

Elementos constructivos aplicables a viviendas de interés social fabricados con áridos reciclados

Constructive elements applicable to houses of social interest made with recycled aggregate

José Domínguez, Víctor Villanueva*, Emilio Martínez***

** Instituto Tecnológico de Chetumal, MÉXICO*

*** Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", CUBA
jadlepe@yahoo.com*

*Fecha de recepción: 04/06/2003
Fecha de aceptación: 28/03/2004*

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados que se obtienen al reciclar residuos de construcción y demolición para la fabricación de elementos útiles en la construcción de viviendas de interés social. Aunque la aplicación del árido reciclado es muy amplia, en este artículo se expone su aplicación en bloques huecos de hormigón, mosaicos de pasta y adoquines. Estos elementos no se fabricaron en laboratorio, fueron fabricados en industrias de la región para simular su industrialización, con la finalidad de obtener resultados más útiles en caso de su industrialización real. Se sometieron a ensayos físico-mecánicos en laboratorio y aunque no se cubrieron todos los estándares señalados en las normas correspondientes, se encontraron resultados positivos en comparación con materiales homólogos de la región fabricados con materia prima natural y que se utilizan de manera cotidiana. Por lo tanto, se puede concluir que pueden ser utilizados en la construcción de viviendas, brindando una alternativa de menor costo y con la calidad adecuada, además de los beneficios ecológicos que implica el atenuar la explotación de la roca natural y disminuir el volumen de residuos en botaderos o vertederos clandestinos.

Palabras clave: Reciclaje, residuos, industrialización, estándares, vivienda, áridos, bloques huecos, mosaicos, adoquines.

Abstract

This paper presents the results that are obtained when recycled construction and demolition waste were used for the manufacture of useful elements in housing of social interest. Although the application of the recycled aggregate is very wide, and this paper discusses its application in hollow bricks, tiles, and pavements units. These elements were not made in the laboratory, they were made in industries of the region to simulate its industrialization, with the purpose of obtaining more useful results in case of its real industrialization. The elements were put under physical-mechanical tests in the laboratory, and although the standards indicated in the corresponding norms were not met in its totality, positive results were found in comparison with homologous materials used every day, made with natural raw of the region. Therefore, it is possible to conclude, that they can be used in construction of houses, offering an alternative of low cost and the suitable quality, besides of the ecological benefits that implies the attenuating of the use of natural rock and to diminish the volume of remainders in clandestine dumps.

Keywords: Recycling, waste, industrialization, standards, housing, aggregate, hollow bricks, tiles, pavements units

1. Introducción

Es evidente que los recursos naturales con los que contamos en nuestro planeta no son ilimitados. Además las crecientes necesidades humanas, hacen prácticamente imposible que se detenga su aprovechamiento. Por lo tanto, el solventar nuestras necesidades debe basarse en el llamado "desarrollo sustentable". Esto es, aprovechar adecuadamente dichos recursos, cuidando no comprometer lo necesario para el desarrollo de la siguiente generación, que a su vez tendrá la misma responsabilidad. Una necesidad social básica es la vivienda, lo cual se ha tomado en un problema social serio y creciente, ya que cada vez somos más y contamos con menos espacios y recursos para construir.

A su vez, la industria de la construcción genera una gran cantidad de desechos, ya sea por el mismo proceso de construcción o por demoliciones, de hecho es la mayor fuente de residuos industriales en los países desarrollados, los cuales se han evaluado en cerca de 450 Kg. por habitante por año (Molina, 1997), sin tomar en cuenta guerras ni desastres naturales. De ese gran volumen el hormigón es el más abundante, ya que representa el 67% en peso (Frondistou-Yannas, 1985). Este criterio es compartido por Bossink (Bossink y Brouwers, 1996) que han desarrollado extensos estudios de esta temática en Europa. Si al hormigón le agregamos otros residuos de origen pétreo como los morteros, la



cerámica, bloques y piezas ornamentales entre otros, este porcentaje se vería incrementado pudiendo llegar a ser hasta un 85% del total (Molina, 1997). Generalmente estos materiales de desecho van a parar a botaderos clandestinos como terrenos baldíos o áreas ecológicas y en el mejor de los casos se utiliza como relleno, teniendo como resultado una mala imagen urbana y contaminación. Una manera de coadyuvar a preservar el medio ambiente y los recursos, es el reciclaje de estos desechos, ya que a través de ellos se pueden obtener nuevos materiales para la construcción. La idea de reciclar residuos de la construcción no es nueva, en Estados Unidos y particularmente en Europa que se enfrentó después de la Segunda Guerra mundial a sus ciudades destruidas y a un grave problema de acumulación de escombros, se ha comprendido la importancia ecológica y económica del reciclaje, lo que ha motivado la creación de comités como el RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos e Investigación sobre los Materiales y las Construcciones) y el EDA (European Demolition Association), con la intención de crear y promover normas para la utilización de este tipo de áridos.

En México, muy poco se ha hecho al respecto a pesar de conocer la problemática. Con la intención de contribuir al conocimiento de estos materiales en nuestro país, con sus características particulares y fomentar la idea de su uso, se desarrollo este trabajo de investigación.

Aquí se presentan los resultados que se obtienen al reciclar los residuos de construcción y demolición convirtiéndolos en nuevo árido que a su vez, y dadas sus características, fueron utilizados para fabricar lo que aquí hemos denominado "elementos constructivos aplicables a viviendas de interés social". Aunque la aplicación del árido reciclado es muy amplia, en este artículo se expone su aplicación en bloques huecos de hormigón, mosaicos de pasta y adoquines.

Estos elementos no se fabricaron en laboratorio, fueron fabricados en industrias de la región para simular su industrialización, con la finalidad de obtener resultados más útiles en caso de su industrialización real. Se sometieron a ensayos físico-mecánicos en laboratorio y aunque no se cubrieron todos los estándares señalados en las normas correspondientes, se encontraron resultados positivos en comparación con materiales homólogos fabricados en la región con materia prima natural que

tampoco cubren estrictamente las normas y sin embargo se utilizan de manera cotidiana. Por lo tanto, se puede concluir que pueden ser utilizados en la construcción de viviendas, brindando una alternativa de menor costo y con la calidad adecuada, además de los beneficios ecológicos que implica el atenuar la explotación de la roca natural y disminuir el volumen de residuos en botaderos o vertederos clandestinos.

2. Metodología

2.1 Muestreo de la Materia Prima

Apegándose a los criterios del muestreo determinístico intencional (Namakforoosh, 1993), se recolectaron 42 m³ de residuos¹ de 7 lugares distintos, siempre cuidando que las muestras fueran representativas en volumen y tipo de los desechos generados en la región. Se tomaron residuos de hormigón, bloques, bovedillas, cerámica, morteros y acabados diversos. La carga del material a los camiones de volteo se hizo utilizando medios manuales, con la finalidad de tener una selección implícita, es decir, verificando que la materia prima estuviera libre de materiales como: vidrios, maderas, plásticos, cartones, papel y acero. Una vez que se contaba en la planta trituradora con el volumen total especificado, se realizó una inspección final para verificar, y en todo caso mejorar la limpieza de la materia prima.



Figura 1. Recolección de la materia prima

¹ Se calculó este volumen de residuos con el doble objetivo de simular su industrialización y continuar el proyecto con la construcción de un módulo de vivienda escala 1:1 de 3.50x4.0 m. con el material obtenido.



Figura 2. Inspección de la materia prima



Figura 3. Trituración de los desechos



Figura 4. Apilado de los nuevos agregado

2.2 Obtención y Caracterización de Áridos

Con los 42 m³ de desechos, se obtuvieron por trituración 15m³ de árido fino, 5 m³ de gravilla y 12 m³ de árido grueso. El proceso fue el mismo que se emplea para la roca natural.

Una vez obtenidos los nuevos áridos, fueron trasladados a las Instalaciones del Instituto Tecnológico de Chetumal, México, para aplicarles las pruebas de laboratorio necesarias de acuerdo a las normas Mexicanas y de la ASTM, a fin de determinar sus características físicas que servirían de apoyo para la fabricación de bloques, mosaicos y adoquines. Paralelamente se tomaron muestras de material natural, para realizarles los mismos estudios como punto de comparación y referencia, obteniéndose los resultados que se muestran en las Tablas 1 a la 5.

2.3 Proceso de Elaboración de los Bloques

Se fabricaron bloques reciclados y naturales en una fábrica local a las afueras de la ciudad, utilizando una bloquera vibrocompresora marca ITAL MEXICANA, modelo Vibramatic V-67-A., con un motor de 75 CP, 1736 RPM, 220/440 Volts. y moldes con capacidad para 5 bloques por evento.

No se hicieron combinaciones entre material reciclado y natural. Tanto para el material reciclado como para el natural se hicieron amasadas de acuerdo a la capacidad de la revolvedora horizontal con el mismo proporcionamiento en ambos casos:

- 133 litros de agregado fino.
- 57 litros de gravilla.
- 16.5 litros (25 Kg.) de cemento Pórtland Tipo F

Con cada amasada se produjeron 5 "tablas" con 5 bloques cada una, obteniendo un total de 25 bloques huecos de 3 celdas, de 15 x 20 x 40 cm. Se realizaron un total de 18 amasadas de material reciclado para fabricar 450 bloques y 6 amasadas de material natural para fabricar 150 bloques².

Finalmente se procedió a su curado por aspersión por única ocasión durante 30 minutos⁴.

2.4 Proceso de la Elaboración de los Mosaicos

Este proceso que es bastante artesanal en la zona, se llevó a cabo en una fábrica de mosaicos y adoquines local, teniendo como herramienta principal

² La cantidad utilizada fue de medio saco de 50 Kg. por amasada, la cantidad en litros es aproximada ya que fue medida semicompacta en campo.

³ Esta cantidad de bloques y mosaicos es con el doble objetivo de simular su industrialización y continuar el proyecto con la construcción de un módulo de vivienda escala 1:1 de 3.50x4.0 m. con el material obtenido.

⁴ Es la costumbre de la región, pues se tiene una humedad ambiental que fluctúa entre un 60 y 87%.

una prensa mosaíquera con capacidad para 5 toneladas. Se elaboraron tanto los mosaicos reciclados como los naturales con el mismo proporcionamiento y sin hacer mezclas entre los áridos reciclados y naturales. Se utilizaron tres tipos de mezclas para las diferentes capas del mosaico de pasta: Pasta, material seco y material húmedo con los siguientes proporcionamientos:

- *Pasta:* 9.5 litros de cemento Pórtland blanco, 9.5 litros de arena de mar; 150 gr. de pintura mineral en polvo y 9.5 litros de agua.
- *Material seco:* 19 litros de cemento Pórtland gris tipo I y 19 litros de agregado fino.
- *Material húmedo:* 19 litros de cemento Pórtland gris tipo I, 19 litros de agregado fino y 19 litros de agua.

Con cada una de estas amasadas se fabricaron 30 mosaicos de 30 x 30 x 2 cm. Se fabricaron un total de 150 mosaicos reciclados y 60 mosaicos naturales³.



Figura 5. Elaboración de los bloques

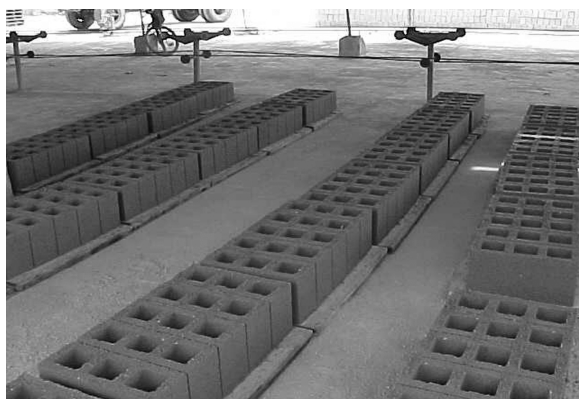


Figura 6. Block terminado



Figura 7. Elaboración de los mosaicos



Figura 8. Mosaico terminado

2.5 Proceso de Elaboración de Adoquines

Este se lleva a cabo en la misma fábrica mosaíquera antes mencionada, al igual que con los bloques y los mosaicos, no se mezclaron los áridos reciclados y naturales, fabricándose piezas con ambos materiales. El proceso fue el tradicional de la zona, sin utilizar ningún equipo especializado, únicamente herramienta de mano y los moldes correspondientes.

Para la obtención de los adoquines se utilizaron amasadas con el siguiente proporcionamiento:

- 133 litros de agregado fino
- 133 litros de gravilla
- 50 Kg. de cemento Portland gris tipo I.
- 6 Kg. de pintura mineral en polvo.

Obteniendo con cada una de estas amasadas de 78 a

80 piezas⁵. Se fabricaron 100 adoquines reciclados y 20 naturales del tipo "Español", denominado así por su forma, que es simétrica como se puede observar en la figura 10, con un espesor de 5.5 cm.



Figura 9. Mezcla y molde utilizados



Figura 10. Adoquines terminados

2.6 Pruebas de Laboratorio a los Bloques

Para este elemento se llevaron a cabo las siguientes pruebas tanto a los materiales reciclados como a los naturales, tomando en cuenta las especificaciones correspondientes:

A partir de la Norma NMX-C-404-1997-ONNCCE:

- a) Determinación de las dimensiones. (NMX-C-038-1974).

- b) Resistencia a la compresión. (NMX-C-036-1983).
- c) Determinación de la absorción del agua. (NMX-C-037-1986).

2.7 Pruebas de laboratorio a los mosaicos

Estas se desarrollaron a partir de la Norma NOM C-8-1974. Las pruebas efectuadas fueron las siguientes:

- a) Dimensiones. (Inciso 5.1.)
- b) Acabado. (Inciso 3.1.2.4.)
- c) Determinación de la absorción del agua. (Inciso 5.6.)
- d) Prueba de resistencia a la flexión (módulo de ruptura). (Inciso 5.4.)

2.8 Pruebas de Laboratorio a los Adoquines

Estas se desarrollaron de acuerdo a la Norma NOM-C-314-1986. Las pruebas a las cuales fueron sometidos son las siguientes:

- a) Determinación de las dimensiones. (Inciso 5.3.1.)
- b) Determinación de la absorción del agua. (Inciso 7.2.)
- c) Resistencia a la compresión. (Inciso 7.1.)

3. Resultados

3.1 Características físicas de los áridos

Los ensayos se realizaron según se señala en las normas Mexicanas y de la ASTM, arrojando los resultados que se muestran a continuación:

Tabla 1. Características físicas del árido grueso (grava)

Características de la muestra	Unidad	Material natural	Material reciclado
Peso volumétrico seco y suelto	Kg./m ³	1,061.00	1,129.00
Peso volumétrico seco y compacto	Kg./m ³	1,138.00	1,176.00
Densidad	Kg./lt	2.03	1.99
Absorción	%	13.64	11.82
Abrasión	%	35.70	43.40

Tabla 2. Características físicas del árido grueso (gravilla)

Características de la muestra	Unidad	Muestra natural	Muestra reciclada
Peso volumétrico seco y suelto	kg/m ³	1,042.00	1,068.00
Peso volumétrico seco y compacto	kg/m ³	1,157.00	1,130.00
Densidad	kg/lt	2.02	2.07
Absorción	%	13.60	11.56

⁵ Existe una gran variedad de formas de adoquines, pero todas permiten su colocación modular en forma continua, el número de piezas que se obtienen por amasada depende de la forma del adoquín.



Tabla 3. Características físicas del árido fino

Malla #	Material natural % que pasa	Material reciclado % que pasa	Especificación ASTM C-136 3/4" a #4
2"	100	100	0
11/2"	100	100	0
1"	100	100	100
3/4"	93	97	90-100
1/2"	35	54	0
3/8"	12	30	20-55
Nº 4	10	21	0-15
Nº 8	0	0	0-5

Tabla 4. Granulometría del árido grueso

Características de la muestra	Unidad	Muestra natural	Muestra reciclada
Peso volumétrico promedio, seco y suelto	kg/m ³	1,245.00	1,306.00
Densidad	kg/lt	2.10	1.91
Absorción	%	7.99	14.03
Modulo de finura.	-----	2.53	2.82

Tabla 5. Granulometría del árido fino

Malla #	Material natural % que pasa	Material reciclado % que pasa	Especificación ASTM C-33
3/8"	100	100	100
Nº 4	100	99	95-100
Nº 8	86	77	80-100
Nº 16	63	55	50-85
Nº 30	44	38	25-60
Nº 50	30	29	10.-30
Nº 100	24	20	2.-10

3.2 Bloques

a) Determinación de las dimensiones. (NMX-C-038-1974).

Para esta prueba se tomaron 10 especímenes reciclados y 10 especímenes naturales, a los cuales de acuerdo a la norma se les mantuvo a la temperatura ambiente durante las mediciones.

Tabla 6. Determinación de las dimensiones (Promedios obtenidos).

BLOCK	ANCHO (cm.)	LARGO (cm.)	ALTO (cm.)
RECICLADO	15.1	40.4	19.50
NATURAL	15.0	40.4	19.50

De acuerdo a la Norma, tanto los especímenes reciclados como los naturales cumplieron con los requerimientos, ya que se mantuvieron dentro de los márgenes permisibles.

b) Resistencia a la compresión. (NMX-C-036-1983).

Para esta prueba se tomaron 5 especímenes reciclados y 5 especímenes naturales, a los cuales se les dio el tratamiento previo a la prueba de acuerdo a la norma

correspondiente. Los requisitos que debe cumplir el producto se muestran en la Tabla 7 y los resultados obtenidos en la Tabla 8.

Tabla 7. Clasificación para bloques huecos por su resistencia a la compresión

TIPOS	Resistencia mínima de ruptura a la compresión sobre el área total (Mpa).	
	Promedio de 5 piezas.	Pieza individual.
A ₁	7.0	5.6
A ₂	6.0	4.8
B	4.0	3.2
C	2.3	1.8

Tabla 8. Resistencia a la compresión de los bloques y clasificación alcanzada

Especímen	Resistencia a la compresión (MPa)	
	Reciclado	Natural
1	2.73	2.55
2	2.29	3.02
3	3.00	2.63
4	1.88	2.65
5	2.31	2.70
Promedio	2.44	2.71
Clasificación	Tipo "C"	Tipo "C"

c) Determinación de la absorción del agua. (NMX-C-037-1986).

Nuevamente se tomaron 5 especímenes reciclados y 5 especímenes naturales para esta prueba, dándoles el tratamiento previo señalado en la norma. Las especificaciones que debe cumplir el producto de acuerdo a la norma se dan en la tabla 9 y los resultados obtenidos en la Tabla 10.

Tabla 9. Clasificación de los bloques por su nivel de absorción de agua

TIPO	Absorción máxima de agua fría en 24 horas (Its/m ³). Promedio de cinco piezas.
A ₁	220
A ₂	240
B	290
C	---

Para calcular el agua absorbida de cada espécimen se utilizó la Fórmula 1.

$$A = \frac{M_{ss} - M_s}{M_{ss} - P_a} \times 1000 \quad (1)$$

En donde:

A = Agua absorbida (lts/m³).

M_{sss} = Masa saturada y superficialmente seca (kg).

P_a = Peso ahogado (kg).

M_s = Masa seca del espécimen (kg).

Tabla 10. Absorción de los bloques y clasificación alcanzada

Espécimen	Agua Absorbida (lts/m ³)	
	Reciclado	Natural
1	290	266
2	286	270
3	278	260
4	289	287
5	288	246
Promedio	286	266
Clasificación	Tipo "B"	Tipo "B"

3.3 Mosaicos

a) Dimensiones. NOM-C-8-1974 (Inciso 5.1.)

De acuerdo a la norma se tomaron como lote de muestra 3 mosaicos reciclados y 3 naturales de 30x30x2 cm., y en ambos casos cumplieron con las especificaciones requeridas debido a que:

- El espesor de la pasta fue de 5 mm., siendo el mínimo aceptable de 3 mm.

- Sus dimensiones de largo y ancho estuvieron dentro de la tolerancia de 2 mm.

Permitiendo con esto una colocación adecuada al emplearse en la construcción como recubrimiento de pisos y paredes, exteriores e interiores

b) Acabado. NOM-C-8-1974 (Inciso 3.1.2.4.)

Esta es una prueba de observación directa, en la que los dos tipos de mosaicos cumplieron con la norma debido a que:

- Tuvieron sus cantos lisos

- Libres de salientes.

- Sus aristas fueron rectas.

- Y no presentaron despostilladuras (desprendimientos).

c) Determinación de la absorción del agua. NOM-C-8-1974 (Inciso 5.6.)

Nuevamente se tomaron 3 especímenes de cada tipo de material, y apeándose a la norma correspondiente se obtuvieron los resultados de la tabla 11.

Tabla 11. Porcentajes de absorción de los mosaicos

Espécimen	% de Absorción	
	Reciclado	Natural
1	15.44	16.44
2	17.38	16.47
3	16.68	16.78
Promedio	16.50	16.60

Según la norma en cuestión la absorción máxima permisible es de 15.50%, por lo tanto, aunque levemente por encima (1%), ninguno de los dos materiales cumplió con lo especificado en este rubro.

d) Prueba a la flexión (módulo de ruptura). NOM C-8-1974 (Inciso 5.4.)

Para el cálculo del módulo de ruptura se utilizó la fórmula 2, los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 12.

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3pL}{b} \quad (2)$$

En donde:

p = Carga máxima indicada por la máquina de prueba, en Kg.

L = Distancia entre los soportes en cm.

b = Ancho en cm.

d = Promedio del espesor en cm.

Tabla 12. Módulo de ruptura de los mosaicos

Espécimen	Módulo de Ruptura (MPa)	
	Reciclado	Natural
1	3.98	4.32
2	4.12	4.08
3	4.14	4.23
Promedio	4.08	4.21

En ambos casos se cumplió con bastante amplitud la norma que indica un mínimo de 2.02 Mpa en el módulo de ruptura, lo que indica una buena resistencia a la flexión de los dos materiales.

3.4 Adoquines

a) Determinación de las dimensiones. NOM-C-314-1986 (Incisos 5.3.1 y 5.3.2)

Según esta norma, el ancho de la sección mínima de los adoquines no debe ser menor de 80 mm. ni mayor de 250 mm.; la relación largo-ancho debe ser entre 1.0 y 2.0 y la relación espesor-largo no debe ser menor



4. Discusión

de 0.20 ni mayor de 0.50.

En ambos casos las dimensiones y las proporciones entre estas se encontraron dentro del rango establecido. El espesor al ser de 5.50 cm. clasificó como tipo A, con aplicación para andadores, plazuelas, banquetas y cocheras. Este requisito y los referentes a su resistencia a la compresión y absorción de agua están plasmados en la Tabla 13.

Tabla 13. Especificaciones para adoquines. NOM-C-314-1986 (Inciso 5.4)

TIPO	Espesor mínimo en cm.	Absorción en agua por 24 horas (%máx.).	Resistencia a la compresión en (MPa)
A	4 a 6	8	25
B	8	8	25
C	8	8	30
D	8 ó más	8	35

b) Determinación de la absorción del agua. NOM-C-314-1986 (Inciso 7.1)

Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 14, como se puede observar en lo indicado en la tabla 13 este requisito no fue cumplido por ninguno de los dos materiales, ya que la absorción máxima admisible es de 8.0 % y los resultados obtenidos estuvieron muy por encima.

Tabla 14. Porcentajes de absorción de los adoquines

Especimen	% Absorción	
	Reciclado	Natural
1	14.95	13.62
2	15.07	13.79
3	15.85	14.32
Promedio	15.30	13.90

c) Resistencia a la compresión. NOM-C-314-1986 (Inciso 7.1.)

Las resistencias alcanzadas para ambos materiales se plasman en la tabla 15, para este rubro tampoco se alcanzaron los mínimos indicados por la regla según la Tabla 13.

Tabla 15. Resistencia a la compresión de los adoquines.

Especimen	Resistencia(MPa)	
	Reciclado	Natural
1	17.90	17.50
2	11.00	19.70
3	17.80	17.50
Promedio	15.57	18.23

El estudio y uso de los materiales reciclados no es nuevo pero su auge se ha venido incrementando notablemente en los últimos años, esto debido a que el mundo ha comprendido su importancia económica y ecológica. En términos generales los investigadores desde décadas pasadas (Buck, 1977), (Malhotra, 1976), (Frondistou-Yannas, 1985) y hasta en años más recientes (Kasai, 1993), (Barra, 1997), (Gómez, 1999), (Dal Molin, 2003) coinciden en que las principales diferencias entre áridos reciclados y naturales la constituyen por un lado la mayor absorción de humedad por parte de los primeros, acentuándose en los áridos finos (14.03% en este estudio), lo cual se atribuye a la porosidad de la pasta de cemento, que tiende a concentrarse en la parte fina. La otra diferencia es la densidad del árido reciclado que es menor, pero las variantes de densidad no son tan marcadas como las que se tienen en absorción. En el presente trabajo se encontraron resultados coincidentes con estos, de hecho los autores han realizado trabajos más extensos con este tipo de áridos (Domínguez y Villanueva, 2000) en años anteriores y los resultados han sido muy similares. En cuanto a la granulometría, se obtuvieron porcentajes muy altos en la fracción fina en especial la que pasan la malla 100 (20%), lo que resulta perjudicial a la hora de fabricar hormigones, sin embargo cabe señalar que este porcentaje de finos fue aún mayor en el árido natural que se utiliza regularmente en la zona (24%), problema que es conocido y ha sabido solventarse por los constructores locales. De hecho el RILEM en sus recomendaciones emitidas a través de su grupo de tarea (RILEM, 1994) reconoce que a los áridos finos reciclados se les pueden aplicar las especificaciones tradicionales, no así al árido grueso al que condiciona en su porcentaje de participación en los hormigones, debido a que en condiciones especiales de exposición y debido a su porosidad podrían afectar la durabilidad del hormigón armado ya que la velocidad de carbonatación y de ingreso del cloruro puede ser mayor. Conocedores de esto en el presente trabajo se buscaron aplicaciones para hormigón simple como es el caso de los elementos aquí estudiados.

Como se pudo observar los bloques reciclados clasificaron bien en cuanto a sus dimensiones y como Tipo C y B en cuanto a su resistencia a la compresión (2.44 MPa) y absorción (286 lt/m³) respectivamente. Los bloques naturales también clasificaron como C y B con 2.71 MPa. Para la resistencia a la compresión y 266 lt/m³ para la absorción. Resultados muy similares a los obtenidos en Venezuela (Pernía et al., 1996) y Brasil (Soasa et al., 2003) que reportan resistencias a la compresión entre 2.30 y 3.4 MPa. Durante la búsqueda bibliográfica no se

encontró referencia alguna para mosaicos de pasta y adoquines reciclados, lo que hace de este trabajo una contribución al estado del conocimiento en la materia. Se piensa que esto es debido a que en los países desarrollados este tipo de materiales se encuentra prácticamente en extinción con la aparición de los pisos de cerámica, pero no en América Latina donde su uso todavía representa una alternativa. Para estos materiales se cumplieron las normas de tamaño y acabado, inclusive la resistencia a la flexión de los mosaicos estuvieron con 4.08 Mpa para el reciclado y 4.21 MPa. Para el natural, ambos muy por encima de lo señalado en la norma como requisito (2.02 MPa).

No se cumplieron los requisitos para el rubro de absorción con 16.50% para reciclados y 16.60% para naturales, cuando la regla marca un máximo de 15.50%. El adoquín con un 15.30% para natural y 13.90 para reciclado estuvo muy por encima de lo permitido, pues la norma marca un máximo de 8.0%. En cuanto a la resistencia a la compresión de los adoquines la norma señala un mínimo de 25.00 MPa. y solo se alcanzaron 15.57 MPa. para reciclados y 18.23 MPa. para naturales.

Aunque los elementos constructivos en algunos casos no cumplieron completamente con las normas correspondientes, si son competitivos con los materiales naturales utilizados en la zona que tampoco aprobaron íntegramente el examen de las normas, pero que han pasado por el escrutinio de los constructores locales, del tiempo y de los usuarios, es por eso que nos atrevemos a decir que pueden ser utilizados para la construcción de viviendas y otras edificaciones similares, brindando una alternativa de menor costo, sin soslayar los importantes beneficios ambientales que esto trae consigo al utilizar los desperdicios contaminantes, al dejar de derribar un porcentaje de selva y al ahorrar energía por la disminución en la explotación de la roca natural.

Otro punto a destacar es la materia prima utilizada, mientras en los países desarrollados se insiste en fabricar hormigón reciclado a partir de hormigón original, clasificando inclusive a otros materiales como los morteros y tabiques como contaminantes, en América Latina se hacen esfuerzos por reciclar materia prima más heterogénea. El RILEM que es un organismo bastante respetable por sus estudios en este campo, recomienda continuar con estos estudios para ampliar y profundizar en el conocimiento de estos materiales (RILEM, 1994), los cuales por su naturaleza son de características muy diversas de región en región y es así como cada País deberá hacer esfuerzos enfocados al uso de los materiales

reciclados atendiendo a su realidad y necesidades particulares. De allí la importancia del presente trabajo que estudia los materiales resultantes del reciclaje de los residuos de una región específica de México, y aun más, atiende a su realidad tecnológica, cultural y económica al estudiar materia prima heterogénea y elementos que para otros Países no reviste mayor importancia. Se deberá continuar con los estudios encaminados a medir la durabilidad y estabilidad de las propiedades encontradas, así como el análisis de costos para determinar de manera más aproximada la factibilidad económica de su utilización.

5. Agradecimientos

Al Sistema Regional de Investigación "Justo Sierra Méndez" (SISIERRA) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento brindado a este trabajo de Investigación.

Al Instituto Tecnológico de Chetumal, por todo el apoyo Institucional.

Al Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" de la Habana, Cuba, por el apoyo y tutoría para el desarrollo de los trabajos.

6. Bibliografía y Referencias

- Barra, M. (1997), *Dosagem de concretos con agregados reciclados: Aspectos particulares*, en: *Reciclagem na construcao civil, alternativa económica para protecao ambiental*, ANAIS, 29 de abril, Sao Paulo, Brasil.
- Bossink, B.A.G., y Brouwers, H.J.H. (1996), "Construction Waste: Quantification and Source Evaluation", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.122, Núm.1, pp 55-60, New York.
- Buck, A.D. (1977), "Recycled Concrete as a Source os Aggregate", *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 74, Núm. 5, pp.212-219.
- Dal Molin, D. (2003), "Durabilidad de Concretos Fabricados con Agregados Reciclados", VII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción CONPAT 2003, ALCONPAT, septiembre del 2003, Yucatán, México.
- Domínguez, J.A., y Villanueva, V. (2000), "Caracterización de Agregados Producto de Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición", *Revista Avacient*, No.27, Año 10, pp. 11-22.



- Frondistou-Yannas, S.A. (1985), " *Concreto Reciclado como un nuevo Agregado* ", Revista IMCYC, Vol.23, Núm. 175, pp. 53-70, México.
- Gómez, J.M. (1999), " *Cualidades Físicas y Mecánicas de los agregados reciclados de concreto* ", Revista Construcción y Tecnología del IMCYC, Vol. 15, Núm.167, pp. 10-22.
- Kasai, Y. (1993), " *Guidelines and the present state of the reuse of demolished concrete in Japan* " en: Lauritzen, E.K. (Ed.), *Demolition and reuse of concrete and masonry, guidelines for demolition and reuse of concrete and masonry*, octubre, pp.93-104.
- Malhotra, V.M. (1976), " *Use of Recycled Concrete as a new Aggregate* ", Report 76-18, Canadian Center of Mineral and Energy Technology, Ottawa, Canada.
- Molina, J.M. (1997), " *Recuperación de Materiales de Construcción* ". Boletín CF+S Especial sobre Residuos. Documento recuperado en <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/lista.html>.
- Namakforoosh, N.M.(1993), " *Metodología de la Investigación* ", Ed. Limusa, México.
- NMX-C-404-1997-ONNCCE (1997), *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. "Industria de la Construcción-Bloques-Tabiques o Ladrillos y Tabicones para uso estructural-Especificaciones y Métodos de prueba"*.Ed. ONNCCE
- NMX-C-038 (1974), *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas Norma Mexicana, "Determinación de las dimensiones de ladrillos y bloques para la construcción"*.
- NMX-C-036 (1983), *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas, Norma Mexicana "Industria de la Construcción-Ladrillos, Bloques y Adoquines de concreto-Resistencia a la compresión-Método de prueba"*.
- NMX-C-037-19 (1986), *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas, Norma Oficial Mexicana, "Industria de la Construcción-Concreto-Bloques, Ladrillos o Tabiques y Tabicones de Concreto Determinación de la absorción del agua"*.
- NOM-C-8- 1974 (1974), *Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Normas, Norma Oficial Mexicana, Mosaicos*.
- NOM-C-314-1986 (1986), *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas, Norma Oficial Mexicana, Idustria de la Construcción-Concreto-Adoquines para uso en pavimentos*.
- Pernía, S., Ramos, M.A., Suárez, C.J. y Málave R. (1996), " *Industrializad Recycling of Construction Waste* ", XXIV IAHS World Housing Congress, Ankara, Turkey.
- RILEM (1994), " *RILEM Recommendation 121-DRG Guidance for Demolition and reuse of Concrete and Masonry. Specifications for Concrete with Recycle Aggregates* ", *Materials and Structures*, Núm.27, PP.557-559.
- Souza, J.G., Bauer, E., y Sposto, R. (2003), " *Reciclagem de entulho de construação civil como agregado: produto de blocos de concreto* ", VII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción CONPAT 2003 " , ALCONPAT, septiembre del 2003, Yucatán, México.

