

Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento: del residuo al material

Carlos Mauricio Bedoya-Montoya

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (Colombia)

Facultad de Arquitectura, Escuela de Construcción

Bedoya-Montoya, C. (2017). Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento: del residuo al material. *Revista de Arquitectura*, 20(1), 62-70. doi: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.1.1193>



<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.1.1193>

Arquitecto, constructor, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (Colombia).

Magíster en Hábitat, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (Colombia).

Doctorado en Proyectos, Universidad Internacional Iberoamericana de México, Ciudad de México (México).

Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; líder del Grupo de Investigación en Construcción; coordinador de la línea de investigación en Construcción Sostenible, Medellín (Colombia).

<https://orcid.org/0000-0001-9702-5076>

cmbedoya@unal.edu.co

Resumen

El suelo producto de las excavaciones es visto generalmente como un residuo, cuyo tratamiento casi siempre es la disposición controlada en escombreras. Sin embargo, este puede ser valorizado como material de construcción mediante diferentes técnicas, entre ellas la confección de bloques de suelo cemento (BSC), con el empleo de la Cinva-Ram (prensa manual para la elaboración de bloques), la cual es de fácil manejo por parte del personal que se desempeña en el sector de la construcción. En tal sentido, se expone una experiencia basada en la valorización del suelo residual como material de óptimo desempeño y costo asequible para la construcción de vivienda. Este ejercicio experimental se realizó en el municipio de El Carmen de Viboral, departamento de Antioquia (Colombia), caracterizado por clima fresco con alto nivel de precipitaciones. Se realizaron diferentes mediciones que arrojaron como resultado que el desempeño físico-mecánico cumple con los requerimientos del proyecto, y las normas y reglamentaciones existentes, lo que es un aspecto a favor para la viabilidad de proyectos de vivienda que aporten a la sostenibilidad ecológica del hábitat mediante el concepto de minería a la inversa.

Palabras clave: Cinva-Ram, equilibrio ecológico, gestión de recursos, hábitat, material de construcción, minería a la inversa, sistemas constructivos.

Sustainable house construction with soil cement blocks: From waste to material

Abstract

Soil, as a product of excavations, is generally seen as waste, with a treatment that is almost always controlled disposal in waste dumps. However, it can be valued as a building material using different techniques, among them the elaboration of cement soil blocks (CSB) using Cinva-Ram (a manual press for making blocks), which is easy to handle by the staff who work in the construction sector. In this sense, this paper presents an experience based on the valorization of residual soil as an affordable material of optimum performance for housing construction. This experience was carried out in the geographical context of the department of Antioquia, Colombia, characterized by cool climate with high level of rainfalls. Different measurements showed that its physical-mechanical performance is in line with the requirements of the project, which is a favorable aspect for the viability of housing projects that contribute to the ecological sustainability of the habitat through the concept of inverse mining.

Keywords: Cinva-Ram, habitat, resource management, ecological balance, inverse mining, constructive systems.

Construção de moradia sustentável com tijolos prensados de solo-cimento: do resíduo ao material

Resumo

O solo produto das escavações é visto, geralmente, como um resíduo, cujo tratamento quase sempre é a disposição controlada em escombreiras. Contudo, este pode ser valorizado como material de construção mediante diferentes técnicas, entre elas a confecção de tijolos de solo-cimento, com o emprego da Cinva-Ram (prensa manual para a fabricação de tijolos), a qual é de fácil manipulação por parte do pessoal que se desempenha no setor da construção. Nesse sentido, expõe-se uma experiência baseada na valorização do solo residual como material de ótimo desempenho e custo acessível para a construção de residências. Esse exercício experimental foi realizado no município de El Carmen de Viboral, estado de Antioquia (Colômbia), caracterizado por ter um clima fresco com alto nível de precipitações. Foram realizadas diferentes medições que demonstraram que o desempenho físico-mecânico cumpre com as solicitações do projeto e com as normas e regulamentações existentes, o que é um aspecto a favor da viabilidade de projetos de moradia que contribuam para a sustentabilidade ecológica do hábitat mediante o conceito de mineração inversa.

Palavras-chave: Cinva-Ram, equilíbrio ecológico, gestão de recursos, hábitat, material de construção, mineração inversa, sistemas

Recibido: octubre 31 / 2016

Evaluado: octubre 24 / 2017

Aceptado: enero 18 / 2018

Introducción

El resultado de este artículo hace parte del proyecto de investigación de Construcción Sostenible llevado a cabo en el marco de la línea que lleva el mismo nombre, y realizado en el Grupo de Investigación en Construcción de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. El objetivo del proyecto es permitir un ejercicio de reciprocidad entre el conocimiento de la academia y la aplicación en el medio a través de sus egresados. Como hipótesis se tiene que los lineamientos de construcción sostenible impartidos y trabajados en el aula de clase con estudiantes de pregrado y posgrado son susceptibles de ser aplicados posteriormente en el medio sin necesidad de leyes coercitivas u obligatorias, sino como resultado de un acto reflexivo de la actividad edificatoria en relación con el ecosistema que se va a intervenir.

Para la producción de bloque de suelo cemento (BSC) se requiere de una mezcla de suelo y cemento que generalmente es de 9:1 respectivamente, y de una prensa que comprime el material humedecido hasta obtener un mampuesto que, a catorce días de su confección, está en condiciones óptimas para ser instalado en la obra (NTC 5324, 2005). Tal vez una de las mayores ventajas del BSC con respecto a otros prefabricados para mampostería es la posibilidad de ser producido en el sitio sin necesidad de instalaciones costosas con altos consumos de energía (Minke, 2005). Esta última cualidad permite inferir la pertinencia que tiene esta técnica para la construcción de proyectos de vivienda en zonas no urbanas, como es el caso del oriente cercano a la ciudad de Medellín, en cuyo territorio se viene dando un crecimiento del hábitat construido con una mirada poco reflexiva en cuanto a la materialización y vida útil del inmueble.

Municipios como Rionegro, El Carmen de Viboral y El Retiro, con unas condiciones de movilidad favorables entre poblaciones, han comenzado un proceso de urbanización que pareciera estar más destinado a la población externa con mayores ingresos que a los pobladores raizales; sin embargo, la experiencia reportada en este artículo muestra que estos últimos también pueden procurarse una vivienda asequible mediante la implementación de una construcción sostenible que propicie estrategias de bajo consumo de energía y de materiales durante la ejecución del proyecto y de la vida útil de este, como es el caso de la implementación de ecomateriales como los BSC, entre otros.

Metodología

En el marco de la línea de investigación en Construcción Sostenible, que contempla las cátedras electivas Construcción Sostenible¹ y Estado del Arte de la Construcción Sostenible², se abordan los fundamentos técnicos de materiales y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental, como también las prácticas a nivel de laboratorio; sin embargo, queda pendiente la aplicación a escala real en el medio, por lo que el proyecto descrito en este artículo obedece a un ejercicio experimental de una vivienda unifamiliar construida en bloques de suelo cemento (BSC) mediante el uso de la Cinva-Ram, con énfasis en la aplicación de un sistema de muros parcialmente confinados. Aunque una parte de la vivienda se desarrolló en el sistema constructivo de bahareque encementado, el objeto de análisis de este trabajo es el BSC, ya que los tres muros construidos en bahareque obedecieron a una experimentación en un área de poca sollicitación estructural de un nivel de altura. Se llevó a cabo un proceso de capacitación-concientización con los ayudantes, los oficiales y el maestro de la obra, específicamente en lo concerniente a la elaboración de la mezcla con suelo residual, manejo de la Cinva-Ram, curado de los BSC e instalación de estos para la conformación de los muros. Pues, aunque los procedimientos de mezclado, curado y colocación de los bloques son iguales a los de la mampostería tradicional, la implementación de un nuevo componente como el suelo residual y su elaboración con la prensa requieren de un acercamiento técnico y cultural.

Como materia prima para la elaboración de los bloques por emplear en la mampostería se escogió el suelo residual del corte del terreno y de las excavaciones, pues los ensayos básicos de consistencia y composición de este suelo arrojaron resultados positivos en cuanto a su distribución de limos, arcillas y arenas en función de producir *in situ* los BSC (Vásquez, Botero y Carvajal, 2015). El paso siguiente fue adquirir una prensa Cinva-Ram de operación manual con moldes para la producción de BSC aligerados tipo lego (Figura 6), con el fin de minimizar el consumo de material y el peso o las cargas muertas de la edificación; también, para utilizar los conductos que se dan en la mampostería como formaleta para el vaciado de la estructura de concreto reforzado de confinamiento, y para la distribución de instalaciones de acueducto, gas y redes eléctricas (Figuras 7 y 8).

1 Pregrado, código 3006721.

2 Posgrado, código 3010001.

El diseño arquitectónico contempló la orientación de la vivienda en función del recorrido del sol para la iluminación natural durante gran parte del día y para permitir la entrada de sol a fin de generar un efecto invernadero artificial a pequeña escala y mantener una temperatura igual o mayor que la del exterior (Salazar, García y González, 2006), si se tiene en cuenta que el emplazamiento está a 2100 msnm y la temperatura promedio es de 17 °C, además de un régimen de lluvias de 2000 mm anuales (Montoya y Montoya, 2009). Las cubiertas de la casa se pensaron como recolectoras de agua y se planteó una terraza técnica en la cual se ubicaron dos tanques de 1000 litros de capacidad cada uno para el almacenamiento de las aguas lluvia, un panel fotovoltaico para el sistema de iluminación y un calentador de agua de energía solar térmica. De esta manera, se diseñó un proyecto que contempló las siguientes variables:

- Fabricación de ecomateriales mediante la valorización del suelo residual (BSC y bahareque).
- Aprovechamiento de aguas lluvia para usos no potables, que representan entre el 55 y el 65 % del consumo en una vivienda (Cano, 2010).
- Iluminación con bombillas LED alimentadas mediante energía fotovoltaica.
- Calentamiento de agua con energía solar térmica.
- Uso de la guadua a nivel estructural.
- Minimización del uso de acabados arquitectónicos y de producción de escombros mediante la coordinación dimensional.

Con estas estrategias se concibió un proyecto de vivienda sostenible a lo largo de su ciclo de vida, teniendo en cuenta la ecoeficiencia en las etapas del diseño, la ejecución, la operación y el fin de la vida útil del inmueble, este último ítem

referido a sus posibilidades de demolición selectiva o deconstrucción, reciclaje y reutilización de sus componentes. Para la puesta en marcha de este proyecto fue necesario implementar una planta *in situ* para la confección de los materiales y la producción de los BSC (Cubillos, Trujillo, Cortés, Rodríguez y Villar, 2014).

Resultados

La construcción como metabolismo. Los flujos de energía y materiales

Al emplear el principio de minería a la inversa se establece un flujo no lineal de energía y materiales que minimiza tanto la extracción de materias primas no renovables como la generación de residuos de construcción y demolición (RCD), su disposición controlada y la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂ (Bedoya, 2013). El material producto del corte del terreno, del movimiento de las capas superficiales y de la excavación para las cimentaciones suele verse como un residuo y no como una materia prima potencial para la construcción, por lo que hay que invertir en costos de cargue del suelo residual, transporte y descargue en escombrera (Carvalho, Ramos, Zegarra y Pereira, 2016); a estos costos se suman aquellos en sentido contrario de cargue y transporte de materiales nuevos para la obra, como también los de adquisición de estos; adicionalmente, en ambos flujos se presenta un consumo de energía para el transporte y la confección de materiales nuevos, y una emisión de CO₂ representada en la combustión de hidrocarburos utilizados en los vehículos transportadores y equipos de confección de ladrillos cerámicos y de concreto (Figura 1).

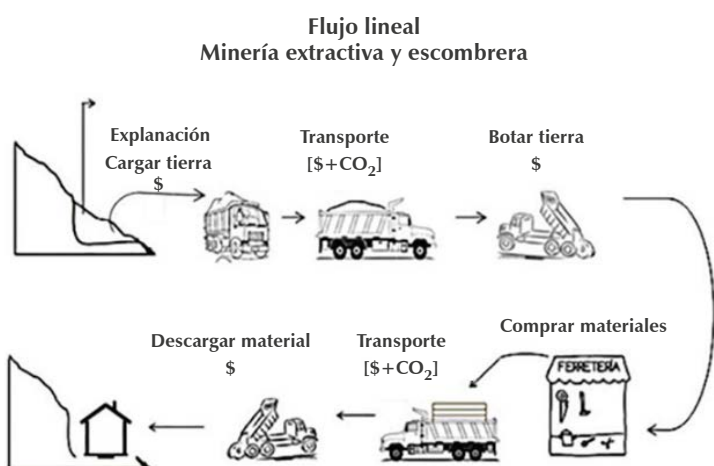


Figura 1. Flujo lineal de materiales y RCD

Fuente: elaboración propia, 2015.

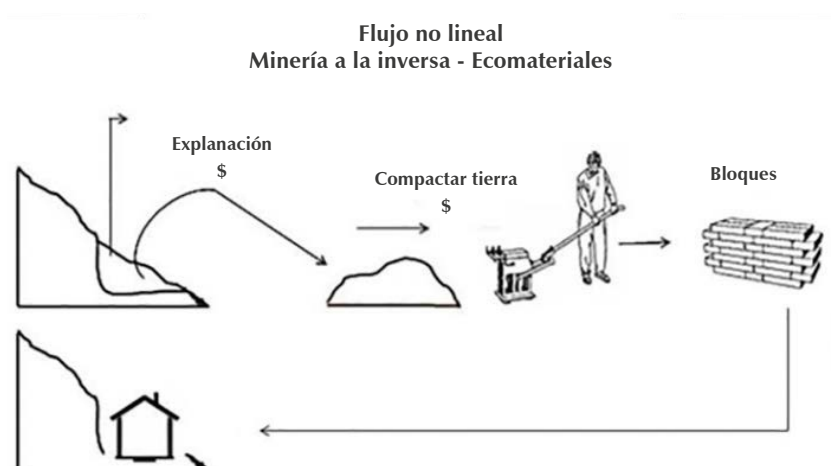


Figura 2. Flujo no lineal de materiales y residuos. BSC *in situ*

Fuente: elaboración propia, 2015.

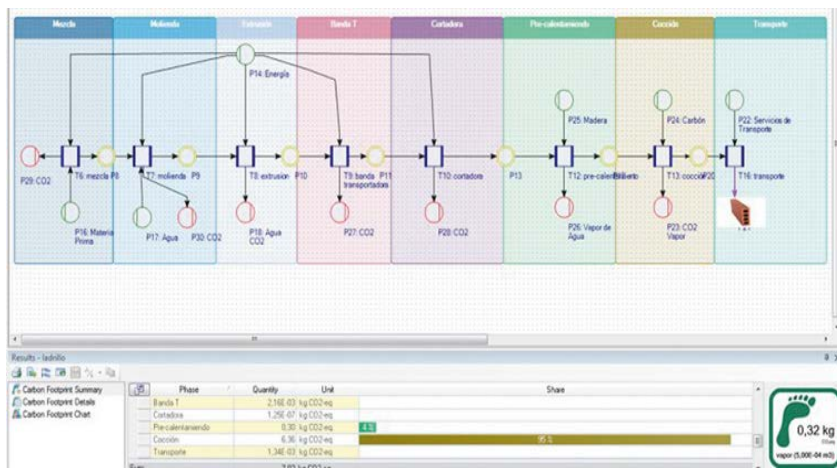


Figura 3. Diagrama de *Umberto NXT LCA* para huella de CO₂ (ladrillo cerámico)

Fuente: Captura de pantalla realizada por Herrera, 2015.

Al disponer de una planta de producción de materiales *in situ* (Figuras 4 y 5) se busca valorizar el suelo residual como material de construcción acorde con la norma técnica NTC 5324 (2005) del Icontec, y con el código de sismo-resistencia NSR-10 (Decreto 926 de 2010), para contribuir a una mirada más reflexiva sobre el ejercicio de la construcción de vivienda, por medio de la cual se disminuyen significativamente los pasivos ambientales –minería extractiva a cielo abierto, consumo de combustibles fósiles, emisiones de CO₂, afectación paisajística por escombreras–, y se obtiene a cambio, como ejercicio recíproco entre el acto antrópico y la naturaleza, una disminución de los costos pagados en beneficio también de la viabilidad de los proyectos (Figura 2).

En la tabla 1 se muestra una comparación entre el BSC y el ladrillo cerámico en cuanto a huella de CO₂; dicho análisis fue realizado empleando el *software Umberto NXT LCA*, licenciado por Ifu Hamburg© de Alemania para la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (Figura 3).

Según la tabla 1 se tiene que las emisiones de CO₂ equivalente son 238 veces menos en el caso del BSC en comparación con el ladrillo cerámico, lo que coincide con otros estudios realizados en Francia por *Craterre* de la Unesco (Angulo, 2009). Para este análisis se tuvo en cuenta un contenido de cemento del 11,10% en peso, que es el caso más crítico para la Cinva-Ram manual, debido a que la huella de carbono del cemento Portland es un aspecto sensible en los materiales compuestos dado su proceso de producción basado en hornos tipo túnel con altas temperaturas (1350 a 1400 °C).

A continuación se muestran fotografías referidas a algunas de las características de la vivienda –diseñada y construida por los arquitectos Jorge Moreno e Isabel Correa, egresados de la Universidad Nacional de Colombia–, tales como tipo

Muestra	Huella de carbono (kg CO ₂ -eq)
Ladrillo cerámico	0,320
BSC	0,001 34

Tabla 1. Comparación de emisiones de CO₂ entre BSC y ladrillo cerámico

Fuente: elaboración propia, 2015.

Ítem	Carmen de Viboral
Altura (msnm)	2100
Temperatura promedio (°C)	17
Lluvias promedio (mm/año)	2000
Sistema constructivo	Mampostería confinada/muro tendinoso
Área (m ²)	170
BSC	Prensa Manual
Cubierta	Madera protegida con chingle para ganancia térmica
Calentamiento de agua	Energía solar térmica
Iluminación/fuente	Lámparas LED/panel fotovoltaico
Acueducto/Alcantarillado	Aguas lluvia-acueducto municipal/Tratamiento in situ

de BSC y fachada (Figuras 4 a 9). Este proyecto fue construido para el año 2014 en un lote semiurbano ubicado en el municipio de El Carmen de Viboral, a 5 kilómetros de distancia del casco urbano de San Antonio de Pereira, perteneciente al municipio de Rionegro, por lo que el acceso de materiales y la vía principal se hizo por este sector del oriente antioqueño. Las condiciones climáticas y generales del proyecto se muestran en la tabla 2.

Aspectos técnicos

En la Tabla 2 se muestra un listado con los datos técnicos relevantes de la construcción, tales como ficha técnica del sistema constructivo, fabricación de los BSC, resultados de resistencia al esfuerzo de la compresión a los 28 días de producidos y costos comparados con bloques convencionales de construcción.

Tabla 2. Aspectos técnicos generales de la vivienda - El Carmen de Viboral

Fuente: elaboración propia, 2015.



Figuras 4 y 5. Planta de producción in situ, almacenamiento y curado de BSC en obra

Fuente: Carlos Mauricio Bedoya y Jorge Moreno, 2014.



Figura 6. BSC tipo lego o machihembrado

Fuente: elaboración propia, 2014.



Figura 9. Fachada en BSC, bahareque y guadua

Fuente: elaboración propia, 2014.

Figuras 7 y 8. Aspectos del proceso constructivo y su interacción con las instalaciones

Fuente: Jorge Moreno, 2014.

Resultados de laboratorio de los BSC

La tabla 3 muestra los resultados de los ensayos realizados a los BSC en cuanto a resistencia al esfuerzo de la compresión a 28 días de edad, parámetro necesario para su empleo en construcciones acordes a la Norma de Sismo Resistencia (NSR-10).

Se puede observar que los BSC fabricados con la Cinva-Ram manual presentan un desempeño óptimo a la luz en los rangos de la tabla 3 de la NTC 5324, en la cual se establecen los valores exigidos para la resistencia a la compresión seca (Tabla 4).

Los BSC producidos manualmente en el proyecto El Carmen de Viboral cumplen con las exigencias de la NTC 5324, ya que se ubican en el rango BSC 40; se observa que ninguna de las muestras está por debajo de 0,8 veces el valor de la resistencia exigida, que sería igual a 3,2 MPa, y que la muestra de menor resistencia obtuvo un valor de 3,84 MPa (0,96 veces). Asimismo, el promedio de las resistencias de estas muestras fue de 3,98 MPa (0,995 veces), y si se eligen los dos valores menos alejados entre sí (4,01 MPa y 4,10 MPa) se obtiene un promedio de 4,055 MPa (1,01 veces). Estos bloques pueden ser empleados en paramentos, y pueden quedar expuestos, según numeral 1.6 de la NTC 5324; también se pueden utilizar como bloques accesorios para amarre, dinteles y columnas según numeral 1.4.3 de la misma NTC; también como formaleta para el vaciado de estructuras de concreto reforzado en sistemas de mampostería confinada, permitiendo la colocación de varillas de acero en los conductos formados por el traslape de los BSC y el posterior vaciado del concreto fluido para consolidar los pórticos (Figura 4).

Otras características para tener en cuenta fueron, además de la resistencia a la compresión, el peso por unidad y su densidad (Tabla 5).

Si bien el análisis de ciclo de vida para la huella de CO₂ se hizo con un contenido crítico de cemento de 11,10% en peso, en la realidad en El Carmen de Viboral se trabajó con un 8% (Tabla 6).

En el caso de esta experiencia se implementaron la coordinación dimensional y la valorización del suelo residual para confeccionar BSC *in situ*. Las medidas estándar para la coordinación dimensional fueron 30 cm de largo, 15 cm de espesor y 10 cm de alto, que son las medidas nominales del BSC, y se fabricaron medias piezas (15 cm de largo, 15 cm de espesor y 10 cm de alto) para evitar cortes y con ello la genera-

Bloques llenos	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Resistencia mínima (R) para la fracción de 0,05 en MPa	2	4	6

Tabla 3. Resistencia al esfuerzo de la compresión a 28 días

Fuente: elaboración propia, 2015.

Muestras	Resistencia al esfuerzo de la compresión a 28 días (MPa)
BSC 1	4,01
BSC 2	3,84
BSC 3	4,10
Promedio	3,98

Tabla 4. Clases de resistencia a la compresión seca

Fuente: NTC 5324 (2005).

Muestras	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)
BSC 1	6020	1,83
BSC 2	6013	1,83
BSC 3	6179	1,88
Promedio	6071	1,84

Tabla 5. Pesos y densidades de BSC de 15x10x30 cm con perforaciones verticales

Fuente: elaboración propia, 2015.

Muestra	Contenido de cemento(g)	Costo USD/COP
Carmen de Viboral	449,00	0,084 / 245,00

Tabla 6. Contenido de cemento por unidad y costo del material

Fuente: elaboración propia, 2016.

ción de escombros por rotura, por lo que el acostumbrado 7% de desperdicio por bloques para muros no se tuvo en cuenta; además, en caso de una rotura del BSC por manipulación, este puede volverse a introducir en el ciclo productivo como agregado.

En el proyecto se concibe que la textura de los muros con BSC será parte del acabado tanto en exteriores como en interiores, por lo que los costos de revoque, estuco y pintura también se evitaron, siendo este un ítem importante en el costo global de cualquier proyecto, con un valor promedio de 8%. En este caso se hizo una capacitación-concientización con la mano de obra de la mampostería,

ya que es costumbre no abordar este aspecto constructivo con detalle porque “para eso están los acabados”; en ese sentido tampoco es válido decir que el rendimiento es menor, pues se estaría comparando con un proceso de ejecución más rápido pero con más desperfectos de horizontalidad y verticalidad (nivel y plomo, respectivamente, en el argot de la albañilería), que luego requiere de sobrecostos en rellenos con materiales costosos como el cemento, el estuco y las pinturas.

La mampostería en un sistema parcialmente confinado como el escogido en la construcción referenciada representa entre el 30 y el 35 % del costo total de la vivienda (Cano, 2012), así que, al fabricar los bloques en el sitio de la obra, utilizando además RCD como materias primas, se impacta un porcentaje importante del costo global del proyecto dado que el BSC resulta más barato que la oferta de ladrillos cerámicos y de concreto en la región (Tabla 7).

Los costos del BSC suelen variar de acuerdo con la zona geográfica del emplazamiento y la composición del suelo, ya que algunas veces el material presenta las condiciones óptimas de limos, arcillas y arena, y otras hay que complementar la mezcla con un porcentaje de arena adquirido en canteras o depósitos. Para este artículo se trabajó con el precio más alto alcanzado hasta el momento en las experiencias desarrolladas por el autor y su grupo de trabajo, que es del orden del 75 % del catalán cerámico y del 53 % del catalán en concreto, aunque en experiencias desarrolladas en la zona del oriente cercano a Medellín, como en el municipio de Guarne, se alcanzaron costos menores (Bedoya, 2011).

Por último, se menciona el costo evitado del cargue, transporte y disposición del suelo residual del proyecto, pues al emplear un flujo no lineal o semicerrado de materiales y energía basado en la valorización de los RCD como material de construcción, el suelo removido y excavado se queda en la obra y pasa a ser una materia prima. No se paga entonces por cargue del suelo residual, ni por el transporte de ese suelo a

la escombrera ni por la descarga. Es importante considerar que, en este tipo de construcciones, el transporte es más costoso porque al tratarse de zonas no del todo urbanas las velocidades de las volquetas son bajas y el consumo de combustible aumenta, por tanto, el kilómetro recorrido tiene una tarifa mayor, y eso es justo; además, el vertimiento o descargue en escombrera tiene un costo promedio de 50 000 pesos por viaje. Con la valorización del suelo residual en el lugar de la obra también se evita la emisión de CO₂ al ambiente al no tener que transportar este material a escombreras, si se tiene en cuenta que la producción de este gas de efecto invernadero en un vehículo en buenas condiciones es de 120 g/km (Fernández, Mosquera y Mosquera, 2010).

Discusión

Construcción sostenible frente a construcción convencional: costos evitados (Bettini, 1998)

En el gremio de la construcción es común contemplar desperdicios de materiales en porcentajes que van del 5 al 10% en los presupuestos globales de obra, también asumir como inevitables la disposición controlada o “botada” de escombros, el empleo de agua potabilizada para usos donde no se requiere de esta y la climatización mecánica de los ambientes. Pero al aplicar la construcción sostenible se entra en un campo de complejidad y pensamiento sistémico (Morin, 2007; Garcandía, 2005), por lo que los análisis de costos trascienden al precio unitario del producto terminado para involucrar los intangibles ambientales y sociales; por ello, en vez de hablar de desperdicio de materiales se habla de coordinación dimensional; la última alternativa que se analiza es la mecanización de los ambientes; la primera opción que se estudia es el uso inteligente del agua acorde con el contexto y con la legislación según Ley 373 de 1997; y la alternativa conceptual es la implementación de flujos no lineales de materiales y de energía durante y después de la ejecución del proyecto. Si bien la edificación de vivienda referenciada en este artículo contempla

Bloque Catalán cerámico 15x10x30 (cm) USD/COP	Bloque Catalán concreto 15x10x30 (cm) USD/COP	Bloque Suelo Cemento 15x10x30 (cm) USD/COP
0,299 USD/875*	0,426 USD / 1250*	0,224 USD / 656

Tabla 7. Costos comparativos de bloques para vivienda. *No incluye el transporte del sitio de venta a la obra
Fuente: elaboración propia, 2016.

todas estas alternativas, el análisis principal de costos evitados está basado en la aplicación del concepto de minería a la inversa por medio de la valorización de RCD, entre los cuales el suelo residual es a veces el 55 % del total de estos (ASOP-SMA, 2005).

Los resultados en cuanto al comportamiento físico-mecánico de los BSC se enmarcan en los rangos exigidos por las normas técnicas colombianas, lo que representa un hallazgo de cara a la consolidación de técnicas y tecnologías apropiadas al contexto del emplazamiento, aportando con ello a la obtención no solo de materias primas de costo asequible, bajo impacto ambiental y óptimo desempeño, sino también a la aceptación de diseños arquitectónicos y sistemas constructivos que, sin abandonar el rigor técnico, se comportan con mayor idoneidad en cuanto al confort y a las dinámicas socioculturales de la población inherente al proyecto, entre ellas, la aceptación de una estética de las formas y de la materialidad.

Un aspecto relevante que arroja este trabajo es el cuestionamiento hacia las prácticas poco reflexivas llevadas a cabo en la construcción de proyectos de vivienda, en las cuales se remueve el suelo superficial bien sea por explanaciones, cortes o excavaciones, y se lleva a rellenos sanitarios o a escombreras como un residuo, por lo que hay que pagar, pero, posteriormente el proyecto debe adquirir este tipo de materiales para efectos de urbanismo o nivelación de terrenos, por lo que también tiene que pagar. Así, al no tener en cuenta el suelo residual como una posible materia prima susceptible de ser valorizada o intercambiada con obras vecinas se incurre en un doble gasto, en tanto que hay un flujo de salida (cargue, transporte y descarga en escombrera) de este tipo de RCD, y al mismo tiempo se configura un flujo de entrada de nuevos materiales (cargue, transporte y descarga en la obra), ambos con costos inherentes a sus procesos logísticos y energéticos.

Conclusiones

La vivienda para la población colombiana merece ser analizada no solo desde el punto de vista de la posesión del inmueble, sino también como espacio ideal para el habitar en condiciones de confort arquitectónico, ambiental y social, con la posibilidad de implementar sistemas constructivos, materiales y estrategias de diseño encaminados al uso racional de la energía y del agua. Esto referido no solo a la construcción de la edificación, sino también al periodo de vida útil que es el más dramáti-

co, ya que representa lapsos de 40, 50 y hasta más años de usufructo, por lo que una incorrecta concepción de los espacios en relación con la iluminación natural acarreará consumos innecesarios de energía eléctrica en jornadas diurnas y sobre costos en la facturación mensual.

La implementación de técnicas y sistemas de recolección de aguas lluvia –en lugares con esta ventaja pluviométrica– permitirá desarrollar actividades diarias de alto consumo como el vaciado de aparatos sanitarios, trapeado, lavado de ropas, entre otros, que no requieren de agua potable. El aprovechamiento de aguas lluvia en viviendas propiciaría una rebaja en los egresos mensuales de la población por efectos de un menor costo de facturación, y también minimizaría los riesgos por inundaciones debidas a las escorrentías urbanas, ya que al tener cada vez más porciones de territorio con zonas duras poco permeables se hace necesaria la retención de los flujos hídricos para que no lleguen rápidamente a los afluentes.

De la experiencia expuesta en este artículo se puede inferir que es posible para una familia colombiana procurarse una vivienda que cumpla con las exigencias normativas de durabilidad y sismo-resistencia a menores costos que los propuestos por el ejercicio inmobiliario, con la aplicación del principio de la construcción sostenible, siendo incluso una opción más económica al momento de su ejecución en comparación con sistemas constructivos convencionales basados en flujos lineales –poco o nulamente reflexivos–. En el caso de las estrategias para la sostenibilidad que requieren una inversión inicial mayor, la tasa interna de retorno mostrará la viabilidad de estas como también el ahorro obtenido a lo largo de la vida útil de la construcción, por ejemplo, en los casos de paneles térmicos y fotovoltaicos, y en las redes hidrosanitarias para aprovechamiento de aguas lluvia.

La confección de materiales de construcción bajo el enfoque de minería a la inversa representa una opción válida para la construcción de viviendas desde los aspectos técnicos, económicos, ambientales y estéticos. Los costos evitados, si bien en un principio favorecen al usuario y al constructor, son en realidad beneficios comunes para las colectividades si se analizan desde una perspectiva sistémica, ya que al no botar o disponer determinada cantidad de RCD en escombreras, se evitan la degradación de la corteza terrestre por la minería a cielo abierto para materias primas y la afectación biótica de los territorios que los alojan (Bedoya, 2003).

Es factible para una familia de clase media construir una vivienda sin la obligatoriedad de un crédito a largo plazo con el empleo de técnicas y materiales de construcción asequibles geográficamente y de óptimo desempeño, ya que no solo hay un ahorro al momento de la ejecución del proyecto, sino que además se ahorra en consumos de energía y agua, lo que se traduce en menores egresos desde los primeros años del ciclo de vida de la vivienda,

y, por ende, en una mayor capacidad de pago, por ejemplo, para otros sistemas de crédito de tipo solidario que manejan menores plazos y tasas de intereses. También es viable generar proyectos de VIS y VIP con materiales sostenibles y ecotécnicas que inciden significativamente en la canasta familiar, como ya se ha demostrado en México con el programa "Hipotecas verdes", liderado por el profesor David Morillón de la UNAM (2013).



Referencias

- Angulo, D. (2009). Construcción en bloque de tierra compactada (BTC). Alternativa de construcción en la arquitectura contemporánea. *Revista Esfera*, 1(3), 66-69. Recuperado de <http://biblos.uamerica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=444081>
- ASOP-SMA (2005). *Estudio para el diseño de valorización de residuos de escombros, mediante un sistema de gestión integral de los mismos para la producción más limpia en la ciudad de Medellín*. Medellín: Secretaría de Medio Ambiente de Medellín.
- Bedoya, C. (2003). *El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles. La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural*. Tesis de Maestría en Hábitat. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3477/1/98589947-2003.pdf>
- Bedoya, C. (2011). Viviendas de interés social y prioritario sostenibles en Colombia – VISS y VIPS. *Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, 6, 27-36. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099/11911>
- Bedoya, C. (2013). El concreto con agregados reciclados (CAR) y su gestión integral en un proyecto de viabilidad para el ecosistema urbano de Medellín. En *X Encuentro Internacional de Hábitat Sostenible - Biocasa*. Camacol, Cali, Valle.
- Bettini, V. (1998). *Elementos de ecología urbana*. Madrid: Trotta.
- Cano, E. (2010). *Documento técnico de base para la elaboración de una política pública de construcción sostenible para el Valle de Aburrá*. Medellín: AMVA.
- Cano, E. (2012). *Uso sostenible del agua en la construcción*. En *Seminario de Bioclimatismo aplicado a edificaciones*. Manizales: Camacol Caldas.
- Carvalho, M., Ramos, F., Zegarra, J. y Pereira, C. (2016). Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. *Revista ingeniería de construcción*, 31 (1), 61-70. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000100006>
- Cubillos González, R., Trujillo, J., Cortés Cely, O., Rodríguez Álvarez, C. y Villar Lozano, M. (2014). La habitabilidad como variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad. *Revista de Arquitectura*, 16 (1), 114-125. doi:<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2014.16.13>
- Decreto 926 de 2010. Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10. Marzo 19 de 2010. D.O. No. 47.656.
- Fernández Henao, S., Mosquera A., J. y Mosquera M., J. (2010). Análisis de emisiones de CO² para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas. *Scientia et Technica*, 2(45), 141-146. doi:<http://dx.doi.org/10.22517/23447214.385>
- Garcandía, J. (2005). *Pensar sistémico: una introducción al pensamiento sistémico*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. 11 de junio de 1997. D.O. No. 43.058.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Alemania: Universidad de Kassel.
- Montoya Moreno, Y. y Montoya Moreno, B. (2009). Caracterización morfológica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 31-38. Recuperado de <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/244>
- Morillón, D. (2013). Eficiencia energética para la construcción sustentable. En *X Encuentro Internacional de Hábitat Sostenible - Biocasa*. Cali: Camacol Valle.
- Morin, E. (2007). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.
- NSR-10 (2010). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, Capítulo D. Bogotá: Icontec.
- NTC 5324. (2005). Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. Bogotá: Icontec.
- Salazar, J., García A. y González, A. (2006). Labor Cero. *Arquitectura a la medida*. PVC Arquitectos. Medellín: Argos.
- Vásquez Hernández, A., Botero Botero, L. y Carvajal Arango, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21), 197-220. doi:10.17230/ingciencia.11.21.10