
BIBLIOGRAFIA

Informe sobre el estado actual del hormigón reforzado con fibras.

ACI COMMITTEE 544. State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. *Journal of the American Concrete Institute. Proceedings*, vol. 70, n^o 11 (noviembre 1973), pp. 729 - 744

Este material es un mortero u hormigón que contiene a modo de armadura fibras discontinuas cortas y delgadas que pueden ser de acero, polímeros, vidrio, asbesto u otros productos naturales o artificiales. Las investigaciones sobre fibras distribuídas al azar en el hormigón se remontan a los años 1950 y las aplicaciones prácticas ya comenzaron a mediados de la década del 60. En este informe se da a conocer cuál es el estado actual de la técnica de preparación y uso del hormigón de fibras y sus propiedades más importantes.

El hormigón con fibras sometido a flexión tiene primero un comportamiento prácticamente lineal hasta lo que se designa como *límite de fisuración* o *límite proporcional* y después, con cargas mayores, alcanza su resistencia máxima a la cual sigue una etapa de grandes deformaciones con cargas descendentes.

Para calcular el primer límite se han propuesto dos hipótesis diferentes: una basada en el efecto de contención de grietas que ejercen las fibras, el cual depende del espacio entre fibras, y la otra, basada en la ley de mezclas de los materiales compuestos, que depende del porcentaje en volumen, orientación y factor de forma de las fibras; ambas dan sólo aproximaciones del límite de fisuración.

La resistencia a la rotura de este hormigón aumenta linealmente con el porcentaje en volumen de fibras y puede más que duplicar

la del hormigón sin armar, pero ciertamente la propiedad que más se beneficia con las fibras es la tenacidad o absorción de energía hasta la rotura, que es por lo menos un orden de magnitud mayor que en el hormigón simple.

La preparación del hormigón con fibras plantea algunos problemas nuevos, entre los más importantes están los de lograr una distribución uniforme y evitar la segregación y ovillamiento de las fibras durante el mezclado. Hay que señalar, además, que en el caso de fibras de acero, al aumentar el porcentaje en volumen de éstas disminuye el descenso de σ_{cno} .

Aparte de la resistencia a la fisuración y de la tenacidad, a que ya nos hemos referido, el hormigón con fibras tiene mejor comportamiento a la fatiga, a la abrasión y al resbalamiento que el hormigón simple; no hay todavía suficientes datos sobre otras características.

Las aplicaciones más numerosas del hormigón con fibras han sido en pavimentos, para los cuales experiencias realizadas por el Laboratorio de Investigaciones de Construcciones de Ingeniería del Ejército de EUA, indicaron que las losas de hormigón con 2% en volumen de fibras puede ser de la mitad del espesor de las losas de hormigón simple para igual carga de rueda.

Este hormigón se presta especialmente para estructuras resistentes a las explosiones por la isotropía de la armadura y por su gran ductilidad; y por esas mismas razones debe ser una buena solución para fundaciones sometidas a vibraciones y choque.

Otro campo de aplicaciones es el de hormigones refractarios, en que se han empleado fibras de acero inoxidable para temperatura elevada (hasta 1600°C) y de acero al carbono para temperaturas bajo 550°C. Se han empleado en revestimiento de horno

para cemento y en las puertas para hornos de solera abierta. Las grietas que se producen del lado del calor, aun cuando las fibras vecinas se oxidan e inutilizan, quedan detenidas por las fibras internas que permanecen intactas.

Se ha aplicado también en un sistema de viviendas de bajo costo por el Departamento de Agricultura de EUA, que consiste en albañilerías secas de bloques huecos revestidas en ambos lados con una delgada película de pasta de cemento reforzada con fibras de vidrio.

Se estima que el tema está abierto a una nutrida serie de investigaciones que tienen que ver con el desarrollo del producto, métodos de producción y colocación, métodos de cálculo y procedimientos de ensayo. En los aspectos básicos se requiere conocer mejor las propiedades físicas, comprender bien el mecanismo de adherencia de las fibras y estudiar más a fondo los problemas de durabilidad.

E. GOMEZ

Influencia del medio ambiente sobre las estructuras de concreto en México.

MARTIN, I. *Revista IMCYC*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, vol. 12, n° 67 (marzo - abril 1974), pp. 25 - 34.

En este artículo se estudia el comportamiento de estructuras de hormigón por efecto de las condiciones de clima o ambientales, de una zona dada de México, basándose en los datos disponibles de los observatorios meteorológicos. El método empleado es, sin embargo, general y puede aplicarse a cualquier región de cualquier país, limitado a variaciones de temperatura, humedad relativa del aire y velocidad del viento.

El autor presenta tres ejemplos prácticos de cálculo. En uno de ellos determina si se puede esperar agrietamientos en el hormigón durante el fraguado a partir de ciertas condiciones dadas de clima y de temperatura del hormigón. En otro, calcula el descenso de temperatura que hay que considerar en una estructura de hormigón construída en una determinada localidad, cuyos datos climáticos se conocen y en que se conocen además la cuantía de la armadura, el espesor

equivalente del hormigón y su dosificación. En el tercero se determina la longitud máxima entre juntas de dilatación o retracción según el clima del lugar y para algunos tipos de estructuras específicos.

Los métodos y los datos usados provienen principalmente de estudios y recomendaciones publicadas por la Portland Cement Association (PCA) de EUA, por el American Concrete Institute (ACI) y por el Comité Europeo del Hormigón (CEB), complementados con una tabla propuesta por el autor que da las variaciones térmicas equivalentes básicas en función de las condiciones climáticas del lugar.

Efecto de la forma de los áridos livianos en el hormigón estructural.

WILLS, M. H. Jr. Lightweight aggregate particle shape effect on structural concrete. *Journal of the American Concrete Institute Proceedings*, vol. 71, n° 3 (marzo 1974), pp. 134 - 142.

Se investigó en forma exploratoria seis áridos livianos finos para ver si a ellos también es aplicable el concepto, desarrollado para las arenas o áridos finos normales, de que las propiedades más importantes de los áridos finos son sus características de forma, angulosidad, y textura según se manifiestan en su contenido de huecos en estado suelto. Estas características afectan las exigencias de agua, la razón agua-cemento y en consecuencia la resistencia del mortero con una razón cemento-árido constante. Se encontró que para una variación en los huecos de 10% la resistencia a la compresión varió alrededor de 150 kgf/cm² (14.7 MPa). Los áridos finos livianos en general tienen contenidos altos de huecos y necesitan más agua, con lo que sus resistencias a la compresión son inferiores que las de los áridos finos normales.

Llevando más adelante los resultados de estas experiencias exploratorias, cada uno de los áridos finos livianos, más un séptimo, y sus gruesos correspondientes, se combinó con una misma arena y grava cuarcítica natural. Se preparó hormigón de 235 kg de cemento y de 8 a 10 cm de descenso de cono sin aire incorporado. Se vio que los

áridos fino y grueso influyen en las exigencias de agua por sus características de forma según se manifiestan éstas en su contenido de huecos. Tanto la resistencia a la compresión como a flexión respondieron a estos cambios a través de la variación de la razón agua-cemento. Este concepto permite el cálculo de los hormigones estructurales livianos basándose en los procedimientos aplicables a los áridos normales.

Hidratación del cemento portland: estudio por diversas técnicas.

TRIVINO VASQUEZ, F. *Materiales de construcción*, n° 154 (abril - mayo - junio 1974) Instituto Eduardo Torroja, Madrid. pp. 17 - 50.

Se estudió el comportamiento de la pasta de cemento durante las primeras 24 horas por medidas térmicas, de conductividad eléctrica, de contenido de productos solubles en agua, de productos cristalinos y de variaciones de sollicitación de agua.

Entre las conclusiones que se obtuvieron, se confirmó la aparición de ettringita como primer producto de la reacción del aluminato tricálcico con el yeso y la aparición más tardía del monosulfoaluminato cálcico hidratado. En las curvas resistencia eléctrica-tiempo hay dos mínimos, el segundo de los cuales es provocado por un aumento de la concentración de hidróxidos alcalinos procedentes de las fases anhidras del clínquer en la fase líquida; cuando los álcalis se encuentran en el clínquer combinados en forma de sulfatos, caso que es cada vez más frecuente, no se presenta el segundo mínimo, porque la concentración de sulfatos alcalinos, fácilmente solubles, se mantiene constante desde el principio de la hidratación. El aumento en la cantidad de yeso produce una disminución en la velocidad de hidratación del del aluminato tricálcico, pero no en la de la alita, y esto se refleja en las curvas de resistencia eléctrica-tiempo y de temperatura-tiempo; por ejemplo, hay una atenuación o desaparición del segundo mínimo en las primeras, correspondientes a una rigidez elevada de la pasta. Lo anterior permite establecer como contenido óptimo de yeso aquel que produce la aparición más tardía del máximo de la curva T° -t y de la subida final de la resistencia o de la aparición

del segundo mínimo R-t.

Contribución a la hidratación de cemento expansivo basado en metacaolinita.

MATOUSEK, M. y SAUMAN, Z. Contribution to the hydration of expansive cement on the basis of metakaolinite. *Cement and Concrete Research*, vol. 4, n° 1 (enero 1974), pp. 113 - 122.

Se estudió la hidratación de cemento expansivo preparado con 64% de clínquer de cemento portland, 23% de metacaolinita -obtenido por calcinación de un caolín a 600°C- y 13% de yeso hidratado. Se encontró que en un período inicial de 10 días todo el yeso entra en reacción con formación de ettringita. Durante el intervalo comprendido entre 7 y 10 días la morfología de la mayor parte de los cristales de ettringita cambia y se forman configuraciones que fluctúan de laminares a amorfas y que mantienen su forma en el curso del próximo período de hidratación. La ettringita es la única fase de gran producción que contiene el sulfato, ya que el monosulfato se encuentra sólo en pequeña cantidad después de 7 días de hidratación.

Por otra parte, los resultados mostraron que la adición de metacaolinita aumenta la expansión, pero que, en pequeñas dosis, no puede evitar la expansión dañina del sulfato que comienza a manifestarse después de un período largo (aproximadamente después de 2 meses); en grandes dosis, en cambio, puede dar lugar a cementos de expansión controlable; a la inversa, altos contenidos de yeso dan lugar a expansiones inconvenientes: la relación crítica es la razón 1:1 entre SO_3 del yeso y el Al_2O_3 del clínquer más la caolinita.

Nuevos materiales para armadura de hormigón.

SHAH, S. P. New reinforcing materials in concrete. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 71, n° 5 (mayo 1974), pp. 257 - 262.

Se da en este trabajo una visión general de las propiedades del hormigón reforzado

con fibras y del ferrocemento: dos materiales que están en auge. Se han usado o se han considerado para refuerzo fibras de origen mineral, como asbesto y vidrio; fibras orgánicas, como nylon, polipropileno y polietileno, y fibras metálicas, como el acero. Las fibras de asbesto han tenido aplicación desde hace mucho tiempo en la fabricación de productos de asbesto cemento, sin embargo, los yacimientos se están agotando y por eso se les está buscando un sustituto. Las fibras de vidrio podrían reemplazar al asbesto, pero son atacadas por el medio altamente alcalino de la pasta de cemento y pierden su resistencia con el tiempo. Se está buscando la manera de vencer esa debilidad, sea protegiendo las fibras de vidrio con un recubrimiento orgánico, sea produciendo fibras resistentes a los álcalis, este último método aparece como más promisorio y hace creer que las fibras de vidrio pueden llegar a reemplazar las de asbesto. Las fibras orgánicas son muy deformables y no aumentan la resistencia a la flexión de la matriz de pasta de cemento, en cambio, sí, y notablemente, al impacto; se estima que podrían utilizarse en situaciones donde hay riesgos de explosión. Las fibras de acero son las más usadas y en el estado actual de la técnica se usan en longitudes del orden de 1 pulgada, espesores de décimas de milímetros y fracción en volumen del orden de 2^oo.

El ferrocemento es mortero reforzado con mallas de alambre de pequeño diámetro y puede ser ventajoso en aplicaciones como cascos de barcos, membranas, tuberías, estanques, en que se puede sacar provecho a su alta razón resistencia a tracción-peso y a su excelente comportamiento a la fisuración.

Comparativamente, el hormigón simple tiene la más baja razón resistencia a la tracción-peso y sólo puede usarse en estructuras en que el peso propio no es determinante, como pavimentos y fundaciones. El hormigón con fibras puede utilizarse en algunas aplicaciones en que ya el hormigón simple no tiene cabida. El ferrocemento tiene una alta razón resistencia a peso y puede ser una excelente posibilidad en estructuras delgadas. Tanto el hormigón con fibras, como el ferrocemento extienden el campo de aplicación del hormigón simple, que sin esas contribuciones tiene visos de estancarse.

E. GOMEZ

Hormigón con fibras. Problemas planteados.

REHM, G. Faserbewehrte Betone - Welche Probleme ergeben sich? *Betonwerk - Fertigteil - Technik*, vol. 39, n° 9 (septiembre 1973), pp. 638 - 641.

Entre los objetivos que se persiguen al armar con fibras, están el aumento de resistencia a la tracción, al desgaste y a las heladas. Las fibras que se usan son de acero, vidrio, plásticos, asbesto y lana de roca. Los resultados que se obtienen dependen primariamente de la cantidad de material empleado. El hormigón armado convencional debiera usarse como patrón de comparación. El autor se plantea las siguientes preguntas: ¿cuáles son las propiedades de los hormigones con fibras? ¿cuál es la eficacia de la cantidad de material usado? ¿existen métodos de ensayo adecuados? En forma objetiva se debe reconocer que hay sólo un dominio restringido de aplicación de interés para el hormigón con fibras, el cual podría ampliarse. El refuerzo con cables de vidrio es, sin embargo, una excepción. En este caso, se reemplaza la armadura convencional de acero con fibras de vidrio. A primera vista no se detectan diferencias con respecto a un sistema tradicional de refuerzo del hormigón, en lo que se refiere a las dimensiones, a la disposición de las armaduras y a su distribución. Pero hay un inconveniente en el reducido valor del módulo de elasticidad de los cables de vidrio comparado con el del acero. Si se lograra, sin embargo, una adherencia muy buena entre las fibras y el hormigón y se encontrara un adecuado sistema de anclaje de las delicadas fibras de vidrio, el reducido módulo de elasticidad sería ventajoso, porque la pérdida de tensión de las armaduras ocasionada por la fluencia y la retracción del hormigón sería menor con las fibras de vidrio que con el acero.

Acción de los cloruros en el hormigón.

WEIGLER, H., von; y SEGMULLER, E. Einwirkung von Chloriden auf Beton. *Betonwerk - Fertigteil - Technik*, vol. 39, n° 8 (agosto 1973), pp. 577 - 584.

Dos hormigones normales de diferentes den-

sidades y dos hormigones livianos se almacenaron, durante un período de hasta 12 meses, alternativamente con un tercio y dos tercios de su altura sumergidos en soluciones de NaCl con 300, 1000 y 5000 mg de Cl⁻ por litro de agua. Se determinó la profundidad de penetración de los cloruros y su cantidad para diferentes períodos de exposición. Se encontró que las soluciones de cloruro se difunden en el hormigón y se evaporan por encima del nivel de agua, eliminando los cloruros. Esto produce concentraciones de cloruros. En un hormigón con porosidad total de 15% en volumen, depositado en una solución con 300 mg Cl⁻/l, puede acumularse tanto cloruro que se alcance el valor actualmente considerado límite de 0.4% Cl⁻ en relación al cemento de la capa exterior, cuyo espesor es función de la duración de la acción. Esto está de acuerdo con los resultados de los ensayos de corrosión efectuados adicionalmente y durante los cuales el acero comenzó a corroerse en estas condiciones.

Sellado de grietas en el hormigón.

KERN, E. Dichten von Rissen im Beton. *Betonwerk - Fertigteil - Technik*, vol. 39, n^o 7 (julio 1973), pp. 510 - 516.

Las fisuras son prácticamente inevitables en el hormigón debido a su reducida capacidad de alargamiento. Aparte de las tensiones de tracción originadas por las cargas externas, son determinantes sobretudo las tensiones de compresión que se producen por las deformaciones inhibidas que solicitan al hormigón más allá de su alargamiento a la rotura.

El sellado de las grietas es necesario cuando su abertura es mayor que los límites admitidos desde el punto de vista de la corrosión de las armaduras, o bien si ellas son inconvenientes para la obra de que se trata (por ejemplo, estanques de agua).

En este trabajo se describen dos procedimientos de sellado de grietas en el hormigón con resinas epoxi: inyección y por aplicación con brocha. Se dan las indicaciones para elegir las resinas apropiadas. Los ensayos en testigos muestran que las juntas con resina inyectada son resistentes. En el caso de aplicación con brocha, la profundidad de penetración de la resina es suficiente, en la ma-

yoría de las ocasiones, para hacer la grieta impermeable al agua y en consecuencia, para proteger la armadura de la corrosión.

Manual del cemento 1974/75.

Verein Deutsche Zement Werke. *Zement Taschenbuch 1974-75*. Bauverlag GmbH, Wiesbaden - Berlín, 582 pp.

Esta nueva edición de este manual ha sido dirigida por el profesor Dr. Ing. G. Wischers y al igual que las ediciones anteriores, contiene información actualizada sobre un ámbito muy amplio de propiedades del cemento presentada en artículos firmados por conocidos especialistas; por ello el manual goza de mucha reputación y difusión dentro del campo de la construcción en hormigón.

El manual está dividido en 9 capítulos, cada uno de los cuales abarca un determinado tema y contiene varias contribuciones.

Las propiedades del cemento se tratan en el capítulo 1 en los siguientes aspectos: Química del cemento y de los productos de hidratación, pp. 11-44, por F.W. Locher; Estructura y propiedades de la pasta de cemento, pp. 45-60, por F.W. Locher y G. Wischers; Fabricación del cemento, pp. 61-74, por H. Sillem; Propiedades constructivas del cemento, pp. 75-123, por G. Wischers.

En el capítulo siguiente se ven las características de los áridos. Los artículos que contiene son: Áridos normales, por J. Dahms, pp. 127-154; Áridos livianos, por W. Manns, pp. 155-171; Áridos para escudos contra irradiación, por W. Manns, pp. 172-181.

Los aditivos se tratan en el capítulo 3, en un sólo artículo titulado Aditivos para el hormigón por J. Bonzel y F. Krumm, pp. 183-199.

El capítulo 4, que es el más extenso, está destinado al hormigón normal. Hay en él artículos sobre Formas y clases de hormigón, por G. Wischers, pp. 203-218; Hormigón de resistencias determinadas, por J. Bonzel, pp. 219-260; Fabricación, conducción y colocación del hormigón, por H.J. Wierig, pp. 261-284; Desarrollo de la resistencia de los hormigones, por G. Wischers y J. Dahm, pp. 285-336; Hormigones con propiedades especiales, por J. Bonzel y W. Manns, pp. 313-334.

En el capítulo 5 se presentan las propie-

dades del hormigón liviano, divididas en dos grupos que se tratan en sendos artículos: Hormigón liviano aislante térmico, por G. Blunk, pp. 337-358, y Hormigón liviano estructural, por Heufers, pp. 359-391.

El capítulo 6 se refiere al campo de aplicación del cemento y en él se trata el problema de Colocación de hormigón por bombeo, de R. Weber, pp. 395-422; Refuerzo y mejoramiento de pavimentos y calzada con cemento, por G. Paulmann, pp. 423-454. Explicación de las juntas de protección para hormigón en medios severamente agresivos, según DIN 4030 (versión de abril de 1973), pp. 455-477.

El capítulo 7 trae una lista de artículos especiales aparecidos en el Manual del Cemento desde 1962. El capítulo 8 es una lista de las más importantes normas, instrucciones y recomendaciones constructivas alemanas. El capítulo 9 contiene tablas de datos sobre aspectos generales de construcción.

Anuario del hormigón y de prefabricados de hormigón.

Beton - und Fertigteil - Jahrbuch.
1974. Bauverlag GmbH, Wiesbaden.
569 pp.

En Europa se desarrollan con bastante rapidez novedades técnicas constructivas en hormigón como resultado de los esfuerzos por incorporarse cuanto antes a la prefabricación integral, modalidad constructiva que inevitablemente terminará por imponerse y desplazar a los sistemas tradicionales. Bueno es, entonces, que se publiquen obras como este *Anuario del hormigón y de prefabricados de hormigón* que recojan estas novedades, objetivo que cumple esta edición de 1974 del

anuario que se publica con la cooperación de la Federación Alemana de la Industria del Hormigón y de la Prefabricación. Se trata de un tomo de 569 páginas con numerosas figuras y tablas, de formato de bolsillo, que proporciona a los fabricantes, constructores, y proyectistas que utilizan piezas prefabricadas de hormigón, la nueva información de manera económica y rápida.

La primera parte de este anuario contiene varios artículos técnicos. Se inicia con uno de O. Winternitz en que se presentan distintos casos de uso de prefabricados en obras comunales de pavimentos, conductos de agua, gradas de estadios y otros, ilustrados con excelentes fotos que ponen de manifiesto sus principales características. Un artículo de D. Kittel comenta la nueva edición de la Norma DIN 4032, julio de 1973, sobre tubos de hormigón, que contiene los requisitos de calidad, las dimensiones y las condiciones técnicas de entrega. A continuación hay un artículo sobre hormigón liviano sin armar, armado y pretensado cuyo autor es H. Wiegler. Sigue una exposición de K.D. von Wachter sobre construcciones prefabricadas de hormigón armado con elementos de grandes luces.

Los restantes trabajos son: La nueva norma DIN 1053 sobre albañilería en estado de proyecto, por H.H. Swyter; Plásticos en las construcciones de hormigón prefabricado, por D. Wengler; Hormigón a la vista, por W. Pickel; un Índice acumulativo de los artículos publicados en los anuarios en los últimos diez años y una Lista de las normas y proyectos de normas de interés para la fabricación y uso de artículos de hormigón.

La segunda parte del anuario contiene una lista de organizaciones y corporaciones relacionadas con el hormigón de la R.F.A., de Austria y de Suiza y un índice de proveedores de artículos de hormigón.