

# Resistencia química del hormigón

## XII.- Influencia de la adición de escoria a un cemento portland. Estudio por DRX del sistema cemento 3/escoria-agua potable filtrada

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

### RESUMEN

En el presente trabajo [continuación de otro en el que se dio cuenta de las variaciones que experimentan las resistencias mecánicas a flexotracción y de la evolución de los coeficientes de corrosión de probetas de mortero (1:3) sumergidas en agua potable filtrada y en agua de mar artificial ASTM D 1141-75] se estudia por DRX la composición estructural de las nuevas fases sólidas formadas en los medios de curado y de conservación (agua potable filtrada), en donde han estado sumergidas las distintas series testigo de probetas de mortero (1:3) de  $1 \times 1 \times 6$  cm, hechas con el cemento portland, cemento 3 <> <> P-450, y con las mezclas cemento 3/escoria granulada (vítrea) = 85/15-65/35-40/60 y 30/70 (en peso) durante 21 días en el primer período y 56-90-180 y 360 días en el segundo, así como la evolución de las fases cristalinas de la fracción enriquecida (cemento hidratado) extraída de uno de los prismas de cada serie de probetas de mortero.

### 1. INTRODUCCION

En un trabajo anterior (1) se estudió la evolución que experimenta la resistencia química por el método de Koch-Steinegger y las modificaciones experimentadas por las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero (1:3) de  $1 \times 1 \times 6$  cm hechas con un cemento portland (cemento 3 <> P-450) y con las mezclas cemento 3/escoria granulada (vítrea) = 85/15-65/35-40/60 y 30/70 (en peso) sumergidas en agua potable filtrada (\*), unas series de 12 probetas, y en agua de mar artificial (ASTM D 1141-75) (\*\*), otras series análogas, durante 56-90-180 y 360 días (período de conservación) después de haberlas curado 24 horas en un recinto saturado de humedad y, a continuación, bajo agua potable filtrada durante 21 días (período de curado).

En el presente trabajo, continuación de (1) y que se ampliará con otros, se estudia por DRX la composición estructural de las nuevas fases sólidas formadas en los medios de

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

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

curado y conservación (agua potable filtrada), así como la evolución de las características estructurales de la fracción enriquecida, extraída de uno de los prismas de mortero de cada serie de probetas del sistema cemento 3/escoria-agua potable filtrada.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Con el fin de conocer la composición estructural de las nuevas fases sólidas formadas en los medios de curado y de conservación (agua potable filtrada), así como la evolución de las características estructurales que han sufrido los compuestos cristalinos del cemento hidratado sometido a la acción del agua potable filtrada, se ha realizado el estudio por difracción de rayos X de la fracción enriquecida extraída de las probetas de mortero del sistema cemento 3/escoria-agua potable filtrada y de las mencionadas fases sólidas.

### 2.1. Preparación de la fase sólida

La nueva fase sólida formada en los medios de curado (21 días) y de conservación (56-90-180 y 360 días), en donde han estado sumergidas las probetas, se ha separado por filtración y se ha secado con una corriente de nitrógeno. A continuación se han determinado por difracción de rayos X los compuestos cristalinos que existen.

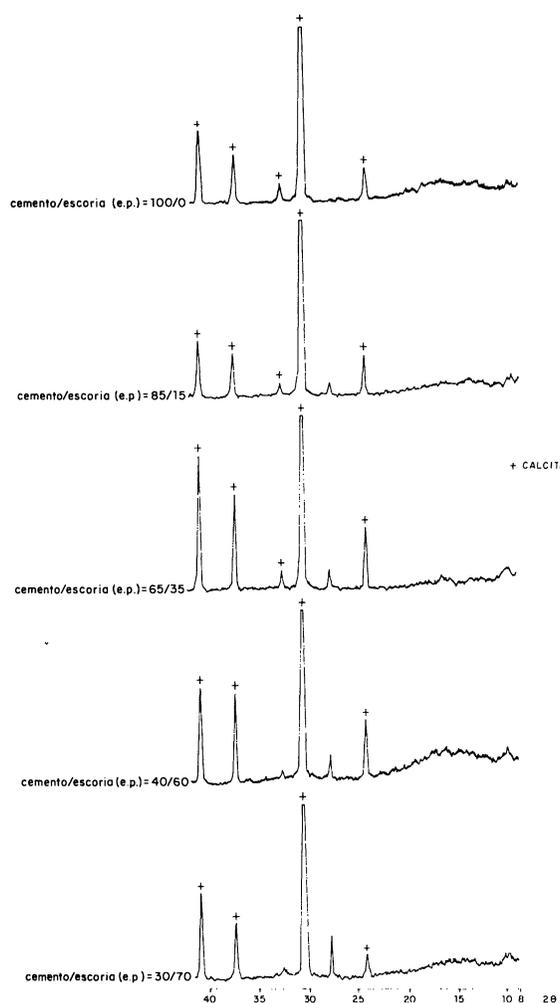


Fig. 1.—Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.

DRX de la fase sólida formada en los medios de curado.

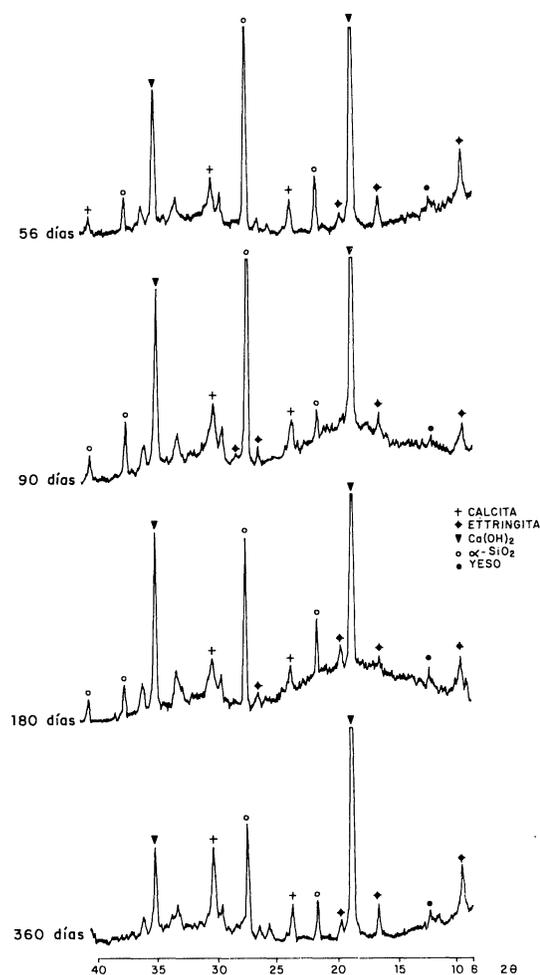


Fig. 2.—Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.

Mezcla: cemento 3/escoria = 100/0 (en peso).  
DRX de la fracción enriquecida.

## 2.2. Preparación de la fracción enriquecida

La fracción enriquecida, extraída de uno de los prismas de las distintas series de probetas de mortero fabricadas con las mezclas señaladas en (1) y sumergidas en agua potable filtrada durante el período de conservación (56-90-180 y 360 días) después del período de curado (1 + 21 días), se ha preparado según se señala en (2).

La fracción enriquecida está formada, en gran parte, por la pasta de cemento hidratado y por una pequeña cantidad de arena que no se ha separado.

## 2.3. Obtención de los diagramas de difracción de rayos X

Los diagramas de difracción de rayos X de la nueva fase sólida y de las fracciones enriquecidas se han obtenido por medio de un equipo Philips PW-1010, con una unidad de registro PW-1540, trabajando en las condiciones reseñadas en (3).

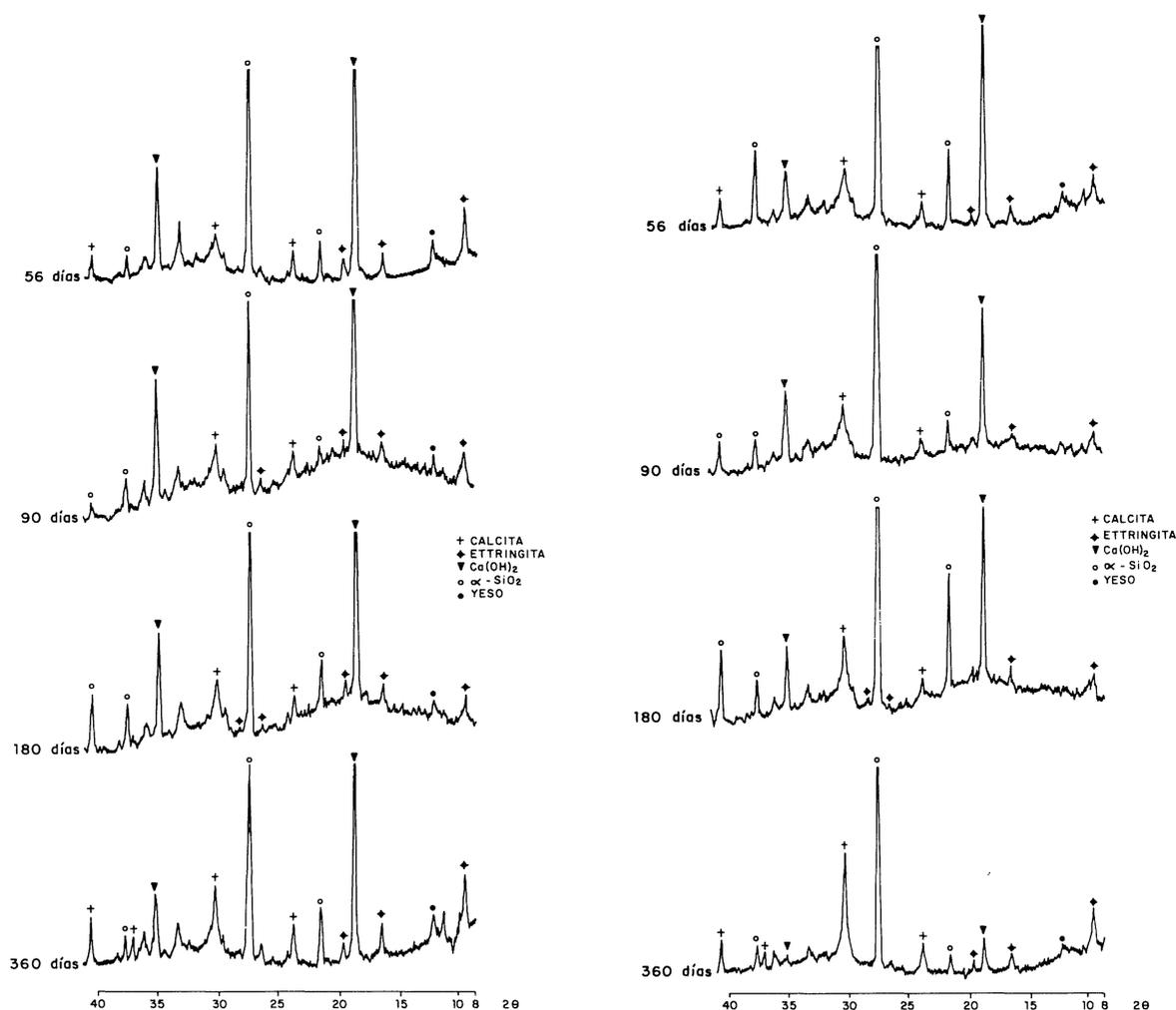


Fig. 3.—Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.

Mezcla: cemento 3/escoria = 85/15 (en peso).  
DRX de la fracción enriquecida.

Fig. 4.—Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.

Mezcla: cemento 3/escoria = 65/35 (en peso).  
DRX de la fracción enriquecida.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada

### 3.1. Estudio de la fase sólida formada

La nueva fase sólida formada en los medios de curado y de conservación (agua potable filtrada), en donde han estado sumergidas las diversas series de probetas hechas con cemento 3 y con las mezclas cemento 3/escoria estudiadas en este trabajo durante 21 días (tiempo de curado) y 56-90-180 y 360 días (tiempo de conservación), está formada por el compuesto cristalino calcita, como se ha puesto de manifiesto por DRX.

Además, aparece un pico ( $2\theta = 26,6^\circ$ ) en los diagramas de difracción de rayos X correspondientes a la fase sólida formada en el agua potable filtrada en donde han estado sumergidas las distintas series de probetas fabricadas con las mezclas cemento 3/escoria durante el período de curado; la intensidad de este pico, que por el momento no se ha identificado, aumenta conforme lo hace la cantidad de escoria en la mezcla. En esta serie de DRX la intensidad de los picos de la calcita es  $\approx 2$  veces mayor en los casos cemento 3 (65/35 y 40/60)-agua potable filtrada que en los restantes, en donde es del mismo orden (figura 1).

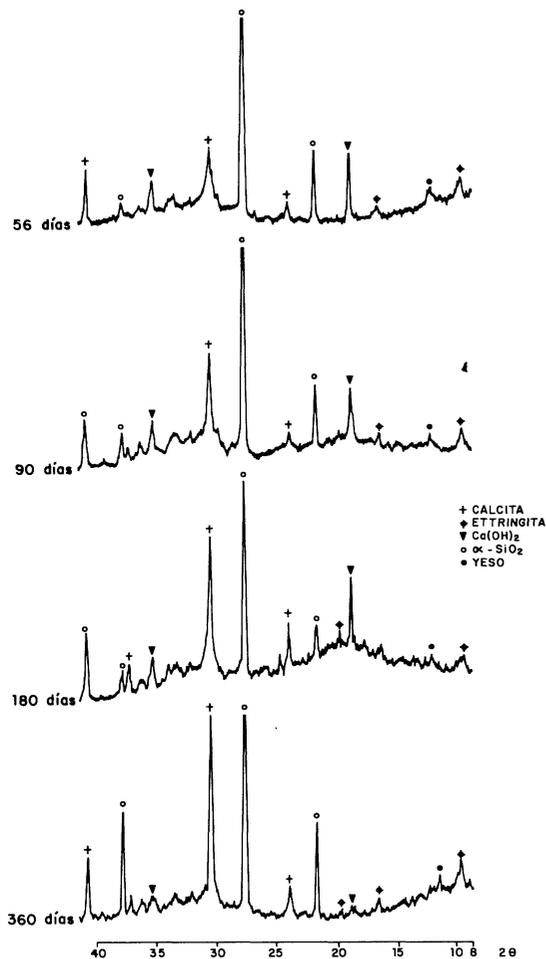


Fig. 5.—Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.  
Mezcla: cemento 3/escoria = 40/60 (en peso).  
DRX de la fracción enriquecida.

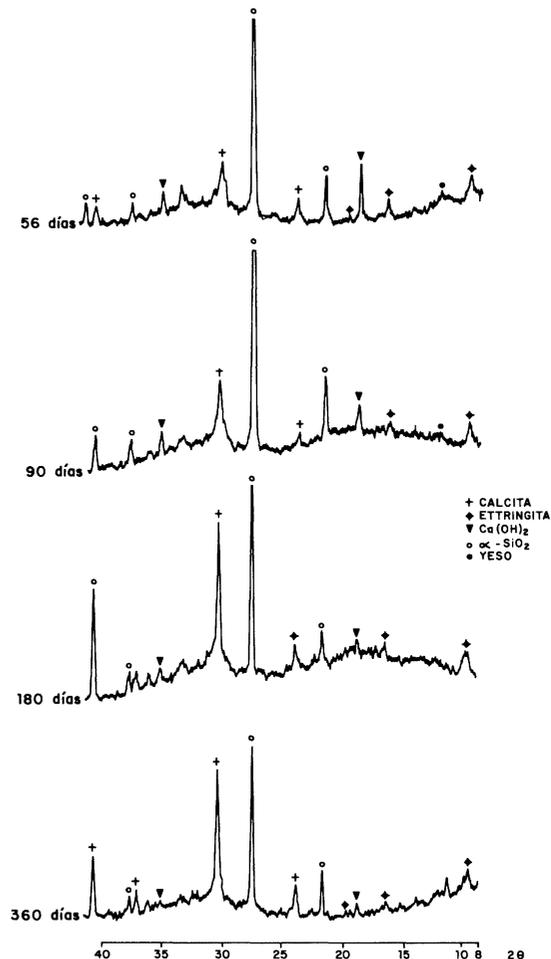


Fig. 6.—Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.  
Mezcla: cemento 3/escoria = 30/70 (en peso).  
DRX de la fracción enriquecida.

### 3.2. Estudio de la fracción enriquecida

En los diagramas de difracción de rayos X (figuras 2 a 6) que corresponden a la fracción

enriquecida extraída de una de las probetas de mortero de las distintas series hechas con las mezclas cemento 3/escoria = 100/0 (figura 2), 85/15 (figura 3), 65/35 (figura 4), 40/60 (figura 5) y 30/70 (figura 6), en peso, sumergidas en agua potable filtrada durante los períodos de tiempo mencionados anteriormente, se han identificado los picos de los siguientes compuestos cristalinos: ettringita, portlandita, yeso y calcita, además de  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> que procede de la arena utilizada en la fabricación de las probetas, presentando las modificaciones que se señalan en los apartados siguientes.

En la tabla 1 se incluyen las intensidades relativas de uno de los picos de los diversos compuestos cristalinos identificados:  $2\theta = 9,1^\circ$  para la ettringita;  $18,0^\circ$  para la portlandita;  $29,5^\circ$  para la calcita y  $11,7^\circ$  para el yeso.

TABLA 1

Diagramas de difracción de rayos X. Intensidad relativa de uno de los picos característicos

Cemento 3/escoria en peso	56 días				90 días				180 días				360 días			
	E	HC	Cc	Y	E	HC	Cc	Y	E	HC	Cc	Y	E	HC	Cc	Y
100/0	4	22	3	1	2	18	3	+	2	18	3	1	4	22	6	1
85/15	4	21	2	1	2	14	3	1	2	17	4	1	4	18	6	1
65/35	3	19	3	1	1	12	3	—	1	15	5	—	4	3	9	+
40/60	2	6	4	1	2	4	7	+	+	6	11	+	2	+	16	1
30/70	2	5	3	+	2	2	5	+	2	+	12	—	1	+	11	—

E = Ettringita, HC = Portlandita, Cc = Calcita, Y = Yeso, — = No detectado, + = Detectado

a) *Influencia del tiempo de curado-conservación para las probetas hechas con una misma mezcla*

La intensidad de los picos de los diagramas de difracción de rayos X de las fracciones enriquecidas de las distintas series de probetas fabricadas con una misma mezcla es función, por regla general, del tiempo de curado-conservación, como se aprecia a continuación:

- Mezcla: cemento 3/escoria = 100/0 (e.p.)
  - Ettringita: En los DRX correspondientes a las edades 22 + 90 y 22 + 180 días se obtienen las intensidades menores y las mayores en las otras dos edades; en las dos edades de ambos casos son del mismo orden.
  - Portlandita: La mayor intensidad de los picos de la portlandita, que a su vez es del mismo orden, corresponde a los difractogramas de las muestras extraídas de las probetas curadas y conservadas bajo agua potable filtrada durante 22 + 56 y 22 + 360 días; en los DRX de las dos edades restantes es menor, y también, del mismo orden.
  - Calcita: Los picos de los DRX de este compuesto son del mismo orden en las muestras de las tres primeras edades experimentando un incremento ( $\times 2$ ) para 22 + 360 días.
  - Yeso: Los picos del yeso, de pequeña intensidad, se han detectado en los DRX de todas las muestras.

- Mezcla: cemento 3/escoria = 85/15 (e.p.)
  - Ettringita: La intensidad de los picos de los DRX de las muestras de las edades 22 + 56 y 22 + 360 días son del mismo orden y superiores a las de las otras dos edades, que también son de la misma magnitud.
  - Portlandita: La mayor intensidad de los picos de este compuesto corresponde al DRX de la muestra extraída de las probetas sumergidas durante 56 días en agua potable filtrada después del período de curado, y la menor a la de 90 días; siendo del mismo orden en los difractogramas de las dos edades restantes.
  - Calcita: En este caso, la intensidad de los picos experimenta un suave incremento conforme aumenta el tiempo de curado-conservación.
  - Yeso: En los DRX de las cuatro muestras se han detectado los picos del yeso, con una intensidad relativamente baja.
- Mezcla: cemento 3/escoria = 65/35 (e.p.)
  - Ettringita: Los picos de los difractogramas de las muestras que corresponden a la edad 22 + 360 días presentan la mayor intensidad; dicha intensidad es del mismo orden en los DRX de 22 + 90 y 22 + 180 días.
  - Portlandita: La mayor intensidad de los picos de este compuesto es la del DRX de la primera edad, experimentando una disminución en las siguientes edades, llegando a ser un 84 % menor a 22 + 360 días.
  - Calcita: Los picos de los difractogramas de las muestras de las dos primeras edades tienen una intensidad análoga y los de la cuarta edad (22 + 360 días) es el triple, aproximadamente.
  - Yeso: Los picos del yeso únicamente se han detectado en los DRX de las muestras correspondientes a la primera y a la cuarta edad (22 + 56 días y 22 + 360 días).
- Mezcla: cemento 3/escoria = 40/60 (e.p.)
  - Ettringita: Se han detectado los picos de este compuesto, de intensidad menor que en las mezclas anteriores, en todos los difractogramas.
  - Portlandita: La intensidad de los picos de la portlandita, en los DRX de las tres primeras edades es mayor que en la cuarta, en donde, únicamente, se han detectado con una intensidad muy pequeña.
  - Calcita: La intensidad de los picos de la calcita aumenta en los DRX de las diversas muestras, conforme aumenta el tiempo de conservación; este aumento, a 22 + 360 días con relación a la primera edad, es del 300 %.
  - Yeso: Se han detectado los picos correspondientes, de pequeña intensidad, en los DRX de todas las muestras.
- Mezcla: cemento 3/escoria = 30/70 (e.p.)
  - Ettringita: En esta mezcla se pueden hacer consideraciones análogas a las de la mezcla anterior.

- Portlandita: La intensidad de los picos, en todos los diagramas de esta mezcla, es pequeña y menor que en las mezclas anteriores, disminuyendo conforme aumenta la edad.
- Calcita: La intensidad de los picos de la calcita, en los DRX correspondientes, aumenta conforme lo hace el tiempo de curado-conservación, llegando a ser 300 y 266 % mayor a 22 + 180 y 22 + 360 días, respectivamente, que a 22 + 56 días.
- Yeso: Los picos de este compuesto solamente se han detectado en las fracciones de las probetas correspondientes a 22 + 56 y 22 + 90 días.

En resumen, en los DRX de las diversas fracciones enriquecidas del sistema cemento 3/escoria-agua potable filtrada se observa que la intensidad de los picos de la portlandita (tabla 1) es mayor que los de la calcita en las muestras extraídas de las series de probetas hechas con cemento 3 sin adición de escoria a todas las edades, así como con la mezcla cemento 3 y la menor cantidad de escoria (85/15, en peso); así mismo, es mayor en los DRX de las muestras que corresponden a las mezclas cemento 3/escoria = 65/35, en peso, de las tres primeras edades, 40/60 y 30/70, en peso, de la primera edad. En definitiva, la cantidad de calcita formada o, lo que es lo mismo, el grado de carbonatación de las probetas de mortero (1:3) hechas con cemento 3 y, de un modo especial, con las diversas mezclas estudiadas de dicho cemento con escoria, curadas y sumergidas, posteriormente, en agua potable filtrada aumenta con el tiempo de curado-conservación, para una misma mezcla, y con la cantidad de escoria presente en la mezcla utilizada para elaborar las probetas.

Por otra parte, la intensidad de los picos de la ettringita y del yeso, en los diversos DRX, es normal, estando de acuerdo con las características del cemento. Los picos del yeso no se han detectado en algunos casos.

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

Del mismo modo que en (2) (4) la intensidad de los picos en los diagramas de difracción de rayos X de las fracciones enriquecidas extraídas de las distintas series de probetas de mortero (1:3) hechas con las diversas mezclas cemento 3/escoria, para una misma edad, es función de la mezcla utilizada; así, para cada período de tiempo de curado-conservación, en agua potable filtrada, se aprecia.

- Edad: 22 + 56 días
  - Ettringita: La intensidad de los picos de este compuesto permanece constante en los DRX de las dos primeras mezclas, disminuyendo en los correspondientes a las muestras extraídas de las probetas hechas con las dos mezclas que tienen el mayor contenido de escoria (60 y 70 %).
  - Portlandita: La intensidad de los picos de la portlandita, en los diversos diagramas, disminuye conforme aumenta la cantidad de escoria en las mezclas utilizadas para fabricar las distintas series de probetas, de donde se han extraído las fracciones enriquecidas.
  - Calcita: Los picos de los DRX correspondientes a las muestras extraídas de cada una de las cinco series de probetas, presentan una intensidad relativamente pequeña y con ligeras modificaciones entre sí.
  - Yeso: Los picos de este compuesto, de pequeña intensidad, se han detectado en todas

las muestras; la menor intensidad corresponde a la mezcla cemento 3/escoria = 30/70 (en peso).

- Edad: 22 + 90 días

- Ettringita: Los picos de la ettringita se han detectado en todos los DRX. La intensidad en los diagramas de las tres primeras mezclas es menor que en los de las muestras análogas de la edad anterior.
- Portlandita: La intensidad de los picos en los DRX, correspondientes a las cinco muestras, disminuye conforme aumenta la cantidad de escoria en la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas de mortero (1:3), llegando a ser de pequeña intensidad para la serie hecha con la mayor cantidad de escoria (70 %); la disminución que experimenta, con relación a la primera edad, es del 89 %.
- Calcita: La intensidad de los picos de este compuesto, que es del mismo orden para las muestras de las tres primeras mezclas y análoga a la de 22 + 56 días, experimenta un incremento para las muestras de las dos mezclas cemento 3/escoria = 40/60 y 30/70 (en peso).
- Yeso: Los picos del yeso, de pequeña intensidad, se han detectado en todos los DRX, excepto en el que corresponde a la mezcla cemento 3/escoria = 65/35 (en peso).

- Edad: 22 + 180 días

- Ettringita: Se han detectado en todos los DRX los picos de la ettringita, disminuyendo, por regla general, la intensidad conforme se incrementa la cantidad de escoria en las mezclas utilizadas para fabricar las probetas de mortero.
- Portlandita: Como en los casos anteriores, la intensidad de los picos de este compuesto disminuye conforme aumenta la cantidad de escoria. En la muestra de la mezcla que tiene la mayor cantidad de escoria (70 %) es pequeña, habiendo experimentado un descenso, prácticamente, del 100 %.
- Calcita: La intensidad de los picos de la calcita en los DRX, correspondientes a las diversas muestras extraídas de las probetas de todas las series, experimenta un incremento suave para las tres primeras y brusco para las muestras de las probetas elaboradas con las mayores cantidades de escoria (60 y 70 %).
- Yeso: Los picos de este compuesto, de pequeña intensidad, únicamente se han detectado en los DRX de las muestras extraídas de las probetas hechas con las mezclas cemento 3/escoria = 100/0-85/15 y 40/60 (en peso).

- Edad: 22 + 360 días

- Ettringita: La intensidad de los picos de este compuesto en los DRX de las muestras que corresponden a las probetas hechas con las mezclas cemento 3/escoria = 100/0-85/15 y 65/35, en peso, es la mayor de esta edad, y de las diversas series de probetas de las otras dos edades intermedias.
- Portlandita: La intensidad de los picos de la portlandita en los DRX disminuye, como en los casos anteriores, conforme aumenta la cantidad de escoria en las mezclas utilizadas para fabricar las probetas de mortero (1:3). El descenso experimentado ( $\approx 86\%$ ) en el difractograma de la muestra hecha con cemento 3/escoria = 65/35 (e.p.), con

relación a la mezcla 100/0, es superior que el de las muestras correspondientes a la mezcla 40/60 a 22 + 56 días (73 %), 22 + 90 días (77 %) 22 + 180 días (67 %).

- Calcita: Los picos de los difractogramas de este compuesto, que es del mismo orden en las muestras de las probetas hechas con cemento 3/escoria = 100/0 y 85/15, en peso, experimentan un incremento conforme aumenta la cantidad de escoria; el mayor incremento (166 %) corresponde a la mezcla que tiene el 60 % de escoria.
- Yeso: Los picos del yeso, de pequeña intensidad, se han detectado en todos los DRX, excepto en el de la muestra que corresponde a las probetas hechas con la mayor cantidad de escoria (70 %).

En resumen, en los DRX de las diversas muestras estudiadas se aprecia que, para cada edad, la intensidad de los picos de la ettringita sigue una evolución irregular a lo largo del tiempo de curado-conservación, presentando la mayor intensidad a las edades de 22 + 56 y 22 + 360 días para las mezclas cemento 3/escoria = 100/0-85/15 y 65/35, en peso. Los picos del yeso, en aquellos casos en donde se ha detectado, presentan una intensidad pequeña y del mismo orden.

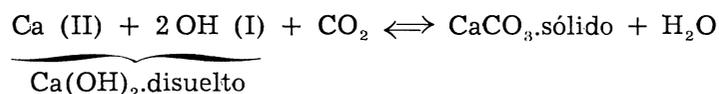
Por otra parte, se observa que mientras que la magnitud de los picos de la portlandita disminuye en los DRX, para cada edad, conforme se incrementa la cantidad de escoria en la mezcla utilizada para fabricar las distintas series de probetas, de donde se han extraído las fracciones enriquecidas, la intensidad de los picos de la calcita se mantiene dentro de un entorno limitado, para todas las mezclas, a las edades 22 + 56 y 22 + 90, aumentando en las dos edades restantes, 22 + 180 y 22 + 360 días, conforme lo hace la cantidad de escoria de las mezclas cemento 3/escoria empleadas. Ambos fenómenos son, por consiguiente, función de la cantidad de escoria de la mezcla y del tiempo de curado-conservación de las probetas de mortero (1:3) en agua potable filtrada.

La cantidad de calcita formada, o lo que es lo mismo el grado de carbonatación, para cada edad, y de un modo especial para 22 + 180 y 22 + 360 días, es función de la cantidad de escoria presente en la mezcla utilizada para elaborar las distintas series de probetas.

#### 4. INTERPRETACION DE RESULTADOS

La nueva fase sólida que se forma en los medios de curado (agua potable filtrada, 21 días) y de conservación (agua potable filtrada, 56-90-180 y 360 días) del sistema cemento 3/escoria-agua potable filtrada está formada por  $\text{CaCO}_3$  cristalizado como calcita principalmente.

El  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua es capaz de reaccionar en medio básico fuerte, como se ha señalado en otros trabajos, con el Ca (II) presente en la disolución procedente, de modo especial, del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  generado en las reacciones de hidratación del cemento, según:



para dar lugar a la formación de  $\text{CaCO}_3$  sólido ( $\text{pK} = 8,3$ ) y a la neutralización de los iones OH (I), por lo que se produce una disminución del contenido de Ca (II) en la disolución y del valor del pH, facilitándose la solubilidad de la portlandita, a la vez que se favorecen las reacciones de hidratación del clínker, liberando más  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que pasa, en parte, a la disolución en forma iónica; de este modo, los silicatos correspondientes se degradan progresivamente.

La presencia de escoria en la mezcla fija parte del hidróxido de calcio naciente formando

compuestos cálcicos; en este caso la concentración de OH (I) en el medio, así como en las probetas de mortero, es menor, influyendo en el valor del pH, el cual es tanto más bajo cuanto más cantidad de  $\text{Ca(OH)}_2$  haya fijado la escoria; hecho que, normalmente, está de acuerdo con la cantidad de clínker y escoria presentes en la mezcla.

Así, el valor del pH del medio de conservación está comprendido en los entornos 11 a 12, 9 a 10,5 y 8,5 a 9 para las disoluciones en donde han estado sumergidas las probetas hechas con las mezclas cemento 3/escoria = 100/0 para el primero, 85/15 para el segundo y 65/35-40/60 y 30/70 para el tercero.

La cantidad de fase sólida (calcita) que se produce en los medios de conservación de las distintas series de probetas de mortero es función de la mezcla utilizada en la fabricación de dichas probetas y del tiempo de conservación (figura 7), disminuyendo para cada edad conforme aumenta la cantidad de escoria o disminuye la de clínker, como consecuencia de la menor cantidad de  $\text{Ca(OH)}_2$  formado, que no ha reaccionado con la escoria, y que se disuelve parcialmente en el agua potable filtrada. La mayor cantidad de fase sólida formada corresponde al medio en donde han estado sumergidas las probetas hechas con cemento 3, sin adición de escoria; para una misma mezcla dicha cantidad aumenta con el tiempo de conservación, excepto para cemento 3/escoria = 30/70, en peso, que experimenta ligeras modificaciones.

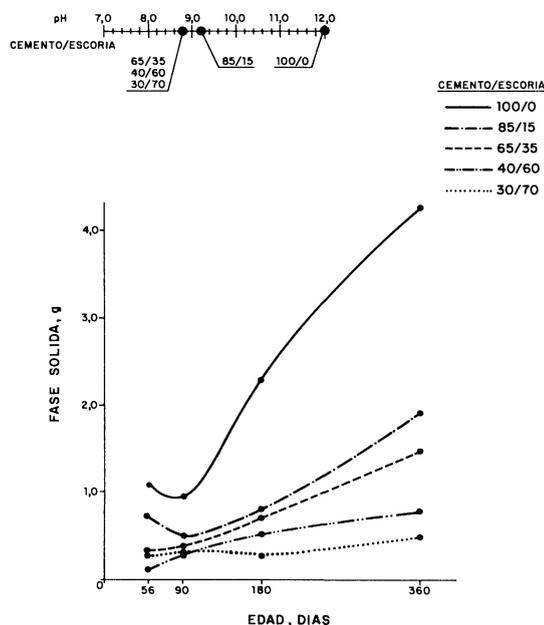


Fig. 7.—Sistema: cemento 3/escoria-agua potable filtrada.

Evolución de la fase sólida y del pH.

disminución de la porosidad al llenarse progresivamente los poros de calcita, influyendo favorablemente en las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero (1:3), como se indicó en (1).

El  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua reacciona con el  $\text{Ca(OH)}_2$  presente en las probetas de mortero, formando calcita, y con otros compuestos hidratados del cemento, dando lugar a las sustancias carbonatadas correspondientes que no se han estudiado en este trabajo; esta reacción de carbonatación se inicia en la superficie de las probetas y a continuación se difunde por los poros y capilares desde el exterior al interior de un modo homogéneo a través de las caras de las mismas, neutralizando los iones OH (I) y produciendo una dis-

La adición de la escoria estudiada al cemento 3 produce la formación de nuevos compuestos, dando lugar, además, a la disminución de unos y al incremento de otros; estos fenómenos afectan principalmente a la portlandita y a la calcita. La fracción correspondiente al clínker es la primera que reacciona con el agua dando lugar a los compuestos hidratados del mismo y al  $\text{Ca(OH)}_2$ , que activa a la fracción escoria reaccionando con ella, y disminuyendo progresivamente conforme aumenta la cantidad de escoria en la mezcla; en determinados casos, la reacción es prácticamente total, habiéndose detectado solamente indicios de portlandita.

La carbonatación de las probetas de mortero depende de la cantidad de escoria y del tiempo de curado-conservación en agua potable filtrada (2) (4) (5) (6). La carbonatación del mortero produce, por una parte, una disminución del pH; en algunos casos llega a ser próximo a 8 (2) (4) (7) (8), y por otra una

minución del pH. Así, se ha probado que una sección de las probetas de mortero hechas con cemento 3 sin adición de escoria se colorea totalmente de rojo-violeta cuando se trata con una disolución de fenolftaleína (8) a edades bajas y no a 22 + 180 y 22 + 360 días; mientras que la de las probetas hechas con las mezclas cemento 3/escoria lo hace parcialmente, a todas las edades, no experimentando coloración una zona exterior de la sección de  $\simeq 2$  mm, como sucedió en (2) (4), en la mayoría de los casos (a veces llega a ser de 3-4 mm).

## 5. CONCLUSIONES

### Primera

En el sistema cemento 3/escoria-agua potable filtrada aparece, en los medios de curado y en los de conservación, una nueva fase sólida, que está formada por el compuesto cristalino calcita.

La cantidad de fase sólida formada en los medios de conservación disminuye, para una misma edad, conforme aumenta la cantidad de escoria en las mezclas utilizadas para fabricar las probetas de mortero y aumenta, por regla general y para una misma mezcla, según lo hace el tiempo de conservación. Este aumento es mayor en los medios en donde han estado sumergidas las probetas hechas con cemento 3 sin adición de escoria.

### Segunda

En los diagramas de difracción de rayos X de las diversas fracciones enriquecidas extraídas de las probetas de mortero, de las distintas series estudiadas, se han identificado los compuestos cristalinos yeso, ettringita, portlandita y calcita.

### Tercera

La intensidad de los picos en los DRX de los compuestos cristalinos de las fracciones enriquecidas, extraídas de las probetas fabricadas con una misma mezcla cemento 3/escoria, es función, por regla general, del tiempo de curado-conservación.

### Cuarta

La intensidad de los picos de las fracciones enriquecidas extraídas de las series de probetas fabricadas con las diversas mezclas cemento 3/escoria, para cada edad, es función de la mezcla utilizada.

### Quinta

La cantidad de escoria presente en la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas, para cada edad, y el tiempo de curado-conservación, para una misma mezcla, influyen favorablemente en el grado de carbonatación.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- (1) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPAR-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 180, 99-120, (1980).
- (2) GASPAR-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 181, 33-44, (1981).
- (3) GASPAR-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 174, 48, (1979)

- (4) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPAR-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 182, 11-22, (1981).
- (5) VENUAT, M. et ALEXANDRE, J.: *Rev. des Mat. de Const.*, 639, 480, (1968).
- (6) MEYER, A.: Supplementary Paper III-52; págs. 398-399; *Proceedings of the Fifth Int. Symp. Chem. of Cement*. Tokyo, (1968).
- (7) ALEXANDRE, J.: Thème 3, *Rilem Inter. Symp. "Carbonation of Concrete"*, Cement and Concrete Assoc., Wexham-Springs, 5-6 april, (1976).
- (8) GASPAR-TEBAR, D. y MUÑOZ-PLAZA, M.: *Materiales de Construcción*, 165, 45-46, (1977).

## 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.

### AVISO IMPORTANTE

Debido al actual cambio de la peseta, con respecto al \$ USA, todos los pedidos de publicaciones del IETcc (sin incluir revistas) que se efectúen a librerías en el extranjero, e incluso directos, obtendrán una bonificación del 30 % sobre los precios marcados en dólares. Este descuento será aplicado por los vendedores —hasta nueva orden— a cualquier pedido que se formule fuera de España.



## historia del puente en España

### puentes romanos

**Carlos Fernández Casado**

Prof. Dr. Ing. de Caminos,  
Canales y Puertos

Se han reunido en esta publicación doce artículos que fueron apareciendo durante 25 años en la Revista «*Informes de la Construcción*», a partir del mes de marzo de 1955. El propósito era mucho más ambicioso pues se trataba de hacer una «*Historia del puente en España*», pero hasta el momento actual sólo se ha revisado la época romana, si bien el autor tiene la intención de prolongar la historia hasta cuando sus años de vida le den lugar.

Unos apéndices añadidos a los doce artículos originales informan sobre las variaciones experimentadas por algunos puentes más importantes como la del traslado de las ruinas mejor conservadas del puente de Alconétar, que corrió el peligro de quedar sumergido en el embalse de Alcántara, y la reparación de la cimentación de una de las pilas centrales del puente de este mismo nombre que fue detectada, al quedar durante unos días cortado el curso del Tajo, para realizar el montaje de los desagües de fondo correspondientes a la presa del citado embalse.

Un volumen encuadernado en cuche, a dos colores, de 21 x 27,5 cm, compuesto de 554 páginas, 105 grabados, 14 dibujos, 753 fotos blanco y negro, 24 fotos color y 110 dibujos de línea.

Madrid, 1981.

Precios: España, 3.000 ptas.: extranjero, \$ USA 60.

## alojamiento y tecnología: ¿industrialización abierta?

**Julián Salas Serrano**

Ingeniero Industrial

La experiencia nacional en construcción industrializada en la última década, aunque no abundante, puede resultar paralizante. Como reacción, este trabajo trata de elaborar y ordenar la información que, pegado al terreno, se ha acumulado durante los sesenta.

Auscultando tendencias avanzadas en otros países y apoyándose en nuestra realidad cotidiana, el autor de este trabajo apuesta por la industrialización, presintiendo un futuro con pocos puntos en común con lo que en general, hasta bien reciente, se ha conocido como construcción industrializada.

Se abre el trabajo con un prólogo del Profesor Ciribini en el cual, con rigor conceptual y desde su rica experiencia, analiza algunos de los conceptos más polémicos del fenómeno de industrialización del sector construcción. El autor recopila un conjunto de aportaciones de maestros de la arquitectura al lento proceso de evolución tecnológica y conceptual, continuando con un intento de respuesta realista a la interrogante que flota en el sector nacional: ¿réquiem por la industrialización?

Se dedican otros capítulos a revisar lo realizado y a encarar el futuro inmediato: el concepto de componente, su repercusión económica, la dificultad del proyecto a base de productos industriales, la nueva vigencia embrionaria de la construcción por medio de catálogos, los conceptos de flexibilidad e intercambiabilidad desde una óptica práctica... Especial atención dedica este trabajo a la exposición de lo que podíamos llamar nuevos derroteros de la coordinación dimensional, aportando una visión actualizada y pragmática de los enfoques más implantados en Europa.

Las siempre problemáticas inerrrelaciones entre normativa, calidad e industria se detallan de forma documentada y realista. Finaliza el trabajo con unas reflexiones dirigidas al ámbito empresarial y un esbozo de «reglas de juego» que faciliten al subsector la salida del «impasse» actual.

Un volumen encuadernado en rústica, de 24 x 16,5 cm, compuesto de 160 páginas, con 109 figuras, 19 tablas y 86 referencias bibliográficas. Madrid, junio, 1981.

Precios: España 1.200 PTAS. Extranjero 24 \$ USA.

