

Generación de desechos de hormigón y su utilización como agregado grueso en nuevos hormigones

Juan M. Moro, Romina S. Meneses, Néstor F. Ortega y Raquel R. Aveldaño*

Abstract

The aim of this paper is to assess the possibility of re use concrete arised from constructions and demolitions (C&D) as coarse aggregate, in the city of Bahia Blanca, Argentina. The study covers several C&D waste (legal and illegal) landfills and estimates percentages of the diverse type of waste found.

Moreover, concrete specimens were made, replacing 75% of coarse aggregate by recycled coarse aggregate, in order to analyze the mechanical strength (compression and tensile strength) and the pore structure (capillary absorption). Different water / cement ratios ($a / c = 0.45$ and $a / c = 0.60$), were employed with addition of various additives: air-entraining and superplasticizer.

The recycled coarse aggregate was obtained crushing concrete made with Patagonian`s shingles.

As a result of these tests was observed that the incorporation of these additives arise variations in the mechanical behavior and pore structure of the studied concrete. These variations are different for each water-cement ratio analyzed.

Keywords: Construction and Demolition Waste. Concrete Recycling. Additives. Concrete Dosage.

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio realizado en la ciudad de Bahía Blanca, sobre las posibilidades de reciclado de hormigones provenientes de demoliciones, para ser usados como agregado grueso de hormigones nuevos. Se estudiaron diversos lugares de vertido de residuos de la construcción (vertederos oficiales y clandestinos) determinándose los porcentajes aproximados existentes de los distintos tipos de residuos.

Por otro lado, con el fin de analizar las posibilidades tecnológicas, se moldearon probetas de hormigón, reemplazando un 75% de su agregado grueso, por agregado grueso reciclado, para analizar las propiedades relacionadas con la resistencia mecánica (compresión y tracción indirecta) y con la estructura de poros (absorción capilar). Se emplearon distintas relaciones agua/cemento del hormigón ($a/c=0.45$ y $a/c=0.60$), con la incorporación de dos diferentes tipos de aditivos: Incorporador de Aire y Superfluidificante.

El hormigón reciclado empleado, fue producto de la trituración de hormigones realizados con canto rodado patagónico.

Como resultado de estos ensayos se pudo observar que la incorporación de estos aditivos genera variaciones en el comportamiento mecánico y en la estructura de poros del hormigón en estudio, y dichas variaciones son diferentes para cada relación agua/cemento analizada.

Palabras Claves: residuos de construcción, reciclado de hormigones, Aditivos, Dosificación de hormigones.

1. Introducción

Los desechos de la industria de la construcción son los residuos producidos en la construcción, renovación y demolición de edificios, estructuras y otras obras civiles. En la ciudad de Bahía Blanca, al igual que lo que ocurre en la mayoría de las ciudades de Argentina, estos desechos son eliminados en vertederos oficiales y un porcentaje importante termina en vertederos clandestinos, donde también se mezclan con residuos sólidos urbanos. Cabe acotar que existe un porcentaje de estos residuos de demolición que son reciclados en las propias obras donde se originan, destinados a la construcción de cimientos y contrapisos, o simplemente, como relleno para nivelar el terreno.

La ciudad de Bahía Blanca está ubicada a 700km. al sur de la ciudad de Buenos Aires, en el norte de la Patagonia Argentina, contando con una población de aproximadamente 350.000 habitantes. En los últimos 20 años, ha tenido un importante crecimiento en la actividad de la construcción. Debido al desarrollo económico que ha tenido el país, se ha realizado una fuerte inversión en este sector, impulsada por la existencia del puerto de aguas profundas más importante del país y un creciente polo petroquímico, y por la existencia de dos universidades y dos instituciones educativas terciarias, por lo que cada año se produce la radicación de un importante número de estudiantes provenientes de la zona, lo que aumenta la demanda de viviendas e infraestructura.

En la Argentina, como en muchos países en vías de desarrollo, no existe una legislación adecuada, y en muchos casos la legislación que existe no se cumple, situaciones que han favorecido a la proliferación de los vertederos clandestinos, algunos de los cuales son de importancia. Por estos motivos, la gestión de residuos de la construcción, debería ser un punto de discusión en la ciudad de Bahía Blanca, sin embargo no es un tema en el que se haya puesto interés, no sólo a nivel local, sino también a nivel nacional. Esta situación, lamentablemente, no es privativa de la gestión de los residuos. Por ejemplo, hace aproximadamente cuatro años, la Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires inició un programa para la erradicación de los basurales a cielo abierto en dicha provincia. Existen más de cien municipios, de los cuales sólo diez contaban con un relleno sanitario en condiciones de operatividad, la ciudad de Bahía Blanca es uno de ellos.

En el mundo, durante las últimas décadas se ha incrementado el volumen de desechos producidos por la industria de la construcción, a consecuencia de demoliciones, restauraciones, ampliaciones, etc. Esto genera la necesidad de destinar lugares para el vertido de los residuos originados en obras. A consecuencia de los procesos de fabricación genera necesidades crecientes de materia prima, que es un recurso no renovable. Ambas situaciones generan impactos ambientales, que la sociedad, cada vez le presta mayor atención. Por estos motivos, se hace

necesaria la búsqueda de alternativas que técnicamente sean viables, combinando la consideración de los aspectos económicos con los ambientales, con el fin de tender al desarrollo de la industria de la construcción de una forma más sustentable a la actual.

2. Estado del arte

Evidentemente, una de las alternativas tendientes a la sustentabilidad de la construcción es el reciclado de residuos de nuevas construcciones, o de la demolición de viejos edificios, o del uso de materiales tradicionalmente desechados en las canteras, como agregados (gruesos y/o finos) en la producción de hormigones. Por ello, se han desarrollado diversos trabajos de investigación que han ido permitiendo determinar las principales propiedades de los hormigones realizados con estos agregados reciclados [5,6,9,28]. Como resultado de distintas investigaciones realizadas en diferentes países se establecieron recomendaciones para el diseño de hormigones realizados con estos agregados reciclados [10, 12, 19, 23]. En particular, este trabajo centrará sus investigaciones en las dos primeras alternativas mencionadas.

Actualmente se sabe muy poco sobre el volumen de residuos generados en las construcciones de la ciudad de Bahía Blanca. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es brindar esa información, como un incentivo para:

- (a) Conocer las posibilidades del reciclado de residuos de construcción, en especial del hormigón.
- (b) Comenzar a diseñar políticas para la gestión de los residuos de construcción generados en una ciudad de tamaño mediano.

En los últimos años, el reciclado de hormigón ha tenido cada vez más aceptación para su utilización en estructuras resistentes, por este motivo, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre la utilización del hormigón reciclado [8, 24, 25, 31].

Sin embargo, la calidad de los hormigones elaborados utilizando agregados reciclados, está limitada por una porosidad más elevada que los hormigones normales y la interface entre el viejo hormigón y la pasta de cemento, que tiene una adherencia que suele ser más débil que en los hormigones tradicionales. Estos aspectos hacen que este tipo de hormigones, presenten mayores inconvenientes que los hormigones tradicionales, en lo que respecta a su durabilidad, pues lo hacen más susceptible al ataque de agentes externos. Por este motivo, algunas investigaciones están destinadas al mejoramiento de esos puntos débiles del material [1,26,30].

En este trabajo se presentan distintas alternativas para la elaboración de hormigón, utilizando hormigón reciclado, en reemplazo de un porcentaje de agregado grueso, incorporando aditivos a la mezcla y analizando sus consecuencias en las propiedades mecánicas y con la estructura de poros del hormigón obtenido en estas condiciones

3. Generación de residuos de construcción

Los residuos de la construcción se generan a partir de diversas actividades tales como la demolición y construcción de obras, por ejemplo, los edificios de distinta magnitud, las obras viales y de la limpieza y nivelación de terrenos.

Los principales componentes de los residuos de la construcción en Bahía Blanca, son: hormigón, mampostería (de ladrillos macizos y huecos, y en una menor proporción, blocks de hormigón), tejas, baldosas, tierra y distintos tipos de piedras (mayoritariamente calcáreas), que son las que habitualmente se encuentran en los niveles superiores del terreno. La generación de residuos en las obras de construcción puede ser debida a varias causas, como por ejemplo, demolición parcial o total de una construcción existente, la falta de coordinación entre el diseño arquitectónico y estructural, cambios in situ de las dimensiones de elementos proyectados originalmente, mala manipulación y transporte de materiales, fallas en el proceso de montaje, etc.

Gran parte de los residuos generados podrían ser reciclados y algunos reutilizados. Esto tendría aparejado importantes beneficios ambientales y sociales, reduciendo la demanda de recursos naturales no renovables, requiriéndose menores espacios para el vertido de los residuos que no son reciclables, disminuyendo la contaminación, creando puestos de trabajo relacionados con la actividad de reciclaje, etc.

Pero para tener una adecuada gestión de los residuos, son necesarias normas, reglamentaciones y por sobre todas las cosas, una toma de conciencia por parte del gobierno y de la población en general, en pos de mejorar la calidad de vida y contribuir al mejoramiento del ambiente.

3.1 Relevamiento de volúmenes

Para realizar un estudio completo sobre la disponibilidad y la generación de residuos de construcción producidos en Bahía Blanca, se analizaron tres aspectos:

- A. Proporciones de los diferentes materiales que fueron depositados como residuos de construcción, en cada vertedero.

- B. Cantidad de residuos de construcción generados por habitante y por año.
- C. Caracterización del hormigón reciclado.

A. Con el fin de determinar las proporciones de los diferentes materiales, dentro de los residuos de construcción, se realizó un relevamiento de los volúmenes de cada uno de ellos, entre de los vertederos detectados en la ciudad. Si bien los volúmenes obtenidos no cubren la totalidad de los residuos generados, sirven como referencia para la determinación del porcentaje de incidencia de cada material desechado, dentro del total relevado. No obstante, se estima que el relevamiento realizado cubre aproximadamente al 80 % de los residuos generados, que no son reutilizados en el lugar de origen.

Los materiales relevados fueron clasificados en los tipos que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. **Clasificación de materiales relevados**

Tipo	Material
1	Fragmentos de losas de hormigón elaborados con piedra partida
2	Fragmentos de losas de hormigón elaborados con canto rodado
3	Elementos prefabricados de hormigón con piedra partida
4	Fragmentos varios: ladrillos, tejas, baldosas, revoques
5	Restos de asfalto
6	Tierra
7	Piedra

Cabe acotar que en la clasificación de materiales, presentada en la Tabla 1, con la denominación de Tipo 4, se incluyen materiales que habitualmente se emplean para realizar hormigones para contrapisos o rellenos, debido a que poseen baja resistencia. Normalmente, junto con la tierra (material Tipo 6) hay restos de otros materiales, tales como ladrillos, hormigón, etc., que dificultan su uso como relleno superficial de terrenos.

En estos vertederos también se encontraron otros materiales cuyo reciclado sería de gran importancia, como es el caso de las cubiertas de vehículos, las cuales ocupan un volumen considerable, pero no se incorporaron a este estudio, debido a que el mismo está limitado a determinar los volúmenes correspondientes a residuos de la industria de la construcción. Aunque existen estudios que analizan la utilización de las cubiertas de vehículos, como agregado de mezclas cementicias [29].

Los lugares relevados se ubican en diferentes sectores de la ciudad, siendo uno sólo de ellos vertedero oficial. Estos se clasificaron según su ubicación como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. **Designación de vertederos relevados**

Designación	Ubicación	Sector de la ciudad
A	Calle Belisario Roldán (vertedero oficial)	Sudoeste
B	Ruta 3 Sur	Sudoeste
C	Calle Saliqueló	Noreste
D	Camino Carrindanga	Norte
E	Avenida Cabrera	Norte
F	Ruta 3 Norte	Sudeste

En la Tabla 2, es importante destacar que sólo el primero de los vertederos es un lugar donde la gestión de los residuos está a cargo de la municipalidad, los restantes lugares son sitios clandestinos donde ciudadanos y empresas privadas han depositado los residuos que retiran de las obras.



Fig. 1. **Ubicación de los vertederos de inertes en la ciudad de Bahía Blanca**

En algunos casos, a solicitud de los dueños de los terrenos, estos residuos son usados como relleno. Otro aspecto a considerar, es la inadecuada ubicación del

sitio oficial de vertido (A), como se puede observar en la figura 1, lo cual motiva a que los residuos de construcción y demolición en muchas ocasiones se arrojen en lugares clandestinos más cercanos al lugar de origen, para evitar pérdidas de tiempo y reducir los costos de transporte generados con esta tarea.

B. Para determinar la cantidad de residuos de construcción generados por habitante y por día se realizaron encuestas a las empresas proveedoras de contenedores, encargadas de desechar los residuos de construcción en los vertederos. Estas empresas tienen un registro de la cantidad de contenedores solicitados anualmente, esta información fue incluida en este trabajo.

C. Para la caracterización de posibles hormigones a obtener, se realizan en laboratorio la elaboración y el ensayo de probetas, de acuerdo a la descripción que sigue.

4. Trabajo experimental

4.1 Construcción de muestras

Se moldearon probetas cilíndricas, con el objeto de caracterizar su comportamiento mecánico (compresión y tracción indirecta) y determinar su porosidad (ensayo de absorción capilar).

El hormigón fue elaborado empleando distintas relaciones agua/cemento ($a/c=0.45$ y $a/c=0.60$), donde además de realizar probetas Patrón (P) con estas características, también se elaboraron probetas con la incorporación de diferentes aditivos: Incorporador de Aire (A), Superfluidificante (S) y Incorporador de Aire + Superfluidificante (S+A).

En la mezcla de este hormigón se reemplazó el 75% del agregado natural por agregado reciclado, por este motivo, de aquí en adelante será identificado como HR75. Se empleó este porcentaje de material reciclado, que se puede considerar, relativamente alto, debido a que algunas investigaciones [24] lo señalan como un límite de reemplazo, sin presentar variaciones importantes, en la resistencia del hormigón resultante.

4.2 Materiales y mezclas

Cemento: Se usó Cemento Pórtland Normal proveniente de una fábrica ubicada en la Provincia de Buenos Aires.

Agregado Fino: constituido por arena natural silíceo proveniente de un yacimiento ubicado en el partido de patagones al sur de la Provincia de Buenos Aires, que cumple con las especificaciones de calidad dadas por la norma IRAM 1627 [13].

Agregados gruesos, se emplearon dos 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 [13].

b) Reciclado: El hormigón a reciclar es proveniente de la rotura de probetas de hormigón elaboradas con canto rodado. Se molió el material a reciclar con el empleo de una trituradora de mandíbulas.

De acuerdo a la bibliografía consultada, hormigones elaborados con agregados gruesos reciclados secos y arena natural demandan, para obtener una misma trabajabilidad, un 5% más de agua que los hormigones convencionales debido a su mayor capacidad de absorción [7,11]. Por tal motivo, y para no causar una pérdida de asentamiento, los agregados reciclados fueron saturados en agua, 24 horas previas a su utilización en la mezcla.

Las probetas cilíndricas de hormigón (15 x 30 cm), fueron empleadas en los ensayos de capacidad y velocidad de succión capilar (IRAM 1871) [14] y mecánicos: resistencia a compresión (IRAM 1546) [15] y a tracción indirecta (IRAM 1658) [16]. Se moldearon de acuerdo con la normativa vigente en nuestro país (IRAM 1534) [17].

4.3 Curado de las probetas

Después de fabricadas, las probetas se curaron según la norma IRAM 1534 [17].

5. Resultados obtenidos

5.1 Resultados relevamiento

5.1.1 Proporciones de los diferentes materiales

En la Tabla 3, se puede apreciar el total de residuos de la construcción relevados en cada uno de los vertederos, dando un volumen total de 5190 m³,

Teniendo en cuenta los volúmenes relevados en cada lugar, se puede determinar el porcentaje de influencia de cada vertedero en el total de residuos relevados.

Tabla 3: **Volumen de residuos de construcción según el vertedero**

Lugar	Volumen (m3)	Porcentaje (%)
A	2780	54
B	360	6
C	190	4
D	240	5
E	1450	28
F	170	3
Total	5190	100

En la Tabla 4 se presenta una clasificación volumétrica de los residuos, en función de las tipologías, presentadas en la Tabla 1. Cabe acotar que dentro de las estas tipologías, en la identificada como Tipo 4, que está constituida mayoritariamente por mampostería, tejas, baldosas, revoques, etc., por provenir de la demolición de viviendas, también hay un porcentaje reducido de hormigones de encadenados, que es casi imposible su separación de los restantes residuos. La mayoría de las viviendas demolidas poseen más de 70 años, y en esa época no se empleaba el hormigón para la construcción de techos o entresijos, por lo que hay un porcentaje muy reducido del mismo. Se estima que en el futuro este porcentaje se incremente, como consecuencia del aumento sustancial del porcentaje de viviendas u otros edificios realizados con entresijos y techos de hormigón.

Tabla 4: **Volumen de residuos de construcción según el tipo de material**

Tipo	Volumen (m3)	Porcentaje (%)
1	2030	39
2	200	4
3	190	4
4	1610	31
5	260	5
6	680	13
7	220	4
Total	5190	100

Con los datos de la Tabla 4, se puede apreciar el porcentaje de influencia de cada material en el total de residuos relevados. (Agrupando todos los hormigones, Tipos 1, 2 y 3)

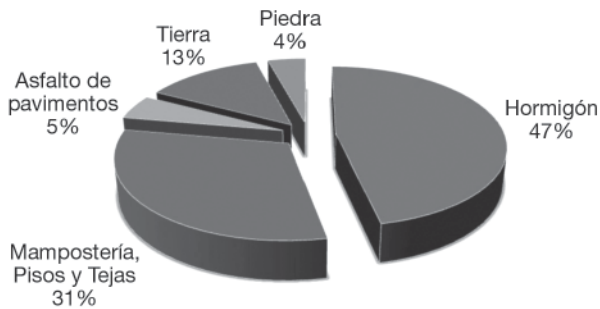


Fig. 2. Porcentaje de cada tipo de material relevado

5.1.2 Cantidad de residuos de construcción generados por habitante y por año

De acuerdo a las encuestas realizadas a las empresas que gestionan contenedores de residuos de construcción, la cantidad de contenedores solicitados anualmente sumando todas las empresas que realizan esta tarea en Bahía Blanca es de $C = 22000$ contenedores.

Se estima que las empresas consultadas gestionan el 80% de los residuos de construcción generados y que el 60% del volumen de los contenedores utilizados para la descarga de residuos de construcción son ocupados por residuos urbanos (desechos domiciliarios, poda de árboles, etc). Con estas consideraciones y sabiendo que el volumen de cada contenedor es de 5m^3 , se puede estimar que la producción de residuos de la construcción es de $G=0,16\text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$.

Suponiendo que la densidad de los residuos de construcción es de $\gamma = 1500\text{kg}/\text{m}^3$, se obtiene un peso de residuos de construcción generado por habitante por día de $240\text{kg}/\text{hab}/\text{año}$

5.2 Resultados experimentales de la caracterización de hormigones reciclados

En la Tabla 5 se puede apreciar un detalle de los resultados obtenidos sobre la caracterización de las propiedades del hormigón, tanto mecánicas (resistencia a compresión y a tracción indirecta) como los vinculados con la estructura de poros (Absorción Capilar), realizadas con probetas cilíndricas de $15 \times 30\text{ cm}$. Los valores tabulados corresponden al promedio de determinaciones realizadas en 3 probetas con idénticas características.

Tabla 5: Características del hormigón empleado en las vigas ensayadas

HR75	Relación a/c	Compresión [MPa]	Tracción Indirecta [Mpa]	Capacidad de Succión Capilar [gr/m ²]
P	0,45	36,3	3,2	6900
A		32,2	3,6	6500
S		38,3	2,7	7050
S + A		37,6	3,2	6500
P	0,60	33,1	2,9	8000
A		23,3	3,1	6800
S		34,1	3,4	6800
S + A		32,1	2,3	5950

6. Discusión

Como se puede apreciar en la Tabla 3, en el vertedero oficial de la ciudad se deposita poco más del 50% de los residuos de construcción existentes, esto indica que hay un porcentaje muy importante de los residuos gestionados en forma clandestina. El porcentaje de residuos que se gestiona clandestinamente, en estos momentos seguramente es superior al 50%, debido a que el vertedero E, está operando desde hace unos 3 años, conteniendo casi el 30% del total de los residuos, detectándose que en el vertedero oficial (A), un porcentaje importante de los residuos relevados están depositados desde hace más de 5 años.

El vertedero oficial de residuos de la construcción (ubicado en calle Belisario Roldan) está en una ubicación muy próxima al mar. Aunque el viento dominante es desde el continente hacia el mar, los residuos depositados tienen un cierto grado de contaminación con cloruros, por lo que antes de su uso en hormigones reciclados que estén en contacto con armaduras, debería realizarse un estudio de la penetración de cloruros en el material a ser reciclado.

La presencia de una gran cantidad de vertederos clandestinos no es un problema únicamente de Bahía Blanca, diferentes estudios realizados en otros países del tercer mundo, por ejemplo en Tailandia muestran que la mayoría de los residuos de construcción se gestionan en sitios inadecuados y sin control [2, 21]. Para evitar esto, en Tailandia existen severas leyes que prohíben el funcionamiento de los vertederos clandestinos y le dan plena responsabilidad a las administraciones locales para la elaboración de ordenanzas y reglamentos

de gestión de residuos sólidos, como por ejemplo la Ley 1992 de Protección Ambiental (Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Tailandia, de 2007) [27].

Otro ejemplo interesante en países en vía de desarrollo, lo constituye Turquía, donde el Ministerio de Medio Ambiente y Bosques, en el año 2004 publicó un reglamento destinado al control y recuperación de los residuos de construcción, denominado “Reglamento de Control de Residuos de Excavación, Construcción y Demolición” [20]. Este reglamento establece las normas generales y las consideraciones técnicas y administrativas que deben cumplirse en la reducción, recolección, almacenamiento temporal, movimiento, reciclado, uso y eliminación de los residuos de construcción, excavación y demolición.

Con relación a la situación que se produce en países desarrollados, se puede decir que la información disponible, indica que la generación de residuos de construcción y demolición es muy variable de un país a otro [3]. En 1996, la cantidad de residuos de construcción en Austria, Dinamarca y Países Bajos se acercaba a 3000, 500 y 2600 kg/hab/año, respectivamente. También se determinó que en 1997 los residuos generados en Finlandia, Italia y Luxemburgo se aproximaban a 300, 400 y 610 kg/hab/año respectivamente. Mientras que en España, los residuos de construcción y demolición generados, en 1999, se acercaban a 500 kg/hab/año.

La cantidad de residuos de la construcción generados en Bahía Blanca es significativamente menor, a la producida en los países desarrollados, no obstante el volumen anual generado es de cierta importancia, ascendiendo a 240kg/hab/año, lo que implica que el reciclado, sería una importante herramienta en la gestión correcta de los mismos.

De acuerdo a los relevamientos realizados, la mayor proporción de los residuos de construcción existentes está formada por hormigón (47%), que en su gran mayoría pertenece a fragmentos de carreteras o calles demolidas. El otro grupo de mayor volumen es el compuesto por mampostería, pisos y tejas (31%), generado principalmente en la demolición y reforma de viviendas.

Los valores observados en la ciudad de Bahía Blanca pueden compararse con los resultados obtenidos en una investigación similar realizada en Florida, USA [4], los cuales muestran proporciones similares de composición de residuos, siendo en el caso del hormigón del 56%, mientras que la suma entre los porcentajes de madera, fragmentos de placas y escombros asciende a un 32%, lo que se puede comparar con los residuos Tipo 4 de esta investigación, teniendo en cuenta que las construcciones en Florida son realizadas mayormente con madera y placas, mientras que en Argentina la mampostería es mayoritariamente de ladrillos. También el porcentaje de residuos de asfalto

es muy similar, siendo del orden del 5% en Bahía Blanca y del 7% en Florida. Con respecto a la cantidad de residuos generados en un año, el valor obtenido para Florida, en el año 2000, fue de 470kg/hab/año, el cual es superior al de Bahía Blanca, que como ya se ha dicho anteriormente es de 240kg/hab/año. Esta diferencia parece razonable considerando que el PBI de USA, es superior al de nuestro país.

Por otro lado, los datos obtenidos respecto a los residuos de construcción y demolición en Kuwait [18], muestran diferentes proporciones en los materiales, que los determinados en este trabajo. Allí, el hormigón y los ladrillos cuentan con el mismo porcentaje (30%), seguidos por la arena, con un 25%, y la madera 8%. Evidentemente estas diferencias tienen que ver con los usos y costumbres relacionados a la actividad de la construcción, propios de cada lugar.

Teniendo en cuenta los volúmenes ocupados por los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bahía Blanca, el reciclado de los mismos tendría que ser el camino a seguir, observando que esta herramienta de gestión ambiental es usada por muchos países del mundo, como es el caso de Dinamarca, cuyo porcentaje de reciclado de residuos de construcción y demolición es superior al 80%. Por otro lado, en Alemania, Países Bajos, Finlandia, Irlanda e Italia reciclan entre el 30% y el 50%, mientras que el porcentaje de reciclado en Luxemburgo es de solo el 10% [3].

Es importante destacar que, no sólo se deben concentrar los esfuerzos en el reciclado para reducir los residuos de construcción, también es fundamental disminuir la producción de los mismos, y se debe realizar una clasificación en origen de los diferentes materiales antes de ser arrojados en los vertederos o ser reciclados. Una investigación realizada en Hong Kong [22], muestra una alternativa para garantizar que todos los residuos de demolición sean aceptables para el reciclaje, proponiendo la modificación del método tradicional de demolición y la introducción de la *demolición selectiva*. Este método requiere que, antes y durante el proceso de demolición se lleve a cabo una breve selección de las diferentes tipos de materiales, para evitar cualquier contaminación, como ocurre con la tierra que se observó en los distintos vertederos de Bahía Blanca.

Con respecto a los resultados experimentales, como era de esperarse, los hormigones elaborados con menor relación agua / cemento, resultaron tener mayor resistencia y menor absorción capilar que los hormigones elaborados con una relación agua / cemento de 0,45.

El uso de incorporador de aire, resultó más beneficioso desde el punto de vista de la absorción capilar en los hormigones de relación agua/cemento de 0,60, la cual tuvo un descenso de 18%, pero generó una importante disminución de la resistencia a compresión (42%). Para los hormigones con relación agua

/ cemento de 0,45, la disminución de la absorción capilar y de la resistencia a compresión fueron de un 6% y un 13%, respectivamente

Por su parte, la incorporación del superfluidificante, además de mejorar la trabajabilidad, generó un leve aumento de la resistencia mecánica. Este aumento fue de un 5%, para los hormigones elaborados con una relación agua / cemento de 0,45 y de un 3%, para los hormigones con mayor relación agua / cemento.

La incorporación simultánea de estos dos aditivos, además de disminuir la absorción capilar, hizo que la resistencia mecánica sea, en términos generales, similar al hormigón patrón, al que no se le incorporaron aditivos.

7. Recomendaciones sobre la gestión de residuos

A continuación se mencionan una serie de recomendaciones que conviene seguir en lo referente a la gestión de los residuos de la industria de la construcción:

- a - Desarrollar una legislación adecuada para el control del vertido de residuos de construcción y demolición.
- b - Establecer reglamentaciones claras que incentiven el reciclado de materiales de construcción, brindando exenciones impositivas a las empresas constructoras que utilicen materiales reciclados en las obras que realizan.
- c - Fomentar el reciclado de residuos de construcción, realizando campañas de capacitación y concientización.
- d - Otorgar beneficios impositivos a aquellas empresas constructoras y de demolición que lleven a cabo una separación previa de los residuos generados, antes de que sean depositados en los sitios habilitados de vertido.
- e - Situar los sitios habilitados de vertido en puntos estratégicos de la ciudad, para que la mala e incómoda ubicación de los mismos, no sea un motivo para la eliminación de los residuos de construcción en vertederos clandestinos. Como se puede observar en la Figura 1, los lugares donde emplazar los sitios habilitados deberían estar en distintos sectores de la ciudad y alejados al menos 1000m de la costa.
- f - Dejar en manos privadas la gestión de los sitios habilitados de vertido de la ciudad, donde se realice la separación, tratamiento y comercialización de los residuos de construcción y demolición para su reciclado, brindando beneficios legales e impositivos para que esta actividad resulte redituable, a quienes la desarrollen.

8. Conclusiones

Existen una gran cantidad de vertederos clandestinos en Bahía Blanca, los cuales deberían eliminarse. En otros lugares del mundo existen reglamentaciones que se implementan para solucionar esta problemática, las cuales podrían ser consideradas por el gobierno local, como punto de partida para tomar medidas en este tema.

La mayor parte de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bahía Blanca está formada por hormigón. Por otro lado, existen numerosos estudios respecto a la utilización del mismo como agregado de un nuevo hormigón. Esto indica que el reciclado de este tipo de residuos es posible y necesario de implementar en esta ciudad.

En Bahía Blanca, sólo se recicla un porcentaje pequeño de los residuos de construcción y demolición, destinados únicamente a la construcción de cimientos y contrapisos, o simplemente, son usados como relleno para nivelar el terreno. Sin embargo, en muchos países, el reciclado de residuos de construcción y demolición se aplica con éxito y en porcentajes considerables, siguiendo normas para su implementación. Estas referencias pueden servir como base y ejemplo para ser utilizadas en esta ciudad.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que las investigaciones más recientes apuntan, por un lado a tomar medidas para reducir la cantidad de residuos generados, y por otro a una separación en origen de los materiales, para facilitar su reciclado.

Con respecto a la gestión de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bahía Blanca, es necesario tomar medidas que se adapten a la realidad, muchas de las cuales no son de difícil aplicación. Se deben tener en cuenta los motivos por los cuales, existen numerosos vertederos clandestinos y las causas que hacen que la aplicación del reciclado de estos residuos no sea una alternativa viable en la actualidad.

Observando los resultados experimentales, es importante destacar que si bien se está reemplazando un alto porcentaje del agregado natural por hormigón reciclado, queda claro que se pueden obtener hormigones de buena calidad, como para ser utilizados en estructuras resistentes. Sin embargo, los valores de absorción capilar son elevados respecto a los hormigones elaborados en forma convencional, lo que los hace más susceptibles a los agentes externos, por este motivo, el uso de aditivos es una buena alternativa para mejorar estas deficiencias. Pero es importante seguir investigando para poder lograr que este tipo de hormigones lleguen a tener la misma o mejor calidad que aquellos elaborados sin el uso de agregados reciclados.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Laboratorio de Modelos Estructurales y al Laboratorio de Estudio y Ensayos de Materiales, U.N.S., por la amplia colaboración prestada para la elaboración de este trabajo. Además, se agradece a las Secretarías de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur y al Departamento de Ingeniería por el aporte económico e institucional necesarios para la materialización de estas investigaciones.

Referencias

- [1] H. Abdul Razak and F.C. Choi: The effect of corrosion on the natural frequency and modal damping of reinforced concrete beams, *Engineering Structures*, Vol. 23, (2001), pp. 1126–1133.
- [2] Ashford S.A., Visvanathan C., Husain, N., Chomsurin C., Design and construction of engineered municipal solid waste landfills in Thailand. *Waste Management and Research*, 18, 2000, 462–470.
- [3] J. Brodersen, J. Juul, H. Jacobsen, “Review of Selected Waste Streams: Sewage Sludge, Construction and Demolition Waste, Waste Oils, Waste from Coal-Fired Power Plants and Biodegradable Municipal Waste”. European Topic Centre on Waste European Environment Agency (2002) http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2001_69/en/tech_rep_69.pdf>
- [4] K. Cochran, T. Townsend, D. Reinhart, H. Heck , Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US. *Waste Management* 27, 2007, 921–931.
- [5] A. Di Maio, F. Gutierrez, L.P. Traversa, “Comportamiento físico Mecánico de Hormigones Elaborados con agregados reciclados”, 14° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Olavarría, 2001, 34-44.
- [6] A. Di Maio “Reciclado de hormigones”. CD “Nuevos Hormigones y sus aplicaciones”, Jornadas organizadas por el LEMIT-CIC, La Plata, 2004.
- [7] A. Di Maio: Reciclado de hormigones, Nuevos hormigones y sus aplicaciones, Jornadas organizadas por el LEMIT-CIC, La Plata, 12 de Agosto (2004).
- [8] M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí and M. Barra: Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, (2007), pp. 735–742.

- [9] G. Giaccio, R. Zerbino, “Mecanismo de rotura en compresión en hormigón reciclado”. *Revista Hormigón*, N°41, (2005), pp 25-38.
- [10] T.C. Hansen, 1992. *Recycling of demolished concrete and masonry*. In: RILEM Report of Technical Committee 37-DRC (Demolition and Recycling of Concrete). E & FN Spon, London, UK.
- [11] T.C. Hansen and H. Narud: *Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate*, *Concrete International*, January, (1983), pp. 79-83.
- [12] C.F. Hendriks, Pietersen, H.S., 2000. *Sustainable Raw Material, Construction and Demolition Waste*, RILEM Report No. 22 (RILEM ed. 2000).
- [13] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1627: *Agregados. Granulometría de los agregados para hormigón*, (1997). Buenos Aires.
- [14] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1871: *Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido*, (2005). Buenos Aires.
- [15] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1546: *Hormigón de cemento portland. Método de ensayo de compresión*, (1992), Buenos Aires.
- [16] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1658: *Hormigón. Método de ensayo de tracción simple por compresión diametral*, (1995), Buenos Aires.
- [17] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 1534: *Hormigón de cemento portland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorio*, (1985), Buenos Aires.
- [18] N. Kartam, N. Al-Mutairi, I. Al-Ghusain, J. Al-Humoud, “Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait”, *Waste Management* 24, 2004, 1049–1059.
- [19] Y. Kazai, 1994. *Guidelines and the present state of the reuse of demolished concrete in Japan*. In: Lauritzen E. (Ed.), *Demolition and Reuse of Concrete*. E&FN Spon, London, pp. 93–104.
- [20] Ministry of Environment and Forestry. *Regulation on the Control of Excavation, Construction and Demolition Wastes*. The Official Gazette, Number: 25406, March 18, 2004. Available from: www.cevreorman.gov.tr (in Turkish).
- [21] P. Padungsirikul, 2003. *Sustainable solid waste landfill management research and development in Thailand*. Pollution Control Department of Thailand. Available from: <http://www.swlf.ait.ac.th/data/Kasetsart%20University-%20National%20Seminar%20on%20Solid%20Waste%20Landfill%20Ma/PCD%20Report.pdf>.

- [22] C. S. Poon, “Management and recycling of demolition waste in Hong Kong”, *Waste Management & Research* (1997) 15, 561–572.
- [23] RILEM Recommendation “121 DRG Guidance for demolition and reuse of concrete and masonry. Specifications for concrete with recycle aggregates”. *Materials and Structures*, 27, 2004, 557-569.
- [24] L. Señas, C. Priano, J. Valea y G. Cabo: *Reciclado de Hormigones de Canto Rodado Patagónico; 16° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, Mendoza, (2006).
- [25] W.Y. Tam Vivian, X.F. Gao and C.M. Tam: Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, (2005), pp. 1195– 1203.
- [26] W.Y. Tam Vivian, C.M. Tam and K.N. Le: Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 50, (2007), pp. 82–101.
- [27] A. Thongkaimook, 2005. 3R Portfolio-good practices to promote the 3R’s. Pollution Control Department of Thailand, Ministry of Natural Resources and Environment Thailand. Available from: http://www.env.go.jp/recycle/3r/en/info/05_15.pdf.
- [28] I.B. Topcu I.B. Physical and mechanical properties of concrete produced with waste concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 27, No. 12, pp. 1817-1823, 1997.
- [29] M. Turki, E. Bretagne, M.J. Rouis, M. Quéneudec, Microstructure, physical and mechanical properties of mortar–rubber aggregates mixtures, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 2715–2722.
- [30] H.L. Yong, Y. T Yaw, P. C. Ta and Y.C. Ching: An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, (2004), pp. 1373–1380.
- [31] C.J. Zega, Y. A. Villagrán-Zaccardi and A. A. Di Maio: Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates. *Materials and Structures*, (2010), Vol. 43, 1-2.

