
BIBLIOGRAFIA

La estructura del hormigón y su comportamiento.

PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE. LONDON SEPTEMBER 1965. *The structure of concrete and its behaviour under load.* Cement and Concrete Association, Londres (1968), 540 pp.

Hace algunos decenios se ha iniciado el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales con un nuevo enfoque, que es el de explorar la estructura interna del material para deducir de ella, por aplicación de conocimientos básicos de la física del sólido, su comportamiento fenomenológico. Esta orientación, que ha dado lugar a la creación de la Ciencia de los Materiales, ha resultado en progresos notables en el estudio de los metales, de los polímeros, de los materiales cerámicos y aun de otros, todos los cuales, desde este punto de vista, pueden considerarse de organización atómica simple. El hormigón, en cambio, tiene una estructura bastante más compleja, que elude cualquier tratamiento simple y a eso se debe que los intentos por relacionar su fenomenología con la estructura interna hayan empezado más tardíamente y que los frutos recogidos todavía sean escasos.

La Conferencia, cuyos trabajos y discusiones se recopilan en la publicación que comentamos, es probablemente la primera de carácter internacional que recogió esta nueva visión del estudio del hormigón. Fue organizada por el Grupo de Investigación de Materiales para Hormigón del Colegio Imperial de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Londres en conjunción con la Asociación del Cemento y del Hormigón. Participaron en ella los investigadores más connotados y más activos en el campo del hormigón, considerado como material, tanto de Euro-

pa como de E.U.A. Se realizó en 1965, pero las actas se publicaron sólo en 1968 en una edición cuidadosamente elaborada, tanto en los textos como en los gráficos ilustrativos y en las fotografías de excelente nitidez. Vale la pena destacar aquí, que a partir de esta conferencia, la Ciencia de los Materiales ha jugado cada vez papel más importante en las conferencias siguientes, por ello es interesante hacer breves resúmenes de cada uno de los artículos presentados a esta conferencia, para que sirvan de ilustración y aun de orientación a quienes están interesados en problemas de investigación y de mejor conocimiento del hormigón.

Una visión introductoria de la estructura y propiedades del hormigón de K. Newman, abre esta conferencia con una síntesis de la estructura del hormigón y de las teorías del comportamiento y en función de ellas analiza sus propiedades, por una parte aquellas que son insensibles a la estructura, como peso, densidad, y por otra, las que son sensibles, como resistencia, módulo de elasticidad, etc.

El resto de la conferencia estuvo organizada en varias sesiones en cada una de las cuales se agruparon temas afines.

SESION A. HORMIGON COMO MATERIAL COMPUESTO.

B. Brown analiza dos modelos extremos a saber: el de contigüidad total, representado por un hormigón que contiene una alta fracción de partículas sólidas en contacto pleno, y el de contigüidad nula, representado por un hormigón con un reducido contenido de partículas sólidas incorporadas totalmente a la matriz, pero aisladas entre sí. Para cada uno de los modelos deduce teóricamente el módulo de compresibilidad y analiza y discute los resultados.

C. Hansen en su artículo titulado *Teoría de materiales polifásicos, aplicada al*

hormigón, mortero y pasta de cemento, muestra que la aplicación de los principios más elementales de microrreología conduce a métodos aproximados para estimar el comportamiento mecánico del hormigón a partir de su composición y de las propiedades de sus componentes. Desarrolla las fórmulas para estimar la elasticidad, la fluencia lenta, la retracción y la conductividad técnica y eléctrica del hormigón, mortero y pasta. Considera las dos estructuras ideales posibles: la de un material compuesto por matriz continua poco deformable y partículas embebidas blandas y la inversa, de matriz blanda y partículas embebidas de alto módulo de elasticidad.

Las ecuaciones describen el comportamiento del hormigón con una aproximación aceptable, a pesar de que están basadas en modelos bastante rudimentarios.

En el trabajo *La deformación elástica retardada del hormigón considerado como un material compuesto*, J. M. Illston supone que la pasta de cemento está constituida por un núcleo de productos de hidratación embebido en una matriz de cemento, el mortero consiste en un núcleo de agregado fino embebido en una matriz de pasta y el hormigón, en un núcleo de árido grueso embebido en mortero.

En el modelo de la pasta, que es el componente activo del sistema, están incorporados los diversos mecanismos de acción, como son el grado de hidratación, que se ajusta por la relación hidratados-cemento; una reacción visco-elástica, que se desarrolla por interacción entre la parte activa y la inerte; un contenido variable de agua, y un posible desplazamiento del agua bajo presión.

Con estos modelos desarrolla las fórmulas para predecir las deformaciones del hormigón sometido a cargas de larga duración que pueden ser variables. Los resultados calculados concuerdan bastante bien con los experimentales.

SESION B. RESISTENCIA DEL HORMIGON Y MECANISMOS DE FALLA CON CARGAS BREVES.

Cohesión y adherencia en sólidos, de R. W. Nurse, pasa revista a los conceptos fundamentales de la cohesión en los sólidos perfectos y de cómo influyen los defectos, tales como, dislocaciones y grietas de Griffith. Después examina el

comportamiento de los materiales heterogéneos y especialmente la adherencia o adhesión de la pasta de cemento a los agregados en relación con su estructura y sus propiedades físicas y químicas, y con la naturaleza química de sus enlaces, para analizar, finalmente, la influencia del tamaño de los áridos, de la temperatura y de la presión en la resistencia de compactados de hormigón junto con la posibilidad de modificar la velocidad de endurecimiento y el crecimiento de cristales por medio del uso de aditivos.

Adherencia entre cemento y agregado, resistencia de la pasta y del hormigón, por K. M. Alexander, J. Wardlaw y D. J. Gilbert.

Sólo en años recientes se ha empezado a investigar la adherencia entre áridos y cemento y la resistencia de la pasta de cemento como factores que tienen influencia importante en la resistencia del hormigón.

En este trabajo se hace una revisión de los últimos avances sobre el tema, se incorpora nueva información y se muestra cómo estos conocimientos contribuyen a aclarar ciertos aspectos de la resistencia del hormigón.

Para ello se describen los métodos de ensayo para medir la adherencia y la resistencia de la pasta, se estudian los factores que las afectan y se analiza la intervención de aspectos mecánicos y no mecánicos en los mecanismos de rotura.

Microfisuración interna, adherencia mortero agregado y la curva tensión deformación del hormigón, de S. P. Shah y F. O. Slate.

Se ha sugerido por muchos investigadores que la forma de la curva tensión-deformación del hormigón está relacionada directamente con el desarrollo de microfisuras internas. En este trabajo se intenta analizar esta relación, para lo cual se utilizan las técnicas experimentales específicas que se describen, se estudia la adherencia entre agregados gruesos y mortero tanto por tracción, como por cizalle y se interpretan técnicamente las relaciones que se detectaron entre microfisuras y deformaciones.

Observaciones sobre la resistencia y rotura del hormigón liviano y normal, por H. H. Bache, y P. Nepper-Christensen.

Utilizando los resultados de observaciones y ensayos de resistencia y rotura

de hormigón corriente y liviano se analiza la resistencia del hormigón basándose en la resistencia y rigidez de los componentes (matriz de mortero, áridos gruesos y zonas de contacto) y la geometría del sistema aglomerado (volumen, forma, textura superficial, etc.)

Se llega a la conclusión de que la resistencia y la forma de la rotura dependen de la relación entre las resistencias de los áridos y de la matriz. Cuando aquellos son más resistentes (caso de hormigón corriente no muy antiguo) la fractura pasa a través del mortero y la resistencia no depende de la de los áridos, además cuanto más irregular sea la forma de las partículas menos importante es la resistencia de adherencia.

Cuando los áridos son de poca resistencia (la mayoría de los agregados livianos) la fractura atraviesa las partículas y la resistencia es independiente de la adherencia árido-matriz.

Los hormigones corrientes de mucha edad están entre ambos casos.

SESION C. PROPAGACION DE GRIETAS Y SU DETECCION BAJO CARGAS DE CORTA Y LARGA DURACION.

El hormigón contiene en las zonas de encuentro de los áridos con el mortero, fisuras muy finas, que se atribuyen a retracción de este último. Al someterlo a cargas, las fisuras crecen, y para seguir su desarrollo se han puesto a punto diversas técnicas experimentales, algunas de las cuales se analizaron en esta sesión. Se considera que el crecimiento de las grietas va determinando las características de deformación del hormigón y su resistencia a la rotura y se ha establecido que el fenómeno tiene un punto de partida o de franca discontinuidad alrededor de 35% de la carga de rotura.

En el trabajo de R. Jones el método usado para detectar las grietas es el de medición de la velocidad de pulsos ultrasónicos.

G. S. Robinson da cuenta del uso de varios métodos, como son el detectar los sonidos emitidos desde el interior del hormigón por vibración mecánica al crecer la grieta, velocidad de pulsos ultrasónicos, y técnica de observación por Rayos X de cortes relativamente delgados de hormigón.

W. Ruetz presenta el trabajo *Estudio de los dos mecanismos físicos diferentes de*

la fluencia lenta en el hormigón, que son el proceso de fluencia viscosa de la pasta y la formación y crecimiento de grietas.

En el curso de este estudio se le presentó el problema experimental de seguir el desarrollo de las grietas y para resolverlo proyectó un micrófono especial con el cual detectaba, en la superficie de las probetas, la onda elástica emitida por la liberación de energía en el crecimiento de la grieta.

SESION D. TEORIA DE LA PROPAGACION DE GRIETAS Y DE LA FRACTURA.

M. Kaplan, pionero en este tema en relación con el hormigón, inicia la sesión con una exposición de la teoría de Griffith sobre la rotura de materiales frágiles y su aplicación al hormigón, señalando el estado actual del conocimiento sobre esta materia. Así, muestra cuál podría ser el origen de los defectos de Griffith, según la estructura aceptada de la pasta de cemento hidratada y de las características de la adherencia entre áridos y pasta y cómo se obtienen los parámetros de rotura a la tracción, G velocidad de liberación de energía de deformación y K factor de concentración de tensiones, mientras que para compresión todavía no se han podido medir. Se refiere también a la forma en que se propagan las grietas en el hormigón y a los mecanismos de detención de grietas.

J. Glucklich presenta el tema titulado *El efecto de las microfisuras en las deformaciones dependientes del tiempo y en la resistencia a largo plazo del hormigón*. Divide las grietas en cuatro tipos, dos de ellos independientes del tiempo, las pre-existentes y las inducidas por cargas, y dos dependientes del tiempo, las espontáneas y las inducidas por el medio.

La presencia de grietas pre-existentes hace aumentar las deformaciones y reduce la resistencia, aunque no tanto como se pudiera pensar. Las grietas inducidas por carga también aumentan las deformaciones, pero en menor escala. La curva tensión-deformación puede descomponerse en diversas etapas asignadas al predominio de algún tipo de agrietamiento: a partir de la fase de grietas lentas de adherencia, se incorporan las grietas lentas de la matriz y el proceso termina en el agrietamiento rápido de la matriz. Las grietas

espontáneas se explican como derivadas de la transferencia de cargas de la fase líquida a la fase sólida e igual mecanismo interviene en la resistencia a largo plazo.

Las grietas juegan un papel importante en el comportamiento del hormigón a la fatiga.

J. P. Romualdi aborda un problema de mucha perspectiva en su trabajo *La tensión estática de agrietamiento y la resistencia a la fatiga del hormigón armado con fibras cortas de acero*.

El hormigón tiene microgrietas o defectos característicos de su estructura y la resistencia de una muestra está determinada por el mayor defecto probable. Al disminuir el tamaño de la muestra la dimensión del defecto máximo probable disminuye y la resistencia aumenta. El hecho de que los defectos no puedan eliminarse indica la poca garantía que el hormigón ofrece para resistir tracciones. Este trabajo se realizó para conferirle tenacidad al hormigón por medio de pequeños trozos de alambre de acero distribuidos uniformemente y a distancias pequeñas; sistema que pone una barrera a la propagación de las grietas. Los resultados confirmaron las expectativas teóricas en lo que se refiere a aumento de tenacidad y de fatiga.

SESION E. PROPIEDADES DEL HORMIGON RESPECTO A CARGAS DINAMICAS Y FLUCTUANTES.

D. G. Cole y D. C. Spone son los autores del artículo *La capacidad de amortiguación del hormigón*, en que se hace una revista de los trabajos realizados en los últimos quince años y se describe y discute la variación de esta capacidad en el hormigón, en relación con la dosificación, edad, contenido de agua, modo de vibración, tensión de compresión, amplitud de la deformación y frecuencia. Queda en claro que la medida de capacidad de amortiguación del hormigón, fuera de dar datos utilizables en ingeniería, puede ser importante en la investigación de la estructura interna del hormigón, por ejemplo, se ha encontrado que los cambios de la capacidad de amortiguación son sensibles a la presencia de microfisuras.

J. A. Neal y C. E. Kesler presentan el trabajo *La fatiga en el hormigón simple*

El trabajo se inicia con una relación histórica de los avances en los estudios

de fatiga del hormigón, a partir de 1898, año al que corresponde la primera investigación sobre este tema de que hay registro.

El problema en sí se aborda desde dos puntos de vista diferentes: el fenomenológico y el fundamental o básico; este último de muy reciente desarrollo. El enfoque básico indica que las zonas críticas, en las cuales se originan las grietas que eventualmente producen la rotura por fatiga, son las interfaces pasta-árido, además hace ver que los conceptos de mecánica de fractura pueden hacer más comprensible el comportamiento a la fatiga.

El conocimiento actual sobre este fenómeno, proporcionado por ambos enfoques, señala que el hormigón no tiene límite de fatiga y que hasta diez millones de ciclos la resistencia a la fatiga puede tomarse como un 55% de la resistencia estática, tanto en compresión axial como en flexión.

R. Jones y E. N. Gatfield, *Agrietamiento y falla de probetas de hormigón sometidas a cargas vibratorias de flexión*.

Se describen los métodos y aparatos que permiten aplicar a una viga de hormigón tensiones vibratorias de magnitudes comparables a las de ensayos estáticos convencionales. En los ensayos informados se midió la frecuencia de resonancia y la deformación unitaria en el centro de la viga y se observaron los cambios de frecuencia con el tiempo a deformación constante. La disminución del módulo de elasticidad dinámico está asociada con el microagrietamiento y se detecta por disminución de la frecuencia. Deformaciones de entre 60 y 120×10^{-6} produjeron la fatiga de las probetas.

SESION F. PROPIEDADES DEL HORMIGON FRENTE A ESTADOS COMPLEJOS DE TENSIONES.

R. Newman en *Criterios para el comportamiento del hormigón simple sometido a un estado de tensiones complejas*, hace una revisión en términos generales de la información disponible, propone algunos parámetros para definir con más precisión el comportamiento del hormigón frente a cargas combinadas y sugiere posibles relaciones entre los criterios fenomenológicos y los mecanismos y teorías del agrietamiento y falla a nivel de estructura del hormigón.

Hay mucha evidencia de que el hormigón tiene una alta proporción de pequeñas fisuras o microgrietas en las interfaces, aun antes de ser sometido a cargas. Estas grietas se propagan lentamente, aun en la etapa lineal de deformación hasta 40 a 60% de la carga de rotura, pero finalmente alcanzan una dimensión de equilibrio. Si se aumenta la carga, sin embargo, el sistema se hace inestable y las grietas crecen rápidamente, este es el período de discontinuidad, posteriormente ellas se transmiten a la pasta-75 a 90% de la carga de rotura-, se interconectan y conducen a la rotura.

El punto de discontinuidad puede considerarse como el "límite elástico del hormigón" y debiera tener el carácter de tensión de falla del hormigón, así como la fluencia la tiene para los metales, eso sí, que hay que definir límites inferior y superior de discontinuidad debido a que la falla del hormigón depende grandemente del estado de tensiones y del método de carga (50% de la rotura para cargas breves o fluctuantes y 70% para cargas sostenidas).

Los criterios para fijar el punto de discontinuidad, por una parte, y la resistencia a la rotura del hormigón, por otra, para diversos estados de tensión, deben formularse en términos de la energía de deformación por cizalle, de la tensión normal media y de un límite máximo de la deformación por tracción.

Se entrevén relaciones entre estos criterios fenomenológicos, de resistencia por una parte, y por la otra, la manera en que se forman las grietas y las resistencias de adherencia entre partículas, los modelos de estructura y las teorías de propagación de grietas. Se sugiere que el comportamiento elástico y la fluencia lenta del hormigón ante cargas combinadas pueden definirse y comprenderse mejor tomando en forma separada los componentes volumétrico y desviatorio de los tensores de tensión y deformación.

G. W. Vile es el autor del artículo *La resistencia del hormigón frente a tensiones biaxiales estáticas de corta duración*.

En este trabajo se describen los resultados de ensayos del tipo indicado en el título, los cuales se realizaron en un nivel fenomenológico, pero con orientación estructural. Para evitar las deficiencias de trabajos previos de otros investigadores se

desarrollaron técnicas experimentales adecuadas incluyendo una máquina de ensayo especial que permite aplicar combinaciones de compresión, tracción y torsión a probetas de formas variadas por medio de diferentes platos y mordazas de carga. Desde el comienzo se reconoció la existencia del punto de discontinuidad, el que se determinó por la técnica de la velocidad del ultrasonido.

Se obtuvieron las envolventes de las tensiones de discontinuidad y de rotura a compresión biaxial de 13 mezclas y a compresión-tensión de otras 6 mezclas. El mortero y el hormigón de árido liviano tienen una envolvente cuadrada en la zona de compresión biaxial, que es característica de falla por cizalle máximo; en cambio, el hormigón corriente tiene una envolvente muy redonda y convexa. En consecuencia, los criterios y mecanismos de falla propuestos son diferentes para aquéllos que para éste. Para el mortero se acepta la teoría de rotura de Coulomb-Mohr con algunas modificaciones. Para el hormigón se tiene un cuadro más complejo en que intervienen en el orden indicado: falla de adherencia por tracción, falla de adherencia por cizalle, falla por cizalle y tracción de la matriz.

SESION G. MECANISMO DE RETRACCION Y DE FLUENCIA LENTA.

T. C. Powers presenta el trabajo *Mecanismo de la retracción y de la fluencia lenta reversible de la pasta de cemento endurecida*, en que para analizar esos fenómenos se interna profundamente en una exploración con la última información obtenida por diversos investigadores con microscopio electrónico por el método de réplicas. Con esa información se refuerza la imagen de que las unidades del gel de cemento tienen estructura de láminas tubulares concéntricas, con excepción de las zonas en que deben adaptarse a las formas de los espacios libres entre unidades vecinas. Las láminas son probablemente cintas de tobermorita coloidal impura con un espesor de cerca de 30 Å. Entre láminas hay poros cuyo ancho medio es de 15 Å, pero, hay que hacer notar que la distancia entre láminas es variable y en algunos puntos hay contactos que se atribuyen principalmente a cristales de hidróxido de calcio. La cohesión se

debe a fuerzas de van der Waals generadas entre las láminas debidas a su gran superficie específica y a su proximidad, hay también algunos enlaces primarios. Las fuerzas de dispersión se originan en la "presión de separación" producidas por películas de agua adsorbida en lugares estrechos en que la adsorción está mecánicamente estorbada. Al evaporarse el agua, las películas adsorbidas quedan sometidas a tracción, cuando la humedad es superior a 50% la fuerza efectiva se incrementa por contribución de la tensión hidrostática del agua capilar: las deformaciones elásticas y semi-elásticas inducidas en la estructura sólida son lo que se llama retracción. En la fluencia lenta reversible intervienen las mismas fuerzas directas y antagónicas que en la retracción y en el entumecimiento, pero en este caso hay una degradación de la presión de separación por difusión de moléculas adsorbidas desde las zonas comprimidas a las zonas traccionadas.

O. Ishai entrega el trabajo *Deformaciones dependientes del tiempo de la pasta de cemento, del mortero y del hormigón*. También aquí se analiza el problema desde el punto de vista de la estructura de la pasta, que se supone en lo fundamental coincidente con la expuesta por T. C. Powers. Se hace ver que dentro de las láminas de tobermorita, las fuerzas de enlace son primarias, iónicas y covalentes, pero entre láminas son del tipo de van der Waals; son estas últimas ligazones las que pueden modificarse por variaciones en las condiciones externas, tales como cargas y humedad, y por eso se puede suponer legítimamente que las propiedades mecánicas del gel de cemento (y del hormigón en conjunto) dependen de esos enlaces físicos.

La retracción y la fluencia lenta se reconocen como dos manifestaciones de un mismo fenómeno fundamental que comprende cuatro procesos interdependientes: retracción y entumecimiento, que son las variaciones de volumen sin carga; fluencia lenta básica, que es la deformación bajo carga mantenida de elementos saturados sumergidos en agua; deformaciones discontinuas, debidas a fallas de adherencia y formación de microgrietas; y procesos químicos que son los que intervienen normalmente en las reacciones y de-

sarrollo de la hidratación del cemento.

Los dos primeros procesos están regidos por el movimiento o migración de los cuatro tipos de agua evaporable que se distingue en la pasta: agua capilar, agua adsorbida en la superficie de los cristales, agua adsorbida en las zonas de contacto entre cristales, y agua zeolítica; las deformaciones discontinuas se originan en las imperfecciones, a saber, cavidades o confluencias entre fases cristalinas, amorfas y no hidratadas, y por último los procesos químicos prosiguen indefinidamente.

Estas consideraciones tienen cabida en el análisis de la fluencia lenta y de la retracción del mortero y del hormigón, pero deben complementarse con otras pertinentes a la presencia de los áridos. En la interfaz árido-adhesivo se producen deslizamientos, además se originan microgrietas, por otra parte, los áridos en sí no están afectos a deformaciones dependientes del tiempo; todos éstos son factores que tienen que tomarse en cuenta para establecer el comportamiento del mortero y del hormigón en lo que se refiere a deformaciones a lo largo del tiempo.

El tercer trabajo de esta sesión se titula *Una hipótesis sobre la fluencia lenta de la pasta de cemento endurecida y la influencia de la retracción simultánea* cuyo autor es W. Ruetz.

En esta presentación se formula una interpretación de los fenómenos de la fluencia lenta que trata de abarcar la abundante colección de datos que se ha reunido empíricamente. La hipótesis del autor es de que la fluencia lenta de la pasta tiene su origen en las capas de agua más firmemente adsorbidas por las partículas submicroscópicas del gel. Una reducción de estas capa por secado o por hidratación progresiva sin aporte adicional de agua, produce una disminución considerable de la deformabilidad inelástica. El hecho de que la deformabilidad de la pasta endurecida, tanto por tensiones de compresión, como de tracción, aumenta en forma considerable cuando el contenido de humedad se incrementa o decrece, puede explicarse por el concepto de la viscosidad variable de las capas de agua. Se supone que este fenómeno es consecuencia de una perturbación de la orientación de las moléculas de agua durante el secado.

SESION H. INFLUENCIA DEL TIEMPO Y DEL MEDIO AMBIENTE EN EL COMPORTAMIENTO MECANICO DEL HORMIGON. A. D. Ross, J. M. Illston y G. L. England presentan el trabajo *Influencia de la estructura interna y del estado del hormigón en sus deformaciones a largo y cortoplazo*, cuyo objetivo es situar la información existente sobre la deformación del hormigón dentro del marco del conocimiento de su estructura. Las características de deformación del hormigón son las de la pasta modificada por la incorporación de los áridos. Las condiciones básicas de deformación de la pasta residen en la dispersión inicial de los granos de cemento, el estado de hidratación, el contenido de agua y la temperatura, y estas condiciones se establecen a través de una serie de influencias secundarias, separables en dos categorías: intrínsecas, que comprenden el tipo de cemento, la razón agua/cemento, y la concentración y propiedades elásticas de los áridos, y extrínsecas, que comprenden la humedad ambiente, el tamaño y forma de las piezas, el tiempo, la temperatura y la tensión.

Estas influencias son interdependientes y esta circunstancia hace que las propiedades de deformación del hormigón sean tan complejas.

R. L'Hermite y M. Mamillan presentan *Resultados nuevos de ensayos de retracción y fluencia lenta*, que corresponden a los últimos datos obtenidos en sus experiencias que se prolongan ya por 25 años.

F. Roll es autor del trabajo *La relación entre las deformaciones dependientes del tiempo y las residuales del hormigón, mortero y pasta sometidos a tensiones uniformes*. En este trabajo se revisan algunas experiencias realizadas para determinar la recuperación de las deformaciones después de la descarga del hormigón, mortero y pasta que habían estado previamente cargados durante un período prolongado. Sobre la base de los resultados obtenidos es posible representar las deformaciones instantáneas y las diferidas de muestras cargadas uniformemente y no selladas por medio de una curva tensión-deformación que tiene las propiedades de un material idealmente elasto-plástico. Tal material tendrá un "límite de fluencia" igual a la tensión aplicada y su deformación "plástica" será función de la tensión y de la duración de

carga.

SESION I. OTROS CAMBIOS DE VOLUMEN DEL HORMIGON.

Se presentaron en ella cuatro trabajos bajo el epígrafe común de *Una revisión de las investigaciones acerca de hormigones con cemento expansivo*, en que la *Parte I: Introducción*, está suscrita por A. Klein y B. Bresler, la *Parte II: El componente expansivo del cemento*, tiene por autor a K. Mehta y D. Pirtz, la *Parte III: Factores que afectan las propiedades del hormigón con cemento expansivo* es de M. Polivka y V. Bertero y la *Parte IV: El comportamiento del cemento expansivo bajo carga* fue presentada por V. Bertero y B. Bresler. Además en esta sesión J. W. Dougill presentó el trabajo *Algunos efectos de los cambios de volumen por temperatura en las propiedades del hormigón*.

El volumen que comentamos contiene, por último, un trabajo suplementario *Factores que influyen en las deformaciones por tracción y en la falla por flexión del hormigón simple*, por G. B. Welch.

ERNESTO GOMEZ

* *

Estudio de morteros y bloques de anhidrita.

HEILBRAUM, R. L. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, 1971, 92 pp.

En la zona Norte de nuestro país existen diferentes yacimientos de anhidrita de gran importancia (10^9 m^3) que cumplen el grado de pureza establecido, y, por ser el proceso de fabricación muy simple en relación al cemento tradicional, se puede vislumbrar el significado de su industrialización en el desarrollo tecnológico de Chile.

Es por esta razón que en este trabajo se abordó el estudio de nuestro aglomerante, lo que supone determinar con precisión los factores que influyen sobre el fraguado y resistencia de tal material. Al mismo tiempo, no se conoce con exactitud la cinética de transforma-

ción a sus variedades hidratadas y la consiguiente repercusión en las propiedades mecánicas.

Si se considera la densidad de la anhidrita, 2.9, junto con el elevado costo que significa el transporte a la zona norte de los materiales de construcción empleados en la actualidad, resulta fundamental el desarrollar métodos que junto con atenuar su peso muerto, satisfagan condiciones de resistencia,

El objeto de este trabajo fue contribuir a la solución de las incógnitas señaladas, que permiten a la vez optimizar dicho aglomerante.

Los resultados experimentales obtenidos permiten señalar que tanto la velocidad de fraguado como la resistencia que desarrolla aumenta en relación inversa al tamaño de partículas. Con respecto a los aceleradores, los sulfatos de metales alcalinos y alcalino-térreos resultaron ser los más eficientes. No obstante, la adición de un 3% de cemento Portland resultó ser lo más económico, y los valores de tiempo de fraguado y resistencia que se obtienen, son aceptables de acuerdo a los establecidos en las normas alemanas para este aglomerante.

Al mismo tiempo, las diversas pruebas realizadas con agregados livianos, permitieron señalar su factibilidad de empleo como material cohesivo en la confección de bloques y paneles no soportantes utilizando arcilla y obsidiana expandida.

En atención a que la anhidrita es un aglomerante no hidráulico presenta inconvenientes para su uso en lugares húmedos. Este problema se abordó en forma preliminar sobre la base de obtener revestimientos protectores.

Esta memoria fue realizada en el IDIEM y dirigida por el profesor Hernán Castro C. investigador de la Sección Silicatos.

Aparato calorimétrico para la determinación experimental del calor de hidratación en cementos hidráulicos.

ARDILES S. F. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, diciembre 1971, 106 pp.

Se diseñó y construyó un calorímetro para determinar el calor desprendido en reacciones químicas, y como aplicación y prueba del sistema se midió el calor de hidratación de un cemento, a diversas fechas, por el método de solución en mezcla de ácidos fluorhídrico y nítrico.

En la memoria se describe el proyecto y la construcción del sistema y se da cuenta de las experiencias realizadas para calibrarlo. Se concluye que el instrumento satisface plenamente las condiciones impuestas por la moderna calorimetría, especialmente en el hecho de que la intervención del operador se reduce mucho con relación a otros calorímetros en uso. La calibración se basó en la medida del calor de solución de reactivos, cuyos valores se conocen con mucha precisión, y los resultados fueron muy concordantes con los conocidos.

Se señala que es de particular interés la versatilidad del sistema, ya que es posible extender su campo de aplicación a la medida de diversas determinaciones termoquímicas, tales como calores de neutralización, inmersión, solución, etc. Se destaca, por último, que se ha construido un aparato de características modernas aprovechando y combinando instrumentos disponibles.

Esta memoria se hizo en la Sección Silicatos y Aglomerantes de IDIEM y fue dirigida por el profesor Hernán Castro C.