

EFFECTO DE LAS FIBRAS EN EL DESPRENDIMIENTO EXPLOSIVO DE HORMIGONES DE RESISTENCIA CONVENCIONAL Y DE ALTA RESISTENCIA

Hours Francisco, Torrijos María Celeste, Giaccio Graciela

Departamento de Ingeniería Civil, Fac. de Ingeniería UNLP, calle 115 y 48, La Plata francischohours@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El Hormigón de Alta Performance (HAP) se caracteriza por su alta resistencia y baja permeabilidad, lo que lo hace más durable que el hormigón convencional (HC). Sin embargo, debido a su baja permeabilidad, puede ser más susceptible al desprendimiento explosivo o "spalling" cuando se expone a un calentamiento rápido, lo cual podría comprometer la integridad estructural en caso de incendio. Los factores que influyen en este fenómeno son la permeabilidad, el nivel de saturación de agua, la velocidad de calentamiento, la resistencia a tracción y el tamaño de la sección del hormigón. Los túneles, por su mayor humedad, tienen un mayor riesgo de sufrir este fenómeno. El "spalling" ocurre entre 190 y 250 °C como consecuencia de un rápido ascenso de la presión de poros producto de la evaporación del agua y tensiones térmicas debido al gradiente de temperatura. Estos mecanismos pueden ocurrir individualmente o combinados. Una medida de protección pasiva contra el "spalling" es el uso de micro fibras de polipropileno. La norma europea recomienda una dosis de 2 kg/m³ de microfibras para minimizar el riesgo de desprendimientos explosivos, aunque dosis de 0,9 kg/m³ también han sido efectivas. Estas fibras se funden a 170 °C, creando canales interconectados que permiten aliviar la presión del vapor y reducir así riesgo de desprendimientos explosivos. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio para analizar la contribución de diferentes tipos y dosis de fibras poliméricas y fibras de acero frente al daño que sufre el hormigón por la exposición a alta temperatura.

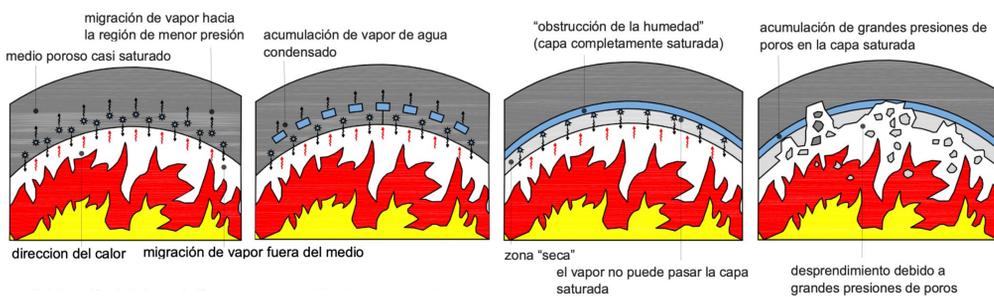


Figura 1: desprendimiento explosivo en el hormigón si fibras inducido por presión de poros (modelo de "obstrucción de humedad" de Shorter & Harmathy).

MEZCLAS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Tabla 1: Mezclas elaboradas. La letra indica el tipo y el numero la dosis de fibra (kg/m³)

	HS	m0.6	m1	m2	M3	m0.6M3	M6	m0.6S40
Hormigón A	•		•	•	•		•	
Hormigón B	•	•	•			•	•	•

En este trabajo se estudiaron dos hormigones de 30 y 70 MPa (A y B), a los que se añadieron distintos tipos y cantidades de fibras (Tabla 1). Se moldearon 9 cilindros (150x300 mm) por mezcla y se curaron por 3 meses. Las probetas se calentaron a 500 o 700°C en horno con control automático, midiendo la temperatura interna con termocupla. Se mantuvieron 2 horas a máxima temperatura y luego se enfriaron lentamente. Para evaluar daños, se midió la velocidad de pulso ultrasónico antes y después del calentamiento, así como densidad, ancho máximo de fisuras visibles, resistencia a compresión y módulo de elasticidad.

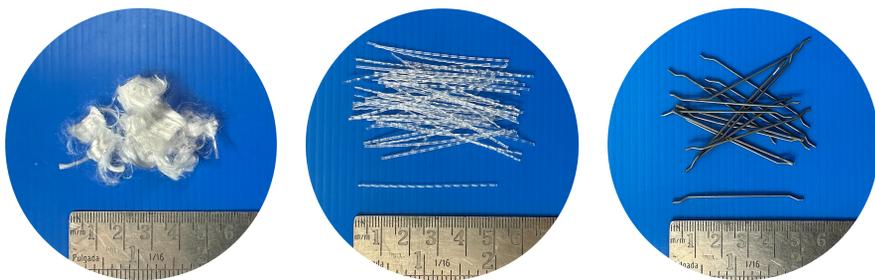


Figura 2: microfibras de polipropileno "m" (izquierda), macrofibras de polipropileno "M" (centro) y fibras de acero "S" (derecha).

CONCLUSIONES

Se verifica que el daño producido por la exposición a alta temperatura de hormigones con elevados contenidos de humedad es significativo, tanto mayor cuanto mayor es la temperatura de exposición. Los hormigones sin fibras exhibieron desprendimientos explosivos, presentando un muy importante nivel de daño, haciendo imposible su caracterización. La incorporación de fibras al hormigón redujo el daño por temperatura y en ningún caso se produjo desprendimiento explosivo. No obstante, los hormigones reforzados con fibras presentaron diversos grados de fisuración variable en función del tipo y contenido de fibra. Los hormigones con macrofibras poliméricas presentaron el mayor nivel de daño, con mayor densidad y ancho de fisuras como así también menores resistencias y rigideces residuales. Las microfibras fueron las más eficientes en el control del daño por temperatura; incluso la incorporación de 0,6 kg/m³ de microfibras resultó aún más beneficiosa que dosis mayores recomendadas por la bibliografía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2: Velocidad de pulso ultrasónico (VPU), resistencia a compresión (f'c) y módulo de elasticidad antes y después de la exposición a 500 o 700 °C, densidad y ancho máximo de fisura después de la exposición a 500 o 700 °C.

Identificación	VPU		Análisis de fisuración		f'c		E		
	m/s	%	Densidad cm/cm ²	Ancho máximo mm	MPa	%	GPa	%	
Hormigón A	HS control	4300	100	-	-	29,3	100	32,5	100
	m1 control	4300	100	-	-	28,9	100	34,9	100
	m1 500°	2000	47	0,007	0,050	15,8	55	8,9	26
	m1 700°	-	-	0,091	0,250	3,8	13	0,9	3
	m2 control	4200	100	-	-	29,0	100	30,9	100
	m2 500°	1900	45	0,010	0,095	15,9	55	10,7	35
Hormigón B	M3 control	4200	100	-	-	28,0	100	32,4	100
	M3 500°	1500	35	0,047	0,090	16,2	58	8,5	26
	M3 700°	-	-	0,124	0,410	3,0	12	0,9	3
	M6 control	4100	100	-	-	28,3	100	34,4	100
	M6 500°	500	13	0,06	0,190	15,3	54	8,0	27
	M6 700°	-	-	0,204	0,535	3,4	13	1,2	4
Hormigón B	HS control	4802	100	-	-	74,6	100	40,1	100
	m0,6 control	4717	100	-	-	77,4	100	39,1	100
	m0,6 500°	2465	52	0,009	0,030	50,9	66	15,8	40
	m1 control	4698	100	-	-	78,1	100	39,3	100
	m1 500°	2351	50	0,006	0,050	44,1	56	11,8	30
	m0,6 M3 control	4692	100	-	-	77,6	100	39,2	100
Hormigón B	m0,6 M3 500°	1886	40	0,057	0,070	38,9	50	12,6	32
	m0,6 M3 700°	-	-	0,255	0,230	10,4	13	2,8	7
	M6 control	4721	100	-	-	73,6	100	40,1	100
	M6 500°	1405	30	0,101	0,090	38,2	52	11,7	29
	M6 700°	-	-	0,297	0,270	8,5	12	1,4	4
	m0,6 S40 control	4726	100	-	-	77,5	100	40,7	100
m0,6 S40 500°	2491	53	0,007	0,030	52,3	67	15,1	37	
m0,6 S40 700°	-	-	0,141	0,100	26,5	34	4,4	11	

Evaluación del daño: velocidad de pulso ultrasónico (VPU) y relevamiento de fisuras: En la Tabla 2 se observa una reducción de la VPU en todos los hormigones reforzados con fibras calentados, evidenciando daño. El deterioro es desigual entre los distintos hormigones. A 500°C, la VPU se redujo en un 65% para M3 y 85% para M6 del grupo A, y en un 70% para M6 del grupo B. En el grupo B con fibras híbridas, la VPU se redujo un 60% para m0.6M3 y un 47% para m0.6S40. Con microfibras, la velocidad residual fue del 50% en el grupo B y 45% en el grupo A, indicando menor degradación respecto a las macrofibras. A 700 °C, el daño es tan severo que no fue posible medir la VPU.



Figura 3: Aspecto superficial de probetas con micro y macrofibras expuestas a 700 °C. Las microfibras al incorporarse en mayor número resultan más eficientes en el alivio de presión de vapor. Las fibras poliméricas alteran los cambios en la microestructura del hormigón a alta temperatura.

La Tabla 2 muestra que, al aumentar la temperatura, crecen la densidad y el ancho de las fisuras. Las microfibras generaron fisuras más finas que las macrofibras poliméricas. En el hormigón A, la densidad de fisuras con macrofibras fue 5 a 8 veces mayor que con microfibras. En el hormigón B, a 500 °C los que contenían microfibras casi no presentaron fisuras visibles. A 700 °C, la densidad de fisuras aumentó, siendo menor en m0.6S40. Las microfibras dieron lugar a fisuras más finas en ambos hormigones. A 700 °C el ancho máximo de fisura aumentó en todos los casos, siendo m0.6S40 el de menor ancho. A 500°C, m1 tuvo un comportamiento similar en ambos hormigones, mientras que M6 generó más fisuras en el hormigón más resistente.

Propiedades mecánicas residuales: La exposición a altas temperaturas produjo una significativa caída de resistencia en todos los hormigones. En el grupo A no hubo diferencias significativas entre hormigones con microfibras o macrofibras, pero en el grupo B, a 500 °C, la resistencia del hormigón con macrofibras fue la más afectada. A 700 °C, la resistencia cayó a aproximadamente 12% en m0.6M3 y M6, y a 34% en m0.6S40. El módulo de elasticidad se mostró más sensible al daño por temperatura: a 500 °C se redujo a 25-40% según el tipo de hormigón. La exposición a 700 °C redujo drásticamente la rigidez y ningún hormigón conservó más del 10% de la rigidez original.