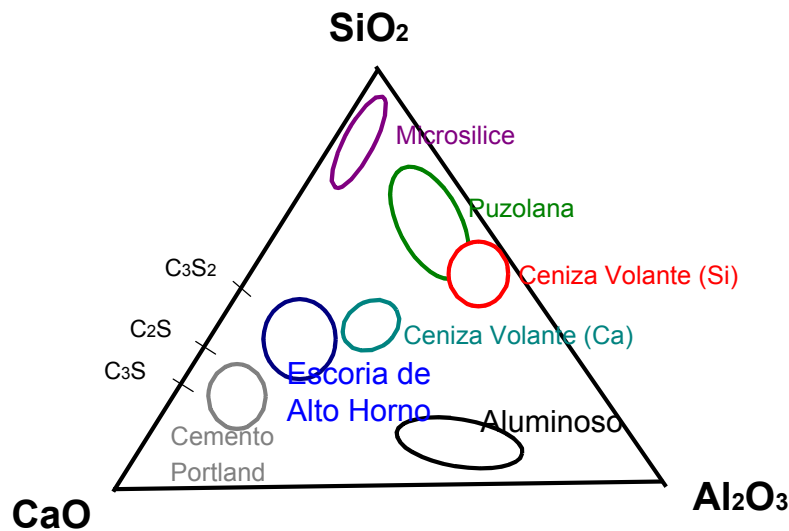


CEMENTO DE ALTO HORNO

Características y Recomendaciones de Uso

Ing. Edgardo A. Becker
Líder de Asesoría Técnica
LOMA NEGRA C.I.A.S.A.

En los últimos años, en los países más industrializados surge cierta preocupación respecto de las emisiones de CO₂ [1]. La fabricación de clinker p^ortland – componente principal del cemento p^ortland – implica una transformación química de materias primas en un horno a elevadas temperaturas. Este proceso genera importantes cantidades de CO₂ que, si bien en Argentina actualmente no resultan preocupantes debido a que no existe un numero elevado de fábricas de cemento en un territorio de 2.791.810 km², en otros países de Europa donde la concentración de plantas cementeras presenta una densidad 4 a 10 veces superior la preocupación es mayor. Es por este motivo que la industria de cemento europea lideró la investigación y el desarrollo de los cementos con adiciones minerales. Resulta obvio que con la elaboración de cemento p^ortland a partir de la utilización de adiciones minerales en



reemplazos parciales de clinker p^ortland la emisión de CO₂ se reduce proporcionalmente al reemplazo efectuado. Esto explica en gran parte el importante crecimiento en los últimos tiempos de los cementos adicionados en el mercado de los materiales de construcción en la República Argentina y el resto de Latinoamérica.

Figura N° 1: Clasificación de las adiciones minerales.

Entre las adiciones minerales (ver figuras N° 1 y N° 2), podemos diferenciar las adiciones minerales activas e inactivas, donde las primeras presentan la capacidad de formar productos de hidratación similares a los que se producen durante la hidratación del clinker p^ortland, mientras que las inactivas, si bien no presentan esta capacidad, suelen mejorar otras propiedades como la trabajabilidad y la resistencia temprana.

Entre las adiciones minerales activas, se encuentran las adiciones puzolánicas entre las que podemos nombrar las puzolanas naturales, las cenizas volantes (fly ash), microsíllice (silica fume) o arcillas

activadas entre otras que presentan la capacidad de hidratarse combinándose con la cal libre que se produce durante la hidratación del cemento portland “puro” (clinker + pequeñas cantidades de yeso). Por otro lado, existe otro tipo de adición mineral activa que presenta la capacidad de hidratarse y formar productos SCH (silico-calcáreos-hidratados) llamada de hidraulicidad latente como es la **escoria granulada de alto horno**. Esta última reacción necesita, para producirse con cierta velocidad, del ambiente altamente alcalino generado debido a la presencia de cal producida por la llamada hidratación primaria.



Figura N° 2: Composición de la escoria granulada de alto horno respecto del cemento portland “puro” y otras adiciones minerales de acuerdo al diagrama de fase ternaria $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS RELEVANTES DEL CAH 40 (RRAA)

De acuerdo a las definiciones y requerimientos de las normas IRAM 50.000 (Cementos para Uso General) e IRAM 50.001 (cementos con Propiedades Especiales), el cemento tipo pòrtland marca LOMA NEGRA fabricado en Planta Ramallo responde a la denominación CAH40 (RRAA), es decir, es un cemento de alto horno (por composición), categoría 40 (por nivel de resistencia) y resistente a la reacción álcali-agregado (propiedad especial). A continuación indicaremos algunas características relevantes de este producto:

COLOR

El CAH40 (RRAA) fabricado en Planta Ramallo presenta una coloración gris de tono muy claro. Este cemento, fundamentalmente debido a la coloración de la adición mineral utilizada y a su finura resulta ser el tipo de cemento más claro de los fabricados y comercializados por LOMA NEGRA. Esto hace que los morteros u hormigones elaborados con este producto tengan una coloración más clara que los mismos pastones elaborados a partir de otro producto. Deteniéndonos sobre este punto, es conocido que entre algunos constructores de ciertas zonas de nuestro país existe la creencia que la coloración del



pastón (tanto en estado fresco como endurecido) es un signo de “calidad” tomándose como referencia que cuando el tono tiende a ser más oscuro, el pastón adquirirá mayor resistencia. Esta “creencia popular” tiene cierta lógica cuando se trabaja comparando pastones elaborados a partir de los mismos materiales componentes, resultando que los pastones de tono más oscuro presentan una menor relación a/c (agua / cemento) y, consecuentemente, tendrán una resistencia mecánica mayor. Este es el criterio que utilizan algunos capataces y prácticos de obra para “controlar”, por ejemplo, la homogeneidad de los diferentes pastones cuando se hormigona una pequeña estructura a partir de hormigón dosificado en volumen. No obstante este “criterio de aceptación”, utilizado desde hace varias décadas, no resulta válido cuando se cambia alguno de los materiales componentes. Por ejemplo, si se utiliza un cemento pórtland blanco – p.ej. CPN40 (B) de acuerdo a IRAM – de similar nivel de resistencia que otro de color gris, se obtendrán similares niveles de resistencia en hormigón a pesar que el hormigón elaborado a partir de cemento pórtland blanco presenta una tonalidad considerablemente más clara que el elaborado a partir de cemento pórtland gris.

Existen antecedentes de morteros u hormigones elaborados con CAH40 (RRAA) que presentan a temprana edad una coloración verde-azulada intensa que desaparece luego de unos días a partir de un proceso de oxidación superficial del hormigón en contacto con el aire [4].

TIEMPO DE FRAGUADO

Uno de los parámetros importantes para la evaluación de una mezcla es la determinación de los tiempos de fraguado. En la práctica existen 2 instancias importantes a determinar como son: (1) tiempo de fragüe inicial y (2) tiempo de fragüe final. Mientras que el primero (1) indica el tiempo durante el cual el hormigón se mantiene en estado fresco, es decir, puede ser manipulado; el segundo (2) indica aproximadamente el momento que el hormigón logra obtener un cierto nivel mínimo de resistencia que permite a una persona de peso medio, pisar sobre un piso de hormigón sin dejar marca. En general, los cementos adicionados presentan tiempos de fraguado mayores al CPN (cemento pórtland normal), no obstante, lejos de ser una desventaja, en ciertas aplicaciones como en el hormigón elaborado permite mayores tiempos de transporte y manipulación del material.

TRABAJABILIDAD

En el caso del uso de CAH40 en hormigones convencionales sin aditivo, se ha comprobado un leve aumento de la demanda de agua respecto del uso de CPN. Sin embargo el uso de ciertos aditivos plastificantes suele revertir esta tendencia con indudables ventajas tecnico-económicas. Adicionalmente, hormigones elaborados a partir de CAH presentan un excelente mantenimiento del asentamiento en el tiempo lo que asegura una mayor confiabilidad de los niveles de resistencia mecánica de los hormigones debido a que reducen la tendencia al agregado de agua adicional en obra evitando conflictos y eventuales problemas estructurales posteriores.

RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia mecánica es sin duda uno de los parámetros de desempeño más valorados. Adicionalmente resulta relativamente fácil de medir y, consecuentemente, es un método económico de control de calidad.

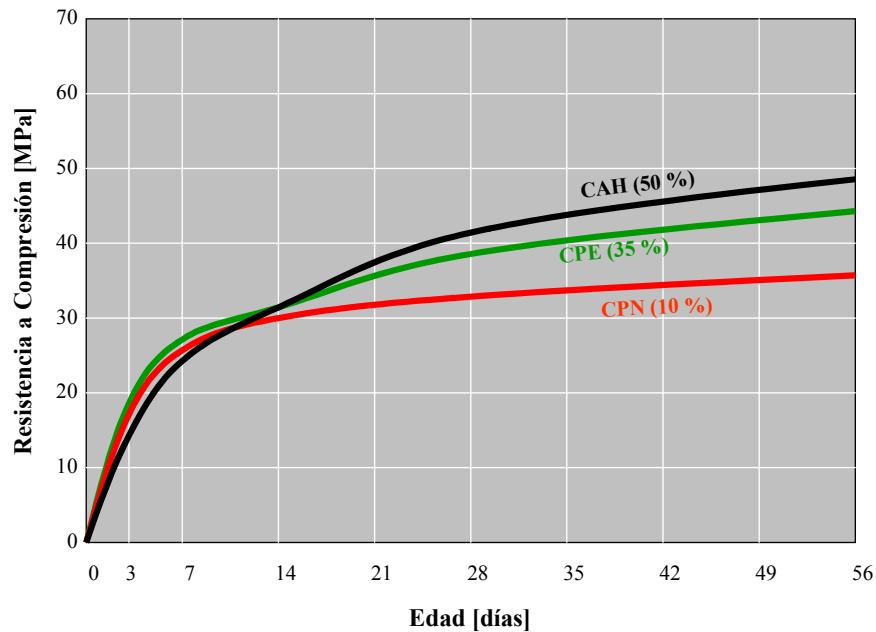


Figura N° 3: Evolución de resistencia en el tiempo para hormigones con C.U.C.=305 kg/m³ y asentamiento = 10 cm.

Fuente: Centro Técnico LOMA NEGRA, 2000.

En la figura N° 3 se muestra el desarrollo de resistencia que presentan tres hormigones elaborados con el mismo C.U.C. (contenido unitario de cemento) y proporciones de agregados. En los tres casos, el agua fue ajustada para obtener el mismo asentamiento (10 cm medido en el tronco de cono de Abrams), es decir las mezclas no necesariamente presentan la misma relación a/c (agua/cemento). Esto se realizó de esta manera debido a que en la práctica el ajuste de las mezclas se realiza de esta forma. Puede observarse que, si bien a edades tempranas, generalmente un hormigón elaborado con CPN40 presenta mayor resistencia a compresión, la mezcla elaborada con CAH40 presenta mayor resistencia final. Esto resulta totalmente coherente con el mecanismo de hidratación que presenta este tipo de material.

En el caso de curado a vapor a presión normal, el uso del CAH presenta un excelente desempeño, incluso superando en varios casos el desempeño de hormigones similares elaborados con CPN debido a la rápida hidratación de la escoria granulada de alto horno.

DURABILIDAD

Es bastante conocido que los cementos pòrtland con adiciones minerales activas presentan mejor desempeño ante agentes agresivos que los cementos pòrtland denominados “puros” (en nuestro país CPN) debido fundamentalmente a la obtención de una estructura de poros más cerrada que se traduce en una menor permeabilidad, y a la capacidad que presentan algunas de estas adiciones minerales para disminuir las expansiones que se pueden producir por RRAA (reacción álcali-agregado) o presencia de sulfatos entre otras posibles causas.

En la figura N° 4, se muestra claramente como la simple adición de escoria granulada de alto horno hace que se modifique sensiblemente el tamaño de poros de la pasta de cemento. Obteniéndose en el caso del cemento con escoria la presencia de poros de menor tamaño. Esto se traduce en una menor permeabilidad y consecuentemente mayor durabilidad.

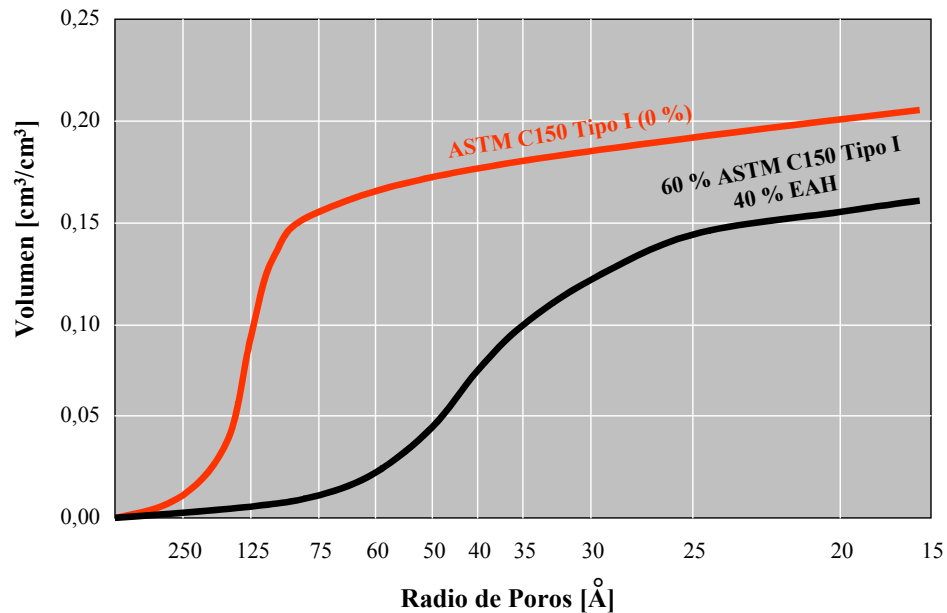


Figura N° 4: Comparación de distribución de tamaño de poros de pasta ensayados por intrusión de mercurio

(Roy and Parker 1983).

Fuente: ACI 233 R – ACI Manual of Concrete Practice, 1996.

En la figura N° 5 se muestra que la adición de escoria granulada de alto horno mejora sensiblemente el desempeño del cemento pòrtland ante el ataque de sulfatos. Como antecedentes acerca de la eficiencia de la escoria granulada de alto horno ante el ataque de sulfatos se puede mencionar que en Canadá [2], las mezclas donde se utiliza como material cementante un 50 % de escoria granulada de alto horno (similar contenido que el CAH40 producido por LN) + otro 50 % de cemento tipo I según ASTM (similar al CPN de la norma IRAM 50.000) con un alto contenido de aluminato tricálcico ($AC_3 < 12\%$) se considera altamente resistente a los sulfatos (ARS). Este concepto también se comenta en el apéndice X2 de la norma ASTM C989 – *Ground Granulated Blast-Furnace for Use in Concrete and Mortars* [3]. Otro antecedente es la norma alemana DIN 1164 [2] que prefiere el uso de altos contenidos de escoria granulada de alto horno para aquellos hormigones que estarán expuestos al ataque de sulfatos.

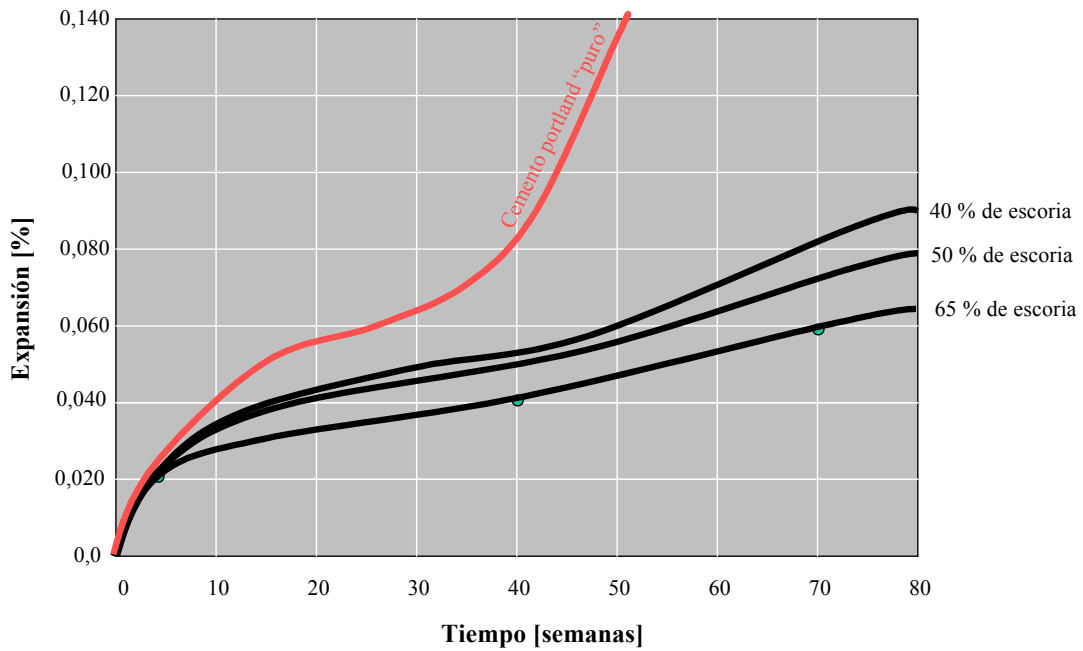


Figura N° 5: Influencia del contenido de escoria granulada de alto horno sobre la resistencia a los sulfatos

de barras de mortero, ensayo Wolochow para cemento MRS (Hogan and Meusel 1981).
Fuente: ACI 233 R – ACI Manual of Concrete Practice, 1996.

En la figura N° 6 puede observarse que el uso de CAH40 disminuye considerablemente la expansión por RAS (reacción álcali-sílice) de un agregado categorizado como potencialmente reactivo, lográndose un excelente desempeño del conjunto cemento-agregado alejándolo del riesgo de expansión deletérea.

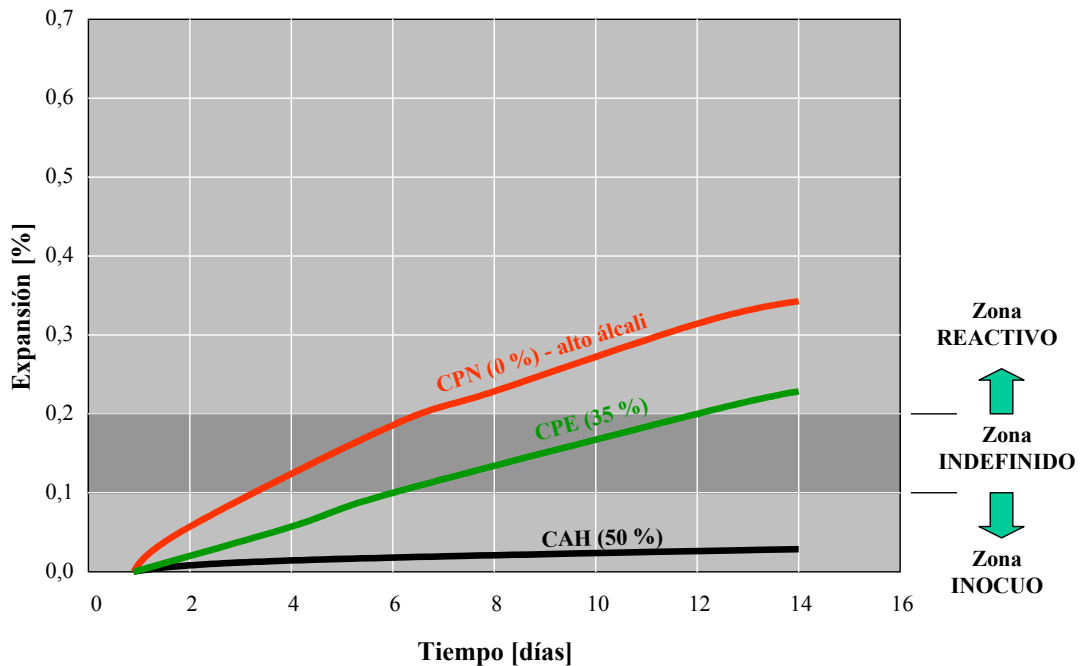


Figura N° 6: Influencia del tipo de cemento en la expansión por RAS para grava potencialmente reactiva

mediante el método acelerado de la barra de mortero – IRAM 1674/97.
Fuente: Centro Técnico LOMA NEGRA, 2000.

CONCLUSIONES

En general, se recomienda el uso del CAH40 – cemento de alto horno, categoría 40 para todos aquellos morteros y hormigones donde resulten importantes la resistencia final y durabilidad, restringiéndose su uso sobre aquellas aplicaciones donde resulte importante una alta resistencia inicial como premoldeados curados a temperatura ambiente y uso de encofrados deslizantes. Sin embargo en hormigones sometidos a curado acelerado con vapor a presión normal, se demuestra un excelente desempeño de este material.

Se recomienda extremar las precauciones de protección y curado del hormigón de manera de permitir la adecuada hidratación de las partículas de cemento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Becker, (2001) Cemento Portland – Características y Recomendaciones de Uso. LOMA NEGRA C.I.A.S.A.
- [2] G. Di Pace, M. Wainsztein, E. Becker, (1996) Cementos Pórtland con Adición de Escoria de Alto Horno. LOMA NEGRA C.I.A.S.A.
- [3] ASTM C 989 – 95, Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars.
- [4] ACI 233R-95, Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete.