

# Resistencia química del hormigón

## XVII.- Acción de una disolución saturada de yeso: influencia de la adición de escoria a un cemento portland resistente al yeso. Evolución de las resistencias mecánicas a flexotracción y de los coeficientes de corrosión

JOSE LUIS SAGRERA-MORENO y DEMETRIO GASPAR-TEBAR  
Drs. en Ciencias Químicas  
IETCC

### RESUMEN

*En el presente trabajo, segundo de la nueva serie iniciada con un cemento portland industrial de alta resistencia inicial, se estudia la influencia que ejerce la adición de distintas cantidades de una escoria granulada molida a un cemento portland industrial resistente al yeso (cemento 2 <> P-450-Y) en su comportamiento químico-resistente frente a la acción de una disolución saturada de yeso, determinando la evolución de la resistencia química por el método de Koch-Steinegger, así como de las resistencias mecánicas a flexotracción de probetas de mortero (1:3) de 1 × 1 × 6 cm fabricadas con dicho cemento 2 y con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70, en peso, sumergidas en agua potable filtrada unas series de 12 probetas y en una disolución saturada de yeso otras series análogas a las anteriores, durante 56 - 90 - 180 y 360 días, después de haberlas curado 24 horas en un recinto saturado de humedad a 20 ± 2°C y, a continuación, 21 días bajo agua potable filtrada. Se ha puesto de manifiesto la acción favorable que, desde un punto de vista mecánico-resistente, ejerce la adición de escoria —de un modo especial, de cantidades elevadas— al cemento 2.*

### SUMMARY

*In the present work, the second of the new series initiated with industrial Portland cement of high initial resistance, there is studied the influence exerted by the addition of distinct quantities of groundgranulated slag to industrial Portland cement resistant to sulfate (cement 2 <> P-450-Y) in its chemical-resistant behaviour to the action of dissolution saturated with gypsum determining the evolution of the resistance by the Koch-Steinegger method, as likewise the mechanical resistances and flexotraccion of mortar test specimens (1:3) of 1 × 1 × 6 cm manufactured with said cement 2 and with the cement 2 mixtures slag = 85/15 - 65/35 - 40/60 and 30/70, in weight, sumerged in potable water filtering some series of 12 test specimens and in a dissolution saturated with gypsum other series analogous to the previous ones, for 56 - 90 - 180 and 360 days, after curing them for 24 hours in a saturation of humidity to 20 ± 2°C, and then, 21 days under filtered potable water. There has been made evident the favourable action which, from the mechanical-resistant point of view, is exerted by the addition of slag—in a special manner, of high quantities - to cement 2.*

### 1. INTRODUCCION

En otras publicaciones (1) (2) se estudió la influencia que ejerce la adición de escoria a un cemento portland resistente al yeso (cemento 2 <> P-450-Y), designado como cemento 2, cuando diversas series de 12 probetas de mortero (1:3), cada una, fabricadas con dicho cemento 2 y con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70, en peso, se someten a la acción del agua de mar artificial (ASTM D1141-75) (\*) y del agua potable filtrada (\*\*), después de haberlas curado 24 horas en un recinto saturado de hume-

(\*) Sistema: cemento 2/escoria-agua de mar artificial.

(\*\*) Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada.

dad a  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y hasta 22 días bajo agua potable filtrada (período de curado), para lo cual se han sumergido en dichos medios durante 56 - 90 - 180 y 360 días, cada serie (períodos de conservación-ataque, primer sistema, y de conservación, segundo sistema); al final de cada período de tiempo se ha determinado:

- a) La evolución que experimenta la resistencia química (método de Koch-Steinegger) y las modificaciones de las resistencias mecánicas a flexotracción de las mencionadas series de probetas de mortero (1:3) de  $1 \times 1 \times 6$  cm (1).
- b) La variación de la concentración iónica de las disoluciones (agua potable filtrada y agua de mar artificial) en donde han estado sumergidas las diversas series anteriores de probetas de mortero, de la que se dará cuenta en otra publicación.
- c) Las características estructurales de las fases sólidas formadas en los medios de curado (agua potable filtrada) y de conservación (agua potable filtrada) (2) y de conservación-ataque (agua de mar artificial); se dará cuenta en una próxima publicación.
- d) Las modificaciones estructurales experimentadas por las fracciones enriquecidas (cemento hidratado-atacado) extraídas de uno de los prismas de cada serie de probetas de mortero de los sistemas cemento 2/escoria-agua potable filtrada (2) y cemento 2/escoria-agua de mar artificial, de este último sistema se dará cuenta en una futura publicación.

En el presente artículo, continuación de la serie iniciada en (3) y que se ampliará con otros, se da cuenta de la evolución de las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero (1:3) de  $1 \times 1 \times 6$  cm fabricadas con el cemento 2 <> P-450-Y, objeto de otras publicaciones (1) (2) y con las mezclas de dicho cemento 2 con la escoria siderúrgica vítrea de (1) (2) (3) en las mismas proporciones (85/15, 65/35, 40/60 y 30/70), sumergidas en una disolución saturada de yeso (sistema: cemento 2/escoria-disolución saturada de yeso).

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

En este trabajo se estudia la influencia que ejerce la adición de distintas cantidades de una escoria granulada molida (1) (4) al cemento 2 <> P-450-Y de fabricación española, objeto de las publicaciones (1) (2), en su comportamiento químico-resistente frente a la acción de una disolución saturada de sulfato de calcio determinando, en esta etapa, la evolución de las resistencias mecánicas a flexotracción de probetas de mortero (1:3) de  $1 \times 1 \times 6$  cm y de la resistencia química por el método de Koch-Steinegger (5).

Las probetas de mortero se han preparado con el mencionado cemento 2, resistente al yeso, y con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70 (en peso), de acuerdo con las condiciones de (6). Dichas probetas, una vez fabricadas, se han mantenido 24 horas en un recinto, a  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , saturado de humedad y hasta 22 días bajo agua potable filtrada (período de curado); a continuación, y hasta el momento de su rotura (período de conservación-ataque) se han sumergido en agua saturada de yeso (sulfato de calcio dihidratado) unas series y otras en agua potable filtrada (período de conservación) durante 56 - 90 - 180 y 360 días.

Este trabajo se complementará con otros, de los que se dará cuenta en publicaciones sucesivas.

### 2.1. Materiales utilizados y características

- a) *Cemento y escoria*

Se ha utilizado el cemento portland resistente al yeso, cemento 2 de (1) (2), que tiene la siguiente composición potencial calculada (Bogue):

$$C_3S = 75,6 \% ; C_2S = 6,1 \% ; C_4AF = 10,8 \% \text{ y nulo de } C_3A$$

La escoria siderúrgica empleada, que procede de la industria española, se ha molido hasta conseguir una superficie específica (Blaine) de 4.030 cm<sup>2</sup>/g; tiene las características que se señalan en (1) (4).

b) *Arena empleada*

Para preparar las probetas de mortero se ha utilizado arena natural (Segovia), análoga a la empleada para preparar las de mortero normalizado (RC-75), con un contenido de SiO<sub>2</sub> superior a 99 %. El tamaño de grano está comprendido entre 1 y 1,5 mm.

Las características fundamentales se recogen en (4).

c) *Disolución saturada de sulfato de calcio, con una concentración SO<sub>4</sub> (II) ≈ 1,100 g/l*

La disolución saturada de yeso se ha preparado disolviendo yeso natural (tiene una riqueza de CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O superior a 98 %, determinada por vía química y por DRX) en agua potable filtrada hasta saturación. Posteriormente, se ha determinado la concentración de ion sulfato (gravimétricamente, al estado de BaSO<sub>4</sub>); dicha concentración es 1,099 g/l.

d) *Agua potable filtrada*

Como medio de curado y de conservación-testigo se ha empleado agua potable (Canal de Isabel II - Madrid) una vez que ha pasado a través de un filtro cerámico.

Tiene la siguiente composición química (en g/l):

$$Ca (II) = 0,005 ; Mg (II) = 0,0016 ; SO_4 (II) = 0,003 ; Cl (I) = 0,007 \text{ y un pH} = 7,4$$

## 2.2. Técnica operatoria

a) *Preparación de las mezclas cemento 2/escoria*

Las mezclas cemento 2/escoria = 100/0 - 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70, en peso, se han preparado como se señala en (4).

b) *Resistencia química. Método acelerado de Koch-Steinegger*

Se ha seguido la técnica de trabajo descrita en (5).

De las diversas series de probetas de mortero (1:3) de 1 × 1 × 6 cm preparadas con a/c = 0,60 se han utilizado veinte series de 12 probetas cada una para el sistema cemento 2/escoria-agua potable filtrada y otras veinte para el sistema cemento 2/escoria-disolución saturada de yeso.

El volumen de agua potable filtrada en donde se han curado las probetas ha sido de 500 ml/serie y el correspondiente a los períodos de conservación y conservación-ataque, en donde han estado sumergidas cada una de las series durante 56 - 90 - 180 y 360 días, en esta etapa, ha sido de 800 ml/serie-edad.

Los depósitos con el agua potable filtrada o con la disolución saturada de yeso y las series de probetas sumergidas hasta el momento de su rotura, así como los del agua potable

en donde se han curado, se han mantenido cerrados herméticamente en un laboratorio, a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Los valores de las resistencias a flexotracción, que figuran en este trabajo, son la media de otros 12 valores concordantes correspondientes a las 12 probetas de cada serie.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Evolución de las resistencias mecánicas a flexotracción (\*)

En las figuras 1 a 4 se ha representado la evolución de las resistencias mecánicas, a flexotracción, para cada edad de curado (22 días) y de conservación o de conservación-ataque [56 - 90 - 180 y 360 días por el momento (\*\*) bajo agua potable filtrada o sumergidas en una disolución saturada de yeso] de las probetas de mortero (1:3) de  $1 \times 1 \times 6$  cm en función de la mezcla cemento 2/escoria utilizada en la fabricación de dichas probetas.

En las figuras 5 y 6 se incluye la variación de las mencionadas resistencias a flexotracción de las probetas de mortero hechas con cada mezcla cemento 2/escoria, en función del tiempo de curado (fijo) y de conservación o de conservación-ataque (variables), según el medio en donde han estado sumergidas hasta el momento de su rotura (agua potable filtrada o disolución saturada de yeso).

En las tablas 1 y 3 figuran los valores de las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero de las distintas series sumergidas en agua potable filtrada y en la disolución saturada de yeso, tabla 1, y en la disolución saturada de yeso, tabla 3, referidos al valor índice ( $100,0 \text{ kp/cm}^2$ ) asignado a la serie de probetas fabricadas con cemento 2 sin adición de escoria y sumergidas durante 56 días en agua potable filtrada, después del período de curado, en la primera, y durante el mismo período de tiempo en la disolución saturada de yeso, en la segunda.

TABLA 1

*Resistencias mecánicas a flexotracción. Valor índice =  $100,0 \text{ kp/cm}^2$ , para  $t = 56$  días; medios de conservación: agua potable filtrada y disolución saturada de yeso*

| Mezcla<br>cemento 2/escoria<br>(en peso) | Conservación          |       |       |       |                             |       |       |       |
|--|-----------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|  | Agua potable filtrada |       |       |       | Disolución saturada de yeso |       |       |       |
|  | Edad, días            |       |       |       | Edad, días                  |       |       |       |
|  | 56                    | 90    | 180   | 360   | 56                          | 90    | 180   | 360   |
| 100/0                                    | 100,0                 | 98,7  | 106,4 | 89,9  | 107,1                       | 104,0 | 112,7 | 106,1 |
| 85/15                                    | 112,2                 | 110,3 | 114,5 | 108,7 | 121,3                       | 118,4 | 129,6 | 129,0 |
| 65/35                                    | 135,9                 | 130,6 | 127,5 | 109,7 | 138,6                       | 144,6 | 135,7 | 129,3 |
| 40/60                                    | 127,7                 | 124,0 | 123,2 | 117,9 | 139,3                       | 139,8 | 148,0 | 150,2 |
| 30/70                                    | 118,4                 | 121,6 | 110,8 | 121,3 | 135,7                       | 136,2 | 134,8 | 148,3 |

(\*) Dadas las dimensiones de las probetas no se han determinado las resistencias mecánicas a compresión.

(\*\*) A la vista de los resultados obtenidos, se ha ampliado el estudio hasta 3 años.

En la tabla 2 se encuentran los valores de las mencionadas resistencias referidos al valor índice (100,0 kp/cm<sup>2</sup>) asignado a cada una de las series de probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria, sumergidas en agua potable filtrada o en la disolución saturada de yeso durante 56 - 90 - 180 ó 360 días.

T A B L A 2

*Resistencias mecánicas a flexotracción. Valor índice = 100,0 kp/cm<sup>2</sup>, para t = 56 - 90 - 180 y 360 días; medios de conservación: agua potable filtrada y disolución saturada de yeso*

| Mezcla<br>cemento 2/escoria<br>(en peso) | Conservación          |       |       |       |                             |       |       |       |
|--|-----------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|  | Agua potable filtrada |       |       |       | Disolución saturada de yeso |       |       |       |
|  | Edad, días            |       |       |       | Edad, días                  |       |       |       |
|  | 56                    | 90    | 180   | 360   | 56                          | 90    | 180   | 360   |
| 100/0                                    | 100,0                 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0                       | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 85/15                                    | 112,2                 | 111,7 | 107,6 | 121,0 | 113,2                       | 113,8 | 115,0 | 121,5 |
| 65/35                                    | 135,9                 | 132,3 | 119,8 | 122,0 | 129,5                       | 139,0 | 120,4 | 121,9 |
| 40/60                                    | 127,7                 | 125,6 | 115,7 | 131,2 | 130,1                       | 134,4 | 131,3 | 141,6 |
| 30/70                                    | 118,4                 | 123,2 | 104,1 | 134,9 | 126,8                       | 131,0 | 119,6 | 139,8 |

T A B L A 3

*Resistencias mecánicas a flexotracción. Valor índice = 100,0 kp/cm<sup>2</sup>, para t = 56 días; medio de conservación: disolución saturada de yeso*

| Mezcla<br>cemento<br>2/escoria<br>(en peso) | Edad, días |       |       |       |
|---|------------|-------|-------|-------|
|   | 56         | 90    | 180   | 360   |
| 100/0                                       | 100,0      | 97,1  | 105,3 | 99,1  |
| 85/15                                       | 113,2      | 110,5 | 121,1 | 120,5 |
| 65/35                                       | 129,5      | 135,0 | 126,8 | 120,8 |
| 40/60                                       | 130,1      | 130,5 | 138,2 | 140,3 |
| 30/70                                       | 126,8      | 127,2 | 125,9 | 138,5 |

a) *Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada*

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero hechas con las distintas mezclas cemento 2/escoria, sumergidas en agua potable filtrada ( $R'_t$ ) y para cada una de las diferentes edades estudiadas, son mayores que las correspondientes a las probetas fabricadas con cemento 2 sin adición de escoria (figuras 1 a 4, tabla 2).

Los incrementos experimentados dependen de la cantidad de escoria en la mezcla utilizada y del tiempo de conservación.

La resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero de las distintas series, a lo largo del tiempo, son superiores al valor índice, 100,0 kp/cm<sup>2</sup> para 22 + 56 días, excepto para las hechas con cemento 2/escoria = 100/0 a 22 + 90 días y 22 + 360 días (tabla 1).

Las resistencias de las probetas elaboradas con una misma mezcla experimentan, a lo largo del tiempo, ligeras variaciones que dependen de la mezcla utilizada (figura 5 y tabla 1). Así, son del mismo orden o menores para las distintas series que corresponden a las mezclas que tienen contenidos de escoria iguales o inferiores al 60 %; en estos casos las resistencias a 22 + 360 días son más bajas que las de la primera edad (22 + 56 días). Sin embargo, para las series fabricadas con la mezcla cemento 2/escoria = 30/70, en peso, son del mismo orden o superiores, excepto para 22 + 180 días, que las de 22 + 56 días.

Los valores mayores de las resistencias a flexotracción, en este sistema, corresponden para las tres primeras edades a las series hechas con la mezcla que tiene un 35 % de escoria y para la cuarta edad para la serie de la mezcla cemento 2/escoria = 30/70, en peso.

— Influencia de la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas de mortero.

- Edad: 22 + 56 días (figura 1)

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas hechas con las distintas mezclas cemento 2 y escoria, con relación al valor de las probetas hechas sólo con cemento 2, experimentan un incremento que depende de la cantidad de escoria, alcanzando el valor máximo la serie de probetas confeccionada con la mezcla cemento 2/escoria = 65/35, en peso, (tabla 2) experimentando un incremento del 35,9 %.

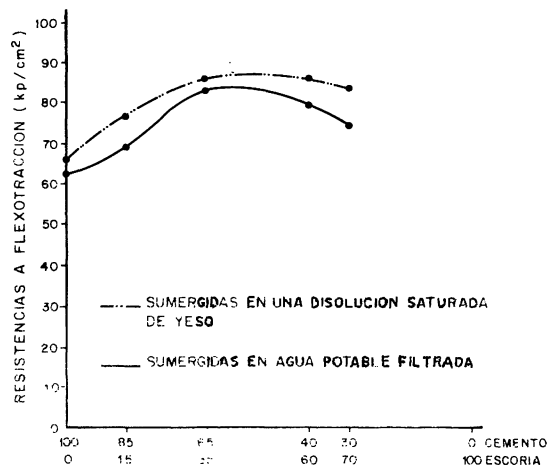


Fig. 1.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Edad: 22 + 56 días.

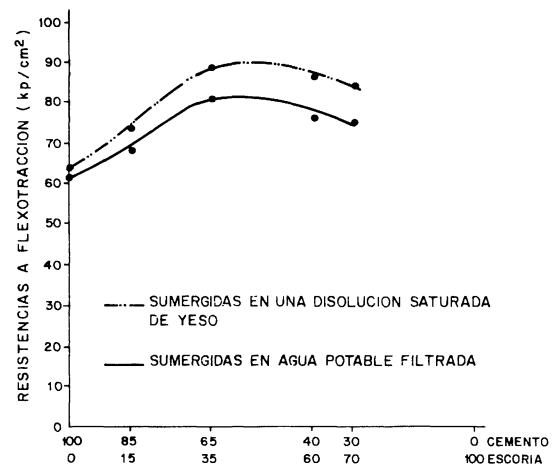


Fig. 2.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Edad: 22 + 90 días.

- Edad: 22 + 90 días (figura 2)

Del mismo modo que en el caso anterior, las resistencias de las distintas series experimentan, con relación a la de las probetas elaboradas con cemento 2, un aumento que depende de la cantidad de escoria. La serie de probetas fabricadas con la mezcla cemento 2/escoria = 65/35, en peso, (tabla 2) también alcanza el valor máximo, con un incremento de 32,3 %.

- Edad: 22 + 180 días (figura 3)

En este caso, como en los dos anteriores, se pueden hacer consideraciones análogas; las mayores resistencias también corresponden a la mezcla cemento 2/escoria = 65/35, en peso, con un incremento de 19,8 %, (tabla 2).

- Edad: 22 + 360 días (figura 4)

A esta edad, las resistencias de las series de probetas elaboradas con las mezclas cemento 2/escoria = 100/0, 85/15, 65/35 y 40/60, en peso, son menores que las correspondientes a las mismas mezclas de las restantes edades referidas al valor índice asignado a la serie de probetas hechas con cemento 2, para  $t = 56$  días (tabla 1).

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas aumentan conforme lo hace la cantidad de escoria de la mezcla utilizada, llegando a ser las de la

serie fabricada con la mezcla cemento 2/escoria = 30/70, en peso, 34,9 % superiores que las resistencias de las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria (tabla 2).

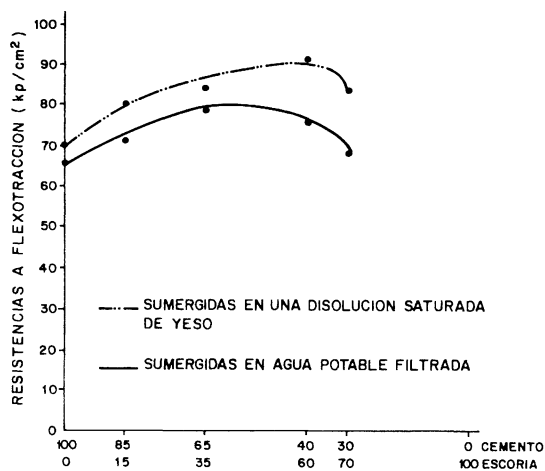


Fig. 3.—Evolución de las resistencias a flexotracción, Edad: 22 + 180 días.

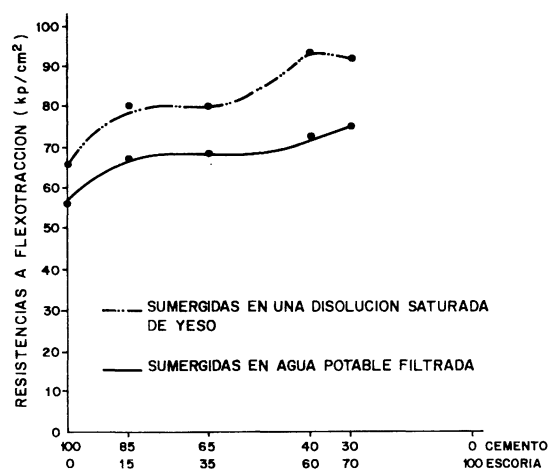


Fig. 4.—Evolución de las resistencias a flexotracción, Edad: 22 + 360 días.

— Influencia del tiempo de curado-conservación para las probetas de mortero hechas con una misma mezcla.

La evolución de las resistencias de las diversas series de probetas para cada mezcla, a lo largo del tiempo, (figura 5) experimenta las siguientes modificaciones:

- Mezcla: cemento 2/escoria = 100/0 (en peso)

Las resistencias mecánicas a flexotracción, en las cuatro edades estudiadas, que son menores que las de las distintas series de probetas elaboradas con las diversas mezclas cemento 2/escoria, se encuentran comprendidas entre 55,8 kp/cm<sup>2</sup> (a 22 + 360 días) y 66,1 kp/cm<sup>2</sup> (a 22 + 180 días).

- Mezcla: cemento 2/escoria = 85/15 (en peso)

La evolución de las resistencias de esta serie es muy parecida a la de la mezcla anterior; los valores se encuentran comprendidos entre 67,5 kp/cm<sup>2</sup> (a la edad de 22 + 360 días) y 71,1 kp/cm<sup>2</sup> (a la edad de 22 + 180 días). El valor para 22 + 56 días es 69,7 kp/cm<sup>2</sup>.

- Mezcla: cemento 2/escoria = 65/35 (en peso)

En esta serie las resistencias disminuyen con el tiempo, pasando de 84,4 kp/cm<sup>2</sup> (a la edad de 22 + 56 días) a 68,1 kp/cm<sup>2</sup> (a la edad de 22 + 360 días). Los incrementos de las resistencias, para una misma edad, referidos a los valores de las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria oscilan entre 35,9 % y 19,8 % para las edades 22 + 56 días y 22 + 180 días, respectivamente (tabla 2).

Las resistencias correspondientes a las tres primeras edades son superiores a las de las series fabricadas con la mezcla cemento 2/escoria = 85/15, 40/60 y 30/70, en peso; para 22 + 360 días son del mismo orden que las de las probetas de la mezcla cemento 2/escoria = 85/15 e inferiores a las de las otras dos mezclas.

- Mezcla: cemento 2/escoria = 40/60 (en peso)

Del mismo modo que en el caso anterior las resistencias de las series de probetas hechas

con esta mezcla disminuyen conforme aumenta el tiempo de conservación, pasando de 79,3 kp/cm<sup>2</sup> (22 + 56 días) a 73,2 kp/cm<sup>2</sup> (22 + 360 días). Los incrementos experimentados, con relación a los valores de las probetas elaboradas con cemento 2 sin adición de escoria y para cada edad (tabla 2), están comprendidos en el entorno 15,7 % (22 + 180 días) y 31,2 % (22 + 360 días).

- Mezcla: cemento 2/escoria = 30/70 (en peso)

Las resistencias correspondientes a las edades 22 + 56 días, 22 + 90 días, 22 + 360 días presentan valores muy parecidos; se encuentran comprendidos entre 73,5 kp/cm<sup>2</sup> y 75,5 kp/cm<sup>2</sup>, experimentando un descenso (68,8 kp/cm<sup>2</sup>) a 22 + 180 días.

Este último valor es superior a los de todas las edades de la serie de probetas fabricadas con cemento 2 sin adición de escoria.

#### b) Sistema: cemento 2/escoria-disolución saturada de yeso

En el sistema presente las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas de mortero, sumergidas en la disolución saturada de yeso ( $R_t$ ), experimentan un incremento para cada edad, con relación a las de las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria; este incremento depende de la cantidad de escoria presente en la mezcla utilizada y del tiempo de conservación-ataque (figuras 1 a 4 y tablas 1 a 3).

Todos los valores de las resistencias mecánicas a flexotracción de este sistema son superiores al valor índice (100,0 kp/cm<sup>2</sup>), asignado a la serie de probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria (tabla 1) para 22 + 56 días; así mismo, son superiores al valor índice correspondiente a la serie análoga sumergida en la disolución saturada de yeso, excepto las dos series de probetas fabricadas con dicho cemento 2 y conservadas bajo la mencionada disolución durante 90 y 360 días.

El valor de las resistencias mecánicas correspondientes a las series de probetas confeccionadas con una misma mezcla experimenta variaciones de signo distinto, a lo largo del tiempo de conservación-ataque, con relación al de las series análogas sumergidas durante 56 días en la disolución saturada de yeso. Dichas resistencias dependen de la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas (figura 6 y tablas 2 y 3).

— Influencia de la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas de mortero

- Edad: 22 + 56 días (figura 1)

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero hechas con las diversas mezclas cemento 2/escoria son mayores que las correspondientes a las series fabricadas con cemento 2, experimentando un incremento comprendido entre 13,2 % para las probetas correspondientes a la mezcla cemento 2/escoria = 85/15, en peso, y 30,1 % para las de la mezcla 40/60, en peso (tabla 2).

A esta edad, las mencionadas resistencias siguen una evolución parecida a la de las probetas análogas conservadas en agua potable filtrada.

- Edad: 22 + 90 días (figura 2)

Como en el caso anterior, los valores de las resistencias de las probetas sumergidas en la disolución saturada de yeso siguen una evolución análoga a la de las probetas sumergidas en agua potable filtrada. Las mencionadas resistencias a flexotracción de las diversas series de probetas de mortero hechas con las mezclas estudiadas de cemento 2 y escoria son mayores que las correspondientes a las de las probetas fabricadas con cemento 2 (ta-



bla 2), experimentando unos incrementos que se encuentran comprendidos entre 13,8 % para la mezcla cemento 2/escoria = 85/15, en peso, y 39,0 % para la mezcla 65/35, en peso.

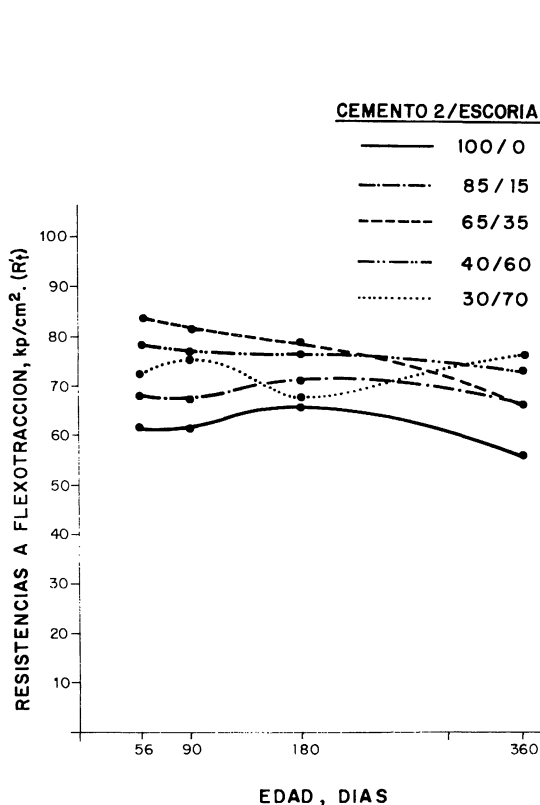


Fig. 5.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Probetas sumergidas en agua potable filtrada.

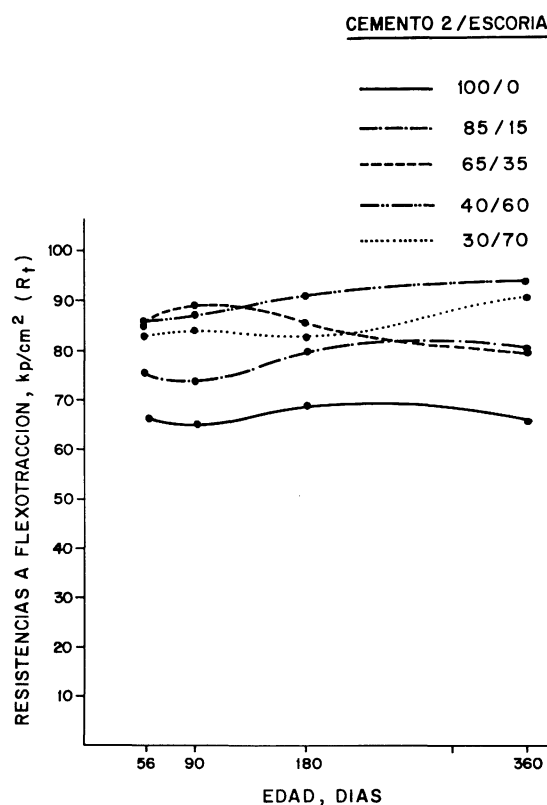


Fig. 6.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Probetas sumergidas en una disolución saturada de yeso.

- Edad: 22 + 180 días (figura 3)

La evolución de las resistencias a flexotracción, a 22 + 180 días, de las series de probetas de mortero sumergidas en la disolución saturada de yeso es análoga, como en los casos anteriores, a la de las series sumergidas en agua potable filtrada. Dichas resistencias correspondientes a las probetas hechas con las diversas mezclas cemento 2 y escoria experimentan, con relación a las de las probetas fabricadas con cemento 2, un incremento comprendido entre 15 %, para la mezcla cemento 2/escoria = 85/15, en peso, y 31,3 % para la mezcla 40/60, en peso, (tabla 2).

- Edad: 22 + 360 días (figura 4)

A esta edad, las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero fabricadas con las diversas mezclas cemento 2/escoria también son mayores que las correspondientes a las probetas fabricadas con cemento 2; los valores mayores (93,3 kp/cm<sup>2</sup>) son los de las probetas de mortero hechas con la mezcla cemento 2/escoria = 40/60 (en peso), el incremento experimentado con relación a los valores de las probetas elaboradas con cemento 2 es 41,6 % (tabla 2). Los valores de las resistencias de las series de probetas de mortero confeccionadas con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 y 65/35 (en peso) son del mismo orden, así como los de las series que corresponden a las mezclas 40/60 y 30/70 (en peso).

— Influencia del tiempo de curado y de conservación-ataque para las probetas de mortero hechas con una misma mezcla.

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas de mortero fabricadas con una misma mezcla, sumergidas en la disolución saturada de yeso, son superiores al valor índice ( $100,0 \text{ kp/cm}^2$ ) asignado a las resistencias de las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria, para  $t = 22 + 56$  días, excepto las correspondientes a las series de probetas fabricadas sólo con dicho cemento 2 para las edades  $t = 22 + 90$  días y  $22 + 360$  días (tabla 3).

En la figura 6, se puede apreciar la evolución de las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas, en función del tiempo que han estado sumergidas en la disolución saturada de yeso (56, 90, 180 y 360 días). Así mismo, se observa la influencia favorable que, en este sistema, ejerce la adición de escoria al cemento 2; los valores menores de las mencionadas resistencias corresponden, para cada edad, a las series de probetas hechas con cemento 2.

La evolución que experimentan las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas fabricadas con las distintas mezclas cemento 2/escoria estudiadas (figura 6) es la siguiente:

- Mezcla: cemento 2/escoria = 100/0 (en peso)

Las resistencias mecánicas a flexotracción, a lo largo del tiempo, experimentan ligeras variaciones, encontrándose en el entorno  $64,6 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 90$  días) y  $70,0 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 180$  días); los valores correspondientes a las otras dos edades son  $66,5 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 56$  días) y  $65,9 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 360$  días).

Los valores de las resistencias de estas series de probetas, hechas con cemento 2 sin adición de escoria, son más bajos que los correspondientes a las distintas series fabricadas con las diversas mezclas cemento 2/escoria.

- Mezcla: cemento 2/escoria = 85/15 (en peso)

Las resistencias a flexotracción de las probetas de mortero hechas con esta mezcla presentan un hábito parecido a las del caso anterior (figura 6). Dichas resistencias pasan de  $75,3 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 56$  días) a  $80,5 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 180$  días), experimentando un ligero descenso a  $22 + 90$  días ( $73,5 \text{ kp/cm}^2$ ).

- Mezcla: cemento 2/escoria = 65/35 (en peso)

Como en las probetas hechas con las mezclas anteriores, las resistencias mecánicas a flexotracción experimentan ligeras variaciones con relación al valor de la primera edad ( $86,1 \text{ kp/cm}^2$ ). A  $22 + 360$  días se obtiene el valor menor ( $80,3 \text{ kp/cm}^2$ ).

- Mezcla: cemento 2/escoria = 40/60 (en peso)

En este caso, las resistencias mecánicas a flexotracción aumentan conforme lo hace el tiempo de conservación-ataque, pasando de  $86,5 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 56$  días) a  $93,3 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 360$  días).

- Mezcla: cemento 2/escoria = 30/70 (en peso)

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero correspondientes a las tres primeras edades es muy parecida; éstas se encuentran comprendidas entre  $83,7 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 180$  días) y  $84,6 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 + 90$  días). A  $22 + 360$  días se obtienen las resistencias mayores ( $92,1 \text{ kp/cm}^2$ ).

### c) Estudio comparativo de ambos sistemas

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas de mortero

fabricadas con cemento 2 y con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70, en peso, sumergidas en la disolución saturada de yeso durante 56 - 90 - 180 y 360 días, son superiores a las de las series análogas conservadas en agua potable filtrada durante los mismos períodos de tiempo (figuras 1, 2, 3 y 4). La evolución de dichas resistencias a lo largo del tiempo es parecida en ambos sistemas.

Del mismo modo, para las series de probetas hechas con una misma mezcla, y para todas las edades, las resistencias a flexotracción correspondientes al sistema cemento 2/escoria-disolución saturada de yeso son superiores a las del sistema cemento 2/escoria-agua potable filtrada (figuras 5 y 6).

En dichas figuras se puede observar que, para las resistencias mecánicas a flexotracción, existe una mezcla del sistema cemento 2/escoria-disolución saturada de yeso (cemento 2/escoria = 65/35, en peso) para la segunda edad (22 + 90 días) y otra mezcla (cemento 2/escoria = 40/60, en peso) para las tres edades restantes (22 + 56 días, 22 + 180 días y 22 + 360 días) que proporcionan las mayores resistencias de ambos sistemas.

En la tabla 1 (en donde se encuentran los valores de las resistencias de las distintas series de probetas de ambos sistemas, referidos al valor índice 100,0 kp/cm<sup>2</sup>) se confirma lo expuesto anteriormente y, además, se observa que los valores de las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas del sistema cemento 2/escoria-agua potable filtrada, excepto para las series de probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria para dos edades (22 + 90 días y 22 + 360 días), son mayores que dicho valor índice; así mismo, los valores de todas las series de probetas de mortero del sistema cemento 2/escoria-disolución saturada de yeso son superiores que dicho valor índice.

### 3.2. Resistencia química. Método acelerado de Koch-Steinegger

Los coeficientes de corrosión ( $R_t/R'_t$ ) son, en todos los casos, superiores al valor índice de Koch-Steinegger (0,70 para  $t = 22 + 56$  días), figuras 7 y 8, y mayores que la unidad al ser las resistencias a flexotracción de las diversas series de probetas sumergidas en la disolución saturada de yeso ( $R_t$ ) mayores que las de las series análogas sumergidas en agua potable filtrada ( $R'_t$ ).

En la tabla 4 se encuentran los valores de  $R_t/R'_t$  para las distintas edades y las diferentes mezclas, referidos al valor correspondiente a las probetas de mortero fabricadas con cemento 2 sin adición de escoria para  $t = 22 + 56$  días, al que se le ha asignado el valor 100,0. En dicha tabla se puede apreciar que los valores del coeficiente de corrosión Koch-Steinegger son superiores en todos los casos, excepto en cuatro; estos casos corresponden a las series de probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria, para  $t = 22 + 90$  días y  $22 + 180$  días, y con la mezcla cemento 2/escoria = 65/35, en peso, para  $t = 22 + 56$  días y  $22 + 180$  días.

T A B L A 4

Coeficientes de corrosión Koch-Steinegger ( $R_t/R'_t$ ). Valor índice = 100,0 para  $t = 22 + 56$  días

| Mezcla cemento 2/escoria (en peso) | Edad, días |       |       |       |
|------------------------------------|------------|-------|-------|-------|
|                                    | 56         | 90    | 180   | 360   |
| 100/0                              | 100,0      | 98,1  | 99,1  | 110,3 |
| 85/15                              | 100,9      | 100,0 | 105,6 | 110,3 |
| 65/35                              | 95,3       | 102,8 | 99,1  | 110,3 |
| 40/60                              | 101,9      | 104,7 | 112,1 | 118,7 |
| 30/70                              | 107,5      | 104,7 | 114,0 | 114,0 |

$R_t/R'_t$  (Koch-Steinegger) = 0,70 para  $t = 22 + 56$  días < > 65,4, referido a 1,07 (valor experimental para  $t = 22 + 56$  días).

#### a) Influencia de la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas de mortero

En la figura 7 puede observarse la influencia de la mezcla cemento 2/escoria utilizada

en la fabricación de las diversas series de probetas de mortero en el valor del coeficiente de corrosión para cada una de las edades estudiadas.

Por regla general, los coeficientes de corrosión aumentan conforme lo hace la cantidad de escoria en la mezcla utilizada para fabricar las probetas, de tal modo que los valores mayores, para cada edad, corresponden a las probetas hechas con las mezclas que tienen las mayores cantidades de escoria (60 y 70 %, en peso). Para  $t = 22 + 56$  días y  $22 + 180$  días los valores correspondientes a las series de probetas fabricadas con la mezcla cemento 2/escoria = 65/35, en peso, presentan valores menores y del mismo orden, respectivamente, que los de las probetas elaboradas con cemento 2 sin escoria (tabla 4).

b) *Influencia del tiempo de curado-conservación y ataque para las probetas de mortero hechas con una misma mezcla*

En la figura 8, en donde se ha representado la evolución de los coeficientes de corrosión de las diversas series de probetas hechas con cada mezcla cemento 2/escoria en función del tiempo de conservación-ataque (hasta 1 año), se aprecia que son del mismo orden en las tres primeras edades para las probetas hechas con cemento 2 y en las dos primeras edades para las probetas fabricadas con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 y 30/70, en peso. En los casos restantes son mayores para cada mezcla que el correspondiente a  $t = 22 + 56$  días.

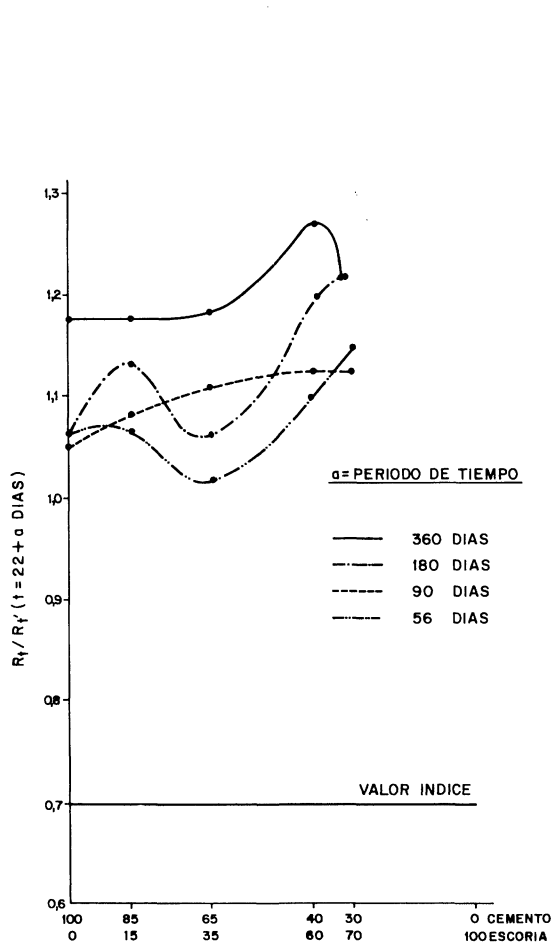


Fig. 7.—Evolución de los coeficientes de corrosión.

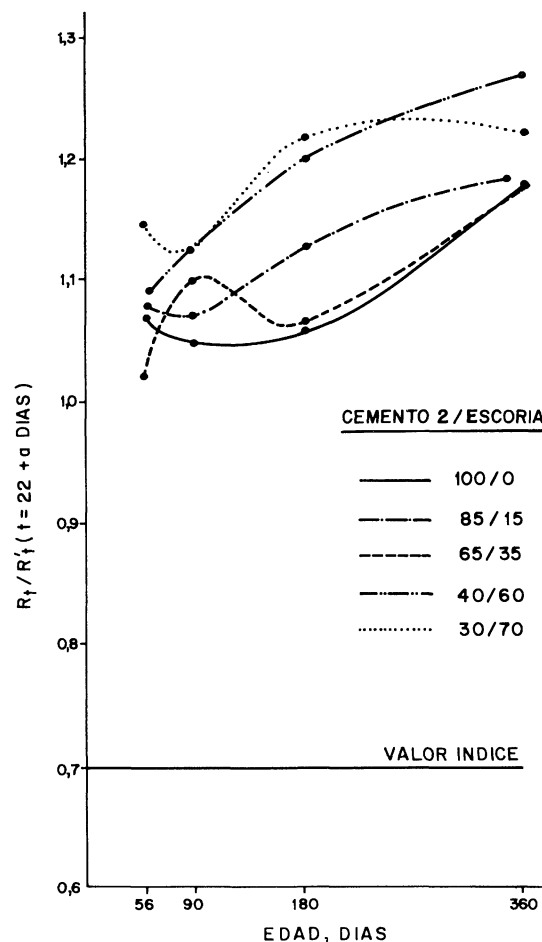


Fig. 8.—Evolución de los coeficientes de corrosión ( $\alpha = 56-90-180-360$  días).

## **4. CONCLUSIONES**

### **4.1. Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada**

#### **Primera**

Los valores de las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero (1:3) de  $1 \times 1 \times 6$  cm hechas con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70, en peso, sumergidas en agua potable filtrada durante el período de curado (21 días) y el de conservación (56, 90, 180 y 360 días) son superiores, para cada edad, a los correspondientes a las series de probetas fabricadas con cemento 2 sin adición de escoria. Los incrementos experimentados dependen de la cantidad de escoria en la mezcla utilizada y del tiempo de conservación.

#### **Segunda**

Los valores mayores de las resistencias mecánicas a flexotracción, para las tres primeras edades, corresponden a las series de probetas hechas con la mezcla que tiene 35 %, en peso, de escoria y para la cuarta edad, a las series de la mezcla que tiene el mayor contenido de escoria (70 %).

#### **Tercera**

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas fabricadas con las mezclas que tienen cantidades de escoria iguales o inferiores al 60 % son del mismo orden o ligeramente menores para cada mezcla, conforme aumenta el tiempo de conservación, que las de las series análogas conservadas durante 56 días bajo agua potable filtrada y del mismo orden o ligeramente superiores en el caso de las series hechas con la mezcla que tiene el mayor contenido de escoria (70 %).

### **4.2. Sistema: cemento 2/escoria-disolución saturada de yeso**

#### **Cuarta**

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas de mortero fabricadas con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70, en peso, sumergidas en la disolución saturada de yeso durante 56 - 90 - 180 y 360 días experimentan, para cada una de las edades, un incremento con relación a las de las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria; este incremento es función de la cantidad de escoria presente en la mezcla utilizada y del tiempo de conservación-ataque.

#### **Quinta:**

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas de mortero fabricadas con una misma mezcla, a lo largo del tiempo de conservación-ataque, experimentan variaciones de signo distinto.

#### **Sexta**

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas de mortero—fabricadas con cemento 2 y con las diversas mezclas cemento 2/escoria estudiadas, sumergidas en la disolución saturada de yeso— son, para cada edad, superiores a las de las series análogas conservadas en agua potable filtrada. La evolución de dichas resistencias, a lo largo del tiempo, es similar en ambos sistemas.

## Séptima

Los coeficientes de corrosión Koch-Steinegger (resistencia química) son superiores al valor índice (0,70 para  $t = 22 + 56$  días) y mayores de la unidad en todos los casos. Dichos coeficientes son función de la mezcla cemento 2/escoria utilizada en la fabricación de las probetas de mortero y del tiempo de conservación y de conservación-ataque.

## 5. BIBLIOGRAFIA

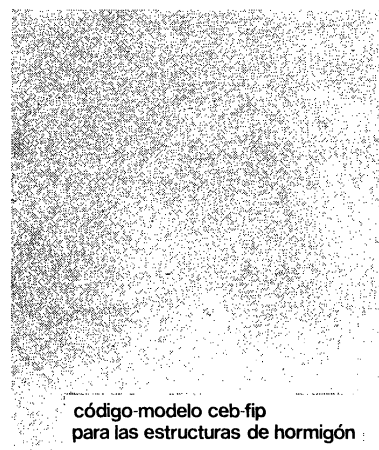
- (1) GASPAR-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 179, 59-79, (1980).
- (2) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPAR-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 182, 11-22, (1981).
- (3) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPAR-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 178, 17-38, (1980).
- (4) GASPAR-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 174, 43-70, (1979).
- (5) GASPAR-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 168, 33-60, (1977).
- (6) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPAR-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 169, 29-48, (1978).

## RECONOCIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento a las personas del Equipo de Durabilidad del IETcc: Amalia Rodríguez Pereira, Lucila López Solana, Felipe Cantero Palacios y Manuel Cantero Palacios por su valiosa colaboración en la realización de este trabajo.

\* \* \*

### publicación del i.e.t.c.c.



código-modelo ceb-fip  
para las estructuras de hormigón

El Instituto Eduardo Torroja, miembro activo tanto del Comité Eurointernacional del Hormigón (CEB), como de la Federación Internacional del Pretensado (FIP), ha tomado a su cargo la traducción y edición de esta importante normativa.

Aunque presentado con el título de «Código Modelo CEB/FIP 1978» este documento incorpora los dos primeros volúmenes de este «Sistema Unificado Internacional de Reglamentación Técnica de Ingeniería Civil». El primer volumen de este «Sistema Unificado» es el denominado «Reglas comunes Unificadas para los diferentes tipos de obras y materiales», donde se exponen los criterios y formatos de seguridad a que han de ajustarse los diferentes Códigos (estructuras de hormigón, estructuras metálicas, estructuras mixtas, estructuras de albañilería y estructuras de madera), que han de configurar la totalidad del antedicho sistema.

El segundo volumen es propiamente el Código Modelo para las Estructuras de Hormigón. Fruto de la colaboración de dos asociaciones del prestigio del CEB y la FIP, desde mediados de los 60, incorpora los avances científicos y tecnológicos producidos en los últimos años sin detrimento alguno de la claridad y operatividad que deben presidir un código que pretende ser, ante todo, un auxiliar práctico para los técnicos de la construcción.

El Código sigue en su estructura las reglas más o menos clásicas: una primera parte dedicada a los datos generales para el cálculo (propiedades de los materiales, datos relativos al pretensado, tolerancias); en segundo lugar se presentan las reglas de proyecto estructural (acciones, solicitaciones, estados límites últimos y de utilización, reglas de detalle para el armado); y, por último, ejecución, mantenimiento y control de calidad.

También incluye reglas para estructuras con elementos prefabricados y estructuras de hormigón con áridos ligeros. Los Anejos del Código se refieren a: terminología, proyecto mediante la experimentación, resistencia al fuego, tecnología del hormigón, comportamiento en el tiempo del hormigón y fatiga.

Un volumen encuadernado en cartón, de 21 x 30 cm, compuesto de 340 páginas, Madrid, mayo 1982.

Precios: España 2.500 ptas. Extranjero 50 \$USA.