

Hormigones sustentables, tratamientos sobre agregados reciclados

Juan M. Moro¹, Romina S. Meneses¹, Lilia N. Señas¹, Carla V. Priano¹, Néstor F. Ortega¹

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar variantes de aplicación de tratamientos sobre agregados gruesos reciclados de hormigón de canto rodado, para mejorar las propiedades del hormigón resultante.

Los tratamientos difieren en el momento de ejecución, ya sea se realicen previamente al mezclado de los materiales o simultáneamente al mismo. En el primer caso, se analizaron variantes en el tipo de producto usado en el tratamiento y el tiempo transcurrido entre la ejecución del tratamiento y el hormigonado. En el segundo caso, se estudiaron alternativas de ejecución del tratamiento de lechada de cemento, a partir de variaciones en el orden de ingreso de los materiales al mezclado en la hormigonera.

Se estudiaron propiedades mecánicas y físicas de hormigones con un reemplazo del 50% del agregado grueso natural por hormigón triturado. El uso de tratamientos previos al agregado reciclado de hormigón, demostró ser una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón tradicional.

Palabras clave: hormigón sustentable; agregados reciclados; tratamientos previos

Sustainable concrete, treatment of recycled aggregates

Abstract

The aim of this paper is to analyze variants of application of treatments on recycled coarse aggregate concrete, to improve the properties of the resulting concrete.

The treatments presented differ at the time of execution, whether previously made to the mixing of materials or simultaneously thereto. In the first case, variants were analyzed on the type of product

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur. Av. Alem Nº1253, CP 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Tel/fax: +54-291-459-5101 interno 3235. e-mail: juan.moro@uns.edu.ar

used in the treatment and the elapsed time between execution of the treatment and concreting. In the second case, alternative processing execution grout were studied, from variations in the order of entry of the mixed materials in the mixer.

Mechanical and physical properties of concrete made with 50% replacement of natural aggregate were studied. The use of pretreatments on recycled aggregates shown to be an alternative to improve the pore structure of concrete and bring it to a similar behavior of a traditional concrete.

Keywords: sustainable concrete; recycled aggregates; pretreatments

Introducción

La tendencia actual en la construcción es tener un ciclo de vida lo más cerrado y eficiente posible. Se parte de un material de los llamados de primera generación, y tras un proceso de transformación, se genera un insumo que, agotada su vida útil, genera un material de desecho, el cual, luego de recorrer otro proceso de transformación, da por resultado un material distinto, llamado de segunda generación (Gómez, Agulló & Vázquez, 2001). En la industria de la construcción el proceso ideal sería entonces: proyectar, construir, agotar la vida útil, demoler, reciclar y volver a proyectar con este nuevo material.

Los residuos de la construcción y demolición, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones en desuso, pueden ser utilizados como reemplazo total o parcial del agregado natural. Desde 1982 la definición de agregado grueso dada por la ASTM, ha incluido como tal, al hormigón triturado. Asimismo la Federal Highway Administration recomienda el uso de hormigón reciclado como agregado en sus especificaciones y guías (Federal Highway Administration, 1985). La National Stone Association reconoce que la industria del reciclado conserva los recursos naturales protegiendo el medio ambiente, soluciona el problema de los desechos que genera la construcción y puede ser económicamente beneficiosa (Warner, 1993).

El agregado reciclado de hormigón está compuesto por partículas de roca natural, roca natural con mortero adherido y/o mortero solamente. Es un material que presenta propiedades heterogéneas, las cuales dependen, del mortero adherido al agregado grueso del viejo hormigón y de su procedencia. Esto se debe, en el primer caso, al grado de trituración y del manipuleo previo a su utilización; y en el segundo, al tipo y destino de estructura, calidad de hormigón, elaboración, curado, etc. Los agregados que provienen de la trituración de hormigón presentan partículas con forma angulosa y textura rugosa, generando una mejor interfase en la zona de transición pasta-agregado, respecto al árido natural (Zega & Di Maio, 2011).

En general los agregados reciclados de hormigón presentan alta porosidad, presencia de microfisuras, contenido de cloruros, sulfatos y otras impurezas, que afectan el rendimiento mecánico del hormigón reciclado (Ryu, 2003). A pesar de presentar menor densidad y mayor absorción que los agregados naturales, es factible elaborar un hormigón de buen desempeño mediante una correcta dosificación (Lin et al., 2004; Evangelista & de Brito, 2014).

La durabilidad de los hormigones, es decir, su capacidad para resistir el paso del tiempo sin degradarse, se encuentra íntimamente vinculada a la estructura de poros del material y principalmente a la interconexión de ellos con el medio exterior (Zega, 2010). La mayor porosidad que presentan los agregados reciclados debido a la presencia de mortero primario en su constitución, genera un hormigón con una porosidad más elevada que uno de similares

características elaborado con agregados naturales. La capacidad y la velocidad de succión capilar se incrementan a medida que se aumenta el porcentaje de agregado reciclado (Villagrán et al., 2005).

Todos estos motivos limitan el uso de agregados reciclados, por lo tanto, es importante analizar metodologías para mitigar sus debilidades. Si se logra optimizar el uso de agregados reciclados, se logrará un importante beneficio: utilizar un material de desecho, permitiendo reducir las cantidades de residuos depositados y a la vez disminuir una fuente de recursos no renovable como es el agregado natural para hormigón extraído de canteras a cielo abierto.

Objetivo

El objetivo de esta investigación es analizar distintas variantes para la elaboración de hormigón reciclado, con el fin de disminuir su absorción capilar y mejorar la calidad del hormigón resultante, para lo cual se emplearon diferentes tratamientos sobre el agregado grueso reciclado de hormigón de canto rodado.

Metodología

Las variantes de tratamientos sobre los agregados reciclados se plantearon de dos formas, una de ellas haciéndolo en forma previa al mezclado de los materiales en la elaboración del hormigón, y la otra en forma simultánea al mezclado, con variaciones en el orden de mezclado de los materiales.

Se estudiaron las propiedades mecánicas y la absorción capilar de mezclas elaboradas con agregado grueso reciclado, producto de la trituración de hormigones sometidos a distintos tratamientos. Se comparó su comportamiento con el de hormigones elaborados sin agregados reciclados y con agregado grueso reciclado sin tratamiento previo.

Materiales y mezclas

Se proyectaron diferentes hormigones de relación agua/cemento 0,50, de los cuales, uno se elaboró sin la utilización de agregado reciclado (usado como patrón y denominado P), y los restantes, con un 50% de reemplazo, en volumen, de agregado grueso natural (canto rodado) por agregado reciclado de hormigón. En todos los casos excepto en uno (denominado R), el agregado reciclado fue sometido a tratamientos previos al mezclado de materiales, el cual se efectuó con lechada de cemento o mediante dos soluciones realizadas con productos impermeabilizantes de distinta procedencia y de uso comercial (denominados A y B). Además, en los casos de tratamientos previos con lechada de cemento, se estudiaron distintas variables vinculadas con:

- 1) La relación agua/cemento de la lechada: $a/c = 0,50$ (denominada L1); $a/c = 0,74$ (denominada L2) y $a/c = 1,00$ (denominada L3).
- 2) La cantidad de días transcurridos entre la fecha de realización del tratamiento y la de hormigonado de las probetas, los cuales se estipularon en 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días.

También se realizaron cuatro tratamientos simultáneos al mezclado de materiales, variando el orden de ingreso de los componentes a la hormigonera, en todos los casos, con lechada de cemento, bajo diferentes variantes (denominados LS1; LS2; LS3 y LS4) que serán detalladas posteriormente.

Los materiales utilizados en las mezclas fueron los siguientes:

Agua: se empleó agua corriente tomada de la red de provisión a la ciudad de Bahía Blanca.

Cemento: se usó cemento Portland normal (CPN 40) proveniente de una fábrica ubicada en la Provincia de Buenos Aires.

Agregado Fino: constituido por arena natural silíceas proveniente de un yacimiento ubicado al sur de la Provincia de Buenos Aires, que cumple con las especificaciones de calidad dadas por la Norma IRAM 1627 (IRAM 1627, 1997).

Agregados gruesos, se emplearon tres tipos:

- a) **Natural:** constituido por canto rodado cuyo tamaño máximo nominal es 25 mm. Este agregado cumple con los límites granulométricos indicados en la Norma IRAM 1627, y proviene de la misma cantera que el agregado fino.
- b) **Reciclado:** El hormigón a reciclar se obtuvo de la trituración de elementos de hormigón elaborado con canto rodado, proveniente de distintas obras realizadas en la zona. Se molió el material a reciclar con el empleo de una trituradora de mandíbulas. El tamaño máximo nominal del material resultante fue de 25 mm.
- c) **Reciclado con tratamiento previo:** el material mencionado en el inciso b) fue sometido a los diferentes tratamientos anteriormente mencionados

Con el objetivo de comparar el comportamiento de los diferentes hormigones proyectados, se los denominó como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Denominación hormigones

Denominación	Características
P	100% Agregado grueso natural
R	50% Agregado grueso reciclado sin tratamiento previo
Tratamientos previos al mezclado	
L	50% Agregado grueso reciclado con tratamiento previo: Lechada de Cemento
	L1* - Relación agua/cemento del tratamiento: $a/c = 0,50$
	L2* - Relación agua/cemento del tratamiento: $a/c = 0,74$
	L3* - Relación agua/cemento del tratamiento: $a/c = 1,00$
A	50% Agregado grueso reciclado con tratamiento previo: Producto A
B	50% Agregado grueso reciclado con tratamiento previo: Producto B
Tratamientos simultáneos al mezclado	

LS	50 % Agregado grueso reciclado con tratamiento previo simultáneo
	LS1 - Variante 1
	LS2 - Variante 2
	LS3 - Variante 3
	LS4 - Variante 4

Fuente: Tabla realizada por el autor.

*Para poder diferenciar los hormigones, de acuerdo a la cantidad de días transcurridos entre la realización del tratamiento previo sobre el agregado grueso reciclado y el día de hormigonado, a la denominación se le incorporó un subíndice indicativo de la cantidad de días antes mencionada. Por ejemplo, se indicó L1₂₁ a aquellos hormigones en los que se utilizó agregado grueso reciclado con tratamiento previo L1, elaborados luego de 21 días de la realización del mismo.

Las dosificaciones de los hormigones mencionados previamente, están detalladas en la Tabla 2, diferenciándose la correspondiente al hormigón patrón sin agregado reciclado (P), de la utilizada para los casos en que se usó agregado reciclado, ya sea con o sin tratamiento previo (50 % A.R.).

Los hormigones se diseñaron teniendo en cuenta que cumplieran con un rango de consistencia de 8-10 cm, medida con el cono de Abrams (IRAM 1536, 1978). Todas las muestras presentaron un grado de trabajabilidad aceptable, sin observarse indicios de segregación ni exudación.

Tabla 2: Proporciones de la serie de mezclas realizadas con a/c = 0,50

Mezcla	P	50% A.R.
Cemento (kg/m ³ Hº)	350	350
Canto Rodado (kg/m ³ Hº)	930	465
Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº)	0	443
Agr. Fino (kg/m ³ Hº)	895	895

Fuente: Tabla realizada por el autor.

En el caso de los tratamientos simultáneos al mezclado de materiales (LS1; LS2; LS3 y LS4), la carga de la hormigonera se realizó en dos etapas, las dosificaciones en cada etapa se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: Etapas de mezclado en los tratamientos previos

Mezcla	Relación a/c lechada	Etapa	
		Primera	Segunda
LS1	0,50		
Agua (l/m ³ Hº)		43,8	131,2
Cemento (kg/m ³ Hº)		87,6	262,4
Canto Rodado (kg/m ³ Hº)		0	465
Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº)		443	0
Agr. Fino (kg/m ³ Hº)		0	895

LS2		Primera	Segunda
Agua (l/m ³ Hº)	0,50	87,5	87,5
Cemento (kg/m ³ Hº)		175	175
Canto Rodado (kg/m ³ Hº)		0	465
Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº)		443	0
Agr. Fino (kg/m ³ Hº)		0	895
LS3		Primera	Segunda
Agua (l/m ³ Hº)	1,00	43,8	131,2
Cemento (kg/m ³ Hº)		43,8	306,2
Canto Rodado (kg/m ³ Hº)		0	465
Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº)		443	0
Agr. Fino (kg/m ³ Hº)		0	895
LS4		Primera	Segunda
Agua (l/m ³ Hº)	1,00	87,5	131,2
Cemento (kg/m ³ Hº)		87,5	262,5
Canto Rodado (kg/m ³ Hº)		0	465
Agr. Reciclado (kg/m ³ Hº)		443	0
Agr. Fino (kg/m ³ Hº)		0	895

Fuente: Tabla realizada por el autor.

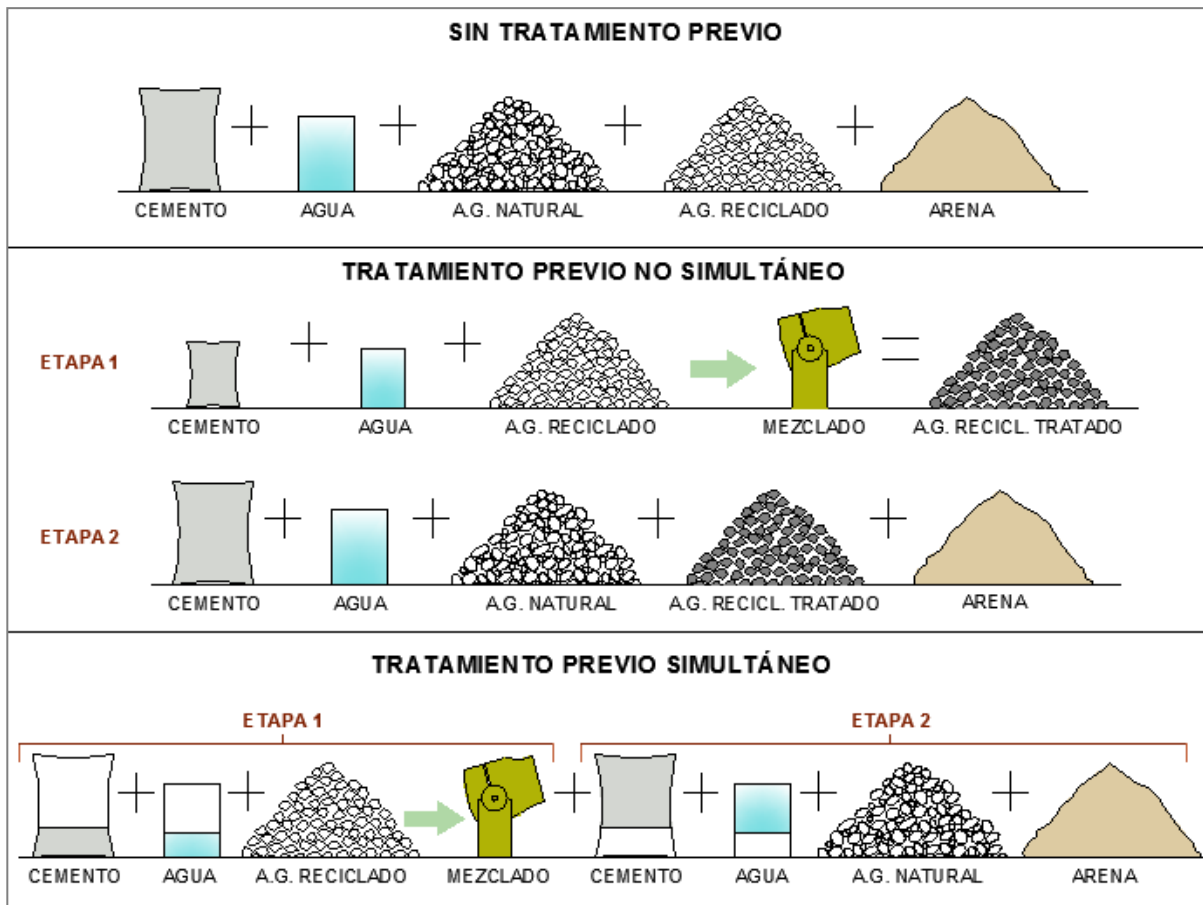
Tratamientos previos

En todos los tratamientos realizados sobre el hormigón reciclado, se efectuó el siguiente procedimiento:

- a) Incorporación del agregado reciclado en la hormigonera;
- b) Incorporación del cemento o producto impermeabilizante;
- c) Mezclado de los materiales;
- d) Incorporación del agua;
- e) Mezclado durante 5 minutos;
- f) Volcado del material tratado;
- g) Dispersión del material para evitar el aglomerado de pasta y agregado; y
- h) Movimiento del material tratado, 2 veces por día durante 2 o 3 días, hasta notar que esté la superficie seca.

En la Figura 1 se muestra, esquemáticamente, el procedimiento utilizado para los diferentes tratamientos, poniendo como referencia, al hormigón reciclado sin tratamiento previo.

Figura 1: Esquema de los tratamientos previos realizados



Fuente: Figura realizada por el autor.

Elaboración de muestras

Probetas

Se moldearon probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para realizar los ensayos físicos de capacidad y velocidad de succión capilar (IRAM 1871, 2004) y probetas cilíndricas de 15 x 30 cm para los ensayos mecánicos de resistencia a compresión (IRAM 1546, 1992) y tracción simple por compresión diametral (IRAM 1658, 1995). Se moldearon y curaron de acuerdo con la normativa vigente en nuestro país (IRAM 1534, 2004).

Resultados

En la Tabla 4 se puede apreciar un detalle de los resultados obtenidos en los ensayos, tendientes a la caracterización de las propiedades mecánicas de todos los hormigones elaborados y en la Tabla 5 se muestran los valores que se determinaron en el ensayo de absorción capilar obtenidos para las diferentes variantes planteadas.

Tabla 4: Características mecánicas de los hormigones empleados

HORMIGONES		Compresión [MPa]	Tracción [MPa]
P		36,4	3,6
R		32,6	3,0
L1	L1 ₁	33,1	3,1
	L1 ₃	31,7	2,9
	L1 ₇	31,1	2,7
	L1 ₁₄	30,6	2,8
	L1 ₂₁	32,5	3,1
	L1 ₂₈	30,9	3,2
L2	L2 ₁	32,8	2,8
	L2 ₃	35,1	2,9
	L2 ₇	29,2	2,8
	L2 ₁₄	29,1	2,9
	L2 ₂₁	35,8	2,5
	L2 ₂₈	30,6	2,8
L3	L3 ₁	34,4	3,0
	L3 ₃	27,2	2,9
	L3 ₇	31,7	3,4
	L3 ₁₄	29,7	3,0
	L3 ₂₁	30,3	3,2
	L3 ₂₈	32,8	2,8
A		34,5	3,4
B		25,5	2,7
LS1		36,0	3,0
LS2		34,7	3,1
LS3		34,4	3,5
LS4		35,2	3,2

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Tabla 5: Capacidad (C) y velocidad de succión capilar (S) de los distintos hormigones elaborados

HORMIGONES		C [g/m ²]	S [g/m ² s ^{1/2}]
P		4023	7,9
R		7069	14,8
L1	L1 ₁	3908	5,1

	L1₃	5057	9,2
	L1₇	4368	10,6
	L1₁₄	3333	5,4
	L1₂₁	4483	7,5
	L1₂₈	3448	4,9
L2	L2₁	4713	8,8
	L2₃	5287	8,9
	L2₇	4943	10,1
	L2₁₄	5230	10,4
	L2₂₁	4253	7,3
	L2₂₈	3908	6,7
L3	L3₁	4195	5,8
	L3₃	5172	9,2
	L3₇	3678	6,9
	L3₁₄	3736	5,6
	L3₂₁	3793	6,6
	L3₂₈	3448	4,8
A	4736	7,8	
B	6079	13,0	
LS1	4425	7,9	
LS2	4483	8,5	
LS3	4713	7,6	
LS4	4540	7,2	

Fuente: Tabla realizada por el autor.

Discusión

Los resultados de resistencia a compresión del hormigón indican que al reemplazar un 50 % del agregado natural por agregado reciclado sin tratamientos previos, se obtiene un material de buena prestación, como para ser utilizado en estructuras resistentes. Sin embargo, los valores de absorción capilar son elevados respecto a los hormigones elaborados en forma convencional.

Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, al que se le aplicó previamente un tratamiento de lechada de cemento o de producto A, mostraron similar comportamiento mecánico y de succión capilar que el hormigón patrón realizado sin la utilización de agregados reciclados (P). Aquellos elaborados con agregado reciclado sin tratamiento previo y con el tratamiento de producto B, mostraron valores inferiores de resistencia mecánica (Tabla 4) y los más elevados de absorción capilar (Tabla 5).

No se puede apreciar una tendencia, en los valores de resistencia a compresión y de capacidad de succión capilar de los hormigones realizados, respecto a los días de secado del agregado luego del

tratamiento. Si bien los valores de absorción obtenidos el día 28 de secado, fueron los menores en todos los casos, en el TP1 los valores obtenidos para 1 día de secado fueron muy similares a estos últimos. Tampoco se apreciaron grandes diferencias respecto a la variación de la relación a/c de cada lechada, aplicada en los tratamientos previos.

Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, al que se le aplicó un tratamiento de lechada de cemento, simultáneo al mezclado de materiales (LS1 a LS4) mostraron similar comportamiento mecánico y de succión capilar que el hormigón patrón realizado sin la utilización de agregados reciclados (P).

Los tratamientos previos simultáneos al mezclado, permiten una aplicación más fácil, directa y económicamente viable en las prácticas habituales de construcción, que aquellos que se realizan en forma no simultánea. Ambas opciones presentan buenos resultados, brindando diferentes alternativas a la hora de elaborar hormigones reciclados.

CONCLUSIONES

Los valores de absorción capilar observados en todos los casos en los que no se aplicaron tratamientos previos, se mostraron elevados respecto a los hormigones elaborados en forma convencional, esto se debe al hecho que los agregados de hormigón triturado poseen una mayor porosidad. Por este motivo, el hormigón elaborado con agregados reciclados, es un material más vulnerable frente al ingreso de agentes externos que pueden producir reacciones deletéreas y afectar su durabilidad.

Los hormigones elaborados, con reemplazo del 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado de hormigón, al cual se le aplicaron los tratamientos previos de lechada de cemento y de producto A, mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo, presentando un comportamiento mecánico y de absorción capilar similares al que posee el al hormigón patrón, realizado sin la utilización de agregado reciclado.

La utilización del producto B para la realización del tratamiento previo del agregado reciclado, no permitió una importante disminución de la absorción capilar del hormigón elaborado utilizando el mismo como agregado grueso.

Los hormigones elaborados, con un reemplazo del 50% del agregado grueso natural por agregado reciclado de hormigón, al cual se le aplicaron los tratamientos previos de lechada de cemento, variando la relación agua/cemento de la lechada (L1, L2 y L3) y los días de secado del agregado luego del tratamiento (1 a 28 días), mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo, presentando un comportamiento similar al hormigón patrón, realizado sin la utilización de agregado reciclado.

Los valores de resistencia a compresión y de absorción capilar de los hormigones y tratamientos mencionados en el párrafo anterior, no muestran variaciones apreciables para los diferentes casos, esto permite afirmar que para el rango de relaciones agua/cemento utilizado en este estudio, la alternativa más conveniente desde el punto de vista económico, sería el uso de la mayor de ellas (agua/cemento = 1). Además, estos resultados muestran la versatilidad de realización del tratamiento previo, pues no requiere de tanta precisión.

El tiempo de secado de la lechada con la que se trató el agregado reciclado no influyó en los resultados finales. Esto se cumplió para todas las relaciones a/c de las lechadas.

Los hormigones elaborados, con reemplazo del 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado de hormigón, al cual se le aplicaron los tratamientos previos simultáneos al mezclado mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo, presentando un comportamiento mecánico y de absorción capilar similar al hormigón patrón, realizado sin la utilización de agregado reciclado.

El uso de estos tratamientos previos al agregado reciclado de hormigón, es una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón elaborado con dicho agregado, y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón tradicional. Siendo las opciones LS1 a LS4 (simultáneas al mezclado), las que brindan una aplicación simple y directa en la industria de la construcción.

La aplicación de los tratamientos simultáneos al mezclado son las opciones de mayor viabilidad económica, pues no generan costos adicionales en su aplicación y mantiene los beneficios económicos y sociales que implica la utilización del agregado reciclado.

La aplicación de los tratamientos no simultáneos al mezclado implica un aumento en los costos de producción de hormigón, que varía según el material con el cual se hace el tratamiento, siendo el cemento el producto que brinda mayores beneficios a menores costos. Si bien la realización de este tipo de tratamientos es más compleja y antieconómica, abre la posibilidad de utilización de diversos productos para realizar los tratamientos, incluso se podría estudiar la utilización de desechos reciclados de distinta procedencia.

Bibliografía

- Evangelista, L. & de Brito, J. (2014). Concrete with fine recycled aggregates: a review. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 18 (2), pp. 129–72.
- Federal Highway Administration. (1985). *Recycling Portland Cement Concrete*. DP-47-85. Washington, D.C.
- Gómez, J.M., Agulló, L. & Vázquez, E. (junio, 2001). Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. *Construcción y Tecnología IMCYC*, vol. XIII, Nº 157, pp. 10-22.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1627 (1997). *Agregados. Granulometría de los agregados para hormigón*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1534 (2004). *Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y tracción por compresión diametral*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1536 (1978). *Hormigón fresco de cemento Portland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1546 (1992). *Hormigón de cemento portland. Método de ensayo de compresión*. IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1658 (1995). *Hormigón. Método de ensayo de tracción simple por compresión diametral*. IRAM, Buenos Aires.

- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1871 (2004). Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido. IRAM, Buenos Aires.
- Lin, Y., Tyan, Y., Chang, T. & Chang, C. (2004). An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 1373-80.
- Ryu, J.S. (2003). An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties. *Magazine of Concrete Research*, vol. 54 (1), pp. 7-12.
- Villagrán Zacardi, Y., Taus, V., Zega, C. Di Maio, A. & Traversa, L. (2005). Propiedades de transporte en hormigones convencionales y reciclados y su influencia en la corrosión de armaduras. Simposio Internacional *fib* "El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo". La Plata, vol. 1, pp. 91-8.
- Warner, J. (marzo, 1993). NSA Recycling Position Paper. Reuse and Recycling of Concrete. ConExpo 93, (Seminar handout K-1 and L-1), Milwaukee.
- Zega, C. (2010). Propiedades físico-mecánicas y durables de hormigones reciclados. (Tesis de doctorado inédita). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ingeniería, Área Departamental Construcciones, La Plata.
- Zega, C. & Di Maio, A. (2011). Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste Management*, vol. 31, pp. 2336-40.

Autores

Juan M. Moro, Ingeniero Civil, Tesista Doctoral CONICET, Docente del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Se especializa en Sustentabilidad en la Construcción.

Romina S. Meneses, Ingeniera Civil, Tesista Doctoral, Docente del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Se especializa en Durabilidad de las Estructuras de Hormigón.

Lilia N. Señas, Ingeniera Civil, Profesor en el Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Participante de proyectos de investigación. Especialista en temas vinculados a la tecnología del hormigón. Asesor de empresas nacionales y multinacionales en el ejercicio libre de la profesión. Jefe del Laboratorio de Estudio y Ensayo de Materiales, UNS.

Carla V. Priano, Ingeniera Civil, Doctora en Ingeniería, Docente del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Participante de proyectos de investigación sobre temas vinculados a tecnología del hormigón. Trabajos de transferencia de tecnología al medio en el Laboratorio de Estudio y Ensayo de Materiales, UNS.

Néstor F. Ortega, Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería, Posdoctorado en el C.E.D.E.X., Madrid, y en el Instituto de Ciencias de la Construcción E.Torroja, Madrid. Profesor Titular y Director Decano del Dep. Ingeniería, de la Universidad Nacional del Sur. Se especializa en Sustentabilidad en la Construcción y Durabilidad de las Estructuras de Hormigón.