

APLICACIÓN DE ACV EN BLOQUES DE HORMIGÓN PARA LA MEDICIÓN DE IMPACTOS MEDIANTE EL USO DE ÁRIDOS NATURALES Y RECICLADOS

APPLICATION OF LCA IN CONCRETE BLOCKS FOR THE MEASUREMENT OF IMPACTS THROUGH THE USE OF NATURAL AND RECYCLED AGGREGATES

Macyuri Álvarez Luna^{1}, Grisel Barrios Castillo¹, Elena R. Rosa Domínguez²
y Lesday Martínez Fernández³*

¹ Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

² Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní, Km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

Recibido: Junio 27, 2017; Revisado: Septiembre 26, 2017; Aceptado: Noviembre 9, 2017

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados del estudio de los impactos ambientales económicos y sociales de la producción de bloques de hormigón en el taller de Eco-materiales de Manicaragua, área experimental de producciones locales en Villa Clara, que pertenece al proyecto Hábitat. Se utiliza la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV) mediante el uso del programa SIMAPRO 7.3. Para la medición de los impactos ambientales se aplica la metodología del Eco indicador 99, y el Análisis de Costos de Ciclo de Vida (CCV) para los económicos. Las unidades funcionales evaluadas son el bloque 10 cm y el bloque 15 cm fabricados con dos alternativas: árido natural y árido reciclado. Los resultados muestran que la producción de bloques de 10 y 15 cm con árido reciclado tienen mayor impacto ambiental debido a que se utiliza más cemento que los fabricados con árido natural, aunque tienen menor impacto en la explotación de las canteras. El efecto económico indica que los bloques con árido reciclado son más económicos en \$0,16 para los de 10 cm y en \$0,23 para los de 15 cm debido a que disminuyen los costos de transportación y materiales. El impacto social revela que el bloque fabricado con árido reciclado tiende a influir negativamente en la salud, pues

Copyright © 2018. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Macyuri Álvarez, Email: macyuri@uclv.edu.cu

utiliza más cemento, pero se logra una producción adicional de dos unidades en el caso de los bloques de 10 cm y tres en los bloques de 15 cm utilizando la misma cantidad de áridos de las canteras.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida; áridos reciclados; evaluación; impacto ambiental; impacto económico; impacto social.

ABSTRACT

This paper shows the results of the study of the economic and social environmental impacts of concrete blocks production in Eco-materials workshop in Manicaragua city. This is an experimental area of local production in Villa Clara, which belongs to Habitat project. The Life Cycle Analysis (LCA) tool is used through the use of SIMAPRO 7.3 program. For the measurement of environmental impacts, the Eco indicator 99 methodology is applied, and the Life Cycle Cost Analysis (CCV) for the economic ones. The functional units evaluated are the 10 and 15 cm blocks manufactured with two alternatives: natural aggregate and recycled aggregate. The results show that the production of blocks of 10 and 15 cm with recycled aggregate have a greater environmental impact due to the fact that more cement is used than those made with natural aggregate, although they have less impact on the exploitation of the quarries. The economic effect indicates that the blocks with recycled aggregate are more economical at \$ 0.16 for those of 10 cm and \$ 0.23 for those of 15 cm because they reduce transportation costs and materials. The social impact reveals that the block manufactured with recycled aggregate tends to have a negative influence on health, since it uses more cement, but an additional production of two units is achieved in the case of the 10 cm blocks and three in the 15 cm blocks using the same amount of aggregates from the quarries.

Key words: life cycle analysis; recycled aggregates; evaluation; environmental impact; economic impact; social impact.

1. INTRODUCCIÓN

El continuo aumento de la población a lo largo de la historia de la humanidad ha sido sostenido por el desarrollo de actividades productivas cuya realidad siempre se tradujo en la explotación de los recursos del planeta, renovables y no renovables. A causa de ello las últimas décadas han encontrado al mundo en situación de preservar y proteger el medio ambiente de un inminente desequilibrio ecológico (Soler, 2010, Miranda y Pérez, 2017, López-Sánchez et al., 2017, Latorre y Tovar, 2017). Por otra parte, la gran demanda de recursos básicos para determinadas industrias ha llevado a la escasez de materias primas (Miranda y Pérez, 2017).

Los áridos han jugado un papel insustituible en el desarrollo de la humanidad. Definidos por la (NC-251, 2005) como un material mineral procedente de rocas que se encuentran desintegradas en estado natural o precisan de trituración mediante procesos industriales y más actual por (Altamirano, 2011) que los considera como materiales baratos y abundantes, situados necesariamente cerca de los centros de consumo y partículas

granulares de material pétreo de tamaño variable. Gracias a ellos la sociedad ha podido crear la infraestructura que le ha permitido a la raza humana vivir, transportarse y continuar desarrollándose (Gaspar, 2015).

Al mantener un ritmo sostenido de extracción de los áridos de las canteras, Cuba no se aleja de esta problemática. Por consiguiente, es importante buscar vías que ayuden a atenuar la situación con el objetivo de ahorrar las reservas de áridos naturales para las obras más importantes.

(González-del Pino et al., 2017, Rivero, 2016, Trujillo, 2015) plantean que las plantas de prefabricado se encuentran como altas consumidoras de áridos. Según datos publicados por la (ONEI, 2016), la extracción en canteras de piedras realizada en el año 2015 asciende a 2880,1 Mt. (Trujillo, 2015) concluye que este recurso no renovable se está agotando sumado a la afectación del ecosistema siendo necesario recurrir a soluciones alternativas y estudios medioambientales a través de herramientas que contribuyan a mitigar esta situación.

Por lo que el objetivo de este trabajo es comparar la fabricación de bloques de hormigón utilizando dos alternativas: árido natural y árido reciclado mediante las herramientas Análisis de Ciclo de Vida y Análisis de Costos del Ciclo de Vida para determinar los impactos ambientales, económicos y sociales asociados a este proceso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realiza en el Taller de Eco-materiales de la Construcción perteneciente a la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento (EPCM) Agrupación 7 el que está ubicado en la carretera Circunvalación, en el municipio Manicaragua, provincia Villa Clara, de la región central del país.

Una parte de los escombros son obtenidos de la misma entidad provenientes de residuos de la producción o elementos que se rompen en la transportación, la otra parte es proveniente de los escombros que se acumulan en el patio de venta de materiales a la población del Ministerio del Comercio Interior (MINCIN), los cuales se recogen cada tres o cuatro días obteniéndose un volumen de 3 m³ aproximadamente.

En el Taller se fabrican diariamente 800 bloques, 15 vigas de hormigón, 100 tabletas de techo (50 de cada tipo), 18 balaustres, 150 celosías de hormigón diarias, 150 tejas de microcemento (TMC), 100 losas hexagonales, 6 o 7 mesetas de hormigón, 5 lavaderos y 4 fregaderos.

Las alternativas utilizadas para realizar el estudio de impacto son los bloques de 10 y de 15 cm con árido natural (AN) y árido reciclado (AR). La comparación se lleva a cabo entre dos tipos de dosificaciones para su fabricación, la primera utilizando como áridos: granito, polvo de piedra y arena lavada provenientes de las canteras, bajo la denominación de bloques con árido natural y la segunda utilizando como áridos: granito y polvo de piedra provenientes del reciclado con la adición de grava procedente de residuos de cantera, con la denominación bloques con árido reciclado. Las dosificaciones empleadas en cada alternativa se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificaciones de los elementos de estudio

<i>Materiales</i>	<i>Bloques de 10 cm</i>		<i>Bloques de 15 cm</i>	
	<i>Árido natural</i>	<i>Árido reciclado</i>	<i>Árido natural</i>	<i>Árido reciclado</i>
Cemento	1,39 kg	1,67 kg	1,72 kg	2,2 kg
Arena lavada	0,003 m ³	0,001 m ³	0,004 m ³	0,001 m ³
Polvo de piedra	0,0007 m ³	0,0007 m ³	0,001 m ³	0,001 m ³
Granito	0,005 m ³	0,0025 m ³	0,006 m ³	0,003 m ³
Grava	-	0,0045 m ³	-	0,006 m ³

Para la evaluación del impacto ambiental se utiliza la herramienta análisis del ciclo de vida, que tiene en cuenta el ciclo de vida del sistema, las entradas (materias primas) y salidas (emisiones al aire, agua y suelo) en el proceso (ISO, 2004). Este impacto ambiental se refleja mediante los llamados Eco indicadores, que no son más que números que expresan valores de impactos totales de un proceso o producto (Mena, 2008, Machado, 2008). En cuanto mayor sea el número, mayor será el impacto ambiental. Los resultados de la investigación se obtienen con la aplicación del programa computarizado SIMAPRO7.3 y la metodología que se le aplica es Eco indicador 99 (Josa et al., 2007, Mora, 2012, Garcíandia, 2014).

El ACV estudia los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de la vida de un producto, a partir de la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, el uso y la disposición final. Las categorías generales de los impactos ambientales que necesitan ser consideradas incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas.

Fases del ACV:

1. Definición de la meta de alcance.
2. Análisis del inventario.
3. Evaluación del impacto.
4. Interpretación de los resultados.

2.1 Definición de los objetivos y alcance del estudio de ACV

El objetivo de esta herramienta es medir y comparar el impacto medioambiental que se produce en los bloques de hormigón cuando son producidos con árido natural o se le incorpora árido reciclado.

En esta etapa inicial el ACV tiene que definir, además, una unidad funcional, que no es más que el sistema o producto que vaya a ser analizado, para este caso son los bloques de hormigón de 10 y 15 cm.

2.2 Análisis del inventario de ACV

En la Tabla 2 se encuentra reflejado el inventario de entradas y salidas del sistema para un bloque, con las cuatro alternativas propuestas.

Tabla 2. Inventario de entradas y salidas del sistema para cada alternativa

<i>Entradas y Salidas del sistema o producto para cada alternativa</i>	<i>UM</i>	<i>Valor Numérico</i>			
		<i>Bloque de 10 cm</i>		<i>Bloque de 15 cm</i>	
		<i>AN</i>	<i>AR</i>	<i>AN</i>	<i>AR</i>
<i>Entradas de la Naturaleza</i>					
Agua	L	0,720	0,540	0,880	0,660
Arena lavada	kg	4,092	1,364	5,456	1,364
Granito	kg	7,125	3,5625	8,550	4,275
Polvo de piedra	kg	0,973	0,973	1,390	1,390
Grava	kg	-	6,390	-	8,520
Terreno Ocupado	m ² /año	0,040	0,040	0,060	0,060
Electricidad 220 V	kW/h	5,000	5,000	5,000	5,000
<i>Transporte áridos</i>					
Arena	km/kg	45,012	15,004	60,016	15,004
Granito	km/kg	548,625	0	658,35	0
Polvo	km/kg	74,921	0	107,03	0
Grava	km/kg	-	95,850	-	127,800
Transporte cemento	km/kg	90,350	108,550	111,800	143,000
Cemento	kg	1,390	1,670	1,720	2,200
Polvo	kg/m ³	0,0002	0,00015	0,00025	0,0002
Probetas	m ³	0,009	-	0,011	-

Se muestra que tanto el bloque de 10 cm como el de 15 cm en su composición producidos con AR, necesitan durante el proceso menos agua debido a que la tienen incorporada, por otra parte, se reduce el contenido de AN que se muestra como arena lavada, ya que se le incorporan otros componentes reciclados, como es el caso del granito, polvo de piedra y la grava. La dosificación de cemento aumenta para cumplir con los parámetros de resistencia.

En las alternativas con AR no se tiene en cuenta la transportación de los materiales (granito y polvo de piedra), ya que estos son obtenidos en el taller.

En esta etapa de análisis de inventario, el ACV debe contar con el diagrama de flujo sobre el proceso (ISO, 2004), tomando como base el sistema de producción de la unidad funcional que para este caso son los bloques fabricados con AN de 10 y 15 cm, agregando inmediatamente, los procesos adyacentes correspondientes, entre los que se encuentran: los procesos auxiliares, el transporte y el suministro de energía, como se observa en la Figura 1.

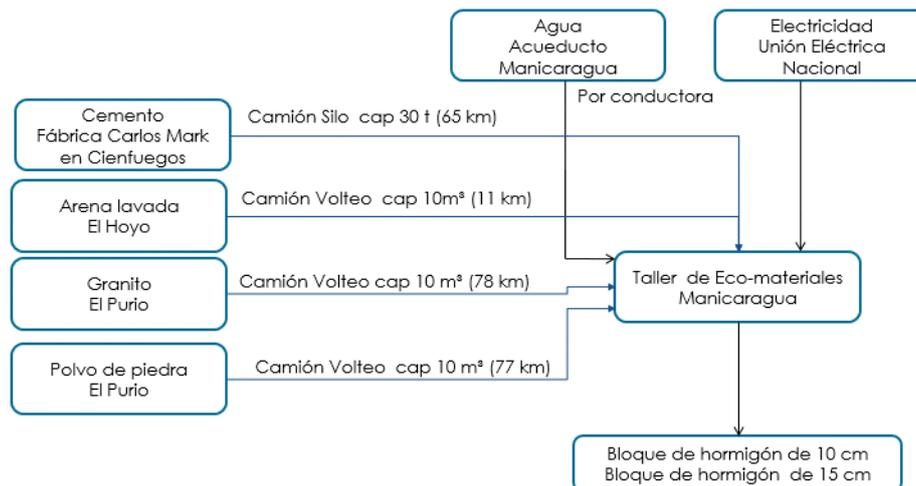


Figura 1. Diagrama de flujo sobre el proceso de producción de bloques de hormigón con árido natural

2.3 Evaluación de impacto

Este tercer elemento del ACV, tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales (Maldonado, 2011). La metodología Eco indicador 99 define el término medio ambiente, según tres tipos de daños, a la salud humana, al ecosistema y a los recursos (Maldonado, 2011).

- A la salud humana:

En esta categoría se incluye el número y la duración de las enfermedades, y los años de vidas perdidos debido a la muerte prematura por causas ambientales. Los efectos aquí incluidos son: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos y respiratorios y radiación ionizante.

- A la calidad del medio ambiente:

En esta categoría se incluye el efecto sobre la diversidad de especies y los organismos sencillos. Entre los efectos incluidos están: la ecotoxicidad, la acidificación, la eutrofización y el uso del suelo.

- A los recursos:

En esta categoría se incluye la necesidad extra de energía requerida en el futuro para extraer mineral de baja calidad y recursos fósiles. La disminución de los recursos brutos, como arena y gravilla se incluyen dentro del uso del suelo.

Los impactos ambientales medidos en el programa constan de once categorías de impactos y tres categorías de daños. Las categorías de impacto son: Carcinógenos, Respiración de Orgánicos, Respiración de Inorgánicos, Cambio Climático, Radiación, Capa de Ozono, Eco toxicidad, Acidificación/ Eutrofización, Uso del Suelo, Minerales y Combustibles Fósiles; y las categorías de daños son: Salud Humana, Calidad del Ecosistema y Recursos (Maldonado, 2011, Karapetrovic y Willborn, 1998).

Para la evaluación del impacto económico se utiliza la herramienta Análisis de Costos de Ciclo de Vida (CCV), que tiene en cuenta los costos de producción de los bloques con AN a partir de la ficha de costos elaborada en la entidad en un período de un año en la cual se reflejan los gastos directos e indirectos, a partir de esta información se elabora la ficha de costo del bloque con árido reciclado. Entre los gastos directos se encuentran

los salarios de los operarios, las materias primas y materiales, energía eléctrica y transporte y los indirectos están calculados de acuerdo a los coeficientes aprobados por la Resolución Conjunta 1/2005 del Ministerio de Finanzas y Precios y del Ministerio de Economía y Planificación (MEP, 2005).

El impacto social se determina a partir de los resultados del impacto ambiental ACV y económico CCV del proceso de producción de los bloques utilizando las dos alternativas estudiadas. Esto permite evaluar si existen beneficios para la sociedad al fabricar bloques con AR.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Impacto ambiental

Luego de la aplicación del análisis de ciclo de vida se obtienen los resultados que se muestran en la figura 2, donde se aprecia la comparación del bloque de 10 y de 15 cm, con AN respecto al AR expresado en por ciento.

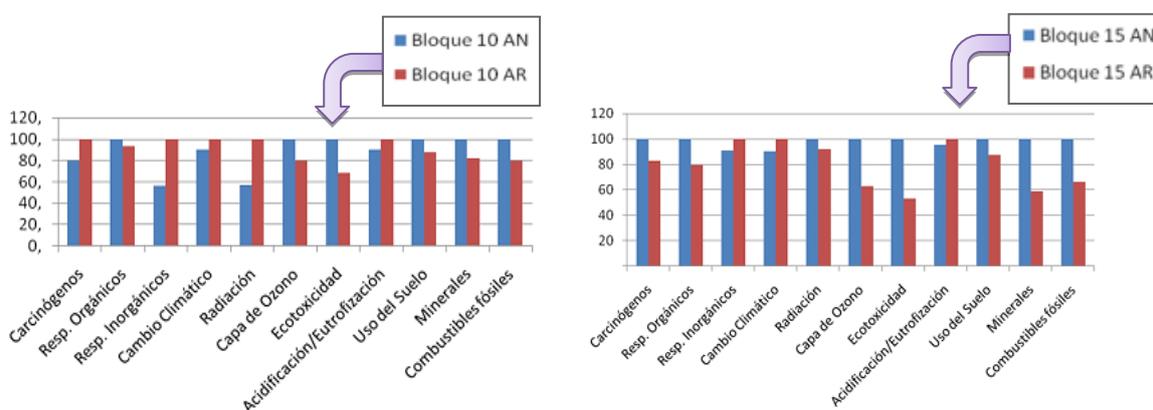


Figura 2. Impacto ambiental ACV (categorías de impacto)

Se observa la incidencia del impacto en cada una de las categorías. Los valores de los impactos totales de un proceso o producto reflejan que en cuanto mayor sea el número, mayor será el impacto ambiental. Se manifiesta que el bloque con AN afecta más al ecosistema en la respiración de orgánicos, la capa de ozono la ecotoxicidad, el uso del suelo, los minerales y los combustibles fósiles.

Con el bloque con AR los parámetros más afectados son respiración de inorgánicos, cambio climático, y acidificación/eutrofización; causado principalmente porque en el proceso de producción de los bloques con áridos reciclados, la dosificación de cemento se debe aumentar para lograr una resistencia mecánica adecuada.

La figura 3 representa la incidencia de las distintas series, sobre las categorías de daños. Se evidencia que el consumo del cemento es el que incide sobre las categorías más afectadas, siendo mayor en la salud humana, para el bloque de 10 y el de 15 cm, con AN y AR.

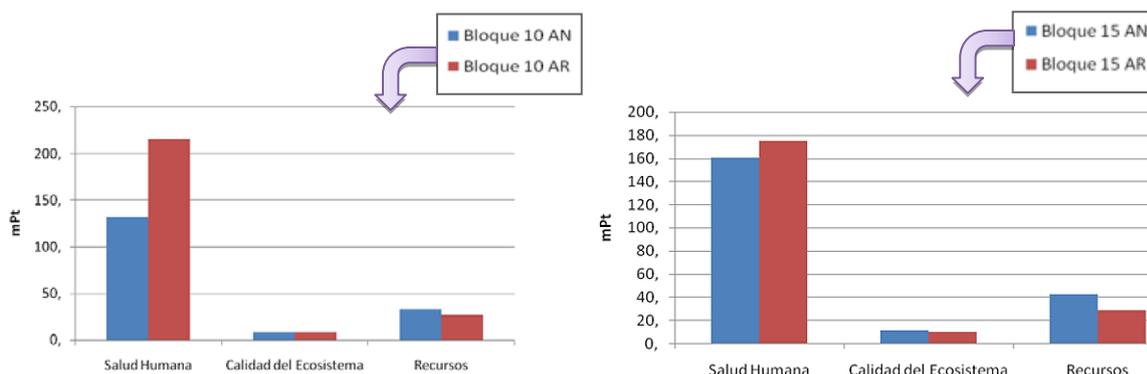


Figura 3. Impacto ambiental ACV (categorías de daños)

3.2 Impacto económico

El impacto económico está dado por los costos de producción de los bloques los cuales se muestran en la Tabla 3, donde se refleja que el gasto de salario y el gasto indirecto se mantienen igual para las alternativas por cada tipo de bloque con AN y AR. El gasto de material y transporte disminuye en las alternativas donde se tienen en cuenta los AR. Sin embargo, el gasto de energía manifiesta un aumento en las mismas alternativas mencionadas anteriormente, pues se consideran los equipos trituradores de residuos.

Tabla 3. Ficha de costo de los bloques

<i>Producto</i>	<i>UM</i>	<i>Gasto \$ de:</i>					
		<i>Salario</i>	<i>Material</i>	<i>Transporte</i>	<i>Energía</i>	<i>Indirecto</i>	<i>Total</i>
B 10 AN	U	0,1133	0,2855	0,1778	0,0321	0,1039	0,7126
B 10 AR	U	0,1133	0,2065	0,0234	0,0963	0,1039	0,5434
B 15 AN	U	0,1691	0,3522	0,2186	0,0215	0,1551	0,9165
B 15 AR	U	0,1691	0,2660	0,0296	0,0645	0,1551	0,6843

La figura 4 muestra la comparación de los costos de producción teniendo en cuenta los cuatro escenarios estudiados y el ahorro en la producción de los bloques.

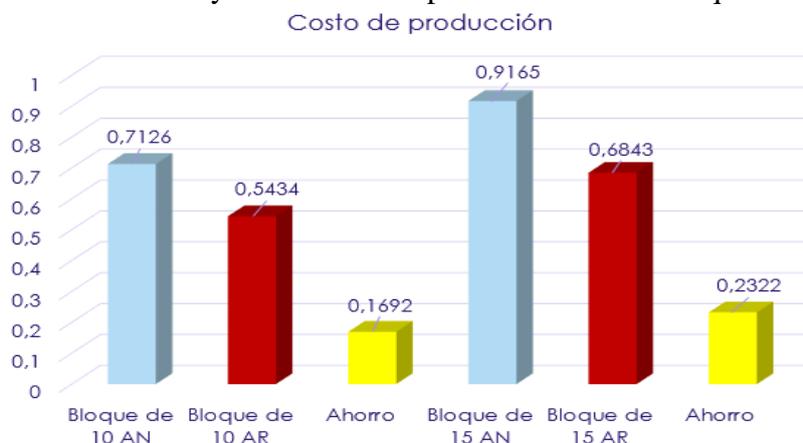


Figura 4. Comparación de costos de producción

Se evidencia que el costo del árido reciclado es menor que el costo del AN, tanto para el bloque de 10 cm como para el de 15 cm. Se refleja además el ahorro en la comparación entre los costos de producción de los bloques.

3.3 Impacto Social

Para este análisis se tiene en cuenta cómo impacta a la sociedad el proceso de producción de los bloques bajo los cuatro escenarios, a partir de la repercusión del impacto ambiental y económico.

El ACV ambiental permite llegar a conocer las categorías de daños que afectan la salud humana, las cuales son: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos, efectos respiratorios y radiación. Las cuales se ven mayormente afectadas por el cemento, por lo que el bloque con AR afecta más la salud humana que el bloque con AN, como se muestra en la figura 3.

El CCV nos permite estimar como impacta favorablemente en la sociedad la producción adicional de bloques con AR. Para ello se ha tomado en cuenta que el material común extraído de las canteras para la producción del bloque con AN y el bloque con AR es la arena lavada. La tabla muestra las dosificaciones que se utilizan en cada caso.

Tabla 4. Dosificación de arena lavada para la producción de los bloques

<i>Dosificación</i>	<i>Bloques</i>			
	10 AN	10 AR	15 AN	15 AR
Arena lavada	0,003 m ³	0,001 m ³	0,004 m ³	0,001 m ³

Como se aprecia en la tabla con la dosificación de arena lavada con la que se fabrica un bloque de 10 cm con árido natural se producen tres bloques de 10 cm con árido reciclado lo que se traduce en una producción adicional de 2 bloques.

De forma similar sucede con el bloque de 15 cm que con la cantidad de arena lavada que se fabrica un bloque con árido natural se producen cuatro bloques de 15 cm con árido reciclado resultando una producción adicional de tres bloques siendo mayor que la de los bloques de 10 cm .

4. CONCLUSIONES

Como resultado del análisis se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Existe una importante experiencia práctica en el Taller de Eco-materiales de Manicaragua con el uso de áridos reciclados en bloques de hormigón, con una producción diaria de 800 unidades, lo que permite evaluar la sustitución de los áridos naturales en condiciones productivas reales.
2. Los resultados del análisis de ciclo de vida aplicado a la producción de bloques de 10 y 15 cm con árido reciclado indica que estos tienen un mayor impacto ambiental debido a que tienen en su composición un 17 y 22 % respectivamente más de cemento que los fabricados con árido natural. Sin embargo, tienen un 66,7 y 75 % respectivamente menos impacto en la explotación de las canteras.

3. Con respecto al efecto económico, los bloques con árido reciclado son más económicos en \$ 0,16 para los de 10 cm y en \$ 0,23 para los de 15 cm debido a que disminuyen los costos de transportación y de materiales.
4. El impacto social con respecto a la salud humana indica que el bloque fabricado con árido reciclado tiende a influir negativamente en la salud, pues utiliza más cemento. No obstante, si se fabrican bloques con áridos reciclados se logra una producción adicional de dos unidades en el caso de los bloques 10 cm y tres en los bloques 15 cm utilizando la misma cantidad de áridos de las canteras.

REFERENCIAS

- Altamirano, P.U., Explotación y venta de áridos en la comuna de Puerto Montt., Tesis presentada para optar al grado de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile, 2011.
- Garciandia, M.R., Comparativa de Análisis de Ciclo de Vida de dos tipos de puente de carretera: puente de hormigón y puente metálico., Tesis presentada para optar al grado de Ingeniería de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, España, 2014.
- Gaspar, A.G., Estudio de factibilidad técnico-económico para la producción a pequeña escala de áridos reciclados., Tesis presentada para optar al grado de Licenciado en Economía, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2015.
- González-del Pino, L., Frómeta-Salas, Z.P. y Vidaud-Quintana, I.N., Plan estratégico para la gestión de los residuos de la empresa de prefabricado de Santiago de Cuba., Ciencia en su PC, Vol. 2, No. 4, 2017, pp. 12-13.
- ISO, 14004., Sistemas de gestión ambiental – Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo, Suiza, 2004, pp. 5-12.
- Josa, A., Aguado, A., Cardim, A. and Byars, E., Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU., Cement and Concrete Research, Vol. 37, No. 5, 2007, pp. 781-788.
- Karapetrovic, S. and Willborn, W., Integration of quality and environmental management systems., The TQM Magazine, Vol. 10, No. 3, 1998, pp. 204-213.
- Latorre, Á.M. and Tovar, M.H., Mining and its health and environmental impacts. The case of Potosí in Bogotá., Saúde em Debate, Vol. 41, No. 112, 2017, pp. 77-91.
- López-Sánchez, L.M., López-Sánchez, M.L. and Medina-Salazar, G., The prevention and mitigation of the risks of mining environmental liabilities (MEL) in Colombia: a methodological proposal., Entramado, Vol. 13, No. 1, 2017, pp. 78-91.
- Machado, E.T., Gestión de la ciencia y tecnología para el reciclado de los desechos sólidos en la construcción., Tesis presentada para optar al grado de Máster en Gerencia de la Ciencia y la Innovación Tecnológica, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba, 2008.
- Maldonado, A., Gestión de procesos (o gestión por procesos)., Enciclopedia y biblioteca virtual de las ciencias sociales, económicas y jurídicas, EUMED, 2011, pp. 1-20.
- Mena, H.M., Propuesta de NC de Uso de Cargadores y Máquinas de Transporte de Tierras y/o Rocas., Tesis presentada para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba, 2008.
- MEP., Resolución Conjunta No 1/2005., Habana, 2005, pp. 1-9.

- Miranda, E.C. y Pérez, G.R., El Desarrollo Sostenible en la actividad constructiva., Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, Vol. 5, No. 2, 2017, pp. 12-23.
- Mora, M.A., Metodología de evaluación ambiental y económica de proyectos petroquímicos mediante el análisis del ciclo de vida y modelo de Eco-Costos., Tesis presentada para optar al grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Química y Farmacia, Cuba, 2012.
- NC-251., Áridos para hormigones hidráulicos - Requisitos, Ciudad de La Habana, 2005, pp. 4-6.
- ONEI, Anuario Estadístico de Cuba 2015., Ciudad Habana, Oficina Nacional de Estadística e Información, 2016, pp. 253-254.
- Rivero, L.M., Evaluación de la eco-eficiencia del hormigón producido en la UEB-Prefabricados de Remedios a partir de la utilización del cemento de bajo carbono., Tesis presentada para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de la Villas, Cuba, 2016.
- Soler, Y., Reciclado de Materiales de Construcción., Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura, Vol. 1, No. 2, 2010, pp. 22-28.
- Trujillo, C.F., Estudio del impacto ambiental en la planta de prefabricado IMS de Santa Clara mediante el análisis de ciclo de vida., Tesis presentada para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba, 2015.