



PROCESAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE ÁRIDOS RECICLADOS PARA MAYOR VALOR AGREGADO

**Áridos reciclados de hormigón, una oportunidad viable para la
industria del prefabricado en Cuba.**

*Recycled concrete aggregates, a viable opportunity for the prefabrication
industry in Cuba.*

Lesday Martínez Fernández¹

1-Lesday Martínez Fernández. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

E-mail: lesday@clv.edu.cu

Resumen

La industria de la construcción es una de las que más modifican el ambiente debido a que exige un gran consumo de recursos naturales y produce grandes volúmenes de desechos. Aun cuando la mayoría de los materiales de la construcción que se desperdician son considerados desechos, lo que en realidad se tiene como resultado del proceso constructivo son residuos, de los cuales para muchos su destino final es ir a los vertederos, pero algunos tienen gran potencial para ser reciclados y reutilizados y de esta manera reincorporarlos al proceso constructivo. El manejo de los desechos es una cultura que se debe implementar con la participación de todos.

El trabajo que se presenta demuestra el potencial técnico que tienen los residuos de hormigón, obtenidos a partir de piezas de hormigón prefabricadas y declarados no conformes, según el sistema de calidad vigente en la Empresa de prefabricado Industrial de Villa Clara. Estos residuos, luego de ser molidos y tamizados, separándolos en fracciones fina y gruesa se han utilizado como áridos en la propia empresa para elaborar hormigones de 25 MPa, en sustituciones parciales del 10, 20 y 30% de la gravilla que normalmente se emplea.

Se expone una caracterización física completa de los áridos de hormigón reciclado (RCA-por sus siglas en inglés). Desde el punto de vista mecánico los hormigones elaborados superan las resistencias de la muestra patrón, demostrando las atractivas



cualidades que tienen los RCA para dicha empresa, además de representar una opción viable y compatible ambientalmente.

Abstract

The industry of the construction is one of those that more modifies the environment because it demands a great consumption of natural resources and it produces big volumes of waste. Even when most of the materials of the construction that are wasted waste are considered, that that in fact one has as a result of the constructive process they are residuals, of which for many their final destination is to go to the drains, but some have great potential to be recycled and used again and this way to reinstate them to the constructive process. The handling of the waste is a culture that should be implemented with the participation of all.

The work that is presented demonstrates the technical potential that it have the concrete residuals, obtained starting from pieces of concrete prefabricate and declared you don't conform, according to the system of effective quality in the Company of Industrial prefabricate of Villa Clara. These residuals, after being milled and sifted, separating them in fractions fine and coarse it have been used as aggregates in the own company to elaborate concretes of 25 MPa, in partial substitutions of the 10, 20 and 30% of the coarse aggregates that it is usually used.

A complete physical characterization of the recycled concrete aggregate is exposed (RCA-for its initials in English). From the mechanical point of view the elaborated concretes overcome the resistances of the sample pattern, demonstrating the attractive qualities that have the RCA for this company, besides representing a viable and compatible option environmentally.

Palabras Clave: Áridos de Hormigón Reciclado; Prefabricado; Residuo; Gestión de Residuos; Medio Ambiente

Keywords: *Recycled concrete aggregate; Prefabricate; Waste; Waste administration; Environmental*

1. Introducción

Durante miles de años, la mejora de la calidad de vida ha sido el indicador de cualquier sociedad desarrollada. Este indicador siempre se le ha conferido a la presencia de elementos e infraestructuras que faciliten el desarrollo de las actividades diarias sin



tener en cuenta el impacto que podría tener. La historia nos ha ilustrado que la sociedad ha hecho de la recuperación y el uso de los elementos rechazados una práctica habitual.

Numerosas civilizaciones han utilizado y reutilizado materiales para la construcción de su propia arquitectura (ya sea destruida por la guerra o por causas naturales) para la construcción de nuevos edificios.

Aparejado a esta mejora de calidad de vida, el medio ambiente se encuentra afectado debido al desarrollo alcanzado con el transcurso de los años, ya que la industria de la construcción es una de las que más lo modifican debido a que exige un gran consumo de recursos naturales y produce grandes volúmenes de desechos. Es por eso que se han hecho y se están haciendo investigaciones con el fin de manejar desechos en la construcción para satisfacer las necesidades de los habitantes, este desarrollo es un llamado a hacer acciones responsables con nuestro planeta. [3,2].

El tema de los residuos en la construcción preocupa debido al crecimiento de esta actividad y la falta de conocimiento en la gestión y tratamiento de los desechos en el ámbito empresarial y de proyecto. Reutilizar éstos escombros como áridos para hormigones constituye un gran reto en todo el mundo debido a que como concepto básico la pérdida económica es de 10% del costo total de la obra [4], razón como esta obliga a la sociedad cubana no quedarse atrás dándole total importancia al reciclado de los escombros con el objetivo de convertirlos en materia prima para la construcción.

Por consiguiente los residuos sólidos se generan a medida que se desarrolla dicha actividad, lo cual incluye la construcción y la demolición. El reciclaje de este tipo de residuos mediante su transformación en áridos reduce la demanda de extracción de materias primas naturales para emprendimientos nuevos en el sector de la construcción.

Un propósito ineludible es utilizar materiales distintos de los áridos naturales con el objeto de ahorrar las reservas de áridos naturales para las obras más importantes. Las consideraciones para el desarrollo sostenible son básicas a fin de garantizar recursos suficientes destinados a las generaciones futuras.

Esta investigación se orienta a analizar cómo a partir de los residuos de hormigón se reutilizan los mismos en forma de árido grueso (RCA correspondiente a sus siglas en inglés recycled concrete aggregate) para elaborar hormigones de mediana resistencia (25 MPa). Para esto se recolectaron paneles no conformes procedentes de la planta de



prefabricado IMS, ubicada en el municipio cabecera de Santa Clara provincia de Villa Clara, para ser triturados en un molino de mandíbula que reduce el material a un tamaño de 19 a 5mm. Dicho molino está ubicado en un Taller de Mantenimiento Constructivo en Manicaragua, municipio que corresponde a la misma provincia. De este proceso se obtiene el árido grueso que se empleará en la elaboración del hormigón.

A partir de lo antes planteado se caracteriza como situación problemática que estas piezas prefabricadas no conformes y sin utilidad, constituyen desechos y se acumula en el área de escombros de dicha planta, su recuperación constituiría un renglón alternativo que aportaría a las producciones de elementos prefabricados; evitando la sobreexplotación de canteras de áridos naturales que son recursos no renovables. Se demuestra en la literatura más reciente que es posible obtener RCA de buen comportamiento físico-mecánico y durable.

1.1 Potencialidades del uso de los áridos reciclados para la fabricación de hormigón en Cuba.

La disponibilidad en Cuba de varias plantas de prefabricado con producciones de hormigón entre 20 y 35MPa avalados por el sistema de calidad instaurado en cada una de ellas, hace atractiva la posibilidad de incorporar al proceso productivo las producciones no conformes de las cuales no está exenta cualquier planta elaborada de hormigón. Lográndose así una gestión del residuo de construcción amigable con el medio ambiente y reduciendo la explotación de materias primas no renovables.

De igual forma en cada planta se cuenta con la disponibilidad de hormigón en forma de probetas que una vez realizado los ensayos pasan a formar parte de los escombros de dicha instalación. A continuación se observa la disponibilidad de residuos sólidos que se han estimado según el Informe del Diagnóstico Ambiental de la Unidad Empresarial.

Tabla 1: Estimado de la cantidad de residuos sólidos de hormigón generadas mensualmente. (Fuente: EPI. VC.)

Plantas de Prefabricado	Cantidad generada mensual
Remedios	22.7 m ³
Sagua la Grande	5.60 m ³
IMS (santa Clara)	28.3 m ³
Luis Ramírez López	23.0 m ³

Para la producción de hormigón de acuerdo a la resistencia del material a obtener, según lo establecen los proyectos y los materiales que se poseen, la Empresa de Producción



Industrial (EPI) de Villa Clara se rige por las dosificaciones de hormigón establecida anualmente, por el Laboratorio Provincial de Materiales de la Construcción, perteneciente a la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de la Construcción (INVES CONS).

A continuación se presenta el consumo de materiales áridos de cada una de las plantas que pertenecen a la EPI.

Tabla 2: Consumo de áridos por plantas de producción.

Plantas	Etapa	Arena de El Purio (m ³)		Arena del Hoyo (m ³)		Gravilla (m ³)		Granito (m ³)	
		Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real
Remedios	Oct. 2016	148.0	123.6	-	-	219.7	-	-	-
Sagua	Oct. 2016	-	-	121.5	117.6	128.3	128.0	-	-
IMS	Oct. 2016	322.3	321.7	-	-	337.6	332.6	1.7	1.2
Luis R. L.	Mayo 2017	643.1	629.0	-	-	507.1	52.5	-	-

2. Metodología

Se tomó como árido patrón la gravilla 19-10 mm que se emplea para la fabricación de hormigón en la planta de prefabricado de Remedios. La arena de la cantera El Purio procede de una roca caliza graduada entre 9.52 y 0.149 mm. Ambos cumplen con los requisitos exigidos en la NC: 251:2013. [5]

Se empleó como Aditivo Dynamon Sx-32 que es una solución acuosa al 22.1% de polímeros acrílicos, exenta de formaldehído, capaz de dispersar eficazmente los gránulos del cemento con componentes secundarios que mejoran notablemente la cohesión y la facilidad de bombeo del hormigón. Es un superplastificante reductor de agua de alto rango de última generación; se utiliza al 1% del peso del cemento, es un producto elaborado con la participación de Cuba e Italia. La acción defloculante del Dynamon Sx-32 se utilizada ventajosamente para reducir el agua, manteniendo la consistencia: se obtiene, como consecuencia, un aumento de la resistencia mecánica, reducción de la permeabilidad y un incremento de la durabilidad.

El Cemento P-350 que se utiliza en esta planta procede de la fábrica Carl Marx ubicada en Cienfuegos, cumpliendo con las exigencias de la NC 95:2011. [6]

Como árido de hormigón reciclado el correspondiente al desmenuzamiento, trituración y tamizado de paneles prefabricados no conformes con el objetivo de separar la fracción gruesa y fina.

Para la trituración se utilizó el molino de mandíbulas ubicado en el Taller de Mantenimiento Constructivo en el municipio de Manicaragua. En este tipo de instalación es posible adicionar el hormigón fraccionado de dimensiones aproximadas de 100mm y obtener el hormigón de fracción granulométrica menor, lo que constituye el árido de hormigón reciclado. Observar figura 2.



Figura 2. Molino de mandíbulas empleado para obtener el árido de hormigón reciclado.

La matriz experimental propuesta consideró sustituir el árido natural grueso (gravilla 19-10) por árido de hormigón reciclado en su fracción gruesa hasta un 30 % como se muestra seguidamente para 40 dm³.

Tabla 3: Mezclas estudiadas.

Materiales	Muestra patrón	Sustitución del árido grueso natural por RCA en %		
		10	20	30
Cemento (kg)	12.00	12.00	12.00	12.00
Arena (kg)	25.60	25.60	25.60	25.60
Polvo de piedra (kg)	10.84	10.84	10.84	10.84
Gravilla (kg)	38.84	34.85	31.10	27.19
RCA (kg)	0	3.88	7.77	11.65
Aditivo (lts)	0.112	0.112	0.112	0.112

3. Resultados y Discusión

3.1 Propiedades físicas y mecánicas del material reciclado. Comparación con el árido natural.

Se estudió el comportamiento granulométrico del árido de hormigón reciclado, así como, la mezcla resultante cuando se sustituye la gravilla en los diferentes porcentajes estudiados por RCA obteniéndose los resultados que a continuación se presentan.

Tabla 4: Análisis granulométrico para los materiales en estudio.

Material	% Pasado por cada tamiz										
	25.4	19.1	12.7	9.52	4.76	2.38	0.119	0.59	0.297	0.149	0.074
Gravilla 19-10 mm	100	90	35	3	1						
RCA	100	100	86	70	41	24	14	8	5	3	2
Gravilla +10% RCA	100	91	40	10	5	2	1	1	1		
Gravilla +20% RCA	100	92	45	16	9	5	3	2	1	1	
Gravilla +30% RCA	100	93	50	23	13	7	4	2	2	1	1

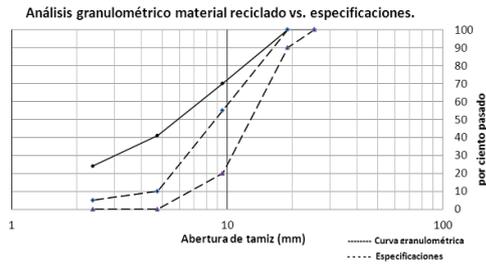


Figura 3: Granulometría del árido de hormigón reciclado y especificaciones

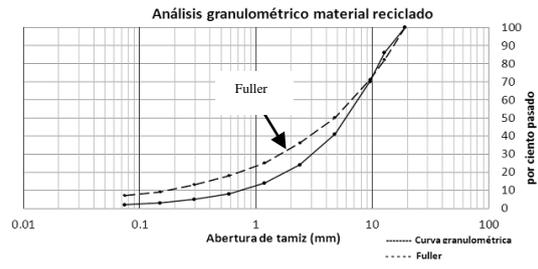


Figura 4: Granulometría del árido de hormigón reciclado y granulometría ideal Fuller.

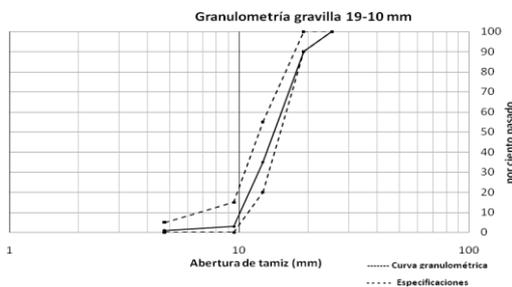


Figura 5: Granulometría del árido natural (gravilla 19- 10 mm) y especificaciones.

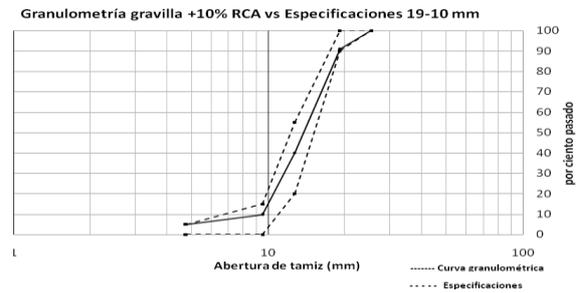


Figura 6: Granulometría de la mezcla gravilla +10% árido de hormigón reciclado y especificaciones.

El árido grueso reciclado no cumple con las especificaciones de la NC 251-2013 de una gravilla 19-5mm debido a la presencia de partículas finas; es de esperar un llenado más eficiente de los vacíos presentes en la mezcla. Ver Figura 3.

El árido reciclado tiene una granulometría semejante a la parábola de Fuller (granulometría ideal que se emplea para mezclar áridos y obtener una distribución de tamaño de partículas uniformes y continúa) con un ligero por ciento de granos más gruesos por debajo del tamiz 9.52mm. Ver Figura 4.

La gravilla empleada en el trabajo cumple satisfactoriamente con las especificaciones granulométricas que establece la NC 251-2013. Ver Figura 5.

La mezcla de gravilla +10 % de árido de hormigón reciclado cumple con las especificaciones granulométricas de la NC 251: 2013. Ver Figura 6.

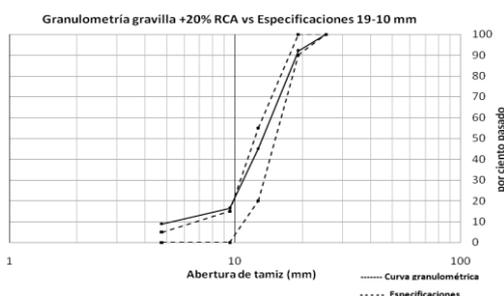


Figura 7: Granulometría de la mezcla gravilla+20% árido de hormigón reciclado y especificaciones.

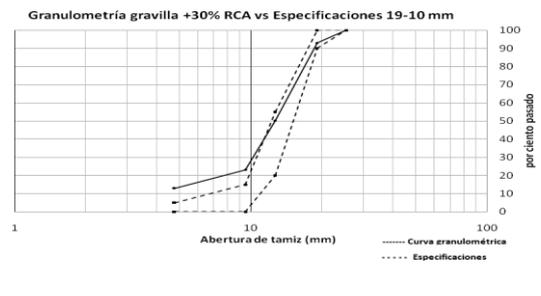


Figura 8: Granulometría de la mezcla gravilla+30% árido de hormigón reciclado y especificaciones.



Del análisis granulométrico efectuado se derivan las siguientes conclusiones:

El árido resultante de mezclar gravilla + 20% de árido de hormigón reciclado cumple con los requerimientos de la NC 251-2013 hasta el tamiz 9.52mm, donde se incrementa el contenido de partículas finas llegando a 4% por encima a lo especificado para el tamiz 4.76mm. Ver Figura 7.

Cuando la sustitución de gravilla por árido de hormigón reciclado llega al 30%, se obtiene una mezcla de áridos que no cumple con las especificaciones de la NC 251:2013 a partir del tamiz 9.52mm con un incremento de 8% de contenido de finos. Ver Figura 8.

Tabla 5: Otros ensayos físico-mecánicos al RCA.

Ensayos	Resultados	Especificaciones
Índice de triturabilidad	19.25 %	35-50%
Abrasión Los Ángeles (% de desgaste)	31.66 %	50%
Peso volumétrico suelto	1284Kg/m ³	-
Peso volumétrico compactado	1401Kg/m ³	-
Peso específico corriente	2.26g/cm ³	>2.5g/cm ³
Peso específico saturado	2.41g/cm ³	-
Peso específico aparente	2.67g/cm ³	-
Absorción	6.7%	≤3%
Partículas Planas y alargadas.	2.41%	≤10%
Material más fino que el tamiz No.200	0.37%	≤10%

Es de destacar el cumplimiento del RCA según las especificaciones de la NC 251:2013 en cuanto al Índice de triturabilidad, abrasión por la máquina de Los Ángeles, peso específico corriente, material más fino que el tamiz 200 y partículas planas y alargadas. Sin embargo, la absorción supera en un 3.7% el máximo valor permitido por nuestra normativa. Este comportamiento está de acuerdo con los planteamientos de Páramo y Pavón [7, 8]: donde para estudios de residuos de construcción y demolición (RCD) se obtuvieron resultados de absorción del 10% y los hormigones elaborados resultaron satisfactorios para la calidad propuesta. Varios autores [1,9]: coinciden en que el alto valor de absorción para estos materiales radica en la fracción de mortero adherido al árido natural constituyente del hormigón inicial para los RCD, que para nuestro caso sería debido a la pasta de cemento que formó parte del hormigón inicial.



De igual forma se plantea que los puntos más desfavorables son la absorción de agua y la resistencia a la fragmentación, este último valor es de destacar que se cumple ampliamente para los áridos estudiados, lo cual demuestra un buen comportamiento ante el desgaste por la manipulación que sufre el hormigón debido fundamentalmente al transporte, mezclado y compactación.

3.2 Propiedades del hormigón endurecido.

Con motivo de estimar la resistencia a compresión del hormigón se confeccionaron probetas cilíndricas con la dosificación expuesta en la tabla 3. Con la misma se persiguió obtener un hormigón de 25 MPa, tal y como está diseñada la mezcla patrón.

Estos resultados se muestran en tabla 6 y figura 9.

Tabla 6: Resistencia a compresión de especímenes evaluados a diferentes edades.

Mezclas estudiadas	Resistencia a compresión (MPa)			
	1 día	7 días	14 días	28 días
Patrón	8.5	18.5	23.8	28.7
Gravilla+10%RCA	10.8	20.9	24.0	31.6
Gravilla+20%RCA	11.8	20.9	25.3	33.2
Gravilla+30%RCA	18.5	22.2	27.7	34.5

Es posible observar la ganancia de resistencia con el envejecimiento de los especímenes para todos los puntos experimentales estudiados, lo cual es un indicador de que efectivamente se verifican las reacciones de hidratación del cemento Portland empleado como aglomerante en las formulaciones estudiadas.

En el campo experimental estudiado se obtienen resistencias a compresión superiores en todos los casos a la muestra patrón. Por ejemplo para el punto 30% de RCA la resistencia a compresión es 20% superior a la muestra patrón a los 28 días.

Cuando se sustituye gravilla por RCA en un 30%, la resistencia a compresión a los 14 días alcanza la resistencia de proyecto.



Por la tendencia que se observa en el comportamiento de la resistencia a compresión es de destacar, que es posible utilizar el árido de hormigón reciclado en mayores porcentos de sustitución del árido grueso por RCA, en formulaciones de 25 MPa como las estudiadas en este trabajo.

El incremento en resistencia a la compresión pudiera deberse a una reactividad remanente presente en el árido de hormigón reciclado por la presencia de granos de cemento no hidratados en el hormigón original.

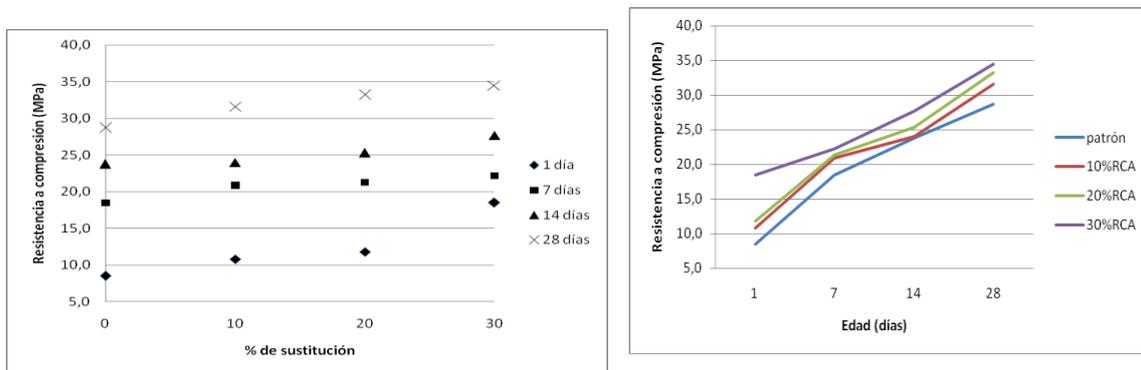


Figura 9: Gráfico del comportamiento de la resistencia a compresión (a la izquierda) en función de la sustitución de gravilla por RCA (a la derecha) en función de la edad.

La absorción de las probetas confeccionadas se pueden observar en la figura 10 donde se evidencia que este parámetro físico es similar para los puntos experimentales estudiados, por lo que se puede afirmar que la misma no varía cuando se incrementa la presencia de árido de hormigón reciclado.

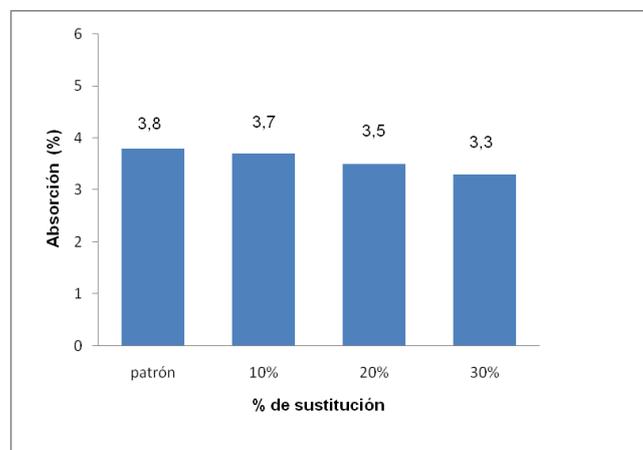


Figura 110: Gráfico del comportamiento de la absorción de los especímenes elaborados en función de la presencia de RCA.



4. CONCLUSIONES

Después de haber analizado las propiedades físico-mecánica de los áridos gruesos reciclados procedentes de la trituración de paneles no conformes de la Empresa de Producción Industrial y la elaboración de probetas de hormigón para estimar su calidad, se han arribado a las siguientes conclusiones:

1. La obtención de áridos de hormigón reciclados constituye una opción atractiva para minimizar el permanente impacto ambiental negativo que presenta la disposición indiscriminada de residuos y escombros de construcción y facilita la correcta protección y conservación de los áridos naturales no renovables.
2. Con la aplicación de un sistema de trituración y clasificación adecuada pueden obtenerse áridos de buena calidad con una granulometría adecuada para ser utilizados en la fabricación de hormigones con diferentes calidades.
3. Para potenciar la obtención y aplicación de áridos reciclados en la fabricación de hormigones, se deberá formular una estrategia para evaluar los RCA disponibles en las entidades de la construcción para su reutilización.
4. Los áridos de hormigón reciclado cumplen con las especificaciones físico-mecánicas establecidas en la normativa vigente, por lo que son aptos para elaborar hormigones de 25 MPa con la presencia de ellos hasta un 30% de sustitución del árido grueso natural.

5. Referencias Bibliográficas

1. ETXEBERRIA, Miren. ; 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*, 2007, vol. 37, núm. 5 pp. 735-742.



2. ETXEBERRIA, Miren. " Utilización del hormigón con árido reciclado en la ciudad de Barcelona" Informe final de proyecto I+D de hormigón fabricado con árido reciclado. 2011, 4 pp.
3. HANOUN, Ayman "Influencia de la variación de las propiedades del árido reciclado en el hormigón endurecido" Director: Miren Etxeberria. Tesis de Grado: Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, 2009.
4. MARTÍNEZ BERTRAND, Carlos; TOMÉ TRUJILLO, María. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCDS): importancia de la recogida para optimizar su posterior valorización". Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible. Madrid, Diciembre 2008, 30 pp.
5. NC 251:2013. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos. La Habana, Cuba.
6. NC 95: 2011. Cemento Portland. Especificaciones.
7. PÁRAMO, A. R. "Tipología de áridos reciclados en Cataluña y su aplicabilidad". Tesis de Máster: Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, 2011.
8. PAVON, E; ETXEBERRIA, M y MARTINEZ, I. Propiedades del hormigón de árido reciclado fabricado con adiciones, activa e inerte. *Revista de la Construcción* [en línea]. 2011, vol.10, n.3, pp. 4-15.
9. POON, Chi-Sun; KOU, Shi-cong; WAN, Hui-wen. "Properties of concrete blocks prepared with low grade recycled aggregates". *Waste Management*, 2009, vol. 29, pp. 2369-2377.