

Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas

Domínguez Lepe, J. A¹. y Martínez L. Emilio²

Fecha de recepción: 16 de mayo de 2007 – Fecha de aceptación: 6 de noviembre de 2007

Resumen

La industria de la construcción demanda grandes volúmenes de recursos y es la mayor productora de residuos sólidos; sin embargo, estos no se aprovechan adecuadamente. Este trabajo tiene un doble objetivo; primero, demostrar que es posible reinsertar estos residuos al ciclo de vida de la construcción de viviendas y segundo, contribuir al conocimiento de estos materiales, con sus características particulares para fomentar su uso. Inicialmente se expone la fabricación y caracterización de agregados, elementos constructivos y concretos simples reciclados; y después, la utilización de estos elementos en la construcción de un módulo de vivienda escala 1:1. Los materiales fueron fabricados a partir de residuos cerámicos heterogéneos en el Estado de Quintana Roo, México y se sometieron a ensayos físico-mecánicos básicos en laboratorio. No se alcanzaron todos los estándares en su totalidad, pero se encontraron resultados positivos en comparación con materiales de referencia de la región. Se puede concluir que la reinserción de los residuos al ciclo productivo de la construcción es una alternativa con la calidad necesaria, y el módulo de vivienda representa un ejemplo demostrativo para la transferencia de tecnología a la sociedad, además de los beneficios ecológicos implícitos.

Palabras clave: reinserción, ciclo de vida, reciclaje, residuos de construcción y demolición, industrialización, vivienda.

Reintegration of construction and demolition waste to the life cycle of housing construction

Abstract

The construction industry demands great volumes of resources and it is the greatest producer of solid remainders; nevertheless, it does not take advantage of the latter suitably. This work has two objectives; first, demonstrate that the reintegration of these remainders to the life cycle of housing construction is possible; and second, contribute to the knowledge of these materials, with its particular characteristics, to foment its use. Initially, the manufacture and characterization of recycled aggregates, constructive elements and simple concrete is presented; and later, the use of these elements in the construction of a module of housing scales 1:1 is illustrated. The materials were made from heterogeneous ceramic waste from Quintana Roo, Mexico, and they were put under basic physical-mechanical tests in the laboratory. The standards were not totally covered, although positive results were found in comparison with reference materials from the region. It is possible to conclude that the waste reintegration to the productive cycle of the construction is a feasible alternative, and the housing module is an example of technology transference to society, in addition to the implicit ecological benefits.

Keywords: reintegration, life cycle, recycling, construction and demolition waste, industrialization, housing.

¹ Profesor Titular "C". Instituto Tecnológico de Chetumal, Quintana Roo, México. E-mail: jadlepe@hotmail.com

² Profesor Investigador. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" de La Habana, Cuba.

1. INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta puede verse como un sistema cerrado y por lo tanto con recursos finitos. Es imposible detener el aprovechamiento de estos recursos, pero podemos hacerlo más racional. Por su parte, la vivienda que es una demanda social básica, se ha venido incrementando de manera acelerada por el crecimiento natural de la población. Tratando de satisfacer esta necesidad, en el último lustro en México se han realizado esfuerzos sin precedentes para el otorgamiento de créditos y construcción de vivienda, otorgando en el período 2001-2006, 3 millones de créditos de vivienda (CONAFOVI, 2006a) y llegando a ser solo en el 2006, más de 768 mil acciones de este tipo. Sin embargo, la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda estima que México tiene un déficit actual de vivienda de aproximadamente 3 millones, al que año con año, se agregan presiones adicionales derivadas del incremento poblacional (CONAFOVI, 2006b).

Al tratar de satisfacer ésta y otras demandas, 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 kilogramos por habitante por año (Molina, 1997), y en un estudio más reciente en España, (Parra, 2002) se reportó un rango entre 520 y 760 kg/hab/año, sin tomar en cuenta guerras ni desastres naturales. De ese gran volumen el concreto es el más abundante, ya que representa el 67% en peso (Frondistou-Yannas, 1985). Este criterio es compartido por Bossink (1996) que ha desarrollado extensos estudios de esta temática en Europa. Si al concreto 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 los residuos de construcción y demolición (RCD), no se aprovechan sino que van a parar a sitios de deposición 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, además de las pérdidas económicas. Una manera de coadyuvar a preservar el medio ambiente y los recursos, es reinsertando estos desechos en el ciclo de vida de la construcción a través del reciclaje, obteniendo así nuevos materiales para la construcción. Sin embargo, en México, muy poco se ha hecho al respecto a pesar de conocer la problemática. Por lo anterior, este trabajo tiene el

doble objetivo de probar que la reinsertión de los RCD al ciclo de vida de las construcciones es posible, y también busca contribuir al conocimiento de estos materiales en nuestro país, y fomentar su uso. Se espera que el presente trabajo sea de utilidad para los productores de materiales y los constructores de vivienda de México y otros países con situación socioeconómica similar; también representa una alternativa para los consumidores directos de material y para las autoridades que buscan fomentar la llamada “construcción verde”, ya que se ha demostrado que los materiales resultantes pueden ser utilizados en la construcción de viviendas, brindando una alternativa con la calidad adecuada, con tendencia a revertir la contradicción que crea la construcción de viviendas, ya que por un lado generan el satisfactor de una necesidad básica, pero por otro, se constituye en una gran consumidora de recursos y generadora de residuos contaminantes.

2. METODOLOGÍA

2.1 Muestreo de la materia prima.

Siguiendo los criterios del muestreo determinístico intencional (Namakforoosh, 2004), se colectaron en la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México (Sureste de México), 42 m³ de residuos de siete lugares distintos, siempre cuidando que las muestras fueran representativas en volumen y tipo de los desechos generados en la región. Se tomaron residuos heterogéneos de concreto, bloques, bovedillas, cerámica, mortero 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 (figura 1), es decir, verificando que la materia prima estuviera libre de otros materiales, como: vidrio, madera, plástico, cartón, papel y metales entre otros.

2.2 Obtención y caracterización de agregados.

Con los 42 m³ de desechos, se obtuvieron por trituración 15 m³ de agregado fino, 5 m³ de gravilla y 12 m³ de agregado grueso. El proceso fue el mismo que se emplea para la roca natural (figura 2), con la doble finalidad de tener un punto de comparación y referencia con los agregados naturales e incidir favorablemente en la motivación de los productores acerca de la producción de estos materiales, al no tener requerimientos especiales para ello. El equipo utilizado fue una trituradora de mandíbulas con tamaño máximo de 20 pulgadas, equipada con 2 molinos secundarios, tres bandas transportadoras, una para cada tamaño de agregado (grueso, gravilla y fino) bandas de reciclaje y cribas estándar.



Figura 1. Acopio de la materia prima.

A los agregados se les aplicaron las pruebas de laboratorio necesarias de acuerdo a las normas Mexicanas y de la ASTM, a fin de determinar sus características físico-mecánicas que servirían de apoyo para la fabricación de bloques, mosaicos, adoquines y concretos. Paralelamente se tomaron muestras de material natural, para realizarles los mismos estudios como punto de comparación y referencia.

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, con un motor de 75 CP, 1736 RPM, 220/440 voltios y moldes con capacidad para 5 bloques por evento, como se muestra en la figura 3. No se hicieron combinaciones entre material reciclado y natural. Tanto para el material reciclado como para el natural se hicieron mezclas 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 y 16.5 litros (25 kg.) de cemento Pórtland CPC 30-R. Con esta cantidad de mezcla se produjeron 25 bloques huecos de 3 celdas, de 15 x 20 x 40 cm. Se realizaron un total de 18 mezclas de material reciclado para fabricar 450 bloques y 6 mezclas de material natural para fabricar 150 bloques. A las 24 horas después de su fabricación, se procedió a su curado por aspersión por única ocasión durante 30 minutos.

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 una prensa mosaquera con capacidad para 5 toneladas. Se elaboraron tanto los mosaicos reciclados como los



Figura 2. Obtención de los agregados.

naturales con el mismo proporcionamiento y sin hacer mezclas entre los agregados reciclados y naturales. Se utilizaron tres tipos de mezclas para las tres diferentes capas del mosaico: 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 CPC 30-R y 19 litros de agregado fino.
- **Material húmedo:** 19 litros de cemento Pórtland gris CPC 30-R, 19 litros de agregado fino y 19 litros de agua.

Con cada una de estas mezclas se fabricaron 30 mosaicos de 30 x 30 x 2 cm. Se fabricaron un total de 150 mosaicos reciclados y 60 mosaicos naturales⁵.

2.5 Proceso de elaboración de adoquines

Al igual que con los bloques y los mosaicos, no se mezclaron los agregados 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 mezclas, con el siguiente proporcionamiento:

- 133 litros de agregado fino, 133 litros de gravilla, 50 kg. de cemento Pórtland gris CPC 30-R.
- 6 kg. de pintura mineral en polvo.
- Obteniendo con cada una de estas mezclas de 80 piezas del tipo “trébol”. Se fabricaron 100 adoquines reciclados y 20 naturales. En la figura 4, se pueden apreciar bloques, mosaicos y adoquines reciclados, listos para su uso.



Figura 3. Elaboración de los bloques.



Figura 4. Elementos constructivos reciclados.

2.6. Diseño y fabricación de concretos

Con el objetivo de buscar la combinación más económica y práctica de componentes, se realizó el diseño de mezclas, buscando que cumplieran con las características deseables para un concreto, principalmente consistencia, resistencia y durabilidad. Esto se realizó de acuerdo al procedimiento para el diseño de mezclas (ACI211.1) "Practica para seleccionar las proporciones para concreto normal, pesado y masivo". Los concretos se diseñaron para resistencias a la compresión de 150, 200 y 250 kg/cm², como concretos sin aire incluido, con un revenimiento de 8 a 10 cm y tamaño máximo de

agregado de ¾" o 20 mm para los reciclados y 1" o 25 mm para los naturales (tamaños resultantes del análisis granulométrico, en las mismas condiciones de trituración). Los proporcionamientos obtenidos tanto para materiales reciclados, como para materiales naturales se muestran en la Tabla 1. Se elaboraron 6 especímenes estándar de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, por cada resistencia y por cada tipo de material, para probarlos a los 7, 14 y 28 días. Se utilizó cemento Pórtland de fabricación nacional del tipo CPC-30R, que es el cemento que comúnmente se utiliza en la zona para obras de edificación sin requerimientos especiales.

Tabla 1. Proporcionamientos para concretos con agregados reciclados y naturales.

MATERIAL (para un m ³)	RECICLADO						NATURAL					
	Resistencias de diseño kg/cm ²						Resistencias de diseño kg/cm ²					
	150		200		250		150		200		250	
UNIDADES	kg	lt	kg	lt	kg	lt	kg	lt	kg	lt	kg	lt
CEMENTO	250	227	286	260	323	294	244	222	279	254	315	286
AGREGADO FINO	639	489	617	472	595	456	685	550	662	532	638	512
AGREGADO GRUESO	729	646	729	646	729	646	785	740	785	740	785	740
AGUA	200	200	200	200	200	200	195	195	195	195	195	195

2.7 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:

- Determinación de las dimensiones. (NMX-C-038-1974).
- Resistencia a la compresión. (NMX-C-036-1983).
- Determinación de la absorción del agua. (NMX-C-037-1986).

2.8 Pruebas de laboratorio a los mosaicos

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

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

2.9 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:

- 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.)

2.10. Pruebas de laboratorio a los concretos.

a). Revenimiento. Se realizó de acuerdo a la norma ASTM-C143M-00 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete).

b). Resistencia a la Compresión. Se utilizó la norma ASTM-C39M-01 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens), y para la preparación y cabeceo de los

cilindros se utilizó la norma ASTM-C617-98 (Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens).

3. RESULTADOS

3.1 Características físicas de los agregados

Los ensayos se realizaron según se señala en las normas Mexicanas y de la ASTM, arrojando los resultados que se muestran en las tablas 2 a la 5.

Tabla 2. Características físico-mecánicas del agregado grueso.

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 3. Características físicas del agregado fino.

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 4. Granulometría del agregado grueso.

Malla #	Material natural % que pasa	Material reciclado % que pasa	Especificación ASTM C-136 3/4" a #4
2"	100	100	0
1 1/2"	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
Malla #	Material natural % que pasa	Material reciclado % que pasa	Especificación ASTM C-136 3/4" a #4
2"	100	100	0
1 1/2"	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 5. Granulometría del agregado fino.

Malla #	Material natural % que pasa	Material reciclado % que pasa	Especificación ASTM C-33
3/8"	100	100	100
N° 4	100	99	95-100
N° 8	86	77	80-100
N° 16	63	55	50-85
N° 30	44	38	25-60
N° 50	30	29	10.-30
N° 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. 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) y

c). Absorción de agua (NMX-C-037-1986).

Para estas pruebas se tomaron cinco especímenes reciclados, y cinco especímenes naturales en cada

caso, 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 tanto para la resistencia a compresión como para la absorción de agua se muestran en la tabla 6. Los promedios que se obtuvieron fueron de 24.40 y 27.10 kg/cm² para los bloques reciclados y naturales respectivamente, obteniendo ambos una clasificación tipo "C". Mientras que para la absorción de agua se obtuvieron valores promedio de 286.00 lts/m³ para reciclados y 266.00 lts/m³ para naturales, por lo que ambos clasificaron como tipo B en este rubro, que permite un máximo de 290 lts/ m³. Quedando por lo tanto ambos materiales con una clasificación general tipo "C".

Tabla 6. Clasificación para bloques huecos por su resistencia a la compresión y absorción.

TIPOS	Resistencia mínima de ruptura a la compresión sobre el área total (kg/cm²)		Absorción máxima de agua fría en 24 horas (lt/m³). Promedio de cinco piezas.
	Promedio de 5 piezas.	Pieza individual.	
A ₁	70	56	220
A ₂	60	48	240
B	40	32	290
C	23	18	---

Fuente: adaptada de la norma NOM-C-10-1973.

3.3 Mosaicos

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

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.

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 apegándose a la norma correspondiente se obtuvieron los siguientes resultados: 16.50% para mosaicos reciclados y 16.60% para mosaicos

naturales, 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 1:

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3pL}{2 b d^2} \quad (1)$$

En donde:

p = Carga máxima indicada por la máquina de prueba, en Kg.
L = Distancia entre los soportes en cm.
b = Base en cm.
d = Peralte en cm.

Los resultados promedios obtenidos fueron de 40.80 kg/cm² para mosaicos reciclados y 42.10 kg/cm² para los naturales. En ambos casos se cumplió con bastante amplitud la norma que indica un mínimo de 20.2 kg/cm² para el módulo de ruptura.

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 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 7.

Tabla 7. 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 (Kg/cm ²)
A	4 a 6	8	250
B	8	8	250
C	8	8	300
D	8 ó más	8	350

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

De acuerdo a la tabla 7, este requisito no fue cumplido por ninguno de los dos materiales, ya que la absorción máxima admisible es de 8.0 % y los resultados promedio obtenidos fueron de 15.30% para reciclados y 13.90 para los adoquines naturales.

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

Las resistencias alcanzadas por ambos materiales no alcanzaron el mínimo indicado por la regla de 250 kg/cm², ya que alcanzaron 155.70 y 182.30 kg/cm² para reciclados y naturales respectivamente.

3.5 Concretos.

a). Revenimiento. Aplicando la metodología de la norma ASTM:C143M-00, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la prueba de revenimiento.

MATERIAL	RESISTENCIA DE DISEÑO	REVENIMIENTO
RECICLADO	f'c= 150 Kg/cm ²	10.0 cm.
	f'c= 200 Kg/cm ²	12.0 cm.
	f'c= 250 Kg/cm ²	11.5 cm.
NATURAL	f'c= 150 Kg/cm ²	9.0 cm.
	f'c= 200 Kg/cm ²	11.0 cm.
	f'c= 250 Kg/cm ²	9.5 cm.

Como se puede observar el revenimiento para ambos concretos estuvo dentro de la tolerancia indicada en la norma (± 2.5 cm.), mostrando con esto una consistencia adecuada.

b). Resistencia a la compresión. Esta característica, da una buena idea de la calidad general de los concretos, los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5, 6 y 7.

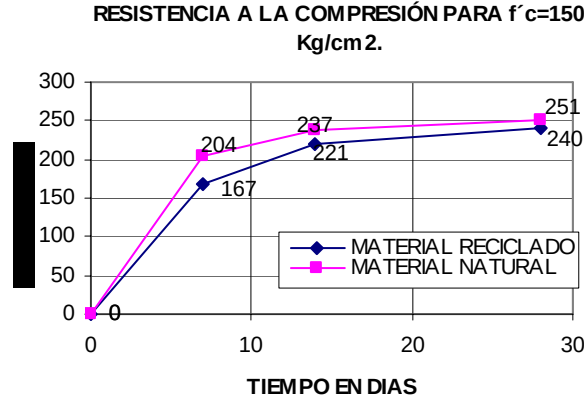


Figura 5. Resistencia a la compresión para concretos de 150 kg/cm² a 7, 14 y 28 días.

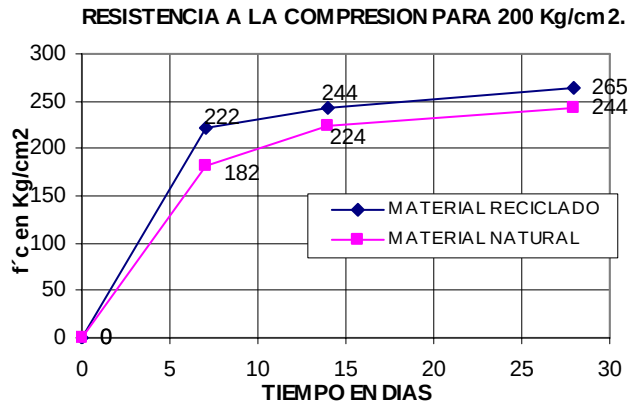


Figura 6. Resistencia a la compresión para concretos de 200 kg/cm² a 7, 14 y 28 días.

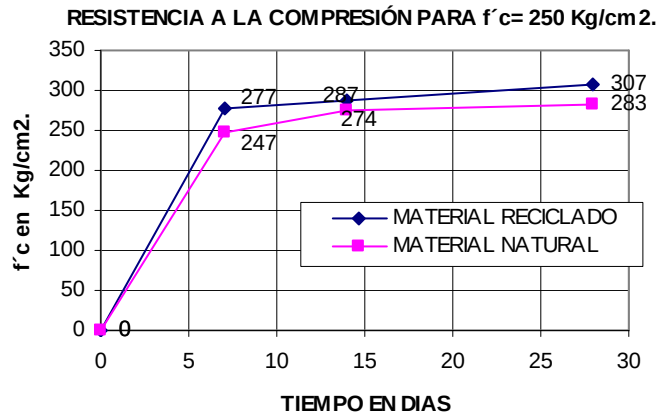


Figura 7. Resistencia a la compresión para concretos de 250 kg/cm² a 7, 14 y 28 días.

3.6 Construcción del módulo de vivienda.

La construcción del módulo fue de la manera tradicional de la región, a base de cimientos de mampostería de piedra, muros de block, dalas de repartición de cargas, castillos rigidizantes y losa

maciza de concreto. Se construyó en los terrenos del Instituto Tecnológico de Chetumal, México. Las dimensiones fueron de 3.50x4.00 m con una altura libre interior de 2.80 m. Detalles de la construcción del módulo se observan en las figuras 8 a la 11.



Figura 8. Muros, dalas y castillos.



Figura 9. Cubierta y acabados



Figura 10. Pisos de mosaico de pasta.



Figura 11. Módulo concluido.

4. DISCUSIÓN

El objetivo de probar que la reinserción de los residuos de construcción y demolición (RCD) al ciclo de vida de las construcciones, es técnicamente posible fue claramente alcanzado. El segundo objetivo de lograr el convencimiento de los usuarios, fabricantes de materiales, constructores y autoridades a través del evento demostrativo que representa el módulo se haya en proceso, pues es y se entiende un proceso paulatino. En términos generales los investigadores desde décadas pasadas (Buck, 1977), (Malhotra, 1976), (Frondistou-Yannas, 1985) y hasta en años más recientes (Kasai, 1993), (Gómez, 1999), (Dal Molin, 2003) coinciden en que las principales diferencias entre agregados reciclados y naturales la constituyen por un lado la mayor absorción de humedad por parte de los primeros, acentuándose en los agregados 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 agregado 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 agregados (Domínguez y Villanueva, 2000) en años anteriores y los resultados han sido muy similares. A esta causa se le atribuye directamente que ningún elemento haya aprobado su prueba de absorción máxima admisible.

En cuanto a la granulometría, se obtuvieron porcentajes muy altos en la fracción fina en especial la que pasa la malla 100 (20%), lo que resulta perjudicial al fabricar concretos por el posible incremento en la demanda de cemento, sin embargo cabe señalar que este porcentaje de finos fue aún mayor en el agregado natural que se utiliza regularmente en la zona (24%), debido a que se utiliza en muchos casos caliza no consolidada para la obtención de agregados, 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 agregados finos reciclados se les pueden aplicar las especificaciones tradicionales, no así al agregado grueso al que condiciona en su porcentaje de participación en los concretos, debido a que en condiciones especiales de exposición y debido a su porosidad podrían afectar la durabilidad del concreto armado ya que la velocidad de carbonatación y de ingreso del cloruros puede ser mayor. Conocedores de esto en el presente trabajo se buscaron aplicaciones para concreto simple como es el caso de los elementos aquí estudiados.

Como se pudo observar, tanto los bloques reciclados como naturales clasificaron bien en cuanto a sus dimensiones y como tipo C en cuanto a su resistencia a la compresión con 24.40 kg/cm^2 y 27.10 kg/cm^2 respectivamente. Resultados muy similares a los obtenidos en Venezuela (Pernía Et. al., 1996) y Brasil (Sousa, 2003) que reportan resistencias a la compresión entre 23.0 y 34.0 kg/cm^2 .

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 40.80 kg/cm^2 para el reciclado y 42.10 kg/cm^2 para el natural, ambos muy por encima de lo señalado en la norma como requisito (20.20 kg/cm^2). En cuanto a la resistencia a la compresión de los adoquines la norma señala un mínimo de 250 kg/cm^2 y solo se alcanzaron 155.70 kg/cm^2 para reciclados y 182.30 kg/cm^2 para naturales, esto nos lleva a recomendar su uso exclusivamente peatonal.

En cuanto al concreto, dada su alta absorción necesitó más agua al ajustar la mezcla, pero cumplió bien en la prueba de revenimiento. La resistencia a la compresión en ambos materiales cumplió, pero se pudo observar que para los concretos de 200 y 250 kg/cm^2 , la resistencia del concreto reciclado estuvo por encima del natural, esto se le atribuye a la mejor granulometría de su agregado fino y a que el tamaño máximo del agregado grueso fue de 20 mm contra 25 mm del natural, lo que permite un mejor acomodo de sus partículas, lo que se puede corroborar al observar que el peso volumétrico del agregado reciclado es

mayor, a pesar de contar con una menor densidad. Durante el transporte, manejo y colocación de éstos materiales en la construcción del módulo de vivienda, no se encontraron dificultades especiales.

Aunque los elementos constructivos en algunos casos no cumplieron completamente con las normas correspondientes, especialmente en el caso de la absorción, 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, sin soslayar los importantes beneficios ambientales que esto trae consigo.

Otro punto a destacar es la materia prima utilizada, mientras en los países desarrollados se insiste en fabricar concreto reciclado a partir de concreto 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 debido a las dificultades de su separación. El RILEM 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 de estudiar 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 y mejorar 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 de Fondos mixtos CONACYT- Gobierno del Estado de Quintana Roo, por el financiamiento otorgado al Proyecto QROO- 2005-C01-19090. Al Instituto Tecnológico de Chetumal, por todo el apoyo Institucional, durante todo el desarrollo de los trabajos. Al Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción de La Habana, Cuba, por la asesoría y apoyo durante el desarrollo de ensayos de laboratorio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 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 of Aggregate", Journal of the American Concrete Institute, Vol.74, Núm. 5, pp.212-219.
- CONAFOVI (2006a). Publicado y consultado el 08 de noviembre del 2006 en http://www.conafovi.gob.mx/prensa/boletines/Noviembre8_2006.htm.
- CONAFOVI, (2006b). Publicado y consultado el 31 de julio del 2006 en http://www.crain.com.mx/Snews/news_display.php?story_id=1374.
- 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., 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. (2004). "Metodología de la Investigación ", Ed. Limusa, México.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. Norma. NMX-C-404-1997-ONNCCE. "Industria de la Construcción-Bloques-Tabiques o Ladrillos y Tabicones para uso estructural-Especificaciones y Métodos de prueba". Ed. ONNCCE
- Parra, J.L. y Calvo B. (2002). "Situación en España del reciclado de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) como áridos. Aplicabilidad a la fabricación de hormigones". En II Jornada Iberoamericana de Materiales de Construcción, La Habana, Cuba.
- Pernía, S., Ramos, M.A., Suárez, C.J., Málave R. (1996). "Industrialized 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.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Norma Mexicana NMX-C-038-1974. "Determinación de las dimensiones de ladrillos y bloques para la construcción".

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Norma Mexicana NMX-C-036-1983. “Industria de la Construcción-Ladrillos, Bloques y Adoquines de concreto-Resistencia a la compresión-Método de prueba”.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana NMX-C-037-1986. “Industria de la Construcción-Concreto-Bloques, Ladrillos o Tabiques y Tabicones de Concreto Determinación de la absorción del agua”.

Secretaría de Industria y Comercio. Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana NOM-C-8-1974 Mosaicos.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana NOM-C-314-1986. Industria de la Construcción-Concreto-Adoquines para uso en pavimentos.

Souza, J.G., Bauer, E., 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.

Este documento se debe citar como:

Domínguez Lepe, J. A. y Martínez L. Emilio. (2007). **Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 11-3, pp. 43-54, ISSN: 1665-529X