

Resistencia química del hormigón

X.- Influencia de la adición de escoria a un cemento portland resistente al yeso. Estudio por DRX del sistema cemento 2/escoria-agua potable filtrada

JOSE LUIS SAGRERA-MORENO y DEMETRIO GASPAR-TEBAR
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 la evolución de los coeficientes de corrosión de probetas de mortero (1:3) conservadas bajo agua potable filtrada y 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 series testigo de probetas de mortero (1:3) de $1 \times 1 \times 6$ cm hechas con un cemento portland industrial resistente al yeso, cemento 2 <> P-450-Y, y con las mezclas de cemento 2/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 de las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero (1:3) de $1 \times 1 \times 6$ cm hechas con un cemento portland industrial resistente al yeso (cemento 2 <> P-450-Y) y con las mezclas cemento 2/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 después de haberlas curado 24 horas en un recinto saturado de humedad y, a continuación, bajo agua potable filtrada durante 21 días.

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 2/escoria-agua potable filtrada.

(**) Sistema : cemento 2/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 2/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 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 1/escoria-agua potable filtrada.

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.

2.2. Preparación de la fracción enriquecida

La fracción enriquecida, extraída de un prisma 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 realizado 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 señaladas en (3).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada.

3.1. Estudio de la fase sólida formada

La nueva fase sólida formada en los medios de curado del sistema cemento 2/escoria-agua potable filtrada, en donde han estado sumergidas durante 21 días las diversas series de probetas hechas con cemento 2 y con las mezclas cemento 2/escoria estudiadas en este trabajo, está formada por el compuesto cristalino calcita, como se ha puesto de manifiesto por DRX.

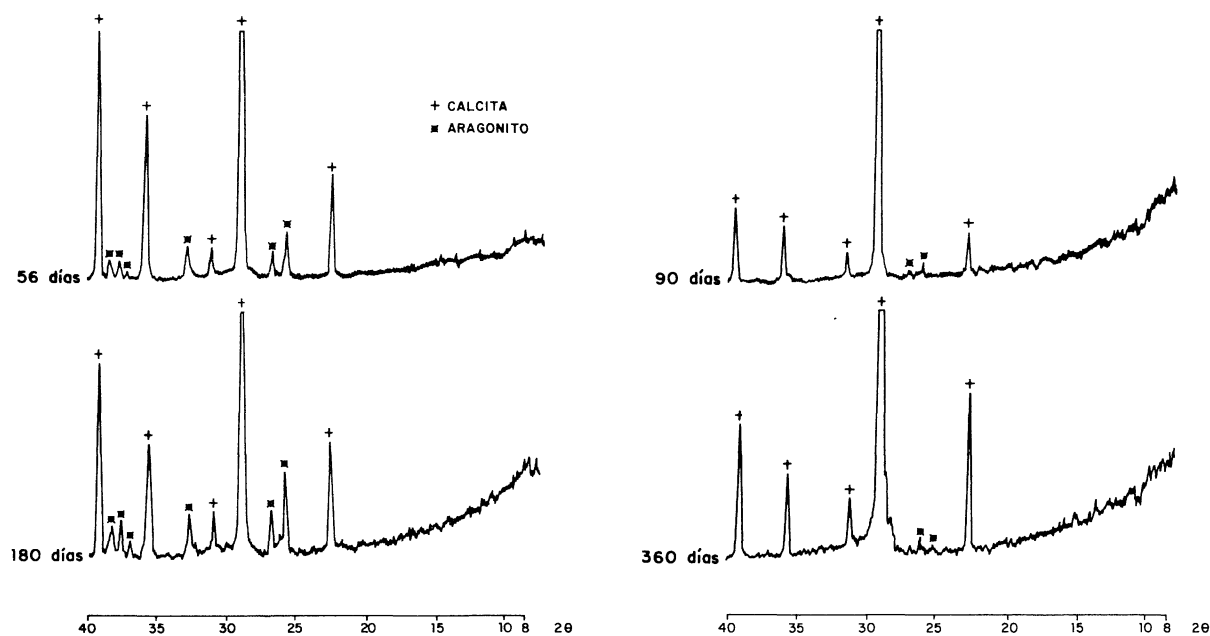


Fig. 1.—Sistema: cemento 2 escoria-agua potable filtrada.
Mezcla: cemento 2/escoria = 100/0 (en peso). DRX de la fase sólida formada en los medios de conservación.

Así mismo, en los DRX de la nueva fase sólida que aparece en los medios de conservación (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las probetas de mortero, después del tiempo de curado (1 + 21 días), durante 56-90-180 y 360 días se han detectado los picos del compuesto cristalino calcita y, además, los del aragonito en los difractogramas correspondientes a la mencionada fase sólida de los medios en donde han estado las probetas fabricadas con cemento 2 sin adición de escoria, a todas las edades, (figura 1).

3.2. Estudio de la fracción enriquecida

En los diagramas de difracción de rayos X (figs. 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 2/escoria = 100/0 (figura 2), 85/15 (figura 3), 65/35 (figura 4), 40/60 (figura 5) y 30/70 (figura 6) e.p., 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 α -SiO₂ 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.

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 2/escoria = 100/0 (e.p.)
 - Ettringita: En el DRX correspondiente a la edad 22 + 180 días se tiene la menor intensidad de los picos; en las tres edades restantes es de la misma magnitud.
 - Portlandita: La mayor intensidad de los picos de este compuesto corresponde al difractograma de la muestra curada-conservada durante 22 + 56 días y el menor durante 22 + 90 días; en los difractogramas de las dos edades restantes es del mismo orden.
 - Calcita: Los picos de los DRX de las muestras extraídas de las probetas conservadas bajo agua potable filtrada 56 y 90 días, que son del mismo orden, experimentan un ligero incremento para las otras dos edades (22 + 180 y 22 + 360 días) .
 - Yeso: Únicamente se han detectado los picos del yeso, de pequeña intensidad, en el diagrama de la muestra que corresponde a 22 + 360 días.
- Mezcla: cemento 2/escoria = 85/15 (e.p.)
 - Ettringita: La intensidad de los picos de los DRX de las muestras de las edades 22 + 56 y 22 + 180 días son del mismo orden y ligeramente superiores a la de las otras dos edades, que también son del mismo orden entre sí.
 - Portlandita: La intensidad de los picos de este compuesto experimenta un incremento ($\sim 1,7$ veces) en los DRX de las muestras extraídas de las probetas de las edades 22 + 90 y 22 + 180 días, con relación a los del difractograma de la muestra de la primera edad (22 + 56 días); a 22 + 360 días sufre una disminución del orden del 40 %.
 - Calcita: En este caso, la intensidad de los picos de la calcita permanece prácticamente constante en los DRX de las tres primeras edades y en la cuarta edad (22 + 360 días) es ~ 3 veces mayor.
 - Yeso: Los picos, de pequeña intensidad, únicamente se han detectado en los DRX de las fracciones extraídas de las probetas de las tres primeras edades.
- Mezcla: cemento 2/escoria = 65/35 (e.p.)
 - Ettringita: En este caso, los picos de las muestras correspondientes a las edades 22 + 90 y 22 + 360 días presentan la misma intensidad; es superior a la de las otras dos edades.
 - Portlandita: La intensidad de los picos de este compuesto es similar en todos los DRX, excepto a la edad 22 + 90 días que es aproximadamente 2 veces mayor.
 - Calcita: Los picos de los difractogramas de las muestras de las tres primeras edades tienen intensidad similar y los de la cuarta edad (22 + 360 días) es 4 veces mayor que la de las anteriores.
 - Yeso: Los picos del yeso solamente se han detectado en los DRX de las muestras que corresponden a 22 + 90 y 22 + 180 días.
- Mezcla: cemento 2/escoria = 40/60 (e.p.)
 - Ettringita: Se han detectado los picos de este compuesto en los cuatro DRX; en este

caso se pueden hacer consideraciones análogas a las anteriores.

- Portlandita: La intensidad de los picos de este compuesto en los DRX de las muestras de las cuatro edades es relativamente pequeña, siendo mínima a 22 + 360 días.
- Calcita: La intensidad de los picos de la calcita aumenta en los DRX conforme lo hace el tiempo de conservación; este aumento es suave en las tres primeras edades, mientras que en la cuarta (22 + 360 días) es aproximadamente cuatro veces mayor que los de la primera (22 + 56 días).
- Yeso: Únicamente se han detectado los picos correspondientes, de pequeña intensidad, en el DRX de la muestra sumergida 56 días.
- Mezcla: cemento 2/escoria = 30/70 (e.p.)
- Ettringita: En esta mezcla se pueden hacer consideraciones análogas a las anteriores.
- Portlandita: La intensidad de los picos, en todos los diagramas, es pequeña, disminuyendo conforme aumenta la edad. En el DRX de la muestra de la cuarta edad (22 + 360 días) no se han detectado.
- Calcita: La intensidad de los picos de la calcita, en los DRX, aumenta conforme lo hace el tiempo de curado-conservación, llegando a ser 5 veces mayor a 22 + 360 días que a 22 + 56 días.
- Yeso: Los picos de este compuesto solamente se han detectado en la fracción de las probetas correspondientes a 22 + 90 días.

En resumen, en los DRX de las diversas fracciones enriquecidas del sistema cemento 2/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 2 sin adición de escoria a todas las edades y con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 y 65/35 (e.p.), en las tres primeras edades (22 + 56, 22 + 90 y 22 + 180 días) y menor en los restantes casos, a 22 + 360 días para las dos mezclas anteriores y a todas las edades para las series de probetas fabricadas con las mezclas que tienen la mayor cantidad de escoria (60 y 70 %). En definitiva, el grado de carbonatación de las probetas sumergidas 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 en los diversos DRX es pequeña en todos los casos, así como los del yeso, no habiéndose detectado los de este último en gran número de casos.

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

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

- Edad: 22 + 56 días
- Ettringita: Se han identificado los picos de este compuesto en los DRX de las frac-

ciones extraídas de las cinco series de probetas.

- Portlandita: La intensidad de los picos de la portlandita, en los diagramas, disminuye conforme aumenta la cantidad de escoria en las mezclas utilizadas para fabricar las series de probetas, de donde se ha extraído la fracción enriquecida.
- Calcita: Los picos de los DRX, correspondientes a las muestras extraídas de cada una de las cinco series de probetas, presentan una intensidad análoga.
- Yeso: Únicamente se han detectado los picos del yeso, con pequeña intensidad, en dos muestras que corresponden a las series hechas con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 y 40/60 (e.p.).

- Edad: 22 + 90 días

- Ettringita: Del mismo modo que en el caso anterior, se han detectado los picos de este compuesto en todos los diagramas de difracción de rayos X.
- Portlandita: La intensidad de los picos de los DRX, que es del mismo orden para las muestras de las probetas hechas con cemento 2/escoria = 100/0 y 85/15 (e.p.), disminuye conforme aumenta la cantidad de escoria en la mezcla utilizada, llegando a ser de pequeña intensidad para la serie fabricada con la mayor cantidad de escoria (70 %).
- Calcita: La intensidad de los picos de este compuesto es similar en los diagramas correspondientes a las mezclas cemento 2/escoria = 100/0-85/15 y 65/35 (e.p.), aumentando suavemente en las dos que tienen la mayor cantidad de escoria (60 y 70 %).
- Yeso: Los picos del yeso, de pequeña intensidad, se han detectado sólo en los DRX de las muestras que corresponden a las mezclas cemento 2/escoria = 85/15, 65/35 y 30/70 (e.p.).

- Edad: 22 + 180 días

- Ettringita: La evolución de la intensidad de los picos de este compuesto en los distintos DRX es análoga a la de los casos anteriores.
- Portlandita: En este caso, la intensidad de los picos de los DRX de las diversas muestras disminuye conforme aumenta la cantidad de escoria de la mezcla; para la mezcla que tiene 70 % de escoria es pequeña.
- Calcita: La intensidad de los picos de los DRX correspondientes a las muestras de las probetas hechas con las mezclas cemento 2/escoria = 100/0-85/15 y 65/35 (e.p.), experimentan una ligera disminución y un incremento, del mismo orden, para las muestras de las dos mezclas restantes.
- Yeso: Se han detectado los picos del yeso en las muestras de las probetas hechas con las mezclas cemento 2/escoria = 85/15 y 65/35 (e.p.).

- Edad: 22 + 360 días

- Ettringita: Los picos de los DRX presentan una intensidad y evolución análogas a la de los casos anteriores.

- Portlandita: La intensidad de los picos de los DRX disminuye conforme aumenta la cantidad de escoria de las mezclas utilizadas para fabricar las probetas de mortero, de las que se ha separado la fracción enriquecida; esta disminución es tal que en la mezcla que tiene el mayor contenido de escoria no se han detectado dichos picos.
- Calcita: Los picos de los diagramas, de este compuesto, experimentan un incremento, el mayor de todas las series, con relación a los de la muestra de las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria. Este aumento llega a ser 3,3 veces mayor.
- Yeso: Solamente se han detectado los picos del yeso, de pequeña intensidad, en el DRX de la muestra que corresponde a las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria.

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 muy parecida; así mismo se ve que 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 aumenta la cantidad de escoria en la mezcla utilizada para fabricar las distintas series de probetas, la de los picos de la calcita se mantiene constante para las tres primeras edades y para las mezclas cemento 2/escoria = 100/0-85/15 y 65/35 (e.p.), aumentando para las dos mezclas que tienen el mayor contenido de escoria, excepto para la primera edad que se mantiene constante; para la cuarta edad, 22 + 360 días, se produce un incremento conforme lo hace la cantidad de escoria. Ambos fenómenos son, por consiguiente, función de la cantidad de escoria de la mezcla y del tiempo de curado-conservación de las probetas en agua potable filtrada.

El grado de carbonatación, para cada edad, es función de la cantidad de escoria presente en la mezcla utilizada para elaborar las distintas series de probetas y, para cada mezcla, del tiempo de curado-conservación, alcanzando los valores máximos para 22 + 360 días.

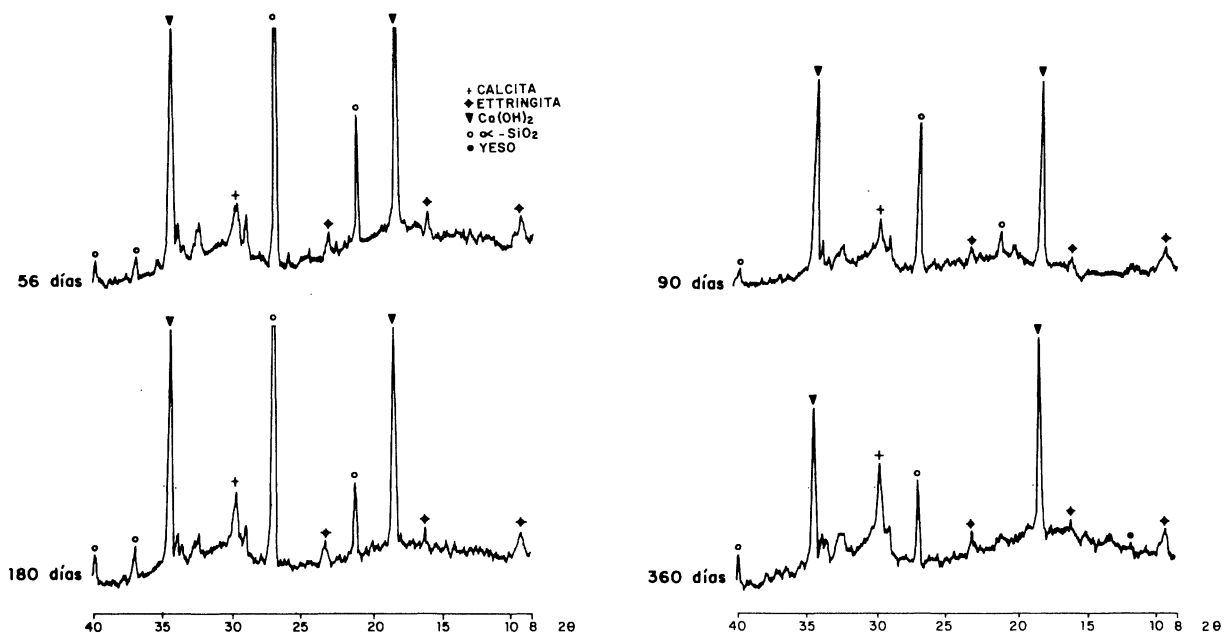


Fig. 2.—Sistema: cemento 2 escoria-agua potable filtrada.
Mezcla: cemento 2/escoria = 100/0 (en peso). DRX de la fracción enriquecida.

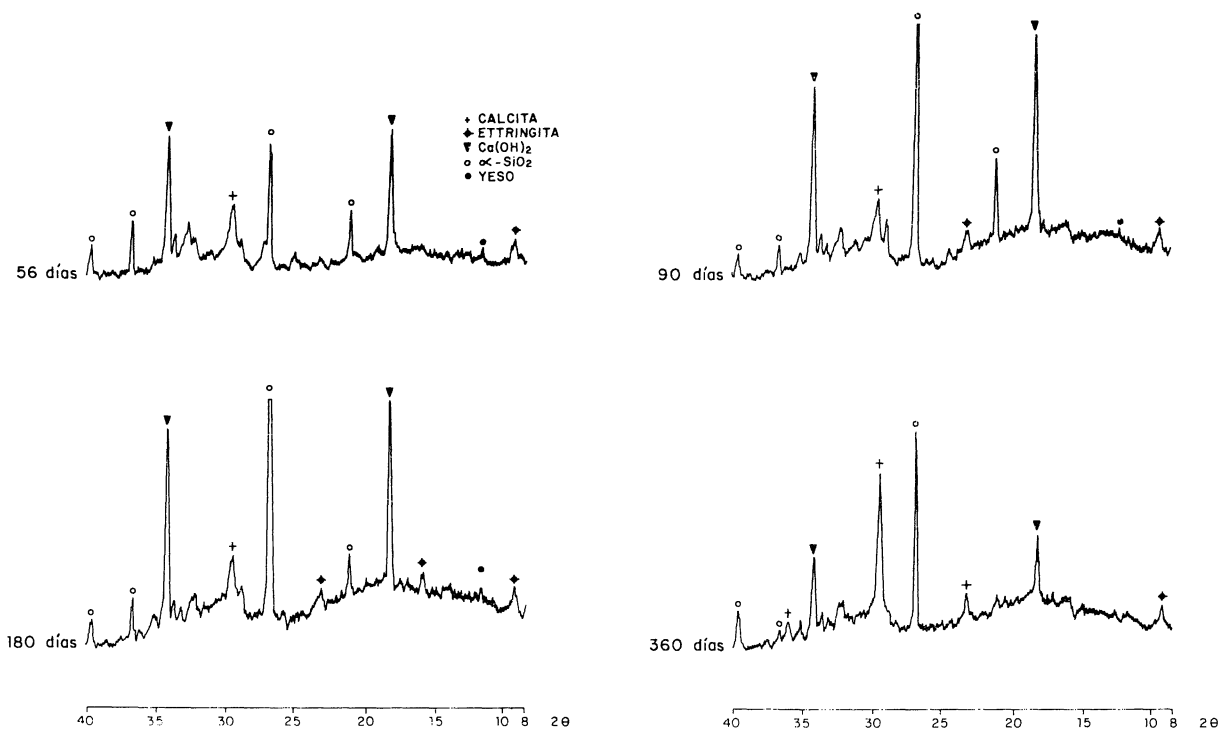


Fig. 3.—Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada.
 Mezcla: cemento 2/escoria = 85/15 (en peso). DRX de la fracción enriquecida.

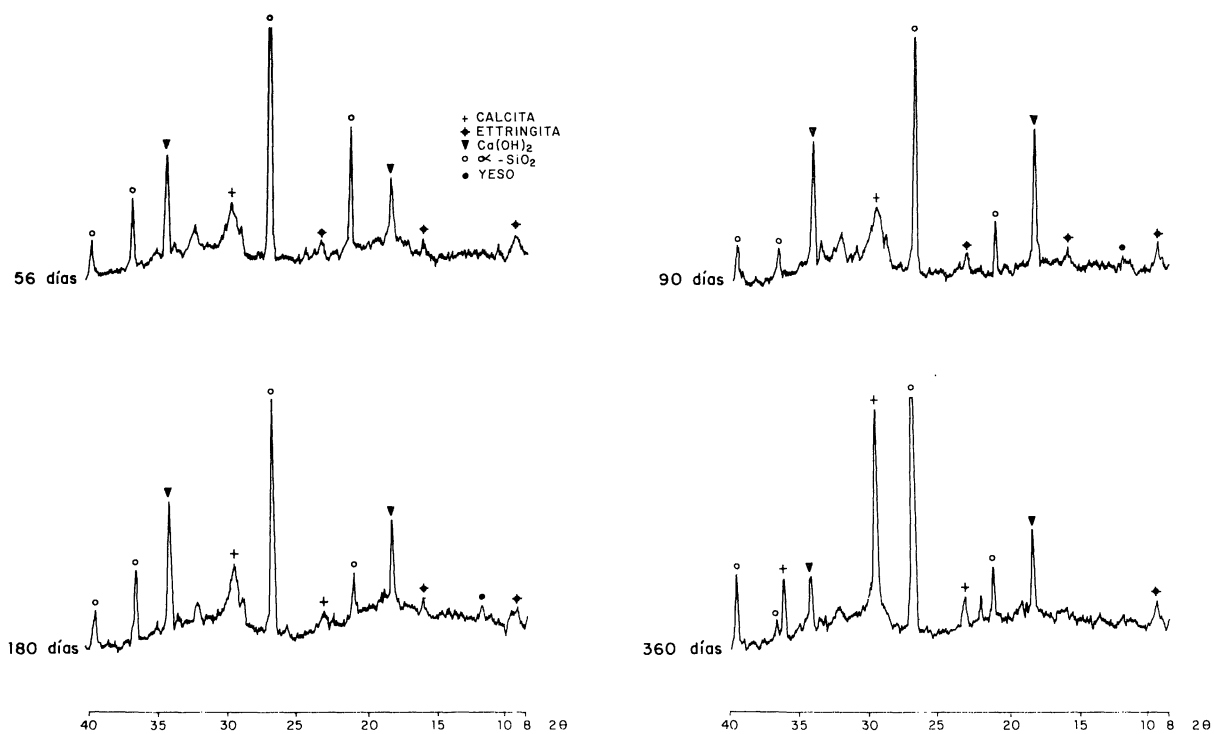


Fig. 4.—Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada.
 Mezcla: cemento 2/escoria = 65/35 (en peso). DRX de la fracción enriquecida.

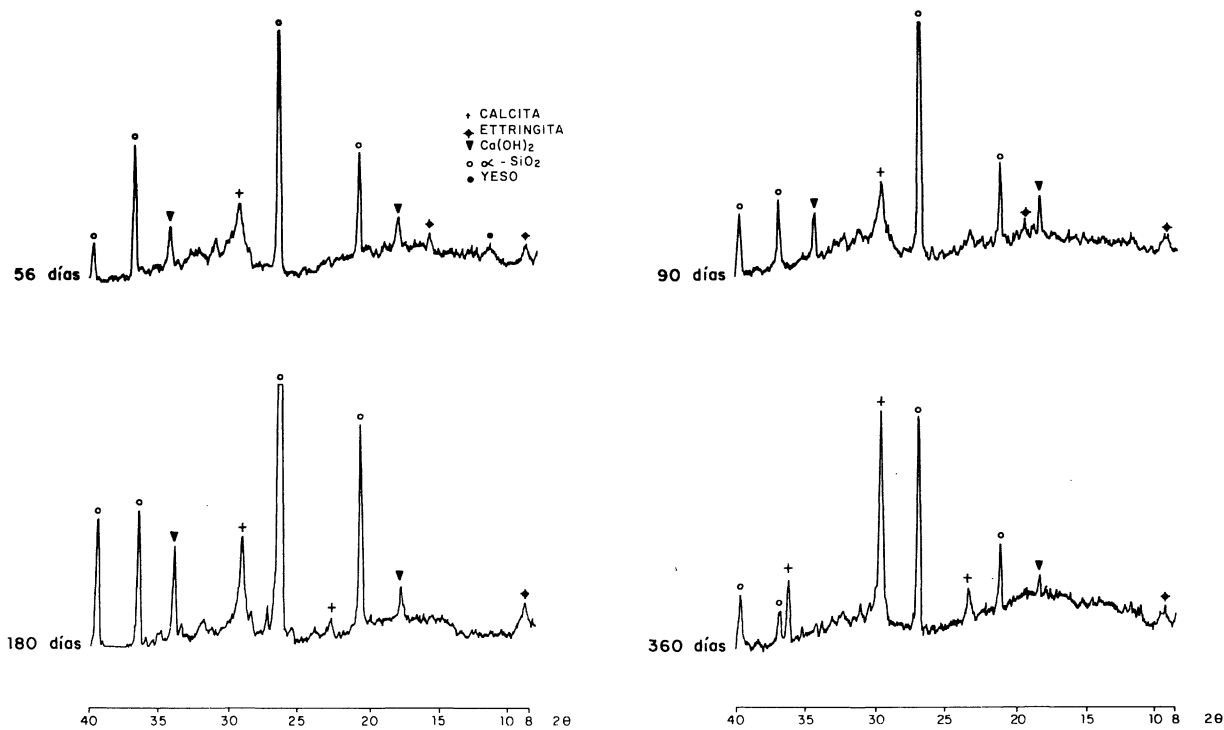


Fig. 5.—Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada.
 Mezcla: cemento 2/escoria = 40/60 (en peso). DRX de la fracción enriquecida.

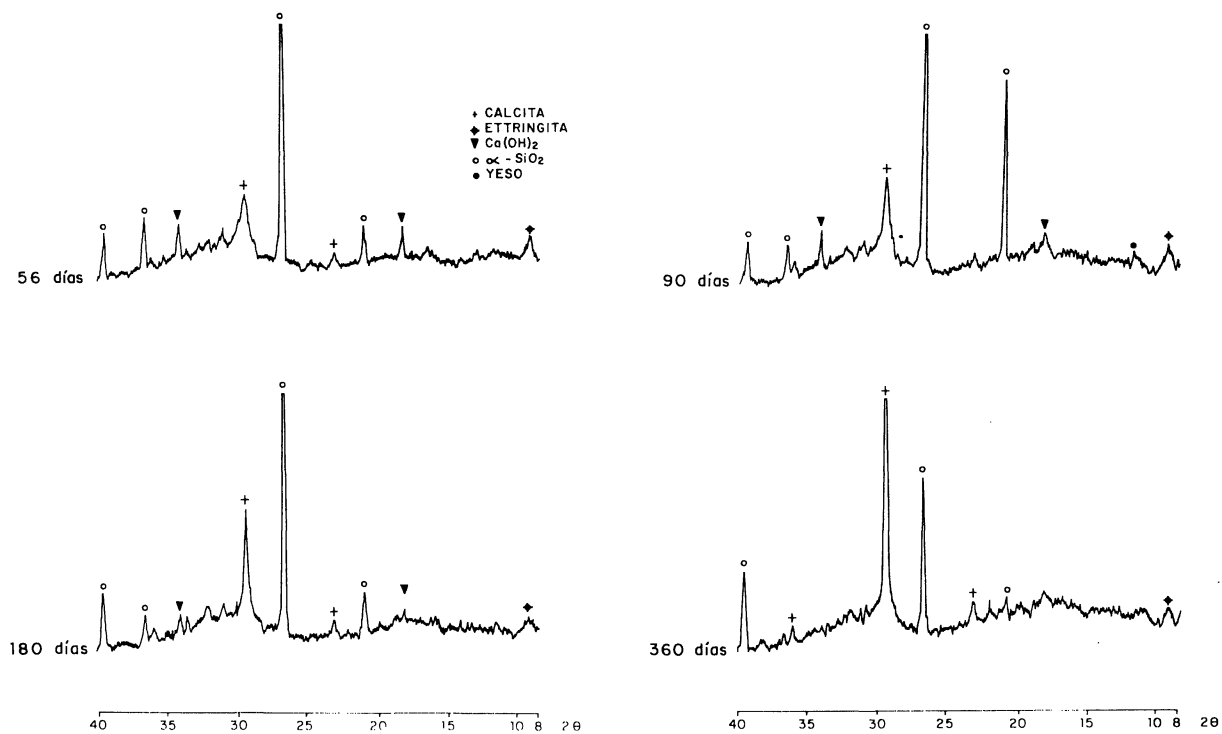


Fig. 6.—Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada.
 Mezcla: cemento 2/escoria = 30/70 (en peso). DRX de la fracción enriquecida.

TABLA 1

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

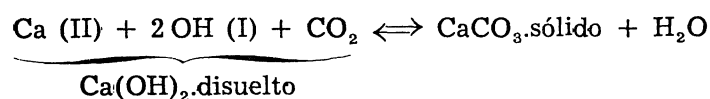
Cemento 2 /escoria en peso	56 días				90 días				180 días				360 días			
	E	HC	Cc	Y	E	HC	Cc	Y	E	HC	Cc	Y	E	HC	Cc	Y
100/0	2	18	4	—	2	13	4	—	1	16	5	—	2	15	6	+
85/15	2	9	4	+	1	14	4	+	2	15	4	+	1	5	11	—
65/35	1	5	4	—	2	10	4	+	+	6	4	+	2	6	16	—
40/60	1	2	4	+	+	3	5	—	2	3	7	—	+	1	16	—
30/70	2	3	4	—	1	1	6	+	+	1	7	—	+	—	20	—

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

4. INTERPRETACION DE RESULTADOS

La nueva fase sólida que se forma en el medio de curado (agua potable filtrada, 21 días) de las probetas fabricadas con las diversas mezclas cemento 2/escoria está compuesta por CaCO_3 cristalizado como calcita. Así mismo, la nueva fase sólida que aparece en el medio de conservación del sistema cemento 2/escoria-agua potable filtrada está formada por CaCO_3 cristalizado como calcita en todos los casos y, además, como aragonito en los casos correspondientes a los medios en donde han estado sumergidas las probetas de mortero hechas con cemento 2 sin adición de escoria, a todas las edades, como se puso de manifiesto en (4).

Como se ha señalado en trabajos anteriores el CO_2 disuelto en el agua es capaz de reaccionar, en medio básico fuerte, con el Ca (II) que se encuentra en la disolución procedente del Ca(OH)_2 , formado en las reacciones de hidratación del cemento, para dar lugar a la formación de CaCO_3 , sólido, según:



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 y favoreciéndose las reacciones de hidratación del clínker, que pasa la primera, en parte, a la disolución en forma iónica, a la vez que los silicatos correspondientes se degradan.

La presencia de escoria en la mezcla fija, parcialmente, el Ca(OH)_2 naciente formando compuestos cálcicos; en este caso la concentración de OH (I) en el medio, así como en la probeta de mortero, es menor, influyendo en el valor del pH.

La cantidad de fase sólida 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 (figura 7), disminuyendo para cada edad conforme aumenta la cantidad de escoria o disminuye la de clínker, como consecuencia de la menor cantidad de Ca(OH)_2 formado, que no ha reaccionado con la escoria y que se disuelve parcialmente en el agua potable filtrada; por otra parte, la cantidad de fase sólida para una misma mezcla depen-

de de la edad de conservación, siendo mayor, por regla general, para las edades superiores.

El hecho de que el CaCO_3 aparezca como calcita o como aragonito depende de las condiciones del sistema y, fundamentalmente, de la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas de mortero, de las características estructurales de la fracción clínker y del pH del medio (4) (5) (6).

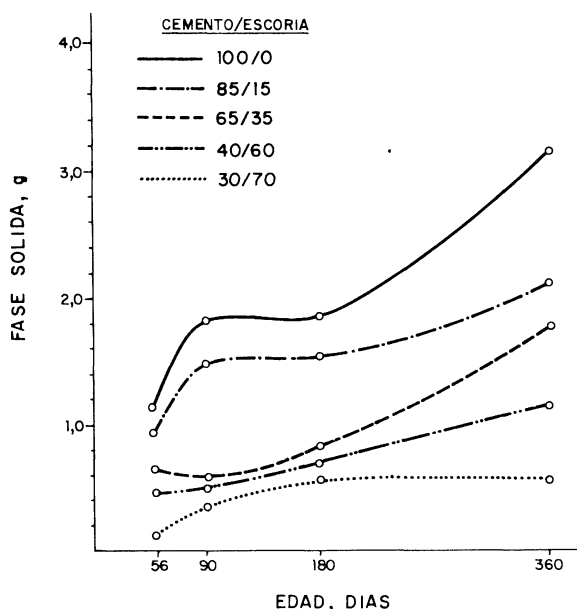


Fig. 7.—Sistema: cemento 2/escoria-agua potable filtrada.

Evolución de la cantidad de fase sólida.

(10), y por otra una 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 CO_2 disuelto en el agua reacciona con el 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 en este trabajo no se han estudiado; esta reacción de carbonatación se inicia en la superficie de las probetas, 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^- (1) y produciendo una disminución del pH. Así, se ha probado que una sección de las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria se colorea totalmente de rojo-violeta cuando se trata con una disolución de fenolftaleína (10); por el contrario, la de las probetas hechas con mezclas cemento 2/escoria lo hace parcialmente, no experimentando coloración la zona exterior de la sección de ~ 2 mm, como se señaló en (2).

5. CONCLUSIONES

Primera

En el sistema cemento 2/escoria-agua potable filtrada aparece una nueva fase sólida en los medios de curado y en los de conservación, que está formada por el compuesto cristalino calcita y, además, por aragonito en el medio de conservación en donde han estado sumergidas las probetas hechas con cemento 2 sin adición de escoria.

La adición de la escoria estudiada al cemento 2 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. En efecto, la fracción correspondiente al clínker es la primera que reacciona con el agua dando lugar a los compuestos hidratados del mismo y al Ca(OH)_2 , que activa a la fracción escoria, reaccionando con ella y disminuyendo progresivamente conforme aumenta la cantidad de escoria; en determinados casos, la reacción es completa no existiendo, por consiguiente, portlandita.

La carbonatación de las probetas de mortero depende de la cantidad de escoria y del tiempo de curado-conservación (2) (7) (8). La carbonatación del mortero produce, por una parte, una disminución del pH, en algunos casos llega a ser próximo a 8 (9)

La cantidad de fase sólida formada disminuye, para una misma edad, conforme aumenta la cantidad de escoria en las mezclas utilizadas para fabricar las probetas y aumenta generalmente, 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 2 sin adición de escoria.

Segunda

En los diagramas de difracción de rayos X de las diversas fracciones enriquecidas extraídas de las probetas de mortero se han identificado los compuestos cristalinos ettringita, portlandita, yeso 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 2/escoria es función, por regla general, del tiempo de curado-conservación.

Cuarta

La intensidad de los picos de los DRX de las fracciones enriquecidas extraídas de las series de probetas fabricadas con las diversas mezclas cemento 2/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) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 179, 59-79, (1980).
- (2) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 181, 23-44, (1981).
- (3) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 174, 48, (1979).
- (4) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 174, 43-70, (1979).
- (5) GARCIA-ALVAREZ, M.^a P.: Tesina fin carrera, Fac. Ciencias Químicas (Univ. Complutense, Madrid), hecha bajo la dirección de GASPARE-TEBAR, D.; Madrid, 1979.
- (6) GASPARE-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 176, 70, (1979).
- (7) VENUAT, M. et ALEXANDRE, J.: *Rev. des Mat. de Const.*: 639, 480, (1968).
- (8) MEYER, A.: Supplementary Paper III-52; págs. 398-399; Proceedings of the Fifth Int. Symp. Chem. of Cement. Tokyo, (1968).
- (9) ALEXANDRE, J.: Thème 3, Rilem Inter. Symp. "Carbonation of Concrete"; Cement and Concrete Asso. Wexham-Springs, 5-6 april, 1976.
- (10) GASPARE-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.