

CEMENTOS DE ESCORIA DE ALTO HORNO

Joaquín PORRERO *

RESUMEN

Con motivo de la fabricación en Chile de cementos de escoria de alto horno, se hace un breve comentario sobre este tipo de aglomerantes en general.

Se indican las principales propiedades que deben reunir las escorias: composición química y contenido de material vítreo.

Se resume en qué consisten estos cementos, comentando sus principales características: desarrollo de resistencias mecánicas, comportamiento frente a los agresivos químicos y calor de hidratación.

INTRODUCCION

Pretendemos dar unas ideas generales sobre los cementos de escoria de alto horno, o cementos siderúrgicos como será su denominación según la norma chilena.

Aunque el trabajo está motivado por haberse iniciado en Chile la fabricación de este tipo de aglomerantes, no nos referimos en él al producto nacional; sino a los cementos de escoria en general, tan conocidos universalmente por su amplio uso y el número de años de experiencia que hay sobre ellos.

Un determinado cemento de escoria de alto horno, como es el caso de cualquier producto, puede ser de buena o mala calidad dependiendo de los numerosos factores que intervienen en su elaboración. Aquí nos referimos a la calidad media que es usual obtener en la práctica de la fabricación de este producto.

* Sección Investigación Química IDIEN.

GENERALIDADES

En el proceso de obtención de hierro en el alto horno se genera como subproducto una cantidad considerable de escoria, formada por los materiales térreos que acompañaban al mineral de hierro y por la cal proveniente de la caliza que se añade como fluidificante.

Los componentes principales de la escoria son sílice, alúmina y cal, que en el estado fundido por que pasó ésta, se combinan según sus afinidades para formar compuestos más complejos; principalmente silicatos y silicoaluminatos de calcio.

La proporción de cada uno de estos componentes es muy variable según los tipos de escoria; pero, aun en los casos más favorables, no se alcanzan las proporciones requeridas para formar aglomerantes del tipo portland: al producto le falta basicidad y compuestos capaces de suministrar la energía térmica necesaria para la hidratación; sin embargo, la falta de ambas cosas se puede suplir mezclando posteriormente la escoria en frío con productos apropiados.

Una escoria de alto horno de composición adecuada y que haya sido tratada convenientemente, molida a polvo fino y amasada con agua, no presenta propiedades hidráulicas o las presenta muy débiles; pero si antes o durante el amasado se mezcla con productos básicos como álcalis o cal, fragua y adquiere altas resistencias mecánicas. Estos productos además de la basicidad proporcionan, al combinarse con los componentes de la escoria, el calor necesario para que progrese la reacción.

Si la mezcla se hace con cemento portland, los componentes de éste suministran al hidratarse el calor necesario para que reaccione la escoria a una velocidad equiparable a la del portland solo, constituyendo el conjunto un aglomerante de alta calidad.

Tanto a la mezcla de escoria con cal como con cemento portland se las denomina cementos de escoria de alto horno. En el primer caso el cemento es relativamente lento en el desarrollo de sus resistencias, pero tiene propiedades que lo hacen interesante en muchos casos.

También se fabrica con escoria, cal y proporciones relativamente altas de yeso, un aglomerante poco generalizado todavía pero de excelentes características, conocido como cemento supersulfatado.

También es frecuente el empleo de la escoria como materia prima para la fabricación de clínquer de cemento portland; aquí no entran en juego las propiedades hidráulicas latentes en la escoria sino solamente su composición química, de manera análoga al caso de cualquier otro material empleado para tal objeto.

La mezcla de escoria con cemento portland, o más correctamente, la mezcla o molienda conjunta de escoria, clínquer de cemento portland y una pequeña cantidad de yeso para regular el tiempo de fraguado, da lugar a los aglomerantes que vamos a tratar y que, además del nombre general indicado de cemento de escoria de alto horno, se conocen con los de cemento siderúrgico, portland siderúrgico, cemento de alto horno, cemento férrico, portland férrico y otros menos frecuentes.

Estos cementos tienen características propias que los diferencian del portland, pero cuando la escoria y la fabricación son adecuadas, dan lugar a aglomerantes tanto o más valiosos que aquél.

La fabricación de este tipo de cementos se inició en Alemania a principios del siglo y hoy día lo fabrican prácticamente todos los países que poseen escorias aptas.

Este empleo permite aprovechar millones de toneladas de un subproducto que antes sólo se utilizaba como material de relleno de escaso valor.

CALIDAD DE LA ESCORIA DE ALTO HORNO

No todas las escorias tienen propiedades hidráulicas latentes que se puedan desarrollar en mezcla con el portland; sólo aquéllas de carácter básico son utilizables, y, en general, se puede decir que cuanto más básicas sean, mejor es su calidad.

Se entiende por escoria básica la que contiene mayor proporción de óxidos básicos que ácidos, expresados éstos tal como los determina el análisis químico. El principal componente básico de

las escorias es el óxido de calcio (cal) y los principales ácidos son la sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). Se considera básica una escoria cuando la relación

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

es mayor de uno.

Para expresar la basicidad se suelen emplear otras muchas fórmulas en las que a veces se tiene en cuenta la no total acidez de la alúmina o la presencia en la escoria de cantidades menores de otros componentes. De entre ellas quizá la de uso más generalizado es la siguiente:

$$\frac{\text{CaO} + 1/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + 2/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \begin{matrix} = \\ > \end{matrix} 1$$

Otro requisito indispensable para que la escoria tenga valor como aglomerante es que haya sido enfriada bruscamente.

Si el producto fundido que sale del alto horno se deja enfriar en el medio ambiente, lo hace lentamente dando lugar a una masa dura y compacta de aspecto mate, de color gris oscuro o más o menos pardo. Los óxidos que contiene la escoria tuvieron, en este caso, tiempo de cristalizar combinados según sus afinidades y se puede comprobar que la mayor parte de ella está formada por sustancias cristalinas. Esta escoria tiene muy escaso poder aglomerante, cualquiera que sea su composición química.

Si la escoria se enfría bruscamente desde el estado fundido, se forman gránulos esponjosos y quebradizos de color claro: las sustancias que la integran no tuvieron tiempo para cristalizar, se "congeló" el equilibrio y el producto aparece formado en su mayor parte por material vítreo. Esta escoria granulada, que por su aspecto se suele llamar "arena", es la que puede dar lugar a un aglomerante valioso y su calidad es tanto mejor cuanto mayor es su contenido en material vítreo.

Este contenido en material vítreo depende principalmente de la composición química de la escoria y del proceso de enfriada. Si se deja caer directamente el producto en fusión sobre agua en abundancia, se obtiene un material bien granulado y vitrificado pero con un contenido muy elevado en humedad. Por esto es frecuente usar para la granulación artificios que, aun cuando gene-

ralmente también usan agua, permiten obtener el producto con un contenido mucho menor de humedad, lo que abarata el proceso posterior de secado.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CEMENTOS DE ESCORIA DE ALTO HORNO

Al hablar de la calidad o del grado en que poseen los cementos de escoria ciertas propiedades, lo hacemos tomando como referencia el portland por ser este producto muy conocido, y lo hacemos en el entendido de que, dentro de sus varios tipos, el portland de referencia sea de buena calidad; por lo menos de la calidad media que es normal en este producto.

La calidad del cemento de escoria, como en el caso de cualquier otro producto elaborado, depende fundamentalmente del cuidado que se tuvo en el proceso de fabricación, de la calidad y características de las materias primas empleadas, clínquer y escoria, y de la proporción en que se mezclan éstas.

Las características del clínquer más conveniente se pueden reducir, hablando en términos generales, a que tenga la mayor cantidad posible de componentes básicos y que liberen calor rápidamente, principalmente aluminato de calcio y silicato tricálcico.

De las características de la escoria, ya comentadas al hablar de su calidad, en la práctica sólo es dado influir sobre el proceso de granulación, procurando obtener un producto con el mayor contenido posible de material vítreo. En el caso de que la producción del alto horno no sea homogénea, es posible influir escogiendo aquellas partes más convenientes.

La proporción en que se mezclan el clínquer y la escoria se elige de acuerdo con la calidad de ésta y de la que se desea para el producto terminado. Las proporciones de escoria más usuales van desde el 15% al 85% del total.

Las características que comunica la escoria a los cementos se hacen más notorias a medida que aumenta la proporción de ésta, por lo que se suele clasificarlos por su contenido de escoria. La clasificación más frecuente en los distintos países considera dos tipos de cementos de escoria de alto horno, con alto

y bajo contenido, siendo en general el 30% de escoria, relativo al total del cemento, el límite que separa a ambos. Algunos países, como Inglaterra y Estados Unidos, tienen normalizado un solo tipo con contenido máximo de 65%.

Refleja más la realidad práctica el considerar tres tipos: Con bajo contenido de escoria, cuyo límite superior es de 15 ó 20%, cementos que, en términos generales, apenas acusan las características que los diferencian del portland. Con contenido medio de escoria, entre 20% y 50 ó 60%, en los que dichas características son francamente apreciables y su empleo más general es, como en el portland, para todo tipo de obras. Finalmente, con alto contenido de escoria, de más de 60%, que son cementos en que se procura obtener la máxima ventaja de alguna característica favorable de las que puede comunicar la escoria; su uso más general es en obras o partes de obras especiales.

RESISTENCIAS MECANICAS

La principal característica de un cemento es la resistencia mecánica del hormigón hecho con él, especialmente la velocidad con que se desarrolla ésta en relación con el tiempo que lleva confeccionado. Tanto es así, que la calidad de la escoria de alto horno se valora por el grado en que el cemento hecho con ella da lugar a hormigones de resistencias iniciales análogas a las del portland.

El desarrollo de resistencias en los cementos de escoria depende de los factores antes señalados, pero de forma especial de la calidad de la escoria y de la proporción en que se añade ésta.

Con una escoria de calidad media sólo es posible obtener cementos de resistencias iniciales (1 y 3 días) análogas a las del portland, empleándola en proporciones relativamente pequeñas. A medida que aumenta la calidad de la escoria, es posible aumentar su proporción para obtener los mismos resultados. En estos casos, las resistencias finales del cemento (después de 28 días) son, en general, superiores a las del portland.

Debido a este margen que dan las resistencias finales altas,



es usual fabricar cementos de escoria con resistencias iniciales menores que las del portland y finales mayores, lo que permite utilizar las escorias de calidad no excelente o emplear proporciones más altas. Esto es muy de tener en cuenta por los usuarios de estos tipos de cementos, que deben acomodar a tal variante sus métodos de trabajo, ya que ello incide sobre la posibilidad de desencofrado y uso de la obra.

En todo caso, salvo cementos destinados a usos especiales, no es usual ni conveniente el empleo de cementos de escoria que a edades entre los 7 y 28 días no igualen las resistencias de los portland usuales.

En todos los cementos, una molienda del producto a mayor finura da lugar, en general, a resistencias iniciales más altas. En los cementos de escoria tal extremo es francamente notorio siendo un recurso más que se hace entrar en juego hasta donde es económicamente posible.

CALOR DE HIDRATACION

Los cementos de escoria de alto horno desprenden en sus reacciones de hidratación menos calor que el portland.

Es sabido que en la ejecución de grandes volúmenes de hormigón el calor que se genera es considerable, produciendo elevaciones de temperatura que dan lugar a contracciones y dilataciones que pueden dañar la obra. Esto obliga a un hormigonado lento que dé lugar a la disipación del calor, lo que para grandes obras es molesto y antieconómico.

Para este tipo de obras es ventajoso el empleo de cementos que desarrollen la menor cantidad de calor posible, llamados cementos "fríos", como es el caso de los cementos de escoria.

Como la velocidad de endurecimiento y el calor desprendido, aunque indirectamente, están relacionados, sucede que al intentar obtener cementos muy fríos, por el empleo de cantidades muy altas de escoria, se obtienen cementos de resistencias iniciales muy bajas. A pesar de ello, y siempre a condición de que las resistencias finales sean aceptables, estos cementos tienen gran empleo ya que, en general, las obras que utilizan grandes masas

de hormigón, que son precisamente las que requieren cementos fríos, no exigen altas resistencias iniciales.

Derivado también de su bajo calor de hidratación está el hecho de que los cementos de escoria son más sensibles que el portland a las bajas temperaturas. Todos los cementos desarrollan más lentamente sus resistencias cuando la temperatura de la obra es baja, necesitando a veces ser protegidos e incluso calentados. Esto sin hablar del caso en que la temperatura baje de los 0°C en que los trabajos deben suspenderse totalmente si no se toman precauciones muy especiales.

Mientras que para los cementos con escorias de muy buena calidad o con contenidos pequeños, tal característica es apenas perceptible, los cementos con alto contenido en escoria deben ser protegidos a temperaturas más altas de lo que es usual en el portland.

También los cementos con alto contenido en escoria son más sensibles a la pérdida prematura de humedad. La protección contra el desecado suele ser necesaria en los primeros períodos del endurecimiento de todos los hormigones, pero en el caso de empleo de estos cementos aquélla debe ser más cuidadosa y prolongarse más tiempo si las condiciones ambientales lo exigen.

RESISTENCIA A LOS AGRESIVOS QUIMICOS

Una característica importante de los cementos de escoria es su inercia al ataque del hormigón por agresivos químicos.

Es sabido que las obras en contacto con terrenos o aguas salobres, yesosos o ácidos pueden ser corroídas o destruídas.

Para evitar hasta donde es posible tal inconveniente, es indispensable emplear un hormigón lo más compacto posible; rico en cemento, con dosis apropiada de agua y bien compactado. Pero si se quiere extremar más la protección, es necesario emplear además un cemento especial, de entre éstos, los cementos de escoria de alto horno son unos de los más apropiados.

La forma más eficaz de evitar el ataque químico a los hormigones es impedir la penetración del agresor empleando un material impermeable, con la menor cantidad posible de macro y micro

poros, o con estos últimos sellados y aislados entre sí, como en el caso de hormigones con incorporador de aire. La ejecución adecuada evita la macroporosidad y en el caso de los cementos de escoria de alto horno parece que los microporos originales se rellenan o taponan con formaciones gelatinosas posteriores.

También aquí sucede que los cementos más resistentes al ataque son los de más alto contenido en escoria, y también, como en el caso del desarrollo de calor, sucede que a veces es preferible una alta inercia química que resistencias iniciales altas, ya que en muchos casos las obras en contacto con suelos o aguas son grandes volúmenes de hormigón, generalmente en masa, para los que las resistencias iniciales son de relativa menor importancia.

OTROS ASPECTOS

De todo lo que antecede se deduce que cuando se pretende que un cemento de escoria de alto horno presente en su grado máximo alguna de sus propiedades ventajosas, es a costa de aminorar su calidad en otros aspectos; sin embargo en la práctica se pueden equilibrar éstas obteniéndose productos de buena calidad en todos los sentidos: la base para ello es disponer de una escoria de buena calidad.

Los primeros cementos de escoria de alto horno que se fabricaron se miraron con mucha prevención, suponiéndose que tendrían una serie de defectos que harían imposible su uso. Poco a poco y después de pasar mucho tiempo, se fueron introduciendo estos cementos, primero sólo para ciertos trabajos para los que parecían más apropiados o en los que no se requerían cementos de alta calidad y finalmente, mucho más tarde, para todo tipo de obras en las que se demostró lo infundado de la prevención inicial.

Entre las razones que se opusieron al uso de estos cementos estaba la de considerar que produciría corrosión sobre las armaduras metálicas del hormigón armado, debido a las pequeñas proporciones de sulfuros que suele contener la escoria. La comprobación práctica y las numerosas pruebas que con tal fin se realizaron, terminaron por llevar al convencimiento de que no hay el me

nor peligro en tal sentido; la escoria no tiene acción alguna corrosiva sobre las armaduras y les brinda una protección análoga a la de un buen cemento portland.

Los hormigones hechos con algunos cementos de escoria presentan, una vez endurecidos, color o tonalidades oscuras, generalmente verdes o azuladas, las que con frecuencia aparecen también en forma de manchas. Esto motiva el que a veces no se los considere como muy apropiados para estucos de acabado que vayan a quedar sin pintar. Tales manchas, en los cementos en que se presentan, no tienen influencia alguna en la calidad del producto y son estables.

Las normas para cementos de la casi totalidad de los países exigen para estos aglomerantes los mismos requisitos de calidad que para el cemento portland, considerando, como para éste, varios tipos de resistencias mecánicas entre los que se incluye el correspondiente a cementos de alta resistencia.

BLAST-FURNACE SLAG CEMENTS

SUMMARY

In view of the fact that the first blast-furnace slag cement has started production in Chile, a brief outline of the properties of blast-furnace slag cements is given, with special reference to chemical composition, vitreous materials content, the development of strength, heat of hydration and resistance to chemical agents.