

CARACTERISTICAS DE LOS ARIDOS EN RELACION CON LA CALIDAD DEL HORMIGON

JESUS SORIANO CARRILLO (*)

RESUMEN. En este trabajo se describe la influencia de la naturaleza de los áridos en las características del hormigón, así como los métodos de ensayo para determinar sus propiedades y condiciones de utilización.

ABSTRACT. *This work describes the properties of concrete influenced by aggregate properties. Test methods to describe its properties as well as using conditions are indicated.*

1. INTRODUCCION

La durabilidad del hormigón depende, en gran medida, de la calidad de cada uno de sus componentes, así como del medio en el que se encuentra, por lo que para asegurar una larga duración del material, sus componentes deben de ser resistentes, desde un punto de vista físico, y químicamente inertes.

Ahora bien, tanto la experiencia de obras reales como los estudios de laboratorio, demuestran que los áridos no poseen la estabilidad deseada, razón por la que, en muchos casos, son los áridos los responsables del deterioro del hormigón.

De acuerdo con lo anterior, el estudio de la naturaleza y comportamiento de los áridos es de una importancia capital en la tecnología del hormigón ya que de su conocimiento pueden deducirse importantes conclusiones en cuanto a su durabilidad.

En el presente trabajo se describe la influencia de los áridos en las características del hormigón, así como los métodos de ensayo para determinar sus propiedades y condiciones de utilización.

2. INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DE LOS ARIDOS EN LAS CARACTERISTICAS DEL HORMIGON

Como es sabido, los áridos ocupan, aproximadamente, las tres cuartas partes del volumen del hormigón, por lo que parece razonable que sus propiedades influyan, en algunos casos de modo decisivo, en las características del hormigón con ellos fabricado.

A continuación nos referiremos a la influencia ejercida por los áridos sobre algunas de las características más importantes del hormigón.

2.1. DURABILIDAD

En ciertas condiciones la principal característica del hormigón es su durabilidad, existiendo, algunos aspectos de la misma, que están totalmente controlados por las propiedades de los áridos.

2.1.1. Resistencia a la acción de ciclos de hielo y deshielo. Un hormigón, fabricado con un cemento resistente a la helada, puede no serlo a la acción de ciclos de hielo-deshielo si dicho hormigón contiene áridos que pueden llegar a estar críticamente saturados.

Se dice que un árido está críticamente saturado si el espectro de poros del mismo es insuficiente para acomodarse a la expansión producida por el paso del agua a hielo.

Estudios de laboratorio y experiencias en obras reales han demostrado que existe un tamaño crítico de partícula por encima del cual el árido puede verse afectado por la acción del hielo si está críticamente saturado.

El tamaño crítico depende de la textura porosa, de la permeabilidad y de la resistencia a la tracción de los áridos.

Estudios experimentales han demostrado que la presencia de áridos finos está directamente relacionada con el deterioro del hormigón por la acción del hielo. No obstante, algunos áridos gruesos, con textura porosa, pueden llevar, igualmente, a la destrucción de un hormigón sometido a la acción de ciclos de hielo-deshielo.

Por otra parte, los áridos gruesos que presentan sistemas de poros de textura fina y baja permeabilidad, pueden llegar a tener un tamaño crítico similar al de los áridos finos.

En el caso de áridos con sistemas de poros de textura gruesa o áridos con sistemas capilares interrumpidos por numerosos macroporos, el tamaño crítico puede alcanzar valores tan elevados que el hormigón no se ve afectado por la acción del hielo, ya que los procesos disruptivos que se producen en su seno, como consecuencia del cambio de estado del agua, no son lo sufi-

(*) Doctor en Ciencias Geológicas. Jefe de la División de Mineralogía y Petrología del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (IMOPU).

cientemente importantes como para producir el deterioro del hormigón.

2.1.2. Resistencia a la acción de ciclos de humedad y secado. La durabilidad del hormigón sometido a la acción de ciclos de humedad y secado está, igualmente, influenciada por la textura porosa de los áridos.

En este sentido, hay que indicar que los daños producidos por este tipo de acción son, sin embargo, de menor importancia que los producidos por la acción del hielo. No obstante las presiones diferenciales producidas por el hinchamiento de ciertos tipos de áridos, con textura de poro fina, puede producir deterioros en la interfase pasta-árido, con el consiguiente peligro para la durabilidad del hormigón.

En general, y de acuerdo con estudios experimentales, las presiones desarrolladas son proporcionales al módulo de elasticidad del árido.

2.1.3. Resistencia a la acción de ciclos de calentamiento y enfriamiento. Como es sabido, los ciclos alternativos de calor y frío, producen presiones en el interior de cualquier material no homogéneo, que puede resultar deteriorado si la diferencia de temperatura es considerable.

En general, para los áridos usuales y para el rango de temperatura al que se ve sometido un hormigón puesto en obra, este factor no tiene demasiada importancia. No obstante, estudios de laboratorio han demostrado que el deterioro del hormigón sometido a la acción alternativa de calor y frío puede producirse si existe gran diferencia entre los coeficientes térmicos de la pasta de cemento y el árido.

Aunque la incidencia de este fenómeno es difícil de desligar de la acción de los cambios de humedad, para ciertos tipos de áridos, con coeficientes térmicos extremos, y para determinados tipos de estructuras es conveniente la realización de ensayos previos de laboratorio.

En general, hay que indicar, que los hormigones fabricados con áridos de bajo módulo de elasticidad resisten mejor la influencia de los cambios de temperatura que aquellos que contienen áridos de elevado módulo de elasticidad.

2.1.4. Resistencia a la abrasión. En un hormigón la resistencia a la abrasión y al impacto depende tanto de la pasta de cemento como de los áridos.

En aquellos casos en los que el deterioro no es demasiado profundo basta con la utilización de un árido fino para conseguir superficies de gran tenacidad, como, por ejemplo, en ciertas estructuras hidráulicas y pavimentos en los que los áridos gruesos son inaceptables por problemas de cavitación.

2.1.5. Resistencia al fuego. Ensayos de laboratorio han demostrado que los hormigones ligeros son más resistentes al fuego que los fabricados con áridos normales, ya que los hormigones ligeros presentan menor conductividad térmica y por tanto pueden aislarse mejor de la fuente de calor.

Igualmente, los áridos artificiales procedentes de es-

corias de horno alto son más resistentes al fuego que los áridos normales debido a su ligereza y estabilidad mineral a alta temperatura.

En general, hay que señalar que los áridos procedentes de rocas carbonáticas que los procedentes de rocas silíceas ya que este último tipo de roca presenta menor temperatura de calcinación, alrededor de los 550 °C, que las carbonáticas son temperaturas de calcinación de 900 °C para las calizas y 700 °C para las dolomías.

2.1.6. Resistencia a los ácidos. En general, los áridos silíceos son más resistentes a la acción de los ácidos que los procedentes de rocas carbonáticas. Sin embargo, y debido a la acción de los ácidos sobre la pasta de cemento, en algunos casos, y cuando se trata de ácidos débiles, los hormigones fabricados con áridos carbonáticos son más resistentes que los fabricados con áridos silíceos, ya que la disolución selectiva de los carbonatos frente a la pasta de cemento puede preservar la durabilidad del hormigón.

Evidentemente, para hormigones sometidos a ambientes fuertemente ácidos deben de utilizarse sistemas de protección de la estructura o bien hormigones fabricados con cementos especiales y áridos resistentes a la acción de los ácidos.

2.1.7. Áridos reactivos. Como es sabido, fue en una presa de California en donde se atribuyó, por primera vez, el deterioro de la misma a la interacción entre ciertos tipos de áridos y los álcalis del cemento.

Posteriormente se han detectado otro tipo de interacciones entre los áridos y los componentes de la fase intersticial del hormigón.

Las principales reacciones de interacción entre los áridos y los componentes de la fase intersticial del hormigón son las siguientes:

- A. Reacción álcali-árido.
- B. Reacción álcali-carbonato.
- C. Reacción árido-pasta de cemento.
- D. Presencia de áridos contaminados.

A continuación, nos referiremos a cada una de estas reacciones.

2.1.7.1. REACCION ALCALI-ARIDO. Fue Stanton (1940) el primer investigador que se refirió a la existencia de una reacción entre los álcalis del cemento y áridos de naturaleza silícea.

Ciertas rocas de naturaleza silícea reaccionan con los álcalis del cemento dando lugar a la formación de geles silíceo-alcálicos que, generalmente, tienen una acción osmótica, en presencia de agua, y que por absorción de ésta aumentan de volumen y provocan importantes presiones disruptivas.

Los minerales y rocas susceptibles de provocar este fenómeno son los minerales opalinos, ciertas rocas volcánicas con un contenido medio o alto de sílice (andesitas y riolitas), algunas pizarras y filitas, con elevado contenido en hidromieas, y ceolitas del tipo heulandita.

El esquema general del proceso ha sido establecido

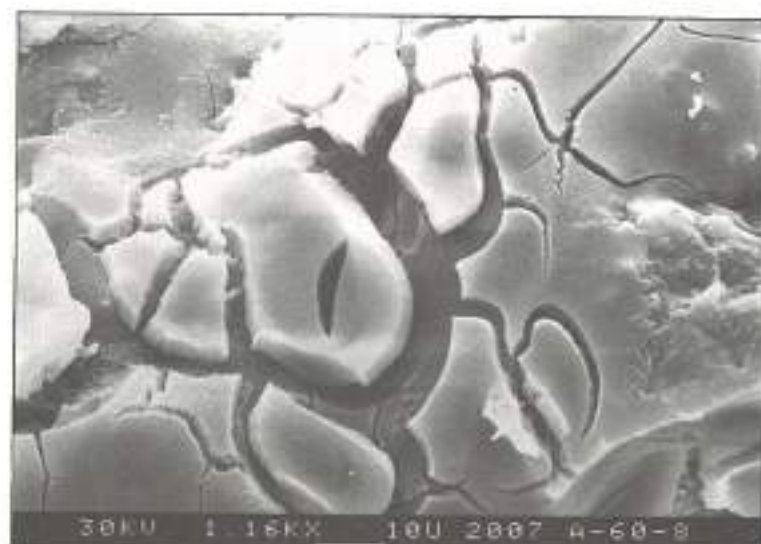
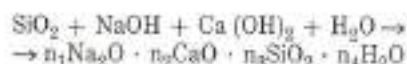


FOTO 1. Gel silicocalcálico: consecuencia de una reacción álcali-árido.

por Plum *et al.* (1958) de acuerdo con la siguiente reacción:



Con respecto a la reacción anterior, hay que indicar que el NaOH representa, según la práctica general, al NaO equivalente, es decir, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, y que el gel formado será o no de carácter expansivo según sea el contenido en CaO.

De acuerdo con Dent Glasser y Kataoka (1981), la sílice de las rocas y minerales susceptibles de ser áridos reactivos, interacciona con la sosa produciendo, en primer lugar, una reacción ácido-base entre los grupos silanol Si-OH y los iones OH^- de la solución alcalina después de la neutralización por un ión Na^+ de la carga negativa formada. Posteriormente se produce una segunda reacción consistente en un ataque de puentes siloxanos por iones OH^- , reacción que entraña una desintegración de la estructura y el paso de la sílice a SiO_4H_7 .

Hay que señalar que ambas reacciones se producen casi simultáneamente dando lugar a la formación de un gel de silicato sódico de fuerte carácter expansivo.

Ahora bien, la naturaleza mineralógica y/o petrológica de los áridos no es el único factor a considerar en el caso de la degradación de una estructura de hormigón como consecuencia de la reacción álcali-árido. Así, otros factores de gran importancia son la cantidad y tamaño de los áridos reactivos; el contenido en álcalis de la fase intersticial del hormigón; la presencia de humedad; el tiempo y la temperatura.

Con respecto al primero de los factores, cantidad y tamaño de los áridos reactivos, es necesaria la presencia de una cantidad mínima de áridos reactivos para que se produzca la expansión, ahora bien si dicha cantidad supera, aproximadamente, el 35 % la reacción no se pro-

duce ya que las partículas reactivas reducen rápidamente la concentración de alcalinos impidiendo la formación del gel (L'Hermite, 1971). Del mismo modo, si el tamaño de los áridos es excesivamente pequeño la reacción con los álcalis se produce antes de que pueda formarse el gel, por lo que la degradación del hormigón como consecuencia de esta reacción es más improbable.

Con respecto al segundo de los factores, contenido en álcalis de la fase intersticial del hormigón, hay que señalar que deben de ser éstos los álcalis considerados y no únicamente, como suele hacerse con bastante frecuencia, los álcalis del cemento, ya que los álcalis presentes en la fase intersticial del hormigón, que son los que pueden reaccionar con los áridos, no provienen, exclusivamente, del cemento sino también de los áridos, de los aditivos, e incluso del agua de amasado, por lo que el límite máximo de álcalis en el cemento, establecido por las diferentes normas internacionales alrededor del 0,6 % de Na_2O equivalente, no debe considerarse como excluyente de una posible reacción álcali-árido, por lo que siempre habrá que tener en cuenta otros factores, siendo, en nuestra opinión, el más importante de los mismos la composición mineralógica de los áridos.

Los valores críticos de humedad relativa que favorecen la reacción álcali-árido se sitúan, para la mayoría de los autores, entre el 80 y el 85 %. Hay que señalar, igualmente, que la relación agua/cemento puede jugar un papel nada despreciable en el desarrollo de la citada reacción, ya que si la cantidad de agua en el seno del hormigón es suficiente puede producirse la formación de productos expansivos sin necesidad de aporte exterior.

Como es sabido, la fisuración de un hormigón por efecto de la reacción álcali-árido, puede aparecer en pocos meses o en varias decenas de años. En realidad la reacción álcali-árido puede llegar a considerarse como un fenómeno muy lento y prácticamente inofensivo si no existe imbibición de agua por las zonas de contacto en-

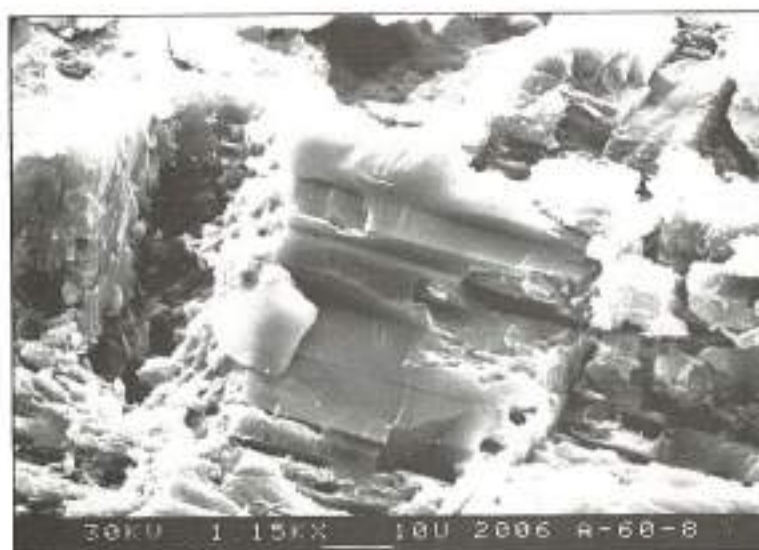


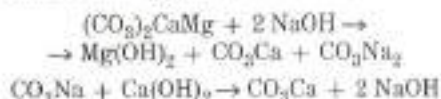
FOTO 2. Degradación de un feldespato por la acción del hidróxido cálcico de la fase intersticial del hormigón.

tre el árido y la pasta de cemento. Ahora bien, si por cualquier causa se produce la degradación del hormigón y el agua penetra en el seno del mismo, la reacción puede desencadenarse hasta llevar a la total destrucción de la estructura.

Por otra parte, la temperatura acelera las reacciones químicas por lo que, en algunos casos, el empleo de cementos de fraguado rápido, con elevado calor de hidratación, puede favorecer la reacción entre los áridos y los álcalis de la fase intersticial del hormigón.

2.1.7.2. REACCIÓN ALCALI-CARBONATO. Hadley (1961), fue el primer autor que describió una reacción de carácter disruptivo entre los álcalis del cemento y áridos de naturaleza dolomítica.

La dedolomitización de los áridos, por reacción con disoluciones alcalinas, produce la neoformación de brucita, $Mg(OH)_2$, y una regeneración de hidróxido alcalino, lo que puede dar lugar a la continuidad del proceso de acuerdo con las siguientes reacciones:



La brucita puede aparecer bien en las zonas de contacto entre el árido y la pasta, bien en el mismo árido, pudiendo reaccionar con la sílice alrededor del árido y formar un silicato de magnesio.

Por otra parte, hay que indicar que la zona porosa que se crea alrededor del árido, por extracción de iones Mg^{2+} , debilita la unión árido-pasta, sin que el proceso de dedolomitización provoque, en ningún caso, la aparición de geles expansivos, por lo que, en este tipo de reacción, el efecto disruptivo se debe, únicamente, a la formación de brucita en el seno del hormigón.

2.1.7.3. REACCIÓN ÁRIDO-PASTA DE CEMENTO. Aarås y Visser (1977, 1978), Cole *et al.* (1981), Way y Cole (1982) y Soriano (1981, 1987), entre otros auto-

res, han estudiado las reacciones de interacción entre ciertos áridos y los componentes de la fase intersticial del hormigón, estableciendo que como consecuencia de la misma se produce, en el seno del hormigón, la neoformación de fases silicatadas que pueden influir en la durabilidad del hormigón.

Las reacciones de interacción entre los áridos y los componentes de la fase intersticial del hormigón, pueden considerarse como la ruptura de un equilibrio precario y la búsqueda de un nuevo equilibrio en las nuevas condiciones del medio, ya que los minerales de los áridos se ven sometidos a la agresión de las soluciones de la fase intersticial del hormigón, lo que hace que dichos minerales respondan, a la citada agresión, evolucionando, por alteraciones sucesivas, hacia minerales más estables en las condiciones físicoquímicas que se dan en el seno del hormigón.

Como consecuencia de esta interacción se produce un intercambio iónico entre los minerales de los áridos y la fase intersticial del hormigón, de modo que, de acuerdo con la mineralogía del árido, se produce una pérdida en las concentraciones de Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl y K, así como una ganancia de Ca y, en ocasiones de Fe.

Este intercambio iónico, siempre posible, por la diferencia de radios iónicos, se ve favorecido por la hiperbasilidad del hormigón.

Por otra parte la degradación progresiva de los feldespato y las micas, contribuye a elevar el pH de las soluciones de la fase intersticial, pH puede llegar a alcanzar valores próximos a 13,6, circunstancia que facilita la degradación de los minerales y la neoformación de minerales y geles muy ávidos de agua, lo que da lugar al desarrollo de una importante microfisuración en el seno del hormigón.

Esta microfisuración, desarrollada principalmente en la interfase pasta-árido, hace que la reacción se vea favorecida ya que permite el paso de las soluciones



FOTO 3. Apertura y degradación de las láminas de una mica como consecuencia de una reacción árido-pasta de cemento.

agresivas hacia el interior de los minerales de los áridos.

Por otra parte, el cuarzo, considerado, a menudo, como inalterable, sufre, sin embargo, una agresión permanente, ya que la liberación de alcalinos por los feldespatos y las micas favorece la puesta en solución de la sílice, provocando, por una parte, la aparición de figuras de disolución, y, por otra parte, la apertura de canales que favorecen la circulación de las soluciones agresivas.

En una primera etapa, la sílice puesta en solución se acumula en la periferia de los áridos, pero como consecuencia de la degradación de feldespatos y filosilicatos, se produce la puesta en solución de los alcalinos, favoreciendo de ese modo la neoformación de ceolitas y de geles sílico-alumínico-calco-alcalinos, ambos de naturaleza expansiva.

La neoformación de estos geles da lugar a lo que puede denominarse como una reacción álcali-árido secundaria.

Los factores que pueden favorecer este tipo de reacción son los mismos que en el caso de una reacción álcali-árido.

2.1.7.4. PRESENCIA DE ARIDOS CONTAMINADOS. Como es sabido, los áridos utilizados en el hormigón deben de ser duros, perdurables y limpios, de modo que no contengan ninguna impureza perjudicial, tanto en forma como en contenido, que puedan comprometer la resistencia y durabilidad del hormigón.

Como es lógico, los áridos pueden estar contaminados, tanto por materia orgánica como por materia inorgánica. Así, y con respecto a las impurezas de materia orgánica, hay que señalar que éstas afectan, por una parte a la adherencia entre la pasta y el árido, ya que el recubrimiento del árido por la materia orgánica impide la unión entre la pasta y el árido, y, por otra parte, a un ataque de la pasta de cemento como en el caso de áridos contaminados con aceites que contengan fenoles.

Dentro de las impurezas de materia inorgánica, se

puede distinguir, por sus diferentes efectos y mecanismos de actuación, los siguientes contaminantes: minerales de la arcilla, micas, óxidos de hierro, sulfuros, sulfatos, óxidos de magnesio y ceolitas.

Los minerales de la arcilla provocan, en el seno del hormigón, por un lado importantes presiones disruptivas, como consecuencia de las variaciones de volumen experimentadas por algunos de estos minerales, y, por otra parte, como consecuencia de la absorción por ciertos minerales de la arcilla de parte del agua intersticial, lo que impide un desarrollo normal de las diferentes especies mineralógicas presentes en el hormigón.

Los minerales de arcilla, se caracterizan por poseer una estructura abierta que permite la introducción de moléculas polares en su seno, lo que da lugar a importantes variaciones de volumen que, como es lógico, va a dar lugar a la aparición de considerables presiones disruptivas en el seno del hormigón.

Por otra parte, es fácil comprender que la presencia de ciertos minerales de la arcilla restara agua del medio por lo que la aparición del gel de CSH se verá dificultada a lo largo del proceso de hidratación, lo que, evidentemente, altera la cinética de texturación de la pasta de cemento con el consiguiente deterioro de las características mecánicas del hormigón.

Los minerales de la arcilla tienen, también, una influencia notable en el caso de hormigones sometidos a la acción de ciclos de hielo-deshielo, ya que su presencia hace que desaparezca la barrera de protección por migración con el consiguiente peligro para la durabilidad del hormigón.

La presencia de partículas de mica en la arena disminuye la docilidad del hormigón, así como la evolución de su resistencia. Por otra parte, se ha podido comprobar que, debido a su composición la biotita es menos nociva que la moscovita.

Los sulfuros, principalmente la pirrotina y marcassita, por oxidación dan lugar a la formación de sulfatos

que, al atacar a la pasta de cemento, provocan el deterioro del hormigón.

Los sulfatos, fundamentalmente el yeso y la alúmina, al reaccionar con los aluminatos del cemento, dan lugar a la formación de sulfoaluminatos cálcicos, de carácter fuertemente expansivo.

Los óxidos de magnesio pueden hidratarse dando lugar a la formación de brucita, con el consiguiente peligro para el hormigón.

Las zeolitas pueden provocar una aceleración de la reacción álcali-árido debido a procesos de intercambio iónico entre los áridos y el cemento.

2.2. RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia mecánica es la segunda propiedad más importante del hormigón, así como uno de los valores más típicamente especificados.

La resistencia de un hormigón depende tanto de la resistencia de los áridos como de la resistencia de las uniones entre la pasta y los áridos.

Para separar un árido de un hormigón endurecido es necesario ejercer un esfuerzo, generalmente elevado, lo que lleva a pensar que entre el aglomerante y el árido existen fuertes uniones, que se desarrollan a lo largo del fraguado y endurecimiento del cemento, y cuya resistencia mecánica puede ser superior a la propia resistencia intrínseca de cada uno de los componentes.

Para precisar el origen de estas uniones hay que tener en cuenta que la pasta plástica de cemento que rodea a los áridos después del amasado, se va transformando, poco a poco, en una masa totalmente cristalizada, por lo que resulta lógico pensar en el desarrollo de uniones sólido-sólido entre el aglomerante y los materiales englobados.

Pueden distinguirse dos tipos de adherencia entre las fases sólidas:

- A. Una adherencia mecánica a escala gruesa, o adherencia por rugosidad superficial del árido, en la que

las partículas muy finamente cristalizadas del cemento hidratado circunden las protuberancias y asperezas de la superficie de los áridos.

- B. Una adherencia a escala de las dimensiones reticulares, unión ideal en la que los cristales del cemento se prolongan en los del árido, y que constituyen un fenómeno particular de epitaxia, por superposición de las redes atómicas.

La adherencia mecánica es independiente de la naturaleza de los materiales englobados, estando controlado, fundamentalmente, por la escala de las rugosidades superficiales y, por tanto, se desarrollará mejor cuanto más pequeñas sean las dimensiones de los hidratos del cemento con respecto a las del árido. Hay que indicar que, en ocasiones, no se da este tipo de adherencia debido a burbujas de aire producidas durante el amasado.

La adherencia epitaxial es más excepcional ya que implica condiciones muy estrictas en las estructuras cristalinas de los dos sólidos. No obstante, y dado que los áridos no son inertes frente al cemento, puede producirse una reacción química superficial entre el árido y la pasta, por lo que al formarse una red cristalina intermedia las posibilidades de adherencia epitaxial aumentan considerablemente.

De acuerdo con lo anterior, y desde un punto de vista geométrico, las adherencias epitaxiales establecen un paso continuo de los hidratos del cemento al árido, mientras que la adherencia por rugosidad se traduce únicamente en contactos localizados y en la aparición eventual de una fisuración interfacial, consecuencia de las burbujas de aire, más o menos grande y más o menos extendida.

La naturaleza mineralógica de los áridos produce importantes modificaciones en la evolución de la resistencia mecánica, de modo que los hormigones fabricados con áridos calizos alcanzan mayores resistencias que los fabricados con cuarzo, éstos mayor que los fa-



FOTO 4. Figuras de disolución en un cristal de cuarzo provocadas por la acción de los álcalis de la fase intersticial.

bricados con feldespatos que, a su vez, son más resistentes que los fabricados con minerales de la arcilla.

2.3. RETRACCION

El cemento puede presentar un importante grado de retracción, sin embargo, la presencia de los áridos reduce notablemente la retracción del hormigón.

Estudios experimentales, han demostrado que los factores que ligados a los áridos influyen sobre la retracción del hormigón son los siguientes:

- La dureza, la comprensibilidad o el módulo de elasticidad del árido.
- La textura, la porosidad y otras propiedades del árido que afectan a su adherencia con la pasta.
- La forma de las partículas, el tamaño máximo del árido, así como el agua requerida por el árido para el amasado del hormigón.
- La presencia de minerales de la arcilla en el seno de los áridos.
- La mineralogía de los áridos, debido a la mayor o menor absorción de agua por los diferentes tipos de rocas.

2.4. PROPIEDADES TERMICAS

Tanto el coeficiente de expansión térmica como el calor específico, la conductividad térmica y la difusión del calor en el hormigón, están notablemente influenciadas por las propiedades de los áridos.

Se ha demostrado que cada uno de los componentes del hormigón contribuyen a la conductividad térmica y al calor específico del mismo.

El coeficiente de expansión térmica de los áridos utilizados normalmente en la fabricación del hormigón, está relacionado con la composición mineralógica y, par-

ticularmente, con el contenido en cuarzo de la roca, de modo que un aumento en la cantidad de este mineral eleva el valor del coeficiente térmico de expansión.

Por otra parte, la conductividad térmica varía con el peso específico del hormigón, de modo que, en general, una mayor cantidad de árido provoca un aumento en el valor de la conductividad térmica.

2.5. PESO DEL HORMIGON

El peso de un hormigón depende de la densidad del árido, del contenido en aire, de la proporción de la mezcla y de la capacidad de absorción de agua por los áridos.

En general, el peso específico es un índice útil y rápido para medir la aptitud de un árido. Un peso específico bajo indica, frecuentemente, materiales porosos, labiles y absorbentes, mientras que un peso específico elevado suele indicar buena calidad del árido.

2.6. MODULO DE ELASTICIDAD

La influencia del módulo de elasticidad de los áridos sobre el módulo de elasticidad del hormigón se determina, generalmente, mediante el ensayo de fragmentos de hormigón que contengan dichos áridos.

En general, y tanto para esfuerzos de compresión como de tensión, las curvas esfuerzo-deformación son lineales, lo que indica que los áridos son razonablemente elásticos. Este hecho, por el contrario, no se produce en los hormigones debido al comportamiento no lineal de la pasta de cemento y de la interfase pasta-árido.

Por las razones anteriores es por lo que no existe una relación lineal entre los módulos de elasticidad del árido y del hormigón.

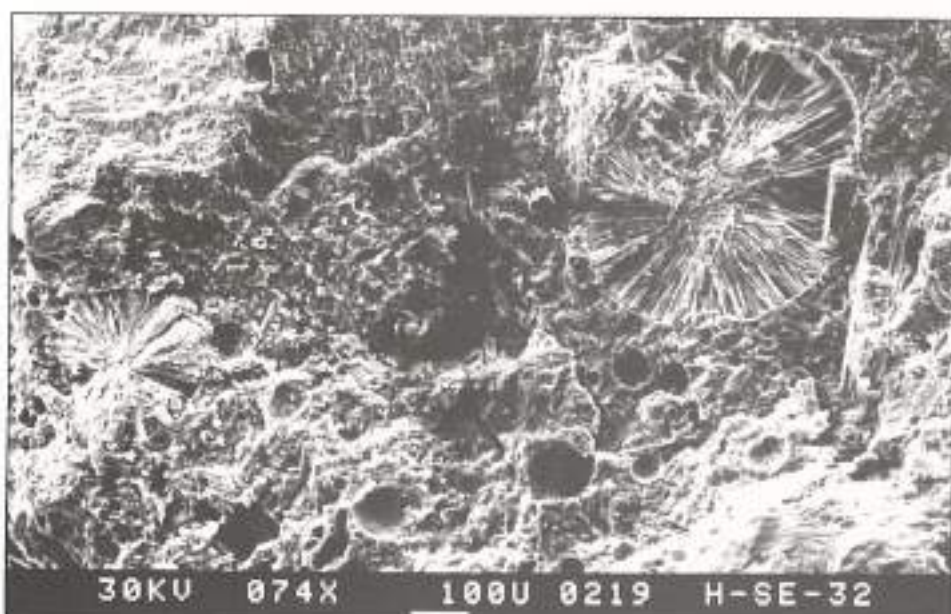


FOTO 5. Etringita.

3. METODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES Y CONDICIONES DE UTILIZACION DE ARIDOS PARA HORMIGONES

En este apartado, y en tablas sucesivas, se indican los métodos de ensayo que permiten establecer la posible

idoneidad de un árido para la fabricación del hormigón.

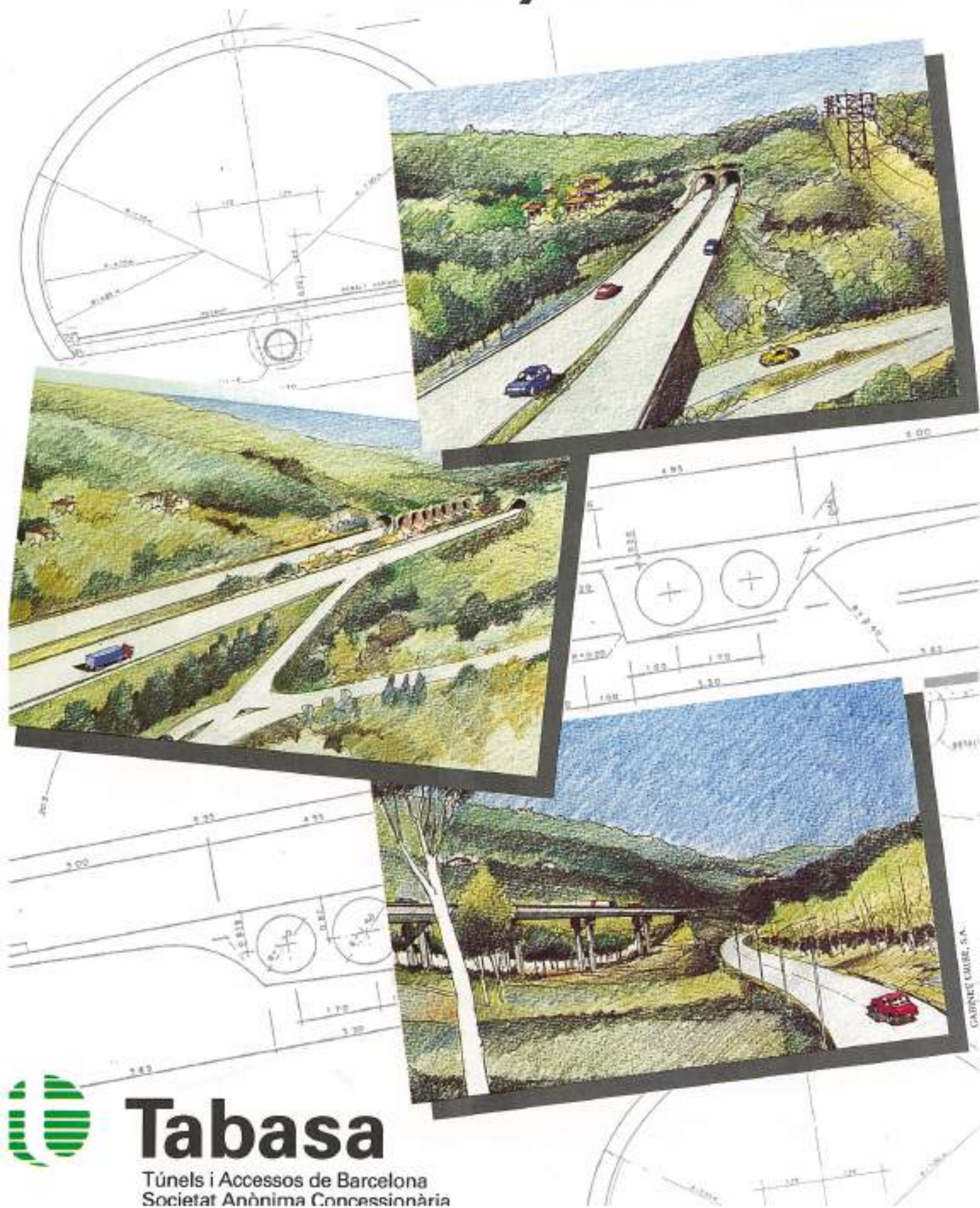
Cada una de las tablas citadas hace referencia a alguna de las características de los hormigones examinados anteriormente.

Los métodos de ensayo que se comentan son los pro-

PROPIEDAD ARIDO	METODO ENSAYO	VALORES TÍPICOS	COMENTARIOS
Resistencia a los sulfatos	ASTM C-88	Árido fino: 1 a 10 % Árido grueso: 1 a 12 %	Los resultados del ensayo no son indicativos del comportamiento del árido
Resistencia a ciclos de hielo-deshielo	ASTM C-666	Factor de durabilidad del 10 al 95 %	Ensayo referido fundamentalmente a los áridos gruesos. Los resultados dependen de la distribución de los áridos
	ASTM C-682	Inmunidad a la helada de 1 a más de 16 semanas	Los resultados dependen de la distribución de los áridos en el hormigón. No puede indicarse el comportamiento de áridos que no alcanzan el valor crítico en ese período de tiempo
Absorción	Árido fino ASTM C-127	0,2 a 4 %	Los valores típicos sólo corresponden a áridos naturales
	Árido grueso ASTM C-128	0,2 a 2 %	Si los áridos han estado sometidos a la acción del hielo la absorción puede incrementarse
Porosidad	—	—	Se suele indicar la relación entre el porcentaje de espacios vacíos y el volumen total del árido, mediante métodos de inmersión
Textura porosa	—	—	Suele medirse mediante el empleo de porosímetros de mercurio
Permeabilidad	—	—	Se relaciona con los valores obtenidos en la medida de la textura porosa
Textura y estructura	ASTM C-295	Examen petrográfico	Estimación de la resistencia del árido en función del grado de alteración de la roca
Presencia de arcilla y finos	ASTM C-117	Árido fino: 0,2 a 6 % Árido grueso: 0,2 a 1 %	Fuerden admitirse áridos menores de 0,075 mm si no hay arcillas
	ASTM D-2419	50 a 90 %	Mide el equivalente de arena de modo que la presencia de arcillas aumenta la demanda de agua
Dureza, litología	ASTM C-295	—	Establece la dureza de los diferentes litologías mediante examen petrográfico, así como su resistencia al fuego
Resistencia a la degradación	ASTM C-131 ASTM C-535	De 15 a 50 % de pérdida	La ASTM C-535 utiliza la máquina de Los Angeles por lo que los resultados no son muy indicativos para el hormigón
Resistencia a la abrasión	ASTM C-418 ASTM C-799 ASTM C-944	— — —	Los tres métodos son útiles en la investigación de áridos y por tanto no de uso común a pie de obra
Índice de durabilidad	ASTM D-3744	Indica valores para los áridos finos y gruesos de 0 a 100 %	Determina la presencia de minerales de arcilla
Áridos reactivos	ASTM C-295	—	Presencia y contenido de minerales reactivos mediante examen petrográfico
	ASTM C-227	0,01 a 0,2 % o más después de 6 meses	Sirve indistintamente para áridos finos y áridos gruesos
	ASTM C-289	Gráfica	Reactividad potencial según posición en el gráfico; No muy exacto
	ASTM C-586	0,01 a 0,2 % o más después de 6 meses	Especialmente adaptado para áridos procedentes de rocas carboníicas

TABLA 1. Características hormigón: durabilidad.

Unimos el Vallès y el Barcelonès



CEMENTOS PORTLAND^S_A

CAPACIDAD DE PRODUCCION: 1.200.000 Tm. ANUALES



FABRICANTE DE LOS CEMENTOS:

- I/55A (SUPERBRILLANTE).
- I/45A (DIAMANTE).
- II/35A (CANGREJO).
- III-2/35/SR-MR-BC (DURACEM).
- II-F/35A (CANGREJO F.).
- V/35 (RODACEM).

ESTELLA, 6 - APARTADO 107 - 31002 PAMPLONA

TELS. (948) 225 803-02-01 - DPTO. COM. TEL. 22 49 65 - TELEX: 37915 CEOP E - FAX: (948) 220 822

HORMIGONES

puestos en el volumen 04.02 (Concrete and Mineral Aggregates) del Annual Book of ASTM Standards (1988), por entender que dichos métodos son, en la actualidad, los más difundidos universalmente.

Omitimos la descripción y comentario de los métodos de ensayo de la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88),

dado que en la misma se encuentran perfectamente detallados.

4. BIBLIOGRAFIA

AARDT, J. H. P. y VISSER, S. (1977). *Cem. Concr. Res.*, 7, 643-648.

PROPIEDAD ARIDO	METODO ENSAYO	VALORES TÍPICOS	COMENTARIOS
Resistencia a la tracción	ASTM D-2936	300-2.300 psi	No existen valores para cada tipo de árido
Resistencia a la compresión	ASTM D-2938	10.000 a -10.000 psi	Valores empíricos
Impurezas orgánicas	ASTM C-40	Color inferior a 3 en la carta de colores	Determina el color de una solución de NaOH
	ASTM C-87	85 a 105 %	Compara la resistencia entre arenas limpias de contaminantes orgánicos
Forma de las partículas	ASTM C-295	—	Examen petrográfico
	ASTM D-3398	Índice de forma	El aumento de las partículas de forma angular incrementa el valor del índice
Térrenos de arcilla y partículas frías	ASTM C-14	0,5 a 2 %	Rotura de partículas mojadas entre los dedos
Tamaño máximo	ASTM C-136	De 0,5 a 6 pulgadas	Determinación del tamaño

TABLA II. Características hormigón: resistencia.

PROPIEDAD ARIDO	METODO ENSAYO	VALORES TÍPICOS	COMENTARIOS
Presencia de finas	ASTM C-117	Árido fino: 0,2 a 6 % Árido grueso: 0,2 a 1 %	Limitación de la presencia de finas
Contenido en arcilla	ASTM C-2419	Del 70 al 100 %	Limitación de la presencia de arcilla
Tamaño máximo	ASTM C-136	De 0,5 a 6 pulgadas	Limitación en el tamaño del árido

TABLA III. Características hormigón: cambios de volumen.

PROPIEDAD ARIDO	METODO ENSAYO	VALORES TÍPICOS	COMENTARIOS
Densidad específica	ASTM C-127	1,6 a 3,2	Para árido fino
	ASTM C-128	1,6 a 3,2	Para árido grueso
Forma de las partículas	ASTM C-295	—	Examen petrográfico
Granulometría	ASTM C-136	—	Espectro granulométrico
Módulo de finura	ASTM C-136	2,2 a 3,1	Para árido fino
Tamaño máximo	ASTM C-136	De 0,5 a 6 pulgadas	Determinación tamaño
Partículas ligeras	ASTM C-123	De 0 a 0,5 %	Variaciones con la naturaleza del árido
Densidad	ASTM C-29	—	Determinación densidad

TABLA IV. Características hormigón: densidad.

- AARDT, J. H. P. y VISSER, S. (1978). *Cem. Concr. Res.*, 8, 677-682.
- COLE, W. F.; LANCUCKI, C. J., y SANDY, M. J. (1981). *Cem. Concr. Res.*, 11, 443-459.
- DENT GLASSER, L. S. y KATAOKA, N. (1981). *Cem. Concr. Res.*, 11, 1-9.
- HADLEY, D. W. (1961). *Highway Research Board*, 40, 462-469.
- L'HERMITE, R. (1971). *Annales I.T.B.T.P.*, 115, 53-87.
- PLUM, N. M.; POULSEN, E., y IDORN, G. M. (1958). *Ingeniørviden Int. Ed. Danmark*, 2, 26-32.
- SORIANO, J. (1981). *Revista de Obras Públicas*, 3195, 577-584.
- SORIANO, J. (1987). *Proc. First Int. RILEM Cong.*, 1, 25-32.
- STANTON, T. E. (1940). *Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.*, december, 1781-1795.
- WAY, S. J. y COLE, W. F. (1982). *Cem. Concr. Res.*, 12, 611-617.