

RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES EN LA CIUDAD DE PORTOVIEJO

RECYCLING OF WASTE CONSTRUCTION IN PRODUCTION OF BLOCKS IN THE CITY OF PORTOVIEJO

José Fabián Véliz Párraga¹, Elim Marianela Zambrano Martillo², Rubén Darío Rivera Fernández³

¹Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí

²Ing. Civil, Contratista Independiente

³Coordinación de Investigación Científica, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí

Contacto: jfveliz@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el uso de los residuos de la construcción en la elaboración de bloques de hormigón. Los residuos se seleccionaron y se realizaron tres formulaciones, variando las cantidades de ladrillo (10-20-40), hormigón (30-40-50) y asfalto (30-40); además, en cemento se varió en 0.5, 0.75 y 1.0. Se tomó como referencia la relación volumétrica 1:5:2 (Cemento-áridos gruesos y finos) en la elaboración del bloque. Se examinaron las características físicas de cada uno de los residuos. Además, de observar la resistencia y la absorción al bloque a los siete días pos elaboración. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza. Las formulaciones presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), siendo más resistente a menor contenido de ladrillo, al contrario de aquellos que contenían un 40% de ladrillo fueron los únicos tratamientos que no estuvieron dentro de las exigencias técnicas de la norma ecuatoriana en los 28 días de fraguado.

Palabras clave: residuos, ladrillo, hormigón, asfalto, resistencia

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the use of waste construction in developing concrete blocks. The residues were selected and three formulations were made, varying the amounts of brick (10-20-4), concrete (30-40-50) and bitumen (30-40), also in cement was varied at 0.5, 0.75 and 1.0. Reference was the volume ratio 1:5:2 (Cement - coarse and fine aggregates) in developing the block. The physical characteristics of each of the waste characteristics were examined. Moreover, to observe absorption resistance at seven days after preparation. Data were analyzed by analysis of variance. The formulations differ significantly ($P < 0.05$) being more resistant to low content of brick, unlike those containing 40% brick were the only treatments that were not within the technical requirements of the Ecuadorian standard at 28 days of curing.

Keywords: waste, brick, concrete, asphalt, resistance

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y su concentración en áreas urbanas trae consigo mayor necesidad de obras de bienestar social, tales como la construcción de viviendas, carreteras, hospitales, puentes, que si bien contribuyen al desarrollo, también son generadores de residuos durante su proceso constructivo y en consecuencia, constituyen un problema de impacto ambiental (Barreto, 2005).

Ante esta problemática, en muchos países y universidades, se han desarrollado investigaciones científicas tecnológicas acerca de como aprovechar estos residuos (Gómez *et al.*, 2002; Hincapié y Aguja, 2003; Sánchez de Juan, 2004; Sánchez de Sancha *et al.*, 2004; Domínguez y Martínez, 2007; Pérez *et al.*, 2007; Valdés y Rapimán, 2007; Pavón *et al.*, 2012), ya que existe una verdadera preocupación por la contaminación que se produce en la zona urbana, conllevando la búsqueda de posibles soluciones para el material de desecho, es así que el reciclaje de residuos sólidos, provenientes de la actividad de la construcción tales como: tierra y áridos mezclados, restos de hormigón, pavimentos, asfálticos, ladrillos, plásticos, vidrio, madera, se ha vuelto una práctica indispensable en la preservación de recursos naturales y en la reducción del impacto ambiental.

La ciudad de Portoviejo no está exenta del crecimiento urbanístico y con ello una serie de emisiones de residuos, si bien es cierto que no se tiene datos oficiales o estudios que revelen los impactos de los residuos de la construcción; sin embargo, es evidente para los pobladores que existe un inadecuado manejo de esta problemática, debido a la falta de eficacia o políticas públicas para guiar y disciplinar a los actores de la construcción civil, teniendo como resultado impactos ambientales como: la degradación del suelo, la proliferación de transmisión de agentes de enfermedades, la sedimentación de los ríos y arroyos, la obstrucción de sistemas de drenaje, la ocupación de carreteras y lugares públicos de residuos, el daño al movimiento de personas y vehículos, la degradación del paisaje urbano y la acumulación de residuos que puedan constituir un riesgo por su peligrosidad (Sinduscon SP, 2005).

De esta manera, el reciclaje puede ser una herramienta clave y una aplicación adecuada que permitiría la disminución del impacto ambiental ya que reduciría el volumen de residuos que se depositan en el vertedero, prolongando de esta manera su vida útil evitando que se impacten otros espacios naturales; colaboraría en la reducción o eliminación de descargas ilegales de estos residuos, mejorando la imagen paisajística y la conservación de espacios aprovechables; contribuiría a la protección del entorno, disminuyendo la extracción y obtención de áridos naturales, ya que se sustituiría estos agregados tradicionales con los que se obtendrían mediante el reciclaje y haría su aporte al ambiente social y económico con la creación de nuevas plazas de trabajo.

Bautista (1998) manifiesta que el reciclaje es una técnica de recuperación de materias primas a partir de los residuos ya generados. Por otro lado Bermejo (2005) dice que es volver a usar los materiales que componen los bienes, una vez que acaba su vida útil.

Mientras que para Sánchez y Gándara (2005) es el proceso por el cual algunos materiales de desecho son transformados en productos nuevos de tal manera que los desechos originales pierden su identidad y se convierten en materia prima para nuevos subproductos. Así mismo dicen que dependiendo del índice de recuperación y del proceso adoptado, se obtiene una mayor o menor recuperación. Este proceso es una alternativa de aprovechamiento y solución a la contaminación e impactos al ambiente. Su aplicación genera ventajas económicas, sociales, ambientales y sanitarias.

La necesidad de reciclar los escombros que produce la industria de la construcción está tomando, hoy en día, gran importancia (Poon *et al.*, 2002). Estudios realizados muestran que un 55% de la composición de los escombros generados en la construcción, son hormigón sin armar y hormigón armado (Poon *et al.*, 2001), esta situación genera una gran cantidad de materia prima para ser reutilizada en nuevas estructuras. Valdés y Rapimán (2007) elaboraron bloques de hormigón con árido grueso reciclado, arena natural y cemento de alta resistencia, tomen en cuenta que no se realizó un reemplazo total de los componentes.

Resultados de investigaciones previas (Buck, 1977; Malhotra, 1977; Frondistou, 1977) aplicadas en su mayoría, a la evaluación del hormigón elaborado con agregados reciclados, han mostrado que tales materiales pueden ser un sustituto satisfactorio y económico de los agregados convencionales, abriendo una nueva perspectiva en la ingeniería, especialmente en el campo de la construcción con una visión ambiental.

En bloques reciclados como naturales clasifican bien en cuanto a sus dimensiones y como tipo c, en cuanto a su resistencia a la compresión con 24.40 kg/cm² y 27.10 kg/cm² respectivamente. Resultados muy similares a los obtenidos en Venezuela (Pernía *et al.*, 1996) y Brasil (Sousa *et al.*, 2003) que reportan resistencias a la compresión entre 23.0 y 34.0 kg/cm².

En cuanto a la resistencia a la compresión de los adoquines la norma señala un mínimo de 250 kg/cm² y solo se alcanzaron 155.7 kg/cm² para reciclados y 182.3 kg/cm² para naturales, esto lleva a recomendar su uso exclusivamente peatonal.

En cuanto al concreto, dada su alta absorción necesita más agua al ajustar la mezcla, pero cumplió bien en la prueba de revenimiento (Domínguez y Martínez, 2007). Con estos antecedentes se plantea como objetivo evaluar el uso de los residuos de la construcción en la elaboración de bloques de hormigón como alternativa de manejo de los residuos de la construcción civil en la ciudad de Portoviejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se efectuó en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí. La recopilación de los residuos se realizó en el vertedero municipal y los análisis de las propiedades físicas de los residuos (Cuadro 1) en el Laboratorio de Suelos, Rocas y Asfalto de la Universidad Técnica de Manabí.

Elaboración de bloques

Para la elaboración de los bloques se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

Selección de los residuos.- Se seleccionaron los residuos de hormigón, ladrillo, y asfalto, por ser los de mayor frecuencia de desalajo en el vertedero municipal.

Clasificación de los residuos.- Una vez seleccionados los materiales a reciclar se procedió a clasificarlos de manera manual en cajonetas, lo que permitió llevar un control del volumen de cada uno. En esta clasificación se separaron los materiales considerados contaminantes (tierra, plásticos, maderas, otros).

Aplicación del tratamiento mecánico.- Una vez realizada la clasificación se procedió a la aplicación del tratamiento mecánico que consiste en la trituración de los residuos, para ello se utilizó una trituradora mecánica y de esta manera se obtuvo la materia prima que fueron los áridos.

Cuadro 1. Parámetros de las características físicas realizadas al residuo.

Análisis	Unidad	Método de análisis
Peso unitario suelto compactado	(g/cm ³)	NTE INEN 858
Humedad	(%)	Norman AASHTO T-265
Gravedad específica	No Aplica	NTE INEN 0857
Absorción	(%)	NTE INEN 0857
Granulometría promedio	(mm)	Norma AASHTO T-88
Porcentaje que pasa en el tamiz 200 micras	%	NTE INEN 0857

Proceso de producción

a. Dosificación.- La dosificación o proporción del material tuvo una relación de 1:5:2 (cemento-áridos grueso-áridos finos) los áridos grueso y fino se tomó en cuenta como un todo (100%) quedando 1:7 (cemento-mezcla de residuos). Se variaron los porcentajes de los residuos de la siguiente manera: para el ladrillo 40-20-10; hormigón 30-40 -50; asfalto 30-40 y el cemento se aplicó en tres diferentes proporciones 1, 0.75 y 0.5 (sacos de 50 kg). Para el cálculo volumétrico se tomó de referencia el volumen de un saco de cemento de 50 kg mediante el uso de una parihuela de madera diseñada para el efecto, en la que fue necesario graduarla en su parte interior para poder calcular los porcentajes de cada uno de los residuos al momento de realizar la preparación de la mezcla, previa la elaboración de los bloques, de manera que se tendría una parihuela se cemento (en función

de la proporción utilizada en el tratamiento) y siete parihuela de residuos de construcción.

b. Mezclado.- El mezclado se lo realizó de manera mecánica a través de una mezcladora industrial.

c. Moldeado.- vibración y compactación.- La mezcla obtenida se llevó al molde para bloques de 10x20x40 cm de la máquina prensadora donde se vibró y compactó para luego pasar a la fase de curado.

Curado.- Una vez que los bloques fueron compactados permanecieron en un espacio que se garantizó la protección del sol, para el curado se roció agua, con la finalidad que desarrollen las propiedades físicas y mecánicas que garanticen su calidad que son, según las norma INEN (2012), la resistencia y absorción, que posteriormente se verificaron con los ensayos de laboratorio. Además, se realizó una proyección de la resistencia para 14 y 28 días post elaboración, tomando como referencia que en el séptimo día se adquiere el 70% y en el día 14 y 28 se alcanza el 85 y 100% respectivamente (González, 2004) simulando la mayor resistencia del bloque.

Diseño experimental.- Se establecieron las siguientes formulaciones en función de las dosificaciones planteadas en el literal a del punto 3.4 que representaron los tratamientos.

Cuadro 2. Tratamientos en estudio

Tratamiento	Descripción			
	Contenido de cemento	Ladrillo (%)	Hormigon (%)	Asfalto (%)
T1	0.5	40	30	30
T2	0.5	20	40	40
T3	0.5	10	50	40
T4	0.75	40	30	30
T5	0.75	20	40	40
T6	0.75	10	50	40
T7	1	40	30	30
T8	1	20	40	40
T9	1	10	50	40

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar y se tuvieron tres replicas. Cada unidad experimental constó de 15 bloques. Los datos se procesaron mediante

análisis de varianza, regresión lineal y correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas de los residuos seleccionados

En el cuadro 3 se observan las propiedades físicas de los residuos de construcción evaluados, la absorción y el porcentaje de pasante con las variables que muestran una diferencia considerable, siendo el ladrillo el material que presenta los mayores valores debido que su naturaleza (arcilla) lo cual hace que tenga una alta absorción de agua. La granulometría presenta cierta diferencia donde el hormigón es de mayor tamaño. Hincapié y Aguja (2003) mencionan que los reciclados mantienen una similitud con los de origen natural por lo que se pueden utilizar a pesar de tener ligeras variaciones, después de su elaboración.

Cuadro 3. Propiedades físicas de los residuos

Análisis	Ladrillo	Hormigón	Asfalto
Peso unitario suelto compactado (g/cm ³)	1,29	1,57	1,35
Humedad (%)	7,68	7,66	7,48
Gravedad específica	2,11	2,44	2,41
Absorción (%)	16,06	7,48	5,8
Granulometría promedio (mm)	2,49	3,4	3,04
Porcentaje que pasa en el tamiz 200 (%)	11,42	3,42	6,18

Resistencia

Las diferentes formulaciones utilizadas en la elaboración de bloques influyeron en las variables analizadas. Se tiene una mayor resistencia al disminuir los niveles de ladrillos en la fórmula, independientemente de la cantidad de cemento, al ser una mezcla proporcional, si disminuye el porcentaje de ladrillo aumenta el hormigón y asfalto, materiales por naturaleza de mayor resistencia que el ladrillo.

La mezcla 10-50-40 (L-H-A) con un saco de cemento, tiene la mayor resistencia a los siete días de fraguado estando dentro del rango que especifica la norma ecuatoriana para bloques de hormigón (INEN, 2012) que está entre 2-6 Mpa; sin embargo, comparte categoría

estadística con el T3 que contiene las mismas proporciones de residuos pero con un menor contenido de cemento (0,5 saco); por otro lado los menores valores lo presenta la formulación 40-30-30 con 0,54 Mpa, a pesar que el contenido del cemento es de un saco.

Es probable que al bajar la concentración de hormigón y asfalto (30%) también influya en la resistencia.

Cuadro 4. Proyección de la resistencia hasta los 28 días de fraguado

Tratamientos	Resistencia (Mpa)
T1	1.34 abc
T2	1.52 abc
T3	1.94 a
T4	0.77 bc
T5	1.55 abc
T6	1.66 abc
T7	0.54 c
T8	1.90 ab
T9	2.20 a
Probabilidad	0.0013
Error estándar	0.23

Letras iguales no difieren estadísticamente según Tukey al 0.05

Al realizar una proyección de fraguado hasta los 28 días (Cuadro 4), se puede observar que a los 14 días existe un aumento de la resistencia en todos los tratamientos; sin embargo, los únicos que están dentro de los parámetros establecidos son aquellos que poseen 10-50-40 (L-H-A), por el contrario a los 28 días se observa que los únicos que no están dentro de los parámetros son aquellos que tienen un 40% de ladrillo y una concentración menor de 40% de hormigón y asfalto, independientemente de la concentración de cemento que se le aplique.

De manera que se requeriría para la mayoría de tratamientos cumplir con los 28 días de fraguado para su comercialización. Por otro lado, es importante tomar en cuenta que con 0.5 saco de cemento se alcanza lo establecido por la normas ya sea con un contenido de 20 o 10% de ladrillo, entre 40-50% de hormigón y 40% de asfalto, al ser el cemento el insumo de mayor costo es posible considerarlo para disminuir los costos, de producción.

Cuadro 5. Proyección de la resistencia hasta los 28 días de fraguado

Tratamientos	Días (Mpa)		
	7	14	28
T1	1.34	1.63	1.91
T2	1.52	1.85	2.17
T3	1.94	2.35	2.76
T4	0.77	0.93	1.09
T5	1.55	1.88	2.21
T6	1.66	2.01	2.36
T7	0.54	0.66	0.77
T8	1.90	2.30	2.71
T9	2.20	2.67	3.14

El gráfico 1 muestra una relación inversamente proporcional entre el contenido de ladrillo y la resistencia del bloque, observándose que a medida que disminuye el porcentaje de ladrillo aumenta la resistencia del bloque. En los otros residuos (hormigón y asfalto) la relación tiende a ser directamente proporcional a mayor cantidad del residuo o cemento mayor, es la resistencia del bloque (Gráficos 2, 3 y 4).

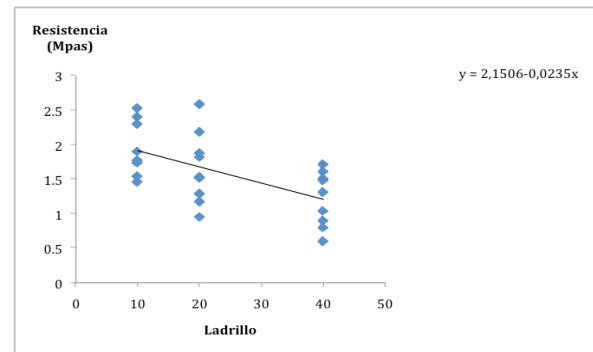


Gráfico 1. Contenido de ladrillo y la resistencia del bloque

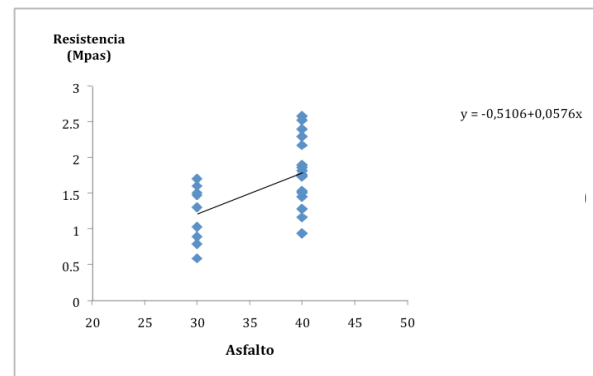


Gráfico 2. Contenido de asfalto y la resistencia

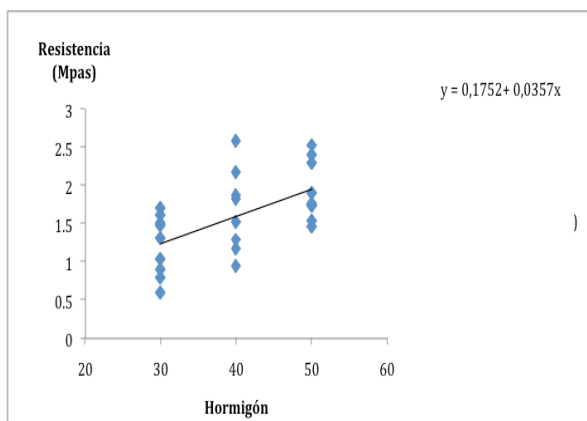


Gráfico 3. Contenido de hormigón y la resistencia

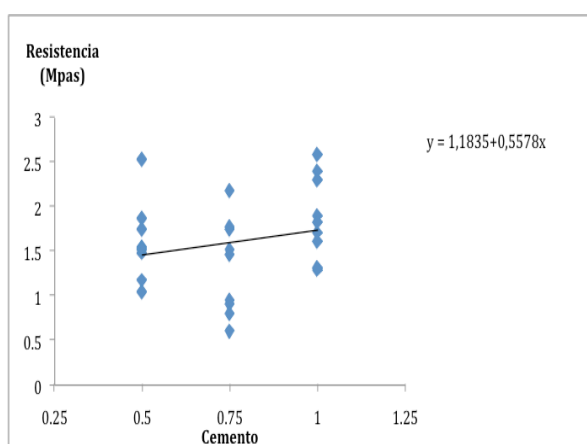


Gráfico 4. Contenido de cemento y la resistencia

El único residuo que tiene una correlación negativa es el ladrillo, influyendo en un 33.64% y con igual porcentaje está el hormigón a diferencia que está influenciando positivamente. El cemento es el único de los compuestos del bloque que no presenta una significancia estadística.

Cuadro 6. Análisis de correlación entre los componentes del bloque y la resistencia

Componentes del bloque	Coefficiente de correlación	Correlación en porcentaje	Significancia
Cemento	0.23	5.29	NS
Ladrillo	-0.58	-33.64	**
Hormigón	0.58	33.64	**
Asfalto	0.54	29.16	**

NS: no significativo; ** Significativo al 0.01 de probabilidades

Otras investigaciones donde se sustituye el porcentaje del árido natural por el reciclado se cumple con las exigencias técnicas para bloques de hormigón (Valdés y Rapimán, 2007), en este trabajo la sustitución fue total y en la mayoría de formulaciones se cumple con la norma establecida a los 28 días de suelaboración. Pérez *et al.*, (2007) mencionan una disminución en la resistencia al utilizar un 50% del material reciclado. En este mismo sentido Hincapié y Aguja (2003) manifiestan una cierta disminución de las propiedades físicas al utilizar agregados reciclados en la elaboración de morteros de hormigón. Estudios realizados en Venezuela (Pernia *et al.*, 1996) y Brasil (Souza *et al.*, 2003) reportan similares resistencias al comparar bloques, con reciclados y con materiales naturales.

A nivel mundial el estudio de reciclado principalmente de hormigón ha sido más profundo (Domínguez y Martínez, 2007), sin embargo la heterogeneidad de los residuos de construcción hace necesario ampliar el conocimiento en diferentes materiales, en la elaboración de bloques y demás usos en la construcción civil.

Absorción

En lo referente a la absorción todos los tratamientos están dentro de los parámetros de la norma INEN (2012) que menciona como máximo un 15% de absorción. Los valores menores se obtuvieron con un contenido de 20% de ladrillo, es necesario recordar que en los análisis de los residuos por separado el ladrillo presenta una considerable diferencia con respecto a los demás residuos, lo que al parecer al mezclar los residuos y el cemento no se mantiene el mismo comportamiento (Cuadro 5). Desde el punto de vista de la construcción se prefiere aquellos materiales que presenten el menor porcentaje de absorción de humedad.

El análisis de regresión no muestra una tendencia clara (Gráfico 6) igualmente el coeficiente de correlación ($r=0.07$) es no significativo ($P>0.05$).

Cuadro 7. Porcentaje de absorción de los bloques

Tratamientos	Absorción (%)
T1	7.00 ab
T2	6.81 ab
T3	6.64 ab
T4	11.05 bc
T5	14.24 c
T6	6.44 ab
T7	4.73 ab
T8	2.95 a
T9	7.8 ab
Probabilidad	0.0004
Error estándar	1.29

Letras iguales no difieren estadísticamente según Tukey al 0.05

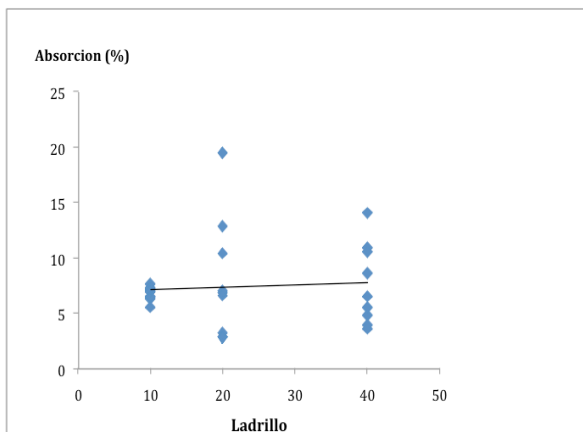


Gráfico 6. Proporción del ladrillo y la absorción del bloque

CONCLUSIONES

El contenido de los residuos influye en las características del bloque principalmente en la resistencia. Siendo el contenido de ladrillo el más influyente, ya que a menor contenido se eleva la resistencia. A excepción de las formulaciones que contenían 40% de ladrillo, todas las demás cumplen con las especificaciones de las normas ecuatorianas a los 28 días de fraguado. El reciclar los residuos de la construcción para la elaboración de bloques de hormigón es una alternativa en el manejo de los mismos, puesto de cumplen con

las características de un bloque tradicional y al mismo tiempo minimiza el uso de los recursos naturales.

LITERATURA CITADA

- Barreto, I. 2005. Gestão de resíduos na construção civil. Sergipe: Sinduscon.
- Bautista, C. 1998. Residuos: Guía Técnica Jurídica. España. Ediciones Mundi-Prensa . p 25-26-67-68.
- Bermejo, R. 2005. La gran transición hacia la sostenibilidad: principios y estrategias de la economía sostenible. Madrid. Catarata. p 223.
- Buck, Alan D. 1977. Recycled Concrete as a Source of Aggregate. En: Journal of the American Concrete Institute. Detroit. 41(5):212-220
- Domínguez, J y Martínez, E. 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):43-54.
- Frondistou, S .1977. Waste Concrete as Aggregate for a New Concrete. En: Journal of American Concrete Institute. Detroit. 74(8):373-376.
- Gómez, J. M.; Agullo, L. y Vázquez, E. 2002. Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. Tecnología y construcción. p 10-22.
- Hincapié, A y Aguja E. 2003. Agregado reciclado para morteros. Col. Revista Universidad EAFIT. 39(132):76-89.
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2012. Bloques huecos de hormigón. Muestreo y ensayos. Norma N° 639. (En línea). Consultado, 30 de ene. 2013. Formato PDF. Disponible en: <http://www.Inen.gob.ec>.
- Malhotra, M. 1977. Uso del Concreto Reciclado. En: Simposio Internacional sobre Tecnología del Concreto. (3: 1977: Monterrey). México. pp. 197 – 230.

- Pérez, I; Toledano, M; Gallego, J; Taibo, J. 2007. Propiedades mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición. *Materiales de Construcción*. 57(285):17-29.
- Pernía, S; Ramos, M.A; Suarez, C; Malavé, R. 1996. Industrialized Recycling of Construction Waste, XXIV IAHS World Housing Congress, Ankara, Turkey.
- Pavón, E; Etxeberria, M; Díaz, N. 2012. Estudio de la aplicabilidad del hormigón árido grueso reciclado en la Habana, Cuba. *Materiales de Construcción*. Vol 62 N° 307.
- Poon, C; Kon, S.C; Lam, L. 2001. "Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks", *Construction and Building Materials*. 16(5):281-289.
- Sánchez de Juan, M. 2004. Estudio sobre la utilización de áridos reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Tesis. Ingeniería Civil: Construcción. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sánchez de Sancha, J; Urcelay, C; Guede, E. 2004. Desarrollo de estrategias de obtención de cemento a partir de residuos de construcción y demolición. *Hormigón y acero*. N° 234. p 51-61.
- Sánchez y Gándara A. 2005. Conceptos básicos de gestión ambiental y Desarrollo Sustentable. S y G editores. p 148-241-247.
- Sinduscon-SP. 2005. Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP. São Paulo, SP. Disponible en: http://www.gerenciamento.ufba.br/downloads/manual_residuos_solidos.pdf.
- Souza, J; Bauer, E; Sposto, R. 2003. Reciclagem de entulho de construo civil como agregado: producto de blocos de concreto. VII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción. CONPAT 2003. ALCONPAT, septiembre del 2003, Yucatán, México.
- Valdés, G y Rapimán, J. 2007. Propiedades Físicas y mecánicas de bloques de hormigón compuestos con áridos reciclados. *Información tecnológica*. 18(3):81-88.