

Durabilidad del hormigón

Concrete durability

DEMETRIO GASPAR-TÉBAR
ICCET/(CSIC)
ESPAÑA

Fecha de recepción: 31-I-91

RESUMEN

La realidad de que el hormigón no es un material eterno y es susceptible de sufrir ataques por agentes químicos, fue constatada desde el comienzo mismo de su uso industrial. En el presente trabajo el autor enumera los estudios realizados el siglo pasado y a comienzos del presente sobre la durabilidad del hormigón en agua de mar.

En la actualidad y a pesar de los numerosos trabajos desarrollados desde entonces, el estudio de la durabilidad del hormigón sigue centrando la atención prioritaria y los recursos económicos de los investigadores e industrias relacionadas con este material. Además las nuevas técnicas de estudio están permitiendo comprender antiguos problemas e incluso reabrir la discusión sobre mecanismos de reacción que se creían completamente explicados.

Finaliza el artículo con una descripción somera de los múltiples trabajos realizados en el Instituto Eduardo Torroja sobre la materia, en especial los estudios realizados sobre resistencia de los cementos al yeso (tan abundante en los suelos de nuestro país) y al agua de mar.

SUMMARY

The evidence that the concrete is not a material for ever was noticed from the beginning of its industrial use. In the present work, the author describes the studies carried out during the last century and the early ages of the present one, mainly devoted to the study of the durability in sea water.

At the present days, and in spite of the numerous papers published from then, the study of the concrete durability continues focussing the research priorities and economical resources of researchers and industries related with this material. Moreover, the new laboratory techniques are allowing to understand old problems and even to open again the discussion on reaction mechanisms which were believed to be completely understood.

The article finalizes with a brief description of the numerous studies carried out at the Institute Eduardo Torroja on concrete durability, mainly those related with the resistance against gypsum attack (so abundant in our country land) and against sea water attack.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las estructuras del hormigón ha sido, a lo largo del tiempo, una de las facetas que han creado preocupación como consecuencia de los desperfectos surgidos en un determinado número de ellas cuando se encontraban en medios agresivos.

El hormigón —que, por su naturaleza, es un material complejo— no es un material único, sino un material con propiedades diferentes que dependen fundamentalmente de la clase y cantidad de los componentes empleados en su elaboración por el sistema de fabricación que se a seguido, así como de su puesta en obra y tiempo de curado; variables todas ellas que convenientemente seleccionadas y utilizadas permiten obtener hormigones de calidad aptos para el fin deseado y, de un modo especial, durables frente a unas condiciones físicas y químicas determinadas (Fig. 1).

El conocimiento de los fenómenos que tienen lugar en el hormigón, debido a los ataques experimentados por diferentes medios agresivos (conseguido por los trabajos realizados tanto a escala de laboratorio como real, así como por las modificaciones y alteraciones que han sufrido diferentes estructuras y elementos de hormigón), ha proporcionado una inquietud en los técnicos correspondientes sobre el riesgo que presenta el hormigón frente a un determinado medio agresivo; es decir, frente a su durabilidad (Fig. 2).

La experiencia empírica que muchas veces se utiliza no es suficiente para abordar esta faceta de la tecnología del hormigón. Si se quiere garantizar su durabilidad es necesario conocer los fenómenos que tienen lugar y, sobre todo, el

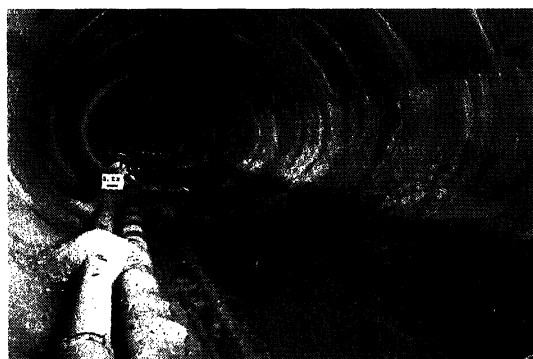


Fig. 1.—Hormigón atacado.

Fig. 1.—Concrete destruction by chemical attack.

1. INTRODUCTION

The behavior of concrete structures throughout time, has caused concern as a result of the imperfections that occur in some of them when subjected to aggressive media.

Concrete, which by its very nature is a complex material, is not a unique material but rather has different elements whose properties basically depend on the class and quantity of the components used by the fabrication system when producing it, as well as on its site location and curing time. The proper selection and use of all these variables make it possible to obtain the quality of concrete suited to the desired purpose and, more specifically, durable concrete for specific physical and chemical conditions.

Knowledge of phenomena that occur in concrete due to attacks by different aggressive media (achieved through work performed in the laboratory and in practice, as well as from modifications and alterations undergone by different concrete structures and components) has caused the corresponding technical personnel to worry about the risk that concrete represents in a specific aggressive medium, i.e. as regards its durability.

Empiric evidence that is often used does not suffice to address this facet of concrete



Fig. 2.—Canaleta para conducción de agua.

Fig. 2—Canal waterway.

mecanismo de los procesos que rigen estos fenómenos, así como tener un conocimiento profundo de las estructuras de hormigón, de su probable evolución a lo largo del tiempo y de las posibles transformaciones que pueden experimentar por influencia de las características y condiciones del medio ambiente.

2. BREVE RESUMEN HISTÓRICO

Con el fin de conocer las causas que han motivado los desperfectos en las estructuras de hormigón, para corregirlos y evitarlos, se han realizado numerosos trabajos, entre los que cabe citar los efectuados por Vicat, desde 1812 a 1857, que estudió el comportamiento de ciertos hormigones sometidos a la acción del agua de mar en el muelle de La Rochelle, en Marsella, en Cherburgo y en Argelia; por Candlot, en 1890, que probó la existencia del trisulfato-aluminato de calcio (sal de Candlot), hecho que posteriormente comprobaron, en 1890 y 1891, Feret y Michaelis y, en 1897, Le Chatelier.

Trabajos análogos a los anteriores y con el fin de conocer el comportamiento de morteros y hormigones sometidos, fundamentalmente, a la acción del agua de mar y de diferentes disoluciones y medios agresivos tanto a escala real, como de laboratorio, así como estudiar el mecanismo de las reacciones que tienen lugar, se han realizado trabajos análogos a los anteriores por numerosos investigadores en diferentes Centros y Organizaciones, entre los que a título de ejemplo cabe reseñar los que se iniciaron en 1894 en Alemania; en 1896 por la Asociación Escandinava de Fabricantes de Cemento Portland; en el mismo año por el Laboratoire des Ponts et Chaussées en Boulogne; en 1912 por el National Bureau of Standards y por el Instituto de Ingenieros Civiles de Inglaterra; en 1921 por la Portland Cement Assoc.; en 1925 por Miller y Manson para el U.S. Department of Agricultura de USA; en 1925 por la Portland Cement Assoc. Fell.; en 1937 por el Swedish Cement and Conc. Institute; en 1929 por el Sea Action Committee del Inst. of Civil Eng. en colaboración con la Building Research Station de Gran Bretaña; en 1934 en Ostende; en 1935 por Waterwaays Experiment Station (USA); en 1937 por el Swedish Cement and Conc. Institute; en 1940 por la Portland Cement Assoc., etc.

En 1902, la Comisión Permanente de Cales y Cementos del Ministerio de Obras Públicas de Francia creó un "Comité Permanent" con el fin de clasificar los cementos que se pueden utilizar en obras marítimas, Comité que en 1960 fue reemplazado por la "Commission Permanent des Liants Hydrauliques et des Adjuvants", conocida como la COPLA.

technology. If its durability is to be insured, it is necessary to know the phenomena that occur and, above all, the mechanism of processes that control these phenomena. It is also necessary to have a thorough knowledge of concrete structures, of their probable evolution with time, and of the possible transformations that they may undergo due to the influence of environmental characteristics and conditions.

2. BRIEF HISTORICAL SUMMARY

Many studies have been performed to ascertain the causes of imperfections in concrete structures in order to correct and prevent them. Of these, it is worth mentioning those performed by Vicat from 1812 to 1857, who studied the behavior of certain types of concrete subjected to the action of seawater in the La Rochelle port, in Marseille, in Cherbourg, and in Algeria by Candlot in 1890, who proved the existence of calcium trisulfate-aluminate (Candlot salt). Feret and Michaelis subsequently verified this fact in 1890 and 1891, and Le Chatelier in 1897.

In order to learn the behavior of mortar and concrete fundamentally subjected to the action of seawater and of different solutions and aggressive media both at the laboratory level and in practice, as well as to study the mechanism of reactions that take place, studies similar to those mentioned above have been performed by numerous researchers in different Centers and Organizations. Of these, it is worth mentioning by way of example those begun in 1894 in Germany; in 1896 by the Scandinavian Association of Portland Cement Manufacturers; also in 1896 by the Ponts et Chaussées Laboratory in Boulogne; in 1912 by the National Bureau of Standards and by the Institute of Civil Engineers of England; in 1921 by the Portland Cement Assoc.; in 1925 by Miller and Manson for the U.S. Department of Agriculture; in 1925 by the Portland Cement Assoc. Fell.; in 1937 by the Swedish Cement and Conc. Institute; in 1929 by the Sea Action Committee of the Inst. of Civil Engineers in collaboration with the Building Research Station in Great Britain; in 1934 in Ostende; in 1935 by Waterways Experiment Station (U.S.A.); in 1937 by the Swedish Cement and Conc. Institute; in 1940 by the Portland Cement Assoc.; etc.

In 1902, the Standing Commission of Limes and Cements of the French Ministry of Public Works created a "Standing Committee" in order to classify the cements that can be used in marine works. This Committee was replaced in 1960 by the "Commission Permanent des Liants Hydrauliques et des Adjuvants" known as COPLA.

Además, se debe tener en cuenta que los problemas que plantea la durabilidad del hormigón tienen un gran impacto técnico, social y económico, preocupando a escala nacional e internacional, lo que ha motivado la creación de "comités ad hoc" para desarrollar metodologías apropiadas, difundir los conocimientos y estimular las investigaciones relacionadas con la vida de una estructura.

La importancia alcanzada por la "Durabilidad del Hormigón" hace que sea, a nivel internacional, un tema de estudio permanente, como lo prueban:

- a) El número de revistas y libros especializados que existen.
- b) Los artículos publicados en otras revistas de tipo más general.
- c) Los seminarios que, periódicamente, se celebran.
- d) Los simposios y congresos nacionales e internacionales que tienen lugar sobre diferentes aspectos del cemento y del hormigón, en donde la mencionada durabilidad del hormigón ocupa un lugar destacado.

En la actualidad numerosos Centros de Investigación, Cátedras Universitarias, Organizaciones, etc. realizan trabajos sobre Durabilidad (Corrosión Química) del Hormigón con objeto de:

- a) Conocer y profundizar en las propiedades de los agentes agresivos y, de un modo especial, en los efectos que producen sobre el hormigón.
- b) Poder predecir el comportamiento de los distintos cementos frente a un determinado medio agresivo.
- c) Dar reglas prácticas de uso apropiado de los cementos y de la fabricación recomendada de los conglomerados que han de estar situados en un medio agresivo dado, de acuerdo con los conocimientos actuales.

Gracias a las investigaciones realizadas por numerosos equipos, y al acopio de datos y experiencias vividas, se han podido establecer normas y recomendaciones sobre los cementos que se deben utilizar en un caso determinado, así como sobre los sistemas constructivos y procedimientos que para fabricar los correspondientes hormigones conviene seguir. Con relación a este punto se ha de advertir que los procedimientos empíricos, que a veces se utilizan para combatir un mal —como es la corrosión química—, no son apropiados, ya que las posibilidades de reducir o eliminar sus

It must be borne in mind that the problems posed by concrete durability have important technical, social and economic repercussions of national and international concern, which has led to the creation of ad hoc committees to develop suitable methodologies, share known and encourage research related to a structure's lifetime.

Due to the importance of "Concrete Durability", this subject is permanently studied at an international level, as evidenced by the following:

- a) The large number of specialized journals and books that deal with this subject.*
- b) The articles published in other journals of a more general nature.*
- c) The seminars that are periodically held.*
- d) The national and international symposia and congresses that are held on different aspects of cement and concrete in which the subject of concrete durability occupies a prominent position.*

At present, numerous Research Centers, University Departments, Organizations, etc. perform work on Concrete Durability (Chemical Corrosion) in order to:

- a) Ascertain and thoroughly examine the properties of aggressive agents and, more specifically, the effects they produce on concrete.*
- b) Be able to predict the behavior of different types of cement in a specific aggressive medium.*
- c) Provide practical rules for properly using cement and for the recommended manufacture of conglomerates that will be located in a given aggressive medium, in accordance with current knowledge.*

Thanks to research performed by numerous teams and to the compilation of data and actual experience, it has been possible to establish standards and recommendations for the cement that should be used in a specific case, as well as for construction systems and procedures that should be followed in manufacturing the corresponding concrete. With regard to this point, it must be pointed out that empiric procedures, which at times are used to prevent damage such as chemical corrosion, are not suitable because there is little possibility of reducing or eliminating the consequences thereof. The effective way of

consecuencias son muy reducidas. El modo eficaz de evitar o eliminar los efectos producidos por los ataques químicos mencionados se ha de basar en el conocimiento de los fenómenos que tienen lugar y, de un modo especial, del mecanismo de las reacciones que originan dichos ataques.

En España, el Servicio Geológico de Obras Públicas organizó en 1962 el Primer Coloquio Internacional sobre "Obras Públicas en los terrenos yesíferos" y el IETcc, en 1972, las "Primeras Jornadas de Durabilidad".

3. LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN Y EL IETcc (en la actualidad ICCET)

3.1. La naturaleza de los suelos de España (yesíferos —aproximadamente un 75 % de su superficie— y de otros compuestos solubles en agua), así como su orografía, el desarrollo de las costas y sus condiciones climáticas y atmosféricas han hecho que los estudios relacionados con la durabilidad del hormigón (desde un punto de vista de su corrosión-resistencia química) y, fundamentalmente, de los cementos, haya sido una de las líneas de trabajo permanente del Instituto E. Torroja, desde su creación (Figs. 3 y 4).

3.2. Dado que el mecanismo de la destrucción del hormigón por ataque químico es muy complejo, ya que intervienen gran número de parámetros (mecánicos, físicos, químicos, biológicos y atmosféricos) que complican, por otra parte, el entendimiento de las causas de la destrucción, y que los conocimientos que se tienen son limitados y confusos frecuentemente, los trabajos se han desarrollado, en una primera etapa, a escala de laboratorio con diversos cementos (sin y con diversas adiciones: cenizas volantes, puzolanas y escorias), que se han

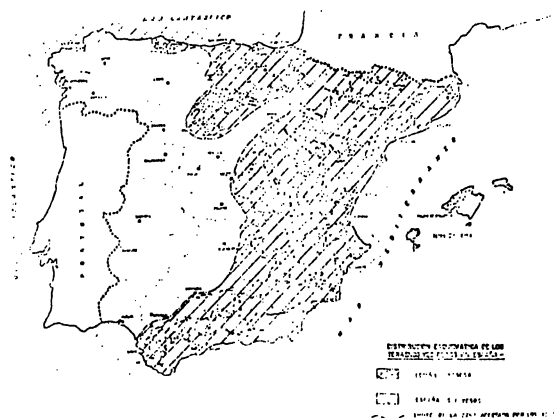


Fig. 3.—Terrenos yesíferos en España. Distribución esquemática.

Fig. 3.—Spanish soil gypsiferous. Schematical disposal.

preventing or eliminating the effects caused by these chemical attacks must be based on knowledge of the phenomena that occur and in particular of the mechanism of the reactions that cause these attacks.

In Spain, the Geological Service of Public Works organized the First International Colloquium on "Public Works in Gypsiferous Terrain" in 1962, and the IETcc the "First Durability Seminars" in 1972.

3. CONCRETE DURABILITY AND THE IETcc (at present ICCET)

3.1. Due to the nature of Spanish soil (gypsiferous in approximately 75 % of its surface, and with other water-soluble compounds), as well as to Spain's orography, cost development, and climatic and atmospheric conditions, the studies related to the durability of concrete (from the standpoint of chemical corrosion-resistance) and fundamentally of cement have comprised one of the permanent lines of work of the E. Torroja Institute from the time it was founded.

3.2. In view of the fact that the concrete destruction mechanism due to chemical attack is very complex since a large number of parameters (mechanical, physical, chemical, biological and atmospheric) are involved, thus complicating an understanding of the causes of destruction, and that current knowledge is frequently limited and confusing, the work has been divided into phases. The first phase has been developed at the laboratory level with several cements (with and without various additives: mobile ash, pozzolana, slag), which have been subjected to the action of



Fig. 4.—De los estudios efectuados en el IETcc.

Fig. 4.—Studies on the concrete durability in IETcc.

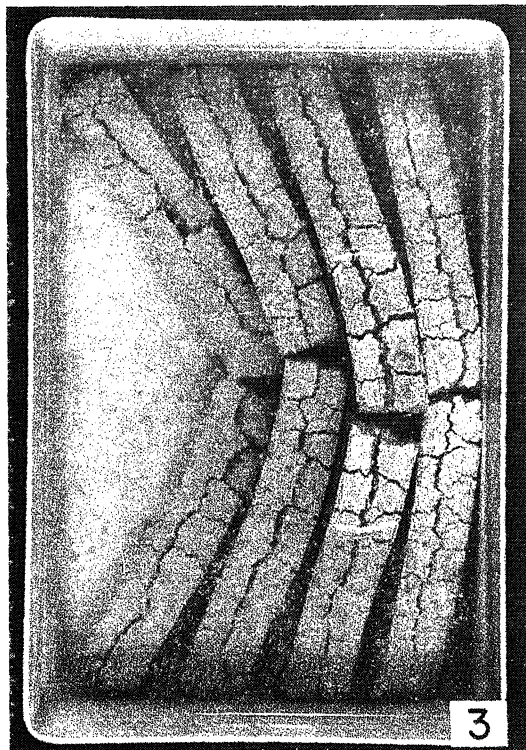


Fig. 5.—Método de ensayo ASTM C452-72. Comportamiento de un cemento portland.

Fig. 5.—Test method ASTM C452-72. Behavior of portland cement.

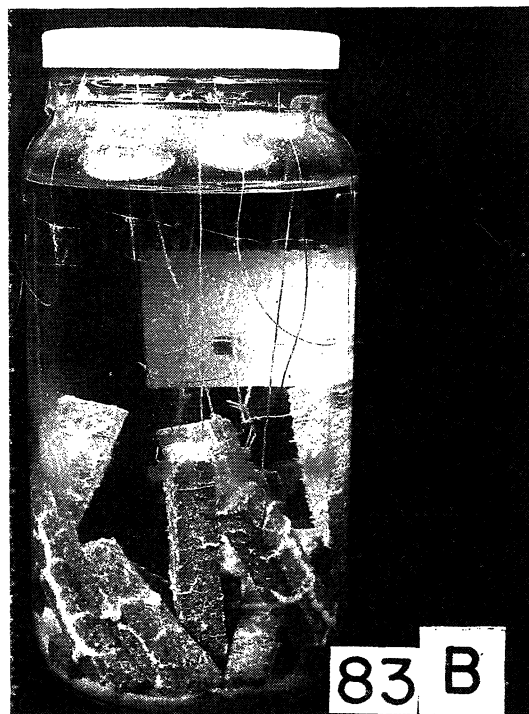


Fig. 6.—Comportamiento de microprobetas de mortero hechas con cemento/escoria = 85/15 (en peso) sumergidas en un medio agresivo.

Fig. 6.—Behavior of micro-test specimen of mortar according to the cement/slag (85/15, by weight) used to fabricate the test specimen.

sometido a la acción de diversos agentes agresivos (agua de mar artificial, disolución saturada de sulfato de calcio, de sulfatos de magnesio y de sodio, saturada de sulfato de calcio y sulfato de magnesio, de cloruro de sodio, aguas puras) y, en una segunda etapa, a escala semirreal con morteros y hormigones, sometidos a la acción de dichos agentes agresivos (Figs. 5 y 6).

3.3. Gracias a estos trabajos y, sobre todo, a la experiencia adquirida, se han podido fijar las variables que se deben estudiar para alcanzar los objetivos previstos en programas a escala real, y que se están desarrollando en un lugar seleccionado —por sus características especiales: obras marítimas a base de hormigón, antiguas y modernas; aporte de aguas de los ríos Tinto y Odiel; importante zona industrial con evacuación de aguas residuales; condiciones climáticas; etc.— en el Puerto Autónomo de Huelva, en donde se está estudiando el comportamiento de probetas de mortero y de hormigón, así como bloques de hormigón armado hechos con diversos materiales sometidos a la acción del agua de mar. Se han previsto, en esta etapa, 15 años (Figs. 7 y 8).

different aggressive agents (artificial seawater, saturated solutions of calcium sulfate, of magnesium and sodium sulfates, saturates of calcium sulfate and magnesium sulfate, of sodium chloride, pure water). The second phase has been developed at a semi-practical level with mortars and concrete subject to the action of these aggressive agents.

3.3. *Thanks to this work and above all to the experience acquired, it has been possible to define the variables that should be studied to fulfill the proposed objectives of actual programs that are being developed in a site selected for its special characteristics—old and modern marine works based on concrete, supply of water from the Tinto and Odiel rivers, important industrial zone with sewage disposal, climatic conditions, etc. in the Autonomous Port of Huelva. Here, the behavior of mortar and concrete test samples is being studied, as well as of reinforced concrete blocks made throughout time with different materials from the sea water. 15 years have been anticipated for this phase.*

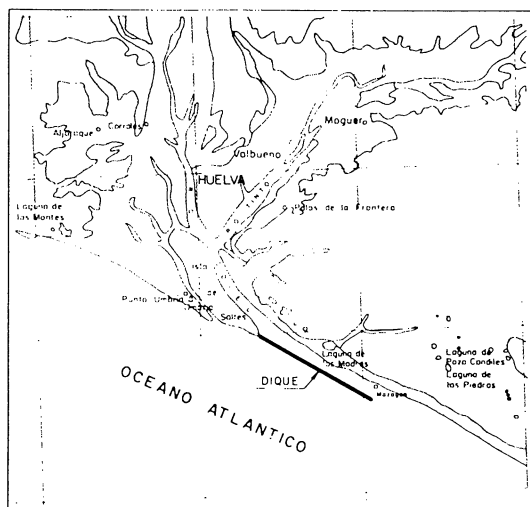


Fig. 7.—Emplazamiento para realizar estudios en escala real en el Puerto Autónomo de Huelva (España).

Fig. 7.—Selected emplacement in the Port of Huelva (Spain) to study of concrete in seawater.

3.4. Los trabajos efectuados, que han confirmado y consolidado las líneas generales de investigación, han tenido por finalidad:

A) Estudiar:

1. La durabilidad, en general, de los materiales de construcción y, de un modo especial, del hormigón.
2. El comportamiento químico-resistente (corrosión) de los cementos anhidros con y sin adiciones e hidratados (morteros y hormigones) cuando se someten a la acción de diferentes medios agresivos, con el fin de profundizar en el conocimiento de los mecanismos de las reacciones y fenómenos que tienen lugar. Los agentes agresivos responden a las características de los medios naturales españoles.
3. Los métodos de ensayo y su metodología para predecir el comportamiento de los cementos frente a un determinado medio agresivo.

Es una tarea comprometida, y necesaria, tener que diagnosticar sobre la posibilidad de que un cemento hidratado y endurecido (parte activa de los hormigones), sea atacado por un agente agresivo determinado o sobre el cemento que se debe utilizar.

4. La protección en masa o superficial del hormigón.

B) Establecer:

1. Normas para definir la agresividad del medio ambiente frente al hormigón y su clasificación.



Fig. 8.—De los estudios en el Puerto Autónomo de Huelva (España).

Fig. 8.—Study on the concrete durability in seawater in the Port of Huelva (Spain).

3.4. The purpose of the work performed, which has confirmed and consolidated the general lines of research, has been to:

A) Study:

1. The durability of construction materials in general and of concrete in particular.
2. The chemical-resistant (corrosion) behavior of anhydrous and hydrated cements (mortars and concrete) when subjected to the action of different aggressive media, in order to thoroughly examine the mechanisms of the reactions and phenomena that occur. The aggressive agents respond to the characteristics of natural Spanish media.
3. The test methods and methodology for predicting the behavior of cements in the presence of a specific aggressive medium.

A necessary and involved task is to diagnose the possibility of hydrated and hardened cement (active part of concrete) being attacked by a specific aggressive agent or to diagnose the cement that should be used.

4. Mass or surface protection of concrete.

B) Enact:

1. Standards for defining the aggressiveness of the environment as regards the concrete and the classification thereof.

2. Recomendaciones prácticas sobre el empleo apropiado de cementos y sobre la elaboración de los hormigones que han de estar sometidos a la acción de un determinado agente agresivo.

C) *Recopilar:*

1. La información, a nuestro alcance, de aquellas obras singulares construidas en España y que hayan sufrido lesiones.

3.5. En los trabajos realizados, de cuyos resultados se viene dando cuenta a través de Artículos, Simposios, Conferencias y Congresos, se ha puesto de manifiesto:

- a) La influencia de las características estructurales de la fracción clínker de los cementos estudiados. De un modo especial del contenido de los compuestos cristalinos a base de aluminatos, así como de las características estructurales de las cenizas volantes, de las puzolanas y de las escorias utilizadas, en estos trabajos y de su cantidad en las mezclas cemento/adición, frente a las disoluciones de sulfatos mencionadas y del agua de mar.
- b) La formación de una nueva fase sólida en los medios en donde han estado sumergidas las probetas de micromortero o microprobeta (1:3) de 1 x 1 x 6 cm, en las que se han identificado por DRX los picos de los compuestos cristalinos calcita (cuando el medio es agua potable) y los de brucita cuando el medio es agua de mar, en determinados casos —según la concentración de grupos OH(I)— junto con los de calcita y aragonito con intensidades distintas, predominando los de una sobre otra según la mezcla cemento/escoria utilizada en la fabricación de las probetas y el tiempo de conservación-ataque (Fig. 9).
- c) La formación y eliminación de compuestos, así como la variación de la cantidad de otros, en la pasta de cemento hidratado y de sus mezclas, como se ha puesto de manifiesto por DRX. Así, por ejemplo, cuando el medio de conservación-ataque es agua de mar artificial:
 - * Formación de brucita, sal de Friedel, yeso secundario.
 - * Incremento de ettringita, calcita.
 - * Disminución de portlandita, llegando a desaparecer en ciertos casos, según la mezcla cemento/adición utilizada en la fabricación de las microprobetas y el tiempo de conservación-ataque (Fig. 10).
- d) Así mismo se han puesto de manifiesto las modificaciones experimentadas por la composición química del medio de

2. *Practical recommendations regarding proper use of cement and the production of concrete that will be subjected to the action of a specific aggressive agent.*

C) *Compile:*

1. *Information at our disposal regarding singular works built in Spain that have been damaged.*

3.5. *The results of the work performed have been explained in Articles, Symposia, Conferences and Congresses, and the work has revealed the following:*

- a) *The influence of the structural characteristics of the clinker fraction of the studied cements. Especially of the contents of the aluminate-based crystalline compounds, as well as the structural characteristics of the fly ash, pozzolana and slag used in this work and of the quantity thereof in the cement/additive mixtures, in the presence of the above mentioned sulfate solutions and seawater.*
 - b) *The formation of a new solid phase in media in which the 1 x 1 x 6 cm. micromortar (1:3) test samples have been submerged, in which the peaks of the calcite crystalline compounds when the medium is potable water and those of brucite when the medium is seawater have been identified by DRX in specific cases, according to the concentration of OH(I) groups, together with those of calcite and aragonite with different intensities, predominating one over the other according to the cement/slag mixture used to fabricate the test samples and the preservation-attack time.*
 - c) *Formation and elimination of compounds, as well as variation in the quantity of others, in the hydrated cement paste and of its mixtures, as revealed by DRX. For example, when the preservation-attack medium is artificial seawater:*
 - * *Formation of brucite, Friedel salt, secondary gypsum.*
 - * *Increase in ettringite, calcite.*
 - * *Decrease in portlandite, even disappearing in some cases, according to the cement/additive mixture used in the fabrication of the micro-test samples and the preservation-attack time.*
- The following has also been revealed:*
- d) *Modifications undergone by the chemical*

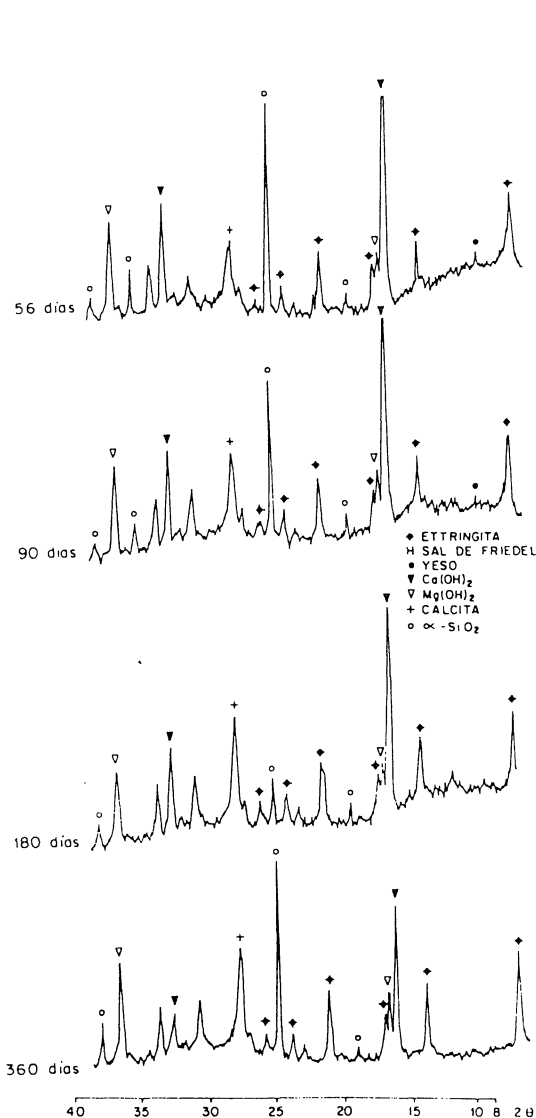


Fig. 9.—Acción del agua de mar artificial (ASTM) sobre microprobetas de mortero hechas con cemento portland. DRX de la nueva fase sólida.

Fig. 9.—Action of artificial seawater (ASTM D 1141-75), behavior of mortar micro-test specimen from portland cement. DRX of the new solid phase in seawater.

conservación, en donde han estado sumergidas las microprobetas. En el caso de agua de mar artificial, tiene lugar una disminución del contenido de Mg (II), que en determinados casos llega a desaparecer, así como de SO_4 (II) y de Cl (I) y un incremento de Ca (II) y del valor del pH, modificaciones que dependen de la mezcla cemento/adición utilizada en la elaboración de las microprobetas y del tiempo de conservación-ataque (Fig. 11).

Cuando la mezcla ha sido cemento/escoria y el medio de conservación-ataque agua de mar artificial, se ha probado que las cantidades

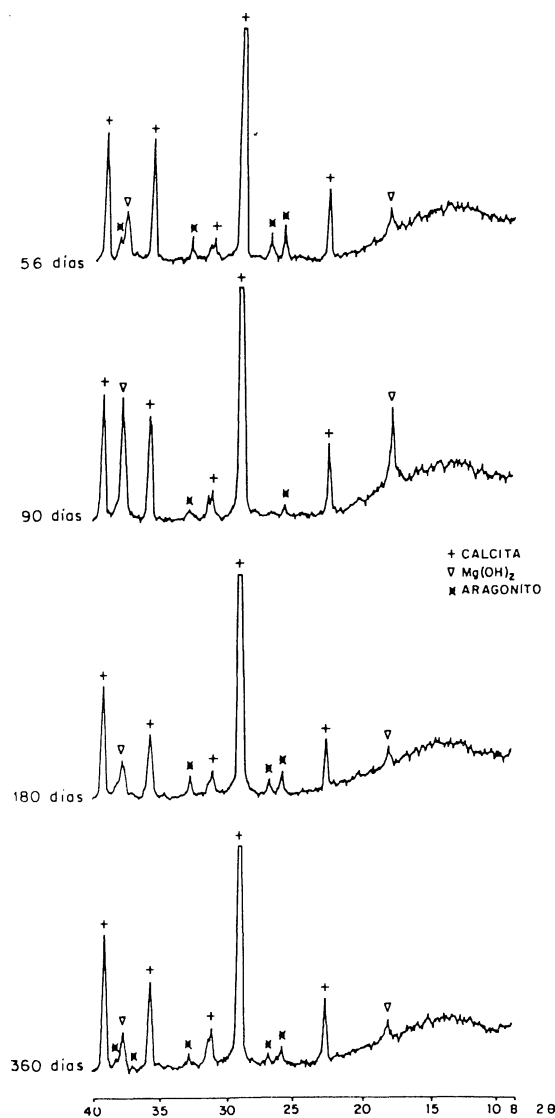


Fig. 10.—Acción del agua de mar artificial (ASTM) sobre microprobetas de mortero hechas con cemento portland. DRX de la fracción enriquecida.

Fig. 10.—Action of the artificial seawater (ASTM D1141-75) Behavior of mortar micro-test specimen from portland cement. DRX of the extract fraction.

compound of the preservation medium in which the micro-test samples have been submerged. In the case of artificial seawater, the Mg(II) content decreases, even disappearing in certain cases, as well as the SO_4 (II) and Cl(I) contents, and the Ca(II) content and pH value increase. These modifications depend on the cement/additive mixture used to prepare the micro-test samples and on the preservation-attack time.

When the mixture is cement/slag and the preservation-attack medium is artificial seawater, it has been proved that for each age

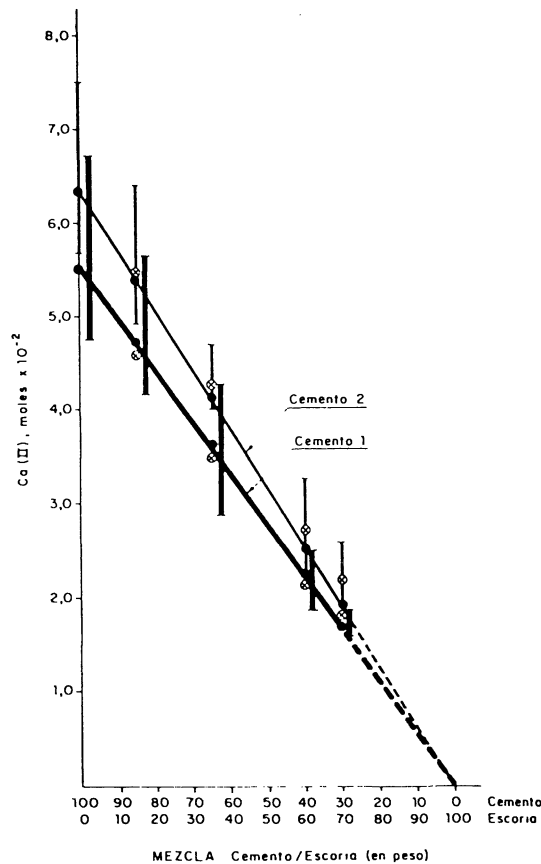


Fig. 11.—Sistemas: cemento/escoria-agua de mar artificial (ASTM). Evolución de los contenidos de Ca (II) disuelto + Ca (II) del agua de mar artificial.

Fig. 11.—System: cement/slag-artificial seawater (ASTM D 1141-75). Development of Ca (II) to dissolve + Ca (II) of artificial seawater content.

totales de Ca (II) —que corresponden al agua de mar artificial y la procedente de la disolución de los compuestos hidratados del cemento hidratado, especialmente $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que se encuentra en la disolución y en la nueva fase sólida— responden para cada edad, en los distintos casos estudiados, prácticamente a las cantidades teóricas referidas a las del cemento presente en la mezcla cemento/escoria, calculadas a partir del contenido total de Ca (II) de los medios en donde han estado sumergidas las microprobetas de mortero hechas con cemento sin adición.

De este modo se ha probado que la evolución del contenido total de Ca (II) está íntimamente ligada a la de Mg (II), de tal modo que cuando el de Ca (II) aumenta el de Mg (II) disminuye y viceversa, existiendo un punto —para todas las edades— que corresponde a las mezclas cemento/escoria = 50/50 y 40/60 (en peso) en donde se cumple el equilibrio iónico $\text{Ca}(\text{II}) = \text{Mg}(\text{II})$.

in the different cases under study, the total quantities of Ca(II) - which correspond to the artificial seawater and to the solution of the hydrated compounds of the hydrated cement, especially $\text{Ca}(\text{OH})_2$ which is found in the solution and in the new solid phase—practically coincide with the theoretical quantities for the cement present in the cement/slag mixture calculated on the basis of the total Ca(II) content of the media in which the micromortar test samples made with cement without additives have been submerged.

Thus, it has been proved that the evolution of the total Ca(II) content is closely linked to that of Mg(II), in such a way that when the Ca(II) content increases, the Mg(II) content decreases and vice versa. For all ages, there is a point corresponding to cement/slag mixtures = 50/50 and 40/60 (by weight) at which the ionic equilibrium $\text{Ca}(\text{II}) = \text{Mg}(\text{II})$ is fulfilled.

e) También se ha puesto de manifiesto la acción del efecto salino en la solubilidad de los compuestos del cemento hidratado, fundamentalmente del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en agua de mar artificial y en una disolución saturada de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, teniendo en cuenta la solubilidad de dichos compuestos en agua potable y, de un modo especial, en el caso de las microprobetas de mortero hechas con cemento sin escoria y con las mezclas que tienen los menores contenidos de escoria (15 y 35 %, en peso).

f) Los hechos mencionados influyen en la evolución de las resistencias mecánicas de las microprobetas, así como en las de sus dimensiones. En determinados casos dichas microprobetas se agrietan, fisuran y hasta llegan a desintegrarse. Así, por ejemplo, en los trabajos realizados con las series de probetas hechas con diversas mezclas cemento/escoria, sumergidas en una disolución de elevada concentración de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (515, 2 g/l), se ha probado la formación del compuesto cristalino yeso secundario, en gran proporción.

3.6. Por otra parte, el personal del Instituto ha realizado —a petición de Organismos Oficiales, Instituciones o Profesionales— numerosos trabajos sobre estructuras de hormigón situadas en distintos lugares y medios agresivos, que han sufrido diversas lesiones de distinta consideración.

3.7. Como consecuencia de todos estos trabajos, llevados a cabo por el personal investigador del Instituto, se han realizado:

- a) Numerosos informes y trabajos de apoyo (asistencia) científico-técnica para empresas, organismos oficiales y profesionales.
- b) Trabajos de investigación, de cuyos resultados se ha dado cuenta en múltiples trabajos que se han publicado en artículos (en revistas nacionales y extranjeras), monografías, cuadernos de investigación...
- c) Otros trabajos de investigación, objeto de tesis doctorales y trabajos fin de carrera.

3.8. Dicho personal investigador ha formado, y forma, parte de Comités Científicos y Técnicos, de Comisiones y Grupos de Trabajo participando en Congresos, Seminarios y Cursos, tanto nacionales como extranjeros.

4. AGRADECIMIENTOS

Estos trabajos han sido realizados gracias a todas las personas que han formado parte del E.I. "DURABILIDAD" del Instituto, a los que deseo

e) There is also evidence of the action of the saline effect on the solubility of the hydrated cement compounds, fundamentally $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in artificial seawater and in a saturated solution of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, taking into account the solubility of these compounds in potable water and especially in the case of micro-motor test samples made with cement without slag and with the mixtures that have the lowest slag contents (15 and 35 % by weight).

f) The above mentioned facts effect the evolution of the mechanical resistances of the micro-test samples, as well as their dimensions. In certain cases, these micro-test samples form crack and fissures and even disintegrate. For example, in work performed with the series of test samples made with different cement/slag mixtures and submerged in a highly concentrated solution of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (515.2 g/l), the formation of a large quantity of the crystalline compound of secondary gypsum was proved.

3.6. On the other hand, at the request of official Organizations, Institutions or Professional Groups, the Institute's personnel have performed numerous jobs on concrete structures located in different sites and aggressive media that have undergone damage of varying importance.

3.7. As a result of this work carried out by the Institute's research personnel, the following have been performed:

- a) Numerous scientific-technical reports and backup work (support) for companies and official and professional organizations.*
- b) Research, the results of which have been provided in multiple papers published in articles (in national and foreign journals), monographic works, research books, etc.*
- c) Other research work used in doctoral theses and graduate papers.*

3.8. This research personnel has formed or currently forms part of Scientific and Technical Committees, Commissions and Work Groups that participate in national and foreign Congresses, Seminars and Courses.

4. DEDICATION

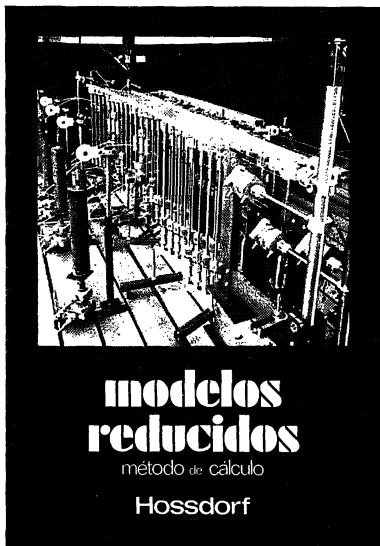
I would like to sincerely thank the people who form part of the Institute's "DURABILITY" RT, who have made this work possible and especially to

expresarles mi más sincero agradecimiento y de un modo muy especial a D. Pablo García de Paredes, primer investigador que inició estos trabajos en el IETcc, así como a los técnicos de la industria del cemento que tan eficazmente han contribuido para realizar la programación de los trabajos, a los técnicos de la industria de la construcción por los problemas planteados, a los técnicos y directivos del Puerto Autónomo de Huelva por la ayuda y colaboración prestada y a todas aquellas personas del IETcc que han participado en el desarrollo de estos trabajos.

Mr. García de Paredes the first researcher working on this program. I would also like to thank the technicians of the cement industry who so effectively helped to schedule the work, the technicians of the construction industry for the problems posed, the technicians and managers of the Autonomous Port of Huelva for their help and collaboration, and all the IETcc personnel who have participated in developing this work.

* * *

publicaciones del ICCTET/CSIC

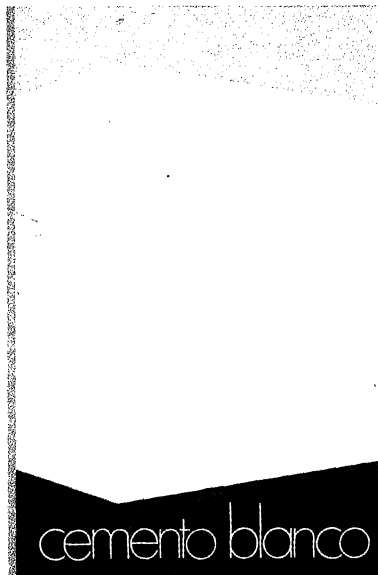


Modelos reducidos. Método de cálculo

H. Hossdorf, Ingeniero Civil

La técnica de los ensayos en modelos reducidos de estructuras sufre hoy día una decisiva metamorfosis. Hasta hace poco era un medio más bien de artesanía, que no siempre era tomado en serio por los académicos teorizantes para comprender el comportamiento resistente de las estructuras complejas y al que se acudió las más de las veces, como a un último remedio debido a sus indiscutibles insuficiencias. Sin embargo, en poco tiempo y gracias a su conexión con los ordenadores digitales, se ha transformado en un instrumento científicamente valioso, que no puede quedar a un lado en la práctica diaria del Ingeniero Projectista.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 250 páginas, 158 figuras y fotografías.



Cemento blanco

Julián Rezola
Ingeniero Químico Dipl. I. Q. S.

Sabido es que existe una extensa y documentada bibliografía sobre el cemento gris: en cambio, no puede decirse lo mismo acerca del cemento portland blanco, ya que los escritos existentes se refieren tan sólo a algunas peculiaridades que le distinguen de aquél.

El autor nos ofrece sus profundos conocimientos y su larga experiencia tanto en laboratorio como en fabricación.

La parte descriptiva del libro se complementa con gráficos, diagramas y fotografías de gran utilidad, destinados a conseguir la aplicación apropiada de este aglomerante.

Un volumen encuadernado en cartón policerado, de 17,4 x 24,3 cm, compuesto de 395 páginas, numerosas figuras, tablas y ábacos.



La presa bóveda de Susqueda

A. Rebollo,
Dr. Ingeniero de Caminos

El esfuerzo del constructor de presas se sitúa, por su pretensión de perennidad, a contracorriente de las tendencias de la civilización actual, caracterizada por lo fungible. Pueden evocarse las 10.000 grandes presas en funcionamiento o en construcción que están envejeciendo y reclaman los cuidados gerontológicos para mantener y perfeccionar su servicio y garantizar su inalienable pretensión de perennidad. En la medida en que todas nuevas obras, grandes o pequeñas, son portadoras de riesgos ecológicos y, a veces, catastróficos, que aumentan con el envejecimiento, la gerontología de las presas es todo un emplazo. La acción adelantada de Arturo Rebollo en este terreno marca un camino a seguir para todos los que aman su propia obra con la devoción paternal que él ha puesto en Susqueda.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 18 x 24,5 cm, compuesto de 408 páginas, 330 figuras y fotografías y 39 tablas.