

## N° 16:

### Rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos: Estudio y Aplicación

Humberto M. Balzamo , Pablo J. Doisenbant , Fernando H. Perrone, Teresa M. Piqué

#### RESUMEN

Los rellenos de densidad controlada (RDC) o rellenos fluidos son muy utilizados en la construcción por su facilidad en la colocación sin la necesidad de ser compactados (Figura 1). Son empleados en una gran variedad de casos: rellenos de zanjas, bacheo de calles, contrapisos livianos, bases de pavimentos, etc. Si bien existe una aceptable cantidad de publicaciones y referencias sobre materiales cementicios de densidad controlada [1] [2], es escasa la información sobre las propiedades en estado fresco como endurecido de los RDC elaborados con agentes espumígenos [3][4].

La presente investigación pretende ampliar los conocimientos sobre el comportamiento de este material, aplicando como variables: contenido de cemento, relación agua/cemento, granulometría del agregado y dosis de aditivo.

En estado endurecido se evaluó parámetros como la resistencia a la compresión en función de la forma y el tamaño de la probeta, tiempo y tipo de curado. Por último se determinó el valor soporte relativo (V.S.R.) como parámetro indicativo para evaluar su comportamiento en aplicaciones viales. Los resultados obtenidos fueron procesados a través de un software estadístico, el cual permite elaborar un modelo matemático a fin de determinar la correlación entre las variables estudiadas.



Figura 1.



## INTRODUCCIÓN

Los rellenos de densidad controlada (RDC) fueron por primera vez utilizados en el Proyecto del Acueducto del Río Canadá en Texas (EEUU) en el año 1946, con el fin de proveer un producto más económico y de fácil aplicación para el relleno de zanjas para tuberías.

En los años 70, el comportamiento de este material comenzó a ser estudiado en la Universidad de Toledo (Ohio) como alternativa del suelo - cemento compactado utilizando cenizas volantes, incluso logró ser producido en plantas elaboradoras de hormigón. Como consecuencia de ello, surge la primera empresa productora con la patente del material denominado "K-Krete".

A comienzos de los años 80, este material era empleado para distintos fines, pero no existían normativas ni recomendaciones técnicas sobre el mismo. Es para ello que en 1984, se conforma el Comité ACI 299 "Controlled Low Strength Materials", quien publica su primer reporte, el cual es aprobado en 1994 y

publicado en la "ACI Meeting Montreal" en 1995.

Esta publicación es una guía del material con las dosificaciones que eran usadas en ese momento. Estas no incluían ningún aditivo químico en particular. La guía menciona el uso de incorporadores de aire pero hasta un 20% y se menciona la incorporación de espuma preformada en un capítulo especial dedicado al "Low Density CLSM" (LD-CLSM). Sin embargo, no tiene en cuenta la posible aplicación de un aditivo espumígeno. Este último es el material clave en la presente investigación. Su fin es disminuir lo más posible la densidad y el costo del producto.

En Argentina, fue utilizado una de las primeras veces por el Ingeniero Drago en "Aeropuertos Argentina 2000" para reparaciones de losas aisladas en el aeropuerto de Mar del Plata. El uso del CLSM o RDC, fue elegido debido a la dificultad que se presentó para compactar en los bordes de losas en profundidad total.



## ENSAYOS

### Caracterización de los materiales

Se utilizó dos tipos de arenas de río, una conocida como Paraná (Arena fina, MF = 1.86) y otra conocida como Oriental (Arena gruesa, MF = 2.96), cemento Pórtland con filler calcáreo (CPF 40), agua potable de red y un aditivo espumígeno de marca reconocida en el mercado. En las Tablas 1 a 4 se informan los ensayos de caracterización realizados sobre los mismos.

### Evaluación de la incorporación de aire en función de los materiales componentes

Este parámetro es muy importante en las mezclas cementicias, ya que las variaciones del aire incorporado en una mezcla pueden modificar sustancialmente la dosificación de la misma; sobre todo en este tipo de materiales donde los porcentajes de aire incorporado son muy elevados (usualmente, entre el 20 y el 30 %). Una modificación de  $\pm 5\%$  generaría un cambio considerable en el contenido unitario de cemento.

Para este estudio se elaboró un total de treinta y seis mezclas de RDC analizando las siguientes combinaciones:

- . Razón arena - cemento (a/c): 5,2 - 6,3 - 7,7 - 8,7
- . Razón agua - cemento:
  1. Arena fina: 1,50 - 1,20 - 0,90 - 0,75 - 0,60
  2. Arena gruesa: 1,20 - 0,90 - 0,80 - 0,75 - 0,55
- . Dosis de aditivo: 0,10% - 0,25% - 0,50% - 1,00 %

En la Tabla N° 5 se informa la dosificación de cada una de las mezclas, el peso por unidad de volumen (PUV), la cantidad de aire incorporado (método gravimétrico) y la resistencia a la compresión a los 28 días.

Para la evaluación de la resistencia mecánica se moldearon cubos de 70 mm de arista en dos capas empleando una leve compactación en cada una. Las probetas se desmoldaron a los 3 días, con el fin de que no se rompieran durante el desmolde, y se sumergieron en agua a temperatura



controlada ( $20 \pm 2$  °C) hasta la edad de ensayo.

El empleo de distintas dosis de aditivo y proporciones de materiales en las mezclas generó porcentajes de incorporación de aire que oscilaron entre el 20% y el 50 % aproximadamente. En los gráficos 1 y 2 se observa este parámetro en función de la dosis de aditivo y la razón agua/cemento (a/c) para arena fina y gruesa respectivamente.

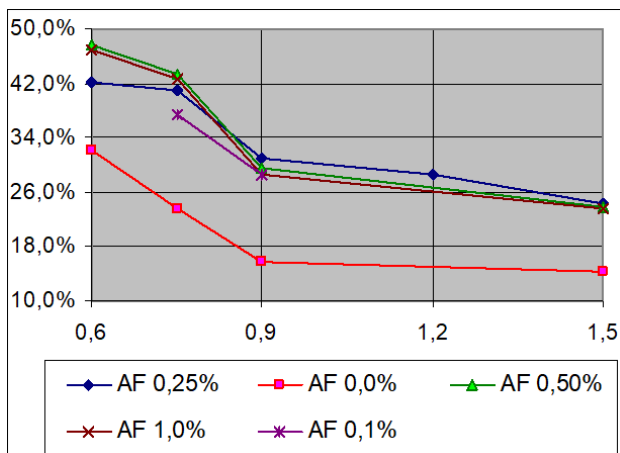


Gráfico 1.

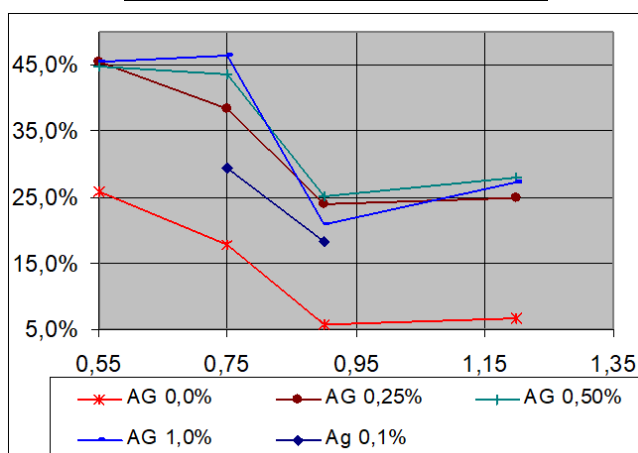


Gráfico 2.

Como primera conclusión de los resultados obtenidos se observó que:

- En las mezclas elaboradas con arena fina no pudo obtenerse RDC con razones a/c menores a 0,60, debido a que la mezcla obtenida es extremadamente seca y no incorpora aire con el mezclado. Probablemente un mezclado más enérgico permitiría bajar el límite. Las mezclas con arena gruesa con razones a/c mayores que 1,20 resultaron muy fluidas con tendencia a la segregación para CUC comprendidos entre 120 y 300 kg/m<sup>3</sup>.
- Los pastones elaborados con arena Paraná y Oriental mostraron un incremento del porcentaje del aire incorporado a medida que se redujo la razón a/c. Lo mismo se detectó en las mezclas elaboradas sin aditivo. Esto indica que naturalmente las mezclas con contenidos menores de agua incorporan mayor cantidad de aire. Ello se debería a que al ser las mezclas menos fluidas, más cohesivas y más “friccionales” permitirían generar y mantener mayor cantidad de aire en su matriz.



- Los máximos porcentajes de aire incorporado se lograron con dosis de aditivo de 0,25% en morteros con relaciones a/c altas y entre 0,25% y 0,50% para relaciones agua-cemento más baja.
- Los valores de resistencia encontrados en los RDC con igual contenido de cemento son muy similares, a pesar de tener razones a/c muy diferentes. Se observó que los morteros elaborados con 190 a 200kg/m<sup>3</sup> tuvieron resistencias del orden de 3 MPa, los elaborados con 150 a 160 kg/m<sup>3</sup> del orden de 2 MPa y aquellos de 130 a 140 kg/m<sup>3</sup> su resistencia fue del orden de 1MPa. Cabe destacar que el comportamiento en los RDC no fue el mismo cuando los contenidos unitarios de cemento superaron los 200kg/ m<sup>3</sup>.
- Se puede concluir entonces que para bajos contenidos unitarios de cemento (hasta 240kg/ m<sup>3</sup>), relaciones a/c mayores a 0,55 y altos contenidos de aire -mayor al 20 %- el factor que gobierna la resistencia del material es el CUC, luego le sigue la razón a/c y por último el contenido de aire.

## Elaboración de un modelo predictivo para el diseño de RDC

Los resultados obtenidos en las experiencias realizadas fueron volcados en un programa denominado "JMP", el cual permite elaborar un modelo que permitiría diseñar mezclas de RDC en base a requisitos preestablecidos. En los gráficos 3 y 4 se observan la correlación entre valor obtenido y valor predicho del aire, y resistencia a 28 días.

En este último se observa claramente que la correlación es muy buena para valores de resistencia de hasta 6 MPa aproximadamente, el cual se obtuvo realizando mezclas de 240 kg/m<sup>3</sup> de cemento. De ahí en adelante, se debería aplicar otro modelo para predecir la resistencia.

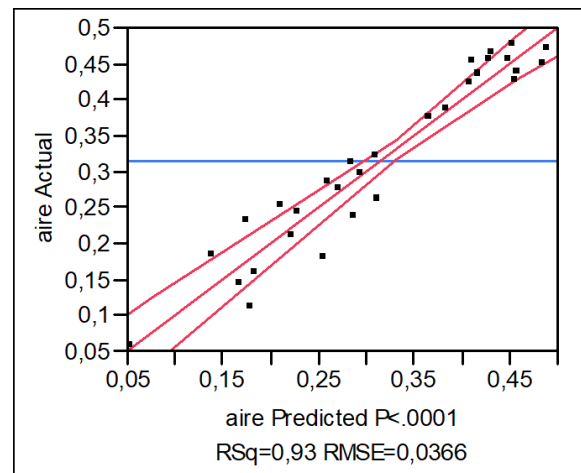


Gráfico 3.

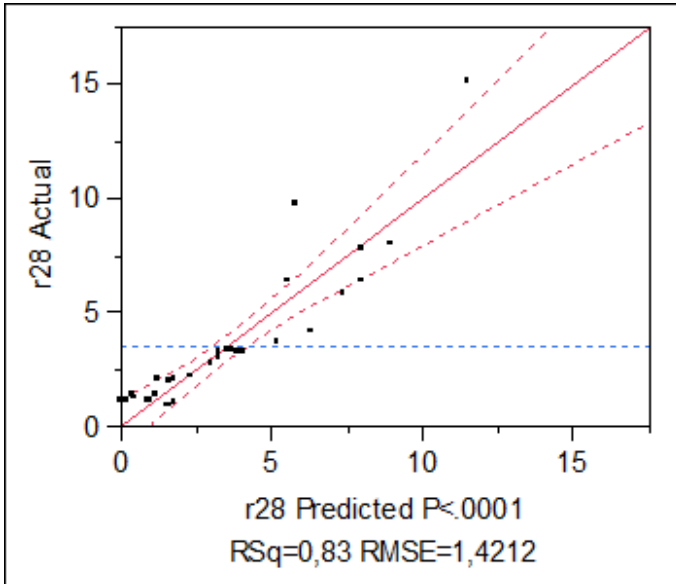


Gráfico 4.

## DOSIFICACION DE MEZCLAS APLICANDO EL MODELO PREDICTIVO

Después de evaluar cómo funciona la variable del aire incorporado en estas mezclas, se continuó el estudio evaluando mezclas con las siguientes características y proporciones:

- Contenido unitario de cemento: 60 - 120 - 150 - 200 - 240 kg/m<sup>3</sup>
- Razón agua / cemento: La suficiente para alcanzar un extendido de  $16 \pm 2$  cm (según norma ASTM C 939)
- Dosis de aditivo: 0,25%
- Contenido de aire:  $> 25$  (target:  $30 \pm 5\%$ )

- Arena fina tipo Paraná (MF = 1,86)

En función de las mezclas evaluadas anteriormente, se ajustó el contenido de arena y agua para lograr el contenido de cemento, porcentaje de aire y fluidez deseados.

Sobre las mismas elaboradas se determinó lo siguiente: consistencia mediante cono de Abrams (IRAM 1536) y ASTM C 939, peso por unidad de volumen (P.U.V.), aire incorporado (Método gravimétrico y aparato de Washington) (Figura 2) y resistencia a 28 días



Figura 2.



Para la determinación de la consistencia se aplicó el método de la norma ASTM C 939. El mismo consiste en llenar un cilindro de 75 mm de diámetro y 150 mm de altura sin compactación (recordar que el RDC es autocompactante). Luego se enrasa, se quita el cilindro y se mide el extendido de la mezcla. En la Figura 3 se observa el comportamiento de una mezcla con un extendido de 20 cm aproximadamente.



Figura 3.

Para los ensayos de resistencia a compresión se moldearon cuatro tipos de probetas: cubos de 7cm de arista, cubos de 15cm de arista, cilindros de 10x20cm y cilindros de 15x30cm.

Los elementos con menor contenido de cemento (60kg/m<sup>3</sup>) se desmoldaron a los 7 días, con el fin de que tuvieran

suficiente resistencia mecánica durante el desmolde. Los restantes permanecieron 3 días dentro del molde. Luego se colocaron en agua a temperatura controlada (20 ± 2°C) hasta la edad de ensayo. En la Tabla 6 se detallan los resultados de cada pastón tanto en estado fresco como endurecido.

### Determinación del valor soporte relativo (VSR) o “Californian Bearing Ratio” (CBR)

Este ensayo se realiza normalmente en obras viales con el fin de determinar un valor de resistencia del suelo - cal y, en algunos casos, del suelo-cemento. Para su determinación se moldearon probetas cilíndricas de 15x15cm. Una vez elaboradas permanecieron en ambiente saturado hasta su edad de ensayo. Las probetas fueron evaluadas en base a lo indicado por la norma de Vialidad Nacional VN E6:84. Los resultados obtenidos y su correlación con la resistencia se informan en la Tabla 7.



## Evaluación de la resistencia a la compresión empleando distintos tiempos de curado

Se evalúa el comportamiento del material en función de distintas edades de curado, empleando el pastón RDC 150 - 1,20 se moldearon probetas cilíndricas de 10x20cm para determinar la evolución de la resistencia en los siguientes casos: curado en agua durante 28 días ( $21 \pm 2$  °C), curado durante 7 días y secado al aire (Temp.:  $21 \pm 2$  °C, HR:  $65 \pm 5$  %) y curado en agua durante 14 días y secado al aire. En la Tabla 8 se observan los resultados obtenidos.

Sobre las mezclas elaboradas en la segunda etapa, la única que no cumplió con el requisito de contenido de aire mayor que el 25 % fue la identificada como RDC 240 -1,2 (Aire incorp.: 15%). Esto se debería a que el contenido de agua superaba holgadamente el necesario para poder retener el aire generado. Esto comprueba la teoría presentada en la primer parte de esta investigación. En el resto de los casos, se observa que al aumentar el contenido de cemento el porcentaje de aire incorporado disminuye.

Las muestras RDC 240 1,2 y RDC 240 0,85 presentaron contenidos de cemento similares. Cabe destacar que si bien la segunda presentaba casi el doble del aire incorporado que la primera, esta presentó una mayor resistencia a la compresión. También es importante aclarar que el contenido de agua del primero es un 40 % mayor que el segundo. Esto nos hace suponer que para la resistencia a compresión en los RDC, la razón a/c es más preponderante que el contenido de aire incorporado.

Por otra parte se encontró que el tipo de probeta tiene una marcada incidencia en la determinación de la resistencia a la compresión. Como se observa en la Tabla 6, las probetas cilíndricas presentaron resistencias mayores que las probetas cúbicas a pesar de tener una esbeltez mayor. Esto se debería estudiar con mayor profundidad en un futuro, dado que el encabezado de los cilindros en un tanto engorroso cuando se manejan resistencias tan bajas y sería preferible entonces emplear cubos.





## Investigaciones a futuro

Los RDC presentan una gran variedad de aplicaciones además de relleno de zanjas, contrapisos sobre losas de hormigón y bases de pavimentos rígidos son algunas de las posibles aplicaciones. Para ello, deberían estudiarse algunas propiedades adicionales como la resistencia al mojado-secado y congelamiento-deshielo, módulo de elasticidad, contracción por secado, etc. En síntesis, un mayor conocimiento de este material nos permitirá conocer en profundidad sus características y así poder evaluar sus posibles aplicaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACI, SP-150 Controlled Low-Strength Materials.
- [2] ACI 229R-94 Report Controlled Low-Strength Materials (CLSM.)
- [3] Wayne, S.A., "Controlled Low-Strength Materials", ACI Concrete International, Abril, 1997.
- [4] Nmai, C. K., Mc Neal, F., Martin, D., "New Foaming Agent for CLSM Applications", ACI Concrete International, Abril, 1997.

Tamiz N°	Retenido acumulado [%]	
	Arena fina	Arena gruesa
4	0,0	0,0
8	2,9	13,1
16	7,7	35,7
30	16,2	60,9
50	62,0	88,7
100	96,9	98,0
Fondo	100	100
MF	1,86	2,96

Tabla N°1: Granulometría de los agregados

Determinación	Unidad	Edad	Cemento CPF 40
Resistencia a la	[MPa]	2	20.5 ± 0.6
compresión	[MPa]	28	44.7 ± 1.0

Tabla N°2: Ensayo a compresión según IRAM 1622

Material	Densidad seca [kg/lit]	Absorción [%]
Cemento	3.11	----
Arena gruesa	2.64	0.30
Arena fina	2.65	0.33
Agua	1.03	----
Adipor	1.05	----

Tabla N°3: Densidad y absorción de los materiales



TECNOLOGÍA PARA  
EL CONCRETO

# EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 16 :Rellenos de densidad controlada  
elaborados con aditivos espumígenos: Estudio  
y Aplicación

Determinación	Unidad	Edad	PATRON	Agua de red	Diferencia [%]	Requisito [%]
Resistencia a la Compresión	[MPa]	7	37.1 ± 0.5	35.2 ± 0.6	5.1	< 10.0
	[MPa]	28	44.7 ± 1.0	43.3 ± 1.2	2.5	< 10.0

Tabla N°4: Evaluación del agua de red según IRAM 1601

Mezclas ARENA FINA	Agua/cto= 1,50				a/c= 1,20	Agua /cemento = 0,90					Agua /cemento = 0,75				Agua /cemento = 0,60			
	F15 0,0 (kg/m3)	F15 0,25 (kg/m3)	F15 0,50 (kg/m3)	F15 1,0 (kg/m3)	A-RC 0,2 (kg/m3)	AD 0,0 (kg/m3)	AD 0,1 (kg/m3)	AD 0,25 (kg/m3)	AD 0,5 (kg/m3)	AD2 0,5 (kg/m3)	F - 0,0 (kg/m3)	F - 0,1 (kg/m3)	F - 0,50 (kg/m3)	F - 1,0 (kg/m3)	F55 - 0,0 (kg/m3)	F55 - 0,25 (kg/m3)	F55 - 0,50 (kg/m3)	F55 - 1,0 (kg/m3)
Cemento	186	164	166	166	149	232	196	190	194	187	191	157	142	144	177	151	136	138
Agua	243	243	245	245	179	205	173	168	171	165	143	175	106	107	107	91	82	83
Arena	1268	1268	1277	1281	1290	1468	1244	1201	1228	1183	1476	1114	1093	1108	1366	1162	1051	1067
Aditivo	0,0	0,4	0,8	1,7	0,3	0,0	0,2	0,5	1,0	0,9	0	0,2	0,7	1,4	0,0	0,3	0,6	1,4
Dosis (%cto)	0,00%	0,25%	0	0	0,20%	0,00%	0,10%	0,25%	0,50%	0,50%	0	0,15%	0,46%	1,00%	0,00%	0,23%	0,46%	1,00%
PUV [g/m3]	1896	1675	1689	1694	1618	1905	1614	1559	1594	1536	1810	1484	1341	1360	1650	1404	1270	1290
Aire	14,3%	24,3%	23,7%	23,5%	28,60%	15,7%	28,5%	31,0%	29,5%	32,0%	23,6%	37,4%	43,4%	42,6%	32,0%	42,2%	47,7%	46,9%
Resist. 28 días [MPa]	2,9	2,0	1,7	1,7	2,1	4,1	3,1	3,3	3,3	3,2	3,1	2,2	1,3	1,4	----	2,0	1,0	1,0

Mezclas ARENA GRUESA	Agua/cto= 1,20				Agua /cemento = 0,90					a/c = 0,80	Agua /cemento = 0,75				Agua /cemento = 0,55			
	G12 0,0 (kg/m3)	G12 0,25 (kg/m3)	G12 0,50 (kg/m3)	G12 1,00 (kg/m3)	AG 0,0 (kg/m3)	AG 0,1 (kg/m3)	AG 0,2 (kg/m3)	AG 0,50 (kg/m3)	AG 1,0 (kg/m3)	M2 - 0,25 (kg/m3)	MP - 0,0 (kg/m3)	M3 - 0,25 (kg/m3)	M4 - 0,50 (kg/m3)	M5 - 1,0 (kg/m3)	G55 - 0,0 (kg/m3)	G55 - 0,25 (kg/m3)	G55 - 0,50 (kg/m3)	G55 - 1,0 (kg/m3)
Cemento	206	167	167	168	299	259	244	238	251	132	207	155	135	142	196	144	144	146
Agua	201	201	200	201	263	228	215	209	221	105	154	176	100	106	108	80	79	81
Arena	1291	1291	1285	1292	1542	1337	1260	1226	1296	1054	1593	1113	1035	1090	1510	1111	1107	1124
Aditivo	0,0	0,3	0,6	1,4	0,00	0,25	0,48	1,19	2,51	0,33	0,00	0,54	0,62	1,42	0,00	0,33	0,66	1,46
Dosis (%cto)	0,00%	0,25%	0,50%	1,00%	0,00%	0,10%	0,20%	0,50%	1,00%	0,25%	0,00%	0,35%	0,46%	1,00%	0,00%	0,23%	0,46%	1,00%
PUV [kg/m3]	2038	1660	1652	1662	2104	1824	1719	1673	1768	1337	1954	1460	1271	1339	1814	1336	1331	1351
Aire	11,0%	27,5%	27,9%	27,5%	5,7%	18,3%	23,0%	25,1%	20,8%	45,1%	17,8%	38,6%	46,5%	43,7%	25,9%	45,4%	45,6%	44,8%
Resist. 28 días [MPa]	6,3	2,2	2,7	2,8	15,1	8,0	6,3	5,8	7,7	1,1	9,7	2,1	1,0	1,3	3,6	0,9	0,8	0,8

Tabla N°5: Evaluación de la incorporación de aire en las mezclas de RDC.

Materiales	RDC 60 2,6	RDC 120 1,2	RDC 150 1,2	RDC 200 0,95	RDC 240 1,2	RDC 240 0,85
	(kg/m3)	(kg/m3)	(kg/m3)	(kg/m3)	(kg/m3)	(kg/m3)
Cemento	60	114	143	195	242	235
Agua	156	136	173	182	290	201
Arena fina	1291	1188	1191	1203	1293,5	1175
Adipor (0,25%)	0,14	0,28	0,32	0,49	0,60	0,56
<b>Propiedades en estado fresco</b>						
PUV real (kg /dm3)	1,507	1,438	1,507	1,579	1,826	1,612
% aire calculado (%)	38	38	34	30	14	28
% aire Wash (%)	37	37	34	28	15	29
Extendido cil (cm)	16,3	16,0	16,5	16,5	20,0	18,0
Asentamiento (cm)	22,5	---	---	25,0	25,0	26,5
Extendido cono (cm)	---	---	---	44,5	51,0	47,0
Relación a/c	2,60	1,20	1,21	0,93	1,20	0,86
<b>Propiedades en estado endurecido - Resistencia a compresión a 28 días (MPa)</b>						
Probeta cúbica 7 cm	0,35	0,73	1,66	3,05	3,49	4,34
Probeta cúbica 15 cm	0,44	0,90	1,52	2,54	3,72	5,34
Cilíndrica 10 x 20 cm	0,44	1,25	1,82	3,93	5,06	5,93
Cilíndrica 15 x 30 cm	0,53	1,29	1,94	3,38	4,76	6,18

Tabla N°6: Propiedades de los pastones en estado fresco y endurecido.



TECNOLOGÍA PARA  
EL CONCRETO

# EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 16 :Rellenos de densidad controlada  
elaborados con aditivos espumígenos: Estudio  
y Aplicación

Pastón	CBR	$\sigma$ 28 cil
RDC 60 2,6	38	0,6
RDC 120 1,2	79	1,3
RDC 150 1,2	94	1,9
RDC 200 0,95	156	3,4
RDC 240 1,2	219	4,8
RDC 240 0,85	291	6,2

Tabla N°7: CBR y resistencia a 28 días

Resistencia a compresión (MPa) - 28 días			
Días	Curado húmedo	C. húmedo 7d	C húmedo 14d
0	0	0	0
7	1,4	1,4	1,4
14	1,68	2,09	1,68
21	1,82	2,16	2,58
28	1,94	2,2	2,78

Tabla 8: Resistencias según el tipo de curado



P Y S CONCRETO



[www.pysconcreto.com.pe](http://www.pysconcreto.com.pe)