

12. Corrosion resistance of cement systems in solutions of
 salts, Zement-Kalk-Gips 9, 38-39 (1973).

13. Beauvoisin, J.J., and R.F. Feldman, A study of mechanical properties of
 auto-cured calcium silicate systems, Cem. Conc. Res. 5, 103-118 (1975).

14. Feldman, R.F., Density and porosity of hydrated portland cement,
 Cement Techn. 3, 5-14 (1971).

15. Beauvoisin, J.J., Porosity of hydrated cementitious

B I O G R A F I A

El Sr. Munn es actualmente el Ingeniero en Jefe del Departamento de Concreto para las compañías BMI Limited, los principales fabricantes y distribuidores en Australia de productos de escoria y cenizas volantes, concreto premezclado, concreto pretensado. Tiene más de 12 años de experiencia en la industria del concreto en Australia, el Reino Unido y el Sureste de Asia y es responsable del asesoramiento de todas las compañías subsidiarias de la BMI en todos los aspectos de tecnología del concreto y productos de concreto.

El Sr. Munn es graduado con honores en Ciencias e Ingeniería Civil de la Universidad de Sydney. Es miembro del Colegio de Ingenieros de Australia y es miembro actualmente de Comité Nacional de Ingeniería y de Investigación de Concreto. Es miembro de varios Comités Estándar de Australia referentes al cemento, concreto y otros materiales de construcción. El Sr. Munn es miembro del ACI y del Comité NSW del Instituto Australiano del Concreto. Es el actual director del Comité Técnico de la N.R.M.C.A. (N.S.W.).

Ha presentado varios trabajos en Australia y en el extranjero referentes al control de calidad del concreto premezclado y pretensado, concreto de alta resistencia, concreto con fibras, aditivos para concreto, control de la contaminación y aplicaciones de productos inorgánicos tales como cenizas volantes y escorias de alto horno. Temas de otras investigaciones, incluyen concreto blando, práctica del concreto lanzado y la durabilidad del concreto en medio ambiente agresivo.

CONCRETOS EN AUSTRALIA QUE CONTIENEN CENIZAS VOLANTES Y/O ESCORIAS: SUS PROPIEDADES Y SU COMPORTAMIENTO EN MEDIOS AMBIENTES AGRESIVOS.

R. L. Munn* y W. G. Ryan**

RESUMEN

Se ha hecho un uso bastante notorio de cenizas volantes (CV) y escorias de alto horno (EAH) en concretos australianos desde el primer uso que se recuerda de la EAH enfriada al aire en 1923. Durante los últimos 16 años, los concretos con CV y escorias granuladas (EG) como componentes cementantes parciales, se han estado usando hasta en un 80% del concreto producido en las áreas más grandes del Este de Australia. Se han utilizado con gran éxito, en algunos concretos, a partes iguales, una mezcla de CV, EG y cemento Portland. La ubicación de las plantas productoras de escorias y cenizas volantes es de tal manera que existe una sola oportunidad de estudiar el desarrollo a largo plazo de los concretos que contienen estos materiales en medio ambiente marítimo.

Se han obtenido resultados de investigaciones de laboratorio referentes al desarrollo de resistencia a la compresión, contracción, flujo y resistencia a la congelación y deshielo de una amplia variedad de concretos en los que se utilizaron escorias y CV. Se tomaron corazones de concreto en estructuras que ya estaban en servicio, se ensayaron a compresión y se examinaron por medio de un microscopio electrónico de exploración. Se hicieron estudios de campo sobre la durabilidad de concretos bajo condiciones de servicio consideradas como agresivas, incluyendo exámenes del patrón de desgaste y formación de grietas. En muchos casos, la comparación entre el comportamiento de concretos que contienen escorias y CV se hace con las propiedades de concretos normales sujetos a condiciones similares.

Los estudios australianos sobre la durabilidad de estructuras de concreto han indicado que los efectos del salitre en los edificios han sido grandemente subestimados. Si al concreto se le da un curado y una compactación adecuados, los cementantes puzolánicos juegan un papel importante aumentando la durabilidad del concreto en edificios y estructuras marítimas.

Se concluye que con un proporcionamiento adecuado, los concretos que contienen escorias y CV pueden tener las propiedades de los concretos normales en todos los aspectos.

* Sr. Munn, M.A.C.I., es Ingeniero en Jefe del Departamento de Concreto para la BMI Limited, en Sydney, Australia.

** Sr. Ryan, F.A.C.I., es Gerente General en la División de Concreto y Materiales para la Vivienda en la BMI Limited en Sydney, Australia.

INTRODUCCION

Antes de 1969, el concreto en Australia había estado compuesto típicamente de cemento Portland, agregado natural y agua. La única excepción a esta práctica fue encontrada en el uso de la EAH enfriada al aire como agregado grueso dentro y cerca de los trabajos de fundición, las cuales en Australia están localizadas en la costa. Desde el primer uso registrado del agregado de escoria en 1923, más de 1.5 millones de metros cúbicos de concreto con escoria se han colocado, no obstante la oposición externa, para su uso general. El concreto con escoria se ha utilizado en todo tipo de construcción, incluyendo pavimentos para carreteras, muelles y otras estructuras marítimas.

Un gran cambio en la tecnología del concreto se inició en 1960 con la introducción de aditivos reductores de agua para concreto. Aun cuando había cierta renuencia, por parte de las autoridades supervisoras para su uso, ofrecían muchos beneficios bajo las condiciones climatológicas de Australia y su uso llegó a ser aceptado ampliamente.

El siguiente paso de desarrollo tuvo lugar con la introducción de la CV al mercado de concreto en Sidney en 1964, obtenida de una planta que utilizaba como energía el carbón mineral. Las propiedades del concreto con CV y las de este material fueron publicadas por Ryan y Ashby (1). A la vez, se tuvieron dudas en cuanto a la sensibilidad de tal concreto cuando no se curaba, la velocidad para adquirir resistencia, la resistencia a la abrasión y la durabilidad en el medio ambiente agresivo.

Una reacción similar ocurrió en 1966, cuando se hizo extensivo el uso de la EG finamente molida, como un sustituto parcial del cemento Portland en el concreto Australiano. Las propiedades de este material, más comúnmente llamado puzolana de alto horno o escoria granulada molida (EGM) y las propiedades del concreto con este material han sido reportadas por Ryan (2).

Desde 1968, los avances en la selección y proceso de las CV Australianas han resultado en mejoras sustanciales en la calidad, y la CV se usa ahora en más de un 80% del concreto producido dentro de distancias de entrega económica de las fábricas. Una historia más detallada puede obtenerse de las referencias de los trabajos presentados en el Simposio de la Asociación Nacional de Ceniza en 1973 y 1979 por Peabody (3) y Ashby, Ryan y Munn (4).

Las ventas de la EG han crecido de una manera más lenta, pero se ha hecho un uso considerable de este producto como un componente del cemento mezclado en Australia Occidental. Más resultados sobre las aplicaciones de los cementos mezclados en Australia pueden encontrarse en un trabajo de White (5). Otro desarrollo adicional ha sido el uso de una mezcla de EGM, CV y CP en proporciones de aproximadamente 35%, 30% y 35% respectivamente. Los concretos con esta mezcla adicional se han usado por muchos años en trabajos especiales y han mostrado ahorros considerables en el costo del mezclado y requerimientos de energía primarios (6), con poca alteración en la mayoría de las propiedades del concreto.

Aunque las propiedades a corto plazo de estos nuevos concretos podrían ser fácilmente establecidas, las propiedades a largo plazo presentaron una considerable contradicción. De este modo, a mediados de los 60, una serie de pruebas de campo se propuso para establecer las propiedades del concreto bajo condiciones del medio ambiente agresivas. Las investigaciones de estos concretos, con una edad de 16 años hasta ahora, han permitido una comparación objetiva entre el comportamiento de concretos puzolánicos y concretos normales en medio ambiente marítimo y en otros medios.

PROPIEDADES DEL CONCRETO HECHO CON ESCORIA Y/O CENIZA VOLANTE.

La experiencia australiana ha indicado que la EAH enfriada al aire es adecuada como agregado si se sujeta a un proceso adicional. Este proceso especial, normalmente incluye una velocidad de enfriamiento controlada, remoción de inclusiones ferrosas y aereación durante 90 días para asegurar una hidratación completa de la cal. Una norma australiana para Agregados de Escoria Metalúrgica (7) proporciona las bases para un control de calidad estricto del agregado de escoria.

Una técnica típica para el diseño de proporcionamientos de concreto con agregado de escoria, incluye aproximadamente volúmenes absolutos iguales del agregado grueso por m^3 de concreto como los que se hubieran requerido con un agregado natural. Usando esta filosofía básica, las propiedades del concreto en estado plástico y endurecido son generalmente muy similares a las propiedades del concreto con agregado natural para una resistencia y un revenimiento comparables. Las propiedades que han sido previamente examinadas incluyen la manejabilidad, bombeabilidad, densidad, módulo de elasticidad y contracción por secado (8 y 9). Para una información adicional sobre la velocidad en ganancia de resistencia, resistencia a largo plazo y resistencia a la abrasión, se pueden ver las Tablas 5, 6 y 7 de este trabajo. Como resultado del bajo peso volumétrico, la densidad y el módulo de elasticidad del concreto con agregado de escoria, son menores que los del concreto de agregado natural, no así, la resistencia a la flexión y la resistencia al fuego son mayores.

Donde se usan EG finamente molidas y CV como parte del cemento en el concreto, la investigación australiana ha mostrado que, aparte de la calidad del material, el método de diseño de proporcionamientos de concreto, es el factor más importante que influye en las propiedades del concreto (10).

Hay tres métodos básicos en los cuales estos materiales se pueden incluir en el concreto, el primero es la sustitución directa de una parte del cemento Portland por CV o EGM. Cualesquier ajuste consecuente para un mejor rendimiento se hace variando la cantidad de arena.

El segundo método es añadiendo CV directamente en peso al cemento Portland. Con este método la cantidad de cemento en el proporcionamiento es aumentada, debido a ello, es necesario hacer ajustes de corrección al proporcionamiento; generalmente con arena se puede hacer esta corrección.

El tercer método es la sustitución de una parte del cemento Portland por un peso mayor de CV ó EGM. Este método requiere un ajuste sustancial del contenido de arena en el proporcionamiento para mantener el rendimiento y se llevó el método de "Sustitución-Adición". Este método tiene la capacidad de obtener la solución más práctica optimizando varias propiedades del concreto simultáneamente. Por esta razón, ha llegado a ser la técnica más ampliamente usada en Australia.

Las propiedades del concreto que contiene EGM y mezclas de cemento Portland, fueron examinadas en series de proporcionamientos de tanteos realizados en dos laboratorios de investigación de concreto en Sydney. Los proporcionamientos contenían cemento Portland similar al Tipo I de ASTM y EGM de Port Kembla. El agregado grueso consistió de piedra azul tamaño máximo de 20 mm y agregado fino de una mezcla de arenas de río y de dunas en partes iguales. La demanda de agua, los contenidos de aire y la granulometría de los agregados, se mantuvieron constantes excepto para las variaciones menores en estos últimos ocasionadas por cambios en el volumen del cemento. Todos los concretos fueron mezclados hasta obtener una consistencia (o revenimiento) uniforme y los resultados de demanda de agua, desarrollo de resistencia a la compresión y tiempos de fraguado, aparecen en la Tabla 1.

Esta investigación nos indicó los efectos significativos que la EGM tiene sobre las propiedades del concreto. Las resistencias a largo plazo llegaron a ser mayores, mientras que las resistencias a edades menores se redujeron a medida que la proporción de la escoria que sustituyó al cemento Portland fue aumentada. Todos los proporcionamientos con mayores sustituciones en el cemento Portland mostraron una mayor tendencia al sangrado, aunque la demanda de agua se redujo. La Fig. 1 muestra el efecto de varios tipos de cemento y sustituciones de arena sobre la resistencia a la compresión, mientras que la Fig. 3 muestra el efecto de un curado no-estándar.

Las pruebas de contracción por secado y flujo del concreto se realizaron de acuerdo con los requerimientos de las normas ASTM 490 y C-512 y los resultados están reportados en las Figs 2 y 4. Un análisis de los resultados refuerza la necesidad de adaptar técnicas de "Sustitución-Adición" cuando la contracción y el flujo se van a controlar estrictamente, en proporcionamientos con alto contenido de EGM.

Una segunda serie de tanteos de campo se realizó en la planta premezcladora de BMI en Doyalson usando un camión revolvente de 3 m³. Los proporcionamientos contenían otro cemento Portland Tipo I de ASTM y ceniza volante clasificada de la Planta de Energía Munmorah. Los agregados consistieron de grava de río de 20 mm y 10 mm de tamaño máximo y arena de río. La granulometría se mantuvo de nuevo constante, así como la consistencia del concreto. Los resultados de desarrollo de resistencia a la compresión y tiempo de fraguado se encuentran en la Tabla 2.

Esta investigación indicó que para proporcionamientos de "Sustitución-Adición" diseñados para alcanzar una resistencia similar a los 28 días, las re-

sistencias a edad temprana de concretos con curado húmedo son similares a las resistencias de los proporcionamientos normales a la misma edad. Este factor ha reducido significativamente la sensibilidad del concreto con ceniza volante al suspender el curado prematuramente en aplicaciones de campo.

La influencia de la técnica de diseño de los proporcionamientos sobre el tiempo de fraguado y la contracción por secado, puede también ser observada en los resultados mostrados en las Figs. 5 y 6. La adopción de niveles adecuados de "Sustitución-Adición" reduce el tiempo de fraguado y la demora en el acabado del concreto en aplicaciones de campo y también reduce la contracción por secado.

La práctica general en Australia es usar CV y EGM junto con aditivos reductores de agua y/o retardantes del fraguado en el concreto. Las investigaciones de los efectos de estos materiales usados separadamente y en combinación, han sido reportados por Samarin y Ryan (10).

Cuando las propiedades del concreto con CV y aditivo son comparadas con las propiedades del concreto normal de resistencia a los 28 días y consistencia similares, se espera que el primero posea las siguientes características:

- (i) Mayor resistencia a los 90 días.
- (ii) Manejabilidad comparable.
- (iii) Menor capacidad de sangrado en mezclas pobres.
- (iv) Menor demanda de agua.
- (v) Módulo de Elasticidad ligeramente menor.
- (vi) Mayor resistencia a la tensión indirecta.
- (vii) Menor contracción a los 90 días.
- (viii) Ligero aumento del tiempo de fraguado.

Las propiedades de los concretos que contiene cemento Portland, EGM y CV con dos tipos de agregado grueso fueron investigadas por Heaton (11). El encontró que cuando las revolturas hechas con agregados de EAH, tenían menor contracción que las mezclas con riolita. Además, una interacción única entre el agregado de EAH el cemento Portland, la CV y la EGM resultó con mejores propiedades al hacer la comparación con todos los demás concretos en la investigación.

LA DURABILIDAD DEL CONCRETO HECHO CON ESCORIA Y/O CENIZA VOLANTE.

A instancia de la compañía subsidiaria de la BMI, Pozzolanite Ltd, una investigación más importante de las propiedades del concreto fabricado con CV de alta calidad fue realizado por la Institución para la Investigación de Construcciones en Watford, Reino Unido (12). La CV utilizada en esta investigación, procedía del Reino Unido, pero es similar química y físicamente a la CV clasificada de Munmorah. La investigación realizada incluyó la determinación de la resistencia a los sulfatos del concreto con CV a edades hasta de 5 años con inmersión de sulfato, Na₂SO₄, @ 1.5% de SO₃, MgSO₄ @ 0.35% de SO₃ y 1.5% de SO₃. Los tipos de cementos utilizados en el programa cumplían con las especificaciones del Tipo