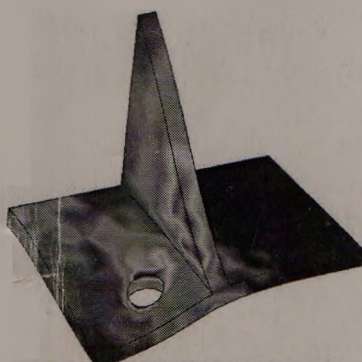


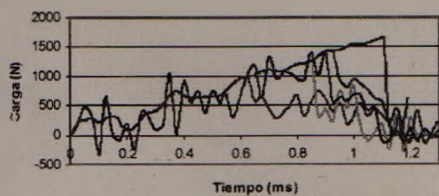
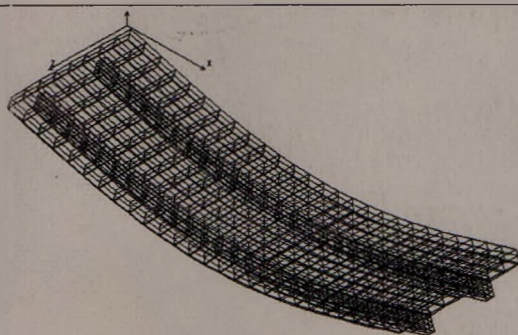


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004

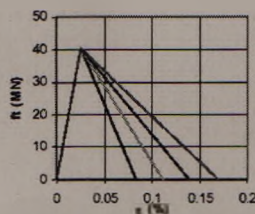


Contour Plot of NODAL V. MISES
(Deformation (M0): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

2^{DA} JORNADA DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIERÍA 2004



— Gf = 2160 N/m — Gf = 3240 N/m — Gf = 5400 N/m
— Gf = 4250 N/m (DF) — Ens. Laboratorio



— Gf = 2160 — Gf = 3240
— Gf = 5400 — Gf = 4250

Comportamiento de Hormigones de Alto Desempeño, Elaborados con Materiales de la Zona del Nordeste Argentino, frente a la acción de los sulfatos

Autores : Sanguinetti, Bibiana M., Astori, Raúl E., Gauto Oscar I.
Facultad Ingeniería - Instituto de Estabilidad
Av. Las Heras 727-Cp. 3500- Resistencia- Chaco- Argentina.
T.E. 436298 - Fax 420076 - E-Mail: rastori@ing.unne.edu.ar

Antecedentes

El estudio de la durabilidad de los hormigones especiales frente a la acción de agresiones químicas, se está desarrollando en el Instituto de Estabilidad desde hace más de cinco años, habiéndose presentado un trabajo sobre la tendencia del proceso para un tiempo de exposición del hormigón de 800 días. El estudio de la durabilidad en hormigones requiere registros de datos durante un periodo de tiempo superior a los 4000 días. Este trabajo con registros de aproximadamente 1800 días presenta una información sobre el avance del proceso.

La Provincia del Chaco cuenta con zonas de suelos predominantemente arcillosos con contenidos de sales solubles que resultan muy perjudiciales para el hormigón tradicional. Dichos suelos están localizados en los departamentos de General San Martín, Bermejo, Sargento Cabral, variando su PH de 7.20 a 4,3 respectivamente, correspondiendo el último caso a suelos anegables muy ácidos, con concentraciones de aniones SO_4^{--} de 4.8 y de Cl^- de 7.68 (Meq/100). De allí la necesidad de encarar este trabajo con el objeto de estudiar el comportamiento de los hormigones especiales elaborados con materiales de la zona, frente a la presencia de agresiones químicas, en mira a brindar materiales alternativos.

Materiales y métodos

La experiencia se realizó sobre hormigones de alto desempeño sin y con adiciones activas. Identificándose a los primeros con las letras: K, L, I y a los segundos con B y C. Los hormigones fueron elaborados con: cemento de alta resistencia inicial, piedra partida basáltica provenientes de canteras de la provincia de Corrientes con tamaño máximo de 19 mm, arena natural silícea, proveniente del río Paraná de módulo de finura: 2.46.

La adición utilizada fue ceniza de cáscara de arroz, dado que su propiedad puzolánica fué comprobada en trabajos anteriores y por ser el cultivo de arroz una de las bases de la economía regional, lo que permite la disposición de materia prima suficiente y de bajo costo para su utilización.

La ceniza se la obtuvo por medio de la combustión de cáscara de arroz a una temperatura de 600 °C. Las proporciones de ceniza utilizadas fueron del 10% y se las incorporó al hormigón en sustitución parcial del cemento.

El aditivo superfluidificante empleado como reductor del contenido de agua fue a base de naftaleno sulfonado y las dosis variaron entre 2.8 % y 3,1 % del peso del cemento

más puzolana. según el caso. Estas dosis permitieron obtener mezclas trabajables y con consistencias que van de plásticas a fluidas para relaciones agua+ad./ligante inferiores a 0.34. La cantidad de agua y de aditivo fue mayor en las mezclas B-65 y C-60 debido a la incorporación de la adición, que al poseer mayor superficie específica requiere una mayor cantidad de agua para lograr la trabajabilidad necesaria.

La obtención de los distintos hormigones se realizó basándose en la tecnología propia de los HAD y metodología convencional de elaboración. La composición de las mezclas se detalla en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1: Composición de las mezclas

Mezcla	Relación (a+ad)/ (c+p) (en peso)	Composición del hormigón					
		Adición mineral (%)	Agua (kg)	Superf. (%)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Piedra (kg)
HK-60	0.31	-	140	2.8	500	840	1105
H I-65	0.27	-	120	3.0	500	620	1408
H L-70	0.29	-	127	3.0	500	848	1129
H C-60	0.34	10	166	3.1	486	678	1138
H B-65	0.33	10	159	3.1	486	682	1114

(a + ad) = agua + aditivo

(c + p) = cemento + puzolana

Se moldearon probetas cilíndricas de hormigón (10 x 20cm) y prismáticas de mortero (obtenido por tamizado del hormigón) de 4x4x16 cm.

Luego de un periodo de curado de los hormigones por inmersión en agua (28 días) se dispuso:

- a) Un grupo de probetas en una pileta con solución ácida con un PH que se varió de 3-4 a 6-7 (Pileta 1) y otro grupo con PH de 5-6 a 7-8 (Pileta 2). La variación del PH fue en intervalos de 2 meses, con titulación periódica de la solución con ácido sulfúrico de concentración 1N. Esta titulación se debe a que el OCa que libera el cemento al hidratarse ingresa a la solución formándose sulfato de sodio con el consiguiente aumento del PH.

Las probetas cilíndricas fueron colocadas en posición de semisumergidas y las de mortero fueron sumergidas en la solución.

- b) Otro grupo de probetas, en una pileta con suelo de tipo arcilloso sulfatado con solución de sulfato de sodio, con PH comprendido entre 6-8. Buscándose la representatividad del mismo respecto a suelos existentes en la zona. La humedad del suelo se varió entre periodos secos (4 al 10 %) y periodos húmedos (50 al 100%) a efecto de atender las condiciones climáticas o estacionales de la zona.
- c) La evaluación del deterioro se realizó mediante la observación (aspecto visual) y variación de peso de las probetas cada 3 meses durante el primer año y a posteriori cada 6 meses.

Las propiedades de los hormigones en estado fresco se pueden observar en la tabla N°2.

Tabla N° 2: Propiedades del hormigón en estado fresco

Mezcla	Relación Agr. E.	Relación Pasta*	Propiedades del hormigón fresco				Resistencia a compresión f'_{CH} (28 d)
			Asent. (cm)	P. U. (Kg/cm ²)	Consistencia	Cont Aire (%)	
H K-65	46	31	20.3	2599	Fluida	2.70	67
H I-65	33	29	6.3	2663	Plástica	3.34	65
H L-70	45	30	2.0	2621	Plástica		73
H C-60	40	36.1	10.9	2539	Lev. Fluida	1.10	61.8
H B-65	40	32.8	5.0	2512	Plástica		65.5

* (cemento + puzolana + agua)

Análisis y discusión de resultados

La variación de peso respecto del obtenido a los 800 días de exposición, tuvo un comportamiento similar al observado hace tres años, es decir fue inferior al 1 % tanto para las probetas colocadas en suelo como las colocadas en la solución, presentando valores cercanos al 1% en el caso de las que estuvieron en exposición directa con la solución. En esta apreciación los hormigones ubicados en suelo han sufrido una disminución de peso inferior al 2%, y los expuestos a solución ácida con PH más bajo, dieron valores de reducción de peso cercanos al 2 % para un tiempo de exposición, en ambos casos, de aproximadamente 1800 días.

Respecto del examen visual se obtuvo:

Foto N° 1: se puede apreciar el comportamiento del hormigón con y sin adición expuestos parcialmente a la solución ácida (pileta 1). La presencia de un número considerable de agregado grueso expuesto indica la pérdida del mortero de recubrimiento del hormigón en la parte sumergida de la probeta de hormigón sin adición. En los hormigones con adiciones el deterioro fue mucho menor, da cuenta de esto la poca o nula presencia de agregado grueso expuesto.

Foto N° 2: hormigones expuestos parcialmente a la solución ácida (pileta 2). Se puede observar el estado casi inalterado de la superficie, la cual sufre un cambio de coloración en la parte expuesta.

Estos comportamientos se deberían a que la solución ingresa al hormigón por capilaridad y por absorción y el mecanismo de desintegración se debe a una acción química y una física. La primera se debe a la combinación por reacción química de los sulfatos con los óxidos de calcio libres contenidos en la pasta de cemento y que son productos de la hidratación del mismo. Estos compuestos provocan: expansión, ablandamiento, fisuración. El deterioro es mayor en la zona de contacto con la solución sulfatada. Como estos hormigones poseen menor formación de capilares, menor porosidad que los hormigones normales el proceso de deterioro sería menor. Esto queda más evidenciado en los hormigones con adiciones, donde la menor permeabilidad, le brinda mejores condiciones frente al ataque de los sulfatos.

Foto N° 3: hormigones semienterrados. Se puede visualizar la formación de cristales en la zona inmediata superior al nivel del suelo. En cambio se da la casi inalterabilidad de la superficie del hormigón, en los que estuvieron totalmente enterrados (Foto N° 4).

Esto se explicaría a través de una acción física: la cristalización de las sales de los sulfatos, por evaporación en las capas externas del hormigón, semisumergido o semienterrado. La solución ingresa al hormigón por capilaridad en las zonas secas se evapora y cristaliza aumentando de volumen, generando fuerzas que llevan al desprendimiento primero del mortero de recubrimiento y luego involucra al agregado. Esto se da en la zona inmediatamente superior al nivel del agua o suelo. El sulfato de sodio es uno de los más perjudiciales por su presión de cristalización.

Conclusiones

Según los resultados de la experiencia hasta aquí realizada, el hormigón de alto desempeño elaborado con los materiales de la zona tendría un comportamiento aceptable dado las condiciones extremas de agresión a que es expuesto. En el caso de hormigones con adición, la incorporación de ceniza de cáscara de arroz, en reemplazo parcial del contenido de cemento en peso, sigue brindando al material una mayor resistencia a las agresiones químicas externas. Estos resultados, que si bien permiten una mayor aproximación al comportamiento de estos hormigones frente a las acciones

químicas agresivas por cuanto el tiempo de exposición fue superior al 100% respecto del trabajo anterior. indican la necesidad de continuar la investigación. Cabe señalar que la adición de cenizas de cáscara de arroz, obtenidas a través del tratamiento térmico adecuado, podría ser una alternativa cierta en el campo de la tecnología de los materiales.



Foto N° 1: Hormigones expuestos a la solución en Pileta 1.
(Las probetas a la derecha y a la izquierda contienen adiciones)



Foto N° 2: Hormigones expuestos a la solución en Pileta 2.
(Las dos probetas centrales de hormigones con adiciones).

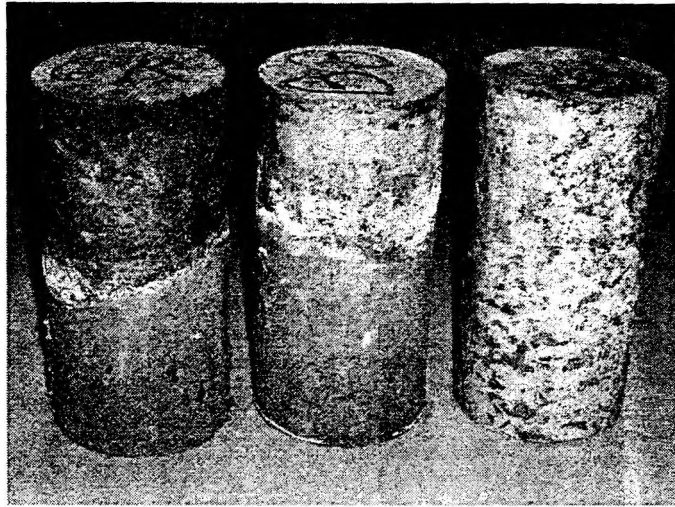


Foto N° 3: Hormigones semienterrados.
(Las probetas del centro y derecha son de hormigones con adicciones)



Foto N° 4: Hormigones totalmente enterrados.
(Probetas de hormigones sin adicciones)

Bibliografía

- (1) Giaccio, G., Rocco, C., Zerbino, R. "Hormigones de Alta Resistencia" Microestructura y característica de la matriz". Rev. Hormigón N° 20, AATH 1991, pp 33 - 42.
- (2) Giaccio, G. , Giovambattista, A., Rocco, C , Zerbino, R. "Ciencia y Tecnología del Hormigón". Año I -N° 2 UNLP - LEMIT - CIC.
- (3) Castría, N. , Palazzi de Villagra Delgado, S. , Amín, D. , Anaya, D. "Hormigón de alto desempeño con agregados locales". Memorias, XII Reunión Técnica: Haydeé V. Armándola, AATH. 1995, pp 23-30
- (4) Silveira, A. A., Dal Molin, D. C. "Adicao de microsilica e cinza da casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos". Memorias, XII Reunión Técnica: Dra. Haydeé V. Armándola, AATH. 1995, pp. 221-229.
- (5) Evangelista, A. , Ramalho de Almeida, I. , Shehata, L. "Influencia de alguns parâmetros no ensaio de compressão dos concretos leves de Alta Resistência". Memorias, XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Tucumán. 1995, pp. 209-216
- (6) American Concrete Institute. Comité 226. "Silica fume in concrete". ACI. Materials Journal. Detroit, 1987, V. 84, N° 2, pp 158-166.
- (7) Giaccio, G., Giovambattista, A., Rocco, C. y Zerbino, R. "Ciencia y Tecnología del Hormigón". Año 2 N° 3 - LEMIT .
- (8) R. J. Torrent y J. Gebauer. "Aspectos de Durabilidad de los hormigones de Alta Resistencia." Memorias Congreso Intercontinental del Hormigón Preparado. Madrid. España. 1992.
- (7) Gonzáles M. A., Irassar E. F.. "Las estructuras de hormigón frente al ataque de los sulfatos". Memoria, XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Tucumán. Argentina. 1995, pp. 359-369.