

SEMINARIOS TORROJA SOBRE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SUS MATERIALES

"Hormigones de alta resistencia: Aspectos diferenciales de su reología y de su comportamiento estructural"

Enrique González Valle y Germán González Isabel

21-X-93

El uso de los hormigones de alta resistencia se ha convertido, en los últimos 25 años, en práctica habitual en otros países mientras que, por razones de índole diversa, su utilización en España es casi nula. La ausencia de normativa al respecto, así como la escasez de bibliografía existente en nuestro idioma, contrasta con la que prolifera en países de tecnología más avanzada.

Ya en la actualidad, en la estructura del 40% de los edificios de gran altura que están siendo construidos en Estados Unidos, se utiliza el hormigón de alta resistencia.

Su facilidad de mantenimiento y el ahorro de costes que representa frente a la solución de estructura metálica, son factores que están potenciando el uso de los hormigones de alta resistencia en la construcción de puentes de grandes luces.

Sus características de durabilidad y comportamiento frente a agentes externos, les hace especialmente adecuados en la construcción de estructuras de cualquier tipo sometidas a la acción continuada de ambientes especialmente agresivos.

Las aplicaciones citadas junto con otras menos conocidas pero igualmente significativas: elementos prefabricados, firmes de carreteras, diques, depósitos de cajas de seguridad, pilotes, etc., constituyen algunos ejemplos de utilización de un material que posibilita la coexistencia de resistencias a compresión de 100 MPa con valores de asiento de cono de 250 mm.

De entre los aspectos más significativos relacionados con la reología de dichos hormigones, podemos considerar los siguientes: elección de materiales constituyentes, métodos de dosificación de los mismos, fabricación y puesta en obra del material, características mecánicas y durabilidad.

Desde el punto de vista de su comportamiento estructural, las diferencias más importantes que presentan estos hormigones, frente a los hormigones de resistencias normales ($f_{ck} \leq 500 \text{ kp/cm}^2$) estriban en su peculiar diagrama tensión deformación. Las investigaciones han confirmado que la rama de ascenso del diagrama tensión deformación es más lineal, mientras que se acorta sensiblemente la deformación ϵ_{cu} de rotura. Ello conlleva a variaciones en la forma de establecer los bloques comprimidos en el dimensionamiento a flexión o flexocompresión frente a los diagramas que se utilizan en los hormigones con resistencias normales ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$).

Los modelos de adherencia y "tensión stiffening", así como las comprobaciones de fisuración presentan ligeras diferencias frente a los hormigones normales, pero no existiendo modelos específicos más ajustados deducidos de una experimentación al efecto, pueden emplearse por el momento los mismos modelos.

La capacidad a esfuerzo cortante de las secciones de elementos realizados con hormigones de alta resistencia, según las normas más actuales, tales como la norma noruega, es más reducida que la que se obtendría por extrapolación de las fórmulas que se emplean para hormigones normales. Parece comprobado que la resistencia tangencial es más reducida, así como que no resultaría proporcional la resistencia a corte con la resistencia tangencial, en secciones sin armadura transversal.

Por último es notable la diferencia que se registra en la valoración de la eficacia de las armaduras de confinamiento de los elementos solicitados a compresión, precisando estos hormigones cuantías de armadura proporcionalmente más elevadas. Lo mismo podríamos señalar, en general, con las cuantías geométricas mínimas para garantizar condiciones adecuadas de ductilidad y de control de la fisuración ante efectos de temperatura y retracción.

La conclusión final que se deduce de una valoración comparativa del coste de ejecución de los pilares de una estructura de 50 plantas, supuesta la utilización de tres categorías diferentes de hormigón: H-250, H-600 y H-800, resulta especialmente clarificadora acerca de la viabilidad económica de los hormigones de alta resistencia.

"Nuevas metodologías para determinar el comportamiento de conglomerantes, ediciones y aditivos en hormigones"

Marcos Bollati Pato
18-XI-93

Los ensayos y metodologías que se expondrán a continuación han sido desarrollados de forma multidisciplinar por ingenieros de caminos, arquitectos, químicos, físicos, matemáticos y personal auxiliar, con el apoyo tecnológico y científico de empresas constructoras, universidades y, especialmente, del Área de Tecnología de la Dirección General de Carreteras del M.O.P.T., con el único fin de poder investigar y estudiar comportamientos, proponer métodos de dosificación, así como procesos constructivos y de control de calidad a los nuevos hormigones con adiciones y aditivos que se utilizan en la actualidad.

Estos hormigones –la mayoría de ellos con importantes cantidades de adiciones activas y aditivos– se mueven en unos estrechos intervalos de variación de sus componentes para mantener la calidad del producto, no admiten fallos en su dosificación, fabricación y proceso constructivo, necesitando, a su vez, de un control de calidad elevado así como de un curado hídrico durante un mínimo intervalo de tiempo, en el cual es preciso mantener en el interior del material unas condiciones ambientales óptimas para que se puedan desarrollar los aluminatos y silicatos de origen puzolánico; todo lo contrario, a los que nos tenían acostumbrados los tradicionales portland I-35 utilizados hasta hace pocos años de forma masiva en la construcción.

Por otro lado, la evolución de los procesos tecnológicos de fabricación y puesta en obra, ha permitido crear nuevos hormigones así como reactualizar otros que se habían dejado en el olvido debido al auge de la vibración, como es el caso del hormigón compactado con rodillo. Estos nuevos hormigones no se pueden caracterizar con los métodos tradicionales, por lo que, de forma conjunta a la investigación del material, se tuvieron que desarrollar las técnicas para poder controlar sus características tanto en obra como en laboratorio.

La evolución también se ha reflejado en las mayores exigencias a las que se somete al material, consistencias muy elevadas, bajas relaciones agua/cemento, tiempos de trabajabilidad o de puesta en obra muy prolongados, etc; lo que obliga a la utilización de aditivos como un elemento más y normal del hormigón. La incorporación de estos nuevos productos, viene a complicar aún más el ya grave panorama de caracterización y estudio de estos hormigones, dejándonos una vez más, cuando se utilizan los métodos tradicionales, del lado de la indefinición. Esto ha obligado a desarrollar nuevos ensayos y metodologías, con las cuales caracterizar con una cierta fiabilidad y en intervalos relativamente cortos, el comportamiento de estos productos en el hormigón.

Una diferencia a grandes rasgos, entre los hormigones de cemento portland y los nuevos hormigones de portland con adiciones y aditivos, se puede apreciar en la fig. 1.

También se debe hacer referencia a la situación económica actual y a la necesidad de los fabricantes de crear productos de la misma calidad y al mínimo coste posible. Esta circunstancia es un arma de doble filo, debido a la existencia de desaprensivos, los cuales no mantienen las normas de conducta adecuadas y abusan de la no existencia de metodologías con las cuales poder discretizar en un corto intervalo de tiempo si dos hormigones tienen, por ejemplo, la misma durabilidad

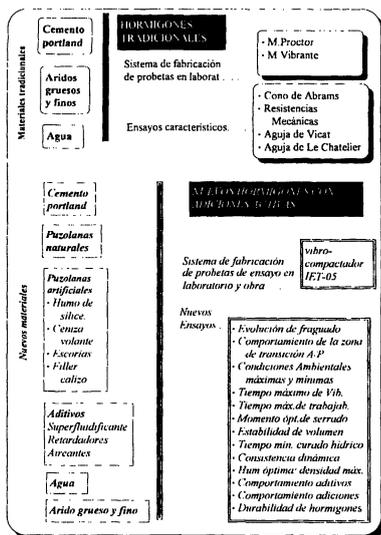


Fig. 1

o si se ha conseguido la consistencia adecuada de los mismos a través de agregar agua en vez de superfluidificante, etc.

En otro orden de cosas, también es muy importante tener en cuenta las tendencias que se están produciendo en otros países más industrializados como por ejemplo: Estados Unidos, donde se están cumpliendo los tiempos de vida útil de muchas estructuras de hormigón, lo que está obligando a la Administración a repararlas, con el coste añadido que esto ocasiona. Esta situación ha provocado que ingenieros y arquitectos americanos se estén replanteando, en este momento, conceptos como los de durabilidad, estabilidad de volumen, resistencias y "performance", palabra que como hemos visto involucra a los tres conceptos anteriormente mencionados. Por ello, y sobre todo en la Administración, se está dando prioridad a criterios de durabilidad sobre los clásicos de resistencia, tanto en los métodos de dosificación, como en los de asegurar la calidad de las estructuras.

En España el E.I. Carreteras y Hormigones del ICCET, utilizando metodologías expuestas en esta conferencia, ha desarrollado nuevos métodos de dosificación de hormigones, que tienen en cuenta de forma preferente los criterios de durabilidad, sobre los de resistencia. Por ejemplo se están aplicando estos conceptos para dosificar:

- Hormigones con adiciones activas y aditivos;
- Hormigones vibrados de altas prestaciones o alta performance;
- Hormigones porosos de altas prestaciones como capa de rodadura en firmes rígidos;
- Hormigones porosos de altas prestaciones para edificación.

También se debe resaltar que, a través de la utilización de estas técnicas, el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, conjuntamente con los Equipos de Investigación Carreteras y Hormigones del ICCET, han

podido desarrollar modelos matemáticos muy exactos de comportamiento de materiales de construcción, tales como el yeso y algunos tipos de hormigones.

Para finalizar, es importante mencionar que los E.I. Carreteras y Hormigones del ICCET disponen de nuevas tecnologías, a través de las cuales se pueden dar soluciones hasta el momento impensables en el campo de la construcción, que se detallan a continuación y que están a disposición de todas las personas interesadas.

- I Evolución del fraguado en materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.
- II Comportamiento de la zona de transición entre árido y pasta.
- III Condiciones ambientales mínimas y máximas en las que se puede hormigonar.
- IV Tiempo máximo de puesta en obra, vibrado y acabado en hormigones de consistencia normal.
- V Tiempo máximo de trabajabilidad en hormigones de consistencia seca (Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), Grava-Cemento (G.C)-Suelo-Cemento (S.C).
- VI Momento óptimo de serrado de juntas en un firme de hormigón.
- VII Estabilidad de volumen, tiempo de fisuración y tamaño medio de la fisura tipo en firmes rígidos y semi-rígidos.
- VIII Tiempo mínimo de curado hídrico en hormigones.
- IX Determinación de la consistencia, viscosidad y docilidad de un hormigón en estado fresco, así como de la relación óptima arena-grava, desde el punto de vista de la docilidad o máxima trabajabilidad de la muestra.
- X Determinación de la densidad óptima y humedad máxima en hormigones de consistencia seca (HCR-GC-SC).
- XI Determinación del comportamiento de aditivos en el hormigón-superfluidificantes, plastificantes, retardadores de fraguado, aireantes, látex, etc.
- XII Determinación del comportamiento de adiciones en el hormigón: puzolanas naturales y artificiales (Humo de sílice, cenizas volantes, escorias siderúrgicas), así como residuos industriales.
- XIII Métodos para determinar la "durabilidad" de hormigones.
- XIV Métodos para determinar la "Performance" de hormigones.
- XV Modelos matemáticos de comportamiento de hormigones.
- XVI Momento óptimo de descimbrado de una estructura.
- XVII Detección de errores constructivos en la relación A/C, dosificaciones inadecuadas, porcentajes incorrectos de adiciones o aditivos, detección de coqueas o discontinuidades que puedan afectar a la resistencia estructural, tiempos de cura-

do hídrico inapropiados, roturas microestructurales por mala ejecución del vibrado o compactado o por la aplicación de tiempos inadecuados de ejecución.

"Sistemas cementantes avanzados: cementos alcalinos"

Ángel Palomo Sánchez

16-XII-93

La familia de materiales objeto de revisión en la conferencia que cierra el ciclo de otoño del decimoquinto Seminario Torroja se conoce, en general, con el nombre de *geopolímeros*. Se ha evitado transcribir dicho nombre en el título por corresponder éste a una marca comercial; sin embargo, en el texto se menciona en diversas ocasiones para facilitar el resumen de la ponencia.

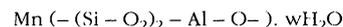
El ponente expuso:

Un geopolímero es un material que se produce tras el procesamiento de unas materias primas, entre cuyas propiedades figura la de endurecer hasta generar unas muy importantes resistencias mecánicas.

La síntesis de dicho material se puede llevar a cabo tras convertir en metacaolín un caolín cocido a aproximadamente 700°C y haciéndolo reaccionar en medio básico con silicato sódico. La mezcla resultante, inicialmente plástica, termina endureciendo en pocas horas a temperaturas entre 50°C y 80°C.

El interés en este tipo de sistemas que incluyen componentes reactivos tales como el metacaolín, para generar nuevos materiales cementantes, fue ideado por Davidovits hace aproximadamente 10 años.

Dicho autor describió la activación del metacaolín por sales alcalinas (NaOH, KOH, etc.) en términos de un modelo polimérico y caracterizó la reacción generadora de un material resistente por su capacidad de desarrollar polímeros con la siguiente fórmula:



donde:

-indica un enlace,

z es 1, 2 ó 3 y

n es el grado de polimerización.

Esquemas similares han sido propuestos para explicar la formación de muchas zeolitas, productos que se caracterizan por comenzar su desarrollo, en las primeras etapas de reacción, con dimensiones coloidales pero que posteriormente coalescen y cristalizan. Las síntesis de las zeolitas generalmente se dan bajo condiciones tales que el resultado final es un producto cristalino, mientras que en el caso de los geopolímeros éstos son productos amorfos.

Es precisamente su carácter de material amorfo lo que hace que su estudio (identificación, características microestructurales, etc.) sea sumamente difícil. En este sentido, los primeros intentos conocidos de profundizar en el conocimiento de la síntesis y de las propiedades microscópicas de los Geopolímeros se han desarrollado en el Instituto "Eduardo Torroja" en colaboración con la Universidad de

Aberdeen (Escocia) utilizando entre otras técnicas instrumentales la Espectroscopia de Absorción Infrarroja que, hasta el momento, ha resultado ser una importantísima fuente de datos.

COLOQUIOS SOBRE DURABILIDAD EN EL ICCTET/CSIC

A lo largo de 1993 se han venido desarrollando, en el Instituto Torroja, coloquios sobre DURABILIDAD enfocados hacia la comunicación e intercambio de conocimiento científico y tecnológico entre expertos a través de un debate libre. Hasta ahora los temas se han centrado en el cemento aluminoso, en concreto:

- I.- Identificación de la presencia de cemento aluminoso en hormigones.
- II.- Relación entre grado de transformación del cemento aluminoso y posible deterioro.

El éxito conseguido en las sesiones ha conducido a la previsión de nuevas jornadas, con los siguientes temas solicitados:

- Cenizas volantes.
- Corrosión-métodos.

GEHO-CEB

GRUPO ESPAÑOL DEL HORMIGÓN

CONCLUSIONES DE LAS JORNADAS SOBRE ESTADO DEL ARTE EN HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Celebradas en la sede del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos durante los días 26 y 27 de octubre pasado, organizadas por el GEHO, estas Jornadas constituyeron un éxito de asistencia y contenido.

Tomaron parte en las mismas un total de más de 200 personas, manteniéndose un nivel de asistencia muy regular en las cuatro sesiones técnicas:

- I.- Durabilidad de estructuras de hormigón.
- II.- Estado del arte en España (trabajos en el GEHO).
- III.- Estado de la normativa en España y en Europa.
- IV.- Estado del arte en Europa (trabajos en el CEB).

En la primera sesión se presentó el boletín GEHO nº 12, *Durabilidad de Estructuras de Hormigón, Guía de Diseño CEB*, que es también el número E-2 de la serie técnica que edita el Colegio de Ingenieros de Caminos. Se confirmó el gran interés que las cuestiones de durabilidad han despertado en la comunidad científico-técnica.

En los debates técnicos de las sesiones II y IV se puso de manifiesto el enorme interés que suscitan los estados límites de servicio, especialmente flechas, en estructuras de muy diversa tipología, así como la garantía de calidad, los hormigones de alta resistencia o el proyecto y ejecución de estructuras mixtas.

La sesión III, maratónica, sirvió para presentar una panorámica muy completa de la evolución de las normativas española (EH, EP, EF, UNE) y europea (Eurocódigos y Código Modelo).

La experiencia muy positiva de estas Jornadas ha animado a los organizadores (GEHO) a preparar un evento semejante para el año próximo, coincidiendo con la presentación de la versión española del Código Modelo CEB-FIP MC-90.

PANEGIRICO POST MORTEM DE UN ENTRAÑABLE AMIGO Y COLEGA



Francisco Soria Santamaría

El día 22 de Enero de 1994 nos abandonó el Prof. Dr. FRANCISCO SORIA SANTAMARIA, después de haber sufrido con resignación y paciencia una larga y penosa enfermedad. Lo hizo como había vivido, sin estridencias, y tras de haber hecho entrega incondicional y total de su existencia a su que-hacer único: el estudio, la investigación y el trabajo asiduos en pro de la Ciencia y de la Tecnología del Cemento y del Hormigón, en los que se volcó con tesón, modestia y honradez.

Su dedicación a estos campos fué única y exclusiva, primero como Colaborador, después como Investigador y últimamente como Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con destino en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (ITCC), después "Eduardo Torroja" (IETCC) y en la actualidad Instituto de Ciencias de la Construcción (ICCTET), en el cual, a partir de los primeros años 50 y de sus trabajos para su tesis de Doctorado en Química Industrial, desarrollados en torno a los cementos puzolánicos resistentes a sulfatos, fué uno de los puntales de más relieve.

Contribuyó al montaje y puesta en marcha y en servicio de la primera y única planta piloto completa para la fabricación de cemento en España, la cual tuvo a su cargo hasta su jubilación en 1992. Hasta este momento y desde bastantes años antes ostentó la Jefatura del Departamento de Materiales del mencionado Instituto, y contribuyó también al mantenimiento, desarrollo y difusión de la Revista "Materiales de Construcción: Últimos Avances" -esta Revista- con aportaciones originales propias y, sobre todo, con el acervo bibliográfico de la misma, reflejado en la correspondiente Sección, y presentado de forma sistemática, ordenada y completa, número tras número.

No se trata de incluir aquí su dilatado y denso curriculum vitae, tanto en su vertiente nacional como internacional, ni tampoco sus premios académicos y de investigación para la industria, más que merecidamente otorgados durante su vida universitaria y profesional oficialmente activa; pero si hay que hacer resaltar el hecho de que por su saber, experiencia y autoridad profesional, al pasar a la situación de jubilado fué requerido de forma inmediata por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), del Sector Cementero Español (OFICEMEN) -lo cual supone la mejor piedra de toque-, como Asesor del mismo, al cual, durante el periodo desafortunadamente corto de su colaboración, prestó servicios importantes.

Hasta su lamentado final y durante no pocos años presidió, con acierto y eficacia ejemplares, sucediendo al que esto escribe, el Comité Técnico de Normalización CTN-80: CEMENTOS Y CALES, de la Asociación Española de Normalización (AENOR), al cual representó en el Comité de Normalización TC-51 -homólogo del citado español-, de la Comunidad, hoy Unión Europea.

Este sincero y apenado panegirista a título póstumo de "PACO SORIA" ha querido dejar deliberadamente para el final su semblanza humana, en la cual encaja a la perfección el calificativo de "hombre bueno" donde los haya, contrastado por el hecho de que nunca tuvo un solo enemigo, y si muchos y buenos amigos, incluso entre sus propios colegas y compañeros, lo cual no es poco decir; y entre los incondicionales y mejores -discúlpese la justificada pretensión- el que suscribe. Su carácter calmoso, no exento de timidez, comprensivo y tolerante para todo y para con todos, han sido actitudes paradigmáticas a lo largo de su desafortunadamente no prolongada vida.

Reciba el inolvidable y llorado amigo nuestra cordial despedida con un hasta pronto, compañero. Y la paz con él, y la paz con todos.

Prof. Dr. José Calleja