

DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. PROGRAMA DE INVESTIGACION DEL IETcc

Prof. Dr. Demetrio Gaspar Tébar
IETcc

689-12

Introducción

El comportamiento de los morteros y hormigones sometidos a la acción de ambientes agresivos naturales (atmósferas; terrenos; aguas —puras, con componentes disueltos, residuales, de mar—, etc.) ha sido objeto de numerosos trabajos como consecuencia de la gran cantidad de obras construidas a base de hormigón, en masa y armado, las cuales han sufrido lesiones de consideración que, en determinados casos, supusieron fracasos resonantes como consecuencia de la descomposición experimentada; de aquí, que sea un tema que ha preocupado y sigue interesando a los profesionales, no sólo desde un punto de vista tecnológico o constructivo sino científico, para conocer las causas que producen la destrucción de dichas obras y poder tomar, en su caso, las medidas oportunas.

Dado que el mecanismo de la destrucción del hormigón por los agentes agresivos es muy complejo, ya que intervienen gran número de parámetros (mecánicos, físicos, químicos, biológicos y atmosféricos) que complican el entendimiento de las causas de la destrucción y que los conocimientos que se tienen son, muchas veces, muy limitados y confusos, se vienen realizando diversos trabajos experimentales, a escala de laboratorio y a escala semirreal, por el correspondiente Equipo de Investigación del IETcc(*) para contribuir, fundamentalmente, al

(*) Al final del artículo se relacionan las personas que componen el Equipo de Investigación «Durabilidad» del IETcc.



Fig. 1. —Canaleta para conducción de agua.

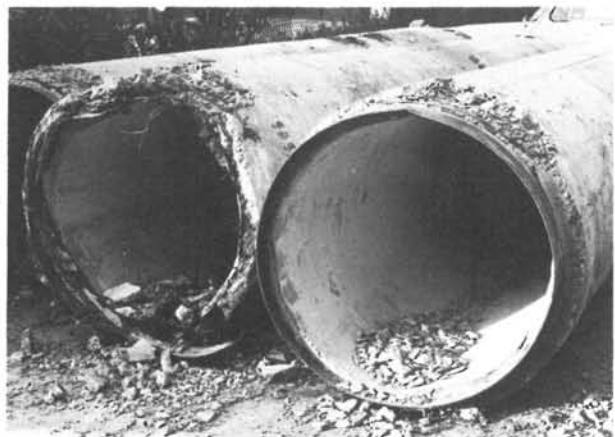


Fig. 2. —Tubos para conducción de agua.



Fig. 3. — Hormigón atacado.



Fig. 4. — Hormigón descompuesto.

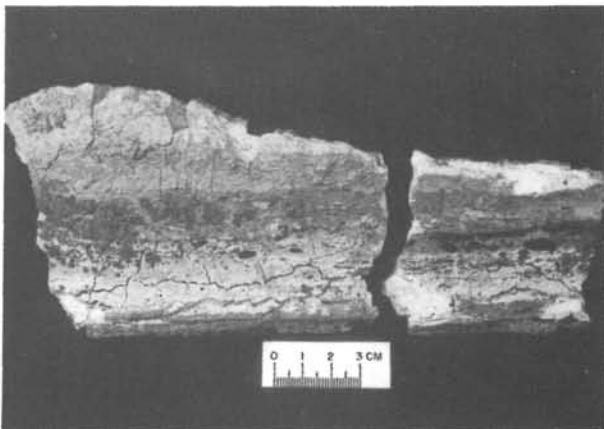


Fig. 5. — Mortero atacado.

conocimiento de la corrosión de los hormigones confeccionados con los cementos fabricados por la industria española, frente a determinados medios agresivos.

Trabajos realizados en el IETcc

La naturaleza de los suelos de España (yesíferos, aproximadamente 75% de su superficie, con la



Fig. 6. — Distribución esquemática de los terrenos yesíferos en España.

existencia de otros compuestos solubles en agua), su orografía, el desarrollo de las costas, sus condiciones climáticas y atmosféricas, etc. (fig. 6) han hecho que los estudios relacionados con la durabilidad, corrosión, resistencia química de los cementos, morteros y hormigones haya sido uno de los programas permanentes de investigación del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, habiendo realizado:

- numerosos informes y trabajos de apoyo (asistencia) científico-técnico para empresas, organismos oficiales y profesionales,
- trabajos de investigación, cuyos resultados se han publicado en numerosos artículos —en revistas nacionales y extranjeras—, monografías y cuadernos de investigación,
- otros trabajos de investigación, objeto de tesis doctorales y tesinas de licenciatura, que se han presentado en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense.

Además, se ha participado en Congresos, Seminarios y Cursos nacionales e internacionales.



Fig. 7. — De los estudios efectuados en el IETcc.

Los trabajos efectuados, que han confirmado y consolidado las actuales líneas de investigación han tenido por finalidad estudiar:

- a) La durabilidad, en general, de los materiales de construcción.
- b) Los efectos del medio ambiente sobre la corrosión de los cementos, morteros y hormigones.
- c) Los procesos de degradación experimentados por el hormigón y sus componentes.
- d) Los métodos de ensayo y su metodología para predecir el comportamiento de los cementos frente a un determinado medio agresivo.
- e) La protección del hormigón.

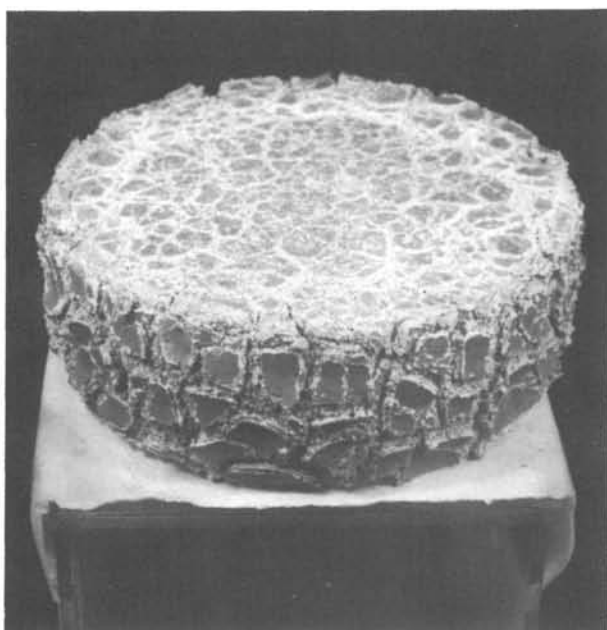


Fig. 8. - Ensayo le Chatelier-Anstet. Comportamiento de un cemento portland.

Durabilidad y protección del hormigón. Programa de Investigación

Gracias a los trabajos efectuados, y a la experiencia adquirida, se han podido fijar las variables que se deben estudiar para alcanzar los objetivos fijados en el presente Programa de Investigación, continuación de otros estudios que se vienen realizando en el IETcc desde hace más de quince años. El desarrollo del mencionado Programa de Investigación tiene por finalidad cubrir los siguientes objetivos:

Primero:

Estudiar el comportamiento químico-resistente (corrosión) de los cementos anhidros e hidratados cuando se someten a la acción de diferentes medios agresivos, con el fin de profundizar en el conocimiento del mecanismo de las reacciones y de los fenómenos que tienen lugar.

Los agentes agresivos responden a las características de los medios naturales españoles.

Segundo:

Establecer un procedimiento idóneo de diagnóstico para determinar, en períodos cortos de tiempo, el grado de durabilidad de los cementos frente a un medio agresivo dado.

Una tarea comprometida, y necesaria, es tener que diagnosticar sobre la posibilidad de que un cemento (hidratado y endurecido, parte activa del hormigón) sea atacado por un agente agresivo determinado, o sobre el cemento que se debe emplear para evitar dicho ataque.

Tercero:

Estudiar la protección en masa o superficial del hormigón para establecer recomendaciones y medidas prácticas con el fin de evitar, o disminuir, el ataque y desintegración de dichos elementos de hormigón por un determinado medio agresivo.

Cuarto:

Establecer recomendaciones prácticas sobre empleo apropiado de cementos y sobre elaboración de aquellos hormigones que han de estar sometidos a la acción de agentes agresivos.

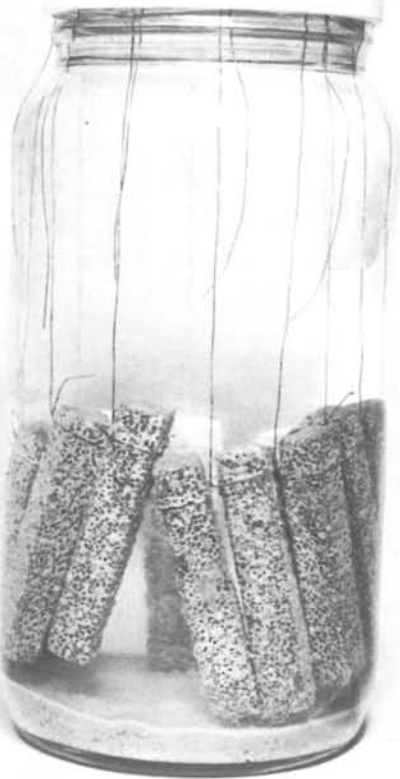
A este respecto, conviene señalar que en España no existen normas, prescripciones o pliegos relacionados con:

- a) la agresividad del medio ambiente y su clasificación, según las características de dicho medio que afectan al hormigón,
- b) la selección de materiales idóneos (cementos, áridos, adiciones, aceros, etc.), y
- c) la fabricación del hormigón más apropiado, que ha de estar sometido a la acción de un medio agresivo.

Quinto:

Finalmente, recopilar la información a nuestro alcance de aquellas obras singulares construidas en España, que hayan sufrido lesiones.

En el presente Programa de Investigación (que tiene un gran impacto técnico, social y económico) se han incluido, por el momento, dos Proyectos de Investigación para realizarlos, uno de ellos, a



2

Fig. 9. — Probetas de mortero (1:3) — fabricadas con un cemento portland — sumergidas en una disolución agresiva.



1

Fig. 10. — Estado de las probetas de mortero (1:3) sumergidas en un medio agresivo.

escala de laboratorio y semirreal y, otro, a escala real en medios naturales españoles, potencialmente agresivos, seleccionados de acuerdo con sus características particulares.

Proyecto de Investigación para desarrollarlo a escala de laboratorio y a escala semirreal

Título:

«Durabilidad (resistencia química) de los hormigones frente a los medios agresivos naturales».

Por medio de este Proyecto, que se considera fundamental para desarrollar otros a escala real (meta final), se pretende:

Primero:

Conocer el comportamiento de los cementos portland comerciales de fabricación española y de sus mezclas con adiciones cuando, a escala de laboratorio, las probetas de mortero (1:3), elaboradas con estos cementos, se someten a la acción de disoluciones agresivas con el fin de conocer:

- a.—su resistencia química,
- b.—las causas productoras del ataque químico, y
- c.—el mecanismo de las reacciones que tienen lugar.

Segundo:

Determinar las medidas prácticas que eviten el ataque químico (corrosión) y la desintegración de las probetas.

El plan de trabajo comprende los siguientes puntos fundamentales:

- Recopilación, estudio y caracterización de los medios agresivos españoles, de los cementos fabricados y de las obras ejecutadas que se encuentren en dichos medios.
- Estudio, definición y selección de tres cementos de fabricación española con un contenido de $C_3A < 5\%$, $> 5\%$ y $< 8\%$, y $> 8\%$.
- Estudio, definición de los materiales de adición (españoles) y selección de una escoria siderúrgica y de una ceniza volante.
- Preparación de las siguientes mezclas: cemento/adición = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70, en peso. Para seleccionar estas mezclas se han tenido en cuenta las especificaciones del Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos (RC - 75).

- Preparación de medios potencialmente agresivos (en esta etapa se utilizarán: agua desionizada; agua potable filtrada; disolución saturada de yeso; disoluciones de $MgSO_4$), de distintas concentraciones; disolución saturada de yeso en donde se han disuelto diversas cantidades de $MgSO_4$.
- Preparación, curado y conservación de probetas de mortero (1:3) hechas con los cementos y con las mezclas cemento/adición para estudiar, a lo largo del tiempo, su resistencia química (durabilidad).
- Determinación de las resistencias mecánicas, de la porosidad (en su caso), de los coeficientes de corrosión (cada seis meses) y de las modificaciones estructurales que se produzcan en la pasta hidratada e hidratada-atacada de cemento.
- Determinación de la concentración iónica de los medios potencialmente agresivos, en donde han estado sumergidas las probetas; así como de las características estructurales y de la composición química de las posibles nuevas fases sólidas que se formen.
- Discusión, interpretación, difusión y aplicación de los resultados a escala real (para otros proyectos, informes, recomendaciones, etc.).

Con el presente Proyecto de Investigación se pretende ampliar el campo de trabajos y, por consiguiente, de conocimientos que, a escala de laboratorio y a escala semirreal, viene realizando el Equipo de Investigación «Durabilidad» del IETcc para desarrollar, posteriormente, otros Proyectos a escala real, como es el que se describe en el apartado siguiente, con la finalidad de efectuar innovaciones en materia de aplicación.

A continuación se da cuenta de parte de estos trabajos —unos terminados y otros en fase de realización— que se refieren a:

- 1) Comportamiento de morteros y hormigones, a plazo medio, sometidos a la acción de disoluciones agresivas.

En este trabajo, que se ha efectuado bajo dos contratos suscritos por la Industria del Cemento se han estudiado, a escala de laboratorio y a escala semirreal, dos cementos portland comerciales frente a la acción de seis disoluciones agresivas artificiales (agua potable; disolución saturada de yeso; disolución de Na_2SO_4 , disolución de $MgSO_4$, disolución de $Na_2SO_4 + NaCl$, con una concentración de 2,1 g/l, 3,7 g/l y 3,5 + 20,0 g/l, respectivamente,

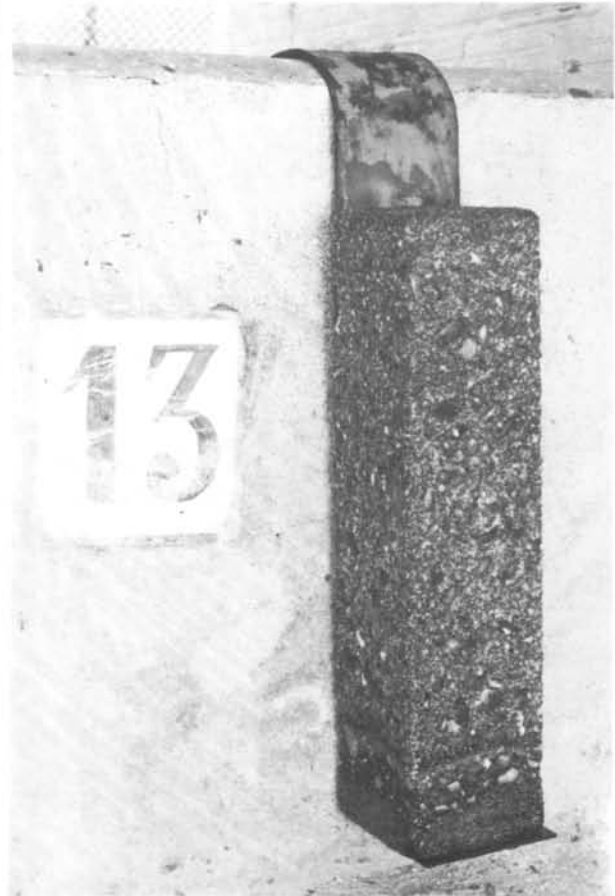


Fig. 11.— Probeta de hormigón sometida a la acción del agua de mar.

y agua de mar artificial, ASTM D 1141-75), determinando, en función el tiempo:

- a) su durabilidad por distintos métodos de ensayo,
 - b) la evolución de las resistencias mecánicas,
 - c) las modificaciones experimentadas de sus dimensiones, y
 - d) la variación de la concentración iónica de las disoluciones.
- 2) Acción del agua de mar natural sobre dos cementos portland industriales, a escala de laboratorio.

Los cementos utilizados son de características estructurales distintas, tienen un contenido de C_3A —calculado (Bogue)— menor de 5 % uno, y comprendido entre 5 y 8 % otro, siendo 22,2 % la suma de $2C_3A$ y C_4AF , en el primero y 23,0 %, en el segundo.

En este trabajo se ha determinado:

- a) los coeficientes de corrosión Koch-Steinenger a 22 + 3; 22 + 7; 22 + 28 y 22 + 56 días, así como la evolución de



Fig. 12. — Probeta de hormigón sometida a la acción del agua de mar.

las resistencias mecánicas de las probetas de mortero, y

- b) los cambios de dimensiones,
 - c) las modificaciones estructurales experimentadas por la pasta de cemento hidratada-atacada, extraída de las probetas de mortero, y
 - d) las características de la nueva fase sólida formada en los medios de curado-conservación.
- 3) Acción del agua de mar natural sobre el cemento portland. Influencia de la adición de escoria, a escala de laboratorio.

Para realizar este trabajo se han utilizado tres cementos de características estructurales distintas a las del caso anterior: tienen un contenido de C_3A , calculado (Bogue), de 14,5 % - 9,9 % y nulo, respectivamente y el de la suma $2C_3A + C_4AF$ es 37,2 % - 31,8 % y 10,8 %, con los que se han preparado las mezclas cemento/escoria = = 70/30, 60/40, 40/60 y 30/70, en peso, para el primer cemento y 70/30 y 30/70,

en peso, para los otros dos cementos, determinando:

- a) la evolución de las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero (1:3), fabricadas con dichos cementos y con las diversas mezclas cemento/escoria, curadas en agua potable filtrada (21 días) y conservadas hasta la rotura (56 y 90 días) en agua potable filtrada, unas series, y en agua de mar natural, otras series análogas a las anteriores, y la modificación de los coeficientes de corrosión Koch-Steinegger a 22 + 56 y 22 + 90 días;
- b) los cambios dimensionales;
- c) la variación de la concentración iónica de los medios de curado (agua potable filtrada) y de conservación-ataque (agua potable filtrada y agua de mar);
- d) las modificaciones estructurales de la pasta de cemento hidratada e hidratada-atacada, extraída de las probetas de mortero, y
- e) las características de la nueva fase sólida formada en los medios de curado y de conservación-ataque.



Fig. 13. — Equipo de trabajo.

- 4) Comportamiento de los cementos portland industriales así como de sus mezclas con distintas adiciones, frente a diversas disoluciones agresivas, a escala de laboratorio.

Por medio de este Proyecto de Investigación, que todavía sigue en fase activa, se pretende conocer el comportamiento de los cementos portland fabricados por la industria española, así como de las mezclas de dichos cementos con adiciones (activas e inertes), y el mecanismo de las reacciones que tienen lugar cuando los morteros hechos con dichos cementos y mezclas se someten a la acción de distintas disoluciones agresivas.

En esta etapa se han estudiado tres cementos portland comerciales seleccionados según su contenido de C_3A (menor de 5 %, uno; comprendido entre 5 y 8 %, otro, y mayor de 8 %, el tercero); cuatro adiciones activas, una escoria granulada y tres cenizas volantes, y en parte dos adiciones inertes, una de tipo calizo y otra silíceo; y tres agresivos (agua potable filtrada, disolución saturada de yeso y agua de mar artificial preparada de acuerdo con la norma ASTM D 1141-75).

Las probetas de mortero (1:3) se han fabricado con los mencionados cementos y con cada una de las mezclas cemento/adición = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70, en peso.

Los medios y tiempos de curado y de conservación-ataque han sido: agua potable filtrada (1 + 21 días), para los primeros, y agua potable filtrada y disolución agresiva (56-90-180 y 360 días), para los segundos.

Recientemente se ha iniciado el estudio con otras disoluciones agresivas obtenidas a base de $MgSO_4$, con distintas concentraciones, y de disoluciones saturadas de yeso en las que se han disuelto diversas cantidades de $MgSO_4$, ampliando el tiempo de conservación-ataque a 3 años.

En todos los casos se determina:

- la evolución de las resistencias mecánicas, a flexotracción, y de los coeficientes de corrosión Koch-Steininger en función del tiempo,
- los cambios de dimensiones de las probetas,
- la variación de la concentración iónica del medio y de la composición química y estructural de la fracción enriquecida (pasta de cemento hidratado, hidratado-atacado) extraída de las probetas de mortero,

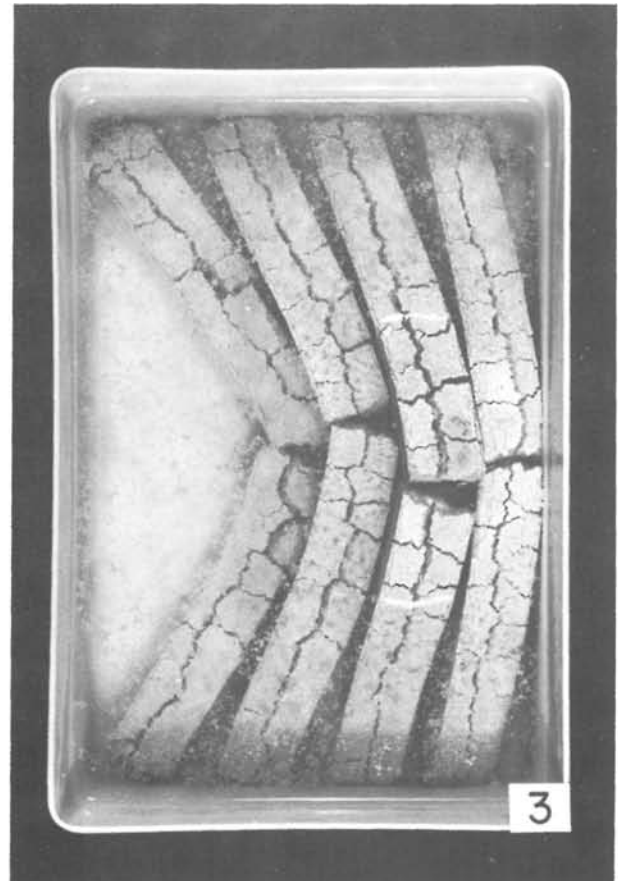


Fig. 14. — Método de ensayo ASTM C 452-72. Comportamiento de un cemento portland.

- las características químicas, en su caso, y estructurales de la nueva fase sólida formada en las disoluciones en donde han estado sumergidas las probetas.
- 5) Resistencia química del hormigón. Acción de diversas disoluciones agresivas que atraviesan lechos de cemento hidratado o de mortero. (Ver fig. 13).

En esta línea de trabajo —que se piensa continuar— se ha estudiado el comportamiento de dos cementos [con un contenido nulo y 9,9 % de C_3A , calculado (Bogue), respectivamente] cuando se someten a la acción de agua desionizada, de disoluciones de Na_2SO_4 y de $MgSO_4$ y de agua de mar artificial (ASTM D 1141-75) sendos lechos granulados de pasta de cemento hidratado, para las tres primeras disoluciones, y de mortero (1:3) para el agua de mar artificial, determinando:

- las concentraciones de las disoluciones antes y después de pasar por el lecho (cada extracción), en todos los casos.
- la composición química del cemento hidratado e hidratado-atacado, extraído del lecho, en todos los casos,

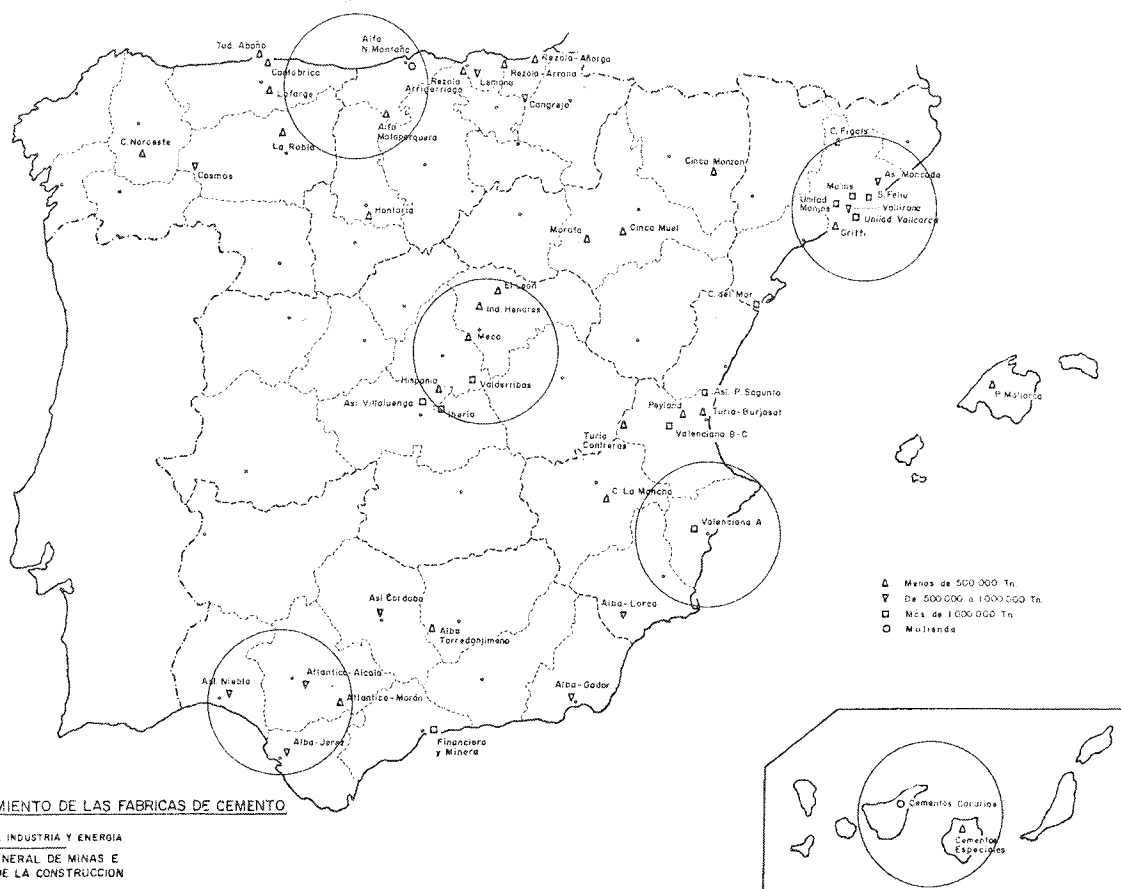


Fig. 15. — Posibles emplazamientos para realizar estudios a escala real.

- c) el valor del pH y de la conductividad de las disoluciones antes y después de pasar por los lechos,
- d) la composición estructural del cemento hidratado e hidratado-atacado para los tres primeros casos.
- 6) Aplicación del método ASTM C 452-75 para estudiar el comportamiento de los cementos que se fabrican en España, de un modo especial los puzolánicos, sometidos a la acción de los sulfatos, fundamentalmente el yeso, con el fin de predecir su durabilidad. (Ver fig. 14).

En la fase presente se están estudiando siete cementos portland, con distinto contenido en C_3A , ocho cementos puzolánicos y seis cementos blancos, todos ellos comerciales. Además, se han elaborado en el laboratorio otros cementos, utilizando tres de los cementos portland industriales (su contenido en C_3A , calculado, es 14-7, 8 y 0 %) y tres puzolanas españolas; las mezclas preparadas con cada uno de los cementos y puzolanas han sido:

cemento/puzolana = 80/20, 70/30 y 60/40, en peso.

Con cada una de las mezclas se han fabricado dos clases de probetas (1" x 1" x 10" y 1 x 1 x 6 cm) determinando la variación de longitud y de masa de dichas probetas, las resistencias mecánicas y la porosidad, así como las características estructurales de la pasta de cemento extraída de las probetas. Además se ha hecho el estudio por ultrasonidos de dichas probetas.

7) Publicaciones:

De los resultados obtenidos, a partir de los trabajos mencionados, se viene dando cuenta a través de informes y artículos que, por el momento, se publican en las revistas del IETcc; así se han emitido 16 informes y publicado 17 artículos, existiendo, además, 4 en prensa y otros en fase de preparación. Por otra parte, se han realizado 3 tesinas fin de carrera y 2 tesis doctorales, que se encuentran en fase experimental muy avanzada.

Proyecto de Investigación para desarrollarlo a escala real, a largo plazo

Título:

«Durabilidad de los hormigones sometidos a la acción de medios agresivos naturales»

el cual se ha concretado en dos vertientes dando lugar a otros tantos Proyectos titulados:

- A) «Durabilidad de los hormigones sometidos a la acción del agua de mar».
- B) «Durabilidad de los hormigones sometidos a la acción de aguas y terrenos agresivos».

En ambos Proyectos de Investigación se estudiarán, en fases sucesivas, los cementos fabricados por la industria española, seleccionados de acuerdo con la experiencia adquirida en otros trabajos, dedicando un interés especial a los cementos con adiciones. También se ha estimado la posibilidad de considerar, en fases posteriores, los cementos que la industria fabrique en cada momento, así como los avances de la tecnología y de los conocimientos, con el fin de tener un Proyecto de Investigación vivo y permanente.

El tiempo que se ha previsto para desarrollar el presente Proyecto de Investigación ha sido de 15 años, en una primera etapa, ampliables a 20/25 años si los resultados obtenidos así lo aconsejan.

Estos Proyectos se realizan en colaboración estrecha con los técnicos de la industria del cemento española, de tal modo que se ha considerado la posibilidad de un intercambio de medios materiales y, fundamentalmente, de personal entre el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento y determinadas empresas. Además, se cuenta con la colaboración de otras entidades oficiales y privadas, que han manifestado su interés por participar en estos Proyectos.

Los objetivos fundamentales de ambos Proyectos son los siguientes:

Primero:

Determinar el comportamiento de morteros y hormigones (en masa y armados) hechos con diversos cementos comerciales, fabricados por la industria española, sometidos a la acción del agua de mar en distintos emplazamientos situados en el litoral español (primer proyecto), o de aguas y terrenos agresivos en diversas zonas de la Península (segundo proyecto), con el fin de conocer su durabilidad, fundamentalmente su resistencia química, así como las causas productoras del ataque y el mecanismo de los fenómenos que, en su caso, tienen lugar (figura 15).

Segundo:

Establecer reglas prácticas:

- a) de empleo de cementos en la fabricación

de hormigones que han de estar sometidos a la acción de medios agresivos,

- b) de elaboración de dichos hormigones, y
- c) de su protección.

Tercero:

Recopilar y analizar cuantos datos se obtengan sobre obras singulares, a base de hormigón, situadas en las zonas de influencia de los emplazamientos seleccionados.

El plan de investigación comprende, en síntesis, las siguientes facetas:

- a) Selección y conocimiento de las características y condiciones del emplazamiento.
- b) Estudio de los materiales que se van a utilizar: cementos; áridos calizos, silícicos, etc.; aceros; adiciones; aditivos, etc., determinando:
 - las características fisicoquímicas, mecánicas y estructurales,
 - las modificaciones experimentadas de las mencionadas características cuando se someten a la acción de los agentes agresivos, en función del tiempo de posible ataque.
- c) Realización de ensayos a escala de laboratorio para determinar por diferentes procedimientos el grado de durabilidad de los cementos frente a los medios agresivos de cada emplazamiento, determinando:
 - la evolución de las características fisicomecánicas, químicas y estructurales de los cementos, en función del tiempo,
 - la variación de la concentración iónica del medio agresivo,
 - el estudio de las nuevas fases sólidas formadas, en su caso, en el medio agresivo, en función del tiempo.
- d) Desarrollo de ensayos a escala real; este punto alcanza desde el estudio de pastas, morteros y hormigones en masa y armados, hasta el de elementos resistentes que respondan a la realidad, determinando:
 - las características fisicomecánicas y morfológicas (de un modo especial las resistencias mecánicas, a compresión y flexotracción, y la variación de dimensiones) en función del tiempo,
 - la variación de la composición química y estructural de la fracción de cemento

hidratado, hidratado-atacado, extraída del hormigón, así como de los áridos y de las armaduras, en función del tiempo.

- e) Recopilación de la información disponible sobre aquellas obras singulares realizadas en la zona de influencia de cada emplazamiento.

Resumen y conclusiones

En el presente artículo se da cuenta de los antecedentes, resumiendo los trabajos efectuados en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, que han llevado a la programación de los Proyectos de Investigación por el Equipo correspondiente (*) del IETcc y que se están desarrollando para estudiar:

- 1.º El comportamiento de los cementos anhidros e hidratados, y de sus mezclas con adiciones activas e inertes, frente a diversos medios agresivos. Este trabajo se desarrolla a escala de laboratorio y a escala semirreal.
- 2.º El comportamiento de los hormigones en masa y armados, fabricados con cementos portland y con sus mezclas con adiciones, situados en medios agresivos naturales —agua de mar; aguas y terrenos agresivos; en esta etapa— a lo largo del tiempo (15 años, prorrogables).

Con objeto de:

- a) Determinar el comportamiento químico-resistente (corrosión) de los hormigones, en masa y armados, frente a los agentes agresivos para profundizar en el conocimiento del mecanismo de las reacciones y fenómenos que tienen lugar.
- b) Establecer un procedimiento rápido de diagnóstico para determinar el grado

de durabilidad de los cementos frente a un medio agresivo dado.

- c) Establecer normas para definir la agresividad del medio ambiente frente al hormigón y para su clasificación.
- d) Estudiar la protección de los hormigones para evitar el ataque por los agentes y medios agresivos.
- e) Establecer recomendaciones sobre empleo de cementos y sobre elaboración de hormigones de acuerdo con el grado de agresividad del medio.
- f) Recopilar la información sobre obras singulares que han sufrido lesiones.

En definitiva, contribuir a un mejor conocimiento del hormigón, en masa y armado, situado en cualquier medio agresivo y colaborar en los avances de la tecnología del hormigón y de sus componentes.

Reconocimientos

Mi más sincero agradecimiento a:

- los técnicos de la industria del cemento que tan eficazmente han contribuido en esta Programación,
- los técnicos de la industria de la construcción por los problemas planteados y por el aporte de datos reales,
- todas aquellas personas del Instituto que han participado en el desarrollo de estos Programas,
- y, por último, a todos los miembros del Equipo de Investigación «Durabilidad» del IETcc por su valiosa colaboración, y a todos aquellos que nos precedieron en este apasionante trabajo.

(*) Equipo de Investigación «Durabilidad».

El Equipo de Investigación «Durabilidad» está formado por las siguientes personas:

Demetrio Gaspar Tébar,
Dr. en Ciencias y Prof. de Investigación.

José Luis Sagrera Moreno,
Dr. en Ciencias y Colaborador Científico.

Rafael Talero Morales,
Lic. en Ciencias y Colaborador Científico.

M.ª Teresa Solesio de la Presa,
Lic. en Filosofía y Colaborador Científico.

Amalia Rodríguez Pereira,
Ayudante Dipl. de Investigación.

Lucila López Solana,
Ayudante de Investigación.

Felipe Cantero Palacios,
Operario - Nivel VII.

Manuel Cantero Palacios,
Operario - Nivel VIII.