
BIBLIOGRAFIA

Recomendaciones sobre los métodos de medida, mezclado, transporte y colocación del hormigón

ACI COMMITTEE 304. Proposed revision of ACI 614-59: Recommended practice for measuring, mixing, transporting, and placing concrete. *Journal of the American Concrete Institute. Proceedings*, vol. 69, n° 7 (julio 1972) pp. 374-414.

Se describen los procedimientos más adecuados para el conjunto de operaciones que constituyen una faena de hormigonado; de manera que estas recomendaciones señalan lo que *debería hacerse* y dejan al usuario la responsabilidad de hacerlas *obligatorias* en una determinada especificación. Si bien muchas de estas recomendaciones pueden aplicarse a hormigones especiales, se refieren específicamente a hormigones de densidad normal.

Hay once capítulos, siendo el primero de introducción y el último de las fuentes de información más una lista de 71 referencias relacionadas con los temas tratados.

Los capítulos restantes se refieren a: Control, manejo y almacenamiento de los materiales incluidos aditivos y puzolanas. Medición de los materiales y equipo de medición. Mezclado, diseño, mantenimiento y operación de las betoneras, incluyendo el hormigón listo. Transporte del hormigón. Colocación por medio de tolvas, capachos, cintas transportadoras, canoas y mangas; también se tratan equipos para pavimentación. Hormigón precolocado. Tubos tolva. Hormigón bomba en que se analizan los equipos de bombeo, la dosificación del hormigón para bombear, las granulometrías recomendadas y los métodos de instalación y de operación. El capítulo diez se refiere a los moldes, limpieza de las juntas de construcción y terminaciones.

Hormigonado bajo agua

NETHERLANDS COMMITTEE FOR CONCRETE RESEARCH. Onderwaterbeton. *CUR Informe 56* (diciembre 1972), 63 pp.

Hasta hace poco tiempo, en los Países Bajos, se consideraba de poco valor estructural al hormigón bajo agua, debido a que, si bien se especificaba que tuvieran un contenido alto de cemento, el método de colocación quedaba librado a la elección del contratista. La calidad del hormigón obtenido así era en general desconocida.

El Comité hizo investigaciones sobre la incidencia del método de colocación y obtuvo los siguientes resultados:

La colocación por inyección da lugar a resistencias bajas (15 a 20 N/mm²). La calidad de este hormigón no es homogénea y su precio, sin considerar la colocación, es mayor que el del hormigón corriente.

Los métodos de tubos-tolva, bombeo y de válvula hidráulica producen resistencias elevadas (del orden de 40 N/mm²). Además el hormigón en estos casos es homogéneo (pocas capas sueltas). No se pueden señalar ventajas para ninguno de ellos en términos de calidad del hormigón. La elección debe hacerse en función de costos, condiciones técnicas y velocidad de colocación.

Se obtuvieron resistencias elevadas, del mismo orden de las anteriores, por colocación con capachos; pero el hormigón resulta con una elevada proporción de capas sueltas. De modo que el método no es adecuado para obtener hormigón estructural.

Las mezclas para colocación bajo agua deben tener un descenso de cono grande (15cm) y ser muy cohesivas. Esta última condición se logra con un contenido elevado de partículas finas, o sea, agregando más arena que la usual en hormigones corrientes.

Es preferible limitar el cemento a lo estrictamente necesario para obtener la resis-

tencia deseada y suplir la eventual deficiencia de finos con cuarzo molido, cenizas volantes, puzolana, etc.

No se obtuvieron conclusiones importantes en lo relativo al uso de aditivos para mejorar la cohesión, pero aparece poco probable que la calidad del hormigón obtenida por los métodos de colocación bajo agua pueda mejorarse por el uso de aditivos.

Resumen de los autores

Control de fraguado del hormigón en obras con moldaje deslizante

FISHER, G.H. Concrete set control for vertical slipforming. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 69, n° 9, (septiembre 1972) pp. 556–561.

El control del tiempo de fraguado es uno de los factores principales en el éxito de construcciones con moldes deslizantes. El método de resistencia a la penetración para determinar el tiempo de fraguado del hormigón (ASTM C 403) es una contribución importante a la tecnología del hormigón y debiera ser de uso normal. En las operaciones de hormigonado es importante por varios conceptos el punto de la curva de fraguado en que comienza a desarrollarse resistencia a la penetración. Este punto merecería tal vez un nombre propio, como lo han tenido el comienzo y el fin de fraguado. El autor estima que ese punto debiera llamarse comienzo de fraguado y que el punto en que la resistencia a la penetración es de 500 psi debe llamarse límite de vibración.

El control del tiempo de fraguado puede realizarse por varios métodos usando aditivos, algunos de los cuales se describen, con indicación de tipos y contenidos, dosificación de hormigones y procedimientos prácticos; también se analiza la relación entre el tiempo de fraguado del hormigón, el tiempo de comienzo del deslizamiento del moldaje y la velocidad de deslizamiento.

El autor ha obtenido amplia experiencia en la construcción de reactores nucleares, chimeneas, y diversas clases de silos.

La ductilidad en pilares de hormigón armado para solicitaciones sísmicas

PARK, R. y SAMPSON, R.A. Ductility of reinforced concrete column sections in seismic design. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 69, n° 9 (septiembre 1972), pp. 543–551.

Se analiza en este trabajo la ductilidad que debe impartirse a pilares de hormigón armado cargados excéntricamente para resistir esfuerzos sísmicos. Se recomienda un método para determinar la cuantía de la armadura transversal, el cual se basa en un estudio teórico que hace uso de las curvas tensiones–deformaciones del hormigón confinado por estribos rectangulares y del acero incluyendo en éste el endurecimiento por deformación. El método toma en cuenta la curvatura mínima exigida a la rotura: los niveles de carga axial, la cuantía de la armadura longitudinal y la resistencia de los materiales; y llega a la conclusión de que la cuantía transversal depende de todos esos factores. Por otra parte, se concluye que las normas actuales (ACI, SEAOC, ICBO) pueden ser insuficientes en casos de cargas de gran magnitud en pilares con cuantías débiles, e inversamente, pueden ser excesivas en otros casos. Además se hace ver que el efecto del endurecimiento por deformación de los aceros longitudinales da una capacidad de flexión adicional a curvaturas grandes, y que a esas curvaturas se puede pandear el acero longitudinal lo que señala la necesidad de acercar los estribos entre sí.

Empleo de desechos sólidos en la construcción

BYNUM, D.; EVERTSON, J.F.; FLEISHER, H.O., y RAY, D.R. Uses of wasted solids for improved construction. *Matériaux et constructions*, vol. 5, n° 28 (julio-agosto 1972), pp. 221–229.

La mayor parte de los estudios referentes a eliminar residuos sólidos se ha concentrado en la forma de tratarlos químicamente, de quemarlos o de enterrarlos. La incineración

no es compatible con la actual susceptibilidad contra la polución atmosférica y llevada a cabo en depósitos cerrados es muy costosa. Enterrar los desechos no resulta fácil, debido al aumento de precio de los terrenos y a que el suelo pierde poder portante por la presencia de tales restos. Hay que pensar que la mejor solución está en la reutilización de estos productos.

Tal solución puede alcanzarse por el análisis de sistemas realizados por conjuntos interdisciplinarios en los que participen especialistas en análisis de materiales, en equipos mecánicos y en métodos de construcción. Los primeros pueden hacer las investigaciones necesarias para establecer la forma, el aspecto y la constitución de los materiales, los segundos pueden diseñar las maquinarias para procesar los materiales económicamente y los últimos decidirán sobre las aplicaciones.

En este trabajo se analizan las soluciones posibles, las cantidades y costos de los desechos sólidos, se revisan las tentativas realizadas precedentemente y se da cuenta de varios estudios de factibilidad referente al empleo de desechos para mejorar la construcción. En estos estudios, los autores aprovecharon los métodos de análisis desarrollados por la industria aeroespacial para evaluar nuevos materiales, como son botellas, neumáticos, envases plásticos y residuos animales.

Resultados de ensayos y calidad del hormigón

KOUFOPOULOS, T. Strength data and concrete quality. *Matériaux et constructions*, vol. 5, n^o 29 (septiembre-octubre 1972), pp. 303-306.

Un gran número de especificaciones sobre calidad del hormigón establecen un límite al número de resultados defectuosos. La expresión usual es *no debe haber más de d resultados bajos en n ensayos*. La idea es de que la fracción de hormigón defectuoso de la obra no debe ser superior a d/n .

En este artículo se hace ver que si n es pequeño, como es usual, hay una gran probabilidad de que el hormigón aceptado según la

prescripción anterior tenga una fracción defectuosa mayor que d/n . Por ejemplo, si se especifica *no más de 1 defecto en diez ensayos* y se hacen 10, 20 o 30 ensayos, la probabilidad de rechazar un hormigón con más de 10% de defectos, es respectivamente de 0.505, 0.375 y 0.302. En cambio, la probabilidad de aceptar un hormigón de buena calidad es más débil, a saber, en los casos anteriores, 0.110, 0.106 y 0.104 respectivamente.

Se propone que, en el caso que la fracción defectuosa aceptable sea d/n , la especificación se modifique a *no más de d-1 defectos en n ensayos*. Siguiendo con los casos anteriores, si el objetivo es obtener un hormigón con fracción defectuosa no superior a 10%, las exigencias deben ser: *ningún defecto en 10 ensayos; no más de un defecto en 20 ensayos y no más de 2 defectos en 30 ensayos*. En estas condiciones los riesgos de aceptar hormigón de calidad baja son 0.313, 0.236 y 0.200 respectivamente y los riesgos de rechazar hormigón de buena calidad, 0.375, 0.274 y 0.226.

Solicitaciones dinámicas en las construcciones

NETHERLANDS COMMITTEE FOR CONCRETE RESEARCH. Dynamische problemen in de bouw. *CUR Informe 57*, (diciembre 1972) 88 pp.

Muy a menudo las cargas dinámicas que actúan sobre las obras de ingeniería no son periódicas. Un ejemplo evidente es el de las cargas de viento. Para calcular estructuras sometidas a estas cargas no periódicas se requiere una técnica diferente que la que se emplea en el caso de que las solicitaciones sean periódicas. En este informe se esboza esta técnica y se presentan ejemplos de su aplicación a casos de choques y de cargas arbitrariamente variables.

Además del tratamiento teórico se hace un examen de un cierto número de tipos de carga de ocurrencia común. Estas cargas se subdividen en periódicas, de impacto y de variación arbitraria.

En el primer grupo se consideran máquinas con motores a pistón, máquinas rotato-

rias, prensas rotativas, campanas; correr, bailar y saltar; corrientes de agua y viento.

En impacto están consideradas la caída de objetos, los portazos, explosiones de gas, golpes contra una pared.

En el tercer grupo están las olas, ráfagas de viento, remolinos, tráfico, sismos.

Se presenta el cálculo de estructuras simples a estos tipos de carga.

Finalmente se analiza el comportamiento del hormigón y del acero sometidos a sollicitaciones variables, y se definen los límites para los movimientos de los edificios tanto desde el punto de vista de los ocupantes como del constructor.

Resumen de los autores

Hidratación del cemento portland

WILLIAMSON, R.B. Solidification of portland cement. *Progress in Materials Science*, vol. 15, n° 3, 1972.

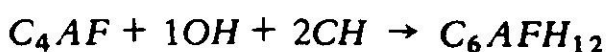
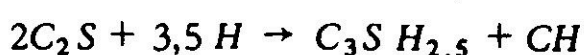
Pergamon Press, pp. 189-285.

Este extenso trabajo, con un nutrido repertorio fotográfico, cubre un amplio campo del proceso de hidratación (fraguado) del cemento portland. El trabajo presenta básicamente la descripción de lo que realmente ocurre cuando se observa el fraguado con un microscopio de barrido (SEM: Scanning Electron Microscope), pero este no es su único contenido.

En la introducción no descuida la parte histórica citando al clásico del cemento, Henry Le Chatelier y sus descubrimientos básicos: la constitución del clínquer y su teoría sobre el proceso del fraguado. Williamson, pone énfasis en la teoría de Le Chatelier (1887) sobre la solidificación de la pasta de cemento portland, que consistió en suponer que los componentes anhidros se disolvían en agua y luego los componentes hidratados precipitaban en esa solución. Contemporáneamente a esa teoría, Michaelis (1893), sostenía que la cohesión del cemento provenía de la formación y subsecuente desecación de un gel. Williamson es partidario de la idea de Le Chatelier, cosa que manifestó en un trabajo anterior* y ya desde el principio recuerda el proceso de solidifica-

ción de los metales, donde la fase sólida crece a expensas de la líquida durante el enfriamiento.

La breve descripción de la constitución del clínquer con que comienza la segunda parte, es altamente didáctica y bien escrita y lo mismo ocurre con la parte fenomenológica del proceso del fraguado que la cierra. Precisamos con Williamson, página 198, las principales reacciones que ocurren en el proceso de hidratación:



donde: $C \equiv CaO$, $S \equiv SiO_2$, $H = H_2O$, $A = Al_2O_3$, $F = Fe_2O_3$, como es usual en la literatura de la química del cemento y

C_3S : silicato tricálcico (alita)

C_2S : silicato dicálcico (belita)

C_3A : aluminato tricálcico (felita)

C_4AF : ferro-aluminato tetracálcico (celita)

son los principales componentes del clínquer. Siendo los componentes hidratados:

$C_3S_2H_{2,5}$: silicato hidratado de calcio (tobermorita)

CH : hidróxido de calcio (portlandita)

dejamos de lado la influencia del yeso.

La tercera parte, que trata de la microestructura de la pasta hidratada de cemento, es extensa y novedosa. Comenzando por los primeros estudios de Le Chatelier (1887) y finalizando con los recientes de Terrier y Moreau (1966), Williamson da cuenta de los resultados que puede entregar la microscopía óptica. Las observaciones indican que la portlandita comienza a formarse inmediatamente después de que se realiza la mezcla con agua y en cualquier lugar, en general sin contacto con las partículas de clínquer. El gel de tobermorita aparece un poco tiempo después y se forma alrededor de las partículas de clínquer. El proceso continúa has-

*Williamson, R.B. Constitutional supersaturation in portland cement solidifies by hydration. *Journal of Crystal Growth*, tomo 3, n° 4 (1968), pp. 787-794.

ta que ya no crecen más ni la tobermorita, ni la portlandita, sin que se alcancen a consumir totalmente los granos de clínquer. El proceso finaliza con la producción de una *hidratación interna de los restos de las partículas de clínquer*.

Todo esto, sin embargo, no resulta demasiado claro debido a la poca resolución de la microscopía óptica. Era entonces necesario utilizar otra técnica, esta es la contribución de Williamson y esa técnica es la microscopía electrónica de barrido. La información sobre esta técnica es actualmente abundante* y el trabajo de Williamson trae un pequeño apéndice sobre esto. El autor analiza la morfología de las pastas de C_2S y C_3S y el clínquer en diferentes épocas, desde los siete días hasta aproximadamente un año. De la confrontación de todo el material observado obtuvo una descripción fenomenológica que no difiere de la de Terrier y Moreau. Comienzan a crecer simultáneamente la tobermorita, que recubre cada partícula, la portlandita (nunca en contacto con un grano) y la hidratación interna.

Esta fenomenología parece correcta y ampliamente corroborada por la gran cantidad de material experimental. La explicación de este proceso por Williamson no difiere de la de Le Chatelier. Es decir, que la tobermorita y la portlandita crecen como los cristales en un líquido saturado y sobreenfriado. La hidratación interna de los granos no contribuiría a la formación de nuevas masas de tobermorita o portlandita.

Como todas las observaciones fueron hechas en zonas fracturadas es posible averiguar algo sobre las relaciones entre las propiedades mecánicas y la microestructura de la pasta de cemento. La teoría de Griffith (1924), completamente aceptada en la actualidad, hace responsable de la fractura frágil a los defectos que pueda haber y que producen concentraciones de tensiones. De la observación se deduce una lista parcial de los posibles concentradores de tensiones, página 281:

- a. poros que originariamente estaban llenos de agua (generalmente resultantes de las relaciones grandes de agua—cemento)
- b. poros que originariamente estaban llenos de aire

c. las pseudomorfois de los granos originales de clínquer (producto de hidratación interna), particularmente cuando están rodeados de cristales de portlandita.

Como resulta interesante, damos una traducción casi literal del proceso de hidratación tal como es visto por Williamson: "Usualmente existe una sobresaturación de iones de calcio y sílice en el espacio acuoso interno de la pasta de cemento, pero debe haber fuertes efectos constitucionales en el líquido externo a un cristal hidratado que crece. La semejanza en la morfología de las pastas, con una gran diferencia en sus relaciones acuosas, indica que debe haber efectos del entorno próximo a la zona hidratada que crece, similares al sobreenfriamiento constitucional. Los cristales finos y alargados de SCH, que como se mostró antes finalizan con una morfología esferolítica, se supone —por hipótesis— que se deben a una *sobresaturación constitucional* que se produce en el entorno del hidrato que crece. La solubilidad de muchas de las sales de calcio en agua decrece linealmente cuando aumenta la temperatura, y puesto que la formación del hidrato es un proceso exotérmico la concentración de equilibrio disminuye en la interfase que crece porque allí la temperatura subió. La mayor rapidez de difusión del calor alrededor de la interfase establece una zona sobresaturada en el entorno de la interfase sólido-líquido". Esta explicación, como el mismo autor reconoce, es bastante poco satisfactoria porque los compuestos silicosos del cemento son prácticamente insolubles en agua.

P. KITTL

Informe anual

CONCRETE RESEARCH
LABORATORY. *Annual report*,
1969. Karlstrup, Dinamarca.

Aunque viejo de 3 años, vale todavía la pena comentar este informe para señalar en estas latitudes qué es la investigación en hormigón, y esto es de primera importancia, en la hora actual.

En el prefacio ya tenemos fijada la línea directriz que organiza todo el tipo de traba-

*Kimoto, S. y Russ, J.C. The characteristics and applications of the scanning electron microscope. *American Scientist*, tomo 57, nº 1 (1969), pp. 112-113.

jos que se hace en el laboratorio: *la producción en serie de objetos prefabricados de hormigón* necesita de menor tiempo de estádía en el encofrado, mayores resistencias, menores variaciones en las dimensiones, menor *creep* y mayor durabilidad. Todo este cuerpo de propiedades sólo puede organizarse en forma racional usando técnicas adecuadas. Un cemento está caracterizado básicamente por su *composición de fases*, imposible de determinar sin microscopía óptica y rayos X. El fraguado está descrito por la producción de calor y la variación, con el tiempo, de la velocidad de propagación del ultrasonido.

La resistencia final del hormigón depende básicamente de la porosidad y ésta de la compactación, la cual, por último, puede perfeccionarse cuando se varían la frecuencia y la amplitud de vibrado. Así pueden obtenerse resistencias de hasta 3500 kg/cm² con porosidades (volumen de poros/volumen total) del orden de 0.35. La compactación implica el estudio de las propiedades reológicas de la pasta fresca de hormigón tanto con métodos de simulación como en la planta propiamente dicha. Natural es también que se estudie la compactación de hormigón reforzado con fibras.

Buena guía para proyectar hormigones de alta resistencia es tener un modelo para la tensión de fractura frágil, la propuesta por este Laboratorio es:

$$f(\theta) = \frac{P \cdot D^{1/2}}{\gamma^{1/2} \cdot E^{1/2}} \left(\frac{D}{d} \right)^{3/2}$$

donde P es la tensión de rotura en kgf/cm², D la dimensión de las partículas en cm, γ la energía por unidad de superficie de la nueva superficie formada por la ruptura en kgfcm/cm², d longitud de contacto entre partículas en cm, E el módulo de elasticidad de las partículas en kgf/cm², θ la porosidad del material. Está demás señalar que esta fórmula es una alteración de la antigua de Griffith. Así se pueden obtener morteros hasta 8 veces más resistentes que los comunes usando áridos finos y con la misma relación agua/cemento.

También resulta natural el estudio de las características de la deformación del hormigón con inclusiones macroscópicas de agregados rígidos, puesto que no es otra cosa la fractura del hormigón.

Se investiga también con análisis químicos locales (microprobe), la zona de contacto entre árido y cemento conteniendo álcalis. Estos se concentran en la interfase disminuyendo probablemente la adherencia.

Obviamente se presta atención al *creep* de corto rango en hormigón común y a las propiedades mecánicas de los hormigones que usan plásticos como material ligante.

Los cambios de volumen del hormigón con agregado liviano son estudiados en detalle en atmósferas con y sin dióxido de carbono.

La durabilidad en presencia de álcalis es investigada con micro análisis local de cortes delgados observados con microscopio óptico. Este campo abarca también los efectos de difusión de iones sulfato, los hormigones a base de vidrios y los efectos de la irradiación con neutrones.

Finalmente insistimos y también lo hacen los autores del informe, en que la caracterización de un cemento se hace básicamente determinando su composición mineralógica. Esto es posible, y así se hace en todos los laboratorios de países desarrollados, combinando técnicas de microscopía óptica de reflexión, rayos X, análisis térmico diferencial y análisis químico.

El personal científico que desarrolla este vasto programa está compuesto por 9 (nueve) investigadores, gran parte de estos trabajos son realizados por alumnos que hacen sus memorias, el personal técnico son 11 personas, hay dos secretarías y 5 personas más con trabajos varios. El laboratorio hace sólo investigación básica y dictado de cursos y no realiza ningún tipo de trabajo rutinario. El lector habrá notado el alto grado de eficiencia del laboratorio y el alto nivel de los trabajos que se realizan. Hay que pensar también que Dinamarca es un pequeño país y que el desarrollo o el subdesarrollo, como lo sostuvimos varias veces, es una actitud mental.

P. KITTL