

retardantes del fraguado de acuerdo a las normas Australianas 1478 y 1479-1973, Aditivos Químicos para el Concreto (modificaciones del 1 de mayo de 1974 y 2 de julio de 1978), han probado ser benéficos para el control de la manejabilidad. Los requisitos para los aditivos reductores de agua y retardantes del fraguado son casi idénticos a la norma ASTM C-494-77a. Especificación Estándar para Aditivos Químicos del Concreto para aditivos tipo D.

En Australia comúnmente son utilizados tres tipos básicos:

1. Sales de ácidos lingno-sulfónicos tales como lignosulfatos de sodio, calcio o amonio. Estos generalmente contienen hasta un 10% de azúcares reductores.
2. Ácidos hidroxil carboxílicos y sus sales, tales como gluconatos, heptonatos y citratos.
3. Polisacáridos, tales como dextrina y almidones.

La efectividad de estos aditivos depende enormemente de su compatibilidad con el cemento utilizado, y especialmente con el tipo y cantidad de yeso en el cemento. Algunos cementos, cuando son utilizados en combinación con aditivos conteniendo ciertos tipos de mono o disacáridos pueden exhibir un endurecimiento temprano en la pasta (no como el fraguado falso) y a la vez retardar muy severamente el fraguado final. Este problema está restringido a sólo unas cuantas condiciones particularmente desfavorables de aditivos y cementos y aun así parece estar limitado principalmente a cementos que son producidos con yeso sintético.

En el concreto fluidizado, la efectividad de los superplastificantes está limitada en cuanto al tiempo, y la rapidez de pérdida en la manejabilidad (según medido por el revenimiento, mesa de fluidez, etc.), es altamente dependiente de la temperatura. Es por esta razón que en las regiones tropicales y particularmente en las subtropicales, los superplastificantes se deben añadir en la obra, justo antes de ser colado el concreto.

Aún así, a temperaturas elevadas, el tiempo de recuperación puede ser muy corto (5-10 minutos). Esto se aplica particularmente al concreto de alta resistencia (gran contenido de cemento) con revenimiento inicial relativamente bajo.

Para sobrellevar este problema, se debe utilizar un superplastificante especial modificado (retardante) y el proporcionamiento debe permitir, si es posible, un revenimiento inicial de por lo menos 60 mm.

Antes de utilizar estructuralmente un concreto en particular, es esencial evaluar el comportamiento a corto y a largo plazo de una combinación específica de cemento-aditivo-agregado. Aun así, el uso de retardantes inorgánicos, tales como sales de plomo, zinc, cobre, boratos solubles, etc., generalmente no se recomienda en concreto convencional y superplastificado debido al posible comportamiento errático de estos retardantes y su muy inferior comportamiento en ge-

neral, en comparación con los aditivos orgánicos reductores de agua y retardantes. Por supuesto, puede haber algunas circunstancias especiales donde pueden ser requeridos el uso de retardantes inorgánicos (4, 5).

Cuando sea posible, el control de la temperatura del concreto fresco (usando agua enfriada, hielo triturado, etc.) puede producir muy buenos resultados para reducir la rapidez de pérdida de revenimiento en el concreto (5).

#### MEJORAMIENTO DEL ACABADO EN CLIMA CALIENTE.

Concreto fluidizado diseñado adecuadamente es particularmente benéfico para acabados de cimbra. Se requiere de los requisitos básicos de buena calidad de cimbra y es importante el uso de agentes liberadores adecuados. Sin embargo se requiere de muy poca vibración.

El mejor acabado de la superficie en columnas muy reforzadas o paredes delgadas y altas lo proporcionan los vibradores externos operando a intervalos cortos y a frecuencias altas y amplitudes bajas, y colocados en las esquinas de las cimbras de muro, o en cualquier otro punto de cambio en la geometría de la cimbra. Sin embargo, cuando se esté utilizando concreto plastificado, especialmente con vibrado externo, se debe dar atención especial al diseño de la cimbra. Concreto fluidizando ejerce una presión hidroestática como si fuera una masa líquida de 2,400 kg/m<sup>3</sup> en todo el peralte de la cimbra. Consecuentemente la presión desarrollada a una profundidad de h metros abajo de la superficie del concreto está dada por:

$$p = 2400 \times h = 2400 h \text{ k/m}^2$$

Como ya se había mencionado, los acabados en la superficie libre son afectados principalmente por las técnicas de acabado y el momento en que se realizan.

Una vez que el concreto fluidizado se regresa a la consistencia original, se aplican los métodos de acabado convencionales. El uso de aditivos superplastificantes con grados especiales de retardantes pueden ayudar en prolongar los tiempos de fraguado del concreto en clima caliente, pero estos tienen que ser seleccionados cuidadosamente para compatibilidad con los cementos locales.

El momento en que se añade el aditivo tiene una gran influencia sobre las propiedades reológicas del concreto (6) y sobre la duración del efecto superplastificante en el caso del concreto fluidizado (7). Como regla, los aditivos superplastificantes se añaden en la obra, comúnmente 20 a 40 mm. después de que el concreto es mezclado en planta (o en camión revolvedor). En Readymix hemos encontrado que para la combinación de un aditivo en particular y materiales locales, contenido de cemento, etc., hay un tiempo óptimo para añadir el plastificante por ejemplo el momento para añadirlo que produce efecto fluidizante máximo en magnitud y duración para una dosificación de aditivo dada. Este efecto no sola-

mente depende del tiempo sino que también de la temperatura.

Como ya se había mencionado, las irregularidades en la superficie tales como agrietamiento por asentamiento, contracción plástica, depósito de sales en la superficie, formación de escamas y de polvo, pueden ser causadas por la combinación desfavorable de las rapidezces de evaporación de agua causada por elevada temperatura, la de sangrado y del efecto directo de la temperatura sobre ya sea la hidratación del cemento o movimiento térmico del concreto fresco.

Se puede lograr la protección del concreto contra las inclemencias del tiempo en el sitio de la obra mediante la erección de parasoles y rompevientos, y la técnica debe aplicarse a concreto fluidizado así como a concretos convencionales.

Por el otro lado, la producción de un concreto el cual tenga características óptimas de sangrado es la responsabilidad del proveedor. El concreto fluidizado es particularmente sensitivo al tipo y cantidad de los ingredientes utilizados. El comportamiento reológico del concreto superplastificado depende en gran parte en la forma, textura y granulometría del agregado y de las partículas de cemento. La demanda de agua y sangrado del concreto dependen enormemente en la superficie específica de las partículas de agregado, y la adición de cantidades aun muy pequeñas de material ultrafino pueden alterar dramáticamente estas características. Por ejemplo Joisel (8) dice que la adición de un 3% de arcilla bentonítica con una superficie específica de 200,000 cm<sup>2</sup>/g a cemento con una superficie específica de 3000 cm<sup>2</sup>/g, triplica la de todas las partículas, con el resultado de que el sangrado se reduce a una novena parte del sangrado que ocurriría usando sólo cemento. Materiales puzolánicos, tales como arcillas y pizarras calcinadas, tufas volcánicas y pumice, o productos secundarios de la industria tales como cenizas, polvos, partículas de sílica, etc., pueden ser añadidos en varias cantidades dependiendo de su actividad puzolánica (por ejemplo ASTM C-311), fineza y composición química.

En cuanto al acabado de la superficie del concreto, se debe enfatizar que no hay un proporcionamiento óptimo absoluto. Uno solamente puede diseñar una revoltura óptima que proporcione un acabado perfecto para un conjunto particular de condiciones ambientales. Son de particular importancia la relación entre la rapidez de sangrado y la rapidez de evaporación, y la temperatura en la superficie del concreto.

El problema de la formación de polvo y escama en la superficie puede surgir bajo un rango amplio de condiciones ambientales adversas, y en teoría debería ser posible diseñar una mezcla que de un comportamiento sin problemas para un conjunto dado de condiciones. La relación correcta de adición de materiales ultrafinos y puzolánicos a menudo pueden mejorar el acabado de la superficie del concreto fluidizado bajo condiciones extremas de exposición, pero igual adición de ultra fino en concreto convencional pueden empeorar el problema de formación de polvos en la superficie bajo condiciones ambientales comparables.

Generalmente el concreto fluidizado diseñado adecuadamente se comporta

rá mejor que el concreto convencional bajo condiciones climáticas tropicales y subtropicales, no solamente debido al hecho de que las propiedades reológicas del concreto superplastificado son bastante diferentes que las de revolturas convencionales, sino que también porque el concreto superplastificado es un producto de calidad y requiere cuidado muy especial en su diseño y fabricación.

Un concreto mal diseñado y elaborado al cual se le ha añadido aditivo superplastificante, creará considerablemente más problemas en su manejo y colado, y que en el estado endurecido será un producto de calidad inferior a la de una revoltura convencional.

Aun con concreto fluidizado diseñado adecuadamente, se puede observar un fenómeno interesante bajo un conjunto particular de condiciones ambientales. Es muy susceptible de ocurrir en un día caluroso y con viento cuando la superficie del concreto no ha sido ni reglado ni enrazado, y la temperatura del concreto en el lugar excede a los 40°C. Bajo estas condiciones, y con la mayoría de los aditivos superplastificantes, es posible ver el crecimiento de pequeños "hongos" son arrastrados por el viento, o pueden ser quitados fácilmente tallando o lavándose la superficie del concreto. Un análisis químico indica que estos "hongos" consisten principalmente de sales de potasio y sodio, y aparentemente no tienen efecto permanente en el concreto.

Quizá sea deseable investigar si la formación de los "hongos" lleva a una reducción en la alcalinidad del concreto y por lo tanto menos posibilidad de reacción del álcali con el agregado.

#### CONCLUSIONES:

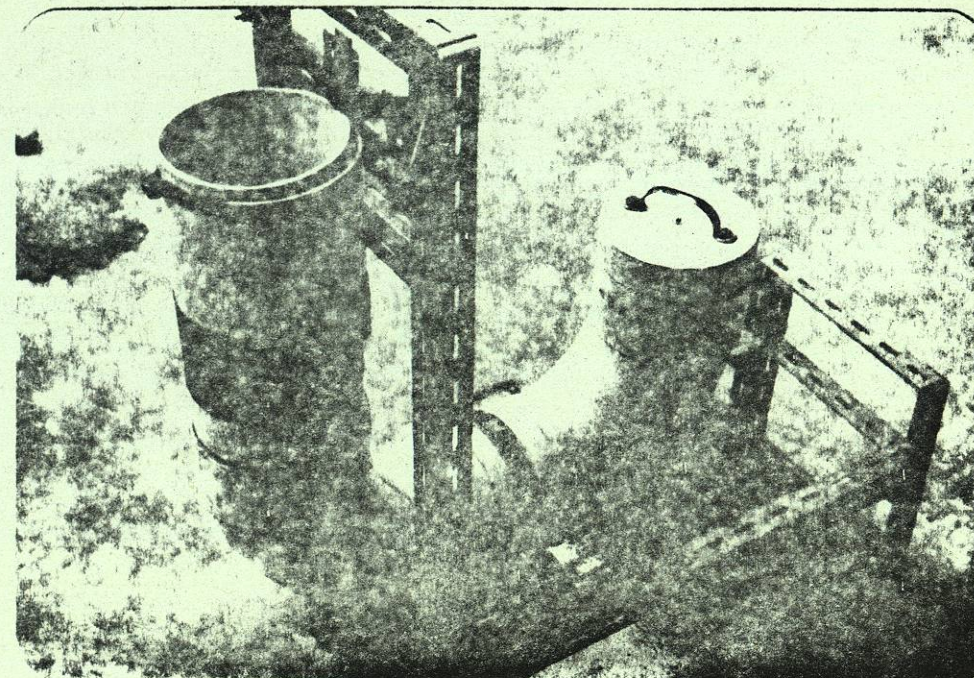
Mucho de los problemas de colar concreto en clima caliente pueden ser resueltos con éxito utilizando concreto superplastificado diseñado adecuadamente y elaborado bajo condiciones estrictamente controladas. Se debe recordar que el concreto superplastificado es un material de primera calidad. Cuesta más para producirlo, pero en muchas ocasiones el costo del concreto colado es realmente menor, y además con muchos beneficios tales como la facilidad en el manejo, mejores acabados, mejores compactaciones y por lo tanto mejores propiedades al endurecerse.

Hay ciertas guías generales que uno puede seguir cuando se está diseñando una mezcla de concreto superplastificado. Sin embargo, un diseño óptimo, particularmente para condiciones de clima caliente, puede ser bastante diferente para regiones con diferentes tipos de agregados, cemento, materiales puzolánicos y ultrafinos disponibles. Es indispensable que en cada región el diseño y refinamiento final de las revolturas sea hecho por laboratorios de investigación y desarrollo competentes, antes de que se le dé luz verde al concreto superplastificado para uso estructural.

#### REFERENCIAS

1. LEONHARDT, F., Lectures, "Crack Control in Concrete Structures", The Institution of Engineers, Australia, 1977.
2. MALHOTRA, V.M., "Superplasticizers in Concrete", NRMCA, Maryland, 1978.
3. FREESE, D., "Practical Experience in the Use of Superplasticizers in Ready-Mixed Concrete", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
4. COOK, H.K., "Use of Retarding Admixtures in Concrete Bridge Decks in Hot Arid Climates", Proceedings of International RILEM Symposium Concrete and Reinforced Concrete in Hot Countries, Haifa, August 1971.
5. NÚÑEZ, E.H., "Ready-Mixed Concrete in Hot Weather", Proceedings of International RILEM Symposium Concrete and Reinforced Concrete in Hot Countries, Haifa, August 1971.
6. BRUERE, G.M., "Effects of Mixing Sequence on Mortar Consistencies When Using Water-reducing Agents", Symposium on Structure of Portland Cement Paste and Concrete, Highway Research Board Special Report 90, Washington D. C., 1966.
7. PERENCHIO, W.F., et al., "Water Reduction, Slump Loss and Entrained Air Void Systems as Influenced by Superplasticizers", Proceedings of the International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 1978.
8. JOISEL, A., "Admixtures for Cement", published by the author, 3 avenue André, 95230 Soisy, France, 1973.

#### PRODUCCION Y CONTROL DEL CONCRETO "FLUIDIZADO"



Para medir las propiedades reológicas (fluidez) del concreto superplastificado se desarrolló en el Laboratorio Central de Investigación de Readymix un aparato llamado "tubo de caída".

El tubo se llena con concreto mientras que el extremo inferior está cerrado con la tapa, la cual tiene una válvula para sangrado. Se abre rápidamente la tapa y se deja fluir el concreto bajo la presión hidroestática de la columna de concreto en el extremo más alto del tubo.

La altura de la columna de concreto que queda en el extremo más elevado del tubo es la medida de la fluidez, por ejemplo menor es la columna lo más fluido que resulta ser el concreto.