

Resistencia química del hormigón

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

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

RESUMEN

En el presente trabajo, tercero de la nueva serie iniciada con un cemento portland industrial, se estudia la influencia que ejerce la adición de distintas cantidades de escoria a un cemento portland industrial (cemento 3 <> P-450) en su comportamiento químico-resistente cuando se somete, durante diversos periodos de tiempo, 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 x 1 x 6 cm fabricadas con dicho cemento 3 y con las mezclas cemento 3/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.

En este trabajo 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 3.

SUMMARY

In the present paper, third of the new series started with and industrial portland cement, there is studied the influence exerted by the addition of different quantities of slag to an industrial portland cement (cement 3 <> P-450) in its chemical-resistant behavior when subjected, during various periods of time, to the action of a saturated dissolution of gypsum determining the evolution of the chemical resistance by the Koch-Steinegger method, as well as the mechanical resistances to flexotraccion of mortar specimens (1:3) of 1 x 1 x 6 cm manufactured with the cement 3 and with the mixtures cement 3/slag = 85/15, 65/35, 40/60 and 30/70 in weight, sinking in filtered potable water a series of twelve (12) specimens and in a saturated dissolution of gypsum similar to the previous one, during 56-90-180 and 360 days, after having cured them during twenty four (24) hours in an enclosure saturated of humidity at 20 ± 2°C and, following, twenty one (21) days under filtered potable water.

In this work there has been shown the favorable action that, from a mechanical-resistant point of view, is exerted by the addition of slag, in a special manner, of high quantities, to cement 3.

1. INTRODUCCION

En otras publicaciones (1) (2) se estudió la influencia que ejerce la adición de escoria a un cemento portland (cemento 3 <> P-450), designado como cemento 3, cuando diversas series de 12 probetas de mortero (1:3), cada una, fabricadas con dicho cemento 3 y con las mezclas cemento 3/escoria = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70, en peso, se someten a la acción del agua de mar artificial (ASTM D1141-73) (*) y del agua potable filtrada (**), después de haberlas curado 24 horas en un recinto saturado de humedad a 20 ± 2°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 (períodos de conservación-ataque, primer sistema, y

(*) Sistema: cemento 3/escoria-agua de mar artificial.

(**) Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.

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), de conservación (agua potable filtrada) (2) y de conservación-ataque (agua de mar artificial), de las que 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 3/escoria-agua potable filtrada (2) y cemento 3/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 3 <> P-450, objeto de otras publicaciones (1) (2), y con las mezclas de dicho cemento 3 con la escoria siderúrgica de (1) (2) (3) en las siguientes proporciones: cemento 3/escoria = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70, en peso, sumergidas en una disolución saturada de yeso (sistema: cemento 3/escoria-disolución saturada de yeso).

2. PARTE EXPERIMENTAL

En este trabajo se estudia la influencia que ejerce la adición de la escoria granulada molida de (1) (2) (4) al cemento 3 <> P-450 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 dihidratado 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 3 y con las mezclas cemento 3/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 (P-450), cemento 3 de (1) (2), que tiene la siguiente composición potencial calculada (Bogue):

$$C_3S = 56,4 \% ; C_2S = 10,5 \% ; C_3A = 9,7 \% \text{ y } C_4AF = 7,9 \%$$

La escoria siderúrgica empleada, que procede de la industria española, se ha molido hasta conseguir una superficie específica (Blaine) de $4.030 \text{ cm}^2/\text{g}$; 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_2 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 yeso, con una concentración de SO_4 (II) $\simeq 1,100 \text{ g/l}$*

La disolución saturada de yeso se ha preparado disolviendo yeso natural (tiene una riqueza de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 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_4); dicha concentración es $1,099 \text{ g/l}$.

d) *Agua potable filtrada*

Como medio de curado para todas las series de probetas y de conservación para las series testigo de probetas se ha empleado agua potable (Canal de Isabell 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 y un pH = 7,4.

2.2. Técnica operatoria

a) *Preparación de las mezclas cemento 3/escoria*

A partir del cemento 3 y de la escoria siderúrgica con unas superficies específicas (Blaine) de $3.748 \text{ cm}^2/\text{g}$ y $4.030 \text{ cm}^2/\text{g}$, respectivamente, se han preparado las siguientes mezclas binarias (en peso):

Cemento 3/escoria = 100/0; 85/15; 65/35; 40/60 y 30/70.

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 $1 \times 1 \times 6 \text{ cm}$ —preparadas con $a/c = 0,60$ — se han utilizado veinte series de 12 probetas cada una para el sistema cemento 3/escoria-agua potable filtrada y otras 20 para el sistema cemento 3/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 de 800 ml/serie-edad 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.

Los depósitos con el agua potable filtrada o con la disolución saturada de yeso, en donde se han sumergido, hasta el momento de su rotura, las diversas series de probetas de mortero, así como los del agua potable filtrada 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 mecánicas 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 (**), 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 3/escoria utilizada en la fabricación de dichas probetas.

En las figuras 5 y 6 se incluye la variación de las mencionadas resistencias para las probetas de mortero hechas con cada mezcla, en función del tiempo de curado (fijo) y de conservación o de conservación-ataque (variable), 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, en la primera, y en dicha disolución saturada de yeso, en la segunda, referidos al valor índice ($100,0 \text{ kp/cm}^2$) adjudicado a las series de probetas hechas con cemento 3 sin adición de escoria, sumergidas durante 56 días en agua potable filtrada (tabla 1) y durante el mismo período de tiempo en la disolución saturada de yeso (tabla 3).

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: cemento 3/ escoria (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	92,1	86,0	74,5	97,3	93,3	96,4	94,6
85/15	105,2	103,7	98,9	98,9	126,1	121,5	108,6	108,0
65/35	115,5	115,0	112,3	94,3	129,7	123,6	120,9	124,4
40/60	116,5	118,2	108,7	107,9	121,2	127,2	132,5	137,8
30/70	109,0	116,9	101,6	114,8	107,4	113,6	112,8	130,4

En la tabla 2 se encuentran los valores de las mencionadas resistencias referidos al valor índice ($100,0 \text{ kp/cm}^2$), asignado a cada una de las series de probetas fabricadas con cemento 3/escoria = 100/0 sumergidas en agua potable filtrada o en la disolución saturada de yeso durante 56 - 90 - 180 y 360 días.

a) Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero hechas con las dis-

(*) Dadas las condiciones de conservación-ataque de las probetas de mortero no se han sometido al ensayo por compresión.

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

tintas mezclas cemento 3/escoria, sumergidas en agua potable filtrada (R'_{t_1}) y para cada una de las diferentes edades estudiadas, son mayores que las correspondientes a las probetas fabricadas con cemento 3 sin adición de escoria (figuras 1 a 4, tabla 2). Los incrementos experimentados dependen de la cantidad de escoria en la mezcla utilizada para fabricar las mencionadas probetas y del tiempo de conservación.

TABLA 2

Resistencias mecánicas a flexotracción. Valor índice = 100,0 kp/cm² para t = 56 - 90 - 180 y 360 días; medios de conservación: agua potable filtrada y disolución saturada de yeso

Mezcla : cemento 3/ escoria (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	105,2	112,6	115,0	132,7	129,6	130,3	112,6	114,2
65/35	115,5	124,9	130,7	126,5	133,3	132,6	125,4	131,5
40/60	116,5	128,3	126,5	144,8	124,6	136,4	137,4	145,8
30/70	109,0	126,9	118,2	154,0	110,5	121,8	116,9	137,9

TABLA 3

Resistencias mecánicas a flexotracción. Valor índice = 100,0 kp/cm², para t = 56 días; medio de conservación: disolución saturada de yeso

Mezcla : cemento 3/ escoria	Edad, días			
	56	90	180	360
100/0	100,0	95,9	99,1	97,2
85/15	129,6	124,9	111,6	111,0
65/35	133,3	127,1	124,3	127,8
40/60	124,6	130,8	136,2	141,7
30/70	110,5	116,8	115,9	134,0

Las resistencias de las probetas elaboradas con una misma mezcla son, a lo largo del tiempo, del mismo orden hasta una determinada edad, y menores para las restantes, que las de las series análogas conservadas durante 56 días (figura 7 y tabla 1); sin embargo, las resistencias de las series hechas con la mayor cantidad de escoria (70 %) son superiores, excepto las correspondientes a la edad $t = 22 + 180$ días.

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las series de probetas fabricadas con las mezclas cemento 3/escoria = 85/15 (para las edades 22 + 56 días y 22 + 90 días), 65/35 (para las tres primeras edades), 40/60 y 30/70, en peso, (ambas, para todas las edades) son superiores al valor índice (100,0 kp/cm²), asignado a la serie de probetas confeccionadas con cemento 3 sin adición de escoria para la edad de 22 + 56 días (tabla 1).

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

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

- Edad: 22 + 56 días (figura 1)

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas hechas con las diversas mezclas cemento 3 y escoria son superiores que las correspondientes a las series hechas solo con cemento 3, experimentando un aumento comprendido entre 5,2 y 16,5 % (tablas 1 y 2); los

valores mayores corresponden a las dos series elaboradas con las mezclas cemento 3/escoria = 65/35 y 40/60, en peso.

- Edad: 22 + 90 días (figura 2)

Del mismo modo que en el caso anterior, las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas fabricadas con las diversas mezclas cemento 3/escoria experimentan un incremento, con relación a las de las probetas elaboradas solo con cemento 3. Los valores más altos corresponden a las series de probetas hechas con las tres mezclas que tienen las mayores cantidades de escoria (35, 60 y 70 %); estos valores se encuentran comprendidos entre 80,3 y 82,5 kp/cm^2 , lo que representa unos incrementos del 24,9 % al 28,3 % (tabla 2) con relación a los valores de la serie confeccionada con cemento 3 sin adición de escoria.

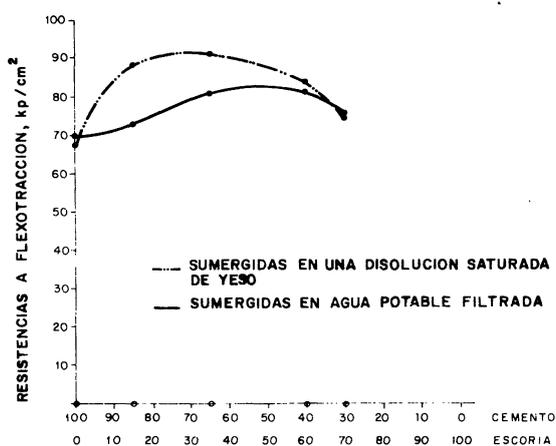


Fig. 1.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Edad: (22 + 56 días).

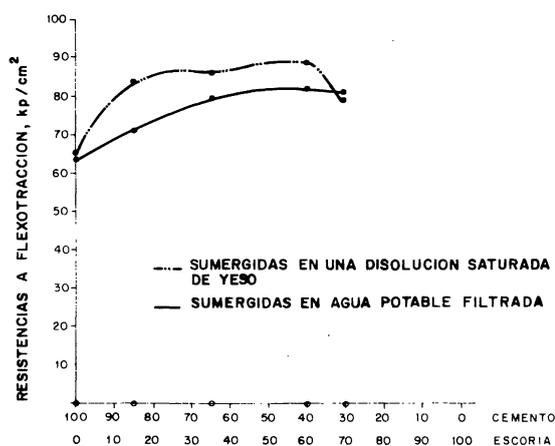


Fig. 2.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Edad: (22 + 90 días).

El valor mayor lo ha proporcionado la serie de probetas hechas con cemento 3/escoria = 40/60, en peso.

- Edad: 22 + 180 días (figura 3)

En este caso se pueden hacer consideraciones análogas a las de los dos casos anteriores; las mayores resistencias (78,4 kp/cm^2 , supone un incremento del 30,7 %, tabla 2) corresponden a las probetas hechas con la mezcla cemento 3/escoria = 65/35, en peso.

- Edad: 22 + 360 días (figura 4)

A esta edad, las resistencias mecánicas de las series de probetas elaboradas con las mezclas cemento 3/escoria = 100/0 y 65/35, en peso, son menores que las correspondientes a las restantes edades de las mismas mezclas (tabla 1), mientras que las de las mezclas 85/15 y 40/60, en peso, son del mismo orden que las de la edad 22 + 180 días e inferiores que las de las restantes edades; por el contrario, las de la mezcla 30/70, en peso, son las mayores de esta edad (80,1 kp/cm^2 , con un incremento del 54 % —tabla 2— con relación a las de la serie hecha sólo con cemento 3; 52 kp/cm^2).

Del mismo modo que en los casos anteriores, la adición de escoria al cemento 3 con relación a la serie hecha sólo con cemento 3, produce un incremento de las mencionadas resistencias comprendido entre el 26,5 % y el 54,0 %.

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

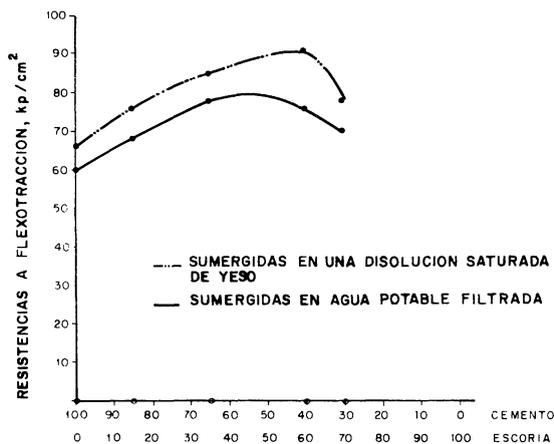


Fig. 3.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Edad: (22 + 180 días).

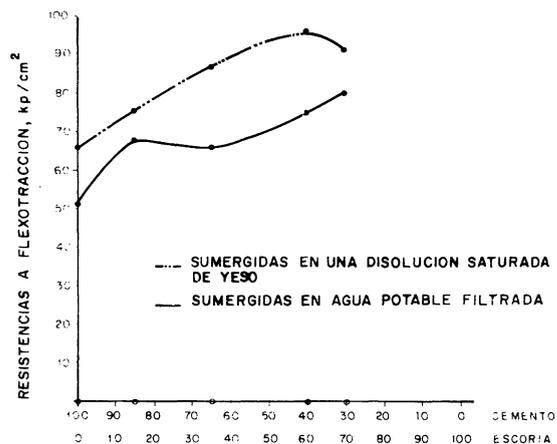


Fig. 4.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Edad: (22 + 360 días).

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

- Mezcla: Cemento 3/escoria = 100/0 (en peso)

Las resistencias mecánicas a flexotracción en las cuatro edades estudiadas, que son más bajas que las de las distintas series de probetas elaboradas con las diversas mezclas cemento 3/escoria, disminuyen conforme aumenta el tiempo de conservación (tabla 1, figura 5); en efecto, pasan de 69,8 kp/cm² (22 + 56 días) a 52,0 kp/cm² (22 + 360 días), habiendo experimentado una disminución del 25,5 %.

- Mezcla: cemento 3/escoria = 85/15 (en peso)

La evolución de las resistencias mecánicas de esta serie es parecida a la de la mezcla anterior; disminuyen desde $t = 22 + 56$ días (73,4 kp/cm²) a $t = 22 + 180$ días (69,0 kp/cm²). A 22 + 360 días presentan el mismo valor que para la edad anterior.

- Mezcla: cemento 3/escoria = 65/35 (en peso)

Las resistencias mecánicas, en esta serie, disminuyen con el tiempo de conservación (figura 5 y tabla 1) pasando de 80,6 kp/cm² para la edad de 22 + 56 días a 65,8 kp/cm² a 22 + 360 días. Los incrementos experimentados por dichas resistencias para cada edad, con relación a los valores de las probetas hechas con cemento 3 sin adición de escoria, oscilan desde 15,5 % para 22 + 56 días a 30,7 % para 22 + 180 días (tabla 2).

- Mezcla: cemento 3/escoria = 40/60 (en peso)

En esta serie, las resistencias mecánicas de las dos primeras edades son del mismo orden (81,3 kp/cm² y 82,5 kp/cm²), así como las de las dos últimas edades (75,9 kp/cm² y 75,3 kp/cm²). Los valores de dichas resistencias son más altos, excepto para 22 + 180 días, que los de las mezclas anteriores.

- Mezcla: cemento 3/escoria = 30/70 (en peso)

Los valores de las resistencias correspondientes a las edades 22 + 90 días y 22 + 360 días, superiores a las de las otras dos edades, son del mismo orden (81,6 kp/cm² y 80,1 kp/cm², respectivamente). El incremento experimentado por la serie de probetas correspondiente a 22 + 360 días, con relación al valor de las probetas hechas con cemento 3 sin adición de escoria y a la misma edad, es el mayor de todo el conjunto (54 %), como puede apreciarse en la tabla 2.

b) *Sistema: cemento 3/escoria-disolución saturada de yeso*

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas de mortero hechas con las mezclas cemento 3/escoria estudiadas, con relación a las de las probetas hechas solo con cemento 3, experimentan un incremento, para cada edad, que depende de la cantidad de escoria (figuras 1 a 4, tabla 2), existiendo una mezcla óptima que proporciona los aumentos más elevados.

Por otra parte, dichas resistencias mecánicas aumentan, a lo largo del tiempo, en las series de probetas fabricadas con las mezclas que tienen los mayores contenidos de escoria (60 y 70 %), mientras que disminuyen en las tres primeras edades en las otras dos series que corresponden a las mezclas cemento 3/escoria = 85/15 y 65/35, en peso (figura 6, tablas 1 y 3).

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas de mortero fabricadas con cada una de las mezclas cemento 3 y escoria, sumergidas en la disolución saturada de yeso, son superiores al valor índice (100,0 kp/cm²) asignado a las probetas de mortero hechas con cemento 3 sin adición de escoria para $t = 22 + 56$ días; por el contrario, las resistencias de las restantes series de probetas elaboradas sólo con cemento 3 son inferiores (tabla 1).

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

- Edad: 22 + 56 días (figura 1)

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las series de probetas de mortero, fabricadas con las diversas mezclas cemento 3/escoria, son mayores que las correspondientes a las series elaboradas sólo con cemento 3, experimentando un incremento que se encuentra comprendido entre 10,5 % y 33,3 % (tabla 2) para las probetas de las series cemento 3/escoria = 30/70 y 65/35, en peso, respectivamente.

- Edad: 22 + 90 días (figura 2)

Del mismo modo que en el caso anterior, las resistencias mecánicas a flexotracción de las series de probetas hechas con las mezclas cemento 3/escoria son mayores que las de las series fabricadas con dicho cemento 3, habiendo experimentado un incremento que se encuentra en el entorno 21,8 % a 36,4 % (tabla 2), según se trate de las probetas de las series elaboradas con las mezclas cemento 3/escoria 30/70 y 40/60, en peso, respectivamente.

- Edad: 22 + 180 días (figura 3)

La evolución de las resistencias a flexotracción de las series de probetas de mortero sumergidas en la disolución saturada de yeso es análoga a la de las series de probetas sumergidas en agua potable filtrada, presentando aquéllas valores más elevados.

Las mencionadas resistencias a flexotracción de las diversas series hechas con las mezclas estudiadas de cemento 3 y escoria son mayores que las correspondientes a las probetas fabricadas sólo con cemento 3 (tabla 2), experimentando un incremento comprendido entre 12,6 y 37,4 % para las series hechas con las mezclas cemento 3/escoria = 85/15 y 40/60, en peso, respectivamente.

- Edad: 22 + 360 días (figura 4)

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las series de probetas hechas con las mezclas estudiadas cemento 3 y escoria, como en los casos anteriores, son mayores que las de las series fabricadas sólo con cemento 3 (tabla 2), experimentando un incremento comprendido

entre 14,2 y 45,8 %, según se trate de las series de probetas elaboradas con las mezclas cemento 3/escoria = 85/15 y 40/60, en peso, respectivamente.

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

En la figura 6 se puede observar la evolución de las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas hechas con cemento 3 y con las diversas mezclas estudiadas cemento 3/escoria, a lo largo del tiempo (56 - 90 - 180 y 360 días, edades que por el momento se han estudiado), sumergidas en la disolución saturada de yeso.

Así mismo, en dicha figura, se aprecia la influencia favorable que ejerce la adición de escoria al cemento 3; los valores menores, a todas las edades, corresponden a las series de probetas hechas con cemento 3 sin adición de escoria y los mayores para 90 - 180 y 360 días a las series de probetas fabricadas con la mezcla cemento 3/escoria = 40/60, en peso, y para la primera edad (56 días) a la serie elaborada con la mezcla que tiene 35 % de escoria.

- Mezcla: cemento 3/escoria = 100/0 (en peso)

Las resistencias mecánicas a flexotracción, a lo largo del tiempo, experimentan ligeras variaciones, encontrándose en el entorno 65,1 kp/cm² (22 + 90 días) y 67,9 kp/cm² (22 + 56 días). Los valores correspondientes a las otras dos edades son 67,3 kp/cm² (22 + 180 días) y 66,0 kp/cm² (22 + 360 días).

Los valores de dichas resistencias de estas series de probetas, hechas con cemento 3 sin adición de escoria, son más bajos que los correspondientes a las series fabricadas con las diversas mezclas estudiadas cemento 3/escoria (figura 6).

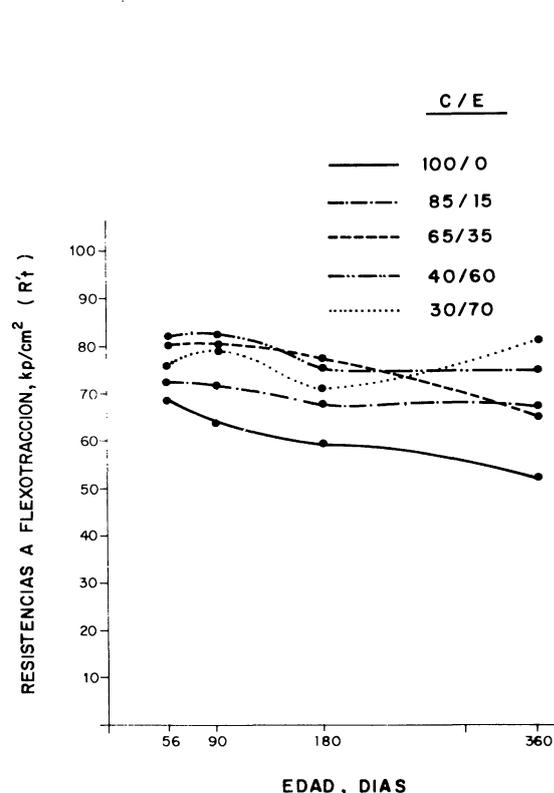


Fig. 5.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Probetas sumergidas en agua potable filtrada.

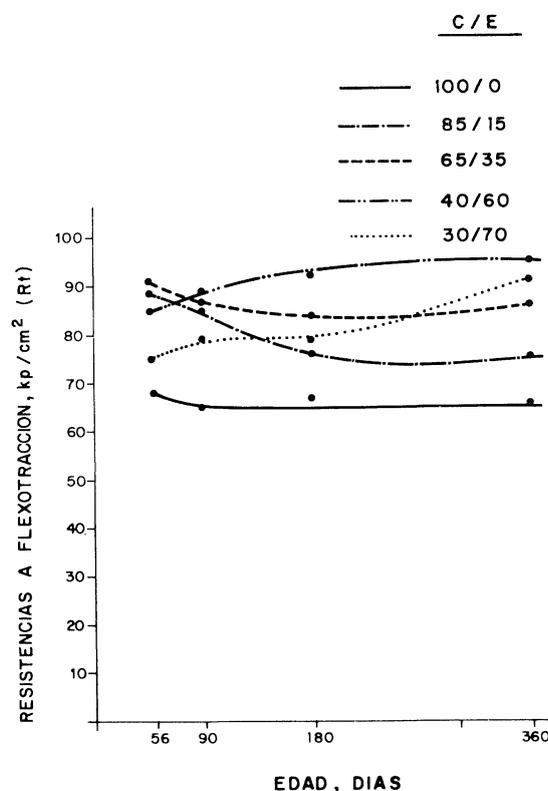


Fig. 6.—Evolución de las resistencias a flexotracción. Probetas sumergidas en la disolución saturada de yeso.

- Mezcla: cemento 3/escoria = 85/15 (en peso).

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las series de probetas de mortero hechas con esta mezcla disminuyen a lo largo del tiempo (tabla 3, figura 6), pasando de 88 kp/cm² (22 + 56 días) a 75,8 kp/cm² (22 + 180 días) y a 75,4 kp/cm² (22 + 360 días).

- Mezcla: cemento 3/escoria = 65/35 (en peso).

Del mismo modo que en el caso anterior, las resistencias mecánicas a flexotracción de las series de probetas de mortero, hechas con la mezcla que tiene el 35 % (en peso) de escoria, disminuyen desde la primera edad hasta la tercera, recuperándose parcialmente a la cuarta (tabla 3); así, pasan de 90,5 kp/cm² (22 + 56 días) a 84,4 kp/cm² (22 + 180 días) y a 86,8 kp/cm² (22 + 360 días).

- Mezcla: cemento 3/escoria = 40/60 (en peso).

En este caso, las resistencias mecánicas a flexotracción experimentan un incremento, conforme lo hace el tiempo de conservación-ataque en la disolución saturada de yeso, pasando de 84,6 kp/cm² (22 + 56 días) a 96,2 kp/cm² (22 + 360 días). Con esta mezcla se obtienen, para las tres edades mayores, los valores más altos de todo el conjunto.

- Mezcla: cemento 3/escoria = 30/70 (en peso).

Los valores de las resistencias mecánicas a flexotracción de las series de probetas hechas con esta mezcla experimentan, con relación a la primera edad (22 + 56 días), un incremento. Dichos valores pasan de 75,0 kp/cm² (22 + 56 días) a 79,3 kp/cm² (22 + 90 días) y a 91,0 kp/cm² (22 + 360 días); a 22 + 180 días se obtienen valores (78,7 kp/cm²) muy parecidos a los de la segunda edad.

c) *Estudio comparativo de ambos sistemas*

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas de mortero hechas con cemento 3 y con las mezclas cemento 3/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 mayores que las correspondientes a las de las series análogas conservadas en agua potable filtrada durante los mismos períodos de tiempo, excepto para las series fabricadas sólo con cemento 3 y con la mezcla cemento 3/escoria = 30/70 (en peso) para 22 + 56 días, ambas series, y para 22 + 90 días la segunda serie, que son ligeramente inferiores (figuras 1, 2, 3 y 4).

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— excepto para las series de probetas hechas con las mezclas cemento 3/escoria = 100/0 (en peso), para $t = 22 + 56$ días, y 30/70 (en peso), para $t = 22 + 56$ días y $22 + 90$ días— al ser las resistencias mecánicas 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 3 sin adición de escoria para $t = 22 + 56$ días, al que se le ha asignado el valor índice = 100,0. En dicha tabla se puede apreciar que dichos valores del coeficiente de corrosión Koch-Steinegger son superiores al valor índice en todos los casos, excepto para la serie de probetas hechas con la mezcla cemento 3/escoria = 30/70, en peso, para $t = 22 + 90$ días, que también es 100,0.

TABLA 4

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

Mezcla : cemento 3/ /escoria (en peso)	Edad, días			
	56	90	180	360
100/0	100,0	104,1	115,5	130,9
85/15	123,7	120,6	113,4	112,4
65/35	115,5	110,3	110,3	136,1
40/60	107,2	110,3	125,8	132,0
30/70	101,0	100,0	114,4	116,5

R_t/R'_t (Koch-Steinegger) = 0,70 para $t = 22 + 56$ días < > 72,2, referido a 0,97 (valor experimental para $t = 22 + 56$ días).

= 100/0, 40/60 y 30/70, en peso) y una disminución en otros casos a todas o en ciertas edades, como sucede con las series de probetas elaboradas con las mezclas cemento 3/escoria = 85/15 y 65/35 (en peso), respectivamente, figura 8 y tabla 4.

En las figuras 7 y 8 puede observarse la evolución de los coeficientes de corrosión para cada edad, en función de la mezcla utilizada para preparar las probetas de mortero, en la primera figura, y para cada mezcla cemento 3/escoria, en función del tiempo de curado + conservación (series de probetas sumergidas en agua potable filtrada) y de curado + conservación-ataque (series de probetas sumergidas en agua potable filtrada y en la disolución saturada de yeso).

Los coeficientes de corrosión de las diversas series hechas con una mezcla, con relación a los valores correspondientes a 22 + 56 días, experimentan un incremento conforme lo hace el tiempo de conservación y de conservación-ataque de las probetas de mortero en determinados casos (series de probetas fabricadas con las mezclas cemento 3/escoria =

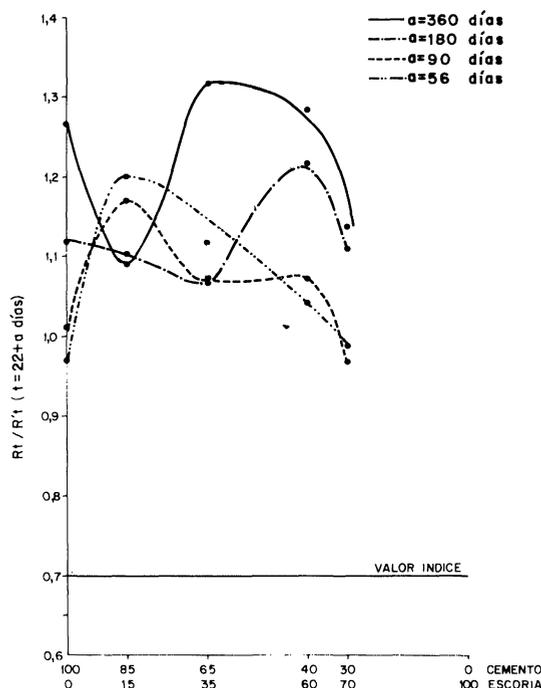


Fig. 7.—Evolución de los coeficientes de corrosión; ($a = 56-90-180-360$ días).

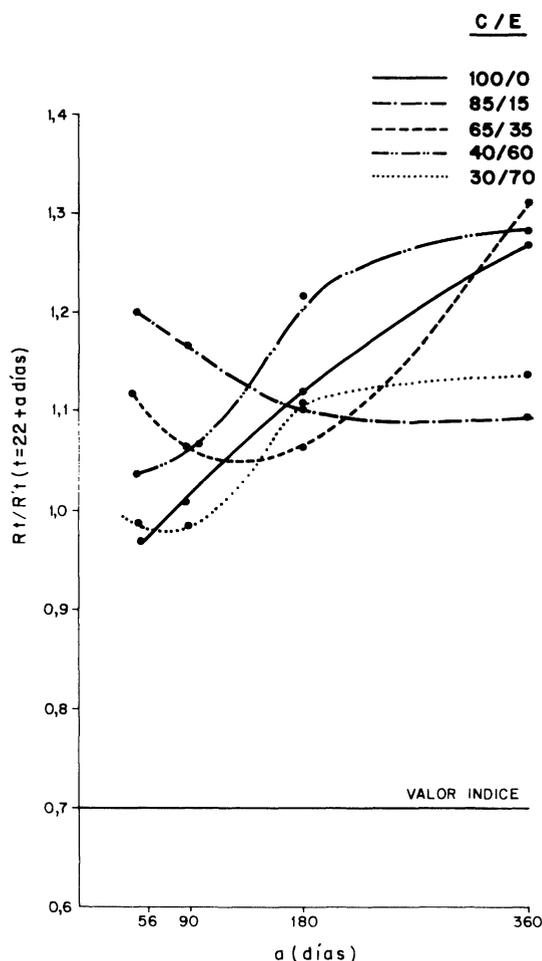


Fig. 8.—Evolución de los coeficientes de corrosión; ($a = 56-90-180-360$ días).

4. CONCLUSIONES

4.1. Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada

Primera

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas de mortero (1:3) de $1 \times 1 \times 6$ cm hechas con las mezclas cemento 3/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 mayores, para cada edad, que las correspondientes a las series de probetas fabricadas con el mencionado cemento 3 sin adición de escoria. Los incrementos experimentados dependen del contenido de escoria presente en la mezcla utilizada.

Segunda

Los valores mayores de las resistencias mecánicas a flexotracción corresponden a las series de probetas hechas con la mezcla que tiene 60 % de escoria, para las dos primeras edades, 35 % de escoria para la tercera edad y 70 % de escoria para la cuarta edad.

Tercera

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas, fabricadas con las mezclas que tienen cantidades iguales o inferiores al 60 % de escoria, son del mismo orden en las dos primeras edades, experimentando una disminución en las otras dos edades.

4.2. Sistema: cemento 3/escoria-disolución saturada de yeso

Cuarta

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas de mortero, fabricadas con las mezclas cemento 3/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 los valores de las series hechas con cemento 3 sin adición de escoria; este incremento es función de la cantidad de escoria presente en la mezcla utilizada y del tiempo de conservación-ataque. Existe una mezcla óptima que proporciona los mayores incrementos; esta mezcla es la que tiene 60 % de escoria para las tres edades mayores.

Quinta

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las diversas series de probetas de mortero fabricadas con una mezcla cemento 3 - escoria dada, a lo largo del tiempo de conservación-ataque, aumentan en las series hechas con las mezclas que tienen los mayores contenidos de escoria (60 y 70 %), mientras que en las restantes series, que corresponden a las mezclas que tienen 15 y 35 % de escoria, disminuyen en las tres primeras edades.

Los valores menores de dichas resistencias, a todas las edades, corresponden a las series de probetas elaboradas con cemento 3 sin adición de escoria.

Sexta

Las resistencias mecánicas a flexotracción de las distintas series de probetas de mortero, fabricadas con cemento 3 y con las diversas mezclas estudiadas de dicho cemento 3 con

escoria, sumergidas en la disolución saturada de yeso son, para cada edad, mayores que las correspondientes a las series análogas conservadas en agua potable filtrada, excepto para las series hechas con cemento 3 y con la mezcla que tiene 70 % de escoria para las edades 22 + 56 días, en ambas series, y 22 + 90 días en la segunda.

Séptima

Los coeficientes de corrosión Koch-Steinenger (resistencia química) son superiores al valor índice (0,70 para $t = 22 + 56$ días). Dichos coeficientes son función de la mezcla cemento 3/escoria utilizada en la fabricación de las probetas de mortero y del tiempo de conservación y de conservación-ataque.

5. BIBLIOGRAFIA

- (1) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPARE-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 180, 99-120, (1980).
- (2) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 183, 33-44, (1981).
- (3) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPARE-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 178, 17-38, (1980).
- (4) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 174, 43-70, (1979).
- (5) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 168, 33-60, (1977).
- (6) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPARE-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.

* * *

publicaciones del i.e.t.c.c.



Manuel Fernández Cánovas
Dr. Ingeniero de Construcción

Este libro, el primero en lengua castellana sobre **resinas epoxi** aplicadas a la construcción, está dirigido a arquitectos, ingenieros, constructores y aplicadores. En él, sobre una reducida base teórica imprescindible, se asienta toda una extensa gama de aplicaciones de gran interés.

El autor trabaja desde hace muchos años en el campo de la investigación, especialmente en el estudio de refuerzos y reparaciones estructurales realizados con **resinas epoxi**.

Con un lenguaje sencillo se tocan todos los problemas que pueden presentarse en la construcción y en los que la solución puede radicar en el correcto empleo de las **resinas epoxi**.

Se estudian los componentes de las formulaciones **epoxi**, sus propiedades físicas y químicas, y aplicaciones, deteniéndose, detalladamente, en las siguientes:

Unión de hormigón fresco a hormigón endurecido.—Unión de hormigones entre sí.—Inyecciones de fisuras y grietas.—Unión de acero a hormigón.—Barnices y pinturas.—Las combinaciones brea-epoxi.—Revestimientos de depósitos alimenticios.—Sellado de superficies cerámicas.—Protección de tubos.—Los suelos epoxi en sus diferentes variantes.—Terrazo epoxi.—Reparación de baches.—Reparación de desperfectos en estructuras.—Reparación de carreteras de hormigón.—Juntas elásticas.—Guardacantos de tableros de puentes.—Refuerzos de pilares, vigas, forjados y zapatas, etc.—Consolidación de suelos.—Anclajes.—Protección de aceros en pretensado.

Se termina con unos capítulos dedicados a la limpieza y preparación de las superficies según los materiales a unir; al control del estado superficial de éstos; a las condiciones de temperatura de aplicación; limpieza de los útiles de trabajo; precauciones en el manejo de los sistemas; almacenaje, mezcla y manejo de las formulaciones epoxi y métodos de ensayo de sistemas y aplicaciones epoxidicas.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 334 páginas y 158 figuras y fotografías.

Madrid, 1981.

Precios: España, 1.700 ptas.; extranjero, \$ USA 34.00.