hormigones:

- * Uno de 500 kg/cm² 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 kg/m³, 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 kg/cm² 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 kg/m³, 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, la Empresa en que trabajo, también hemos hecho aplicaciones con hormigones de alta resistencia.

Aparte de la participación en la producción de postes pretensados de luces superiores a 15 metros que he 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.

Aún cuando 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.

Sin embargo, 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/cm² 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/m³.

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 éstos 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/cm² a 28 días.

Estas resistencias fueron logradas mediante el uso de hormigones de tamaño máximo de 3" y un asentamiento de cono de 5 a 6 cm, lo cual permitió en ellos lograra la resistencia mencionada con una dosis de cemento de 380 kg/m³.

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 cual resulta importante en obras masivas, en las cuales los procesos térmicos derivados de la hidratación del cemento deben limitarse al mínimo posible.

Los casos que he mencionado anteriormente permiten llegar a la conclusión 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 prever en forma razonablemente segura las propiedades generales de este tipo de hormigones a partir de antecedentes de tipo general.

Esto significa disponer en el mercado 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 he estimado conveniente incluir en esta exposición también un análisis desde el punto de vista de las condiciones en los que los aspectos señalados se cumplen actualmente en nuestro país, reconociendo que la generalidad con que es posible abordarlo en esta exposición sólo permite sacar conclusiones también muy generales.

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

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, en mi opinión ello puede ser superado a través de las Asesorías Técnicas que actualmente poseen las Fábricas.

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 permitan 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.

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 obras de hormigones de alta resistencia.

Finalmente, y para terminar, unas pocas palabras sobre el conocimiento técnico necesario en relación con los hormigones de alta resistencia.

Los estudios realizados para las obras que he 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 he recibido, los ensayos de laboratorio indican resultados promisorios.

Sin embargo, en mi opinión 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, creo que 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.

Reitero mis agradecimientos a quienes me han permitido emplear esta elevada tribuna así como a todos Uds., por su paciente interés a estos conceptos mediante los cuales espero haber representado adecuadamente el estado del arte sobre los hormigones de alta resistencia en nuestro país.

La publicación del presente artículo se debe a una gentileza del Sr. Hernán Zabaleta G., quien nos proporcionó el material aquí reproducido.