
BIBLIOGRAFIA

Determinación del contenido de cemento en el mortero y el hormigón. Discusión.

WEINHOLD, J. y KIRTSCHIG, K. Zur Ermittlung des Zementgehaltes von Beton und Mortel. *Zement-Kalk-Gips*, vol. 20, nº 6, (junio 1967), pp. 275-276.

(Discusión del artículo de G. Babatschew, M. Markowa y R. Todorowa, *Zement-Kalk-Gips*, vol. 19, nº 5, mayo 1966, pp. 231-237*).

Los autores del comentario discuten las inexactitudes a que conduce el método propuesto por Babatschew, Markowa y Todorowa para la evaluación de los resultados de los análisis. Estas inexactitudes provienen de dos causas: 1) no considerar el agua combinada químicamente y 2) dar para el contenido de áridos un valor aproximado al 100%.

El primer error es pequeño, del 2 al 4%, que es el orden del esperado en el ensayo.

El segundo error en cambio puede ser considerable e influye de dos modos diferentes: a) el contenido de árido fluctúa normalmente entre 70 y 90% y b) para que el error inducido sea aceptable debería tratarse sólo de áridos con escaso contenido de sílice soluble y de cal. Del análisis de los datos se deduce que el error aumenta con la dosis de cemento; en otras palabras, con la disminución del porcentaje en que están presentes los áridos.

Otra observación importante al método propuesto es que en éste se recomienda tomar como referencia los valores medios obtenidos de áridos provenientes de acopios o yacimientos, del tipo empleado en el hormigón. Weinhold y Kirtschig sostie-

nen, en cambio, que con los contenidos de sílice soluble y de cal obtenidos así, se llegaría a errores muy grandes. Para que esto no ocurriera debería contarse con áridos de referencia que tuvieran una línea de cribado coincidente con la del árido del hormigón en estudio, lo que es muy difícil de lograr. Al respecto mencionan experiencias con áridos diferentes sólo en su granulometría, y que condujeron a errores considerables.

Finalmente anuncian que próximamente entregarán un nuevo método en que se consideran estas observaciones y que conduzca a resultados fidedignos.

G. VARAS

* *

Relación entre la resistencia a la compresión del hormigón y la razón agua-cemento efectiva calculada a partir del grado de hidratación del cemento.

SERI, S., KASAHARA, K., KURIYAMA, T. y KAWASUMI, M. Relation between compressive strength of concrete and the affective cement-water ratio calculated from the hydratation rate of cement. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings* vol. 66, nº 3 (marzo 1969) pp. 198-202.

La resistencia del hormigón queda determinada por el grado de hidratación que ha alcanzado el cemento que contiene. Para verificar esta suposición, los autores obtuvieron experimentalmente la velocidad de hidratación del cemento y mostraron

que hay una relación lineal entre la razón agua-cemento efectiva y la resistencia del hormigón, independiente de la edad del hormigón. Presentan una fórmula para expresar esta relación. En esta forma, si se da la razón agua-cemento efectiva se puede estimar la resistencia del hormigón a cualquier edad.

Resumen de los autores

* *

Resistencia a compresión y módulo de elasticidad de hormigones con razón agua/cemento muy baja.

KIMURA, S. Druckfestigkeiten und Elastizitätsmoduln von Beton mit sehr niedrigem Wasserzementfaktor. *Zement-Kalk-Gips*, vol. 20, nº 5, (mayo 1967), pp. 229-233.

El artículo presenta los resultados de experiencias tendientes a obtener hormigones de alta resistencia, que pueden tener aplicación en hormigón pretensado y en casos en que el hormigón deba cumplir exigencias importantes.

Los materiales empleados fueron: a) cementos: portland corriente, portland de alta resistencia, y de cenizas volantes; b) arena rodada y grava chancada con tamaño máximo de 15 mm.

La razón agua/cemento fue en todos los casos inferior a 0,30. Para obtener compacidad total, con porcentaje de aire atrapado inferior a 1%, se empleó vibración en mesa vibradora con frecuencia de 6.000 rev/min. El tiempo de vibración fue de 10 a 20 min.

Se emplearon probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, y en el caso de cemento de alta resistencia, de 10 cm de diámetro por 20 de altura. Se consideró que las resistencias de ambas probetas son semejantes.

A las 24 horas de fabricación las probetas fueron desmoldadas y colocadas en agua a 20°C.

Las sometidas a vapor comenzaron el tratamiento a las 2 o 3 horas después de la fabricación y con temperatura creciente en 15°C por hora hasta alcanzar 60°C. Alcanzada esta temperatura se la mantuvo 3 horas y luego se dejó enfriar hasta el día siguiente, en que las probetas fueron almacenadas también en agua a 20°C.

Las resistencias a compresión alcanzaron a más de 800 kg/cm² a 28 días, más de 1.000 kg/cm² a 90 días y más de 1.200 kg/cm² a 1 año. Con tratamiento de vapor se obtuvo más de 500 kg/cm² a 24 horas. No hubo diferencia considerable entre los hormigones fabricados con los 3 tipos de cemento.

La relación encontrada para la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad (módulo secante) fue la siguiente:

$$E_s = 1,52 R_c^{0,478} \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

G. VARAS

* *

Causas físicas y químicas de la fluencia lenta y de la retracción del hormigón.

Causes physiques et chimiques du fluage et du retrait du béton. Colloque RILEM, Munich 1-3 abril 1968. *Matériaux et Constructions*, vol. 1, nº 6 (noviembre-diciembre 1968), pp. 483-559; vol. 2, nº 7 (enero-febrero 1969), pp. 3-85, y vol. 2, nº 8 (marzo-abril 1969), pp. 99-162.

El fenómeno de la fluencia lenta, o deformación lenta a lo largo del tiempo bajo la acción de cargas mantenidas, tiene causas diferentes en distintos materiales. El conocimiento de estas causas preocupa a numerosos investigadores desde hace bastante tiempo, pero todavía no se ha llegado a conocerlas con suficiente claridad.

Según las ideas actuales, tanto la fluencia lenta como la retracción por secado del hormigón están relacionadas con la absorción y desorción de agua por el gel de cemento. En consecuencia ambos fenómenos dependen de las características del gel, de las propiedades del agua absorbida, del agua capilar y del agua libre y de varios otros factores.

En los 22 artículos del Coloquio se enfoca el problema en relación con los factores más importantes. Los correspondientes a las tres primeras sesiones constituyen intentos serios y bastante exitosos de explorar la estructura de la pasta de cemento a la escala del coloide, por medio de investigaciones básicas, teóricas o experimentales, y de ello deducir las causas y formular las hipótesis concernientes a la fluencia lenta y a la contracción.

En lo que respecta a los aspectos teóricos, el tema se analiza a la luz de los principios de la termodinámica. El artículo de T.C. Powers es el más extenso, en este aspecto, y a la vez el que cubre el tema en toda su extensión.

En los enfoques experimentales se hace uso de técnicas muy avanzadas, entre ellas el análisis térmico diferencial, el termogravimétrico, la resonancia magnética nuclear y otros, para proponer modelos de la pasta de cemento hidratado.

En las dos últimas sesiones se presentaron los trabajos relacionados con los efectos de la fluencia lenta a la escala de la utilización del material. En los artículos correspondientes se da información y se presentan datos que pueden servir de puntos de partida para ahondar en las consecuencias prácticas del fenómeno y para detectar cómo afecta al comportamiento de las estructuras. Sin embargo, esta fase del problema, que es la que interesa más al ingeniero, ha recibido menos atención en este coloquio que la otra sobre las causas básicas del fenómeno.

E. GOMEZ

* *

Ataque químico sobre el hormigón.

LOCHER, F.W., *Chemischer Angriff auf Beton*, *Beton*, vol. 17, nº 1, (enero 1967), pp. 17-19 y vol. 17, nº 2 (febrero 1967), pp. 47-49.

Bajo la acción de los ácidos se disuelve el cemento endurecido de la superficie del hormigón. Los ácidos fuertes reaccionan también con la arcilla y el óxido de hierro, con formación de sales solubles en agua. Los ácidos débiles, como el ácido carbónico (solvente de la cal), disuelven solamente a la cal.

Diferentes sales, como por ejemplo sales de magnesio y amonio, actúan sobre el cemento endurecido en la misma forma que los ácidos débiles. Las aguas blandas prácticamente no atacan; grasas y aceites de origen vegetal o animal reducen la resistencia del hormigón. Los sulfatos pueden penetrar en los cementos endurecidos poco densos y reaccionar con los diferentes productos de hidratación que contengan arcilla (alúmina), con formación de trisulfato (etringita). Con concentraciones altas puede formarse además yeso, en la solución. La presión del crecimiento de las combinaciones sulfatadas recién formadas ocasiona la expansión por sulfatos. Los gases pueden penetrar en el hormigón y, en presencia de humedad, reaccionan también con los componentes del cemento endurecido.

El ácido sulfhídrico y el anhídrido sulfuroso forman por oxidación ácido sulfúrico que disuelve al cemento endurecido. El anhídrido carbónico reacciona en primer lugar con el hidróxido de calcio, con formación de carbonato de calcio. La resistencia del cemento endurecido aumentará en general por esta carbonatación.

Puesto que el grado de ataque de las aguas y suelos depende de la concentración de las sustancias atacantes, se pueden indicar valores límites dentro de los cuales se puede juzgar de manera simple. El grado de ataque de aguas de composición pre-

ponderantemente natural, se rige por el valor del pH y el contenido de anhídrido carbónico (CO_2), amonio (NH_4^+), magnesio (Mg^{++}) y sulfato ($\text{SO}_4^{=}$). El grado de ataque de los suelos estará indicado por el grado de acidez según Baumam - Gully y el contenido de sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$).

Con temperaturas altas y en aguas tormentosas hay que contar con una aceleración del ataque.

En aguas subterráneas se debe esperar un debilitamiento del ataque, puesto que, con la escasa corriente del agua subterránea, los elementos atacantes se renuevan lentamente. Los suelos pueden actuar sobre los hormigones sólo por solución acuosa. Por lo tanto se debe contar con un ataque sólo si el suelo es humedecido por lo menos de vez en cuando. Los sulfuros pueden tornarse activos solamente cuando el suelo es aireado.

Para la resistencia del hormigón al ataque químico es decisiva, en primer lugar, su compacidad, que depende de su composición, compactación y tratamiento ulterior. En el ataque de aguas y suelos ácidos puede ser ventajoso el uso de áridos calcáreos solamente si los ácidos se renuevan muy lentamente, siendo en general más favorables los áridos no solubles. En aguas con más de 400 mg de $\text{SO}_4^{=}/\text{l}$ dan buenos resultados los cementos resistentes a los sulfatos.

A pesar de su alto contenido de sulfatos, de aproximadamente 2.800 mg $\text{SO}_4^{=}/\text{l}$, el agua de mar ataca al hormigón más debilmente que una solución sulfatada pura de igual concentración, como lo muestra la experiencia. Un hormigón denso prácticamente no será atacado por el agua de mar, independientemente del tipo de cemento empleado. Sin embargo, cuando se fabrica hormigón con dosis baja de cemento para elementos masivos, y consecuentemente se elige una razón agua-cemento alta con el fin de mantener tan pequeña como sea posible el alza de temperatura del hormigón, debe emplearse cemento resistente a los sulfatos, si este

hormigón va a estar expuesto al agua de mar.

Resumen del autor

* *

Efectos de la resistencia y de la cuantía del acero en el tipo de fallas y en la capacidad de absorción de energía de vigas de hormigón armado.

ACI COMMITTEE 439. Effect of steel strength and of reinforcement ratio on the mode of failure and strain energy capacity of reinforced concrete beams. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings* vol. 66, nº 3, (marzo 1969), pp. 165-173.

Se hace un estudio teórico de la capacidad de absorción de energía hasta la falla, de vigas de hormigón armado con diferentes cuantías y clases de acero. La combinación cuantía-clase de acero determina el tipo de falla que se produce, a saber: rotura del acero (cuantías bajas), fluencia del acero y aplastamiento del hormigón (cuantías moderadas) y aplastamiento del hormigón (cuantías elevadas).

Para las sollicitaciones dinámicas, especialmente, conviene el segundo tipo de falla, que equivale a un comportamiento dúctil. Para esta condición, la cuantía debe estar comprendida entre dos valores límites, que están incorporados en la norma ACI 318-63, entre otras, y que que aparecen justificados y comentados en este trabajo.

Se concluye que la capacidad de absorción de energía es máxima con cuantías cercanas a la mínima requerida para obtener falla dúctil ($p = 200/f_y$, siendo f_y tensión de fluencia del acero en libras por pulgada cuadrada); sin embargo, es preferible exceder algo este mínimo para evitar la falla por rotura del acero, caso en que la capacidad de absorción de energía se reduce mucho.

Dentro de las fallas dúctiles, la capacidad de absorción de energía es aproximadamente igual para vigas de igual resistencia a la flexión estática, independientemente de la clase del acero de armadura, considerando velocidades moderadas de deformación. Esto conduce a la conclusión teórica de que frente a explosiones, terremotos u otras cargas dinámicas, el comportamiento de vigas armadas con acero de alta resistencia debe ser muy semejante al de vigas armadas con aceros blandos, por lo menos en los casos en que el factor determinante de esa resistencia sea la capacidad de absorción de energía en el primer cuarto de ciclo del movimiento.

E. G.

* *

Una teoría racional sobre la función de la armadura de corte.

KANI, G.N.J. A rational theory for the function of web reinforcement. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 66, nº 3 (marzo 1969) pp. 185-197.

El tema de la absorción de los esfuerzos de corte en las vigas de hormigón armado todavía no está dilucidado; sobre él se formulan de cuando en cuando opiniones muy diversas, algunas contradictorias. Hay que reconocer que aún no se ha llegado al conocimiento completo del fenómeno.

En este trabajo se hace un análisis cualitativo o intuitivo del problema en un esfuerzo por captar la forma en que trabaja o "funciona" el material hormigón armado. La idea básica consiste en asimilar una viga de hormigón armado a una serie de arcos que transmiten los esfuerzos de compresión hacia sus arranques; de estos arcos sólo el exterior está apoyado en sus extremos, los demás terminan libremente en la cara inferior de la viga. De aquí se concluye que el rol de la armadura de corte es

proveer apoyo a estos arcos interiores colgándolos del arco exterior.

Elaborando esta idea se llega a conclusiones de mucho interés: algunas de ellas coincidentes con las ya conocidas e incorporadas a la tecnología del hormigón armado y otras en desacuerdo con ellas. Se concluye por ejemplo, que las barras inclinadas constituyen los medios más eficaces de absorción de corte, las inclinaciones de estas barras pueden ser muy inferiores a 45°, pues conviene ligar por la vía más directa el arranque de cada arco con su zona de anclaje en el arco exterior. Entre los estribos son más efectivos los inclinados que los verticales, pues los primeros quedan mejor anclados. Hay trechos en que no se requiere armadura de corte y éstos son los próximos a los apoyos y los que comprenden las proximidades de las cargas dentro de una distancia determinada. La colocación de estribos en esos trechos no mejora la resistencia al corte y en algunos casos la disminuye por falla de anclaje.

La hipótesis fundamental de este trabajo es textualmente la siguiente: "El propósito de la armadura transversal es proveer reacciones para los arcos interiores de hormigón que transmiten los esfuerzos de compresión de la viga, y no "absorber la fuerza cortante" ni en todo ni en parte. En consecuencia no puede esperarse una relación directa entre la magnitud de la fuerza de corte y la cuantía de la armadura transversal."

Para poner a prueba estas conclusiones se desarrolló un programa experimental en que se ensayaron 11 series de vigas, con un total de 44 unidades: tres de estas series tenían barras inclinadas; tres, estribos inclinados, y tres, estribos verticales. Como índice de la eficacia de la armadura transversal se usó la relación entre el momento de rotura y el momento de flexión teórico.

El autor estima que las conclusiones deducidas del modelo teórico fueron confirmadas por los resultados experimentales.

E. GOMEZ

* *

Mecanismos de la resistencia al cizalle de vigas de hormigón.

FENWICK, R. C. y PAULAY, T. Mechanisms of shear resistance of concrete beams. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Structural Division*, vol. 94, nº ST 10 (octubre 1968) pp. 2325 - 2350.

Con este trabajo los autores intentan aclarar la naturaleza de la resistencia al cizalle de las vigas del hormigón armado.

A partir de un análisis básico hacen ver que las fuerzas de corte que actúan sobre la viga son contrarrestadas sea por fuerzas de adherencia en la etapa de funcionamiento como viga propiamente tal, sea por efecto de arco.

En el efecto viga los elementos estructurales esenciales son los trozos de hormigón que se forman entre dos grietas de flexión contiguas, los cuales funcionan como vigas en voladizo parcialmente empotradas en la zona de compresión. En el extremo libre de ellos actúan las fuerzas de adherencia que son resistidas por la flexión del hormigón en el empotramiento, por la traba mecánica del agregado entre las dos caras de una grieta, y por el cizalle de las barras.

Por medio de una serie de experiencias se trató de medir cada uno de los efectos por separado y se llegó a fijar valores del orden de 20% del total para la flexión del hormigón, del 20% para el cizalle de las barras y del restante 60% para la traba mecánica.

El efecto arco se puede desarrollar solamente después que las zonas de compresión y de tracción de la viga quedan separadas por una grieta diagonal extensa. Puede ocurrir que la aparición de tal grieta conduzca al colapso de la viga o bien que ella pueda seguir absorbiendo cargas por efecto de arco. El que suceda una u otra cosa depende de diversos factores. En todo caso el efecto arco

cobra importancia sólo después que el efecto viga se haya agotado.

Los autores presentan fórmulas o ecuaciones aplicables al cálculo de la resistencia al cizalle de las vigas.

E.G.

* *

La aislación térmica en la construcción nacional.

RODRIGUEZ J., G. Ministerio de la Vivienda y Urbanismo. Serie II Tecnología de la Construcción, nº 20, noviembre 1968.

Esta es una nueva versión, corregida y ampliada de la Nota Técnica aparecida en *Revista del IDIEM* vol. 6, nº 1, (mayo 1967). Dicha Nota Técnica apareció reproducida luego en la *Revista de la Construcción* vol. 67-68 y en varios otros órganos de información. El Ministerio de la Vivienda y Urbanismo se interesó también en publicarla en sus monografías. El autor hizo, entonces, una segunda versión, ampliando la tabla de valores de coeficientes de conductividad térmica de materiales de construcción en uso corriente, como así mismo, analizó más a fondo los factores que inciden en el hecho de que en Chile se produzcan cada vez más problemas derivados de las deficiencias características ambientales de los edificios, especialmente desde el punto de vista del confort térmico.

El insospechado impacto que ha tenido este artículo, en diferentes medios técnicos, pone de relieve el acierto de haber tocado un problema de real incidencia a nivel nacional. Es de esperar que este impacto ayude a que técnicos, legisladores e industriales concreten medidas con el fin de disminuir, si no eliminar, el problema de la mala aislación y sus secuelas en la edificación nacional.