

cemento de escorias

JULIO C. FERNANDEZ VAZQUEZ-GULIAS

C. A. Venezolana de Cementos

Definición

Se denomina escoria al subproducto obtenido en el beneficio siderúrgico de los minerales de hierro para la obtención de lingotes. Aunque se forman escorias en varios procesos metalúrgicos, desde el punto de vista de fabricación de cementos interesan únicamente las que resultan de la obtención del hierro para fundición y en estado granular.

Las escorias fluyen por la parte inferior del horno, encima del hierro fundido a una temperatura que oscila entre 1.300 y 1.500° C. Su menor densidad hace que floten sobre el resto de la fundición, lo que se aprovecha para separarlas.

Composición

Fundamentalmente, son combinaciones de los residuos térreos de los minerales de hierro (ganga) y los fundentes añadidos; y, por lo tanto, químicamente su composición será dependiente de ambos, así como de la clase de hierro que vaya a obtenerse.

Cualitativamente sus componentes son similares a los del cemento portland, siendo la cal, sílice, alúmina y magnesio los más importantes, además de los óxidos de hierro (ferroso), manganeso, y el azufre en forma de sulfuros.

Aparte de su composición, es factor importantísimo para su aprovechamiento hidráulico la estructura formada al solidificarse (vítreo o cristalina).

La mayor cantidad de cal en las escorias las hace más activas como conglomerantes, aunque dificulta la vitrificación, inversamente de lo que sucede con el contenido de sílice.

Un componente que hay que tener muy en cuenta es la alúmina, que contribuye de una manera decisiva a la formación de la fase vítrea, lo que equivale a un mayor poder hidráulico en potencia.

El contenido de magnesio no debe preocupar en las escorias siderúrgicas, puesto que no se encuentra como óxido magnésico, sino en forma de un silicato, llamado "akermanita", que tiene cierto valor hidráulico.

El hierro está presente en pequeñas cantidades y actúa facilitando el granulado, pero aminora la actividad hidráulica.

En cuanto al azufre, se halla en forma de sulfuro de calcio. Es conveniente la solución del azufre en la escoria, para que el hierro fundido quede desulfurado; esto se consigue aumentando la temperatura o el contenido de cal de la escoria.

Con relación al manganeso, que se encuentra como óxido manganoso, no ofrece inconvenientes en pequeñas proporciones, pero influye desfavorablemente en las condiciones de reaccionabilidad de la escoria en cuanto aumenta su porcentaje.

Granulación

En los primeros tiempos de la siderurgia no se sacó el provecho adecuado a la escoria, cuyo nombre es sinónimo de inservible o desecho.

Cuando se la deja enfriar lentamente se solidifica en forma de masas pétreas con estructura cristalina, que se conoce con el nombre de escoria en terrón o densa. Esta escoria encuentra aplicación como árido grueso para grandes obras de hormigón, así como en carreteras y aislamientos térmicos, pero no es adecuada para su utilización como conglomerante.

El aprovechamiento de la escoria como conglomerante se originó en el año 1862, cuando Eugen Langen descubrió que el proceso de granulado originaba un material con propiedades hidráulicas al

mezclarlo con cal. De ahí provienen dos industrias nuevas: la fabricación del cemento de escorias y la utilización de las escorias granuladas como áridos ligeros.

Esta mezcla de escorias y cal puso al descubierto que las escorias granuladas pueden considerarse como sustancias hidráulicas latentes, que, finamente molidas y en contacto íntimo con activadores, son capaces de formar conglomerantes.

La granulación de las escorias consiste en un enfriamiento brusco para que la escoria solidifique en estado vítreo y evitar así la ordenación molecular que es imperativo para toda cristalización. Esta operación se verifica con agua, aire, vapor o bien mixta: agua y aire.

Siendo así que las escorias granuladas son las que importan por sus cualidades conglomerantes, se debe conceder una especial importancia a la granulación.

Es interesante que el descenso de temperatura sea lo más acentuado posible para que la masa fundida posea una estructura vítrea por solidificación uniforme, y sin dar lugar a la formación de individuos cristalinos diferenciados. Esta ordenación interior se origina posteriormente en el fraguado.

Como activadores o excitadores alcalinos pueden servir: la cal, un álcali cáustico, sulfatos alcalinos, magnesia, o bien el cemento portland, que libera hidróxido cálcico al ser amasado con agua.

Conocidas las propiedades hidráulicas o potenciales de las escorias, y teniendo en cuenta su bajo costo, era lógico que se iniciaran una serie de ensayos de fabricación de cemento de escorias para sustituir al cemento portland. La inexperiencia inicial fue culpable de un retraso al querer utilizar escorias sin valor hidráulico o polvos metalúrgicos. Ello dio motivo a que la "Verein Deutscher Portlandzement" se pronunciara en contra de las escorias, hasta que Passow (introducir del procedimiento de granulado por aire) consiguió en 1911 que el cemento de escorias obtuviera en Alemania el reconocimiento oficial en paridad con el portland.

Volviendo al tema, la granulación por agua suele aconsejarse en cuanto a calidad, porque da un mayor contenido vítreo, pero la que se verifica con aire ofrece más ventajas económicas, sobre todo porque no necesita secarse, aunque se considera algo más difícil de moler.

Debemos anotar que también tiene bastante importancia el tamaño de los gránulos para el potencial hidráulico de la escoria, estando en relación inversa con esta medida, ya que al aumentar el tamaño es menor la proporción de contenido vítreo.

Aplicaciones

1) La escoria molida se puede emplear como material crudo debidamente dosificada con caliza por procedimiento seco. En este caso no interesa la granulación, siendo lo más importante su composición química y, por lo tanto, aquí ya hay que cuidar que no sea elevado el contenido de óxido de magnesio.

2) En mayores cantidades se hace uso de la escoria granulada para fabricar los cementos de escorias con variables proporciones de clinker y escorias, según las clasificaciones donde se hallan encuadradas en las distintas naciones productoras.

3) Recientemente se emplea la escoria granulada molida, ya sea en forma de pasta o polvo para añadir a la mezcla cemento-árido en el momento del amasado, con buenos resultados.

Fabricación del cemento de escorias

Puestas de manifiesto por Langen las buenas propiedades hidráulicas de las escorias granuladas, fue Prüssing en 1892 el encargado de dirigir en Alemania la primera fabricación del cemento de escorias, que se extendió y llegó a adquirir extraordinaria importancia en las demás naciones.

Los estudios de Michaëlis, Tetmajer, Prost y otros contribuyeron sobremanera al mejor conocimiento y expansión de esta industria.

Como pequeña contribución hemos efectuado los siguientes:

Ensayos de laboratorio

Se utilizó escoria granulada, cuyo análisis fue:

CaO (óxido de calcio)	40,50 %
SiO ₂ (anhídrido silícico)	31,70 %
Al ₂ O ₃ (óxido de aluminio)	15,84 %
MgO (óxido magnésico)	7,90 %
FeO (óxido ferroso)	1,00 %
MnO (óxido manganeso)	1,73 %
S (azufre)	0,48 %
P. F. (pérdida al fuego)	0,00 %

Esta escoria se pasó por el molino de discos, quedando con un residuo aproximado de 72 por 100 sobre el tamiz número 200.

Análoga operación se verificó con clínker tipo I (según normas A. S. T. M.) hasta conseguir un residuo parecido.

Lo mismo se hizo con una mezcla de clínker (95 por 100) y yeso (5 por 100).

El objeto fue tratar de conseguir unos materiales de finura semejante como punto de partida, para poder determinar durante la molienda las variaciones granulométricas y, por consiguiente, saber su grado de molturabilidad a medida que transcurría el tiempo.

Las mezclas aparecen en la:

TABLA I

Muestra	% escorias	% clínker	% yeso
1	—	95	5
2	10	85	5
3	30	65	5
4	40	55	5
5	50	45	5
6	60	35	5
7	90	5	5
8	—	100	—
9	100	—	—

Por su proporción, las muestras 3 a 6 (inclusive) caen dentro de las especificaciones de la A. S. T. M. para cemento portland de escoria de alto horno.

Una vez hechas las muestras se metieron en los molinos de bolas con igual carga de cuerpos molidores.

Regularmente se efectuaron las paradas para determinar los residuos sobre el tamiz número 200 y superficie específica Blaine.

Se cesó la molienda en cuanto el residuo sobre el tamiz número 325 fue inferior a 12 por 100 en las muestras 1 al 7 inclusive.

En cuanto al clínker (muestra número 8) y a la escoria (muestra número 9) se prolongó la molienda para estudiar mejor sus características.

Los valores de los residuos obtenidos al variar el tiempo aparecen en la

TABLA 2.—% de residuos sobre tamiz número 200.

MUESTRA	1 Cem.	2 Cem. + 10 %	3 Cem. + 30 %	4 Cem. + 40 %	5 Cem. + 50 %	6 Cem. + 60 %	7 Cem. + 90 %	8 Clínker	9 Escoria
Res. inicial	72,6	77,2	72,1	72,0	72,0	71,8	71,7	72,4	71,6
Res. después de 10'	—	—	—	—	—	—	—	45,6	60,0
» » » 20'	—	36,8	—	—	—	—	—	38,0	51,6
» » » 30'	28,8	—	38,2	39,1	43,4	42,0	42,5	29,6	43,2
» » » 40'	—	20,0	—	—	—	—	—	21,0	37,4
» » » 50'	—	—	—	—	—	—	—	16,8	30,4
» » » 60'	13,5	14,2	20,2	21,2	25,0	25,0	36,8	12,0	24,0
» » » 70'	—	—	—	—	—	—	—	8,2	18,4
» » » 80'	—	11,3	—	—	—	—	—	7,4	15,4
» » » 90'	7,3	—	13,7	13,9	18,0	17,0	23,8	5,0	10,4
» » » 100'	—	8,1	—	—	—	—	—	4,6	8,0
» » » 110'	—	—	—	—	—	—	—	2,6	6,4
» » » 115'	—	6,0	9,7	—	—	—	—	—	—
» » » 120'	4,0	5,8	—	8,4	12,7	11,5	17,4	2,2	4,4
» » » 130'	—	3,8	6,1	6,6	—	—	—	1,6	4,0
» » » 140'	—	3,4	—	4,1	—	—	—	1,0	3,0
» » » 150'	—	—	—	3,6	9,4	10,5	13,1	—	2,4
» » » 160'	—	—	3,1	3,2	—	—	—	—	2,0
» » » 170'	—	—	—	2,8	—	—	—	—	1,6
» » » 175'	—	—	—	—	—	—	—	—	1,4
» » » 180'	—	—	2,6	—	6,0	7,2	9,4	—	—
» » » 210'	—	—	—	—	5,4	6,9	8,1	—	—
» » » 230'	—	—	—	—	—	5,0	6,5	—	—
» » » 260'	—	—	—	—	—	—	4,4	—	—

Se puede notar la mayor dificultad ofrecida por la escoria para llegar a un residuo igual que el clínker. Por ejemplo: a los 130 minutos de molienda, el clínker (muestra 8) tiene un residuo de 1,6 por 100 S. T. número 200, igual al que se consiguió para la escoria después de 170 minutos de molienda.

Consecuentemente se hace necesario incrementar el tiempo de molienda a medida que se aumenta la proporción de escorias.

Intentar llegar a un cálculo de consumo energético para la molienda de cemento de escorias disponiendo solamente de estos datos es muy arriesgado.

Como el grado de subdivisión de la escoria granulada aumenta su actividad, es conveniente proyectar la molienda de la misma para obtener finuras elevadas, teniendo en cuenta, además, las características granulométricas iniciales, porosidad, peso específico, dureza, textura, etc.

En cuanto a la homogeneización de la escoria con el cemento, debe mostrarse especial cuidado, ya que la distinta densidad de ambos puede ocasionar segregaciones, incluso en el vaciado del silo al formarse conos.

De todas maneras hay autores que insisten en que las variaciones del cemento de escorias no son ostensibles, aunque la mezcla no sea excesivamente rigurosa. Sin embargo, nos inclinamos en favor de una buena homogeneización.

Continuando con la exposición de los trabajos efectuados en el Laboratorio, incluimos la:

TABLA 3.—Residuos y fraguado.

Muestra número	Respuesta sobre tamiz núm. 200 (%)	Respuesta sobre tamiz núm. 325 (%)	% H ₂ O	Fraguado inicial (horas)	Fraguado final (horas)	Observaciones
1	4,0	11,4	26,0	2-15	3-25	Sin grietas.
2	3,4	11,5	25,0	2-05	3-05	Sin grietas.
3	2,6	12,0	25,0	2-45	3-05	Grietas circ.
4	2,8	11,5	25,0	2-55	4-05	Grietas circ.
5	5,4	11,8	25,0	3-00	4-40	Grietas circ.
6	5,0	11,2	24,0	3-05	5-15	Grietas circ.
7	4,4	10,9	23,0	4-00	5-45	Grietas circ. y certrales.
8	1,0	0,06	—	rápido		
9	1,4	9,0	25,0	18-00	48-00	

Podemos ver que el tiempo de fraguado se alarga al ser mayores las proporciones de escoria, y el porcentaje de agua desciende en el mismo sentido.

En algunas partes se utilizan activadores de fraguado (tales como cloruros o sulfato sódico), que en este caso no consideramos necesarios, ya que los resultados caen dentro de las normas establecidas.

TABLA 4.—Otros ensayos.

Muestra número	Prueba ebullición	% exp. autoclave	% SO ₃	% res. insol.	Peso específico	Superf. Blaine
1	Normal	0,222	2,35	0,37	3,08	3.401 cm ² /g
2	Normal	0,108	2,32	0,44	2,97	3.383 »
3	Normal	0,059	2,15	0,53	2,95	3.800 »
4	Normal	0,050	2,04	0,60	2,96	3.290 »
5	Normal	0,034	2,03	0,48	2,93	3.161 »
6	Normal	— 0,015	2,01	0,50	2,93	3.310 »
7	Normal	— 0,033	1,79	0,51	2,89	3.255 »
8	—	—	0,35	0,35	3,11	3.720 »
9	—	—	—	0,35	2,91	2.755 »

Las pruebas de ebullición (estabilidad de volumen) resultaron perfectas. Otro tanto sucedió con la expansión al autoclave.

* Las observaciones se refieren al aspecto de las tortas después de haber fraguado. Debemos de anotar que las condiciones de fraguado no fueron las ideales. La formación de fisuras es indicio de que al aumentar el contenido de escorias se hace más acusada la retracción (para similares finuras). Ello hace que se necesite un cuidadoso curado húmedo para evitar estos inconvenientes.

** El alto residuo de la escoria se debe a minúsculos granos de hierro metálico.

Resistencias

Una de las pruebas fundamentales para valorar la calidad de un aglomerante son sus resistencias. De "altamente satisfactorios" podemos catalogar los resultados de nuestra experiencia.

TABLA 5.—Resistencias a la tracción.

Muestra número	Escorias (%)	H ₂ O (%)	3 días (kg/cm ²)	7 días (kg/cm ²)	28 días (kg/cm ²)
1	—	26,0	27,4	32,3	37,2
2	10	25,0	27,0	33,4	37,6
3	30	25,0	23,5	33,0	36,5
4	40	25,0	23,2	32,3	36,5
5	50	25,0	22,8	30,2	35,5
6	60	24,0	22,5	29,2	35,1
7	90	23,0	11,2	17,5	24,2

Se puede notar que el cemento, con el 10 por 100 de escorias, tiene a los 7 y 28 días una resistencia ligeramente superior al cemento portland.

El descenso de resistencias se hace más ostensible en las primeras edades con el incremento de escoria.

De todas maneras es muy elocuente el hecho de que la muestra número 6 (con 60 por 100 de escorias) escasamente sufrió un descenso del 6 por 100 en comparación con el valor que alcanzó la muestra número 1 (cemento sin escorias).

TABLA 6.—Resistencias a la compresión.

Muestra número	Escorias (%)	H ₂ O (%)	3 días (kg/cm ²)	7 días (kg/cm ²)	28 días (kg/cm ²)
1	—	58,0	246,0	309,3	404,2
2	10	58,0	232,7	316,3	406,0
3	30	58,0	218,0	309,3	404,2
4	40	57,5	197,0	298,8	402,5
5	50	57,0	194,0	232,0	380,7
6	60	56,0	175,7	218,0	351,5
7	90	54,0	105,4	112,4	158,2

Las variaciones de estas resistencias al modificar el contenido de escoria en el cemento son muy similares a las ya comentadas para la tracción.

También se puede considerar pequeño el 13 por 100 de descenso de resistencia a los 28 días de la muestra número 6 (60 por 100 de escorias) comparada con la muestra número 1 (cemento solo).

Las normas A. S. T. M. respecto a resistencia exigen para estos cementos (con 25 a 65 por 100 de escorias) los mismos valores que para el cemento portland tipo I y, por lo tanto, las muestras ensayadas (2 a 6) cumplen sobradamente estos requisitos.

Propiedades

Los cementos de escorias tienen un peso específico ligeramente inferior al del cemento portland.

Su coloración es algo más clara, y tanto más cuanto mayor es el contenido de escorias.

Debido a la menor reaccionabilidad de la escoria estos cementos muestran menores resistencias iniciales que los portland, aunque con el tiempo suelen equipararse estos valores. Para compensar esta lentitud en el desarrollo de resistencias se puede moler más finamente.

Por sus mismas características necesitan una mayor atención en las primeras edades, mostrándose bastante sensibles a las temperaturas: si son bajas su endurecimiento es lento y si son altas requieren un curado húmedo cuidadoso.

Ya hemos visto que el tiempo de fraguado es bastante parecido al cemento portland.

El calor de hidratación de los cementos de escorias desciende a medida que aumenta el porcentaje de éstas y, naturalmente, también depende de la composición del clinker de cemento portland con que

se ha mezclado. El bajo desprendimiento de calor representa una ventaja para la fabricación de estructuras de hormigón en masa.

Otra de las diferencias con el cemento portland estriba en su mayor resistencia a los ataques de los agresivos químicos de naturaleza salina, tales como el agua de mar y sulfatos. Esta propiedad se halla aún más acusada en los cementos sobresulfatados, lo que equivale a decir que es función del contenido de escoria.

Debemos anotar que no se obtiene un cemento uniforme si la escoria no lo es y, consecuentemente, sería muy importante que además de la composición de ésta no se variaran las condiciones de granulación, sino habría que clasificar las escorias, lo que siempre es una desventaja.

Aplicaciones

Generalizando, se puede decir que el cemento de escorias se ha utilizado en todos los trabajos de construcción sustituyendo al cemento portland incluso en productos prefabricados.

Hay que tener en cuenta (si interesa el aspecto externo) que pueden aparecer manchas o cambios de tonalidad en la superficie del hormigón.

Donde encuentra una gran aplicación el cemento de escorias es en: obras en masa como presas o diques, trabajos marítimos, muelles, fundaciones y trabajos subterráneos, pavimentación de carreteras, pavimentación de aeropuertos, canalizaciones, etc., etc.

Conclusión

Siendo así que el cemento de escorias puede sustituir en la mayoría de los casos al cemento portland, y teniendo incluso algunas aplicaciones especiales, será aconsejable su fabricación, si de ello se deriva un beneficio económico.

Referencias bibliográficas

- «Conglomerantes hidráulicos» (Fisicoquímica y tecnología), por el Dr. J. Calleja Carrete.
- «Enciclopedia de Química Industrial», dirigida por el Prof. Dr. Fritz Ullman, 2.^a edición.
- «Química del cemento y el hormigón», edición revisada de Lea y Desh, 1960.
- «Escorias y empleos en los cementos: su actualidad», por Julián Rezola Eizaguirre.
- «Ultimos Avances en Materiales de Construcción», núm. 102; «Sugerencias al Pliego de Condiciones», por Juan J. Uría López.
- «Ultimos Avances en Materiales de Construcción», núm. 52: «Le Ciment de Laitier dans la Contructions des Pistes», correspondientes al núm. 458 «Revue de Matériaux de Construction et de Travaux Publics».
- A. S. T. M. Standars parte IV, 1958.
- «Propiedades y usos de cemento portland de escoria con alto contenido de magnesia», por Niko Stutterheim, y traducido por el Dr. Hermes Garriga.
- Revista «Cemento-Hormigón», núm. 328, resúmenes de:
 - «Los cementos siderúrgicos en Italia, desde sus orígenes hasta hoy», por Giovanni Malquori.
 - «La producción de cemento de alto horno en Italia», por Fedele Cova.
 - «Las tendencias francesas en materia de utilización y desarrollo de los cementos metalúrgicos», por Marcel Mary.
 - «Características de los cementos con fuerte proporción de escorias de alto horno», por Henri Lafuma.
 - «Calidad y aplicaciones de los cementos de alto horno belgas», por León Blondiau.
 - «Aplicaciones del cemento de alto horno a algunas obras marítimas», por Hans Straub.
 - «Aplicación del cemento de alto horno a la pavimentación de carreteras y aeropuertos», por Giorgio Morandi.
 - «Utilización de escoria altamente magnésica en la fabricación de cemento de alto horno», por V. Cirilli y S. Zaccarini.
 - «El desarrollo de los cementos siderúrgicos en Alemania», por W. Kramer y H. O. Smolczyk.
 - «La relación escoria-clínker y las características fisicomecánicas de los cementos siderúrgicos», por C. Cesaroni, F. Parissi y V. Vignoli.
- «Prueba de deslavado de los cementos siderúrgicos hidratados y endurecidos», por F. Parissi, P. Barone y R. Marota.
- «Cembureau»: papers: Review of Standards for Cements other than Portland, 1958.
- «Los conglomerantes siderúrgicos», por Pablo García de Paredes (I. E. T. c. c.).
- «Las escorias siderúrgicas en la construcción», por Pablo García de Paredes (I. E. T. c. c.).
- «Melanges et contacts entre ciments differents. Note sur les incompatibilités», por Duriez.