

# Efecto de la adición de cemento en hormigones con aridos reciclados

## Effect of the cement addition on recycled aggregates concrete

Viviana Letelier<sup>1</sup>, Rodrigo Osses<sup>2</sup>, Giacomo Moriconi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, Chile.

<sup>3</sup>Department of "Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica",  
Università Politecnica delle Marche.

E-mail: [viviana.letelier@ufrontera.cl](mailto:viviana.letelier@ufrontera.cl), [rodrigo.osses@ufrontera.cl](mailto:rodrigo.osses@ufrontera.cl), [g.moriconi@univpm.it](mailto:g.moriconi@univpm.it)

### INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del  
artículo:

Recibido  
01-07-2014  
Aceptado  
01-09-2014  
Publicado  
10-11-2014

Palabras Claves:  
Hormigón  
con áridos  
reciclados,  
áridos  
reciclados,  
propiedades  
mecánicas.

Article history:

Received  
01-07-2014  
Accepted  
01-09-2014  
Available  
10-11-2014

Keywords:  
Recycled  
concrete  
aggregates,  
recycled  
aggregates,  
mechanical  
properties

### Resumen

---

El presente estudio expone el análisis del comportamiento mecánico de hormigones utilizando un 40% de áridos reciclados. Para disminuir los efectos de los áridos reciclados, se aumento la cantidad de cemento especificado en la dosificación en porcentajes de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%. Los estudios fueron aplicados a hormigones estructurales utilizando áridos reciclados provenientes de demolición de pavimentos y sus resultados fueron comparados con un hormigón de control. Los resultados obtenidos muestran como, un aumento en la cantidad de cemento de 7.5%, permita obtener propiedades mecánicas del hormigón con áridos reciclados similares a las de un hormigón de control

### Abstract

---

This study presents the analysis of the mechanical behavior of concrete using 40% recycled aggregates. To reduce the effects of the recycled aggregates, the amount of cement is increased, by uprising in the dosage in 2.5%, 5%, 7.5% and 10%. The studies were applied to structural concrete using recycled aggregates from demolition of pavements and their results were compared with control concrete. The results obtained showed as an increase in the amount of 7.5% cement, allows to obtain mechanical properties of the concrete containing recycled aggregates similar to those of a control concrete.

## 1. Introducción

La reutilización del hormigón, como materia prima para hormigón reciclado, permite reducir significativamente el volumen de los escombros que van a terminar en botaderos y/o lugares no autorizados y, por otra parte, reduce la extracción de recursos naturales, siempre limitados, disminuyendo así el impacto realizado al medioambiente.

Aunque la tasa de reciclaje es alta en algunos países, el uso de áridos reciclados se limita a aplicaciones de baja calidad, clasificándose habitualmente según las tasas de absorción debido a la porosidad y cantidad de grietas. Alta absorción indica alto nivel de mortero adherido a los áridos reciclados, lo que generalmente conduce a un hormigón de resistencia inferior [1-2].

Datos de la literatura [3-10], han demostrado como, el uso de áridos reciclados utilizados en cantidades relativamente bajas, no modifica mayormente las propiedades del hormigón, y actualmente, diversas normativas técnicas europeas autorizan el uso de hasta un 30% de áridos reciclados en la producción de hormigón estructural.

Estudios realizados en hormigones fabricados con áridos reciclados [1-2;11-13], han permitido observar cómo, una importante diferencia en el comportamiento mecánico entre hormigones con áridos reciclados y hormigones convencionales, se debe al mortero viejo adherido a la superficie de los áridos reciclados.

El hormigón con áridos reciclados, presenta una estructura más compleja que la del hormigón convencional porque, a diferencia de este último, tiene dos zonas interfaciales. Una de estas zonas, se crea entre el árido reciclado y la nueva mezcla de cemento (nueva zona interfacial) y la otra, entre el árido reciclado y el viejo mortero adherido a su superficie (vieja zona interfacial) [1-2,11]. De este modo, será la cantidad, así como la calidad, del mortero adherido a la superficie de los áridos reciclados, uno de los principales parámetros que influenciarán el comportamiento mecánico del hormigón reciclado.

En general, a mayor porcentaje de áridos reciclados utilizados, se presentan mayores variaciones en las propiedades del nuevo hormigón debido a que aumenta la probabilidad de unión de zonas débiles [14]. Según la Monografía de la EHE, 2006 [15] sobre hormigones con áridos reciclados, al considerar un sustitución del 100% del árido grueso, las pérdidas en resistencia suelen estar alrededor del 20%; cuando la sustitución baja al 50%, las pérdidas de resistencia se sitúan entre el 2 y el 15% y cuando la sustitución se limita al 20-30%, la pérdida de resistencia suele ser inferior al 5%.

Para disminuir el efecto del árido reciclado, diversos autores [7, 10, 16], han ajustado la relación agua/cemento, aumentando la cantidad de cemento utilizado, de este modo se busca lograr resistencias deseables, comparables a las de un hormigón de control. Estos estudios, han indicado que un 5% extra de cemento puede ser necesario para compensar la reducción de resistencia. En el presente estudio, se realizaron pruebas considerando un 2.5, 5, 7.5 y 10% de adición de cemento, en la fabricación de hormigones con un 40% de áridos reciclados

Considerando estos precedentes, la metodología propuesta busca evaluar posibles mejoras en las propiedades mecánicas de los hormigones que utilizan un 40% de áridos reciclados, a través del aumento de la cantidad de cemento.

## 2. Programa experimental

Debido a la amplia variabilidad de métodos utilizados para trabajar con los áridos reciclados, como una primera etapa de esta experimentación, se realizaron pruebas para analizar el método de amasado y la cantidad de presaturación necesaria para obtener menores pérdidas de resistencia respecto a un hormigón de control.

Para evaluar los métodos de amasado, se analizaron tres variaciones distintas. El primero de ellos fue el método de la norma Nch1018 Hormigón – Preparación de mezclas para ensayos en laboratorio [14], el cual consiste en agregar toda la grava, la arena, el cemento y el agua dentro de la betonera, revolver la mezcla durante 3 minutos, luego dejar reposar por otros 3 minutos, y revolver nuevamente por otros 2 minutos. Para el segundo método se utilizó un tipo de amasado ejecutado con anterioridad en ensayos con áridos reciclados, éste consistía en colocar la mitad del árido grueso en la betonera previo al inicio del mezclado. Iniciar el mezclado y colocar la mitad del árido fino y 1/3 del árido reciclado. Agregar la mitad del cemento más la mitad del agua total. Luego se agregó el resto de los áridos y lo restante de árido reciclado. Para finalizar se agregó la otra mitad del cemento y el agua. Con todos los componentes dentro de la betonera se mezcló por 3 minutos, se dejó reposar por 3 minutos y luego se mezcló por 2 minutos más. Para el tercer método se utilizó el amasado en 2 etapas [1], el cual consistía en agregar todo el árido grueso convencional como reciclado junto con el árido fino y mezclar por 60 segundos. Agregar la mitad del agua total y mezclar por otros 60 segundos. Agregar la totalidad del cemento y mezclar por otros 30 segundos. Luego agregar el agua restante y mezclar por 120 segundos. Para la realización de estos tres métodos de amasados se utilizaron áridos reciclados con 24 horas de pre saturación.

Para evitar problemas de trabajabilidad, de acuerdo a las sugerencias realizadas por distintos estudios [17-18], los áridos reciclados deberían sometidos a una pre-saturación, por esto, se realizó un análisis con distintos porcentajes de pre saturación, que nos permitiera reconocer el grado de saturación necesario para evitar mayores pérdidas de resistencia. Se realizaron hormigones con áridos sin pre saturación, con una pre-saturación de 24 horas equivalente al 80% de presaturación. Y con saturación de 48 horas equivalente a mas de un 90% de pre-saturación. Para la realización de este estudio los hormigones de prueba se realizaron siguiendo el método de 2 etapas [1]

La evaluación de las propiedades mecánicas de esta primera etapa, se realizó mediante ensayos de compresión y flexotracción. Los ensayos de compresión se realizaron a los 28 días sobre probetas cubicas de 15x15 cm y, los ensayos de flexotracción, también a los 28 días sobre probetas prismáticas de 15x15x50 cm.

Una vez determinados el método de amasado y la cantidad de pre-saturación que se aplicarían dentro del estudio, se comenzó con el análisis del efecto del aumento de la cantidad de cemento.

La evaluación de las propiedades mecánicas de los hormigones fabricados con un 40% de áridos reciclados sometidos a abrasión, se realizó mediante ensayos de compresión y flexotracción. Los ensayos de compresión se realizaron a los 7, 14, 28 y 90 días sobre probetas cúbicas de 15x15 cm y, los ensayos de flexotracción, a los 28 y 90 días sobre probetas prismáticas de 15x15x50 cm.

### Caracterización de materiales utilizados

Los áridos reciclados utilizados para la fabricación de hormigones fueron obtenidos de demolición de pavimentos de hormigón. Los testigos realizados sobre el pavimento dieron una resistencia promedio de 54 MPa. Debido al mortero adherido a la superficie, los áridos reciclados presentaron una textura áspera y muy porosa, Figura 1.

Figura 1. Áridos reciclados



(a) 6.3-9 mm



(b) 9-12,5 mm



(c) 12,5-19 mm

Los valores de las densidades y absorciones de los áridos utilizados se detallan en la Tabla 1. Como se observa el porcentaje de absorción de agua no tiene una relación directa con la cantidad de revoluciones aplicadas ya que las características de los áridos reciclados varían dependiendo del hormigón de origen.

	<b>Arena</b>	<b>Gravilla natural</b>	<b>Gravilla reciclada</b>
<b>Densidad Real Seca (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2520	2640	2330
<b>Absorción de Agua (%)</b>	2,8	1,7	6.3

Tabla 1 Densidades y absorciones áridos

Para la fabricación de los hormigones se utilizó cemento clase puzolánico, grado corriente, Tabla 2.

	Valores	Requisitos NCh 148 Of. 68
<b>Características Físicas y Mecánicas</b>		
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,8	
Expansión en autoclave (%)	0,1	1,0 máx
Fraguado Inicial (h:m)	02:40	01:00 mín
Fraguado Final (h:m)	03:40	12:00 máx
<b>Resistencia Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
3 días	280	
7 días	320	180 min
28 días	410	250 min
<b>Características Químicas</b>		
Pérdida por Calcinación (%)	4,0	5,0 máx
S03 (%)	3,5	4,0 máx

Tabla 2 Características del cemento clase puzolánico

### Hormigón con áridos reciclados

Para la comparación de los resultados se realizaron tres tipos de hormigones, un hormigón de control (HC), para el cual se utilizaron solo áridos naturales y hormigones con un 40% de áridos reciclados con adición de cemento con la sigla HRXXC, donde xx corresponde al porcentaje de cemento adicionado. Para todos los hormigones, el tamaño máximo utilizado para el árido grueso fue de 19 mm. En el caso del árido reciclado, solo se realizaron reemplazos entre las fracciones entre 6,3 y 19 mm. Esto porque el tamaño del árido reciclado a utilizar influye directamente en las propiedades del hormigón, debido a que la cantidad de mortero adherido a los áridos reciclados aumenta cuanto menor es el tamaño de las partículas [20].

Los valores utilizados en la dosificación de los hormigones, los resultados registrados para los ensayos de docilidad (cono de abrams) y el contenido de aire se presentan en la Tabla 3.

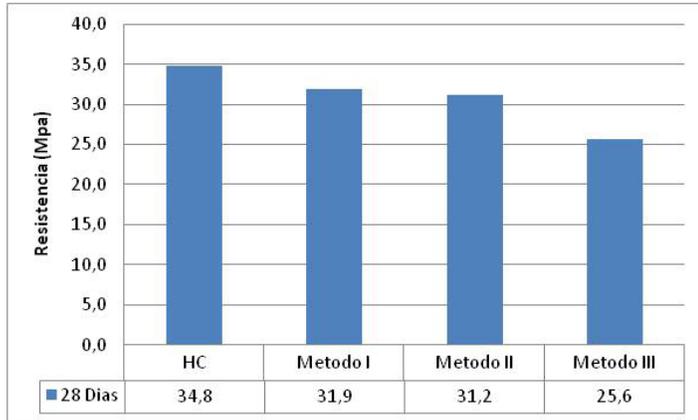
Código	HC	HR <sub>2,5C</sub>	HR <sub>5,0C</sub>	HR <sub>7,5C</sub>	HR <sub>10C</sub>
<b>Tipo Árido</b>	Natural	Reciclado	Reciclado	Reciclado	Reciclado
<b>Arena (Kg)</b>	782	782	782	782	782
<b>Gravilla natural (2.36-19mm)</b>	1024	302	302	302	302
<b>Gravilla reciclada (6,3-19mm)</b>	-	722	722	722	722
<b>Cemento (Kg)</b>	382	392	401	411	420
<b>A/C</b>	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39
<b>Cono (cm)</b>	4.6	3.4	5.3	2.5	2.2
<b>Contenido de aire (%)</b>	1.9	1.2	1.1	1.3	1.2

Tabla 3 Dosificación de hormigones y pruebas en el hormigón fresco

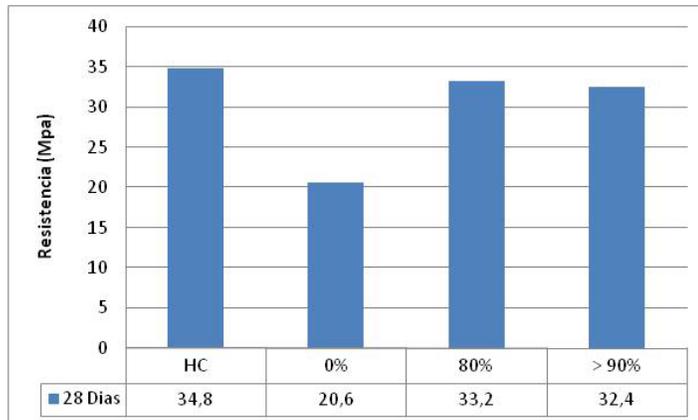
### 3. Resultados & Discusión

#### Resistencia a compresión

La figura 2, presenta los resultados de las resistencias a la compresión de los hormigones realizados por los tres distintos métodos de amasado y por los distintos porcentajes de saturación de los áridos reciclados, respectivamente. Para todas estas pruebas se utilizaron las dosificaciones HR



a) Variación método amasado



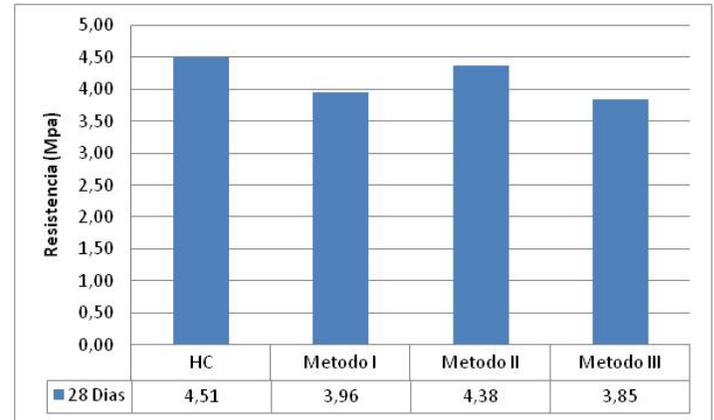
b) Variación pre-saturación áridos reciclados

Figura 2 Resistencia a compresión

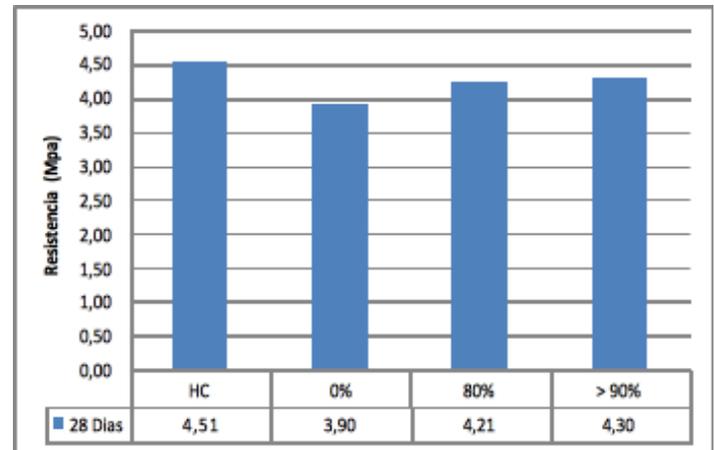
Con los resultados obtenidos se puede afirmar que el método de amasado que arrojó una resistencia a la compresión similar al hormigón de control es el método de la norma NCh1018 [16], teniendo solo una disminución del 8,4%. Para el caso de la saturación del árido reciclado, la saturación del 80% otorgó la resistencia a la compresión más equivalente al hormigón de control, solo con una disminución del 5%.

En lo que se refiere a la flexotracción el método II de amasado es el que presenta una mayor resistencia, siendo esta menor en un 3% en comparación al hormigón de control. El porcentaje de saturación que alcanzó una mayor cercanía al hormigón de control fue la > 90%, la cual era un 5% menor a este.

La figura 3, presenta los resultados de las resistencias a la flexotracción de los hormigones realizados por los tres métodos de amasado y por los tres porcentajes de saturación de los áridos reciclados respectivamente



a) Variación método amasado



b) Variación pre-saturación áridos reciclados

Figura 3. Resistencia a flexo-tracción

Por lo anterior, para realizar la experimentación relacionada a la disminución de áridos reciclados se utilizó la metodología propuesta por la NCh1018 [16] para la preparación del hormigón, con una presaturación de 24, que da como resultado una saturación cercana al 80 %.

En la Figura 4, se presentan los resultados obtenidos de las resistencias a compresión a los 7, 14, 28 y 90 días.

De la figura 4, se puede observar, como los hormigones con áridos reciclados, en comparación al hormigón de control, tengan una mayor tasa de ganancia de resistencia a los 90 días respecto a los 28 días. Esta situación, es similar a la ocurrida diversos estudios [10,23] donde, la mayor resistencia del hormigón preparado con áridos reciclados, se atribuyó a una unión más fuerte desarrollada en la zona interfacial entre la matriz de cemento y el agregado grueso. Yu and Shui, 2013 [24] postulan que durante el proceso de hidratación de los cementos, existe un porcentaje de partículas que no reaccionan, por lo que al tener los áridos reciclados mortero adherido a su superficie con partículas que no reaccionaron originalmente, es posible que al ser sometidos nuevamente a un proceso de hidratación estas partículas se reactiven, generando una mayor tasa de ganancia de resistencia. Además se considera que, el desarrollo de la unión interfacial, puede ser diferente en los hormigones con diferentes tipos de agregados debido a que el hormigón con áridos reciclados presenta un proceso de hidratación y de endurecimiento mas lento que el hormigón tradicional [14,25-26]. Un enlace más fuerte, entre el cemento y el agregado grueso reciclado, puede ser capaz de compensar, en algunos grados, el efecto negativo debido a la utilización de un agregado más débil, después de un prolongado período de curado.

Como se observa, a los 28 días sólo el hormigón con un 7,5% de adición de cemento es capaz de igualar las resistencias del hormigón de control. A los 28 días el hormigón con un 2,5% y un 5% de adición de cemento, presentaban una pérdida de resistencia de 21% y 14% respectivamente con respecto al hormigón con áridos naturales. Sin embargo a los 90 días, sólo el hormigón con un 2,5% de cemento presenta una resistencia menor del hormigón de control, siendo esta pérdida de resistencia de tan solo un 4%.

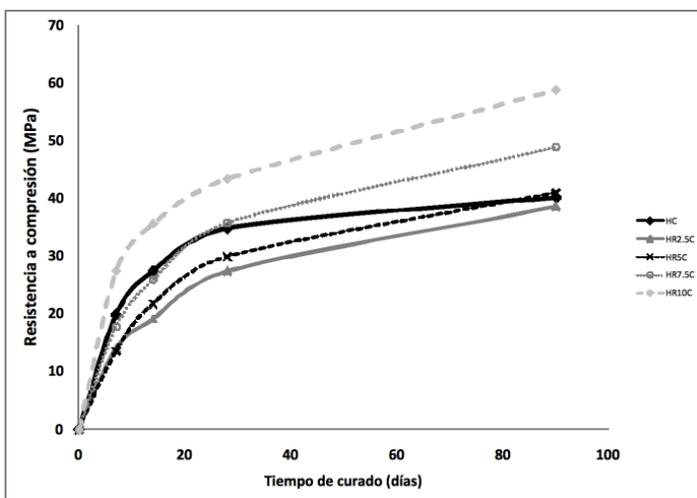


Figura 4 Resistencias a compresión a los 7, 14, 28 y 90 días

## Resistencia a tracción

Los resultados de las resistencias a tracción son resumidos en la Figura 5. Como se observa, los datos no tienen mucha variación entre ellos, lo que permite concluir, al igual que otros autores, que el uso de los áridos reciclados no tiene una elevada influencia sobre este parámetro [21,27]

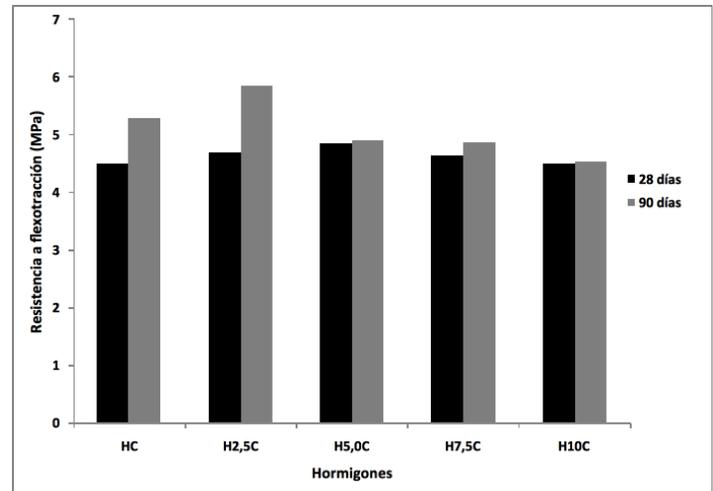


Figura 5 Resistencias a flexotracción

## 4. Conclusiones

Las absorciones de agua, en el árido reciclado utilizado en el estudio, se registran cerca de cuatro veces la del árido natural.

Las pruebas realizadas para determinar el método de amasado concluyen que las especificaciones dadas en la normativa NCh1018Of 2009 dan como resultado mejores resistencias a compresión, en comparación a otras metodologías propuestas por para utilizar en hormigones con áridos reciclados.

La presaturación necesaria para obtener menores pérdidas de resistencia en los hormigones con áridos reciclados realizados en este estudio fue de 24 hrs.

A los 28 días, solo el hormigón con áridos reciclados con un 7.5% de adición de cemento logra igualar las resistencias a compresión del hormigón de control, obteniéndose para adiciones de 2.5% y 5% una pérdida de resistencia de 21% y 14% respectivamente. A los 90 días se observa una mayor tasa de ganancia de resistencia de los hormigones reciclados en comparación al hormigón de control, quedando solo el hormigón con áridos reciclados con un 2.5% de cemento con una resistencia menor en un 4% al hormigón con áridos naturales

## Bibliografía

- [1] Tam V.W.Y., Gao X.F., Tam C.M., "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", *Cement and Concrete Research* 35, pp. 1195-1203. 2005
- [2] Tam V.W.Y., Gao X.F., Tam C.M., Ng K.M. "Physio-chemical reactions in recycled aggregate concrete", *Journal of Hazardous Materials* 163, pp. 823-828. 2008
- [3] Xiao J.; Li J.; Zhang Ch. "Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading". *Cement and Concrete Research* 35(6) pp. 1187-1194. 2005
- [4] Rahal K., "Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate". *Building and Environment* 42(1), pp. 407-415. 2007
- [5] Tam V.W.Y.; Wang K.; Tam C.M. "Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis". *Journal of Hazardous Materials* 152(2), pp. 703-714. 2008
- [6] Padmini A.K., Ramamurthy K., Mathews M.S. "Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete". *Construction and Building Materials* 23(2), pp. 829-836. 2009
- [7] Li X., "Recycling and reuse of waste concrete in China: Part II. Structural behaviour of recycled aggregate concrete and engineering applications". *Resources, Conservation and Recycling*, 53(3), pp. 107-112. 2009
- [8] Bairagi V.K., Ravande K., Pareek V.K. "Behaviour of concrete with different proportions of natural and recycled aggregates", *Resources Conservations and Recycling* 9, pp. 109-126. 1993
- [9] Eguchi K., Teranishi K., Nakagome A., Kishimoto H., Shinozaki K., Narikawa M., "Application of Recycled Coarse Aggregate by Mixture to Concrete Construction". *Construction and Building Materials* 21, pp. 1542-1551. 2007
- [10] Etxeberria M, Vázquez E, Marí A, Barra M. "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete". *Cement and Concrete Research* 37, pp. 735-742. 2007
- [11] Poon C.S., Shui Z.H., Lam L. "Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates". *Construction and Building Materials* 18, pp. 461-468. 2004
- [12] Otsuki N, Miyazato S, Yordsudjai W. "Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete". *J Mater Civ Eng*;15(5): pp. 443-51. 2003
- [13] Lee G.C., Choi H.B "Study on interfacial transition zone properties of recycled aggregate by micro-hardness test", *Construction and Building Materials* 40, pp. 455-460. 2013
- [14] Kwan Wai Hoe, Ramli Mahyuddin, Kam Kenn Jhun, Sulieman Mohd Zailan. "Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties". *Construction and Building Materials* 26, pp. 565-573. 2012
- [15] Asociación científico-técnica del hormigón estructural Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural, Monografía (ACHE), M-11. 2006
- [16] Sami, W., Tabsh, Akmal, S., & Abdelfatah. (2009). influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction and building materials*, 25, 1165-1167.
- [17] Hormigon- Preparación de mezclas para ensayos de laboratorio, NCh 1018, 2009
- [18] Agrela F, Sánchez de Juan M., Ayuso J., Galdes V.L., Jiménez J.R. "Limiting properties in the characterization of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete", *Construction and Building Materials* 25, pp. 3950-3955. 2011
- [19] Barreto M., de Brito J., Santos A. "Métodos de evaluación de las reacciones álcali-sílice en hormigones con áridos reciclados", *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 24 No, pp. 141-152. 2009
- [20] Hansen, T.C. *Recycling of Demolished Concrete Masonry*, Rilem Report No. 6, E&FN Spon, London, Great Britain, pp. 316. 1992
- [21] S. Manzi, C. Mazzotti, and M. C. Bignozzi, "Short and long-term behaviour of structural concrete with recycled concrete aggregate," *Cement and Concrete Composites*, no. 37, pp. 312-318. 2013
- [22] Matias D., de Brito J., Rosa A., Pedro D, "Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates" – Influence of the use of superplasticizers, *Construction and Building Materials* 44, pp. 101-109. 2013
- [23] Letelier V., Osses R., Valdés G. y Moriconi G. "Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados". *Revista Ingeniería y Ciencia*, Vol 10, Nº19 pp. 179-195. 2014
- [24] R. Yu, Z. Shui, "Influence of agglomeration of a recycled cement additive on the hydration and microstructure development of cement based materials". *Construction and Building Materials* 49 pp. 841-851. 2013



[25] Mas Benito, Cladera Antoni, del Olmo Teodoro, Pitarch Francisco. "Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use". *Construction and Building Materials* 27, pp. 612–622. 2012

[26] Evangelista L., de Brito J. "Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates", *Cement and Concrete Composites* 29, pp. 397-401. 2007

[27] González-Fonteboá B., Martínez-Abella F., "Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties", *Building and Environment* 43, pp. 429-437. 2008