

I de ASTM (C<sub>3</sub>A = 11) y Tipo V de ASTM (C<sub>3</sub>A = 1). Los proporcionamientos normales fueron diseñados a dos niveles de cemento Portland, de 225 kg/m<sup>3</sup> y de 335 kg/m<sup>3</sup>, y los proporcionamientos con CV se diseñaron usando la filosofía de "Sustitución-Adición" con valores entre 0.24 y 0.28 para la relación de CV a cemento más CV. Los especímenes cúbicos de 100 mm se colocaron en agua antes de su inmersión en suelos con sulfato. La resistencia a los sulfatos se midió mediante la reducción de la resistencia a la compresión, pérdida de peso y por la apreciación visual de los daños. Un resumen de algunos resultados de los ensayos de resistencia a los sulfatos aparece en la Tabla 3.

Los resultados indican que los proporcionamientos con CV por "Sustitución-Adición" ya sea con cemento Tipo I ó Tipo V, mostraron una mayor resistencia a los sulfatos comparada con los proporcionamientos de cemento Tipo I solamente. Las revolturas con CV mostraron una resistencia a los sulfatos algo mejor con respecto a las revolturas con cemento Tipo V solamente, en el cual el C<sub>3</sub>A fue aproximadamente de 1%.

La resistencia a la expansión debida a la congelación y deshielo se necesita raramente en Australia, pero los resultados recientes de ensayos obtenidos de concretos con agregado de escoria, CV y/o EGM se muestran en la Tabla 4. Todos los concretos fueron de 25 MPa de resistencia, 50 mm de revenimiento y un contenido de aire de 5%. Los cementos utilizados cumplen con los requerimientos del tipo I y tipo V de ASTM. Los cilindros de concreto de 100 mm se curaron durante 120 días bajo agua y luego sujetos a ciclos de congelación-deshielo hasta que se obtuvo un 25% de pérdida en peso.

Los resultados indican que se obtuvo una durabilidad similar con los proporcionamientos que contenían agregado de EAH en friada al aire, EGM y CV como en los proporcionamientos de agregado de basalto/CV y en los de basalto más cemento Tipo IV.

Se ha obtenido evidencia adicional de la durabilidad de los concretos australianos con escorias y/o CV supervisando el comportamiento de los experimentos de campo y de las estructuras actuales bajo condiciones de servicio severas.

Una serie de losas de pavimento no reforzadas en carreteras, se colocó en Port Kembla en 1966 para investigar los efectos de condiciones de curado variables en concretos que contenían diversos tipos de agregado grueso y cementantes. Los agregados gruesos incluidos fueron EAH en friada al aire y basalto, mientras que los cementos estuvieron compuestos de cemento tipo I y CV de Tallawarra o EGM de Port Kembla. Los diseños de proporcionamientos de concreto mostrados en la Tabla 5, generalmente cumplen con la resistencia especificada de 25 MPa. La mitad de cada losa de concreto se curó en agua durante 7 días, mientras que la otra mitad se dejó sin curar.

Este concreto formaba parte del anillo de pavimento principal Norte-Sur dentro de las fundiciones de acero de Port Kembla y permaneció 7 años con servicio pesado antes de que el anillo fuera removido para dar paso a las nuevas líneas de ferrocarril. Además de una abrasión significativa debida a los vehícu-

los pesados, la carretera también estuvo sujeta al ataque químico de las emisiones producidas por las fundiciones además de las salpicaduras de sal del mar de Tasmania.

Un reporte detallado de la investigación realizada justo antes de la remoción del pavimento fue publicado previamente por Ryan, Williams y Munn (8).

Las losas fueron inspeccionadas en lo referente a patrones de desgaste y agrietamiento, se extrajeron corazones y se ensayaron a compresión y también fueron examinadas con el microscopio electrónico de exploración. Los resultados sobre el aumento de resistencia y las resistencias de los corazones a largo plazo, se encuentran en la Tabla 6. Los patrones de agrietamiento y desgaste, después de 7 años de uso en concretos con agregado de escoria y con basalto, son similares para un curado semejante. Todos los concretos que fueron curados, mostraron buena resistencia al desgaste, mientras que el concreto de EGM mostró la mayor sensibilidad al suspender el curado después del 70. día. Un resumen de las características de desgaste y agrietamiento se presentan en la Tabla 7.

Numerosas estructuras de concreto reforzado dentro de las funciones de Port Kembla y los alrededores, que han sido construidas utilizando escorias y CV, aún están en servicio. La caseta de bombeo de agua salada y el sistema de drenaje principal, han estado en uso continuo durante más de 40 años. Aún y cuando las características del concreto utilizado en el trabajo son inciertos, el agregado grueso es EAH y un examen visual de las estructuras indica muy poca deterioración aun en la zona de chapoteo de los canales de agua.

El principal atracadero de mineral en el puerto de Port Kembla ha sido extendido progresivamente durante un período de 25 años. El extremo oriente del muelle original tiene 20 años y fue construido usando cemento ASTM Tipo IV con agregado de EAH. La resistencia de diseño del concreto fue de 21 MPa y el recubrimiento especificado del acero de refuerzo en estas secciones super-reforzadas fue de 75 mm. Un extenso agrietamiento horizontal sobre las varillas de refuerzo y el descascaramiento de las esquinas son evidentes en la superficie del muelle. El concreto del muelle sobre la superficie del agua y bajo ella, aparece sano.

La segunda sección del muelle fue construida bajo especificaciones similares hace 12 años. La superficie del concreto está visiblemente con menor grado de compactación que en la primera sección, y algunas secciones grandes de concreto se han desprendido del acero de refuerzo en la superficie del muelle. Un leve ataque de sulfatos es evidente cerca de la línea de superficie del agua y en la cara inferior del muelle.

La tercera sección de recepción de mineral y un muelle para productos planos fueron construidos hace aproximadamente 8 años. Este concreto se utilizó agregado de EAH y una mezcla de cemento Portland ASTM tipo I, EGM y CV en las proporciones usuales para un concreto de 21 MPa. Aunque el recubrimiento nominal del acero y las dimensiones son similares a las estructuras del muelle más antiguo, estos últimos muelles, exhiben un acabado superficial mucho mejor y una

ausencia casi total de agrietamiento. En común con los muelles antiguos, son evidentes ciertas manchas causadas por el fierro. Aun y cuando los últimos muelles son más jóvenes que los embarcaderos originales, hay evidencia de una durabilidad significativamente mejor en los concretos con cemento mezclado. Las técnicas más avanzadas para la remoción del fierro de EAH deberán evitar la presencia de futuras manchas.

El agua salada se usa como el método principal de enfriamiento en la mayoría de las plantas de energía de Australia, y los canales de concreto de entrada y salida fueron construidos entre 1962 y 1965 para la Estación de Energía Murrumbidgee. El canal de entrada está sujeto a más clorinación continua y el de salida a las sales de mar y otras sales a temperaturas hasta de 45°C.

Las primeras secciones de los canales se construyeron en 1962 usando un cemento Portland tipo I y agregado grueso de basalto en concretos de 21 MPa de resistencia a los 28 días. Las segundas secciones se construyeron en 1964 usando una sustitución parcial del 20% del cemento Portland con CV de Wangi en un concreto diseñado para alcanzar una resistencia de 21 MPa a los 60 días. Los canales están reforzados con un recubrimiento mínimo de 60 mm sobre el acero.

Los canales han estado en servicio continuo durante 16 años, sujetos a cargas calientes de sal, agua turbulenta y no se detecta una diferencia significativa entre el comportamiento de los 2 concretos. La única señal de erosión aparece inmediatamente arriba del nivel de la superficie del agua donde fue removido 1 mm de mortero en algunos lugares para exponer el agregado grueso. No hay señales de agrietamiento que se pueda asociar con la corrosión del refuerzo.

Un cuarto caso histórico incluye la construcción de un muelle en el puerto de Newcastle durante 1966. El concreto usado en este proyecto fue para una resistencia nominal de 25 MPa, aunque los resultados de ensaye indican que podría satisfacer los requerimientos de una resistencia de 35 MPa. El concreto fue colocado con un revenimiento relativamente bajo, de 40 mm y bien compactado. El recubrimiento del acero de refuerzo fue mantenido a 60 mm como mínimo en la cubierta de 250 mm de espesor. El cemento usado en el proyecto fue un proporciónamiento de EGM "Sustitución-Adición" mediante la sustitución de un 40% de cemento y un 4% de adición de arena.

La inspección del muelle indica un comportamiento excelente sujeto no sólo al medio ambiente marítimo, sino también al ataque de nitratos y otras sustancias químicas agresivas derramadas en forma accidental durante la descarga.

#### CONCLUSION

Si se da un diseño de proporcionamiento de concreto y un recubrimiento del acero de refuerzo apropiados, la durabilidad de los concretos bien compactados que contienen EAH y CV es, al menos, igual que la del concreto de control. Hay bastante evidencia para sugerir que el comportamiento del concreto sujeto al ataque químico es mejorado significativamente por medio de la inclusión de escorias y cenizas volantes.

Muchos de los factores referente a la durabilidad del concreto en aplicaciones estructurales han resultado de la subestimación de la severidad del ataque químico en concretos cerca de la costa oriental de Australia. La información obtenida para este trabajo son una pequeña porción de la evidencia disponible para sugerir que el concreto bien curado al que se le incorporó EAH y/o ceniza volante proporciona una resistencia significativamente mejor a este tipo de ataque y a la vez hace del concreto, un material para la construcción más económico por los ahorros de energía que proporciona.

#### RECONOCIMIENTOS

Los autores desean dar las gracias por la asistencia dada en la obtención de datos de campo a los Sres. P. Nelson de la Comisión de Electricidad de N.S.W. y E. Boulton de Fierro y Acero Australiano, así como a los Sres. R. McLaren de Pozzolanac, Australia y J. Ash de Pozzolanac Inc., Cincinnati, quienes también proporcionaron valiosos comentarios.

TABLA 1

PROPIEDADES DEL CONCRETO DE  $245 \text{ kg/cm}^2$  CON ESCORIA DE ALTO HORNO FINAMENTE GRANULADA

Cemento reemplazado	(%)	0	20	40	60	20	40	60
Arena reemplazada	(%)	0	0	0	0	4	4	4
Contenido de aire	(%)	1.2	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2
Contenido de agua	( $l/m^3$ )	260	270	260	260	265	250	245
Fraguado inicial	(hr/min)	4-50	-	-	-	5-10	-	6-15
Resistencia a la compresión	(% del normal)							
8 días		100	85	77	65	103	94	84
29 días		100	99	98	80	122	129	103
90 días		100	100	107	103	127	143	125

TABLA 2

PROPIEDADES DEL CONCRETO DE  $245 \text{ kg/cm}^2$  CON CENIZA VOLANTE CLASIFICADA

Cemento reemplazado	(%)	0	14	23	32	0	12	20
Arena reemplazada	(%)	0	0	0	0	5	5	5
Contenido de aire	(%)	1.6	1.5	1.8	1.6	1.6	1.6	1.4
Contenido de agua	( $l/m^3$ )	194	194	192	202	206	200	198
Fraguado inicial	(hr/min)	5-30	5-00	4-40	4-50	5-10	6-00	4-10
Resistencia a la compresión	(% del normal)							
1 día		100	75	87	100	162	150	112
7 días		100	75	75	60	120	93	85
28 días		100	85	84	68	122	101	100
90 días		100	97	98	80	132	112	112