

### PROBLEMAS DE COLADO DE CONCRETO EN CLIMA CALIENTE.

Las condiciones del clima caliente se pueden dividir en 2 grupos principales:

- 1.- Mucha humedad (zonas costeras).
- 2.- Poca humedad (áreas desérticas).

Las elevadas temperaturas pueden manifestarse con su efecto sobre:

- 1.- La manejabilidad del concreto fresco (tanto magnitud y duración).
- 2.- El acabado del concreto recién colado.
- 3.- El agrietamiento del concreto (durante el proceso del fraguado y en el estado endurecido).
- 4.- Resistencia del concreto.
- 5.- Durabilidad del concreto (así como la corrosión del acero en el concreto reforzado).

### MANEJABILIDAD - EFECTO DE LA TEMPERATURA.

Los cambios en la manejabilidad del concreto fresco pueden ser causados por:

- a) Cambios físicos, por ejemplo, pérdida de la fase líquida de la pasta del cemento debido a la evaporación del agua y a la absorción de agua agregado, o cambios en la granulometría debido a trituración mecánica de partículas débiles del agregado.
- b) Cambios físicos químicos, por ejemplo, cambio en la graduación de cemento debido a la formación de capas de etringita sobre las superficies de los granos de cemento y a cambios en la viscosidad de la fase líquida al ser disueltos los álcalis.
- c) Cambios químicos causados por la hidratación del cemento y por formación de uniones químicas moleculares.

La temperatura en sí tiene una influencia bastante fuerte sobre los cambios químicos y físico-químicos, y la temperatura en combinación con la humedad relativa y la velocidad del viento tiene un efecto enorme sobre la rapidez de evaporación del agua de la superficie del concreto.

### ACABADO DE LA SUPERFICIE.

El arte de producir acabados óptimos en la superficie del concreto no puede ser descrita en un artículo de unas cuantas hojas, pero podemos considerar dos tipos principales de superficie, la de la cimbra y la de formada libre.

Los acabados de cimbra dependen del tipo de cimbra y agente liberador utilizado, de las propiedades reológicas y características de sangrado del concreto y en el grado de consolidación o compactación del concreto.

El efecto de la temperatura está limitada sólo a cambios reológicos y rapidez de sangrado del concreto. El concreto fluidizado diseñado adecuadamente generalmente tiene características reológicas excelentes para acabados de cimbra y se puede esperar un buen acabado siempre y cuando se mantengan estas propiedades durante el colado y consolidación del concreto.

Los acabados de formado libre están afectados primeramente por las técnicas de compactación y acabado, las cuales a su vez están relacionadas estrechamente a las características reológicas del concreto.

El sangrado del concreto, particularmente la rapidez del sangrado, puede afectar el acabado de la superficie.

Se debe reconocer que todo concreto capaz de ser consolidado debe sangrar, pero cuando las condiciones ambientales son tales que la rapidez de evaporación es mayor que la rapidez de sangrado, no es visible ninguna agua sobre la superficie del concreto.

En concretos mal diseñados, las velocidades de sangrado muy altas pueden forzar algo del material ultrafino hasta la superficie. Esto causará la formación de escamas y polvo cuando el cemento endurezca.

En cambio, y particularmente cuando la rapidez de evaporación es grande (por ejemplo, temperatura elevada, baja humedad y vientos fuertes) la falta de sangrado hará que la superficie de concreto se seque formando una costra, la cual estará sujeta a agrietamiento por contracción plástica.

Otro problema que puede surgir cuando la superficie de concreto se está secando muy rápidamente es la formación de pequeñas burbujas.

El uso de "secadores" (o cemento-arena o cemento-polvo puzolánico) para absorber el agua de sangrado a menudo puede agravar este problema. También es posible la formación de burbujas cuando el concreto es colado (en regiones donde la variación de la temperatura del día a la de la noche es alta) sobre una cimentación fresca y después calentado rápidamente en la superficie durante el día.



#### AGRIETAMIENTO DEL CONCRETO.

Como ya se había mencionado, el secado rápido de la superficie del concreto puede ocasionar agrietamientos por contracción plástica. Ya que la rapidez de evaporación del agua no es solamente dependiente de la temperatura, sino que también de la humedad, el problema para latitudes similares es más prevalente en las zonas áridas (centrales).

La mayor parte del agrietamiento del concreto en el estado fresco es causado por asentamiento del concreto alrededor de las varillas de refuerzo. En la mayoría de los casos se puede eliminar el agrietamiento con una compactación a fondo, recubrimiento adecuado del refuerzo y técnicas correctas en el acabado. El proporcionamiento de la revoltura es importante dado que las propiedades reológicas del concreto afectan estos procedimientos.

Una vez que el concreto empieza a endurecer y desarrollar algo de resistencia a esfuerzos de tensión, la tendencia principal de la formación de grietas se debe a los esfuerzos producidos por movimientos térmicos, excediendo la baja resistencia a la tensión del concreto a esta edad. La contracción por secado en el primer día o dos puede contribuir a este problema, pero no hay duda de que la causa principal sean los esfuerzos por temperatura (1). Es muy frecuente particularmente en algunas partes en el interior de Australia, el de tener variaciones en temperaturas del día a la noche de unos 30°C, y con un coeficiente de una expansión térmica de unos 0.00001 cm/cm por grado centígrado, y la rapidez de cambio en longitud es de unos 0.0003 cm/cm en 12 horas o menos. Esto es más de 10 veces la rapidez de contracción promedio máximo en concretos estructurales. Obviamente, aun bajo las condiciones más extremas, el agrietamiento ocurrirá solamente si el miembro estructural está lo suficientemente restringido y los movimientos causan el desarrollo de esfuerzos de tensión. En miembros continuos largos sin las uniones de expansión y térmicas los esfuerzos de contracción por secado pueden ser los causantes de la mayor parte del agrietamiento, y si la variación de la temperatura en la región es moderada, los movimientos térmicos serán solamente un factor contribuyente.

#### RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Temperaturas iniciales elevadas generalmente aumentan la rapidez inicial de ganancia de resistencia, pero reducen la resistencia última del concreto. A manera de mantener la temperatura del concreto tan baja como sea posible, se ha encontrado que el enfriar el agregado grueso rociándolo con agua, el usar agua fría y hielo triturado para el mezclado, y pintar de colores claros y reflejantes los "trompos" de los camiones revolventes, produce resultados razonables.

#### DURABILIDAD DEL CONCRETO.

La durabilidad del concreto bajo condiciones tropicales y subtropicales

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

les depende enormemente sobre la densidad, impermeabilidad y resistencia del concreto. Se pueden lograr mejoramiento adicionales mediante la selección adecuada de los ingredientes de la revoltura. Por lo tanto se puede relacionar la influencia predominante de la temperatura sobre la durabilidad con el efecto de la temperatura sobre las propiedades reológicas (su compactabilidad) del concreto, como ya se discutió anteriormente.

#### RESOLVIENDO PROBLEMAS DE CLIMA CALIENTE CON CONCRETO FLUIDIZADO.

El concreto fluidizado es producido a partir de concreto convencional con proporcionamiento y composición especiales, de consistencia inicial (revenimiento) estrictamente controlado mediante la adición de un aditivo especial (2) (3).

Estos aditivos son conocidos como fluidizantes (en alemán: flissmittel) o superplastificantes, y generalmente están divididos en cuatro tipos básicos:

- A. Condensados de melamina-formaldehído sulfonatado.
- B. Condensados de nagtalen-formaldehído sulfonatado.
- C. Lignosulfonatos modificados.
- D. Otros, tales como ácido sulfúrico o ésteres de carbohidratos.

El efecto superplastificante de cada tipo de aditivo tiene un mecanismo algo diferente y en Readymix el tipo y marca del superplastificante es cuidadosamente seleccionado y ensayado con una combinación particular de ingredientes del concreto.

Concreto fluidizado es producido por Readymix a partir de materiales cuidadosamente seleccionados y correctamente proporcionados, que en su estado fresco tiene gran fluidez y a la vez buena cohesión. No exhibe sangrado excesivo ni segregación, se endurece dentro del tiempo límite especificado por la norma Australiana para un concreto convencional y tiene aire incluido controlado.

Es muy importante la selección de ingredientes compatibles y el proporcionamiento muy cuidadoso y exacto del concreto.

#### PERDIDA DE MANEJABILIDAD

Ya se ha discutido el mecanismo del efecto de la temperatura sobre la manejabilidad.

El uso en el concreto convencional de aditivos reductores de agua y --



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 ligno-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. Polisacaridos, 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 disararidos 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 a 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

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 fluidizado ejerce una presión hidroestática como si fuera una masa líquida de  $2,400 \text{ kg/m}^3$  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-