

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



ASAGAI
ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Córdoba - Argentina

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la "Tambería de Guandacol" (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios	<i>Martinez, Amancay - Sales, Daniel</i>	1
Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte	<i>Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe</i>	7
Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires	<i>Lic. Schomwandt, David - Esp. Lic. Lucioni, Nora - Dra. Andrade, María Isabel</i>	15
Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos	<i>Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto</i>	29
Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)	<i>Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio</i>	41
Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta	<i>Gonzalez, M. A. - Chayle, W.</i>	55
Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)	<i>Avila, Laura Sonia del C.</i>	63
Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón	<i>Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina</i>	77
Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas	<i>Sarra Pistone, Raúl</i>	87
Instrucciones para autores		93
Formulario de suscripción o compra		97



Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón

Pretreatment recycled aggregates for concrete

Priano, Carla ¹ ✉ - Señas, Lilia ² - Moro, Juan ³ - Marfil, Silvina ⁴

Recibido: 17 de mayo de 2016 • Aceptado: 24 de junio de 2016

Resumen

Los residuos de la construcción, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones de demolición, pueden ser utilizados como reemplazo total o parcial del agregado natural. Como consecuencia de su mayor porosidad, el agregado reciclado resulta menos denso y con una mayor capacidad de absorción de agua que el natural.

En este trabajo se presentan distintos tratamientos de impregnación sobre el agregado grueso reciclado de un hormigón de canto rodado, con el fin de mejorar la calidad del hormigón resultante y optimizar su uso. Se analizaron tres tipos de productos para tratar al agregado reciclado (dos comerciales de uso frecuente en el mercado y una pasta cementícea) y diferente tiempo entre la ejecución del tratamiento y su incorporación al hormigón. Se estudiaron propiedades mecánicas y físicas de hormigones con un reemplazo del 50% del agregado grueso natural por hormigón triturado. Se realizó un estudio petrográfico sobre las diferentes muestras a fin de determinar la influencia de los tratamientos en la morfología de la zona de interfase agregado-mortero.

El tratamiento previo de impregnación del agregado reciclado demostró ser una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón convencional. El uso de un material de desecho permite reducir la cantidad de residuos generados una vez cumplida la vida útil de las estructuras y disminuir la explotación de recursos naturales no renovables como son los agregados para hormigón.

Palabras clave: Agregado reciclado, hormigón, tratamiento previo, petrografía.

Abstract

Construction waste, mainly those coming from crushed demolition concrete, can be used as partial or complete replacement of natural aggregates. Due to their greater porosity, recycled aggregates have lower density and higher water absorption than natural ones.

This research presents different impregnation treatments of the recycled coarse aggregate obtained from concrete containing boulder, in order to improve final concrete quality and optimize their use. Three types of products were analyzed to treat the recycled aggregate (two highly used commercial products and one cement paste), as well as different time between treatment execution and its addition to the concrete. Mechanical and physical properties of concretes with 50% of natural coarse aggregate replacement by crushed concrete were

1. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253. Bahía Blanca (8000). TE 0291-4595101 int. 3225.

✉ e-mail: cpriano@uns.edu.ar

2. Ing. Civil. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.

3. Ing. Civil. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.

4. Dra. Geología. Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. Investigador Principal CIC.

studied. A petrographic study of the different samples was performed to determine the treatment influence on the morphology of the aggregate-mortar interface zone.

Previous impregnation treatment of the recycled aggregate proved to be an alternative to improve concrete pore structure and to allow a similar behavior to conventional concretes. The use of waste materials reduces the amount of residues generated once the useful life of the structure ends and decreases the exploitation of non-renewable natural resources like concrete aggregates.

Keywords: Recycled aggregate, concrete, pretreatment, petrography.

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales reciclados provenientes de desechos de demolición es una alternativa cada vez más aceptada en la industria de la construcción. Además de conservar los recursos naturales y reducir el área de tierras destinadas a la disposición final de residuos, es una forma de disminuir el consumo de energía y por lo tanto, el costo de una obra. Los residuos de la construcción, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones de demolición, 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 (*ASTM C33, 2013*). Asimismo la Federal Highway Administration recomienda el uso de hormigón reciclado como agregado en sus especificaciones y guías (*Federal Highway Administration, 1985*).

El agregado reciclado es un material heterogéneo que está constituido por dos fases: mortero y roca. Sus partículas pueden estar conformadas únicamente por agregado natural (Figura 1a), por mortero del hormigón que se trituró adherido al agregado natural (Figura 1b) o solo por mortero (Figura 1c).

En general, los agregados reciclados que provienen de hormigón triturado, consisten en un 65-70% en volumen, de agregado natural y un 30-35% en volumen, de pasta cementicia del hormigón original. La principal característica que los diferencia de un agregado natural, es el mortero adherido que poseen.

La fracción gruesa de áridos triturados puede ser utilizada como reemplazo del agregado natural en la producción de hormigón. Los beneficios e inconvenientes del uso de agregado grueso reciclado han sido extensamente estudiados por *Hansen y Narud (1983)*, *Tavakoli y Soroushian (1996)*, *Poon et al. (2002)*, *Padmini et al. (2009)*, *Zega et al. (2010)*, *Kou y Poon (2012)*, entre otros. Se ha demostrado que en hormigones con un reemplazo de hasta 75% de agregado natural por reciclado,

no se modifica significativamente el comportamiento mecánico (*Señas et al., 2006*).

Como consecuencia de la mayor porosidad del mortero adherido, el agregado reciclado resulta menos denso y con una mayor capacidad de absorción de agua que el natural (*Poon et al., 2004*). Las mezclas elaboradas con agregado reciclado generan un hormigón más permeable que uno de similares características elaborado con agregados naturales, y por consiguiente es más susceptible a ser atacado por agentes externos. El agua que penetra al interior del hormigón, funciona como un transporte para los iones agresivos y es la causa principal de los procesos químicos responsables de la degradación física y mecánica de las estructuras de hormigón armado. En general, para agregados densos, su capacidad de transporte es inferior o del orden de la de la pasta de cemento, en cuanto que para agregados porosos, ocurre el caso opuesto (*Fernández Luco, 2001*). En términos de durabilidad, los hormigones elaborados con agregados reciclados demostraron una mayor absorción de agua por inmersión y por capilaridad (*Amorim et al., 2012*) y una menor resistencia a la penetración de cloruros y a la carbonatación (*Olorunsogo y Padayachee, 2002*).

A pesar de presentar menor densidad y mayor absorción que los agregados naturales, es factible elaborar un hormigón mediante una correcta dosificación (*Lin et al., 2004*; *Evangelista y de Brito, 2014*). Por otro lado el hormigón reciclado presenta una relación agua/cemento efectiva más baja respecto al convencional y 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 y Di Maio, 2011*; *Dominguez Ruben y Mantegna, 2012*). El aumento de la rugosidad y superficie específica del agregado reciclado contribuyen a una mejor interconexión entre éste y la nueva pasta de cemento (*Poon et al., 2004*).



Figura 1. Partículas de agregado reciclado. a. Agregado natural. b. Canto rodado con mortero adherido. c. Mortero.

Una de las diferencias más significativas entre el hormigón convencional y el elaborado con agregados reciclados es la presencia de dos tipos diferentes de interfase: una zona de transición entre el antiguo mortero y el agregado natural y otra entre el nuevo mortero y el agregado, que puede ser tanto reciclado como natural. El mecanismo de falla del hormigón con agregado reciclado ante una sollicitación mecánica, depende de la calidad de las dos zonas de interfase, la nueva y la original (Xiao *et al.*, 2012).

La zona de interfase generada entre la pasta cementícea y un agregado reciclado es diferente a la del agregado natural, ya que el primero es más poroso, y generalmente está parcialmente carbonatado debido al mortero original adherido sobre la superficie de las partículas. La microestructura de la zona de interfase del hormigón reciclado es un factor de relevancia en el desarrollo de su resistencia mecánica. Es de esperar que las propiedades mecánicas del hormigón reciclado mejoren mediante la modificación de las propiedades superficiales y la estructura de poros de los agregados reciclados (Poon *et al.*, 2004).

El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento del hormigón elaborado con agregado reciclado tratado con tres productos de impregnación (dos comerciales de uso frecuente en el mercado y una pasta cementícea). Éstos fueron aplicados sobre el agregado grueso reciclado de hormigón de canto rodado, previo a su incorporación en la mezcla, con el fin de mejorar la calidad del hormigón resultante y optimizar su uso.

El empleo de un hormigón triturado perteneciente a una estructura que ha cumplido su vida útil, permite reducir la cantidad de residuos generados y además, disminuir la explotación de recursos naturales no renovables como son los agregados para hormigón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se dosificaron hormigones con relación agua/cemento 0,50 y un 50% de reemplazo, en volumen, de agregado grueso natural (canto rodado) por agregado reciclado. Este último se impregnó con dos productos impermeabilizantes de uso comercial (denominados A y B) y con pastas cementíceas, previo a su incorporación en el hormigón (denominados TP). En los

casos de tratamientos previos con pasta cementícea, se estudiaron dos variables, una vinculada con la relación agua/cemento de la pasta cementícea: $a/c = 0,50$ (TP1); $a/c = 0,74$ (TP2) y $a/c = 1,00$ (TP3) y la otra, relacionada con 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 y 28 días.

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 TP1²⁸ a aquellos hormigones en los que se utilizó agregado grueso reciclado con tratamiento previo TP1, elaborados luego de 28 días de la realización del mismo.

Además, se elaboraron dos hormigones de referencia: patrón (P) sin incorporación de agregado reciclado y (R) con 50 % de agregado reciclado sin tratamiento previo de impregnación.

En todos los tratamientos, se efectuó el siguiente procedimiento:

- 1- Incorporación del agregado reciclado en la hormigonera
- 2- Incorporación del cemento o producto impermeabilizante
- 3- Mezclado de los materiales
- 4- Incorporación del agua
- 5- Mezclado durante 5 minutos
- 6- Volcado del material tratado
- 7- Dispersión del material para evitar el aglomerado de pasta y agregado
- 8- Movimiento del material tratado dos veces por día hasta notar que la superficie esté seca.

En la Tabla 1 se detalla los diferentes hormigones proyectados y sus respectivas nomenclaturas.

En la Figura 2a se muestra el agregado reciclado tratado y en la Figura 2b el aspecto del triturado antes de su tratamiento previo.

Tabla 1. Detalle de las mezclas elaboradas.

Denominación	Características
P	100% agregado grueso natural
R	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado sin tratamiento previo
A	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con el impermeabilizante A
B	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con el impermeabilizante B
TP1 ₁	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,50$ y 1 día de secado
TP1 ₂₈	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,50$ y 28 días de secado
TP2 ₁	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,74$ y 1 día de secado
TP2 ₂₈	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,74$ y 28 días de secado
TP3 ₁	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 1,00$ y 1 día de secado
TP3 ₂₈	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 1,00$ y 28 días de secado

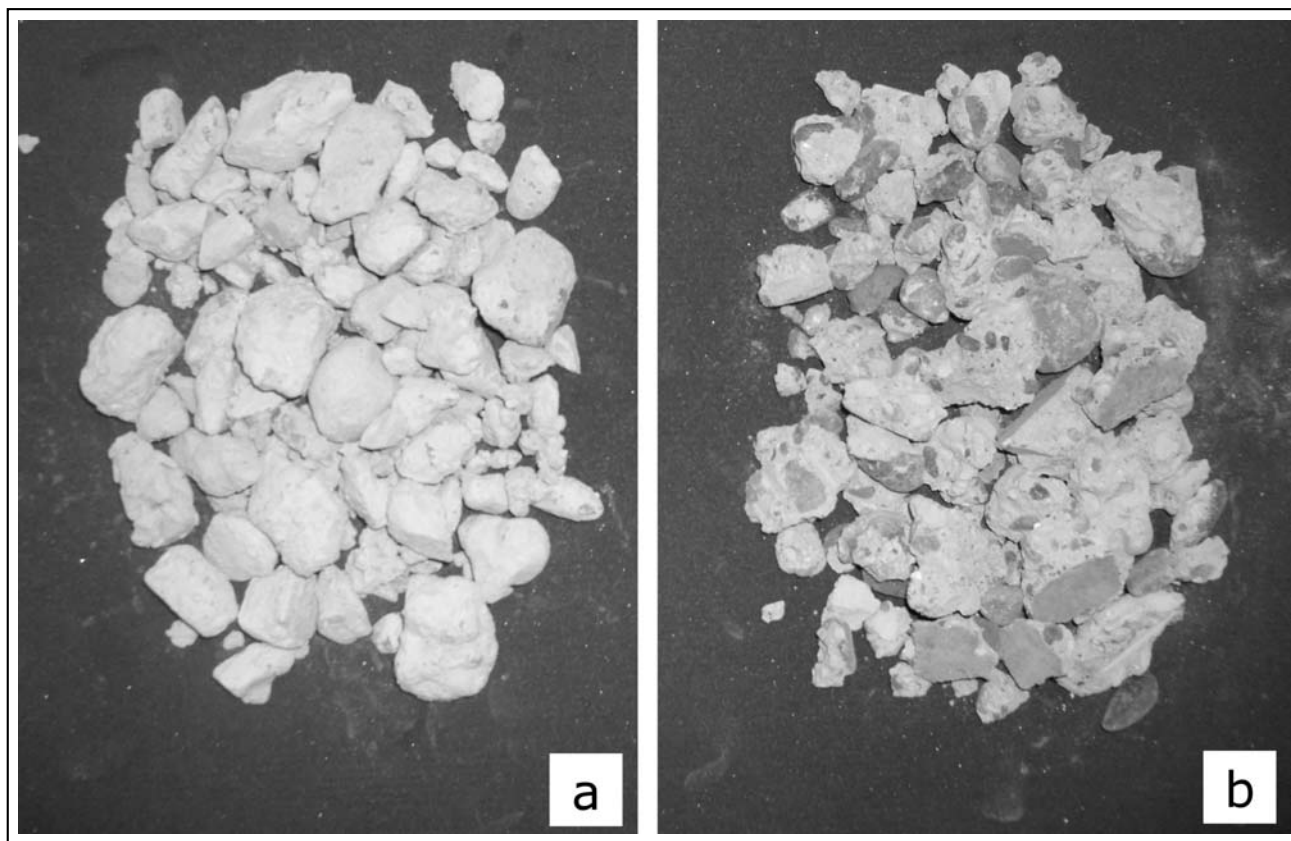


Figura 2. Agregado de hormigón reciclado: a. Con tratamiento previo. b. Sin tratamiento previo.

Se estudiaron la densidad (en estado saturado superficie seca) y la absorción del agregado fino, del grueso natural y del grueso reciclado, con y sin tratamientos previos (IRAM 1533, 2002).

Se realizó un estudio petrográfico sobre secciones delgadas de cada uno de los hormigones a fin de observar sus características y posibles variaciones en la zona de interfase mortero-agregado reciclado (con y sin tratamiento).

Además se evaluó el efecto de los tratamientos en las propiedades mecánicas: resistencia a compresión (IRAM 1546, 2013) y tracción simple por compresión diametral (IRAM 1658, 1995) y físicas relacionadas con la estructura de poros: capacidad y velocidad de succión capilar (IRAM 1871, 2004).

Para la elaboración de las mezclas se utilizó:

Agua: corriente de la red de provisión a la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires.

Cemento: portland normal (CPN 40) proveniente de una fábrica ubicada en la provincia de Buenos Aires.

Agregado fino: constituido por arena natural silícea proveniente de un yacimiento ubicado al sur de la provincia de Buenos Aires, que cumple con las especificaciones granulométricas dadas por la norma IRAM 1627(1997).

Agregados gruesos, se emplearon tres tipos:

a) Natural: constituido por canto rodado de tamaño máximo nominal 25 mm. Este material cumple con los límites granulométricos indicados en la norma IRAM 1627, y proviene de la misma cantera que el agregado fino.

b) Reciclado: se obtuvo de la trituración de hormigones elaborados con canto rodado, provenientes de obras rea-lizadas en la zona de Bahía Blanca. Se molió el material a reciclar con el empleo de una trituradora de mandíbulas hasta tamaño máximo nominal 25 mm.

c) Reciclado con tratamiento previo: corresponde al material indicado en el inciso b) sometido a los tratamientos de impregnación con pasta cementícea y los impermeabilizantes A y B.

Las dosificaciones del *hormigón patrón* (P) y reciclado sin tratar (R) se detallan en la Tabla 2. En las mezclas A, B y todas las TP se debieron ajustar las cantidades de agregado grueso reciclado, debido a la leve modificación de las densidades luego de cada tratamiento (Tabla 3).

Tabla 2. Proporciones del hormigón patrón y del reciclado sin tratar.

Mezcla	Patrón	Reciclado
Cemento (kg/m ³ H°)	350	350
Agregado fino (kg/m ³ H°)	895	895
Canto rodado (kg/m ³ H°)	970	485
Agregado grueso reciclado (kg/m ³ H°)	---	443

Los hormigones elaborados con agregados gruesos reciclados secos y arena natural demandan, para obtener una misma trabajabilidad, aproximadamente un 5% más de agua que los hormigones convencionales, debido a su mayor capacidad

de absorción (Di Maio, 2004; Hansen y Narud, 1983). Por ello se utilizaron 175 litros de agua para mezclado y 8 litros para humedecer previamente el agregado reciclado seco, por m³ de hormigón. Los hormigones se diseñaron con un ámbito 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 indicios de segregación ni exudación.

Se moldearon probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para realizar los ensayos de capacidad y velocidad de succión capilar y probetas cilíndricas de 15 x 30 cm para los ensayos de resistencia a compresión y tracción simple por compresión diametral. Se moldearon y curaron de acuerdo con la norma IRAM 1534 (2004).

RESULTADOS

Ensayos físico-mecánicos

Las características físicas del agregado fino y grueso natural y del grueso reciclado, con y sin tratamientos previos, se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características físicas de los agregados. (sss: saturado superficie seca).

Agregado	Densidad sss (kg/dm ³)	Absorción (%)
Arena natural silícea	2,58	1,2
Canto rodado	2,66	0,4
Reciclado sin tratamiento previo	2,43	6,4
Reciclado con tratamiento A	2,49	3,8
Reciclado con tratamiento B	2,47	3,9
Reciclado con TP1 ₁	2,39	5,8
Reciclado con TP1 ₂₈	2,43	5,7
Reciclado con TP2 ₁	2,40	5,6
Reciclado con TP2 ₂₈	2,44	5,5
Reciclado con TP3 ₁	2,46	5,6
Reciclado con TP3 ₂₈	2,47	5,3

Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión y de tracción simple por compresión diametral, de todos los hormigones elaborados, se muestran en la Tabla 4. Los valores presentados son el promedio de tres determinaciones con una dispersión entre resultados menor al 15% (IRAM 1666-3, 1986). En la Figura 3 se graficaron dichos resultados en orden descendente.

Los resultados determinados en el ensayo de absorción capilar de todas las mezclas elaboradas, se muestran en la Tabla 5. Los valores de capacidad y velocidad de succión capilar están expresados en porcentaje respecto al hormigón proyectado con agregado reciclado sin tratamiento previo (R). Se tomó como referencia (100%) el hormigón R, para poder comparar el efecto de cada uno de los tratamientos aplicados a los agregados reciclados, sobre el comportamiento de las mezclas en el ensayo de succión capilar. Se agregó además, el valor correspondiente al hormigón elaborado con agregado natural sin reemplazo de agregado reciclado (P). En la Figura 4 se graficaron dichos resultados en orden descendente.

Tabla 4. Características mecánicas de los hormigones estudiados.

Hormigones	Compresión [MPa]	Tracción [MPa]
P	36,4	3,6
R	32,6	3,0
A	34,5	3,4
B	25,5	2,7
TP1 ₁	33,1	3,1
TP1 ₂₈	30,9	3,2
TP2 ₁	32,8	2,8
TP2 ₂₈	30,6	2,8
TP3 ₁	34,4	3,0
TP3 ₂₈	32,8	2,8

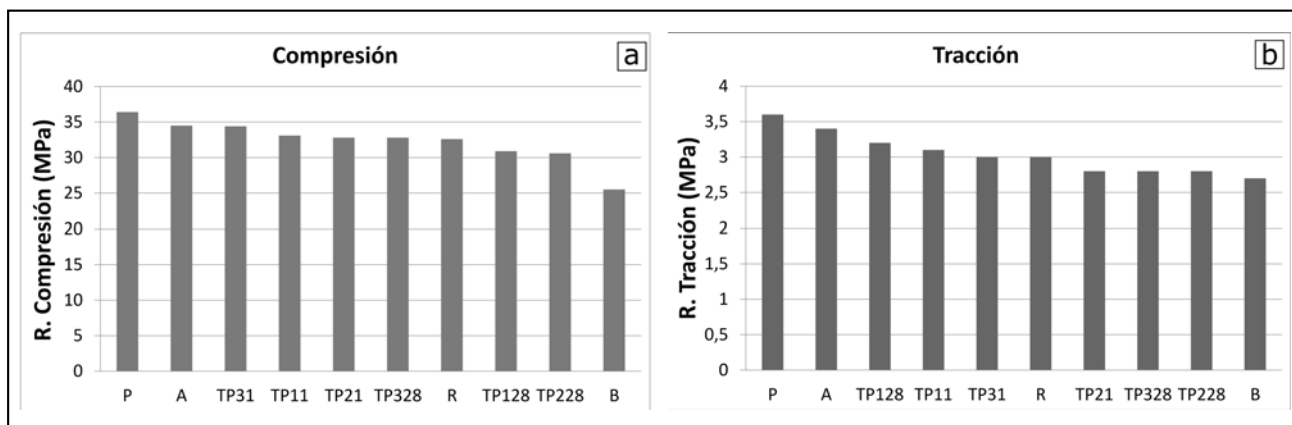


Figura 3. a. Resistencia a compresión. b. Resistencia a tracción.

Tabla 5. Capacidad (C) y velocidad de succión capilar (S) de los hormigones estudiados.

Hormigones	C [%]	S [%]
P	57	53
R	100	100
A	67	53
B	86	88
TP1 ₁	55	34
TP1 ₂₈	49	33
TP2 ₁	67	59
TP2 ₂₈	55	45
TP3 ₁	59	39
TP3 ₂₈	49	32

Análisis petrográfico

El agregado grueso del hormigón patrón (P) es un canto rodado en cuya composición predominan las rocas volcánicas. El contacto agregado-mortero es neto. El agregado fino es una arena natural constituida por cuarzo, rocas volcánicas y graníticas, y partículas individuales de cuarzo, feldespatos, piroxenos y valvas carbonáticas. En la Figura 5a se observa la composición del agregado y el contacto neto entre una partícula de agregado grueso basáltico y el mortero.

En la Figura 5b se muestra un sector del hormigón R con una partícula de agregado reciclado en la zona central de la imagen, constituida por canto rodado del hormigón original y un trozo de mortero en contacto neto. El resto de la imagen corresponde al mortero nuevo donde se visualiza claramente la zona de interfase con el reciclado. En las Figuras 5c y 5d se muestra el hormigón sometido a los tratamientos A y B respectivamente. Se puede observar que si bien ha mejorado la zona de interfase agregado reciclado-mortero respecto al hormigón reciclado de referencia (R) (Figura 5b), el contacto no es neto. Además es posible ver que el mortero original se encuentra carbonatado, evidenciado por un incremento de la birrefringencia de la pasta.

En la Figura 6 se muestra las características petrográficas de los hormigones realizados con los agregados reciclados

impregnados con pasta cementícea para las diferentes relaciones a/c y edades.

En la muestra TP1₁ se observa abundante microfisuramiento tanto en el mortero reciclado como en el nuevo. Es clara la zona de interfase lo que evidencia que el contacto entre ambos no es neto (Figura 6a). Con este mismo tratamiento pero a los 28 días, en general se hace difícil distinguir la interfase entre el mortero nuevo y el reciclado ya que los contactos son muy netos. En la Figura 6b se observa una partícula de agregado reciclado (a la izquierda de la imagen) en contacto neto con el mortero nuevo (a la derecha). En este caso se puede visualizar la interfase debido al proceso de carbonatación de la pasta del hormigón reciclado.

Los resultados de las muestras TP2 se muestran en las Figuras 6c y d, a 1 y 28 días respectivamente. Al igual que con los tratamientos anteriores se ve una mejora en la adherencia entre el mortero nuevo y el reciclado. Es difícil reconocer los contactos, solo se observa un cambio de tonalidad en el mortero reciclado por la carbonatación de la pasta.

Las Figuras 6e y f corresponden al tratamiento TP3 a 1 y 28 días respectivamente. Los resultados son similares. El microfisuramiento es muy escaso y afecta a ambos morteros. La interfase es prácticamente imperceptible.

DISCUSIÓN

Los resultados de resistencia a compresión y tracción simple por compresión diametral, indican que al reemplazar un 50% del agregado natural por agregado reciclado sin tratamientos previos (R), 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 (P) debido a la mayor porosidad de los agregados reciclados.

Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, a los que se le aplicó previamente un tratamiento con pasta cementícea (TP1, TP2 y TP3) o producto A, mostraron similar comportamiento mecánico que el hormigón reciclado (R). La mezcla elaborada con agregado reciclado con el tratamiento de producto B, mostró un valor inferior de resistencia mecánica. Se puede concluir que los tratamientos previos de los agregados reciclados no tuvieron una influencia significativa en el comportamiento mecánico de los correspondientes hormigones, salvo para la mezcla B que presentó una disminución del orden del 22 % respecto al hormigón R.

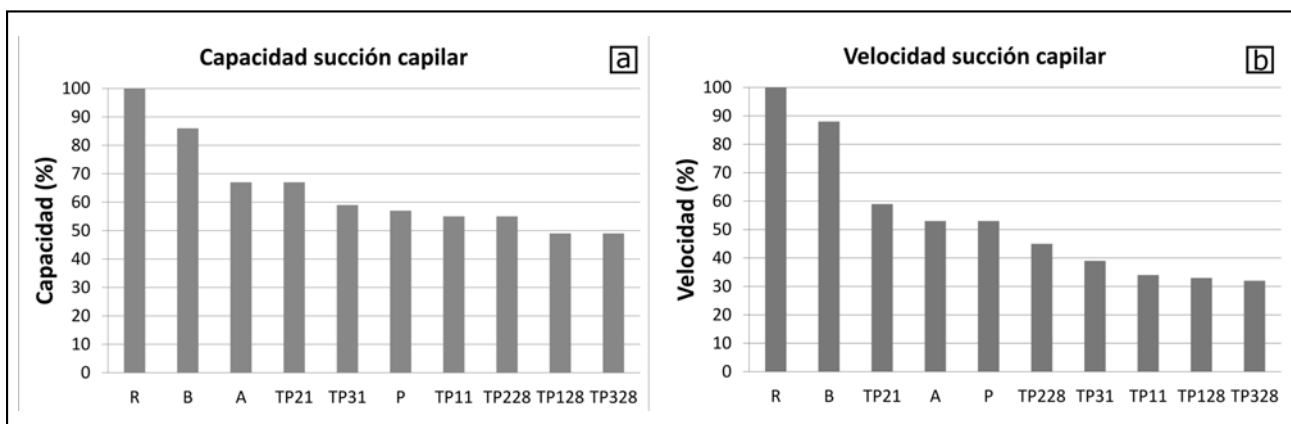


Figura 4. a. Capacidad de succión capilar. b. Velocidad de succión capilar.

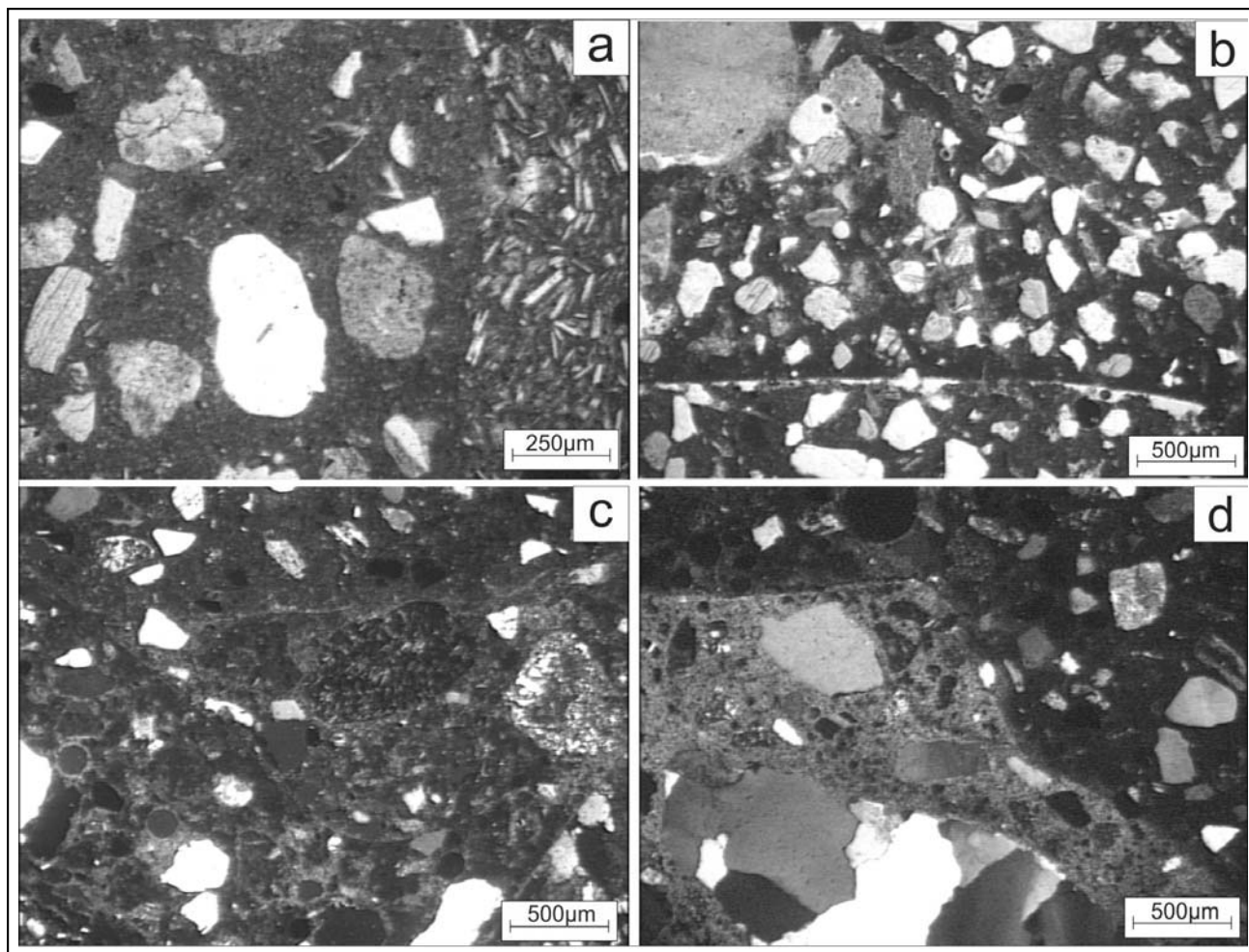


Figura 5. Microscopía óptica sobre secciones delgadas: a. Hormigón patrón (P) (visto con luz paralela). b. Hormigón con reemplazo de 50 % de agregado reciclado sin tratamiento previo (R) (con luz paralela). c. Hormigón A. d. Hormigón B (con nicols cruzados).

En el ensayo de succión capilar, las diferencias fueron más notorias. Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, al que se le aplicó previamente los tratamientos A y todos los TP, lograron una clara mejoría (del orden del 40% o más) respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo (R). Inclusive el comportamiento de algunas mezclas en el ensayo de succión capilar, fue superior al del hormigón patrón realizado sin la utilización de agregados reciclados (P). La mezcla B fue la que presentó la menor disminución en los valores de capacidad y velocidad de succión capilar, solo 14% y 12%, respectivamente.

El intervalo de tiempo transcurrido entre el día de tratamiento previo de los agregados reciclados y el de hormigonado (1 y 28 días), no influyó significativamente. No se pudo apreciar una tendencia clara en los valores de resistencia mecánica y de capacidad de succión capilar respecto a los días de secado del agregado luego del tratamiento, si bien en general los valores de absorción obtenidos el día 28 de secado fueron los menores. Tampoco se apreciaron grandes diferencias respecto a la variación de la relación a/c de cada pasta cementícea, aplicada en los tratamientos previos.

El estudio petrográfico sobre secciones delgadas, de los diferentes hormigones, permitió analizar la zona de interfase entre el agregado reciclado y el mortero. Se observó una mejor

adherencia en las partículas sometidas a los tratamientos previos de impregnación respecto al hormigón reciclado de referencia (R). En la mayoría de los casos, la observación de la diferencia entre ambos morteros se vio facilitada por el desarrollo de carbonatación en la pasta del hormigón reciclado. Sin embargo, en los hormigones sometidos a los tratamientos A y B, la zona de interfase agregado reciclado-mortero muestra una separación entre las partículas y el mortero más evidente que en los TP.

CONCLUSIONES

- Los valores de absorción capilar del hormigón reciclado se incrementaron respecto a los del hormigón convencional, debido a 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 agregados tratados (TP1, TP2, TP3 y A) mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratar (R), presentando un comportamiento mecánico y de absorción capilar similar al

hormigón patrón (P). Mientras que el tratamiento previo del agregado reciclado con el producto B, no permitió una disminución significativa de la succión capilar del hormigón y generó las mayores diferencias en las resistencias mecánicas.

· No se apreciaron grandes diferencias respecto a la variación de la relación a/c de cada pasta cementícea aplicada en los tratamientos previos. La alternativa más

conveniente desde el punto de vista económico, sería el uso de la mayor de ellas ($a/c = 1$). El tiempo de secado de la pasta cementícea con la que se trató el agregado reciclado, no influyó en los resultados finales. Esto se cumplió para todas las relaciones a/c .

· Los resultados de los estudios petrográficos son coincidentes con los resultados de los ensayos físico-mecánicos. Los tratamientos previos mejoraron la adherencia

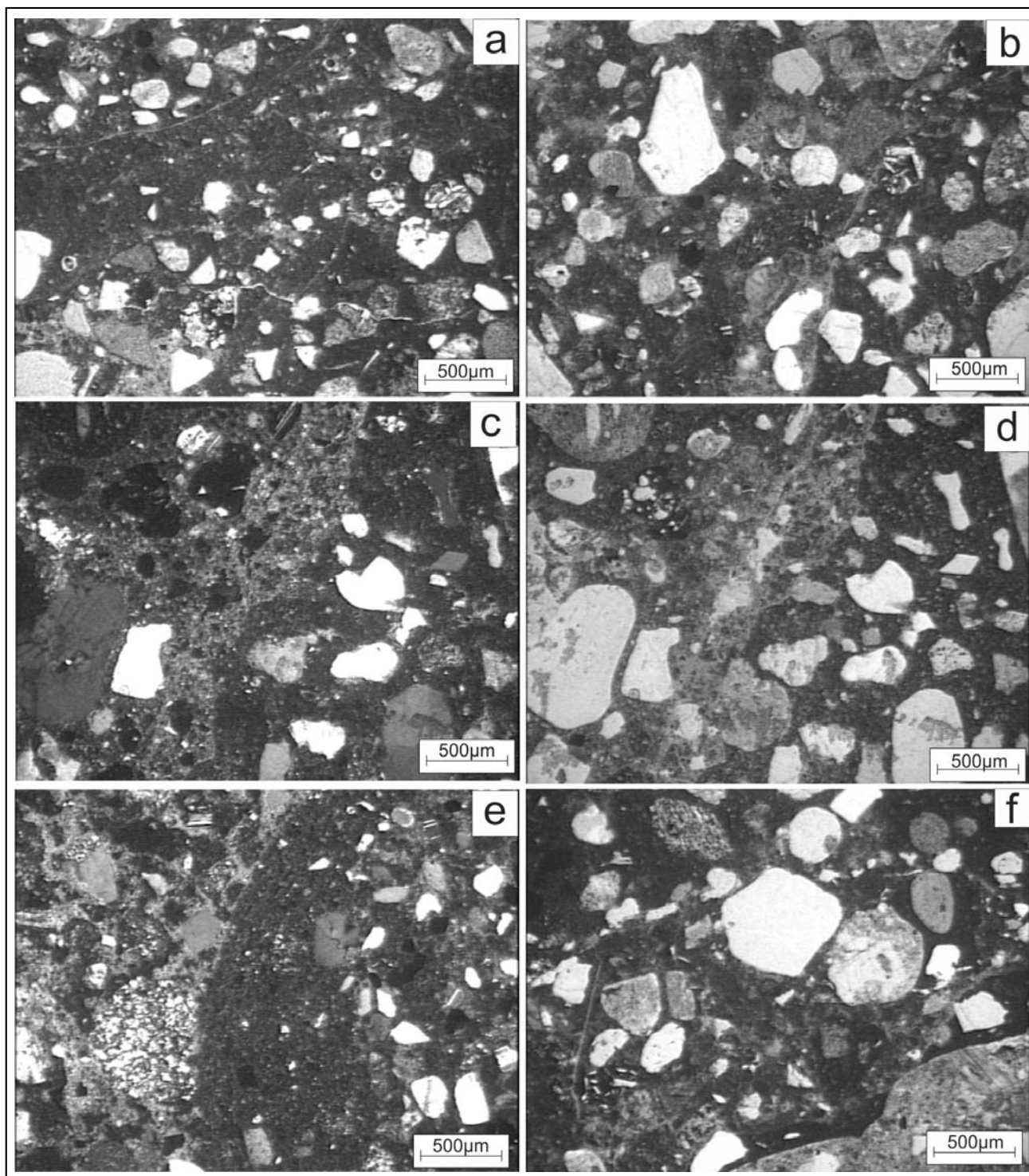


Figura 6. Microscopía óptica sobre secciones delgadas de hormigones reciclados sometidos a tratamientos previos con pastas cementíneas. a: TP1₁ (con luz paralela). b: TP1₂₈ (con luz paralela). c: TP2₁ (con nicoles cruzados). d: TP2₂₈ (luz paralela). e: TP3₁ (con nicoles cruzados). f: TP3₂₈ (luz paralela).

del hormigón reciclado con el mortero mostrando características físico-mecánicas similares a las del hormigón patrón (P).

- El uso de estos tratamientos de impregnación del agregado reciclado previo a su incorporación en el hormigón, es una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón tradicional.
- La aplicación de los tratamientos previos 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. La realización de este tipo de tratamientos es compleja, pero abre la posibilidad de utilizar productos para la impregnación de agregados reciclados y mejorar la calidad del hormigón elaborado con materiales de desecho.

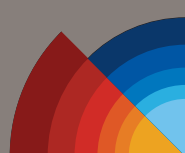
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Dptos. de Ingeniería y Geología de la Universidad Nacional del Sur y a la CIC de la Prov. de Bs. As., por el apoyo brindado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMORIM, P.; DE BRITO, J. Y EVANGELISTA, L., 2012.
Concrete made with coarse concrete aggregate: influence of curing on durability.
ACI Materials Journal, Vol. 44: 195-204.
- ASTM C33 / C33M-13. 2013.
Standard Specification for Concrete Aggregates.
Annual Book of ASTM Standards Section 4 Construction, Vol.: 04.02 Concrete and Aggregates. 11 pp.
- DI MAIO, A., 2004.
Reciclado de Hormigones, Nuevos hormigones y sus aplicaciones,
Jornadas organizadas por el LEMIT-CIC, La Plata, Argentina. 19 pp.
- DOMINGUEZ RUBEN, J. Y MANTEGNA, D., 2012.
Uso a gran escala de hormigón reciclado.
V Congreso Internacional y 19º Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Bahía Blanca, Argentina. Vol.1: 463-470.
- EVANGELISTA, L. DE BRITO, J., 2014.
Concrete with fine recycled aggregates: a review.
European Journal of Environment Civil Engineering, Vol. 18 (2): 129-172.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1985.
Recycling portland cement concrete.
DP47-85. Washington, D.C. 6 pp.
- FERNÁNDEZ LUCO, L., 2001.
La Durabilidad del Hormigón: su relación con la estructura de poros y los mecanismos de transporte de fluidos.
Durabilidad del Hormigón Estructural. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 306 pp.
- HANSEN, T. Y NARUD, H., 1983.
Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate.
Concrete International, Vol. 5 V (1): 79-83.
- IRAM 1533, 2002.
Agregados gruesos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 11 pp.
- IRAM 1534, 2004.
Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 15 pp.
- IRAM 1536, 1978.
Hormigón fresco de cemento portland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 8 pp.
- IRAM 1546, 2013.
Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 13 pp.
- IRAM 1627, 1997.
Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 23 pp.

- IRAM 1658, 1995.
Hormigón. Determinación de la resistencia a la tracción simple por compresión diametral.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 9 pp.
- IRAM 1666-3, 1986.
Hormigón de cemento portland. Hormigón elaborado. Uniformidad del hormigón del pastón.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 13 pp.
- IRAM 1871, 2004.
Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 12 pp.
- KOU, S. Y POON, C., 2012.
Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate.
Construction and Building Materials, Vol. 35: 69-76.
- LIN, Y.; TYAN, Y.; CHANG, T. Y CHANG, C., 2004.
An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates.
Cement and Concrete Research, Vol.34: 1373-1380.
- OLORUNSOGO, F. Y PADAYACHEE, N., 2002.
Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes.
Cement and Concrete Research, Vol. 32 (2): 179-185.
- PADMINI, A.; RAMAMURTHY, K. Y MATHEWS, M., 2009.
Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete.
Construction and Building Materials, Vol.23 (2): 829-836.
- POON, C.; KOU, S. Y LAM, L., 2002.
Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks.
Construction and Building Materials, Vol. 16 (5): 281-289.
- POON, C.; SHUI, Z. Y LAM, L., 2004.
Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates.
Construction and Building Materials, Vol.18 (6): 461-468.
- SEÑAS, L.; PRIANO, C.; VALEA, J. Y CABO, G., 2006.
Reciclado de hormigón de canto rodado patagónico.
16ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Mendoza, Argentina. Vol. 1: 15-22.
- TAVAKOLI, M. Y SOROUSHIAN, P., 1996.
Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate.
ACI Materials Journal, Vol. 93 (2): 182-90.
- XIAO, J.; LI, W.; SUN, Z. Y SHAH, S., 2012.
Crack propagation in recycled aggregate concrete under uniaxial compressive loading.
ACI Materials Journal, Vol. 109(4): 451-461.
- ZEGA, C.; VILLAGRAN-ZACCARDI, Y. Y DI MAIO, A., 2010.
Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates.
Materials and Structures, Vol. 43(1-2): 195-202.
- ZEGA, C. Y DI MAIO, A., 2011.
Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements.
Waste Management, Vol. 31: 2336-2340.



ASAGAI

ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la "Tambería de Guandacol" (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios

Martinez, Amancay - Sales, Daniel A.

Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte

Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe

Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires

Lic. Schomwandt, David - Esp. Lic. Lucioni, Nora - Dra. Andrade, María Isabel

Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos

Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto

Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)

Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio

Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta

Gonzalez, M. A. - Chayle, W.

Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)

Avila, Laura Sonia del C.

Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón

Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina

Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas

Sarra Pistone, Raúl

Portada: Playa del Camping Americano en Monte Hermoso. Provincia de Buenos Aires. *Fotografía Jorge Caló, Ricardo Caputo, Claudina Di Martino y Angel Marcos.*

**Revista de Geología
Aplicada a la Ingeniería
y al Ambiente**

