

## **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE ESCORIA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CEMENTOS RESULTANTES**

O.R.Batic, J.D. Sota, D.D.Falcone  
LEMIT-CIC Calle 52 y 121 (1900) La Plata  
Email jdsota@netverk.com.ar. Tel. 0221-4831142/44

### **RESUMEN:**

La escoria de alto horno es un producto que se produce durante la obtención del arrabio, en cantidades proporcionales a la producción. Los constituyentes son similares a los del clinker, pero en proporciones aleatorias como consecuencia de los materiales con que se carga el alto horno para obtención del metal. Es interesante considerar la aplicación de la escoria a la elaboración del cemento desde tres aspectos importantes: tecnológico (mejora propiedades del cemento y del hormigón), ambiental (menor contaminación) y económico (ahorro de combustible no renovable, aumenta la capacidad de fabricación de cemento). El cemento elaborado con escoria se aplica a la construcción de obras en general desde más de 100 años, contándose con resultados del hormigón fresco (trabajabilidad) y propiedades en estado endurecido, en particular de su resistencia mecánica y química. La influencia de esta adición en las características de los cementos resultantes esta vinculada con la composición de la escoria, tamaño y distribución de partículas, el porcentaje utilizado, tiempo de curado, (variables de temperatura y humedad), clinker base, aditivos, ayuda molienda, etc. En esta oportunidad se hacen consideraciones sobre el aspecto tecnológico mostrando una breve reseña de cómo varían algunas características de estos ligantes en base a las escorias utilizadas en nuestro medio.

### **INTRODUCCIÓN**

La escoria granulada de alto horno (en adelante escoria) se produce como consecuencia de la reducción del mineral de hierro en los altos hornos, o sea que es un desecho industrial que contamina el ambiente, por lo que resulta interesante lograr una aplicación. Los elementos químicos que la constituyen son similares a los del clinker, pero en proporciones diversas, según los componentes que se introducen en el horno. Si la escoria a la salida del crisol se enfría bruscamente se congelan los compuestos principales formados a esa temperatura, la microestructura se vitrifica y se generan características que permiten su aprovechamiento en la elaboración del cemento o del hormigón.

Resulta interesante la utilización de la escoria enfriada bruscamente desde un concepto integral. Una consideración es que pueda ser utilizada en la resolución de problemas tecnológicos en el hormigón principalmente por la incorporación como polvo fino que actúa como dispersante y mejora la hidratación, modifica la retención de agua, colabora con la resistencia mecánica, disminuye el calor de hidratación, mejora la durabilidad (porosidad y difusión), atenúa las reacciones deletéreas como ataque de sulfatos, agua de mar, ingreso de cloro, RAS, etc..

Sin embargo estas aplicaciones deben ser resueltas puntualmente, es decir, cada aplicación específica puede provocar variaciones en otras propiedades del cemento y del hormigón.

Otra consideración importante es la vinculada con la ecología, se debe promover la utilización de la escoria con el fin de evitar la acumulación y contaminación, ya que el depósito resta espacios, contamina la visual y las lluvias lixivian diversos productos que se infiltran en los suelos, contaminándolos como así también a las aguas freáticas.

Por último la aplicación como adición mineral activa (AMA) a los ligantes, ya sea en la elaboración o como reemplazo, permite disminuir la emisión de CO<sub>2</sub> y menor utilización de combustible, a través de un menor requerimiento de clinker. Habitualmente demanda algo mas de energía para la molienda que el clinker y produce mayor desgaste de los elementos molturantes.

Entrando en el campo de la aplicación en el cemento se observa que la influencia que producen las escorias está vinculada a la composición mineralógica y química, al proceso de enfriado (vitrificación), a la finura, distribución del tamaño de partículas, forma de molienda (conjunta o individual), porcentaje utilizado, curado, (humedad, temperatura, tiempo), clinker base, aditivos agregados durante molienda, etc..

En general el cemento con escoria se puede elaborar principalmente, por molienda conjunta de los componentes (clinker, yeso, escoria) o bien se puede moler en forma separada cada componente y mezclar los pòlvos en un equipo de homogeneización eficiente. La dureza de los constituyentes de este cemento son diferentes, en el primer caso, el tamaño resultante de cada componente es diferente, mientras que en el segundo caso es posible controlar el tamaño y distribución de cada componente, esto sumado al % que se utiliza, puede cambiar el comportamiento del cemento resultante en el hormigón.

Considerando que cada componente del cemento compuesto produce una influencia determinada sobre la hidratación del ligante, es posible esperar que el comportamiento del cemento resultante varíe con las proporciones, a título de ejemplo al aumentar el % de escoria y disminuir el clinker, se modifica el tiempo de fraguado y el desarrollo de resistencia inicial y final, con la influencia que producen diversos curados.

## **RECOPIACIÓN DE ALGUNOS DATOS EXPERIMENTALES**

### Procedencia y composición de la escoria

La escoria que se usa en la elaboración de cementos compuestos puede tener diferentes orígenes locales o externos, además por proceder de un proceso industrial cuyo objetivo principal es la obtención del hierro, puede cambiar la composición mineralógica y química. En la Tabla 1 se muestran escorias locales obtenidas en distintos tiempos.

Tabla 1: Análisis Químico

Determinación	Años		
	1986	2003	2005
Residuo Insoluble	0.40	0.19	0.11
Perdida por Calcinación		0.39	0.15
Oxido de Magnesio (en MgO)(%)	4.00	8.90	2.70
Anhídrido silícico (en SiO <sub>2</sub> ) (%)	37.5	36.1	35.7
Oxido de Hierro (en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (%)	1.60	0.21	0.58
Oxido de Aluminio (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (%)	15.0	16.1	17.9
Oxido de Calcio (en CaO) (%)	41.0	37.4	40.1
Oxido de Sodio (en Na <sub>2</sub> O) (%)	0.39	0.14	0.17
Oxido de Potasio (en K <sub>2</sub> O) (%)	0.78	0.25	0.37

El estudio de los resultados de análisis químico, muestra que las escorias utilizadas tienen variaciones lógicas de acuerdo a la partida. Están vinculadas a las necesidades industriales y composición de los materiales componentes.

El uso de mayor porcentaje de escoria aumenta los tiempos de fraguado inicial y final utilizando el método de Vicat, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Tiempo de fraguado (Vicat)

Tiempo (min)	Patrón 1	35% Escoria	45% Escoria	Patrón 2		
				35% Escoria	45% Escoria	
Inicial	165	195	205	120	155	185
Final	220	270	295	205	240	265

Tabla 3: Resistencia a compresión en morteros y finura del cemento compuesto

% de Escoria		10%	20%	30%	50%	70%	90%
Edad (días) en MPa	3	31.6	27.8	24.5	14.9	8.7	5.4
	7	40.4	39.8	35.7	22.1	15.3	12.7
	28	59.4	57.1	56.9	50.5	34.5	27.2
	90	66.2	69.4	71.2	71.0	59.5	35.9
	180	67.2	69.1	67.5	78.4	72.3	39.4
Sup. Esp.		428	428	457	453	468	461
Ret 45 μm		13.7	12.1	11.4	17.1	18.0	15.2

Con características similares de finura, el porcentaje de adición creciente de escoria incide en la disminución de la resistencia a las primeras edades y se alcanzan resistencias similares en las mezclas usando hasta un 70% de adición, a los 180 días.

### Calor de Hidratación

Como es de esperar el incremento del porcentaje de escoria disminuye porcentualmente el calor de hidratación de los cementos resultantes y desplaza el tiempo en que se produce el pico máximo.

Gráfico 1: Influencia % de escoria en calor de hidratación

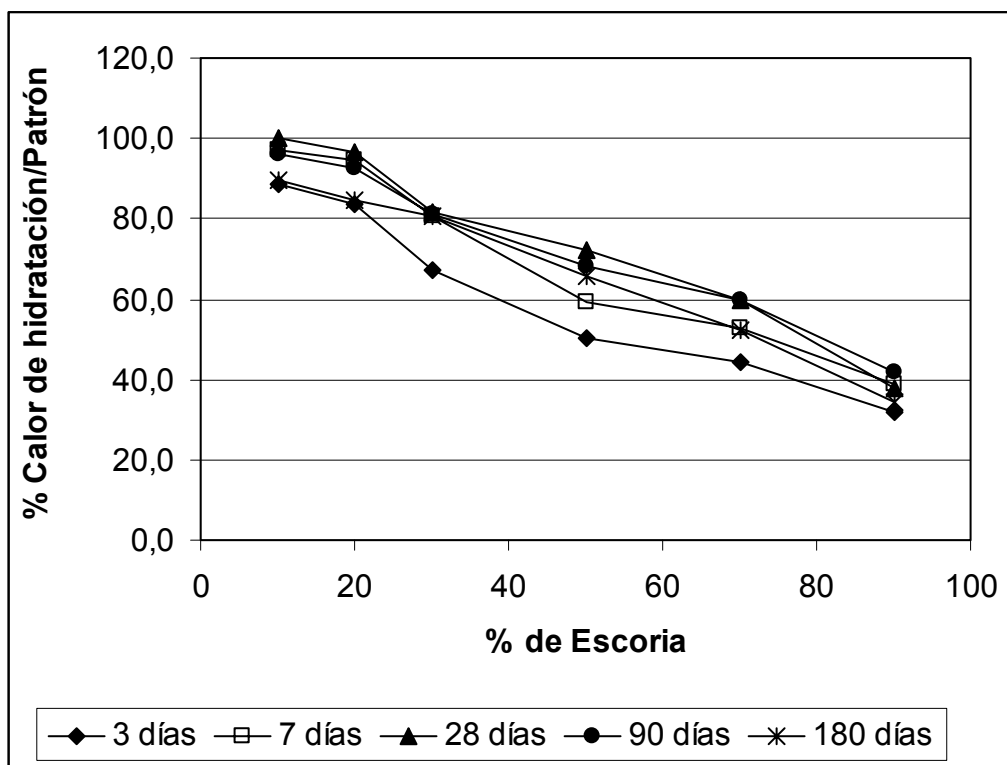


Tabla 4: Datos de calor de hidratación en cementos con escoria

% Escoria	Edades de ensayo (días)				
	3	7	28	90	180
10	88,8	97,1	99,9	96,0	89,5
20	83,8	94,4	96,8	92,7	84,6
30	67,0	80,9	81,8	81,4	80,7
50	50,5	59,2	72,1	68,4	65,7
70	44,1	52,8	59,9	59,6	52,2
90	31,7	38,9	38,0	41,8	34,5

### Durabilidad de ligantes con escorias

Los cementos con escoria poseen buena respuestas frente a los factores externos agresivos y pueden atenuarse los efectos de la RAS, por este motivo existen muchos ejemplos de aplicaciones de escoria en la bibliografía.

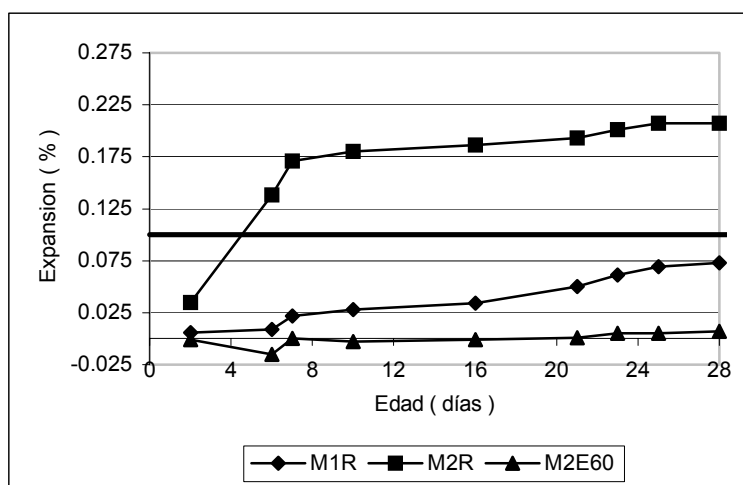
A continuación se muestran algunas experiencias realizadas a fin de mejorar el comportamiento del hormigón frente a un determinado agresivo.

Reacción álcali-agregado

Tabla 5: Composición de las mezclas de mortero u hormigón estudiadas

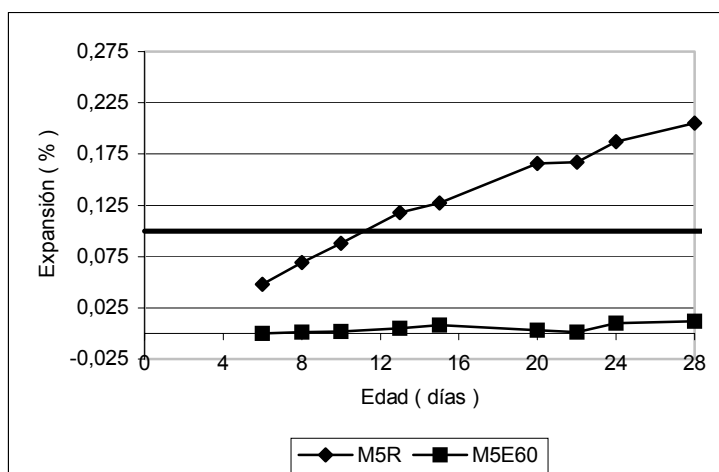
MEZCLA	CEMENTO	AGREGADO	ADICION
M1R	CAA	Arena Silicea	-
M2R	CAA	Ortoquarcita	-
M2E60	CAA	Ortoquarcita	60% E
M5R	CAA	Migmatita	-
M5E60	CAA	Migmatita	60% E
M7R	CAA	R. Patagónico	-
M7E60	CAA	R. Patagónico	60% E

Gráfico 2: Expansiones método IRAM 1674



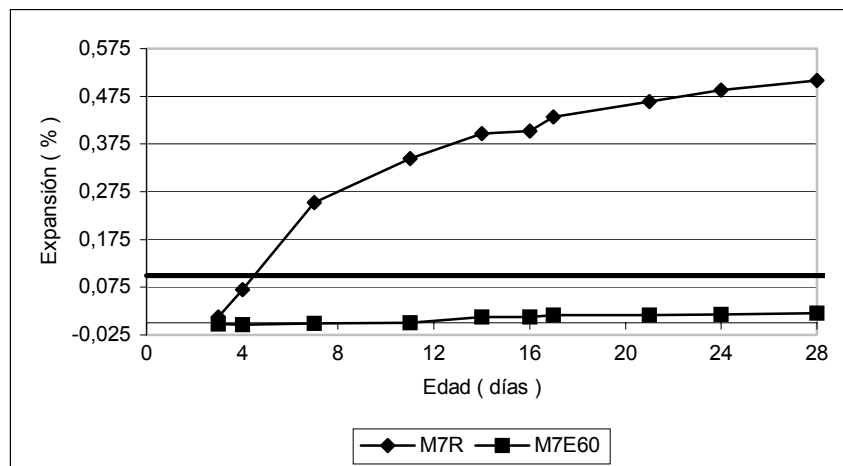
En el gráfico 2 se estudia el efecto de la escoria, utilizando un cemento de alto contenido de álcali (CAA) ( $\text{Na}_2\text{O}_e$  1.14%) en un mortero con un agregado reactivo (arenisca cementada con ópalo) (M2R) (expansión 0,175 % a los 16 días), además se consigna como patrón comparativo un agregado no reactivo (M1R) , sin adición y CAA. Se observa que la mezcla con la adición del 60%, en peso, de escoria granulada de alto horno (M2E60) disminuye fuertemente la expansión deletérea,

Gráfico 3: Expansiones método IRAM 1674.



El gráfico 3 muestra los resultados obtenidos al utilizar en las mezclas un cemento de alto álcali y un agregado de reacción lenta, con cuarzo tensionado y deformado (M5R) (expansión 0.125% a la edad de 16 días) nuevamente se observa el beneficio del reemplazo del 60% de escoria granulada (M5E60)

Gráfico 4: Expansiones método IRAM 1674



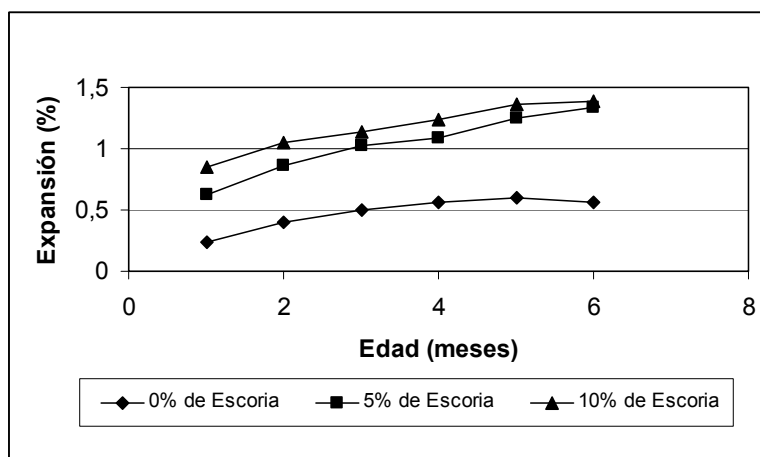
El gráfico 4 muestra los resultados obtenidos en el estudio de las mezclas de cemento de alto álcali y un agregado natural de fuerte reactividad procedente de la Patagonia (expansión a los 16 días del orden de 0.450%). Cuando se reemplaza 60% del cemento por escoria (M7E60), se se observa una clara la disminución de la reacción.

En la tabla 6 y el gráfico 5, se muestra la incidencia negativa de usar bajos contenidos de adición de escoria frente a agregados altamente reactivos con ópaló en su composición mineralógica.

Tabla 6: Expansiones método IRAM 1637.

Escoria %	Cemento %	Expansión a la edad de (meses) (%):					
		1	2	3	4	5	6
0	100	0.239	0.405	0.494	0568	0600	0.560
5	95	0.625	0.864	1.019	1.087	1.254	1.333
10	90	0.844	1.046	1.139	1.233	1.362	1.386

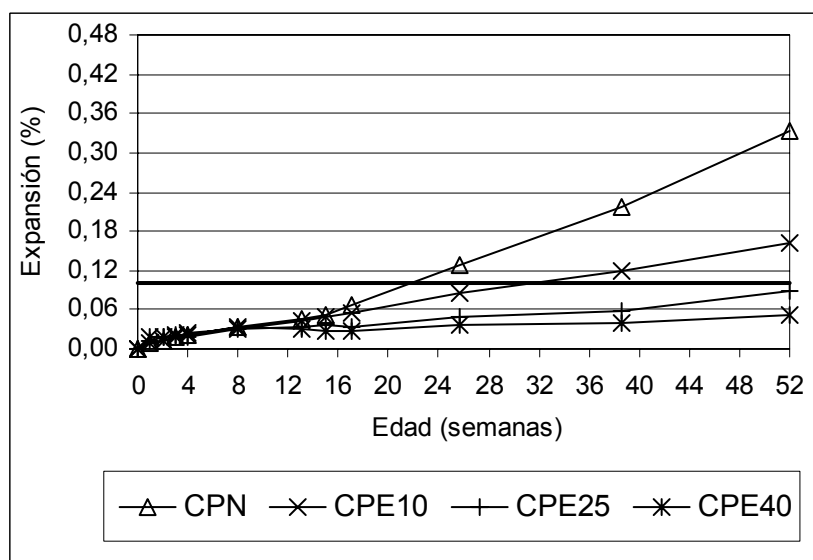
Gráfico 5: Expansiones método IRAM 1637.



### Ataque por sulfatos

La acción externa de las sales de sulfatos puede ser atenuada entre otras alternativas reemplazando una parte del cemento por escorias. Para ilustrar esta situación se muestra el comportamiento de un cemento portland normal con un contenido de  $AC_3$  aproximadamente 8%, con adiciones de 10, 25, y 40% de escoria en peso, aplicando los lineamientos de la Norma IRAM 1635. Los resultados obtenidos para los diferentes morteros indican que el CPN40 no es resistente al ataque por sulfatos, lo mismo que el CPN con la adición del 10% de escoria; mientras que con adiciones de 25 y 40 % mejora el comportamiento, siendo mejor a mayor adición porcentual de escoria.

Gráfico 6: Expansiones método IRAM 1635.



## Consideraciones finales

La escoria granulada de alto horno constituye un material que, mediante estudios tecnológicos, puede ayudar a resolver diferentes dificultades en el hormigón fresco y en el endurecido.

Existe suficiente experiencia a nivel internacional y local para orientar los estudios previos en los porcentajes convenientes que se deben usar para lograr los objetivos deseados.

Es indispensable disponer de los resultados de las experiencias previas antes de aplicarlos a las obras.

Es necesario realizar controles permanentes durante la producción para verificar la regularidad.

Se observa que al introducir variaciones en la composición de la escoria, en los porcentajes, en la metodología o industrialización pueden aparecer consecuencias no deseadas.

Como se observa en los resultados de algunas experiencias mostradas, los reemplazos de diferentes porcentajes, conducen a respuestas diferentes; por lo que si se desean resultados homogéneos en obra es necesario limitar los ámbitos de variación.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. R. Lee. "Blastfurnace and Steel Slag. Production, properties and uses". Edward Arnold London. (1974).
- V. M. Malhotra. "Supplementary Cementing Materials. For Concrete". Canmet. Canada. (1987). Chapter 4,5 and 6.
- "Seminario latinoamericano sobre utilización de escorias de Altos Hornos en la construcción". Argentina. INTI (1991).
- O. R. Batic, J. D. Sota. "Algunas experiencias sobre cementos mixtos con escoria granulada de alto horno". Revista Hormigón N° 8. AATH (1982). pp 23-30.
- E. F. Irassar. "Evaluación de la resistencia a los sulfatos de los cementos con adiciones minerales activas mediante el método Koch-Steinegger". IX Conferencia Interamericana sobre Tecnología de Materiales. Chile. (1987) . pp 605-609.
- E. F. Irassar. "Ataque de sulfatos al hormigón. Adiciones minerales activas". Revista Hormigón N° 16. AATH (1986). pp 21-31.
- G. J. Osborne. "The performance of Portland and Blast Furnace Slag Cement Concrete in Marine Environments". SP 132-70.Turkía. (1992). pp 1303-1323.
- V. F. Rahhal y O. R. Batic. " Contribución de las adiciones minerales activas al desarrollo del calor de hidratación". Revista Hormigón N° 22. (1992). pp 33-54.
- E. Douglas y R. Zerbino. "Characterization of granulated and pelletized blast furnace slag". Cement Concrete Research. Vol 16. (1986). pp 662-670.
- Preliminary Slag Scoping Study for EcoSmart Concrete. Prepared by P. K. Mukherjee. ISRN IN-0226-1103. Canada. (2004).