

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción

Waste concrete application
in construction materials

Gonzalo Valdés Vidal*

Universidad de la Frontera, Chile

Óscar Javier Reyes-Ortiz**

Giovanni González Peñuela***

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

* Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña. Universidad de La Frontera - Departamento de Ingeniería de Obras Civiles. *gvaldes@ufro.cl*.

** Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña. Universidad Militar Nueva Granada - Grupo Geotecnia. *oscar.reyes@unimilitar.edu.co*
Correspondencia: Teléfono: 0057-1-7480333 Ext. 6001. Dirección: carrera 11 # 101-80 (Bogotá-Colombia)

*** Ingeniero Civil. Universidad de La Salle. Universidad Militar Nueva Granada - Grupo Estructuras y Sísmica. *noel.gonzalez@unimilitar.edu.co*.

Resumen

El objetivo principal del estudio fue determinar la viabilidad del uso de áridos reciclados de residuos de hormigón en la fabricación de hormigón y bloques de hormigón en Chile. La investigación se realizó en tres etapas: la primera consistió en el proceso de recuperación de los residuos de hormigón y su caracterización física. La segunda, en el diseño de la mezcla de hormigón y sus propiedades mecánicas, según el método Faury-Joisel. La tercera, en el análisis y viabilidad del uso del material de residuo en la fabricación del nuevo material según especificaciones técnicas chilenas. Entre los resultados se estableció que la resistencia y densidad promedio del hormigón con áridos reciclados es muy similar al hormigón con áridos naturales, y que cumple los requerimientos de la norma. Sin embargo, en el caso de los bloques de hormigón, su resistencia disminuye aproximadamente un 13% y su contenido de finos y absorción es levemente menor a la estipulada en la norma (1.03%) cuando se trata de hormigón. Se resalta que aunque existe una disminución en su resistencia, es viable el uso del árido reciclado en la fabricación de bloques de hormigón.

Palabras clave: árido reciclado, bloques de hormigón, hormigón, método Faury-Joisel.

Abstract

The main objective of this study was to determine the possibility of using recycled aggregates coming from concrete to fabricate new concrete and concrete bricks in Chile. The research was done in three steps: The first step was to recover concrete wastes and to determine their physical properties. In the second step, the Faury-Joisel method was applied to obtain the concrete mixture. Finally, the third step consisted of analyzing and studying the use of recycled aggregates in new construction materials following the Chilean technical specifications. As a result, the project concluded that the resistance and average density of recycled concrete is similar to natural concrete fulfilling the specification requirement. However, the concrete bricks resistance decreased approximately by 13% and their fine aggregate content and absorption values were lower than the minimum required by the Chilean specifications (1.03%). On the other hand, even though a slight decrease in the resistance was observed, the use of recycled concrete aggregates was proven to be viable for the fabrication of concrete bricks.

Keywords: Recycled aggregate, concrete brick, concrete, Faury-Joisel Method.

Fecha de recepción: 2 de marzo de 2010
Fecha de aceptación: 8 de abril de 2011

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más ampliamente utilizado en la construcción de obras de infraestructura, pero también es el generador de grandes volúmenes asociados a los procesos de demolición y desperdicio. En el mejor de los casos, estos residuos van a parar a un vertedero autorizado, con el consiguiente impacto ambiental y social importante, que repercute significativamente en la calidad de vida de una región. El cambio climático y la contaminación ambiental han hecho que los países inicien políticas cuyo enfoque es la disminución de estos volúmenes de residuos mediante su reutilización o buscándoles otra alternativa [1]-[3]. Estudios realizados en la Unión Europea han podido establecer que la producción de residuos de la construcción asciende entre 221 y 334 millones de toneladas/año, tal como aparece en la tabla 1[4]. Así mismo, investigaciones adelantadas en España, Alemania, Francia e Inglaterra han podido determinar la viabilidad de reutilizar hormigón procedente de la construcción como material granular [5], [6], demostrando que si se reemplaza un 20% de árido virgen por material reciclado en tamaños inferiores a 4 mm, puede fabricarse hormigón estructural sin que se pierdan sus propiedades mecánicas.

Tabla 1. Producción de escombros de la Unión Europea

País	Residuos construcción Millones toneladas/año
Bélgica	7.5-8
Dinamarca	2.3-5
Finlandia	1.6
Francia	20-25
Grecia	-
Holanda	13-14
Irlanda	2.5
Italia	35-40
Luxemburgo	2.7
Portugal	-
España	11-22
Reino Unido	50-70
Suecia	1.2
Alemania	52-120
Austria	22
Total	221-334

Estudios adelantados en Brasil mostraron que el hormigón fabricado con un reemplazo hasta del 60% de árido natural por árido reciclado en tamaños inferiores a 1,18 mm, cumple con sus especificaciones técnicas [7]. De igual forma, en Chile se adelantaron diversas investigaciones con las que se establece que reemplazando material pétreo por material reciclado en porcentajes inferiores al 50% y tamaño máximo de 2,5 mm, solo reduce un 10% la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón. [8]-[10].

A causa de la contaminación ambiental y el cambio climático, cobra importancia iniciar la creación de conciencia en los países a fin de reducir la extracción de materiales pétreos de los entornos naturales, disminuyendo así un agotamiento acelerado de las reservas de áridos provenientes tanto de los cauces de los ríos como de las canteras [9], [10]. La gran demanda de recursos naturales y una gran escasez de materias primas es preocupante; por ello, precisamente, la necesidad de preservar y proteger el medio ambiente de un inminente desequilibrio ecológico hace que la técnica del reciclado sea una actividad de gran auge en la construcción [11]. Por último, estudios nacionales e internacionales han demostrado que las propiedades físicas y mecánicas del hormigón constituido por adiciones de árido reciclado en su mezcla, pueden garantizar su resistencia [6], [11]-[14]. Sin embargo, como los estudios derivados de aplicaciones concretas en elementos constructivos utilizando el residuo del hormigón son escasos, esta investigación pretende mostrar la viabilidad de su uso en la fabricación de hormigón y bloques de hormigón.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Esta investigación se desarrolló en tres etapas. La primera correspondió a la obtención y recolección de los residuos de hormigón procedentes de la demolición de pavimentos rígidos. A su vez, dicho proceso se dividió en dos grandes partes; con la demolición de las losas de hormigón mediante el empleo de martillos neumáticos (figura 1) se dieron tamaños máximos de partículas de 100 mm y luego se procedió a una trituración secundaria con el empleo de una máquina trituradora de cono, que permitió obtener partículas de tamaño máximos de 30 mm (figura 2). La segunda etapa consistió en la caracterización del material con los ensayos de densidad aparente (compactada y suelta), densidad real (seca y saturada), absorción y partículas menores [15]-[18]. De igual forma se caracterizó el material natural,

que corresponde al árido procedente de cantera y que ha sido sometido a trituración, molienda y clasificación. Finalmente, la tercera etapa consistió en diseñar mediante la metodología Faury-Joisel la mezcla de hormigón con material natural y/o de reciclado [3], [19], para posteriormente construir bloques de hormigón y hormigón (figura 3). Por último, se determinaron las propiedades mecánicas del hormigón y de los bloques de hormigón con la finalidad de establecer la viabilidad de su uso a partir de sus resistencias. En la figura 4, se observa el diagrama de la metodología.



Figura 1. Demolición con martillo neumático



Figura 2. Árido reciclado después de la trituración



Figura 3. Fabricación de bloques de hormigón

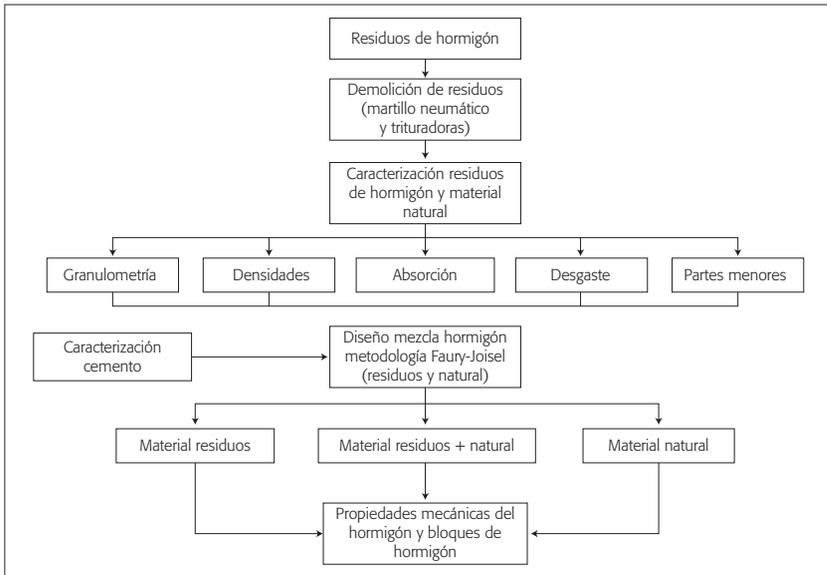


Figura 4. Diagrama de la metodología de la investigación

3. RESULTADOS

a. Caracterización de los residuos de hormigón

Los residuos de hormigón se caracterizaron por medio de los ensayos de laboratorio que se referencian en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Características físicas del árido reciclado y material natural para gravas [15]-[17], [20]

Ensayo	Norma	Resultado	
		Material natural	Material reciclado
Densidad aparente compactada (kg/dm ³)	NCh 1116	1,58	1,43
Densidad aparente suelta (kg/dm ³)	NCh 1116	1,47	1,34
Densidad real seca (kg/dm ³)	NCh 1117	2,66	2,47
Densidad real saturada sup. Seca (kg/dm ³)	NCh 1117	2,70	2,55
Densidad neta (kg/dm ³)	NCh 1117	2,76	2,67
Absorción (%)	NCh 1117	1,43	3,03
Partículas menores a 0,08 mm (%)	NCh 1223	0,08	1,71
Desgaste de las gravas (%)	NCh 1369	16,7	26,1

Tabla 3. Características físicas del árido reciclado y material natural para arenas [15], [17], [18], [21]

Ensayo	Norma	Resultado	
		Material natural	Material reciclado
Densidad aparente compactada (kg/dm ³)	NCh 1116	1,70	1,35
Densidad aparente suelta (kg/dm ³)	NCh 1116	1,59	1,24
Densidad real seca (kg/dm ³)	NCh 1239	2,59	2,24
Densidad real saturada sup. Seca (kg/dm ³)	NCh 1239	2,65	2,36
Densidad neta (kg/dm ³)	NCh 1239	2,74	2,55
Absorción (%)	NCh 1239	2,04	5,51
Partículas menores a 0,08 mm (%)	NCh 1223	1,50	1,50
Impurezas orgánicas	NCh 166	Amarillo claro	incoloro

b. Curvas granulométricas

Las curvas granulométricas del material natural y del residuo del hormigón utilizado en la investigación aparecen en las figuras 5 y 6, así como la curva granulométrica establecida en la norma chilena para la fabricación de hormigón [22]. En la investigación se utilizó la granulometría del residuo de hormigón tal como se obtuvo después del proceso de trituración.

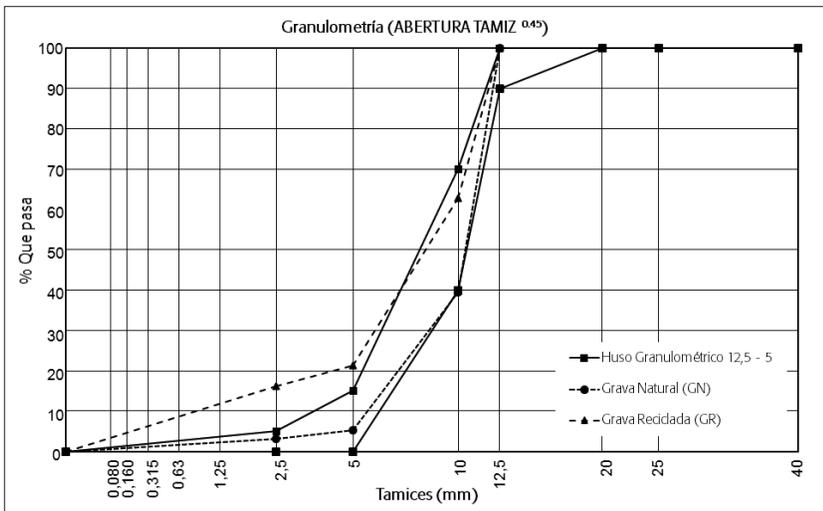


Figura 5. Curva granulométrica para gravas

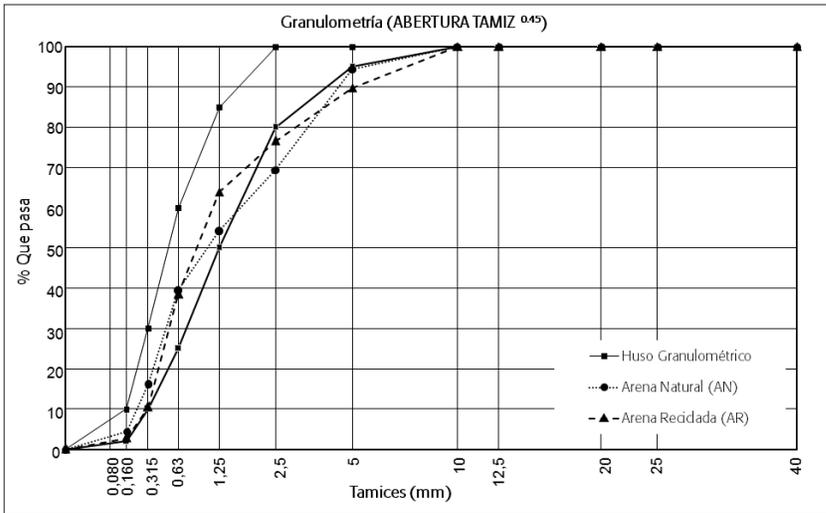


Figura 6. Curva granulométrica para arenas

c. Caracterización cemento

En el diseño de las mezclas de hormigón se empleó cemento Portland de alta resistencia, cuyas características aparecen en la tabla 4.

Tabla 4. Característica del cemento [23]

Peso específico	3.0 g/cm ³
Expansión autoclave	0.05 %
Fraguado inicial	2:00 horas
Fraguado final	2:40 horas
Pérdida por calcinación	2.0%
SO ₃	2.4 %
Resistencia a la compresión NCh 158 [24]	
3 días	300 kg/cm ²
7 días	400 kg/cm ²
28 días	520 kg/cm ²
7 días	620 kg/cm ²

d. Diseño mezcla de hormigón con metodología Faury-Joisel

La metodología utilizada para el diseño de las mezclas de hormigón fue la Faury-Joisel [3][19], que se fundamenta en la granulometría de los áridos. En el caso de la investigación, se realizaron seis diseños de mezclas diferentes. La primera y segunda solo son fabricadas con material natural (grava y arena), y la diferencia entre ellas es su resistencia de diseño (100 y 150 kg/cm²). Las mezclas tres y cuatro tienen grava de residuo y arena natural. De igual forma, la resistencia de diseño fue de 100 y 150 kg/cm².

Por último, las mezclas cinco y seis incorporan material de residuos (grava y arena), y sus resistencias de diseño nuevamente fueron 100 y 150 kg/cm². En la tabla 5 se observan los resultados obtenidos para los seis diseños descritos anteriormente, que según la metodología empleada tienen una confianza del 90%, un tamaño máximo de 12.5 mm, un asentamiento igual a cero, y cumplen los requerimientos del diseño [19].

Tabla 5. Resistencias obtenidas para los diseños del hormigón con material natural y reciclado

Tipo de diseño	Resistencia a los 28 días (kg/ cm ²)
Material grava y arena natural (100 kg/cm ²)	89
Material grava y arena natural (150 kg/cm ²)	173
Material arena natural y grava reciclada (100 kg/cm ²)	87
Material arena natural y grava reciclada (150 kg/cm ²)	146
Material grava reciclada y arena reciclada (100 kg/cm ²)	96
Material grava reciclada y arena reciclada (150 kg/cm ²)	136

e. Resistencia del hormigón y bloques de hormigón

Para determinar la resistencia de diseño del hormigón elaborado con los diferentes materiales se fabricaron tres muestras de cada uno, y así mismo fueron ensayadas a 7 días de curado. Posteriormente, con base en estos resultados, se seleccionó una sola resistencia para hacer con ella el estudio detallado del comportamiento del hormigón a diferentes periodos de curado (7,14 y 28 días), pues al final solo se fabricaron bloques de hormigón con

el material que presentó las condiciones más desfavorables. Se resalta que se fabricaron tres muestras en cada periodo de curado del hormigón (7, 14 y 28 días) como en el caso de los bloques que presentaron las condiciones más desfavorables.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

De los ensayos utilizados para determinar el comportamiento de los hormigones fabricados con material natural y con áridos reciclados, se obtuvieron los siguientes resultados:

En las tablas 2 y 3, densidades de los áridos naturales y los áridos de residuo de hormigón, se observa que existe una menor densidad en el material de residuo de hormigón; sin embargo, dichos valores se encuentran dentro de los rangos estipulados en la normativa chilena [16]. Con respecto a la absorción de agua del material reciclado (grava y arena), se estableció que el porcentaje era aproximadamente un 3% superior a lo establecido en la norma; sin embargo, no es una limitante para su uso en la fabricación de hormigones, si bien se debería tener cuidado en la dosificación de la mezcla. Con respecto al desgaste en la máquina de los Ángeles, las gravas cumplen con las especificaciones [16], aunque tienen aproximadamente un 10% menos del valor límite. Por último, la cantidad de finos que tiene el material reciclado, según especificaciones chilenas [16], cumple para los porcentajes de la arena, mientras que para la grava, presenta un valor levemente superior, que no representa dificultad en la fabricación de hormigón.

En la figura 7, resistencia promedio a la compresión de cilindros fabricados con material natural y reciclado y ensayados a los 7 días de curado, se puede observar que para el caso del hormigón con diseño de 100 kg/cm², la resistencia encontrada para las tres combinaciones utilizadas (grava y arena natural - grava reciclada y arena natural - grava y arena reciclada) es relativamente similar, pero se destaca una mayor resistencia cuando se utilizó material reciclado tanto para la arena como para la grava. De otra parte, los resultados obtenidos para el diseño de hormigón de 150 kg/cm², presentan resistencias muy diferentes para los materiales utilizados; el mejor comportamiento lo tiene la mezcla con grava y arena natural, seguida de la combinación de grava reciclada y arena natural. La diferencia de resistencia encontrada entre el material natural y el reciclado (grava y

arena) fue del 27%. Las resistencias promedios se determinaron a partir de los resultados de tres muestras.

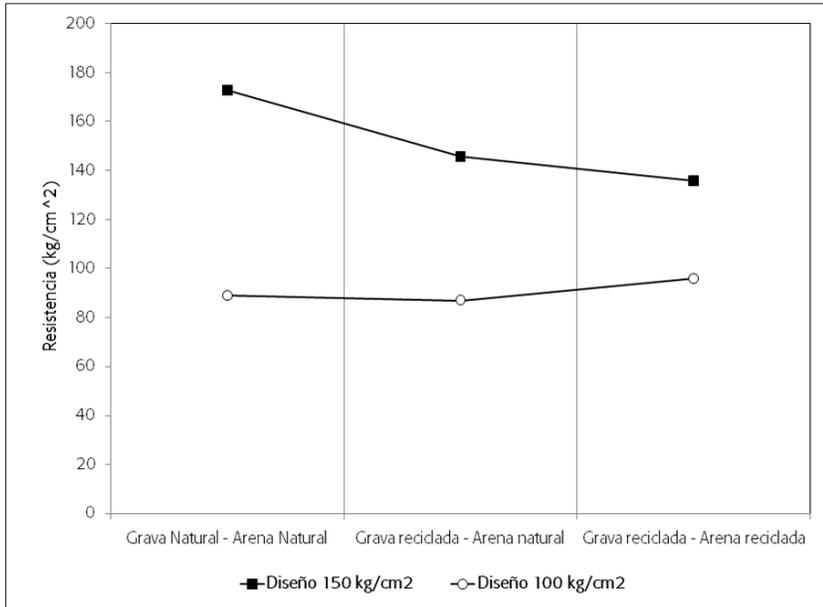


Figura 7. Resistencia a 7 días de curado

En la figura 8 se observa el comportamiento de la resistencia durante diferentes días de curado del hormigón con diseño de 150 kg/cm² de resistencia y varios materiales para su fabricación. De las curvas se puede mostrar que el hormigón fabricado con material natural presenta siempre los mayores valores de resistencia, sin importar el periodo de curado. De otra parte, la resistencia de las muestras con material de reciclado (grava y arena) es menor que la del material natural; sin embargo, su diferencia en magnitud no es muy significativa (6-10%).

Finalmente, la resistencia del hormigón fabricado con grava reciclada y arena natural resulta ser menor; esto explica la decisión de fabricar los bloques con este material para compararlos con el material natural y así establecer la condición más desfavorable en el estudio. Los valores de los puntos de las curvas corresponden al promedio de tres ensayos.

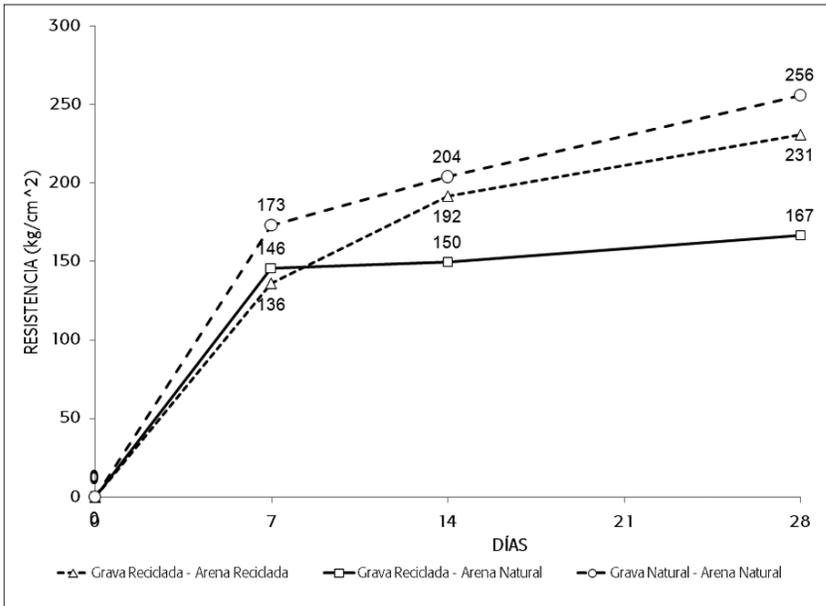


Figura 8. Resistencia del hormigón a diferentes periodos de curado

De la figura 9 se destaca el comportamiento de la resistencia de los bloques de hormigón a diferentes periodos de curado y con el material natural y la mezcla de grava reciclada y arena natural (menor resistencia observada del hormigón), y se obtiene que la resistencia entre los dos materiales estudiados es muy similar. Además, se sigue teniendo mayor resistencia con el material natural. De otra parte, la diferencia entre el material reciclado y el material natural no supera el 17% de su resistencia y mejor aun: cumple con las especificaciones de resistencia de la norma chilena (45 kg/cm^2) [22].

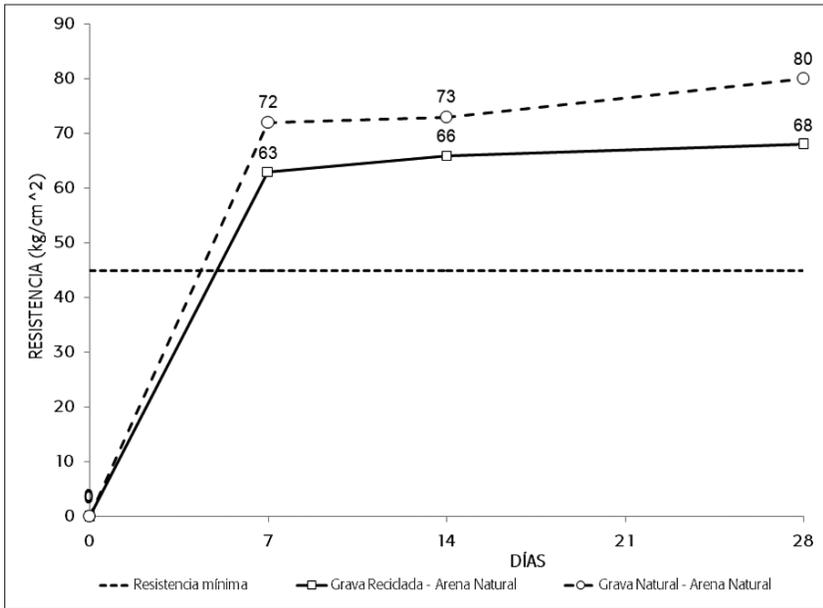


Figura 9. Resistencia bloques de hormigón

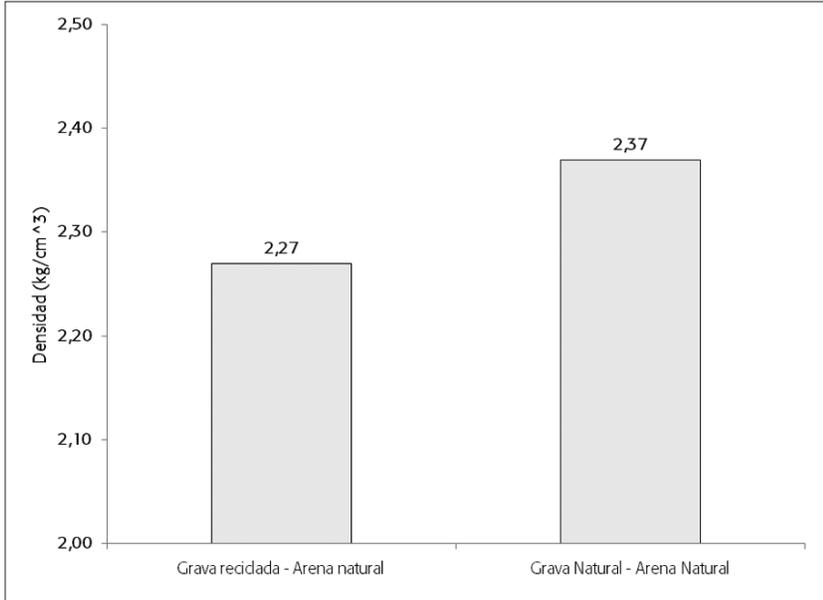


Figura 10. Densidad de los bloques de hormigón fabricados con material natural y reciclado

Finalmente, en la figura 10 se observa la densidad promedio de los bloques de hormigón, donde se presenta una densidad menor en los fabricados con material reciclado. Esto se debe principalmente a que el árido reciclado de grava tiene una densidad inferior al material natural.

Por último, en la tabla 6 se establece que los bloques de hormigón cumplen con la exigencia de la norma NCh 181 [25], que establece un valor límite de absorción por debajo de los 210 kg agua/m³ de hormigón. Adicionalmente, se resalta que la absorción es mayor en el árido reciclado, lo cual concuerda con lo observado en los ensayos iniciales (tabla 2).

Tabla 6. Absorción de los bloques de hormigón

Ensayo	Bloque de hormigón fabricado con grava reciclada y arena natural.	Bloque de hormigón fabricado con grava natural y arena natural
Kg agua /m ³ hormigón	141.34	126.31
Absorción (%)	6.7	5.6

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos de las resistencias del hormigón y los bloques de hormigón fabricados con áridos reciclados (grava y arena), se puede concluir que:

- Es factible reutilizar gravas y arenas recicladas en la fabricación de hormigón ya que se alcanzan resistencias similares al hormigón construido con materiales naturales y cuya magnitud difiere máximo un 10%.
- Los bloques de hormigón diseñados mediante el método de dosificación de mezclas de hormigón propuesto por Faury-Joisel y confeccionados con áridos reciclados pueden ser utilizados como elementos constructivos estructurales en la medida en que cumplen los estándares exigidos por la normativa chilena [22].
- Es viable reemplazar el 100% de árido natural (grava y arena) por material reciclado en la fabricación de bloques de hormigón, pues

solamente se afecta su resistencia en una magnitud máxima del 17% sin descuidar el cumplimiento de las normas chilenas de resistencia [22].

- Utilizar reciclado en la fabricación de hormigón y bloques de hormigón colabora con problemas medioambientales provocados por la extracción de áridos naturales y la generación de residuos producto de la actividad de la construcción.
- Los porcentajes de absorción de agua de los materiales reciclados son mayores que el árido natural, pero dicha característica no afecta el diseño ni la resistencia final de los bloques de hormigón.

Finalmente, se plantea la posibilidad de iniciar nuevas investigaciones acerca del uso del hormigón reciclado con diferentes procedimientos de diseño para la fabricación de hormigones y bloques de hormigón, con el objeto de extrapolar los resultados y su aplicabilidad en otros países de América Latina.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Debieb, and S. Kenai, "The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete". *Construction and Building Materials*, vol. 22, pp. 886-893, 2008.
- [2] J. Rolón, D. Nieves, R. Huete, B. Blandón, A. Terán & R. Pichardo, "Caracterización del hormigón elaborado con áridos reciclados producto de la demolición de estructuras de hormigón", *Materiales de Construcción*, vol. 57, n.º 288, pp. 5-15, 2007.
- [3] G. Valdés et. ál., "Estudio de las características físicas y mecánicas de hormigones y bloques de hormigón fabricados con áridos reciclados". *XVII Jornadas Chilenas del Hormigón*, octubre, Santiago, Chile, 2009.
- [4] M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí, & M. Barra, "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production on properties of recycled aggregate concrete", *Cement and Concrete Research*, vol. 37, pp. 735-742, 2007.
- [5] E. Vázquez, et ál., *Proc. RILEM International Conference on "The Use of Recycled Materials in Buildings and Structures"*, Barcelona, Spain, 2004.
- [6] M. Sánchez y P. Alaejos, "Influencia del árido reciclado en las propiedades del hormigón estructural", *Cemento y Hormigón*, n.º 889, pp. 54-61, 2006.
- [7] E. Murder, et ál., "Closed cycle construction: An integrated process for separation and reuse of C&D waste", *Waste Management*, vol. 27, pp. 1408-1415, 2007.

- [8] C. Poon, et ál., "Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks", *Construction and Building Materials*, vol. 16, n.º 5, pp. 281-289, 2002.
- [9] M. Rakshvir, and S. Barai. "Studies on recycled aggregates-based concrete", *Waste Management and Research*, vol. 24, pp. 225-233, 2006.
- [10] Montoya. et ál., "Reutilización de residuos del hormigón", *Revista BIT*, vol. 12, n.º 41, pp. 44-47, 2005.
- [11] C. Aguilar. et ál., "Uso de hormigón reciclado para la fabricación de hormigones", *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 20, n.º 1, pp. 35-44, 2005.
- [12] I.B. Topcu, "Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 27, N° 12, pp. 1817-1823, 1997.
- [13] I.B. Topcu, & S. Sengel, "Properties of concretes produced with waste concrete aggregate", *Cement and Concrete Research*, vol. 34, n.º 8, pp. 1307-1312, 2004.
- [14] I.B. Topcu, & N. Guncan. "Using waste concrete as aggregate", *Cement and Concrete Research*, vol. 25, n.º 7, pp. 1385-1390, 1995.
- [15] Instituto Nacional de Normalización, NCh1116.EOf1977, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente*, Santiago, Chile.
- [16] Instituto Nacional de Normalización, NCh1117.Of2010, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas*, Santiago, Chile.
- [17] Instituto Nacional de Normalización, NCh1223.Of1977, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación del material fino menor a 0,080 mm*, Santiago, Chile.
- [18] Instituto Nacional de Normalización, NCh1239.Of1977, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas*, Santiago, Chile.
- [19] H. Zabaleta, *Compendio de tecnología del hormigón*, 2da. ed., Publicaciones Instituto Chileno del Hormigón, 1996, pp. 85-95. Santiago, Chile.
- [20] Instituto Nacional de Normalización, NCh1369.Of1978, *Áridos - Determinación del desgaste de las gravas - Método de la Máquina de los Ángeles*, Santiago, Chile.
- [21] Instituto Nacional de Normalización, NCh166.Of2009, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de impurezas orgánicas en las arenas*, Santiago, Chile.
- [22] Instituto Nacional de Normalización, NCh1037.Of1977, *Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas*, Santiago, Chile.
- [23] ASTM C-595. American Society for Testing and materials, *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*, West Conshohocken, PA. 2003.
- [24] Instituto Nacional de Normalización, NCh158.Of1967, *Cementos - Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento*, Santiago, Chile.
- [25] Instituto Nacional de Normalización, NCh181.Of1965, *Bloques huecos de hormigón de cemento*, Santiago, Chile.