



INFLUENCIA DEL TIPO DE AGREGADO GRUESO EN LAS PROPIEDADES DE HORMIGONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

Zerbino, R.¹, Giaccio, G.², Milanesi, C.A.³, Perrone, F.H.⁴, Pappalardi, M.³ y Violini, D.³

LEMIT, calle 52 entre 121 y 122, La Plata, Argentina

Tel:(54)(221)4831142 - Fax:(54)(221)4250471, email: estudiosespeciales@lemit.gov.ar

RESUMEN

Los pavimentos de hormigón son estructuras delgadas, con una gran superficie expuesta, lo que hace que su comportamiento se halle fuertemente condicionado por los cambios climáticos y sea imprescindible implementar medidas de acción preventivas, de primer orden, tendientes a evitar la afectación del material. Un buen diseño de la mezcla puede contribuir a mejorar el desempeño de la estructura dotando al hormigón con una extensibilidad suficiente para absorber las deformaciones impuestas por los cambios térmicos y la contracción propia del material. En este sentido, una correcta selección del agregado grueso puede minimizar la aparición de fisuras, en especial a edad temprana. Este trabajo forma parte de un proyecto I+D entre Cementos Avellaneda S.A. y el LEMIT para evaluar el desempeño de agregados gruesos dolomíticos en hormigones. Este artículo analiza hormigones para pavimentos elaborados con agregados gruesos de diferente mineralogía, forma y textura superficial: un canto rodado silíceo del Río Uruguay, una piedra partida dolomítica de Olavarría y un agregado granítico, de la misma zona, de comportamiento conocido. Se determinaron, tanto a edad temprana como a largo plazo, la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, el módulo de rotura y la extensibilidad en flexión y la energía de fractura. Asimismo, se informan el coeficiente de dilatación térmica y la contracción por secado. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el desempeño del hormigón elaborado con el agregado dolomítico es equivalente al logrado con el agregado granítico y superior al obtenido con el canto rodado silíceo. A partir del análisis de los mecanismos que explican la respuesta de cada hormigón, se confirma que el uso de canto rodado silíceo del Río Uruguay debe hacerse con cautela en este tipo de aplicaciones.

Palabras clave: pavimentos, agregado grueso, dolomía, canto rodado

INTRODUCCIÓN

Entre los temas que han suscitado interés en los últimos años en Argentina en el campo de la tecnología del hormigón aparecen los relacionados con la construcción de pavimentos y en particular empleando técnicas constructivas de alto rendimiento. Los pavimentos de hormigón son estructuras delgadas, con una gran superficie expuesta, lo que hace que su comportamiento se halle fuertemente condicionado por los cambios climáticos y sea imprescindible implementar medidas de acción preventivas, de primer orden, tendientes a evitar la afectación del material. Un buen diseño de la mezcla puede contribuir a mejorar el desempeño de la estructura dotando al hormigón con una extensibilidad suficiente para absorber las deformaciones impuestas por los cambios térmicos y la contracción propia del material. Es conocido que los agregados gruesos poseen una marcada influencia en estas propiedades, las características de la roca de origen y la forma y textura de las partículas provocan variaciones en la rigidez, adherencia de interfaces y coeficientes de expansión térmica de los agregados que inciden directamente en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón (1-3). En trabajos recientes se ha tratado la fisuración a edad temprana en pavimentos y las propiedades de los agregados vinculadas (4,5). Una correcta selección del agregado grueso puede minimizar la aparición de fisuras en los pavimentos y otros tipos de estructuras de hormigón.

¹ CONICET – Fac. Ing. UNLP –CIC-LEMIT

² CIC-LEMIT – Fac. Ing. UNLP

³ Cementos Avellaneda S. A.

⁴ Hormigones Avellaneda S. A.

En la actualidad se desarrolla un proyecto I+D entre Cementos Avellaneda S. A. y el LEMIT con el objetivo de evaluar el desempeño de agregados gruesos dolomíticos en hormigones. En este trabajo se presentan y analizan los resultados de un extenso estudio en el que se comparan hormigones para pavimentos elaborados con distintos tipos de agregado grueso considerando en especial las propiedades del hormigón que influyen en el desempeño de los pavimentos, tanto a edad temprana (riesgo de fisuración) como a largo plazo (evolución de la resistencia y contracción). Se seleccionaron agregados gruesos de diferente mineralogía, forma y textura superficial: un canto rodado silíceo del Río Uruguay, una piedra partida dolomítica de Olavarría y un agregado granítico, de la misma zona, de comportamiento conocido. Entre las motivaciones del estudio aparecen por un lado algunas experiencias previas poco alentadoras utilizando rodados silíceos de la Mesopotamia y por otro la disponibilidad de agregados dolomíticos, sobre los cuales no existían mayores antecedentes, destacando además la realización de una explotación en forma sustentable, lo cual implica una relación mínima entre el recurso minero empleado y el producto obtenido

EXPERIENCIAS

Materiales y mezclas

Se dosificaron mezclas con proporciones típicas utilizadas para la construcción de pavimentos con tres tipos de agregados gruesos: un canto rodado silíceo (Entre Ríos), y dos piedras partidas, una dolomítica y otra granítica, ambas procedentes del centro de la provincia de Buenos Aires.

En primer lugar se procedió a la obtención de muestras para su caracterización incluyendo determinaciones de granulometría y contenido de polvo, densidad y absorción, peso unitario seco compactado y contenido de lajas. En paralelo a este estudio se realizó una profunda caracterización de los agregados dolomíticos considerando desgaste, pérdida en sulfatos y reactividad frente a los álcalis.

Se emplearon dos fracciones de agregados gruesos (10-30 mm y 6-20 mm) que fueron combinadas de forma tal de obtener una distribución granulométrica similar en los hormigones; dichas combinaciones se identifican de acuerdo al tipo de agregado como R, D y G, y se ajustan a los límites establecidos en el reglamento CIRSOC 201. Además se emplearon cemento CPF40, arena silícea natural y un aditivo reductor de agua. En la Tabla 1 se presentan las propiedades de los agregados.

Las mezclas de hormigón se dosificaron fijando el contenido de cemento (330 kg/m^3) y ajustando el contenido de agua para lograr un asentamiento igual a $5 \pm 1 \text{ cm}$.

Tabla 1. Propiedades de los agregados.

Identificación	Arena	Granito		Dolomita		Canto rodado		Combinaciones		
		6-20	10-30	6-20	10-30	6-20	10-30	G	D	R
Abertura (mm)	Análisis granulométrico (% pasa)									
37,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
26,5	100	100	99	100	100	100	99	100	100	100
19	100	97	38	100	20	88	39	73	68	71
13,2	100	36	10	56	2	34	16	26	34	28
9,5	100	15	9	36	1	16	7	13	22	13
4,75	99	3	3	4	1	1	0	3	3	1
2,36	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,18	93									
0,600	70									
0,300	14									
0,150	1									
Módulo de finura	2,26	6,83	7,50	6,60	7,78	6,95	7,54	7,11	7,07	7,15
Pasa tamiz 200 (%)	0,5	0,5	0,7	1,4	0,9	0,7	0,8			
Densidad relativa	2,67	2,70	2,70	2,73	2,75	2,5	2,52			
Absorción (%)		0,9	0,6	1,1	0,9	1,1	0,8			
Lajas (%)		12	3	22	12	9	9			

En la Tabla 2 se presentan las proporciones de las mezclas, se repitieron tres pastones por cada tipo de agregado en jornadas diferentes, los mismos se identifican conforme el agregado grueso utilizado. En

estado fresco se determinaron el peso unitario, el asentamiento, el contenido de aire incorporado y la temperatura de las mezclas. Se destaca que la demanda de agua en el canto rodado si bien fue la menor de los tres agregados, fue mayor a la esperada, esto se atribuye a la forma de las partículas, en especial las de mayor tamaño que se alejaban bastante de la esférica.

Tabla 2. Hormigones elaborados: proporciones y propiedades en estado fresco.

Hormigón	R1	R2	R3	D1	D2	D3	G1	G2	G3
Agua (kg/m ³)	135			143			140		
Cemento (kg/m ³)	330			330			330		
Arena (kg/m ³)	740			715			730		
Piedra 6/20 (kg/m ³)	735			730			730		
Piedra 10/30 (kg/m ³)	400			490			485		
Aditivo (kg/m ³)	2.0			2.0			2.0		
a/c	0.41			0.43			0.42		
Temperatura ambiente (°C)	20	22	24	19	17	23	18	18	24
Temperatura agua (°C)	20	24	23	18	18	23	19	18	24
Temperatura hormigón (°C)	20	24	24	19	20	24	19	20	24
Asentamiento (mm)	40	55	60	60	45	45	60	60	45
Contenido de aire (%)	4.0	4.0	4.0	3.5	4.1	3.6	3.0	3.2	3.2
Peso unitario (kg/m ³)	2350	2350	2355	2410	2405	2405	2430	2425	2425

Tabla 3: Ensayos sobre hormigón endurecido

Propiedad	Edad de ensayo (días)	Probetas empleadas
Resistencia a compresión (f'c)	1, 7, 28 y 180	C 150x300 mm
Módulo de elasticidad (E)	1, 7, 28 y 180	C 150x300 mm
Módulo de rotura en flexión (MR)	1, 28 y 180	P 150x150x600mm
Tracción por compresión diametral (fcd)	1 y 28	C 150x300 mm
Energía de fractura y resistencia en flexión (G _F , fnet)	1, 28 y 180	P 150x100x600mm
Coefficiente de dilatación térmica (CDT)	1	P 70x100x430 mm
Fluencia (y contracción libre)	desde 28	C 150x300 mm
Contracción por secado	desde 14 y 28	P 75x100x430 mm

Se moldearon cilindros (C) y prismas (P) para realizar un extenso programa de evaluación del hormigón en estado endurecido. La Tabla 3 indica el plan de trabajo, detallando las propiedades medidas, edades de ensayo y el tipo de probetas empleadas en cada caso. Todas las probetas fueron compactadas en 2 capas utilizando una mesa vibratoria; a las 24 horas fueron desmoldadas y partir de entonces fueron mantenidas en cámara húmeda hasta la edad de ensayo.

Considerando la fuerte influencia que adquiere el volumen de agregado sobre el valor a medir, para la determinación del CDT se planteó una serie por separado. En ella se elaboró un mortero de igual proporciones que el mortero del hormigón, con una parte de este mortero se moldearon prismas y el resto del material se dividió en partes iguales, se incorporó a cada una de ellas igual volumen de dolomita, granito o rodados y se moldearon tres prismas con cada tipo de agregado.

El mismo mortero se utilizó para moldear las probetas compuestas roca-matriz utilizadas para la determinación de la adherencia de interfaces.

Se sintetizan a continuación los métodos de evaluación utilizados.

Resistencia a compresión y módulo de elasticidad: se realizó siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 1546-92. Se utilizaron cilindros 150 x 300 mm, encabezados con azufre a excepción de los ensayos realizados a las 24 horas donde se emplearon platos con neoprene.

Módulo de rotura y extensibilidad en flexión: se realizó siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 1547-92, se utilizaron vigas de sección 150 x 150 mm y luz entre apoyos 450 mm. Además se midieron las deformaciones de la fibra traccionada a fin de determinar la extensibilidad (e_{95}) para una carga correspondiente al 95 % de la carga de rotura.

Tracción por compresión diametral: conforme los lineamientos de la norma la IRAM 1658/95.

Energía de fractura: se emplearon prismas de 100 mm de base y 150 mm de altura, a los que se les realizó una entalladura en el centro de una profundidad igual a la mitad de la altura. Fueron ensayados con carga central y una luz de 500 mm y registrando la apertura de fisura (CMOD) mediante un extensómetro tipo clip gage, con el que se controló la velocidad de ensayo.

Análisis de los agregados en las superficies de fractura: finalizados los ensayos de tracción por compresión diametral, tracción por flexión y flexión sobre probetas entalladas para evaluar la influencia del tipo de agregado sobre el mecanismo de falla se relevaron las superficies de fractura y se realizó el recuento de las áreas de agregados despegados y fracturados.

Coefficiente de dilatación térmica: a la edad de 1 día. Se emplearon prismas con pernos de acero inoxidable insertos en sus extremos que se sumergieron en un baño térmico con circulación de agua. Se midieron las variaciones de peso y longitud (empleando un comparador con una precisión igual a 10^{-4} pulgadas) para distintas temperaturas desde temperatura ambiente hasta 50 °C. El tiempo de estabilización de la temperatura del baño previo a cada lectura fue una hora.

Contracción por secado: al igual que el caso anterior se utilizaron prismas con pernos en sus extremos y un comparador de longitudes con una precisión de 10^{-4} pulgadas. Se evaluaron dos grupos, el grupo 1 corresponde a probetas que fueron previamente empleadas a las 24 h para la determinación del CET y luego mantenidas en cámara húmeda hasta la edad de 14 días. El grupo 2 prismas curados en cámara húmeda durante 28 días. Las probetas fueron expuestas en cámara seca (20 ± 2 °C, humedad relativa 55 ± 5 %) durante 7 meses.

Fluencia: se moldearon seis probetas cilíndricas de 150 x 300 mm de cada hormigón, que fueron encabezadas con mortero de cemento a las 24 horas. A los 28 días fueron ubicadas en la cámara seca, un grupo de tres probetas fue sometido a cargas de compresión de larga duración equivalentes al 30 % de la resistencia a compresión a 28 días utilizando pórticos con resortes mientras que otro grupo de tres cilindros de cada hormigón se mantuvo sin cargar con el propósito de evaluar la contracción libre. En este caso las deformaciones se midieron mediante un deformómetro de láminas paralelas con una precisión de 10^{-4} pulgadas, aplicado entre puntos fijos de acero inoxidable pegados a 120° sobre tres generatrices de cada cilindro.

Adherencia mortero-roca: En forma paralela a los estudios sobre hormigones y con el fin de observar posibles diferencias en la evolución de la adherencia entre los agregados G y D se desarrollaron estudios de adherencia mortero – roca. Se fabricaron probetas compuestas por mitad de roca (prismas de 60 mm de largo y 25 x 25 mm de sección transversal) y otra mitad de un mortero idéntico al utilizado en los hormigones. La superficie de la roca fue arenada para obtener una textura similar a la de los agregados. Se realizaron ensayos a flexión en tres puntos con carga central, coincidente con la zona de interfaz.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 4 se presentan los resultados de las propiedades mecánicas evaluadas, se incluyen la resistencia a compresión (f'_c), el módulo de elasticidad (E), el módulo de rotura con carga en los tercios (MR) y la extensibilidad determinada al 95 % de la carga de rotura en flexión (e_{95}), la resistencia a tracción por compresión diametral (f_{cd}), la resistencia a flexión con carga al centro sobre vigas entalladas (f_{net}), la energía de fractura (G_F) y la longitud característica calculada como $l_{ch} = E.G_F/f_{cd}^2$ que da una referencia de la fragilidad del hormigón y del volumen involucrado en el proceso (o zona) de fractura.

En la Tabla 4 se aprecia que la menor resistencia corresponde al hormigón R y que, si bien no existen mayores diferencias entre los hormigones preparados con el agregado D y el G, con el primero se alcanzan las mayores resistencias no sólo a compresión, sino en especial en todas las evaluaciones de tracción; esto resulta auspicioso desde el punto de vista de su aplicación en pavimentos ya que es una propiedad que favorece la resistencia a la fisuración. EL hormigón R es el que muestra la menor extensibilidad y la mayor corresponde a la mezcla G.

Tabla 4: Propiedades Mecánicas.

	Edad (días)	f'c (MPa)	E (GPa)	MR (MPa)	e ₉₅ (μm/m)	f _{cd} (MPa)	f _{net} (MPa)	G _F (N/m)	l _{ch} (mm)
R	1	16,5	33,9	2,9	85	1,6	3,1	175	2315
	7	28,3	40,5						
	28	35,0	41,4	4,2	100	2,6	3,7	175	1070
	180	37,4	44,3	4,2	90	3,0	4,3	165	810
G	1	18,0	30,6	2,9	100	2,0	3,4	210	1610
	7	30,2	40,5						
	28	38,5	43,5	4,7	105	3,0	4,2	240	1160
	180	41,9	44,2	4,6	155	2,9	4,8	200	1050
D	1	19,1	33,8	3,2	90	2,1	4,0	205	1500
	7	32,9	44,0						
	28	38,9	46,8	4,5	110	3,0	5,2	230	1195
	180	42,2	49,1	5,2	130	3,3	5,7	190	860

Como contrapartida y justificando las diferencias en extensibilidad, el hormigón D posee mayor rigidez, incluso superando al hormigón R. Cabe comentar que la resistencia a compresión de las rocas estimadas a través de ensayos de carga puntual, indicaron para los agregados D, G y R valores de 186, 208 y 259 MPa respectivamente. Asumiendo que la rigidez de las partículas sigue un ordenamiento similar, la mayor rigidez debiera corresponder a los rodados. Sin embargo los módulos de elasticidad del hormigón R no fueron mayores a los del G. Esto puede justificarse a partir de la resistencia algo menor del hormigón con rodados y también de una menor adherencia o fallas a nivel de interfaces como se verá más adelante.

La Tabla 5 muestra los valores del CDT medidos en la serie preparada combinando mortero con volúmenes fijos de cada agregado. Surge con claridad que los mayores valores corresponden a los rodados seguidos por la piedra dolomítica y los menores a la piedra granítica. Los problemas derivados del elevado CDT de los rodados silíceos han sido discutidos en otros trabajos (4, 5) y constituyen una de las objeciones al uso de este tipo de agregado en pavimentos.

Tabla 5: Coeficiente de dilatación térmica (10⁻⁶ 1/°C)

Mortero	Mortero + D	Mortero + G	Mortero + R
11,1	10,7	8,4	12,4

Tabla 6: Ensayos de adherencia

Edad (días)	MRID (MPa)	MRIG (MPa)	MRM (MPa)	MRID/MRM	MRIG/MRM
7	2,21	1,99	3,69	0,60	0,54
28	2,49	2,28	3,98	0,62	0,57
180	2,96	2,47	4,42	0,67	0,56

En la Tabla 6 se muestran resultados de las evaluaciones de adherencia en las que se incluyen el módulo de rotura de las interfaces con cada roca (MRID y MRIG) y el de la matriz de mortero (MRM) y las relaciones entre dichas propiedades. Se evidencia que la piedra dolomítica desarrolla mayor resistencia en las interfaces que los agregados graníticos, y también se produce una mayor evolución de la adherencia con la edad. Aunque las diferencias son pequeñas se puede suponer que al menos la adherencia será mayor o igual que con las otras piedras partidas. Tanto el agregado G como el D tendrán mayor adherencia que el R por un efecto de textura superficial; esto justifica los incrementos en la resistencia a flexión y se manifiesta con claridad al analizar las relaciones tracción/compresión de los hormigones como así también cuando se comparan las superficies de fractura.

La Figura 1 muestra el aspecto típico que adoptan las superficies de fractura en tracción de los hormigones elaborados con los tres tipos de agregados. A partir del relevamiento de dichas superficies y utilizando un programa de procesamiento de imágenes se calcularon las áreas relativas que ocupan los agregados y se obtuvieron los parámetros informados en la Tabla 7, como era de esperar se observa que los rodados presentan un elevado número de fallas por adherencia del agregado correspondiendo a la dolomita el menor valor.



Figura 1. Aspecto típico de las superficies de fractura en tracción de los hormigones elaborados con los tres tipos de agregados. Izq.: Dolomita; Centro: Granito; Der.: Canto Rodado.

Tabla 7. Características de las superficies de fractura.

Hormigón / Agregado		Densidad de agregados		Porcentaje de agregados	
		fracturados	despegados	fracturados	despegados
D	Dolomítico	0.16	0.17	54	46
G	Granítico	0.15	0.20	43	57
R	Canto Rodado	0.06	0.24	17	83

Las Figuras 2 y 3 muestran relaciones entre las propiedades mecánicas evaluadas así como su evolución con la edad. Se comprueba la consistencia de los resultados dadas las vinculaciones previsibles entre las propiedades, así como la mayor resistencia a tracción del hormigón D. Desde el punto de vista de la fractura el aumento del módulo de elasticidad y de la resistencia a tracción implican una mayor fragilidad relativa en el hormigón D respecto al G lo que se refleja en la longitud característica, de todos modos los valores son mayores a los del hormigón R.

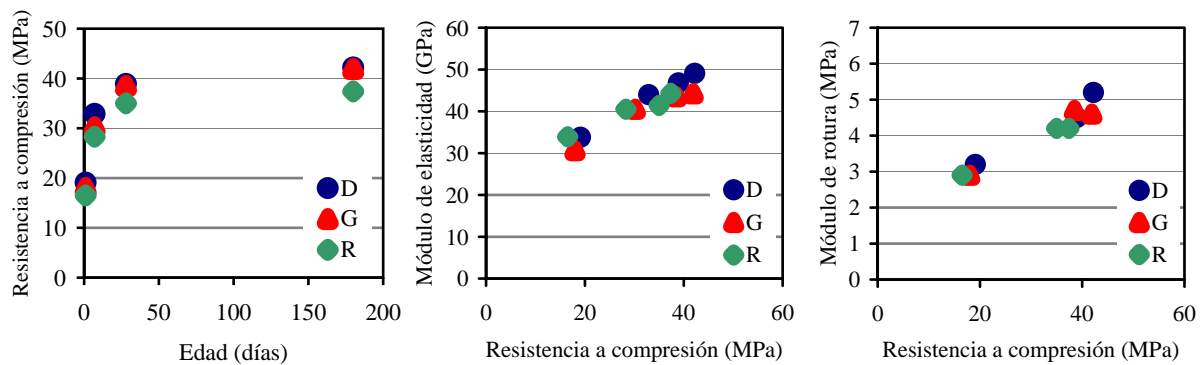


Figura 2. Evolución de la resistencia a compresión, relación entre modulo de elasticidad y resistencia a compresión y relación entre resistencias a flexotracción y compresión.

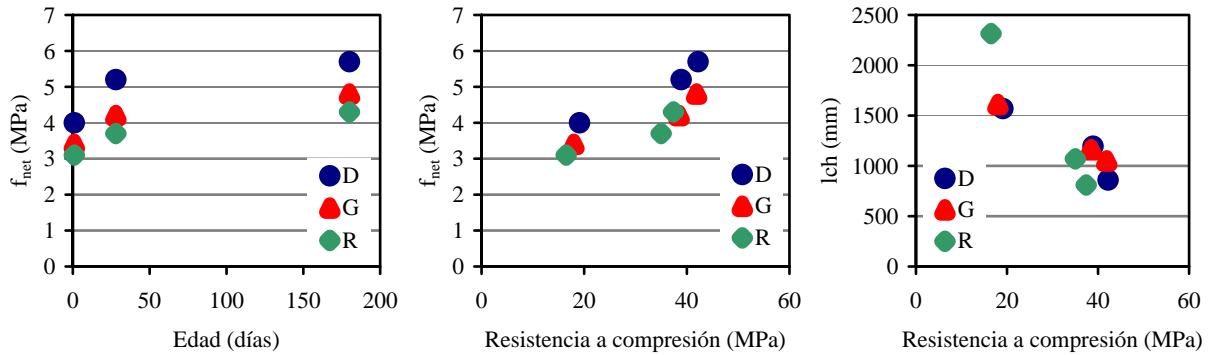


Figura 3. Ensayos sobre vigas entalladas: evolución de la resistencia a tracción, relación entre la resistencia a tracción y la resistencia a compresión medida en cilindros y variación de la longitud característica con la resistencia a compresión.

En cuanto al resto de las propiedades evaluadas, en las Figuras 4 y 5 se incluyen los resultados correspondientes a la evolución de la contracción por secado y la fluencia. En el caso de la contracción por secado en los dos grupos evaluados surge con claridad que, aunque las diferencias no son muy importantes el hormigón D posee la menor contracción por secado seguido por el hormigón G. Este hecho se puede justificar considerando mayor adherencia y rigidez de la dolomita. En los rodados, si bien la rigidez es alta, puede asumirse una mayor degradación a nivel de interfaces.

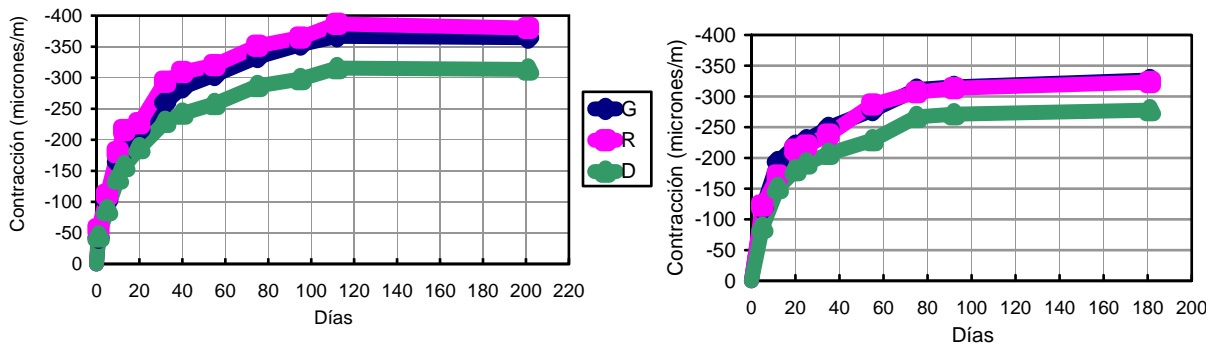


Figura 4. Contracción por secado durante 7 meses de exposición en cámara seca. Izq: prismas curados durante 14 días en cámara húmeda, Der: prismas curados durante 28 días en cámara húmeda.

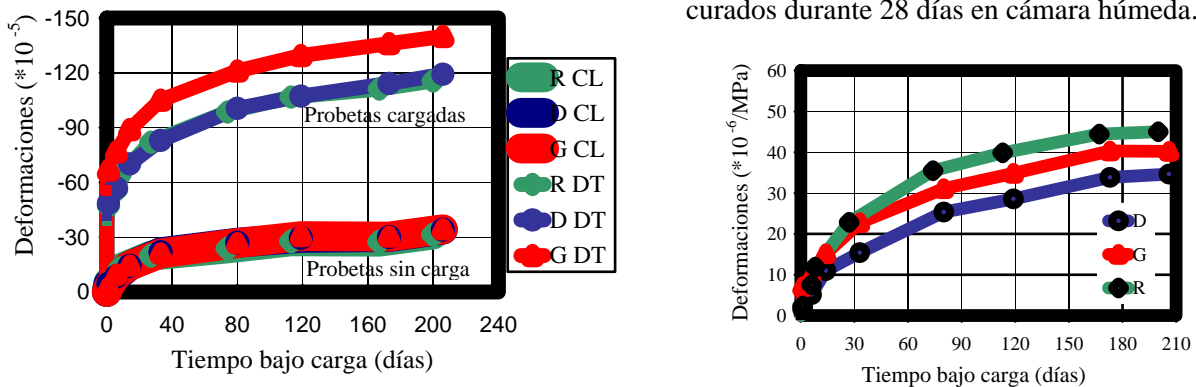


Figura 5. Ensayos de fluencia en compresión: 5.a (Izq) Deformaciones totales bajo carga y contracción libre en cilindros de hormigón expuestos en cámara seca durante 7 meses. 5.b (Der) Deformaciones diferidas expresadas como fluencia específica ($10^{-6}/\text{MPa}$).

En la Fig. 5.a se presentan las deformaciones totales (DT) bajo carga sobre cilindros expuestos en cámara seca durante 7 meses así como la contracción libre (CL) medida sobre cilindros de referencia sin cargar. En la Fig. 5.b se presentan las deformaciones diferidas expresadas en términos de fluencia específica ($10^{-6}/\text{MPa}$). Se aprecia con claridad que las mayores deformaciones diferidas corresponden al hormigón R y los menores al elaborado con piedra dolomita. La menor contracción a que da lugar el

agregado D se explica considerando que el hormigón tuvo mayor rigidez y existe buena adherencia en las interfaces.

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó un amplio estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de hormigones con proporciones típicas para pavimentos, preparados con tres tipos diferentes de agregados gruesos: rodados silíceos de la Mesopotamia, piedra partida dolomítica y, como referencia, agregado granítico, los dos últimos de la provincia de Buenos Aires.

- El estudio verifica las conclusiones de trabajos anteriores en cuanto a la menor aptitud de estos rodados silíceos (R) comparados con la piedra granítica (G). En efecto, para iguales contenidos de cemento, a pesar de alguna reducción en el contenido de agua de mezclado, los hormigones alcanzan menor resistencia, en especial a flexotracción, similar rigidez y mayor fragilidad. Además la baja adherencia de las partículas sumada al elevado coeficiente de expansión térmica los hace más susceptibles a la fisuración para el caso de pavimentos.
- El estudio demuestra que el agregado dolomítico (D) es apto para su uso en hormigones. El hormigón D se comportó en forma similar al elaborado con piedra granítica (G). Aunque tuvo un pequeño incremento en la demanda de agua, su resistencia mecánica, en especial a flexotracción, fue superior, este valor constituye un parámetro de diseño de pavimentos. Si bien no se observaron grandes diferencias en la extensibilidad bajo cargas rápidas, el agregado D posee mayor adherencia y dio lugar a hormigones con un módulo de elasticidad mayor que el G y con ligeras disminuciones en la energía de fractura. Según lo observado se destaca que las diferencias entre el hormigón D y el hormigón de referencia (G) son mínimas y no puede presuponerse que el uso de uno u otro agregado conlleve a diferencias significativas en la respuesta del hormigón.
- En cuanto a otras propiedades si bien el CET del hormigón D fue mayor que el del hormigón G y esto podría generar tensiones inducidas más altas, este efecto podría compensarse gracias a la mayor resistencia a flexotracción. Como un aspecto positivo frente a la fisuración por retracción por secado, las deformaciones de contracción fueron siempre menores con el agregado D. Las deformaciones de fluencia específica fueron mayores en el hormigón con rodados silíceos.

En síntesis, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el desempeño del hormigón elaborado con el agregado dolomítico es equivalente al logrado con el agregado granítico y superior al obtenido con el canto rodado silíceo. A partir del análisis de los mecanismos que explican la respuesta de cada hormigón, se confirma que el uso de canto rodado silíceo del Río Uruguay debe hacerse con cautela en este tipo de aplicaciones.

COMENTARIO FINAL (SUSTENTABILIDAD)

Cementos Avellaneda no se limita solamente a cumplir la legislación ambiental vigente y aplicable a sus operaciones de minería. Todos sus yacimientos, incluido el de Dolomita, cuentan con un estudio de impacto ambiental y un plan de recomposición en ejecución en paralelo con la explotación. La sustentabilidad entendida como la preservación de los recursos para generaciones futuras los logramos a través de los rendimientos superiores de nuestros productos al compararlos a nivel nacional e internacional.

AGRADECIMIENTOS

A la Srta María Eugenia Bossio por la colaboración en la realización de las tareas experimentales.

REFERENCIAS

1. Giaccio, G. and Zerbino, R., "Failure mechanism of concrete: combined effects of coarse aggregates and strength level" *Advanced Cement Based Materials*, Evanston Illinois, Elsevier Ed. USA, v 7, n 1, 1998, pp.41-48.
2. Zerbino, R., "Adherencia matriz-agregado y mecanismos de deformación y rotura en hormigón" *Proc. "1er Cong. Int. de Tecnología del Hormigón"*, AATH, 1998, pp. 135-148.
3. Mindess, S. Young, J. and Darwin, D. "Concrete", 2nd Ed. Prentice Hall, N. J., 2003.

4. Calo, D.H., Souza, E.A., Camueira, M., Tobes, J M., Zerbino, R. y Giaccio, G., “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de hormigones elaborados con distintos tipos de agregados para su empleo en calzada de hormigón. XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Trabajo T186, en CD, ISBN 978-987-98988-2-6, Ed. Asoc. Arg. de Carreteras, 2009.
5. Violini, D., Pappalardi, M., Tobes, J.M., Giaccio, G. y Zerbino, R., “Efecto del tipo de agregado sobre la tendencia a la fisuración a edad temprana en hormigones para pavimentos”, en Proc. III Congreso Internacional y 17° Reunión Técnica AATH, Córdoba, Argentina, Eds. V Rahhal y J. Sota, 2008, pp.495-502.