**Simposio Internacional “Hábitat y Desarrollo Comunitario Sostenibles”. 2021**

**Evaluación del comportamiento ambiental y la ecoeficiencia de bloques huecos de hormigón producidos con cemento bajo carbono (LC3) y poliestireno expandido (EPS)**

***Title***

(Traducción exacta al inglés del título y mismo formato que el anterior agregando la cursiva).

(A partir de aquí todo estará justificado, tamaño de letra Times New Roman, 1.5 de interlineado y 12 puntos.).

**MSc. Arq. Meylin Amador Hernández1, Dra.C. Elena R. Rosa Domínguez2…**

1Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales, CIDEM. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Carretera a Camajuaní km 51/2, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

meylina@uclv.cu

2 Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Carretera a Camajuaní km 51/2, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

[erosa@uclv.edu.cu](mailto:erosa@uclv.edu.cu)

**Resumen:**

La investigación realiza la evaluación de la eco-eficiencia del uso de diferentes tipos de cemento en la producción de bloques de hormigón a partir de indicadores de valor (consumo de producción de cada tipo de bloque) e indicadores ambientales (cambio climático, material particulado, acidificación terrestre, agotamiento de recursos fósiles y el consumo de agua). Se utiliza la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV) mediante el uso del programa SIMAPRO 8.5. La unidad funcional evaluada fue un bloque 10cm fabricado a base de Cemento de Bajo Carbono (LC3), Cemento Portland 350 (P-35), y la combinación de poliestireno expandido (EPS) con Cemento Portland 350 (P-35).

Los indicadores de ecoeficiencia fueron obtenidos de acuerdo a la norma ISO 14045. La novedad principal radica en la evaluación de eco-eficiencia del uso de diferentes tipos de cemento y el poliestireno expandido en la elaboración de bloques de hormigón para la construcción de viviendas. El procedimiento empleado posee un carácter flexible que permite su adaptabilidad y generalización a otros diseños de tecnologías constructivas. La investigación tiene una articulación de diferentes herramientas analíticas y metodológicas para obtener indicadores de eco-eficiencia y comportamiento ambiental de muros de bloques de hormigón producidos con cemento bajo carbono y poliestireno expandido (EPS). Los resultados obtenidos demostraron una mejora de la ecoeficiencia de los indicadores evaluados, demostrándose que el uso del poliestireno expandido en sustitución de áridos para la producción de bloques de hormigón disminuye considerablemente los impactos ambientales y aumenta la eficiencia del uso del mismo en la construcción

***Abstract:*** The research aims to carry out the evaluation of the eco-efficiency of the use of different types of cement in the production of concrete blocks based on value indicators (production consumption of each type of block) and environmental indicators (climate change, particulate matter, terrestrial acidification, depletion of fossil resources and water consumption). The Life Cycle Analysis (LCA) tool is used by using the SIMAPRO 8.5 program. The functional unit evaluated was a 10cm block made of Low Carbon Cement (LC3), Portland Cement 350 (P-35), and the combination of expanded polystyrene (EPS) with Portland Cement 350 (P-35).

The eco-efficiency indicators were obtained according to the ISO 14045 standard. The main novelty lies in the evaluation of eco-efficiency of the use of different types of cement and expanded polystyrene in the elaboration of concrete blocks for the construction of houses. The procedure used has a flexible character that allows its adaptability and generalization to other designs of construction technologies. The research has an articulation of different analytical and methodological tools to obtain indicators of eco-efficiency and environmental behavior of concrete block walls produced with low carbon cement and expanded polystyrene. The results obtained demonstrated an improvement in the eco-efficiency of the evaluated indicators, showing that the use of expanded polystyrene as a substitute for aggregates for the production of concrete blocks considerably reduces environmental impacts and increases the efficiency of its use in construction.

**Palabras Clave:** Hormigón; Bloques; Cemento LC3; Atmósfera; Poliestireno Expandido.

***Keywords:*** *Concrete; Blocks; LC3 Cement; Atmosphere; Expanded Polystyrene*

**1. Introducción**

La Unión Europea se ha fijado actualmente el objetivo de reducir los gases de efecto invernadero en al menos un 55 por ciento por debajo del nivel de 1990 para 2030 y ser climáticamente neutral para 2050. Un enfoque para esto es la promoción de tecnologías que pueden hacer una contribución significativa a la rápida evolución mundial. reducción de las emisiones de CO2.

Para la implementación de los objetivos, la Unión Europea proporciona fondos por un volumen de varios miles de millones de euros, también para apoyar la cooperación al desarrollo con los países en desarrollo y emergentes en sus medidas de protección climática.

Visto globalmente, la industria de la construcción es responsable de aproximadamente la mitad de las emisiones de CO2. La industria del cemento por sí sola representa hasta un ocho por ciento (BauNetz, 2021)

El objetivo de este estudio es identificar y evaluar los impactos más significativos de un bloque de hormigón producido con diferentes tipos de materias primas para el cálculo de indicadores de ecoeficiencia para su comparación.

La investigación lleva a cabo un análisis de ecoeficiencia de bloques de hormigón utilizando dos tecnologías innovadoras que, combinadas, pueden hacer una contribución significativa a la reducción de CO2:

El cemento innovador LC3-50, un desarrollo basado en la investigación en Cuba y desarrollado para la preparación del mercado en cooperación científica con las universidades ETHL / Suiza e India, y la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

El innovador hormigón ligero de la empresa ercolith se basa en investigaciones y desarrollos en Alemania.

Ambas tecnologías juntas tienen el potencial de reducir las emisiones de CO2 de los productos hechos de hormigón infrarrojo con LC-50 hasta en un 10% en comparación con los productos hechos de hormigón normal (densidad bruta de 2.200 kg / m³ a 2.400 kg / m²).

Para la evaluación ambiental de los bloques de hormigón se estudiaron tres escenarios: en un primer escenario se evaluó el bloque elaborado con cemento Portland P-35, en el segundo escenario se utilizó cemento LC3-50 y cemento P-35 en la producción del bloque y en un tercer escenario, el bloque se fabricó con cemento P-35 y polietileno expandido como agregado (tecnología ercolith) (Stark, Sbrzesny y Finger, 2005).

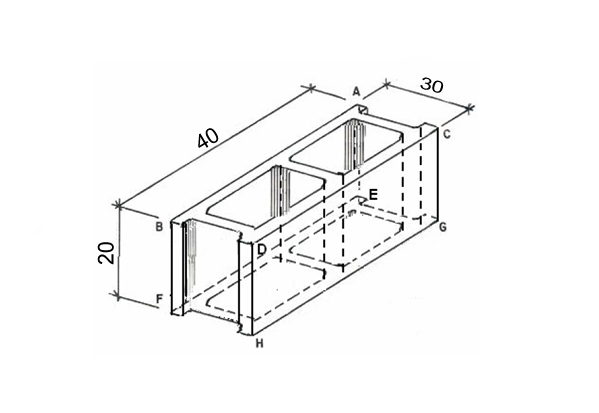
**2. Metodología**

El estudio de los bloques se realizó a nivel de laboratorio, para lo cual se trabajó en los laboratorios experimentales de la facultad de construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de la Villas, en la provincia de Santa Clara. En los laboratorios se realizó la caracterización de las materias primas empleadas en el estudio. El procedimiento de fabricación de los bloques se basa en la (NC247, 2010). “Bloques huecos de hormigón. Especificaciones.”

Para la producción se selecciona una dimensión uniforme de los bloques. El ancho del bloque empleado no es el empleado usualmente en la construcción de muros de bloques, pero esto se hizo con la intensión de ajustar la tecnología al sistema ercolith para la producción de muros de bloques con esta tecnología. En la producción de los bloques se emplean las diferentes materias primas planteadas para el estudio, se emplea el cemento portland P-35 como material de referencia.

**Tabla 1:** Dimensiones y cantidad de bloques por m2 de pared.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Producto*** | ***Medidas modulares*** | ***Peso kg unid.*** | ***Unid. m2*** |
| ***Bloque P-35*** | 30 x 20 x 40 | 57.5 | 12.5 |
| ***Bloque LC3-50*** | 52.8 | 12.5 |
| ***Bloque ercolith*** | 7.27 | 12.5 |



***Figura 1:*** *Planos teóricos de las aristas del bloque.*

***Fuente****: Elaboración propia*

En el proceso de producción de los bloques se llevaron a cabo las siguientes etapas:

* Selección y almacenamiento de materiales
* Dosificación de las mezclas
* Medición de los materiales componentes de la mezcla
* Elaboración de la mezcla
* Elaboración de los bloques
* Manejo de los bloques
* Fraguado y almacenamiento de los bloques
* Curado de los bloques

### ***Dosificación y medición de los materiales componentes de la mezcla para la producción de bloques de hormigón utilizando cemento LC3***

Según los datos brindados por la investigación de ([Pernús, 2019](#_ENREF_4)) el diseño de las mezclas de hormigón para bloques que se usó en el caso de la serie fabricada con bloques de P-35 es la se utiliza normalmente en los talleres de producción de materiales y que se encuentra certificada por la ENIA UIC: Cienfuegos. Para la segunda serie se utilizó la misma dosificación, pero sustituyendo el cemento Portland P-35 por un 50% de cemento LC3. A continuación, se muestran las dosificaciones utilizadas para la producción de los bloques.

Tabla 2: Cemento, arena del Canal y granito de Santiago Ramírez (10-5 mm)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ancho  (mm) | Tipo | Cemento (kg) | Arena  (kg) | Granito (5-10)  (kg) | Agua  (l) |
| 300 | Gravimétrica | 537.5 | 2280.7 | 3150 | 447.7 |
| Volumétrica (bloques P-35) | 1.25 | 3.75 | 5 | 1 |
| Volumétrica (bloques LC3-50) | 1.25 | 3.75 | 5 | 1.3 |

Fuente: La utilización de cementos LC3 en la producción local de materiales de construcción en Cienfuegos,([Pernús, 2019](#_ENREF_4))

### ***Dosificación y medición de los materiales componentes de la mezcla para la producción de bloques de hormigón aligerados con cemento portland y EPS***

Según datos brindados por Ercolith el concreto empleado se obtiene mezclando cemento, perlitas de poliestireno expandido (EPS), aditivo químico y agua. Este tipo de concreto se diferencia de otros concretos livianos por las propiedades que le aportan las partículas de EPS. Para la producción de bloques se emplean perlitas de poliestireno producidas de forma industrial y se aprovechan además las provocadas por el desperdicio del material en obras.

La característica más importante que brinda el concreto Liviano con perlitas de poliestireno es su baja densidad comparada con el concreto convencional, resistencia, ventajas y desventajas de su uso en la construcción. Para este estudio se utilizó como referencia la densidad media de 400 kg/m3 establecida para hormigones con EPS por la empresa ercolith ([Stark, Sbrzesny, & Finger, 2005](#_ENREF_5)). Los valores se deben a la ligereza que posee el material y la elevada resistencia a la compresión por el efecto bóveda de la piedra cementícia que recubre las perlitas junto con las propiedades que presenta la matriz del hormigón. A partir de estos datos se obtuvo el peso en kg que tendrían los bloques ercolith.

En la tabla 3 se muestra la dosificación del material a emplear en la producción de bloques livianos con EPS de ercolith.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla 3: Dosificación de materiales para la producción de bloques ercolith | | | | | | | | | |
| Tipo | Cement (kg) | EPS (kg) | ercoFlex (kg) | ercopor (kg) | PP-fibers (kg) | Water (Liter) | Forming oil (kg) | ercolith ILC (kg) | Masa total (kg) | |
| Volumétrica (bloques ercolith) | 4.22 | 0.22 | 0.029 | 0.007 | 0.014 | 2.26 | 0.006 | 0.50 | 7.2 | |
| Fuente: elaboración propia a partir de datos brindados por productores de ercolith | | | | | | | | | |

**3. Resultados y discusión**

***Evaluación de impactos ambientales y ecoeficiencia en bloques de hormigón producidos con diferentes tipos de cemento y el uso de EPS***

El sistema analizado se define como la fabricación de un bloque hecho de hormigón para cada uno de los diferentes cementos. En tal sentido se utilizan como referencias la Norma ([ISO14045, 2012](#_ENREF_2)). Gestión medioambiental: Evaluación de eco-eficiencia de un sistema productivo. Principios, requerimientos y directrices; así como toda la serie de Normas ([ISO14040, 2009](#_ENREF_1); [NC-ISO-14044, 2009](#_ENREF_3)) relacionadas con el Análisis de Ciclo de Vida de productos-sistema.

La evaluación del impacto ambiental se realiza por la metodología Recipe mediante el uso del software SimaPro 8.5.0, esta se emplea para los bloques huecos de hormigón fabricados con cemento LC3-50 y en bloques aligerados con fabricados con cemento Portland 350 y EPS en sustitución del árido (bloques ercolith), lo que permite considerar el impacto que producen las entradas y salidas del inventario a las categorías de impacto. Mediante esta forma se logra fijar el perfil ambiental de la producción de bloques huecos de hormigón elaborados con cemento Portland 350 (P-35) como caso base y la comparación con las otras dos alternativas de producción: empleando otro tipo de cemento y el poliestireno expandido en sustitución del árido.

Los bloques huecos de hormigón producidos con cemento P-35, LC3-50 y P-35 y EPS (bloques ercolith) se evalúan según el impacto ambiental o huella de carbono que generan cada uno, concebido como una categoría intermedia de la metodología Recipe. Los resultados se muestran en la tabla 4, en la cual se destaca que los bloques ercolith poseen el menor impacto ambiental.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Tabla 4****: Comparación relativa de perfiles ambientales expresadas en porcentaje (Recipe punto medio)* | | | |
| **Categoría de impacto** | **Bloque P-35** | **Bloque LC3-50** | **Bloque ercolith** |
| Huella de Carbono | **2.45** | **1.62** | **1.42** |
|  | | | |

En la grafica 1 podemos apreciar que si combinamos las materias primas de los bloques con menores emisiones ambientales podemos obtener un material más eficiente. En esta tabla se relaciona además el resultado que se espera si se emplea BASF como materia prima para la producción de los bloques ercolith. El grupo BASF genera nuevo material EPS con el que reduce las emisiones atmosféricas en un 75%. Si decidimos utilizar BASF para la producción de tecnología Ercolith, podremos tener una reducción de aproximadamente un 20% de las emisiones de CO2 a la atmósfera durante el proceso de construcción.

Grafica 1: Comparación de la huella de carbono expresada en porcientos (Recipe punto medio).

En la gráfica 2 se aprecia la comparación de los perfiles ambientales de los bloques huecos de hormigón producidos con tres tipos de cemento (P-35, LC3-50 y P-35 con EPS) donde se puede observar que estos tienen diferente comportamiento ambiental. La huella de carbono varía los valores de uno a otro significativamente debido a las materias primas de producción.

**Gráfica 2:** Comparación de perfiles ambientales de los bloques de hormigón expresados en porciento (Recipe punto medio).

En la Acción al Cambio Climático los bloques producidos con cemento P-35 y EPS presentan un mejor comportamiento ambiental. El comportamiento de dichos bloques ante esta categoría de impacto satisface las expectativas al gozar de un bajo perfil ambiental, aun así, es preciso señalar, que dichos valores se elevan ante la utilización de cemento P-35 en su elaboración, debido a que este emite importantes sumas de CO2 a la atmósfera que pueden llegar a duplicar la cantidad de este gas que emana. Estas emisiones de CO2 pueden llegar a disminuirse con la utilización de cemento LC3.

En la gráfica 3 se relaciona lo que representaría el uso del cemento LC3-50 y EPS en la producción de bloques ercolith. Aquí se puede apreciar una considerable disminución del impacto ambiental teniéndose en cuenta que se relacionan dos tipos de materiales que poseen un impacto ambiental muy inferior al de los bloques producidos con materias primas tradicionales.

**Gráfica 3:** Comparación de perfiles ambientales de los bloques de hormigón expresados en porciento (Recipe punto medio)

En la gráfica 4 se aprecia la comparación de los perfiles ambientales de los bloques huecos de hormigón anteriores incorporándole el posible uso de BASF para la producción de un nuevo bloque en el futuro. La huella de carbono tiene una disminución significativa cuando se considera emplear material BASF para la producción de bloques ercolith dado a la disminución del impacto ambiental que posee este nuevo material.

**Gráfica 4:** Comparación de perfiles ambientales de los bloques de hormigón expresados en porciento (Recipe punto medio).

**Fuente:** Elaboración propia

El uso de cemento P-35 para la producción de bloques huecos de hormigón ha demostrado que causa un mayor daño a la salud humana y al ecosistema debido al proceso de producción de este cemento. El incorporar la utilización de nuevos tipos de materias primas (cemento LC3-50, EPS, tecnología BASF) en la fabricación de materiales para la construcción en la cadena productiva de residencias podría significar un notable aporte a la sustentabilidad de una obra arquitectónica.

**4. Conclusiones**

1. El poliestireno expandido se muestra como una gran alternativa para la sustitución parcial o total de los áridos en el futuro de la construcción, tanto en nuestro país como a nivel mundial.

2. La alternativa de cemento ternario LC3 constituye un material suplementario de gran fuerza para sustituir al convencional cemento P-35 en el futuro de la construcción debido a los beneficios y ventajas que este trae para la industria y el medio ambiente

3. En cuanto a los impactos ambientales de estos bloques también se presenta el bloque de P-35 y poliestireno expandido como el menos dañino al medio ambiente comparando también las en las variantes anteriormente planteadas, pudiéndose mejorar sustancialmente con la utilización del LC3 en sustitución del P-35 el cual emite gran cantidad de CO2 a la atmósfera por lo que es mucho más dañino.

4. Realizando un cambio de cemento en los tradicionales bloques de hormigón a LC3 se lograría un gran impacto ambiental en toda la población debido al considerable menor costo de este cemento en comparación con el P-35 y la posibilidad de satisfacer la demanda habitacional con la que se cuenta en muchos países.

**5. Referencias bibliográficas**

BauNetz. (2021). HORMIGÓN. SOBRE EL FUTURO DE UN MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. *Baunetzwoche, 575*.

ISO14040. (2009). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework *ISO/TC 207/SC 5 Life cycle assessment* (Vol. 2, pp. 20).

ISO14045. (2012). Environmental management — Eco-efficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines.

NC247. (2010). Bloques huecos de hormigón.Espesificaciones.

NC-ISO-14044. (2009). Requisitos del ciclo de vida.

Pernús, M. C. (2019). *La utilización de cementos LC3 en la producción local de materiales de construcción en Cienfuegos.* Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara.

Stark, J., Sbrzesny, P., & Finger, F. A. (2005). ercolith-an innovative light-weight constrution material. *Bauhaus-Universitat Weimar*. doi: 10.13140/RG.2.2.18547.86566

ISO14040. (2009). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework *ISO/TC 207/SC 5 Life cycle assessment* (Vol. 2, pp. 20).

ISO14045. (2012). Environmental management — Eco-efficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines.

NC-ISO-14044. (2009). Requisitos del ciclo de vida.

Pernús, M. C. (2019). *La utilización de cementos LC3 en la producción local de materiales de construcción en Cienfuegos.* Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara.

Stark, J., Sbrzesny, P., & Finger, F. A. (2005). ercolith-an innovative light-weight constrution material. *Bauhaus-Universitat Weimar*. doi: 10.13140/RG.2.2.18547.86566