



APROVECHAMIENTO DE AGREGADOS DE ORIGEN DOLOMÍTICO EN HORMIGONES PARA PAVIMENTOS

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

Cementos Avellaneda S. A. - Defensa 113 Piso 6, C.A. de Buenos Aires, Argentina
Tel:(54) (011) 4331-7081, email: cam@cavellaneda.com.ar

RESUMEN

Este trabajo forma parte de los estudios realizados sobre las propiedades y performance de hormigones elaborados con agregados dolomíticos, provenientes del yacimiento perteneciente a Cementos Avellaneda S. A., ubicados en su planta de Olavarría. Se realiza una caracterización completa de propiedades básicas tanto de las arenas como de los agregados gruesos, verificando su cumplimiento normativo y destacando sus aptitudes. Este agregado posee bajos valores de pérdida por desgaste “Los Ángeles”, lo mismo que por ataque en ciclos de mojado y secado en soluciones de sulfato de sodio. A fin de verificar la respuesta de estos agregados en una situación de obra, se planteó comparar la performance de la dolomita en pavimentos de hormigón utilizando como referencia hormigones elaborados con agregados graníticos sobre los cuales existen abundantes experiencias. En este trabajo se incluyen tres tramos de pruebas de campo, evaluando en cada caso las características tecnológicas más destacadas del hormigón y los procesos constructivos. Los resultados obtenidos hasta la fecha, permiten concluir que los agregados dolomíticos presentan un comportamiento apto en pavimentos de hormigón, similar al observado con agregados graníticos.

Palabras clave: tipo de agregado, dolomita, performance en hormigones elaborados, pavimentos.

INTRODUCCION

Los estudios se inician concretamente en el año 2002 y surgen como consecuencia de la necesidad de explotar la Dolomita presente en la cantera El Polvorín, ubicada en la localidad de Olavarría. Aparece como alternativa el uso como un agregado adicional a los tradicionales granitos de la zona, para ser incorporado en la elaboración de hormigones destinados a la construcción de diversas estructuras y en particular de pavimentos.

Entre la bibliografía más destacada se encuentra lo informado por Alexander y Mindess, en su libro de Agregados para Hormigones (1), allí se indica entre otras consideraciones que la dolomita es una roca sedimentaria, del grupo de los carbonatos, que posee respecto del granito una mayor absorción, densidad y módulo de elasticidad, y similar resistencia y desgaste los Ángeles. Puntualizando sus aspectos particulares, los hormigones elaborados con dolomitas poseen en general:

- Las menores deformaciones por contracción por secado
- Las menores deformaciones de fluencia.
- Un elevado valor del módulo de elasticidad
- Un coeficiente de dilatación térmica comprendido entre el del granito y el del cuarzo.

A fin de evaluar la aptitud de la dolomita como agregado para hormigones, se efectuaron los ensayos de caracterización. Las propiedades se indican en la Tabla 1:

Los resultados indican que la dolomita es un agregado apto para hormigón, dado que cumple con todos los requisitos indicados en las normas IRAM 1512 y 1531. Se destacan los siguientes hechos:

- Pese a tener una absorción superior al 1 %, su densidad es elevada y posee una excelente resistencia al desgaste y durabilidad frente a los ciclos de mojado y secado en sulfato de sodio.

¹ Cementos Avellaneda S. A.

² Hormigones Avellaneda S. A.

³ CONICET – Fac. Ing. UNLP –CIC-LEMIT

⁴ CIC-LEMIT – Fac. Ing. UNLP

- El alto valor del índice de lajosidad se debe en parte a que la trituración se realizó en laboratorio. Una duda planteada al comienzo del estudio se refería a la durabilidad química frente a los álcalis del cemento en relación a la reactividad álcali-agregado, en particular a la reactividad álcali-carbonato. Por tal motivo se efectuaron ensayos de reactividad álcali-agregado según la Norma IRAM 1700, obteniendo a un año una expansión igual a 0,01 %. Estos y otros ensayos indican que la misma es inocua¹.

Tabla 1. Propiedades de los agregados dolomíticos

Requisitos	Unidad	Arena	PPD 6-20	PPD 10-30
Peso de Unidad de Volumen	kg/m ³	1440	1390	1380
Material que pasa tamiz N° 200	%	3,0	0,8	1,2
Densidad relativa (Saturado superficie seca)		2,72	2,77	2,74
Densidad relativa (Seco peso constante)		2,66	2,73	2,71
Absorción de agua (24 horas, en peso)	%	2,3	1,4	1,1
Absorción de agua (1/2 horas, en peso)	%	1,9	1,0	0,9
Porcentaje de vacíos	%	46	49	49
Índice de lajosidad	%		30	13
Terrones de arcilla	%		No Contienen	
Partículas blandas o descompuestas	%		No Contienen	
Durabilidad por inmersión en Na ₂ SO ₄	%	1,0	5,3	2,1
Desgaste Los Ángeles	%		23	20
Modulo de finura		3,66	6,58	7,59
Reactividad alcalina potencial (NBRI)	%	0,003	0,010	0,010

Complementariamente se inició en el LEMIT un amplio estudio de las propiedades generales de los hormigones elaborados con dolomita frente a los tradicionales con granito².

Este trabajo tiene como principal objetivo mostrar la respuesta de estos agregados en aplicaciones a escala real, comparando la performance de la dolomita en pavimentos de hormigón utilizando como referencia hormigones elaborados con agregados graníticos. De esto se profundiza en el conocimiento del comportamiento de la dolomita en hormigones destinados a la construcción de rutas, brindando información sobre un uso sobre el cual no existen antecedentes en nuestro medio.

EXPERIENCIAS

Se realizaron tres tramos de pruebas de campo, evaluando en cada uno de ellos las características más destacadas del hormigón y de los procesos constructivos. En la Tabla 2 se indica las fechas de realización de cada una de las pruebas. En todos los casos se emplearon cemento Portland CPF40 Avellaneda y una arena fina silícea, que se combinaron con arenas de trituración y agregados gruesos triturados diferentes en cada caso.

En cuanto al método constructivo, en todos los casos los hormigones fueron elaborados en las plantas de Hormigones Avellaneda y mezclados y transportados a obra, por medio de camiones mezcladores.

En cada una de las pruebas se realizan los siguientes controles:

- Propiedades en estado fresco de los hormigones tomando los controles de dos camiones (asentamiento, peso unitario, temperatura, exudación y tiempo de fraguado) y extracción de probetas para valorar la resistencia a tracción y compresión y el módulo de elasticidad
- Condiciones climatológicas (temperatura, humedad y velocidad del viento).
- Seguimiento del procedimiento constructivo: colocación, compactación, terminación, texturado, curado y aserrado del hormigón.

¹ Milanese, C. A. y otros "Evaluación de la aptitud de una roca dolomítica para uso en hormigones frente a la reacción álcali-agregado" 18ª Reunión Técnica AATH, Mar del Plata (Argentina), 2010

² Zerbino y otros "Influencia del tipo de agregado grueso en las propiedades del hormigón destinado a la construcción de pavimentos" 18ª Reunión Técnica AATH, Mar del Plata (Argentina), 2010.

- Respuesta del pavimento a edad temprana (aspectos generales del pavimento, presencia de fisuras y trabajos de juntas).
- Respuesta del pavimento luego de su habilitación al tránsito hasta el día 15/07/2010 (aspectos generales y desgaste en un sector).

Tabla 2. Tramos de pruebas comparativas de campo.

Prueba	Tramo N° 1		Tramo N° 2				Tramo N° 3	
Obra	RP N° 21		RP N° 4				RP N° 21	
Agregado	dolomita	granito	dolomita	dolomita	granito	granito	dolomita	granito
Fecha	9/09/09	10/09/09	22/10/09	23/10/09	28/10/09	29/10/09	10/11/09	12/11/09

RESULTADOS

Primer tramo experimental

El tramo N° 1 se realiza en la calzada izquierda de la RP N° 21, a partir de la progresiva 5+670. Se efectúan dos tramos experimentales contiguos, uno de 100 m lineales con dolomita (9/09/09) y otro de 50 m lineales con granito (10/09/09). En ambas jornadas, la pavimentación se realizó con una regla de rodillos *SuperScreed* MULTIQUIP (Fig. 1) abarcando los dos carriles de la calzada.



Fig 1. Izq. Pavimentación en RP N° 21, con regla de rodillos. Der. Vista correspondiente al 9/9/09.

En la Tabla 3 se detallan las dosificaciones y las propiedades de los hormigones, correspondientes al control de obra. De la prueba surge que en el estado fresco, el hormigón con piedra dolomítica posee respecto del hormigón con granito, menor exudación y tiempos de fraguado. Posee además un mayor PUV, debido en parte a la densidad de la dolomita. En el estado endurecido el hormigón con rocas dolomíticas presentó mayor resistencia a compresión, módulo de elasticidad, resistencia a tracción y flexión que el elaborado con granito, con incrementos del orden del 20, 17, 15 y 8 % respectivamente. En la Tabla 4 se indican las condiciones climáticas al momento del moldeo de las probetas de cada pastón. En base a los registros meteorológicos del SMN y la temperatura del hormigón registrada en obra al momento de colocación, se calculó la tasa de evaporación (2) con la siguiente expresión:

$$E = 5 [(T_c + 18)^{2.5} - r (T_a + 18)^{2.5}]. (V + 4). 10^{-6}$$

E = Tasa de vaporación [kg/m² por hora] T_c= Temperatura del hormigón [°C]
 T_a= Temperatura ambiente [°C], r = Humedad relativa ambiente [%] V = Velocidad del viento [km/h]

Si bien las evaporaciones de los hormigones con granito, resultaron algo mayores que las elaboradas con dolomitas, ambas se encuentran muy por debajo de los valores críticos.

Seguimiento del proceso constructivo: merecen destacarse los siguientes aspectos:

- Previo al hormigonado se colocó un film de polietileno sobre la base de suelo-cemento.
- Durante la colocación, el hormigón fue previamente distribuido hacia los laterales, moviendo la canaleta de descarga del mixer, para luego ser paleado manualmente.
- Se compacta el hormigón utilizando un vibrador de inmersión manual.

- Posteriormente, se pasa la regla de rodillos autopropulsada para aplanar el hormigón.
- La terminación se realiza con frataz de madera y el alisado mediante el “avión” de aluminio.
- El texturado es adecuado y se realiza con bolsa de arpillera húmeda.
- Curado: se usa un compuesto líquido con solvente aplicado con un sistema similar al hidrolavado.
- El aserrado transversal se realiza sin observaciones. El longitudinal se efectúa inicialmente con aserrado soft-cut y luego profundizado con las aserradoras tradicionales.

Respuesta del pavimento a edad temprana y luego de su habilitación al tránsito: A edad temprana los tramos experimentales elaborados con dolomita y granito se encuentran en perfectas condiciones, no se observa presencia de fisuras ni de otro tipo de alteraciones. El trabajo de juntas de ambos hormigones presenta un comportamiento típico, compatible con las condiciones climáticas. Al 15/7/10 ambos pavimentos muestran un comportamiento adecuado, sin fisuras y sin diferencias entre sí.

Tabla 3. Dosificaciones y propiedades de los hormigones del tramo experimental N°1.

Designación Pastón	Dolomita		Granito		
	9-9	9-9	10-9	10-9	
Fecha de moldeo	9-9	9-9	10-9	10-9	
Dosificaciones empleadas (kg/m ³)					
Cemento Avellaneda CPF 40	349	349	351	350	
Arena Fina	580	580	535	535	
Arena Gruesa 0-6	195	195	230	230	
Piedra Partida 6-20	600	600	640	640	
Piedra Partida 10-30	550	550	520	520	
Agua	145	145	145	145	
Aditivo, MIRA 57, (%)	0,7				
Relación a/c	0,41	0,42	0,41	0,41	
Propiedades en el estado fresco					
Temperatura inicial H° (° C)	13	13,2	15	14,2	
Asentamiento (cm)	8,5	9,0	8,0	9,0	
PUV (kg/m ³)	2450	2450	2405	2405	
Aire incorporado (%)	2,6	2,7	2,4	2,1	
Tiempo inicial de fraguado (h:m)	08:10	08:30	10:25	09:15	
Tiempo final de fraguado (h:m)	10:35	10:50	13:00	11:40	
Capacidad de Exudación (ml/100.g)	1,2	1,1	3,6	4,6	
Velocidad de Exudación (10 ⁻⁶ cm/s)	3	3	6	8	
Propiedades del estado endurecido (Resistencias en MPa y Módulos en GPa)					
Resistencia a compresión:	1 día	14,4	14,8	8,4	12,0
	7 días	33,8	33,6	31,9	29,8
	28 días	40,4	42,7	39,6	38,9
Módulo de elasticidad:	1 día	31,4	32,3	23,5	26,3
	7 días	40,7	40,0	34,5	37,9
	28 días	41,0	44,9	37,0	39,6
Resistencia a Tracción (PCD) :	1 día	2,1	1,9	1,7	2,0
	7 días	3,7	4,1	3,2	3,3
	28 días	4,0	4,6	3,6	3,7
Resistencia a Flexión:	28 días	4,8	5,1	4,7	4,5

Tabla 4. Condiciones climáticas y tasa de evaporación del agua superficial del hormigón.

Agregado	Fecha	Hora de moldeo	Condiciones climáticas				Temperatura del hormigón (° C)	Tasa de evaporación (kg/m ² /h)
			Nubosidad	Temp. (°C)	HR (%)	Viento (km/h)		
Dolomita	09/09/09	09:30	Algo nublado	7,9	74	4	13,0	0,1
		10:30	Parc. nublado	9,0	70	9	13,2	0,2
Granito	10/09/09	08:45	Despejado	8,6	62	13	15,0	0,3
		09:30	Despejado	10,3	57	16	14,2	0,3

Segundo tramo experimental

El tramo N° 2 se realiza en la calzada derecha de la RP N° 4 (Av. Hipólito Yrigoyen entre la altura 1400 y 1500). Se efectuaron cuatro tramos experimentales de aproximadamente 50 m lineales cada uno, dos con dolomita (22/10/09 y 23/10/09) y dos con granito (28/10/09 y 29/10/09). En todas las jornadas, la pavimentación se realiza con una regla vibratoria reticulada (Fig. 2), abarcando en algunos casos 2 carriles y en otros un único carril.



Fig. 2. Izq. Pavimentación en RP N° 4, con regla vibratoria. Der. Vista correspondiente al 22/10/09.

En la Tabla 5 se detallan las dosificaciones y las propiedades de los hormigones que surgen del control de obra. En estado fresco los hormigones de las primeras pruebas (tanto de dolomita como de granito), presentaron un mayor asentamiento. Los hormigones con dolomita tuvieron menor temperatura y mayor asentamiento y tiempo de fraguado que los elaborados con granito. La menor temperatura y el mayor asentamiento, explicarían la extensión del tiempo de fraguado. Existen menos diferencias en relación a PUV. En el estado endurecido los hormigones con rocas dolomíticas presentaron mayor resistencia a compresión, módulo de elasticidad, resistencia a tracción y a flexión, con incrementos del orden del 12, 14, 10 y 14 % respectivamente con respecto al granito.

Condiciones meteorológicas del Tramo N° 2: En la Tabla 6 se indican las condiciones climáticas y la tasa de evaporación del agua superficial del hormigón, al momento del moldeo de las probetas de cada uno de los pastones. El promedio general sobre ambos tipos de agregados es similar, pero más crítico que para el tramo 1.

Seguimiento del proceso constructivo: merecen destacarse los siguientes aspectos:

- En esta obra (RP N° 4), no se coloca film de polietileno sobre la base de suelo-cemento.
- Durante la colocación del hormigón, el material fue previamente distribuido hacia los laterales moviendo la canaleta de descarga del mixer, para luego ser paleado manualmente.
- Se compacta el hormigón utilizando una regla vibratoria.
- La terminación se realiza con frataz de madera y el alisado mediante el “avión” de aluminio.
- El texturado es adecuado y se realiza con bolsa de arpillera húmeda
- Para el curado se utiliza un compuesto líquido con solvente diferente al anterior que fue aplicado con una mochila de pulverizado a explosión, tipo “sopladora de hojas”.
- El aserrado transversal y longitudinal se realiza sin observaciones. La jornada del 23/10/10 no se realiza el corte longitudinal, dado que el ancho de hormigonado corresponde a un solo carril.

Respuesta del pavimento a edad temprana y luego de su habilitación al tránsito: A edad temprana los tramos experimentales elaborados con dolomita y granito se encuentran en perfectas condiciones, no se observan fisuras u otro tipo de alteraciones. Al 15/07/2010, ambos pavimentos muestran un adecuado comportamiento y no presentan diferencias entre sí. Los hormigones de dolomita y granito no poseen fisuras ni alteraciones, siendo el desgaste superficial, normal y similar entre sí.

Tabla 5. Dosificaciones y propiedades de los hormigones del tramo experimental N° 2.

Designación Pastón	Dolomita				Granito			
	22-10	22-10	23-10	23-10	28-10	28-10	29-10	29-10
Fecha de moldeo								
Dosificaciones empleadas (kg/m ³)								
Cemento Avellaneda CPF 40	349	349	348	349	349	350	350	351
Arena Fina	620	620	620	620	535	535	535	535
Arena Gruesa 0-6	155	155	155	155	230	230	230	230
Piedra Partida 6-20	545	545	545	545	545	545	545	545
Piedra Partida 10-30	600	600	600	600	600	600	600	600
Agua	145	145	145	145	145	145	145	145
Aditivo AV 08 (%)	0,7							
Relación a/c	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41
Propiedades en el estado fresco								
Temperatura inicial H° (° C)	24,4	25,3	-	-	28,3	27,7	-	-
Asentamiento (cm)	12	7,5	-	-	10	7,5	-	-
PUV (kg/m ³)	2460	2455	-	-	2440	2450	-	-
Aire incorporado (%)	2,2	2,5	-	-	2,1	2,2	-	-
Tiempo inicial de fraguado (h:m)	07:00	06:35	-	-	05:30	06:00	-	-
Tiempo final de fraguado (h:m)	09:15	08:35	-	-	07:05	08:25	-	-
Capacidad de Exudación (ml/100.g)	2,8	1,8	-	-	1,7	2,8	-	-
Velocidad de Exudación (10 ⁻⁶ cm/s)	8	5	-	-	6	8	-	-
Propiedades del estado endurecido (Resistencias en MPa y Módulos en GPa)								
Resistencia a compresión: 1 día	20,4	20,5	-	-	19,6	18,1	-	-
7 días	36,1	33,7	35,6	41,0	32,6	30,2	30,9	35,1
28 días	38,3	41,6	42,9	46,5	35,3	35,7	39,5	40,1
Módulo de elasticidad: 1 día	30,9	30,9	-	-	31,3	28,8	-	-
7 días	43,6	-	-	-	36,0	37,8	-	-
28 días	46,3	46,4	-	-	38,7	38,1	-	-
Resistencia a Tracción (PCD)1día	2,6	2,4	-	-	2,2	2,3	-	-
7 días	3,4	3,2	-	-	3,1	3,0	-	-
28 días	3,7	3,7	-	-	3,5	3,2	-	-
Resistencia a Flexión: 28 días	5,2	5,9	5,2	5,9	5,1	5,2	4,6	4,5

Tabla 6. Condiciones climáticas y tasa de evaporación del agua superficial del hormigón.

Agregado	Fecha	Hora de moldeo	Condiciones climáticas				Temperatura del hormigón (° C)	Tasa de evaporación (kg/m ² /h)
			Nubosidad	Temp. (°C)	HR (%)	Viento (km/h)		
Dolomita	22/10/09	11:30	Parc.nublado	19,2	66	10	24,4	0,4
		12:00	Parc.nublado	19,4	65	9	25,3	0,4
	23/10/09	10:30	Algonublado	24,9	56	29	27,5	1,2
		11:00	Parc.nublado	25,8	58	27	27,3	1,0
Granito	28/10/09	10:30	Parc.nublado	21,9	58	14	28,3	0,8
		11:15	Parc.nublado	23,2	54	11	27,7	0,6

Tercer tramo experimental

El tercer tramo experimental se realiza nuevamente en la calzada izquierda de la RP N° 21. Se efectuaron dos tramos de aproximadamente 100 m lineales cada uno, con dolomita (10/11/09) y con granito (12/11/09). En ambas jornadas la pavimentación se realiza con una regla de rodillos marca ALLEN (Fig. 3), abarcando los dos carriles que conforman la calzada.



Fig 3. Izq: Pavimentación en RP N° 21, con rodillos ALLEN, Der. Vista correspondiente al 10/11/09.

Los agregados finos provenientes de la trituración presentaron en esta prueba un contenido de polvo por encima del habitual. En la Tabla 7 se indica el porcentaje que pasa por tamiz de 75 micrones de todos los agregados. Dado que la arena de trituración se emplea en un contenido menor, el porcentaje de polvo del agregado fino es de 1,5 y 1,3 % para los hormigones con dolomita y granito respectivamente ($\text{Max} \leq 3,0\%$). En estado fresco no se observaron diferencias significativas y en estado endurecido se produjo un comportamiento diferente al de los tramos anteriores. Las resistencias a compresión y tracción de los hormigones con rocas dolomíticas fueron a 1 día menores que las de los hormigones con granito. Esta tendencia se modifica a los 7 días y se revierte a los 28 días, donde los hormigones con dolomita presentan mayor resistencia. El módulo de elasticidad y la resistencia a flexión de los hormigones con dolomita fueron mayores al de los hormigones con granito, siendo la resistencia a flexión del hormigón con dolomita un 26 % mayor.

Condiciones meteorológicas del grupo N° 3 de pruebas comparativas: En la Tabla 8 se indican las condiciones climáticas y la tasa de evaporación del agua superficial del hormigón, al momento del moldeo de las probetas de cada uno de los pastones evaluados en el tercer grupo de pruebas comparativas. Se verifica que no hay diferencias, para los dos tipos de agregados.

Respuesta del pavimento a edad temprana y luego de su habilitación al tránsito: A edad temprana los tramos experimentales elaborados con dolomita y granito se encuentran en perfectas condiciones, no se observa presencia de fisuras u otro tipo de alteraciones. El trabajo de juntas de ambos tipos de hormigones presenta un comportamiento similar compatible con las condiciones climáticas. En el relevamiento actual los hormigones de dolomita y granito no presentan fisuras ni alteraciones.

Tabla 7. Propiedades de los hormigones del tramo experimental N° 3.

Designación Pastón	Dolomita		Granito	
Fecha de moldeo	10-11	10-11	12-11	12-11
Características de los agregados				
MF arena natural fina	1,88	1,88	1,88	1,88
PT N° 200 arena natural fina	0,6 %	0,6 %	0,6 %	0,6 %
MF arena gruesa de trituración (0-6 lavada)	3,79	3,79	3,65	3,65
PT N° 200 arena gruesa de trit. (0-6 lav)	5,0 %	5,0 %	3,0 %	3,0 %
PT N° 200 Piedra Partida 6-20 mm	1,1 %	1,1 %	0,3 %	0,3 %
PT N° 200 Piedra Partida 10-30 mm	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Designación Pastón	Dolomita		Granito	
Fecha de moldeo	10-11	10-11	12-11	12-11
Dosificaciones empleadas (kg/m^3)				
Cemento Avellaneda CPF 40	351	349	350	350
Arena Fina	620	620	535	535
Arena Gruesa 0-6	155	155	230	230
Piedra Partida 6-20	545	545	545	545
Piedra Partida 10-30	600	600	600	600
Agua	145	145	145	145
Aditivo, MIRA 57, (%)	0,7			
Relación a/c	0,41	0,41	0,41	0,41

Tabla 7. Propiedades de los hormigones del tramo experimental N° 3 (continuación)

Propiedades en el estado fresco					
Temperatura inicial H° (° C)		24,8	25,3	25,10	26,30
Asentamiento (cm)		5,5	6,5	6,00	6,50
PUV (Kg. /m ³)		2475	2470	2435	2435
Aire Incorporado (%)		2,5	2,5	1,9	2,0
Tiempo inicial de fraguado (h:m)		04:50	05:50	05:50	05:30
Tiempo final de fraguado (h:m)		06:30	08:30	07:30	07:25
Capacidad de Exudación (ml / 100.g)		0,4	1,0	0,90	0,60
Velocidad de Exudación (10 ⁻⁶ cm/s)		2	4	3	3
Propiedades del estado endurecido (Resistencias en MPa y Módulos en GPa)					
Resistencia a compresión:	1 día	18,0	15,8	18,9	20,4
	7 días	32,8	29,2	31,0	31,7
	28 días	38,7	35,9	35,4	36,1
Módulo de elasticidad:	1 día	31,2	28,6	26,8	27,6
	7 días		39,4	35,3	37,1
	28 días	41,0	44,3	36,9	35,7
Resistencia a Tracción (PCD) :	1 día	2,1	2,0	2,3	2,1
	7 días	3,3	2,9	3,3	3,2
	28 días	3,7	3,5	3,3	3,6
Resistencia a Flexión:	28 días	5,6	5,9	4,6	4,5

Tabla 8. Condiciones climáticas y tasa de evaporación del agua superficial del hormigón.

Agregado	Fecha	Hora de moldeo	Condiciones climáticas				Temperatura del hormigón (° C)	Tasa de evaporación (kg/m ² /h)
			Nubosidad	Temp. (°C)	HR (%)	Viento (km/h)		
Dolomita	10/11/09	10:30	Despejado	18,9	50	8	24,8	0,5
		11:00	Despejado	19,2	49	9	25,3	0,5
Granito	12/11/09	08:30	Despejado	20,3	72	12	25,1	0,5
		09:15	Despejado	22,1	60	11	26,3	0,5

CONCLUSIONES

De las experiencias realizadas surgen las siguientes consideraciones:

- Con relación al agregado dolomítico se puede indicar que cumple con todos los requisitos indicados por la normas IRAM respectivas y se considera apto para ser empleado en hormigones.
- Con relación a las pruebas de campo realizadas surge que:
 - No hay diferencias en las propiedades de los hormigones en estado fresco, mientras que en estado endurecido los hormigones con dolomita poseen en promedio, y para todas las edades, mayores resistencias a compresión, tracción y módulo de elasticidad que los elaborados con agregados graníticos. Lo indicado se extiende al módulo de rotura en flexión, parámetro de diseño de los pavimentos, donde los valores promedio de hormigones elaborados con dolomita superan a los del granito en un 15 %.
 - en la construcción de los tres tramos experimentales se verificó que los hormigones con dolomita presentan un comportamiento adecuado, tanto en tiempo relativamente frío como cálido, y que esta performance se extiende hasta la fecha con el pavimento en servicio, con un desempeño general similar al de los hormigones con agregados graníticos.

REFERENCIAS

- (1) Alexander ,M. and Mindess, S. “Aggregates in concrete”, Taylor and Francis Ed.
- (2) Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas, ACI Mat J, 95, 4, 1998, pp. 365-375.