



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

MONOGRAFÍA

**Fabricación de bloques huecos de hormigón con
áridos reciclados.**

Autores: Dra. Ing. Lesday Martínez Fernández

Ing. Isbel Chávez Díaz

Santa Clara

2015

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA



RESUMEN

El hormigón se produce en la gran mayoría de los países del mundo y se encuentra presente en casi la totalidad de las obras de construcción. Desde que se utiliza por primera vez ha sufrido profundos cambios, evolucionando a un ritmo paralelo al desarrollo de la ciencia y la técnica. En la actualidad se manifiesta como el material de mayor aplicación y por sus propiedades, lo convierten en favorito sobre el resto de los materiales. El siguiente trabajo presenta estudios realizados a muestras de bloques de hormigón, fabricados con diferentes dosificaciones teniendo como base áridos reciclados, que alcanzan la resistencia fijada en la normativa cubana actual.

Esto permite obtener un hormigón con menor costo de producción. Se presenta la caracterización de la materia prima reciclada usada en el hormigón y se muestran los resultados del mismo en estado fresco, así como los resultados de resistencia a compresión y absorción en estado endurecido, correspondiente a una primera etapa. Ya en la segunda etapa se presentan los ensayos al bloque confeccionado con este árido reciclado, como son dimensiones, masa, absorción y resistencia a la compresión estudiados en el laboratorio de materiales de la UEB combinado de hormigón Eladio Rodríguez Méndez.

Posteriormente se presenta un análisis de los resultados, determinando de esta forma la dosificación más adecuada para proponer su aplicación en la producción, también desde el punto de vista del cumplimiento de los índices de consumo establecidos en la industria de materiales, teniendo en cuenta su impacto medioambiental, al final de esta monografía se proponen recomendaciones y conclusiones necesarias para dar respuestas al interés de la industria de materiales de Villa Clara, Cuba.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Estado del arte sobre el empleo de áridos de hormigón reciclado.	4
1. Generalidades.....	4
1.1 Las principales propiedades del hormigón reciclado son las siguientes..	6
1.2 Limitaciones del árido reciclado para ser utilizado como hormigón estructural.	7
1.3 Aplicaciones.....	8
1.4 Propiedades del residuo	9
1.4.1 Propiedades físicas	9
1.4.2 Propiedades químicas	10
1.5 Consideraciones medioambientales.	11
1.5.1 Los principales beneficios ambientales que se producen son:	11
1.5.2 Principales inconvenientes ambientales	12
1.6 Experiencias internacionales en el uso de los áridos reciclado.	12
<i>Experiencias en España</i>	12
1.7 Normativa técnica.	16
1.8 Potencialidades del uso de los áridos reciclados para la fabricación de hormigón en Cuba.	18
1.9 Conclusiones parciales.....	20
Plan experimental para la sustitución parcial de áridos naturales por RCA. (Recycling concrete aggregate)	21
2.1 Introducción.	21
2.2 Característica de los materiales.....	21

2.2.1	Áridos.....	23
2.2.2	Caracterización del cemento.....	23
2.2.3	Árido fino.	24
2.2.4	Árido grueso.....	26
2.2.5	Árido fino reciclado.	27
2.2.6	Árido grueso reciclado.....	28
2.2.7	Conclusiones y recomendaciones acerca del árido reciclado.	29
2.3	Diseño del plan Experimental.	29
2.4	Ensayos realizados en laboratorio y campo.	32
2.5	Equipos, Utensilios y medios de medición.....	33
	Comentario de los resultados alcanzados.....	35
3.1	Introducción.	35
3.2	Determinación de las dimensiones.	35
3.3	Determinación de la absorción:	38
3.4	Determinación de la resistencia a compresión.	40
	CONCLUSIONES	47
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

INTRODUCCIÓN

La producción de áridos, acrecienta las posibilidades constructivas de países de poco nivel adquisitivo, por ser en general más baratos y abundantes que otros materiales constructivos, y también por su variada composición y textura que posibilita un mayor aprovechamiento de los mismos.

En Cuba, la producción de áridos a nivel nacional resulta insuficiente, dadas las considerables afectaciones provocadas por el bloqueo sostenido y globalizado que obstruye la importación de nuevas maquinarias, obstaculizando la renovación del aparato tecnológico y el aseguramiento de la transportación de los áridos.

Ante la creciente demanda de áridos, el estado cubano ha debido acentuar las tareas de planificación y racionalizar la distribución de esta limitada producción, a obras de interés económico, tales como obras del MICONS, obras turísticas, programa de vialidad y obras de reconstrucción provocadas por los desastres naturales, dejando al sistema de la vivienda en un segundo plano. Ante esta situación, la producción de áridos reciclados, se convierte en una atractiva solución para la producción de construcciones en el sector de la vivienda.

Por tal motivo es una necesidad de la empresa *Materiales de la Construcción de Villa Clara*, desarrollar una nueva tecnología para la elaboración de mezclas de hormigones que se fundamente en la introducción de materias primas recicladas para producir bloques huecos de hormigón con la calidad requerida que establece la NC-247:2010.

La evolución del hormigón unido al desarrollo de la ciencia y la técnica es indetenible, pues su utilización para las obras de construcción así lo hace necesario. En la actualidad es el material de mayor utilización por su durabilidad, velocidad de construcción y propiedades mecánicas. La sustitución parcial, de los áridos utilizados para la fabricación de un hormigón tradicional, por áridos reciclados da lugar a hormigones de menor costo.

Son muchas las aplicaciones de estos hormigones, se les utiliza como losas, sub-bases para pavimentos rígidos, flexibles, como sustituto del balasto en vías férreas, bloques o ladrillos huecos.

El combinado de hormigón Eladio Rodríguez Méndez ha trabajado en la introducción de este material como parte del interés de realizar un estudio basado en comprobar la eficiencia de la materia prima reciclada en la elaboración de mezclas para hormigones, que permitan hacer una caracterización del material a partir de su comportamiento con el resto de las materias primas, para luego proceder a la elaboración de bloques huecos de hormigón de 15cm de espesor y comprobar la validez de los mismos y sus posibles aplicaciones.

En el combinado de hormigón Eladio Rodríguez Méndez se valora la idea de asegurar la calidad funcional y financiera de la producción de bloques con el uso de materias primas recicladas. Esta problemática da origen a la presente investigación la cual se plantea como **problema científico**: ¿Es posible usar material reciclado en mezclas para bloques logrando conservar las propiedades físico-mecánicas establecidas en la NC 247:2010?

Objeto de la investigación

Potencialidades de las materias primas recicladas para su utilización como áridos en la fabricación de bloques.

Campo de acción

Producción de bloques en Cuba.

Objetivo General

Proponer dosificaciones de mezclas para bloques usando como materia prima áridos de hormigón reciclado.

Objetivos específicos

- 1.- Demostrar la factibilidad técnica de los bloques con áridos de hormigón reciclado.
- 2.- Favorecer una gestión medioambiental al saneamiento y protección del medio ambiente a través del proceso de reciclado.

Se siguió la siguiente **hipótesis general de la investigación**: si se utiliza material reciclado procedente de las roturas en el proceso de elaboración de bloques, como áridos

para la producción de estos elementos se pudieran obtener bloques huecos de hormigón conformes con la NC 247:2010.

Novedad Científica:

Empleo de áridos de hormigón reciclado para la fabricación de bloques que sean capaces de reportar beneficios económicos, medioambientales y sociales.

Aporte práctico:

La utilización de nuevas dosificaciones de mezclas de hormigón para obtener bloques con áridos reciclados, luego de comprobar la eficiencia de su aplicación.

Estado del arte sobre el empleo de áridos de hormigón reciclado.

1. Generalidades.

Se presenta el conocimiento científico sobre la utilización de árido reciclado mixto como sustituto del árido natural en la fabricación de hormigón estructural. Se describe la normativa que rige su empleo en distintos países, así como una descripción de los áridos, indicando sus propiedades y la influencia que tiene su uso en la fabricación de hormigón y las posibles aplicaciones de los mismos en la ingeniería civil.

El árido reciclado es aquel que se obtiene en el proceso de tratamiento de residuos inorgánicos utilizados en la construcción. Las fuentes de origen principales de estos residuos de la construcción y demolición (RCD), tal y como indica su nombre, son dos: los producidos en el propio proceso de construcción y los producidos en los procesos de demolición y desmantelamiento de estructura.

Los RCD están constituidos fundamentalmente por hormigón, materiales cerámicos, áridos naturales, asfalto, madera, metales, plásticos, vidrio, tierra, yeso y otros residuos [URCELAY, C. 1979]. En las plantas de tratamiento utilizan sistemas de producción similares a los empleados en las plantas de áridos naturales, aunque incorporan de manera específica elementos para la separación de impurezas y contaminantes para obtener un producto adecuado [GEHO-CEB. 1997].

Los áridos resultantes de las plantas de tratamiento pueden distinguirse en áridos reciclados procedentes de hormigón, áridos reciclados procedentes de residuos cerámicos y áridos reciclados mixtos procedentes de residuos de naturaleza diversa.

Árido reciclado de hormigón es el que se obtiene de machacar, cribar y procesar los residuos de hormigón. Este árido deriva del hormigón, cuya composición es heterogénea (cemento, agua, áridos, aditivos y adiciones), de modo que el producto resultante no se puede considerar un material uniforme.

Las diferencias de composición pueden ser notables en función de la proporción de mortero presente en el residuo. También hay que tener en cuenta que se permite la presencia de

otros componentes secundarios hasta una cierta proporción. Por ejemplo, la normativa holandesa contempla un contenido mínimo del 80% de hormigón procesado, con una densidad superior a 2100kg/m^3 [RILEM 1992. MONOGRAFÍA ACHE 2006].

Árido reciclado cerámico es el que se obtiene de procesar residuos con presencia predominante de material cerámico. Según la normativa holandesa el 85% de este árido debe tener una densidad superior a 1600kg/m^3 para evitar materiales excesivamente porosos y ligeros [RILEM 1992. MONOGRAFÍA ACHE 2006].

Árido reciclado mixto es definido por la normativa holandesa como el árido que debe contener un porcentaje de hormigón superior al 50% con una densidad seca superior a 2100kg/m^3 y no más del 50% de materiales pétreos reciclados de diferente naturaleza que el hormigón, incluyendo el material cerámico, con una densidad seca superior a 1600kg/m^3 [RILEM 1992. MONOGRAFÍA ACHE 2006].

La utilización de árido reciclado es cada vez más habitual en el campo de la construcción, en ámbitos muy variados como son la construcción de explanaciones (terraplenes y rellenos), capas de firmes de carreteras, o en la fabricación de hormigón.

Los destinos de estos materiales reciclados dependerán de la naturaleza o composición mayoritaria de los residuos. Así, mientras que para explanaciones se suelen utilizar materiales procedentes tanto de residuos mixtos, como de asfalto, de hormigón o mezclas de estos, para otras aplicaciones más restrictivas, como la fabricación de hormigón, los materiales reciclados suelen proceder de residuos de hormigón o en algunos casos de mezcla de residuos de hormigón y cerámicos.

Cada una de estas aplicaciones obliga a fijar distintos niveles de exigencias en las propiedades del árido reciclado, siendo las más restrictivas las aplicadas para los áridos que se van a utilizar en hormigón estructural.

1.1 Las principales propiedades del hormigón reciclado son las siguientes.

- La *demanda de agua* del hormigón fresco a partir de áridos de hormigón reciclado es mayor que la del hormigón fresco hecho con gravas naturales y el consumo de cemento para la misma resistencia algo mayor.
- La *densidad* del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón original; con el reemplazo del 100% del árido grueso, se puede obtener una densidad entre un 10-20% menor. (VRIES, P. April, 1993).
- Sustituciones de hasta 30% del árido convencional por árido reciclado, no alteran de forma significativa la *resistencia a compresión* del nuevo hormigón. Cuando se sustituye el 100% del árido grueso, la resistencia a compresión puede disminuir entre un 10 y un 20% (VRIES, P. April, 1993).
- El *módulo de elasticidad* del hormigón reciclado es siempre inferior (entre un 15 y un 40%) al del hormigón de referencia, y alcanza los valores menores cuando se utiliza también árido fino reciclado. (RAVINDRARAJAH, R.S.; TAM, C.T. 1985).
- La *retracción y la fluencia* del hormigón reciclado se mantienen cuando el reemplazo del árido grueso es inferior a 20%, mientras que con un reemplazo del 100% del árido grueso la retracción puede aumentar hasta un 50% y la fluencia entre un 30-60%. Si se utiliza también árido fino reciclado ambos valores aumentan aún más [RILEM 1992].
- Para la misma dosificación, tanto la *absorción* como la *porosidad* del hormigón con árido reciclado aumentan. Según estudios españoles en un hormigón de referencia con absorciones comprendidas entre 5 y 6%, y porosidad entre 11 y 13%, se puede alcanzar valores de absorción del orden del 8-9%, y porosidad entre 16-20%. [BARRA, M. 1996].
- La *resistencia al hielo-deshielo* del hormigón reciclado depende de la resistencia al hielo-deshielo del hormigón original y de la dosificación del nuevo hormigón. Hormigones resistentes a las heladas darán lugar a hormigones reciclados que se comportarán bien frente a este tipo de ambiente.

- El árido reciclado puede funcionar como un foco de propagación de la *carbonatación*, porque no impide el paso del CO₂ como un árido convencional, por lo que se debe tener un especial cuidado con la carbonatación.
- Los áridos reciclados deberán limitar tanto el contenido de cloruros como de SO₃ para su uso en hormigones, al mismo valor que se contempla en las normas para los áridos convencionales.
- El árido reciclado puede funcionar como un foco de propagación de la carbonatación, por su mayor porosidad. A cambio, debido a su contenido de cemento proporciona una alcalinidad extra al hormigón reciclado que compensa parcialmente este efecto al colaborar en frenar el avance del CO₂ hacia el interior. (Gutiérrez, 2010).

1.2 Limitaciones del árido reciclado para ser utilizado como hormigón estructural.

La utilización de árido reciclado procedente de hormigón en hormigón estructural está incluida en el Anejo 19 de la EHE, y establece unas limitaciones al uso del árido reciclado, cuyas líneas generales se señalan a continuación.

- La aplicación del árido reciclado se limitará a los casos de hormigón en masa y armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm², quedando excluido su empleo en hormigón pretensado.
- El árido reciclado debe obtenerse a partir del machaqueo de hormigón convencional, excluyendo el reciclaje de hormigones especiales tales como hormigones ligeros, hormigones con fibras o aquellos fabricados con cemento aluminoso.
- Se contempla la utilización de la fracción gruesa del árido reciclado sustituyendo a un 20% en peso de la grava natural.
- La utilización del árido reciclado en hormigones que vayan a estar expuestos a ambientes agresivos, estará condicionada por la necesidad de tomar precauciones especiales. <http://www.fomento.es/>

1.3 Aplicaciones

Existen varios estudios que aceptan la viabilidad de emplear los áridos mixtos como materia prima en la fabricación de hormigones no estructurales [KIBRIYA, T.; SPEARE, P.R.S, 2004].

La EHE-08 en su anejo nº 18 define hormigón de uso no estructural, como aquellos hormigones que no aportan responsabilidad estructural a la construcción pero que colaboran en mejorar las condiciones durables del hormigón estructural o que aportan el volumen necesario de un material resistente para conformar la geometría requerida para un fin determinado. Así mismo, el propio anejo, clasifica estos hormigones en dos clases, las cuáles se indican a continuación:

- Hormigón de Limpieza (HL): Es un hormigón que tiene como fin evitar la desecación del hormigón estructural durante su vertido así como una posible contaminación de éste durante las primeras horas de su hormigonado.
- Hormigón No Estructural (HNE): Hormigón que tiene como fin conformar volúmenes de material resistente. Ejemplos de éstos son los hormigones para aceras, hormigones para bordillos y los hormigones de relleno.

La norma establece que como resistencia característica mínima de los hormigones para esta aplicación sea de 15 N/mm^2 . Debido a la baja resistencia que requieren estos hormigones entre sus requisitos la EHE-08 no consigna en su designación ningún tipo de referencia al ambiente.

Según MAS B. (2011) et al, la limitación más restrictiva que se debe cumplir para uso no estructural es el contenido total de sulfatos. Esta es la principal razón de limitar, según los autores del estudio, la cantidad máxima de árido mixto que puede substituirse en la dosificación de los hormigones

El proyecto CLEAM recomienda limitar el uso de hormigones reciclados con áridos mixtos a hormigones en masa y en el caso de utilizar algún tipo de armadura, se debería limitar su

uso a una clase de exposición I (no agresiva).

Otros autores enfocan el producto hacia otras aplicaciones distintas a los hormigones no estructurales.

Otros autores señalan la posibilidad de utilizar áridos procedentes de RCD junto a la adiciones que provoquen reacciones puzolánicas (cenizas volantes, humo de sílice, etc.) en la fabricación de hormigón con aplicaciones estructurales, de acuerdo a estudios piloto que se han llevado a cabo [Akash, R.; Kumar, N. Jhab; Sudhir, M, 2006].

Kou, S.C et al, 2002, ha realizado estudios con el objetivo de desarrollar técnicas de producción de bloques de hormigón y adoquines usando RCD como árido en la dosificación. En este estudio, añaden a la dosificación de algunas series, del mismo modo que en el caso anterior, cenizas volantes.

En la misma línea, se realizó en Mallorca una prueba piloto de obra real de 300 m² de pavimento con adoquines de hormigón prefabricado vibro comprimido fabricados con áridos mixtos de una franja.

1.4 Propiedades del residuo

Las propiedades de los residuos de construcción y demolición varían notablemente en función de su origen y composición. Es conveniente diferenciar entre los materiales que tienen su origen en la construcción y demolición de edificaciones y estructuras, de los que proceden de capas firmes. Las primeras pueden presentar en su composición una amplia variedad de residuos, algunos incluso peligrosos que pueden contaminar otras valorizables y que en cualquier caso deben separarse, preferiblemente en la propia obra. Los segundos, suelen presentar una mayor homogeneidad, menor presencia de posibles productos contaminantes en su origen, requieren en muchos casos equipos, tecnología específica, y la incidencia del transporte en el coste de la valorización y puesto en obra de los áridos reciclados en la misma carretera es menor. (URCELEAY, C.1997).

1.4.1 Propiedades físicas

El tamaño de los escombros es muy heterogéneo y depende del tipo de técnica de

demolición utilizada. Estos residuos pueden tener impurezas y contaminantes como metales, vidrios, betún, materia orgánica y yeso. (URCELEAY, C.1997).

1.4.2 Propiedades químicas

La composición química de los escombros de hormigón depende de la composición del árido utilizado en su producción, puesto que más del 75% del total del hormigón lo constituye el árido, siendo el resto los componentes de hidratación del cemento, silicatos y aluminatos cálcicos hidratados o hidróxidos cálcicos. En función del árido utilizado se pueden distinguir las siguientes composiciones químicas en la Tabla 1.

compuestos	Escombros silicio (%)	Escombros calizos (%)
SiO ₂	45-60	4-5
Al ₂ O ₃	15-20	1-2
Fe ₂ O ₃	2-5	1-2
CaO	5-7	52-54
MgO	0.5-1.5	0.2-0.8

Tabla 1 Composición química de los escombros de hormigón.

La composición química de los escombros mayoritariamente cerámica es muy heterogénea, dependiendo sus propiedades del componente principal. Como datos orientativos se pueden tomar los que figuran en la siguiente Tabla 2.

Compuestos	Escombros cerámicos
SiO ₂	40-50
Al ₂ O ₃	6-8
Fe ₂ O ₃	2-4
CaO	20-28

MgO	0-1
------------	------------

Tabla 2 composición química de los escombros cerámicos.

1.5 Consideraciones medioambientales.

La mayor parte de los residuos que se generan en actividades de construcción y demolición no suelen revestir características de peligrosidad, su recogida de forma no selectiva provoca la mezcla de distintos tipos de residuos que en general no son peligrosos pero que, al mezclarse, pueden dar lugar a residuos contaminados en su conjunto, lo que impide someterlos a un aprovechamiento apropiado, o a que se envíen a vertederos que no cuenten con las barreras de protección adecuadas al tipo de residuos que reciben.

Entre los materiales y sustancias que pueden encontrarse entre los RCD y que pueden tener alguna característica de peligrosidad cabe destacar.

- Aditivos de hormigón (inflamable)
- Adhesivos, másticos y sellantes (inflamable, tóxico, irritante)
- Emulsiones alquitranadas (tóxico, cancerígeno)
- Materiales a base de amianto, pesticidas (tóxico, ecotóxico, inflamable)
- Revestimientos ignífugos halogenados (tóxico, ecotóxico, cancerígeno)
- Equipos con PCB (ecotóxico, cancerígeno)
- Luminarias de mercurio (tóxico, ecotóxico)
- Sistemas con CFCs
- Elementos a base de yeso (fuente posible de sulfhídrico en vertederos tóxico, inflamable)

Sin embargo la mayor parte de los RCD se pueden considerar inertes o asimilables a inertes, por lo tanto su poder contaminante es relativamente bajo pero, por el contrario, su impacto visual es con frecuencia alto por el escaso control ambiental ejercido sobre los terrenos que se eligen para su depósito.(MADRID ,2002-2011).

1.5.1 Los principales beneficios ambientales que se producen son:

- Disminución del volumen de escombros que se depositan en vertederos.

Reducción del número de explotaciones necesarias para suministrar la materia prima original, con el consiguiente beneficio en cuanto a impacto ambiental y de protección de los recursos naturales. .(MADRID ,2002-2011).

1.5.2 Principales inconvenientes ambientales

Los aspectos ambientales negativos que se deben destacar son:

- Generación de polvo, ruidos, y vibraciones producidas en las operaciones de tamizado y machaqueo en las plantas de procesado de los áridos, por lo que hay que estudiar el emplazamiento más conveniente para reducir en lo posible su impacto ambiental. En el caso de plantas fijas de reciclaje de áridos es conveniente situarlas en las proximidades de una planta de fabricación de hormigón.
- Posibles impactos sobre la salud, causadas por el inadecuado manejo y protección frente a componentes peligrosos que pueden existir en los residuos (particularmente en algunos de demolición), como el ambiente. (MADRID ,2002-2011).

1.6 Experiencias internacionales en el uso de los áridos reciclado.

Experiencias en España

Aunque a nivel práctico, el uso de árido reciclado procedente de hormigón para la fabricación de un nuevo hormigón, es muy reducido en España, existen ya algunos casos en los que se ha utilizado o está previsto utilizar áridos reciclados.

El puente de Marina Seca, una de las obras emblemáticas de Barcelona, fue construido utilizando hormigón reciclado en alguno de sus elementos. Se utilizó un árido reciclado de un único origen (fracción 4/25 mm), con una absorción media de 6,7%, exento de cloruros, y sulfatos. Más del 95% del árido reciclado eran partículas de hormigón. La cantidad de finos inferiores a 0,063 mm fue del 1% y el aporte de finos menores de 4 mm fue del 10%, lo que obligó a una ligera corrección en la cantidad de arena.

Se utilizó una sustitución del 20% de árido reciclado previamente presaturado, con un

grado de saturación entre el 80% y el 90%.

La resistencia obtenida fue de $47,8 \text{ N/mm}^2$, y los resultados de los ensayos de penetración de agua fueron adecuados. La puesta en obra de este hormigón tampoco presentó ninguna dificultad.

Otro ejemplo es el Puente atirantado sobre el río Turia esta experiencia piloto, propone la utilización de hormigón reciclado en un puente atirantado de hormigón armado, situado en Manises (Valencia), propiedad de la Diputación de Valencia.

Este puente se ejecutó como sustitución de una estructura de hormigón ya existente. El objetivo del proyecto es reciclar el material de hormigón procedente de esta estructura para la fabricación de parte del hormigón de la nueva estructura, utilizando una sustitución del 20% del árido natural por árido reciclado en el hormigón de un tramo de la losa.

Experiencia en Países Bajos

En los Países Bajos es habitual la utilización de árido reciclado procedente de hormigón (se exige su empleo en un porcentaje del 20% de la fracción gruesa en todos los proyectos de hormigón, con excepción de las estructuras de hormigón pretensado).

Debido a la falta de disponibilidad de este tipo de árido reciclado ya se han llevado a cabo varios proyectos piloto donde se ha reemplazado el 20% del árido grueso por una mezcla de hormigón y ladrillo triturado.

En 1992 se empleó árido reciclado (mezcla de hormigón y ladrillo) en la construcción de los estribos de un viaducto cerca de Helmond.

En las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Schijndel (en 1992), se emplearon unos 300 m^3 de hormigón con árido reciclado procedente de una mezcla de hormigón y ladrillo.

Desde 1994 el Gobierno holandés permite el uso de este tipo de árido reciclado (Mezcla de hormigón y ladrillo) en hormigón estructural, con un reemplazo máximo del 20% del árido grueso. A pesar de esta restricción se han llevado a cabo varios

proyectos piloto que han demostrado la posibilidad de utilizar cantidades mayores de árido reciclado, siempre y cuando se tomen las precauciones necesarias.

Entre 1997 y 1998 se construyeron 272 casas unifamiliares empleando un 100% de árido reciclado. Se utilizó para la construcción de muros de carga de hormigón en masa y elementos de hormigón para fachadas y suelos.

En 1988 se empleó aproximadamente 500 m^3 de hormigón reciclado en la construcción de los estribos de un viaducto en la carretera RW 32 cerca de Meppel.

En 1990 se construyó un segundo viaducto en esa misma zona. En este caso se utilizó árido grueso reciclado (en un porcentaje del 20%) para todas las partes de hormigón del viaducto. La cantidad total de hormigón reciclado que se usó fue de 11.000 m^3 .

En las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Almelo (en 1988) se emplearon unas 2.000 t de hormigón reciclado para la construcción de la losa de hormigón bajo el agua.

Debido a los buenos resultados obtenidos en la utilización de hormigón reciclado, desde 1991 se exige la utilización de árido de hormigón reciclado en un porcentaje del 20% de la fracción gruesa en todos los proyectos de hormigón, con excepción de las estructuras de hormigón pretensado.

Experiencia en Reino Unido

La primera experiencia práctica en la que se utilizó hormigón con áridos reciclados en el Reino Unido se llevó a cabo en Watford en el año 1995 durante la construcción de un bloque de oficinas. Se empleó hormigón triturado procedente de la demolición de un edificio de 12 plantas en el centro de Londres. El árido grueso se utilizó para la construcción de cimentaciones, pilares y forjados.

Experiencia e Bélgica

Para la ampliación del puerto de Antwerp, se procedió en 1987 a la demolición de varios muros del puerto y la construcción de una compuerta mayor. La demolición se

realizó con explosivos, originando unos 80.000 m³ de escombros. Por consideraciones tanto ambientales como económicas se optó por la utilización de los escombros de hormigón para la fabricación de hormigón reciclado.

El hormigón producido disponía de suficiente resistencia a compresión (f_c de 35 N/mm²) y retracción aceptable (<150 μ m/m). Para mejorar la trabajabilidad del hormigón se optó por presaturar los áridos reciclados antes de incorporarlos a la mezcla, corrigiendo así la cantidad de agua añadida. Después de 15 años de servicio la estructura no ha presentado problemas de durabilidad.

Experiencia en Alemania

En Alemania se usó árido reciclado para la construcción de grandes bloques de hormigón como elementos decorativos en el Centro de Exposiciones de Magdeburg (1999). Estos bloques se encuentran en el exterior y en contacto con agua. En este caso, sólo se empleó árido grueso reciclado.

En 1993-1994 se construyó la sede de la Fundación Alemana para el Medioambiente (Deutsche Bundesstiftung Umwelt). Se empleó árido reciclado en la construcción de los elementos estructurales de hormigón, realizándose una estricta selección de los áridos reciclados y exhaustivo control de calidad. Se utilizaron 290 kg/m³ de cemento Pórtland CEM I 42,5 R; el árido grueso era reciclado (con tamaños comprendidos entre 4 y 32 mm) y el árido fino arena natural. La mezcla contenía además 70 kg/m³ de cenizas volantes y plastificantes. Con un contenido de agua de 201 kg/m³ se consiguió una resistencia cúbica de 35 N/mm².

El uso del árido reciclado en Alemania data desde aproximadamente 1950 y se ha usado principalmente para la construcción de viviendas.

En 1996-1997, se dismanteló una zona militar a las afueras de Itzehoe que produjo aproximadamente unas 50.000 t de escombros mixtos y unas 20.000 t de escombros de hormigón. Estos se utilizaron para la edificación nuevamente de esa misma zona.

Experiencia en Dinamarca

Uno de los proyectos más significativos sobre reutilización de escombros de demolición para la fabricación de hormigón ha tenido lugar en Dinamarca. La construcción del "Great Belt Link" una gran red de enlace entre Dinamarca y Suecia, suponía la modificación de la red de carreteras existentes y la demolición de varias estructuras, entre las que se encontraba la demolición de un puente de hormigón armado. En esta demolición se llevaron a cabo distintas investigaciones sobre técnicas de demolición y utilización del hormigón triturado como árido para un nuevo hormigón. Finalmente los escombros fueron procesados y empleados en la fabricación de hormigón, que se utilizó para la construcción de "La casa reciclada", en Odense y las cimentaciones de pantallas acústicas. Esta casa reciclada consiste en un bloque de 14 apartamentos de tres pisos con sótano.

Experiencia en Japón

En Japón se emplean los áridos reciclados como material para la fabricación de bloques de hormigón prefabricado.

Experiencia en Reino Unido

La primera experiencia práctica en la que se utilizó hormigón con áridos reciclados mezcla de hormigón y ladrillos se llevó a cabo en Cardington (1996), para la construcción de la losa de la segunda planta de un edificio de esta ciudad. La losa estaba fuertemente armada y tenía 0,5 m de espesor.

Se optó por una sustitución del 20% del árido grueso y se emplearon unas 100 t de árido reciclado (que contenía hasta un 50% de ladrillo). La dosificación del hormigón empleado fue la misma que la de la losa construida en la primera planta de ese mismo edificio, y para ambos hormigones se obtuvieron unas resistencias similares (60 N/mm^2 a los 91 días). El uso de árido reciclado no afectó al bombeo ni a la puesta en obra del hormigón.

1.7 Normativa técnica.

Después de hacer una búsqueda bibliográfica sobre la normativa técnica

internacional que se aborda el tema de los RCD se listan a continuación los países con su correspondiente normativa.

Países	Normativa
JAPÓN	<p>“Proposed standard for the use of recycles aggregate and recycled aggregate concrete” .Building Contractors Society of Japan (BCS). 1977.</p> <p>“Proposed Recommended Practice for Design and Construction of Concrete Structures Made Using Recycled Aggregate”. 1986.</p> <p>“Proposed Specification for Concrete Containing Recycled Coarse Aggregate” 1996</p>
AUSTRALIA	Guía australiana para la utilización de árido reciclado (RCA) en hormigón. 1998.
CHINA	Recomendaciones BS 812. 2002
ALEMANIA	DIN 4226-1:2000: “Concrete Agrégate”.
REINO UNIDO	<p>BSG “Use of industrial by-products and waste materials in building engineering”.</p> <p>British Standard Guide 6543. 1985.</p> <p>“Recycled Aggregates: BRE Digest 433” 1998.</p> <p>“Quality Control: The production of Recycled Aggregates. BR 392”. ISBN 186081381 X.</p> <p>BS 8500-2:2002: “Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1.</p> <p>WRAP “Mix Design Specification for Low Strength Conetes containing Recycled and Secondary Aggregates”. 2002</p>
Brasil	“Recycled Aggregate Standardization in Brazil”. Universidad Estadual paulista, Centro Universitario do Instituto Mauá de Tecnología, Universidad de Taubate.2004.
FRANCIA	Guide technique pour l’utlisation des matériaux régionaux d’le-de-France: les bétons et produits de démolition recyclés-LCPC, Paris. December 1996.
DINAMARCA	Danish Concrete Association. “Recommendations for the use of recycled aggregates for concrete in passive environmental class”.

	Publication N°34, 1990.
PAISES BAJOS	CUR report nr. 125 “Crushed Concrete Rubble and Masonry Rubble as Aggregate for Concrete”.
AUSTRIA	<p>Austrian Quality Protection Association for Recycled Building Materials. “Guidelines for recycled building materials”. 1992.</p> <p>Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Cement-bonded Substances.</p> <p>Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Unbound Substances</p>

Tabla 3: Normativa internacional sobre áridos reciclados de hormigón.

España

En Noviembre de 2002 se constituyó el Grupo de Trabajo “Hormigón Reciclado” a instancias de la Comisión Permanente del Hormigón y de ACHE para elaborar un documento que complementara a la reglamentación actual de hormigón estructural (Instrucción EHE). La nueva EHE incluye un anejo (Anejo 15), que recoge las recomendaciones específicas sobre la utilización del árido reciclado procedente de hormigón en hormigón estructural.

Además, la utilización de árido reciclado procedente de hormigón en hormigón no estructural está incluida en el Anejo 18 de la EHE.

RILEM

RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures): “Specifications for Concrete with Recycled Aggregates”. Materials and Structures, N°27. P.p.557-559, 1994.

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

En su tesis para defender el grado de Máster en ciencias Toscano (2008) plantea que a partir que se inició el procesamiento industrial de estos residuos, principalmente los de

concreto, albañilería y materiales cerámicos, se han venido desarrollando investigaciones sobre posibles aplicaciones del material obtenido, demostrándose que estos productos tienen un elevado potencial de reutilización.

Una condición necesaria para que los productos reciclados encuentren su mercado como un sustituto para las materias primas es que satisfagan las exigencias técnicas y sean económicamente competitivos. Hace varios años se han dedicado numerosos estudios a la calidad y cumplimiento de las especificaciones técnicas de las materias recicladas. Abanderados de estos estudios están los informes llevados a cabo por RILEM TC- 37- DCR (Unión Internacional de Laboratorios de Ensayos e Investigación sobre los Materiales y las Construcciones) sobre la demolición y reutilización del hormigón y elementos de mampostería. Estos resultados muestran cómo los fragmentos de hormigón triturados pueden usarse para muchas aplicaciones y que el hormigón triturado es capaz de cumplir las especificaciones para los áridos utilizados en el hormigón, y emplearse en muchas estructuras diferentes. (Machado, 2008).

La disponibilidad en la empresa de materiales de la construcción de Villa Clara de varios talleres productores de bloques de hormigón avalados por el sistema de calidad instaurado en cada uno de ellos, hace atractiva la posibilidad de incorporar al proceso productivo las pérdidas de las cuales no está exento cualquier taller productor de bloques de hormigón. Lográndose así una gestión del residuo de construcción amigable con el medio ambiente y reduciendo la explotación de materias primas no renovables.



Figura1: Foto tomada en el lugar de almacenamiento de los escombros (bloques rotos de hormigón)

1.9 Conclusiones parciales.

- Los áridos reciclados están ampliamente demostrados para su empleo como materiales de construcción, y son tan fiables como los áridos naturales.
- Existen varias aplicaciones para el escombros reciclado. Entre ellas se destacan las siguientes: como material de relleno en carreteras; como árido en la preparación de hormigón, etc. En los dos casos, pero fundamentalmente en el último, su aplicación va a depender de las propiedades físicas del producto acabado.
- La distribución de los granos y forma de partícula son propiedades importantes para la utilización de hormigón reciclado como árido y van a estar relacionadas, en buena medida, con el proceso de producción.
- El hormigón con áridos reciclados muestra una mayor absorción de agua en comparación con los áridos convencionales debido al mortero antiguo adherido a los áridos originales.
- En la provincia de Villa Clara se puede aprovechar todos los desechos que se generan en los talleres productores de bloques huecos de hormigón, evitando así los depósitos de escombros y aprovechando un material que es totalmente reutilizable.

Plan experimental para la sustitución parcial de áridos naturales por RCA. (Recycling concrete aggregate)

2.1 Introducción.

Para comenzar con este aspecto se requiere de una adecuada localización y selección de los desechos disponibles, así como las características del hormigón original y del árido a obtenerse, su homogeneidad y propiedades en dependencia de los residuos previos a la trituración, de forma tal que se pueda realizar una buena caracterización para evaluar su posible reciclado.

Es de gran importancia determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del árido obtenido de los desechos, donde una posible contaminación de los escombros limita la disponibilidad y empleo de los mismos, para su uso final. De ahí que sea necesario realizarse un meticuloso inventario del volumen de los RCD y evaluar la factibilidad de uso de los escombros en dependencia de la cantidad y calidad de los mismos.

A continuación se ofrecen las caracterizaciones de todos los materiales empleados durante la investigación, ello es una parte esencial dentro del desarrollo de este trabajo debido a que el hormigón es un material heterogéneo formado por mezcla de diversos materiales (árido grueso, árido fino, cemento, agua, árido fino reciclado, árido grueso reciclado y según sea el caso se pueden usar aditivos) . Además se aborda todo el proceso de producción, sus características y particularidades así como los ensayos que se realizaron y las herramientas que se utilizaron.

2.2 Característica de los materiales.

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionó la UEB combinado de hormigón Eladio Rodríguez Méndez perteneciente a la Empresa Materiales de la Construcción de Villa Clara que cuenta con desechos de hormigón.

Para lo cual se procedió a trabajar con los escombros procedentes de las roturas en

proceso de los bloques, desmenuzando el hormigón en fracciones pequeñas. Se utilizó el molino de martillo ubicado en el poblado de Esperanza municipio Ranchuelo perteneciente a un trabajador por cuenta propia para la trituración de los mismos.



Figura 2: Molino de martillo utilizado para la trituración del material.

En este tipo de instalación es posible adicionar el hormigón fraccionado de dimensiones aproximadas de 50mm y obtener el hormigón de fracción granulométrica menor.

Luego de haber realizado todo este proceso se trasladó el material reciclado al taller de bloques donde se procedió a trabajar. El hormigón se elaboró en la mezcladora mostrada en la siguiente foto.



Figura 3: Mezcladora utilizada.

2.2.1 Áridos.

Las características de los áridos utilizados en la UEB Eladio Rodríguez Méndez de la construcción de Villa Clara, no solo desde el punto de vista geológico sino también de forma y granulometría, van a condicionar mucho en la propiedad del hormigón tanto fresco como endurecido, en su estabilidad y durabilidad, estos áridos provienen de la cantera El Purio localizada en la parte norte de Villa Clara a 30 Km aproximadamente de Santa Clara, los mismos son producidos mediante la trituración de roca calizas, estas son de colores claros, casi blanco, presentando una buena granulometría por lo cual es factible el trabajo con la misma además de encontrarse en la misma provincia.

Los materiales utilizados se describen a continuación: Granito, Arena del Purio, Cemento P-350 que se utiliza en esta planta procede de la fábrica Carlos Marx ubicada en Guabairo, Cienfuegos, y presenta las características que se muestran en la tabla 2.1.

Teniendo en cuenta que el hormigón hidráulico de cemento Pórtland tiene que cumplir con un determinado desempeño en lo relativo a las resistencias mecánicas y durabilidad, es indispensable la evaluación de la conformidad de sus materiales constituyentes. En particular, además de estar presente en las mezclas en cantidades iguales o superiores a las mínimas especificadas, debe ser objeto de ensayos a fin de verificar si cumple o no los requisitos establecidos en la norma NC 95:2011 Cemento Pórtland. Especificaciones.

2.2.2 Caracterización del cemento.

Tipo de cemento: P-350

Fabrica productora: Carlos Marx en Cienfuegos.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones
Tiempo de fraguado inicial	min.	130*	≥45

Tiempo de fraguado final	h	4.35*	≤10
Consistencia normal	%	24.6	-
Finura de molido	%	6.0*	≤10
Peso específico real	g/cm ³	2.98	-
Resistencia a compresión a 7 días	MPa	32.5*	≥25
Resistencia a flexo-tracción a 7 días	MPa	8.4*	≥4
Resistencia a compresión a 28 días	MPa	39.2*	≥35
Resistencia a flexo-tracción a 28 días	MPa	8.7*	-

Tabla 4: Ensayos correspondientes al cemento.

Se usa en la NC95:2001 Cemento Pórtland Especificaciones para la evaluación de la conformidad.

(*) Conforme

2.2.3 Árido fino.

Los áridos, además de estar presentes en las mezclas en cantidades apropiadas según el criterio siguiendo para seleccionar sus proporciones, deben ser objeto de ensayos a fin de verificar si cumplen o no los requisitos establecidos en las normas especificadas, estos resultados se muestran en Tabla 5.

Tipo de árido: Arena de roca triturada. Cantera o yacimiento: El Purio.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones
Partículas de arcillas	%	-	≤1
Impurezas orgánicas	Placa #	-	Hasta placa #3
Peso específico corriente	g/cm ³	2.60*	≥2.50
Peso específico saturado	g/cm ³	2.64*	-
Peso específico aparente	g/cm ³	2.72*	-
Absorción	%	1.7*	≤3.0
Masa volumétrica suelta	Kg./m ³	-	-
Masa volumétrica compactada	Kg./m ³	-	-
Por ciento de vacío	%	-	-
Módulo de finura	%	-	-

Tabla 5: Ensayos físicos realizados al árido fino natural.

Tamices(mm)	-	-	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.149	0.074	Incert
% pasado	-	-	100*	98*	75*	49*	27*	13*	5*	0	±1.55
Especificaciones	-	-	100	90	70	45	25	10	2	-	
	-	-		100	90	80	60	30	10	-	

Tabla 6: Análisis Granulométrico de la arena de roca triturada.

Se usa la NC251:2005 Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos para evaluar la conformidad. En el caso de la granulometría el árido es No conforme si al menos en un tamiz el por ciento pasado no satisface las especificaciones. La incertidumbre de la granulometría está asociada a la determinación de la suma de los retenidos parciales.

(*) Conforme

2.2.4 Árido grueso.

Tipo de árido granito 10-5 mm. Cantera yacimiento el Purio.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones
Material más fino Tamiz 200	%	0.68*	≤1.5
Peso específico corriente	g/cm ³	2.51*	≥2.50
Peso específico saturado	g/cm ³	2.58	-
Peso específico aparente	g/cm ³	2.71	-
Absorción	%	3.0*	≤3.0
Peso volumétrico (suelto)	Kg./m ³	1444	-
Masa volumétrica (compactada)	Kg./m ³	1551	-

Tabla 7: Ensayos físicos al granito 10-5 mm.

Tamices(mm)	-	-	-	-	-	12.7	9.52	4.76	2.38	
% pasado	-	-	-	-	-	100*	97*	23*	2*	1*
Especificaciones	-	-	-	-	-	100	85	15	0	0
	-	-	-	-	-	-	100	35	10	5

Tabla 8: Análisis Granulométrico del granito.

Se usa la NC251:2005 Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos para evaluar la conformidad. En el caso de la granulometría el árido es No conforme si al menos en un tamiz el por ciento pasado no satisface las especificaciones.

(*) Conforme.

2.2.5 Árido fino reciclado.

Tipo de árido: Árido fino recuperado.

Ensayo	Unidad	Resultado
Material más fino Tamiz 200	%	9.62*
Partículas de arcillas	%	0.08*
Impurezas orgánicas	Placa #	0*
Peso específico saturado		
Peso específico aparente	g/cm ³	2.69
Absorción	%	5.3*
Peso volumétrico compactado	Kg./m ³	

Tabla 9: Caracterización física correspondiente al árido fino reciclado.

Tamices(mm)	-	-	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.149	0.074
% pasado	-	-	100*	100*	95*	66*	41*	25*	16*	0*
Especificaciones	-	-	100	90	70	45	25	10	2	-
	-	-		100	100	80	60	30	10	-

Tabla 10: Análisis Granulométrico del árido fino reciclado

Se usa la NC251:2005 Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos para evaluar la conformidad.

En el caso de la granulometría el árido es No conforme si al menos en un tamiz el por ciento pasado no satisface las especificaciones. La incertidumbre de la granulometría está asociada a la determinación de la suma de los retenidos parciales.

(*) Conforme

2.2.6 Árido grueso reciclado.

Tipo de árido: árido grueso recuperado.

Ensayo	Unidad	Resultado
Material más fino	%	0.20*
Partículas de arcilla	%	0.12
Partículas planas y alargadas	%	1.60
Peso específico corriente	g/cm3	2.42*
Peso específico saturado	g/cm3	2.52
Peso específico aparente	g/cm3	2.68
Absorción	%	4.1*

Tabla 11: Ensayos correspondiente al árido grueso reciclado.

	-	-	-	-	-	19.1	12.7	9.52	4.76	2.38
Tamices(mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% pasado	-	-	-	-	-	100*	96*	71**	1*	0
Especificaciones	-	-	-	-	-	-	90	40	0	0
	-	-	-	-	-	100	100	70	15	5

Tabla 12: Análisis Granulométrico del árido grueso reciclado por la ENIA.

Se usa la NC251:2005 Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos para evaluar la conformidad. En el caso de la granulometría el árido es No conforme si al menos en un tamiz el por ciento pasado no satisface las especificaciones.

(*) Conforme.

(**) No conforme.

2.2.7 Conclusiones y recomendaciones acerca del árido reciclado.

A partir del análisis de los resultados de los ensayos realizados, podemos formular los aspectos conclusivos relativos a la conformidad de los áridos, aunque no existe en el laboratorio ningún documento para evaluar la conformidad de este material reciclado y solo es posible emitir los resultados de los ensayos y compararlos con la norma NC 251:2010 para áridos naturales.

2.3 Diseño del plan Experimental.

Según la literatura estudiada los RCA pueden sustituir tanto al árido grueso como al árido fino natural, en un variado porcentaje. En el caso de esta investigación se propusieron cuatro puntos experimentales, es decir, se combinaron los áridos en las siguientes proporciones. 25%, 50%, 75% y 100% en una primera etapa para el árido fino y en la etapa 2 para el árido grueso. La etapa 3 del trabajo consistió en la confección de bloques con las proporciones de árido fin y grueso combinados con los áridos reciclados en la proporción que mejor se comportó en cuanto a la resistencia y absorción. A partir de esta matriz experimental se obtuvieron hormigones con los cuales se confeccionaron 24 bloques en cada punto, lo que da un total de 216. Para lo cual se ensayaron a compresión a 7 y 28 días (6 bloques por muestra), además de realizarle a los mismos ensayos de absorción, dimensión y de masa (6 bloques por muestra) quedando los restantes para un estudio de envejecimiento futuro, todos estos realizados en la UEB combinado de hormigón Eladio Rodríguez Méndez. Para lo cual se expone a continuación la matriz experimental con las dosificaciones estudiadas.

En la empresa mencionada donde se realizó la aplicación práctica de la investigación se dosifican los materiales de manera diferente según sea el caso, cuando se adiciona el cemento se pesa en una báscula automática, correspondiendo una amasada a 60 Kg, los áridos por su parte se adicionan volumétricamente medidos en pie cúbicos (P^3). Se convirtió cada sustitución planificada en su volumen correspondiente.



Figura 4: Medición de los áridos en pie cúbicos.

En la tabla 13 Se muestran las diferentes dosificaciones estudiadas con la sustitución del árido fino natural por el árido fino reciclado.

Dosificaciones para la sustitución del árido fino por RCA					
Muestras	Cemento (kg)	Árido fino natural (P³)	Árido fino reciclado(P³)	Árido grueso natural (P³)	Relación a/c
Muestra 1 (patrón)	60	3.0	-	7.0	0.18
Muestra 2 (Sustitución del 25%)	60	2.25	0.75	7.0	0.28
Muestra 3 (Sustitución del 50%)	60	1.5	1.5	7.0	0.30
Muestra 4 (Sustitución del 75%)	60	0.75	2.25	7.0	0.32
Muestra 5 (Sustitución del 100%)	60	-	3.0	7.0	0.33

Tabla 13: Sustitución de árido fino reciclado.

En la Tabla 14 Se muestran las dosificaciones estudiadas con la sustitución del árido grueso natural por el árido grueso reciclado y en la Tabla 15 las dosificaciones correspondientes a la sustitución de ambas fracciones granulométricas al 25%.

Dosificaciones para la sustitución del árido grueso por RCA				
Muestras	Cemento (kg)	Árido fino natural (P ³)	Árido grueso reciclado (P ³)	Árido grueso natural (P ³)
Muestra 1 (<i>patrón</i>)	60	3.0	-	7.0
Muestra 6 (Sustitución del 25%)	60	3.0	1.75	5.25
Muestra 7 (Sustitución del 50%)	60	3.0	3.5	3.5
Muestra 8 (Sustitución del 75%)	60	3.0	5.25	1.25
Muestra 9 (Sustitución del 100%)	60	3.0	7.0	-

Tabla 14: Sustitución de árido grueso reciclado.

Dosificación para la sustitución del árido fino y grueso por RCA al 25%					
Muestras	Cemento (kg)	Árido fino natural (P ³)	Árido fino reciclado (P ³)	Árido grueso natural (P ³)	Árido grueso reciclado (P ³)
Muestra 10 (Sustitución del 25% de ambos áridos)	60	2.25	0.75	5.25	1.75

Tabla 15: Sustitución de árido fino y grueso reciclado.

2.4 Ensayos realizados en laboratorio y campo.

Los ensayos que se le realizan al bloque en el laboratorio son los de dimensiones que nos es más que con una cinta métrica medir las dimensiones del mismo (largo, ancho, espesor y altura) y sacar una media de estos. El de absorción donde se toma el bloque (o un pedazo mayor a un Kg) de la muestra y se coloca en la estufa 24 horas a masa constante a una temperatura aproximadamente de 150 °C, una vez transcurrido el tiempo de secado se pone a refrescar las muestras hasta poder manipularse sin empleo de guantes, después se pesa el bloque, se satura el mismo en agua 24 horas preferentemente en un estanque, una vez transcurrido el tiempo se sacan las muestras y se le pasa un paño para secarles las paredes hasta que pierda el brillo y luego se vuelve a pesar y con la diferencia de peso entre el peso mojado y el peso seco que no es más que el agua que absorbe este, se le halla el por ciento que representa esa diferencia del peso seco. Por último el ensayo a compresión donde se toma el bloque un día antes de realizarse el ensayo y se le coloca una capa de pasta sobre la superficie de carga y apoyo de los bloques con el fin de nivelar estas, utilizando una meseta nivelada, esta pasta esta constituida por una parte de cemento gris y una de arena sílice, este colocado como soporta carga, primero se recapa una cara se nivela y se deja curando de 2 a 4 horas y después la otra y se nivela, después se deja el bloque curado para el otro día romperse, se coloca el bloque en la prensa la cual esta compuesta por una esfera con valores y una aguja magnética, se le aplica la carga y esta se

detiene cuando el bloque no es capaz de soportar más carga se toma el resultado de la carga aplicada expresado en KN.

2.5 Equipos, Utensilios y medios de medición.

- Máquina para ensayo a la compresión.
- Hacha de albañil.
- Meseta nivelada con superficie pulida.
- Nivel de burbuja.
- Espátula
- Bandeja metálica
- Cemento gris P350
- Arena sílice
- Aceite desmoldante
- Cinta métrica



Figura 5: Meseta para el recapado de los bloques.



Figura 6: Exterior del laboratorio.



Figura 7: Prensa para el ensayo a compresión.

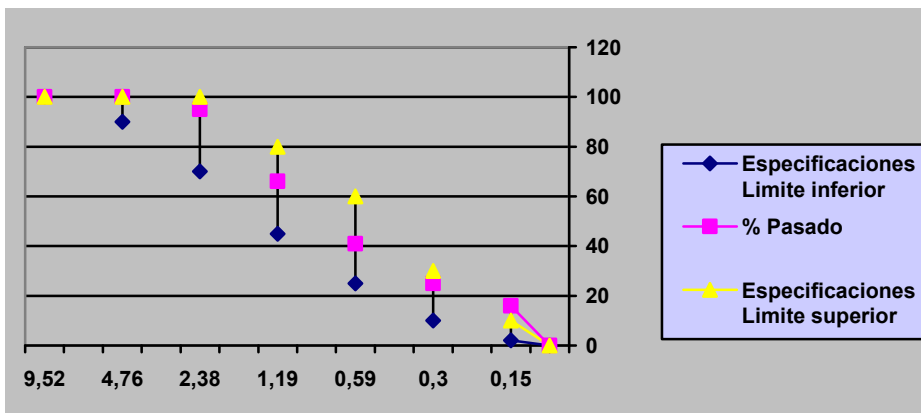


Figura 8: Granulometría del árido fino reciclado.

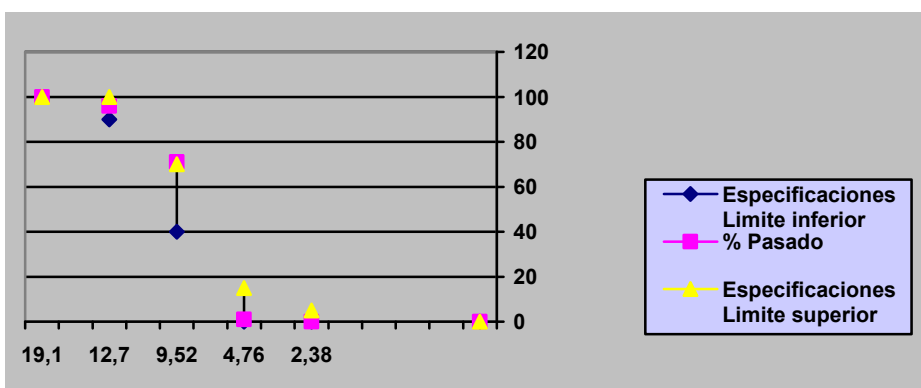


Figura 9: Granulometría del árido Grueso reciclado.

Comentario de los resultados alcanzados.

3.1 Introducción.

A continuación se presentan los resultados del trabajo experimental realizado, sobre el comportamiento de la resistencia a compresión de los bloques, diseñado para una prestación específica, utilizando áridos de procedencia caliza en el caso del árido natural y áridos reciclados de escombros de bloques, producidos los últimos en un molino de martillo en condiciones de pequeño taller.

En el estudio, se decidió trabajar con varias dosificaciones para valorar el comportamiento de los áridos reciclados con sustituciones del 25, 50, 75 y 100% de ambos áridos.

3.2 Determinación de las dimensiones.

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar las dimensiones de fabricación de los bloques. Para esto se efectúa la medición de cada uno de los bloques y se determina el promedio de cada una de sus dimensiones. Las mediciones se realizaron con una cinta métrica metálica con valor de división de 1mm.

Tipo de bloque	l (± 3 mm)	b (± 3 mm)	h (± 3 mm)
II	495	145	195

Tabla 16: Especificación según tipo de bloque correspondiente a la NC: 247-2010

Donde:

l Longitud de los bloques.

b Ancho de los bloques.

h Altura de los bloques

Las mediciones se efectuaron siguiendo el plan establecido en la mencionada normativa nacional.

Dimenciones	Procedimiento de medición
Longitud	3 mediciones en las cabezas
Anchura	7 mediciones en 3 puntos por la cara superior y 3 puntos por la cara inferior.
Altura	6 mediciones en 3 puntos de cada cara lateral

Tabla 17: Procedimiento de medición a loa bloques.

La dimensión promedio (X) y su desviación (Sx) se calculan por medio de las siguientes expresiones.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n}$$

$$Sx = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Xi - X)^2}{n}}$$

Donde:

X dimensión promedio de la muestra.

Xi dimencion de cada bloque.

Sx desviacion típica de las dimensiones de la muestra.

n tamaño de la muestra

A continuación una imagen del proceso seguido.



Figura 10: Foto mostrando la medición del bloque.

Muestra (Descripción)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)
1 (patrón)	498.0	147.7	197.5	30.5
2 (Sustitución del 25% árido fino)	497.0	147.3	197.0	30.0
3 (Sustitución del 50% árido fino)	497.0	146.8	197.3	29.5
4 (Sustitución del 75% árido fino)	497.8	147.0	197.2	29.7
5 (Sustitución del 100% árido fino)	496.7	146.0	197.5	30.3
6 (Sustitución del 25% árido grueso)	498.0	146.7	196.8	29.8
7 (Sustitución del 50% árido grueso)	497.0	146.8	197.7	29.8
8 (Sustitución del 75% árido grueso)	497.7	146.3	197.8	30.5
9 (Sustitución del 100% árido grueso)	496.8	147.0	197.5	30.7
10 (Sustitución del 25% de ambos áridos)	497.2	146.5	197.7	31.2

Tabla 18: Resultados del ensayo de dimensiones a los bloques confeccionados.

3.3 Determinación de la absorción:

Este método se establece para determinar la capacidad de los bloques de absorber una capacidad de agua. Una sección de los bloques fue sumergida en agua para determinar el contenido de esta por diferencia de masa expresada en por ciento.

El procedimiento para este ensayo consiste en colocar las porciones de bloques en la estufa y estas son secadas hasta una masa constante. Cuando se termina este proceso los bloques o las porciones de ellos son pesados y colocados en un estanque lleno de agua de modo que los cubra totalmente. Aquí se dejan sumergidos en reposo durante 24 horas y posteriormente se extraen y el agua superficial es eliminada con un paño húmedo secándolas hasta que pierdan el brillo y cuidando de no exponer las muestras al sol durante este proceso. Luego se pesan en un abalanza determinando así su masa húmeda. La diferencia de estas masas divididas por la masa seca de cada uno de ellos y multiplicadas por 100 nos dará el por ciento de absorción de los mismos.

La absorción de agua de cada muestra (A_i) se calcula por la formula siguiente.

$$A_i = \frac{M_{hi} - M_{si}}{M_{si}} \times 100$$

Donde:

A_i absorción de la muestra (%).

M_{hi} peso saturado de cada unidad de la muestra (Kg).

M_{si} peso seco de cada unidad de la muestra (Kg).

La absorción promedio (A_m) se calcula por la formula siguiente:

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}$$

Donde:

A_i absorción de cada unidad de la muestra de ensayo (%)

A_m absorción promedio (%)

n número de bloques de la muestra de ensayo

Muestra (Descripción)	Absorción (%)
1 <i>(patrón)</i>	6.5
2 <i>(Sustitución del 25% árido fino)</i>	6.6
3 <i>(Sustitución del 50% árido fino)</i>	7.1
4 <i>(Sustitución del 75% árido fino)</i>	8.0
5 <i>(Sustitución del 100% árido fino)</i>	8.5
6 <i>(Sustitución del 25% árido grueso)</i>	6.7
7 <i>(Sustitución del 50% árido grueso)</i>	7.0
8 <i>(Sustitución del 75% árido grueso)</i>	7.1
9 <i>(Sustitución del 100% árido grueso)</i>	7.5

Tabla 19: Resultado del ensayo de absorción realizado a los bloques a los 7 días.

La norma de referencia indica que el valor límite de absorción es del 10% para los bloques del tipo II (bloque 500x200x150). Se observa que todas las muestras estudiadas presentan un valor menor al 10% de absorción. Así según el criterio de aceptación o rechazo seguido se concluye que todas las muestras cumplen con el valor definido en la normativa y son aceptados. El siguiente gráfico representa estos resultados.

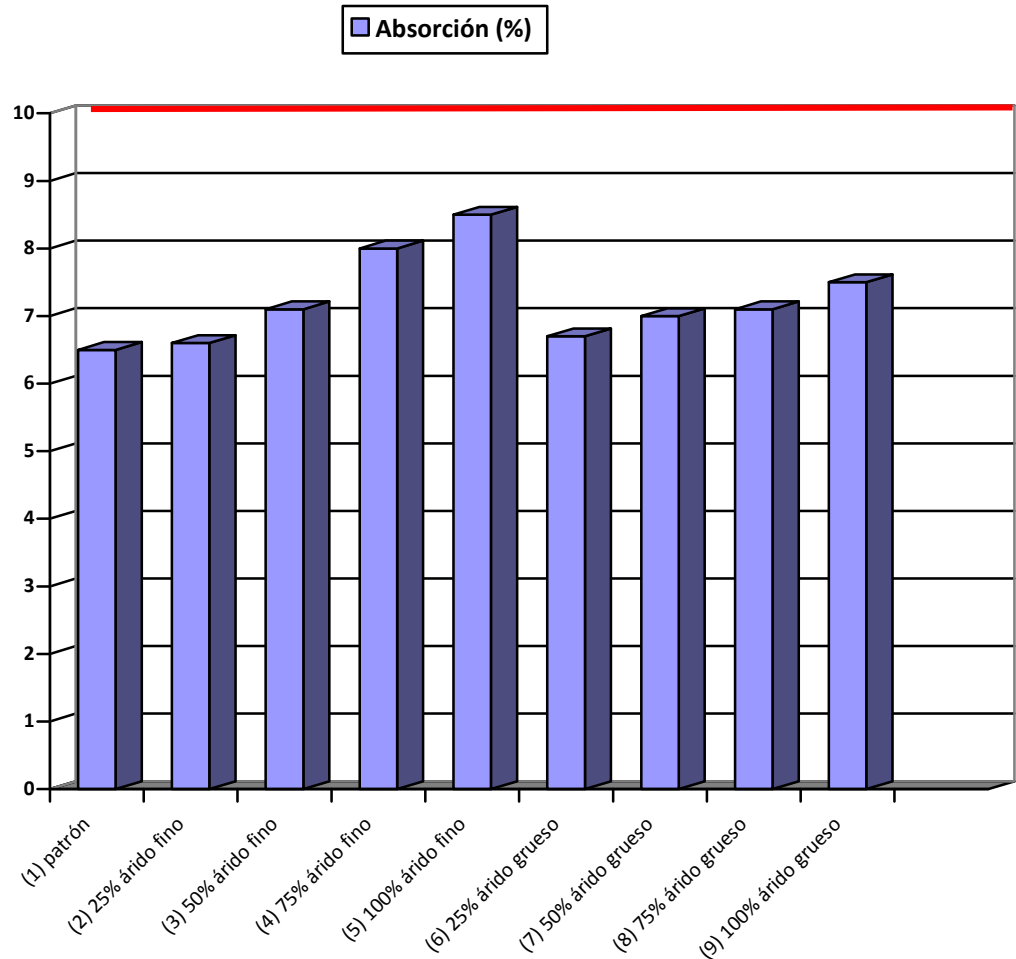


Figura 11: Absorción de los bloques confeccionados con las diferentes sustituciones de árido natural por reciclado de hormigón.

De su análisis se puede concluir que cuando se sustituyen los áridos naturales por reciclados de hormigón de forma separada, para ambas fracciones granulométricas, la tendencia es aumentar la absorción en la medida que se aumenta la presencia de reciclado. Presentan similar comportamiento en comparación con la muestra patrón de árido natural, las muestras con sustitución del 25%.

3.4 Determinación de la resistencia a compresión.

Este método se establece para determinar la resistencia media a la compresión de los bloques y para obtener este resultado es necesario someter a cada bloque de

la muestra de ensayo a una carga de compresión en el sentido longitudinal de los huecos hasta la rotura determinándose la resistencia a la compresión promedio. Las muestras tienen que prepararse antes de realizar el ensayo y este proceso consiste en colocar una capa de pasta de cemento sobre la superficie de carga y apoyo de los bloques con el fin de nivelar dichas superficies de apoyo. Esta capa de nivelación se confecciona con un mortero constituido por cemento gris y arena sílice con una proporción 1:1. A todo este proceso se le denomina recapado de los bloques.

La resistencia a la compresión de cada bloque (R'_i) se calcula por medio de la siguiente expresión.

$$R'_i = \frac{F_j}{a_j}$$

Donde:

R'_i Resistencia a la compresión de cada bloque (Mpa)

F_j Carga de rotura

A_j Área de la sección bruta del bloque

La resistencia a compresión media (R'_m) se calcula por medio de la siguiente expresión.

$$R'_m = \frac{\sum_{i=1}^n R'_i}{n}$$

Donde:

R'_m Resistencia a la compresión media

R'_i Resistencia a la compresión de cada bloque (Mpa)

N Tamaño de la muestra de ensayo

A continuación se muestran los resultados de los ensayos descritos anteriormente realizados a las diferentes muestras estudiadas a los 7 y 28 días de edad.

Muestra (Descripción)	Resistencia a compresión (MPa)	
	7 días	28 días
1 (patrón)	4.4	5.4
2 (Sustitución del 25% árido fino)	8.4	10.0
3 (Sustitución del 50% árido fino)	8.4	9.1
4 (Sustitución del 75% árido fino)	7.2	8.3
5 (Sustitución del 100% árido fino)	6.3	7.4
6 (Sustitución del 25% árido grueso)	8.0	10.0
7 (Sustitución del 50% árido grueso)	5.7	8.4
8 (Sustitución del 75% árido grueso)	2.8**	3.6**
9 (Sustitución del 100% árido grueso)	1.7**	3.0**

(**) No conforme

Tabla 20: Resistencia a compresión de los bloques elaborados con las diferentes sustituciones de árido natural por reciclado de hormigón.

Criterio de aceptación

Los bloques elaborados al ser del tipo II (bloque 500x200x150) deben alcanzar un valor de resistencia a la compresión de 4 Mpa a los 7 días y 5 MPa a los 28 días.

Como se puede apreciar los resultados obtenidos en las muestras estudiadas con la sustitución del árido natural por árido fino reciclado, todas cumplen con el valor de la resistencia especificado en la norma. Nótese que no solo son conformes con la norma sino que superan la muestra patrón. Con relación a las sustituciones del árido grueso natural por árido grueso reciclado las dosificaciones con el 25 y 50% son conformes con el valor señalado por la norma, pero las del 75 y 100% no son conformes para ambas edades.

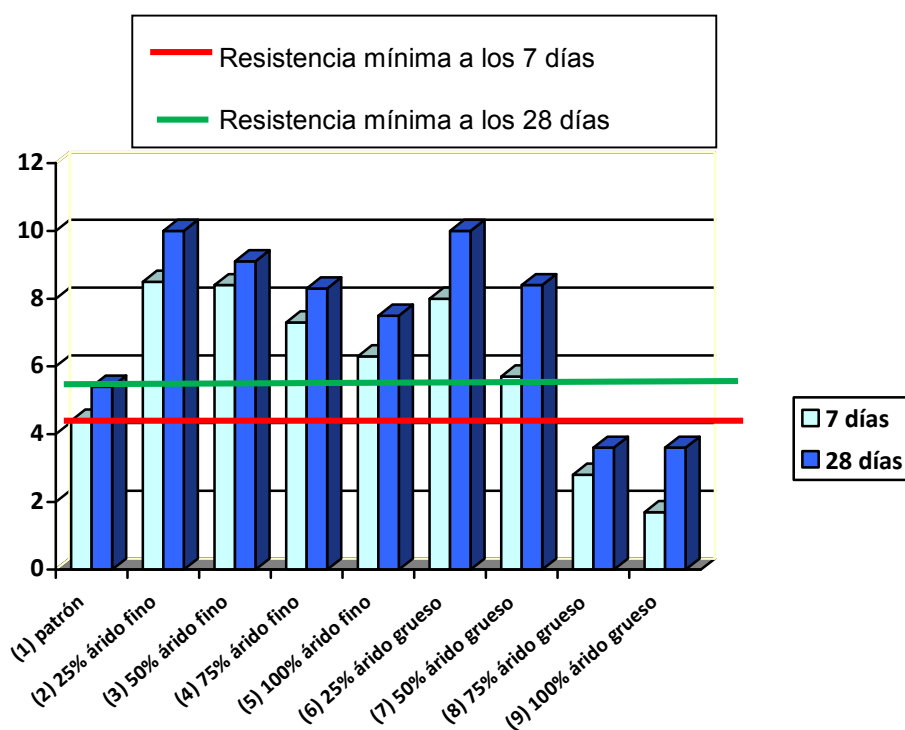


Figura 12: Gráfico de resistencia a la compresión de los bloques elaborados.

Hasta aquí se han mostrado los resultados de sustituir las diferentes fracciones granulométricas por separado. Con vistas a la introducción en la práctica es conveniente proponer una dosificación en la que se sustituyan ambas fracciones por árido reciclado de hormigón. Del análisis de resultados obtenido se propone

estudiar la dosificación en que sustituye el 25% de árido fino y grueso. Estos resultados se muestran a continuación.

Muestra (Descripción)	Absorción (%)	Resistencia a compresión (MPa)	
		7 días	28 días
10 (25% de sustitución fino y grueso)	6.2	6.6	8.7

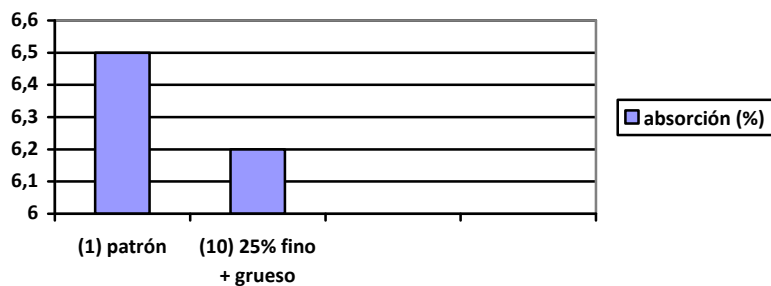


Figura 13: Gráfico de absorción para los bloques elaborados con árido fino y grueso sustituido al 25% por árido reciclado de hormigón.

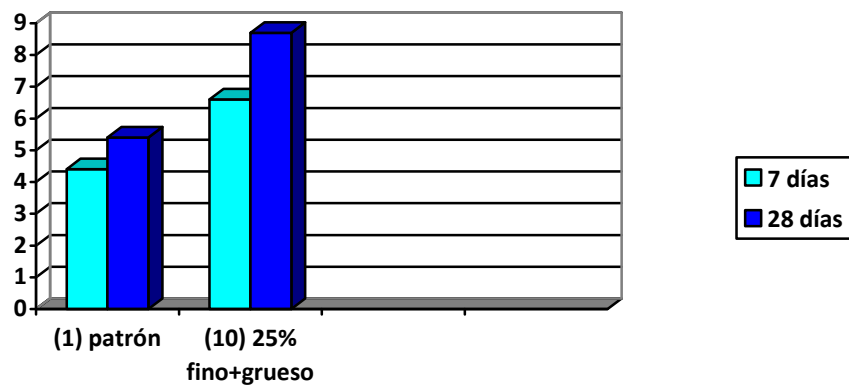


Figura 14: Gráfico de resistencia a compresión para los bloques elaborados con árido fino y grueso sustituido al 25% por árido reciclado de hormigón.

Nótese que los resultados obtenidos para la sustitución de ambas fracciones granulométricas unidas conlleva a la obtención de bloques que resultan conformes con la normativa vigente. Se observa además que los valores de absorción se

encuentran por debajo del exigido por la norma. La absorción en estos bloques es menor que la obtenida en los bloques con áridos naturales.

La resistencia a compresión igualmente se encuentra dentro de los límites permitidos lo cual indica que esta es una dosificación factible de implementar.

CONCLUSIONES

Después de haber analizado las propiedades físico-mecánica de los áridos finos y gruesos reciclados procedentes de la trituración de las pérdidas en el proceso de elaboración de bloques huecos de hormigón, para estimar su calidad, se han arribado a las siguientes conclusiones:

1. Un serio problema actual lo constituye la disposición indiscriminada de los residuos y escombros de construcción, lo cual causa un permanente impacto ambiental negativo, de ahí al apreciar las potencialidades de su empleo por el hombre, la obtención de áridos reciclados aporta múltiples beneficios económicos y medio ambientales facilitando la correcta protección y conservación de los áridos naturales no renovables.
2. Con la aplicación de un sistema de clasificación y trituración 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. El árido fino puede ser sustituido completamente y el árido grueso se limita al 50%, mientras que si se desea emplear en su conjunto ambos se pudieran sustituir hasta el 25% con la garantía de obtener bloques huecos de hormigón, tipo II conformes a las exigencias de la normativa nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAEJOS, P.; Domingo, A., LÁZARO, C.; MONLEÓN, S.Y SÁNCHEZ, M. “Puente reciclado sobre el río Turia en Manises (Valencia)”. III Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación. Zaragoza. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). 2005

ALVAREZ, J.L.; URRUTIA, F.; LECUSAY, D.; FERNÁNDEZ, A. “Morteros de albañilería con escombros de demolición”. Materiales de construcción Vol.47, N°246, p.43-48. España1997.

Austrian Quality Protection Association for Recycled Building Materials. “Guidelines for recycled building materials”. 1992.

Akash, R.; Kumar, N. Jhab; Sudhir, M.: Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. Resources, Conservation and Recycling, 50 (2006) 71-81.

AKHTARUZZAMAN, A.A.; HASNAT, A. “Properties of Concrete Using Crushes Bricks as Aggregate”, Concrete International. Febrero, 1983.

BARRA, M. “Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 1996.

Bauchard, M., “Les matériaux de démolition en France. Le recyclage de la fraction inerte”. Paris, 1992.

BEDEC. Banco de precios BEDEC PR/PCT. CONSTRUMÁTICA: Arquitectura, Ingeniería y Construcción. <http://www.construmatica.com/>

BITSCH OLSEN E. “The Recycled house”. RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). “Demolition and Reuse of Concrete and Masonry”. Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1994. p. 521-527.

BSG “Use of industrial by-products and waste materials in building engineering”. British Standard Guide 6543. 1985.

BS 8500-2:2002: “Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part 2: Specification for Constituent Materials and Concrete”

COLLINS, R.J.: “BRE Digest 433: Recycled Aggregates”. Noviembre 1998.

CSIRO: “Construction and Demolition Waste”. Building Innovation & Construction Technology, N°12, Abril 2000. www.debe.csiro.au/inno-web/0400/conswaste.htm.

CUR: “Report nr. 125: Crushed Concrete Rubble and Masonry as Rubble Aggregate for Concrete”. (Dutch language, summary in English).

Danish Concrete Code. “Use of recycled demolition rubble”. 1989.

Danish Concrete Association. “Recommendations for the use of recycled aggregates for concrete in passive environmental class”. Publicación N°34, 1990.

DE OLIVEIRA, M. J. E.; DE ASSIS, C. S.; DE MATTOS, J.T.; "Recycled Aggregate Standardization in Brazil". Universidad de Estadual Paulista, Centro Universitario do Instituto Mauá de Tecnología, Universidad de Taubate. Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures. Barcelona 2004. Espinar X.: Aportación a la construcción sostenible: Prefabricados de hormigón con árido reciclado Vibro comprimidos. Demolición y Reciclaje, 46 (2009) 68-75.

ETXEBARRIA, M.: "Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 2004.

EUROPEAN THEMATIC NETWORK. "Use of recycled materials as aggregates in the construction industry", Recycling in construction. Combined Volume 2, Issue 3 & 4. March/September 2000. www.ETNRecy.net.

GEHO-CEB. "Demolición y reutilización de estructuras de hormigón", Recomendaciones y Manuales Técnicos (E-7), Editado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.1997.

Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Cement-bonded Substances. FALTA AÑO.

Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France: les bétons et produits de démolition recyclés-LCPC, Paris. Diciembre 1996.

Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Unbound Substances. FALTA AÑO.

<http://ofrir.lcpc.fr>.

HAMASSAKI, L.T.; NETO, C.S.; FLORINDO, M.C. "Utilization of construction waste in rendering mortar". CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION. Concrete in the Service of Mankind. Vol 1. Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK. June 1996, Edited by Dhir, R.K, Dyer, T.D, Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1996. P.485-494.

HONG KONG: "Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates". Works Bureau Technical.

Instrucción de Hormigón Estructural EHE. Borrador 2007. <http://www.fomento.es/>

Información facilitada por UTE Planta de Naval carnero (Madrid).

Información facilitada por TEC REC (Tecnología y Reciclado, S.L.).

Ihobe. Sociedad Pública de Gestión Ambiental: Usos de áridos reciclados mixtos procedentes de Residuos de Construcción y Demolición. Investigación prenormativa, (2011).

KASAI; Y: "Guidelines and the Present State of the Reuse of Demolished Concrete in Japan". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition. pp.93-104, 1994.

KAWANO, H.: "The State of Using By-Products in Concrete in Japan and Outline. Of JIS/TR on Recycled Concrete Using Recycled Aggregate". Public Works Research Institute. Proceedings of the 1st FIB Congress, 2002.

KIBRIYA, T.; SPEARE, P.R.S.; "The use of crushed brick coarse aggregate in concrete", Concrete for Environment Enhancement and Protection. Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, p.495-503. 2004.

Kou, S.C; Poon, C.S.; Chan, D.: Influence of fly ash as a cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 19 (2009), 709-717.

Kou, S.C; Poon, C.S.; Chan, D.: Influence of fly ash as a cement addition on the properties of recycled aggregate concrete. Materials and Structures, 41 (2007), 1191-1201

Kou, S.C et al.: Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks, Construction and Building Materials, 16 (2002) 281-289.

MACHADO, E. A. T. 2008. *Gestión de la ciencia y tecnología para el reciclado de los desechos sólidos en la construcción*. Tesis de Maestría.

MAS, B. et al.: Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. Construcción and Building Materials (2011).Doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.073.

MANSUR, M.A.; WEE, T.H.; LEE, S.C. "Crushed Bricks as Coarse Aggregate for Concrete", CONCRETE FOR ENVIRONMENTENHANCEMENTAND PROTECTION. Concrete in the Service of Mankind. Vol1. Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK. June 1996, Edited by Dhir, R.K, Dyer, T.D, Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition. 1996. p. 505-514.

MONOGRAFÍA ACHE "Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural". Comisión 2 Grupo de Trabajo 2/5 "Hormigón Reciclado".

2006.

MOREL, A.; GALLIAS, J.L.; BAUCHARD, M.; MANA, F.; ROUSSEAU, E. "Practical Guidelines for the Use of Recycled Aggregates in Concrete in France and Spain", RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry", Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition. 1994. p. 71-81.

MUELLER, A.; WINKLER, A.: "Characteristics of Processed Concrete Rubble"; Use of Recycled Concrete Aggregate, Sustainable Construction; Ed. Dhir, Henderson y Limbachiya; p.p. 109-120, 1998.

M. SÁNCHEZ DE JUAN, P. ALAEJOS. MONOGRAFÍA CEDEX: "Estudio sobre las propiedades del árido reciclado: utilización en hormigón estructural". 2006.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2010. NC 247 Bloques huecos de hormigón.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2001 NC 95 Cemento Pórtland- Especificaciones

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2004. NC 353 Aguas para amasado y curado del hormigón y los morteros- Especificaciones.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2005. NC 251 Áridos para hormigones hidráulicos-requisitos.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 177 Áridos. Determinación de % de huecos. Métodos de ensayo.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 178 Áridos. Análisis granulométrico.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 179 Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 180 Áridos. Determinación de partículas ligeras. Métodos de ensayo.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002 NC 181 Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002 NC 185 Arena. Determinación de impurezas orgánicas .Método de ensayo.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002 NC 186 Arena. Peso específico. Absorción de agua. Método de ensayo.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 187 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 188 Árido grueso. Abrasión. Método de ensayo.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 189- Áridos gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo. .

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2002. NC 200- Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074mm (No. 200). Método de ensayo

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 1987. NC 54-395- Materiales de la construcción. Áridos. Textura y definiciones.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 1984. NC 54-29 Materiales y productos de la construcción. Áridos. Toma de muestra.

OCDE, “Stratégies de recyclage dans les travaux routiers”, 1997.

PAKVOR, M.; MURAVLJOV, M.; KOVACEVIC, T. “Exploration of concrete and structural concrete elements made of reused masonry”, RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). “Demolition and Reuse of Concrete and Masonry”, Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition. 1994. p. 391-404.

PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (PNIR) 2007-2015. Anexo 6. II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD).

PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MADRID (2002-2011). Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. Dirección General de Calidad y Evaluación ambiental.

http://www.madrid.org/staticFiles/site_52811278/cit_13710/P_RCD.pdf

PSAWA, F.; NOGUCHI, T.: “New Technology for the Recycling of Concrete. Japanese experience”. Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21th Century. pp. 274-287, 2000.

“Quality Control: The production of Recycled Aggregates. BR392”. ISBN 186081381 X

RAVINDRARAJAH, R.S.; TAM, C.T. “Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate”, Magazine of Concrete Research, Vol. 37, nº 130, p. 29-38. March, 1985.

RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Recycled aggregates and recycled aggregate Concrete", Recycling of Demolished Concrete and Masonry. RILEM Report 6, Edited by Hansen, T.C., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1992.

RILEM. "Specifications for concrete with recycled aggregates", Materials and Structures, N°27, p. 557-559, 1994.

SAGOE-CRENTSIL, K.; BROWN, T.: "Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) Concrete Production".CSIRO, Buildingn Construction and Engineering. Ecorecycle, Victoria. September 1998.

SYMONDS, ARGUS, COWI Y PRC BOUWCENTRUM: "Construction and Demolition; Waste Management Practices, and Their Economic Impacts"; Report to DGXI, European Commission, Febrero 1999.

Turner-Fairbanks Highway research Center and Federal Highway administration, "User Guidelines for Waste and By-product Materials in Pavement Construction, 2002.

URCELAY, C. "Reciclado de escombros de demolición para la fabricación de cemento", Cemento-Hormigón, N°786.P.149-155.1997.
<http://www.icce.es/icce/articulo29.htm>.

VINCKE, J.; ROUSSEAU, E.: "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition, 1994. pp. 57-69.

VRIES, P. "Concrete re-cycled: crushed concrete as aggregate". 21st annual Convention of the Institute of Concrete Technology Covent April, 1993.

WAHLSTRÖM, M; LAINE-YLIJOKI. J; MÄTTÄNEN, A; LUOTOJÄRVI, T; KIVEKÄS, L: "Environmental Quality Assurance System for Use of Crushed Mineral Demolition Wastes in Earth Constructions". Waste Material in Construction: Putting Theory into Practice. Edited by Goumans, Senden, and van der Sloot. 1997, pp. 725-734.

WAINWRIGHT, P.J.; TREVORROW, A; YU, Y.; WANG, Y. "Modifying the performance of concrete made with coarse and fine recycled concrete aggregates", RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry". Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1994. p. 319-330.

WRAP "Mix Design Specification for Low Strength Concretes Containing. Recycled and Secondary Aggregates". 2002