

POTENCIALIDADES DE LOS RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN

POTENTIAL OF EXPANDED POLYSTYRENE WASTE FOR THE ELABORATION OF HOLLOW CONCRETE BLOCKS

Marissa Esthefanía Macías Alcivar^{1*}

¹ Maestría de Ingeniería Civil Mención Construcción de Vivienda Social, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí. ORCID: <https://orcid.org/0001-8953-5797> Correo: marissa-macias@hotmail.com

César Mauricio Jarre Castro²

² Maestría de Ingeniería Civil Mención Construcción de Vivienda Social, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí.

* Autor para correspondencia: marissa-macias@hotmail.com

Resumen

En la presente investigación se expondrán las potencialidades de los residuos de Poliestireno Expandido para la elaboración de bloques huecos de hormigón a partir del reciclaje de embalajes de equipos electrónicos, como agregado del árido fino proveniente de la cantera Uruzca, ubicada en km 11½ autovía Portoviejo-Manta, Manabí, respondiendo a la necesidad de desarrollar materiales de construcción alternativos y mitigar el impacto ambiental. Se evaluarán dos combinaciones de árido fino del residuo y natural, se determinará emplear un 25% del residuo Poliestireno Expandido como sustituto del polvo de piedra en el que alcanzará una resistencia de 3.74 MPa. Basándose en el método de Vitervo O'Reilly, se realizará una dosificación para bloques huecos de hormigón. Las características de los áridos empleados para la fabricación de la mezcla son obtenidas a partir de ensayos que se efectuarán en los laboratorios de suelos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, donde se realizará el ensayo de resistencia a compresión de los bloques huecos de hormigón. Para cumplir el objetivo de la investigación se utilizan métodos teóricos, empíricos y estadísticos matemáticos.

Palabras clave: bloques; construcción; hormigón.

Abstract

In the present investigation, the potential of Expanded Polystyrene waste will be exposed for the elaboration of hollow concrete blocks from the recycling of electronic equipment packaging, as an aggregate of fine aggregate from the Uruzca quarry, located at km 11½ highway Portoviejo- Manta, Manabí, responding to the need to develop alternative construction materials and mitigate environmental impact. Two combinations of fine aggregate from the residue and natural will be evaluated, it will be determined to use 25% of the Expanded Polystyrene residue as a substitute for stone dust in which it will reach a resistance of 3.74 MPa. Based on the Vitervo O'Reilly method, a dosage for hollow concrete blocks will be carried out. The characteristics of the aggregates used for the manufacture of the mixture are obtained from tests that will be carried out in the soil laboratories of the Civil Engineering career of the South Manabí State University, where the compressive strength test will be carried out. Of hollow concrete blocks. To fulfill the objective of the research, theoretical, empirical and mathematical statistical methods are used.

Keywords: blocks; building; concrete.

Fecha de recibido: 20/06/2022

Fecha de aceptado: 12/08/2022

Fecha de publicado: 13/08/2022

Introducción

Según Urquijo (2021) la gestión de los residuos sólidos en el mundo se ha convertido en una necesidad, para dar cumplimiento a las normas ambientales, teniendo en cuenta, que el aumento de la población mundial es directamente proporcional al consumo de materias primas usadas en la fabricación de bienes y servicios, los cuales, garantizaran bienestar a las personas, por lo tanto, la adecuada gestión de los residuos está definida como un conjunto de actividades dirigidas a prevenir, reducir, aprovechar y disponerlos adecuadamente en los sitios aptos para tal fin.

El reciclaje de materiales y materias primas hoy día es una idea atractiva desde cualquier punto de vista. Por el lado ambiental, no solo permite dar nuevo uso a los residuos de poliestireno expandido (conocido por sus siglas EPS en Ingles) que en un principio ya habrían brindado la función por la cual fueron manufacturados, sino también disminuir el volumen de vertido de desecho sólidos en zonas urbanas y suburbanas. Económicamente, reduce el costo de la elaboración de nuevos productos y la industria de la construcción tendería a disminuir el abastecimiento de materias primas introduciendo estos residuos de EPS como parte de su producción (Córdova, 2021).

En la actualidad el poliestireno expandido es un producto que empleamos o consumimos en envases para alimentos, piezas de embalajes, indumentaria deportiva, como aislante térmico y acústico en edificaciones de obra civil; en fachadas, cubiertas, suelo, así como en disimiles usos, que una vez cumplido sus propósitos son desechados.

En oposición a la idea de considerarlos como contaminantes por no ser biodegradables, pueden constituirse como una viable posibilidad para minimizar el impacto económico dada su versatilidad y funcionalidad al presentar propiedades como su higiene, al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos, resistencia a la humedad, capacidad de absorción de los impactos, resistencia al envejecimiento, resistencia mecánica, resistencia química, fácil limpieza y mantenimiento, facilidad de manipulación e instalación, ligeros y con una gran vida útil por ser altamente reutilizables y reciclables.

El crecimiento de la población que tiende a desarrollarse inminentemente trae consigo mayor necesidad de usar el EPS que, si bien contribuyen al desarrollo, además son generadores de residuos durante el período de explotación, este incremento constituye un problema que afecta el medio ambiente. Respecto a estos temas ambientalistas han surgido campañas publicitarias que han buscado y en muchos casos han concientizado a la humanidad con la necesidad del reciclaje, una de ellas se corresponde con la lanzada por la organización ecologista Greenpeace fundada en 1971 en Vancouver, Canadá, la cual promovió la llamada “Teoría de las 3R” que se corresponden con las iniciales de Reducir, Reutilizar, Reciclar, la cual plantea estrategias para el manejo de residuos al buscar la sustentabilidad con el medio ambiente y específicamente dar prioridad a la reducción en el volumen de residuos generados.

Pero en los últimos años los ecologistas adoptan una nueva “R” Recuperar; los procesos que se han integrado en la estrategia de la sociedad en general, de la industria y el comercio en particular, como parte de un plan más amplio que tiene como fin el respeto medioambiental. En la actualidad los ambientalistas están trabajando en una quinta “R” que se ha nombrado de diferentes formas; Rechazar, Regular y Repensar, esta última es planteada como la 5R de la ecología.

- **Reducir:** Consiste en evitar la compra de productos que realmente no son necesarios y que además llevan consigo elementos que en muy poco tiempo van a ser basura como por ejemplo productos con un exceso de embalaje.
- **Reutilizar:** Implica dar un segundo uso a aquellos productos que ya no te sirven para la tarea que lo adquiriste o bien repararlos para que puedan seguir cumpliendo con su función. Hay que intentar sacar el máximo provecho a las cosas que tenemos y cuando definitivamente no las podamos usar, regalarlas a alguien que si las pueda dar un uso.
- **Reciclar:** Significa hacer una selección de los residuos generados por nosotros mismos. Luego son tratados en plantas especializadas creando productos para otros usos o iguales de menor calidad. También, se evita el uso descontrolado de recursos naturales, se ahorra energía y se reducen el volumen de residuos. La mayoría de los materiales de los que están hechos los productos que utilizamos en el hogar son reciclables. Una vez que lo hayamos usado, deberíamos devolverlos al ciclo productivo para que, después de un tratamiento, puedan incorporarse de nuevo al mercado, reduciéndose así el consumo de materias primas y de energía.
- **Recuperar:** Se relaciona con los procesos industriales y consiste en recuperar materiales o elementos que sirvan como materia prima. Se basa en la utilización del residuo generado en otro proceso distinto del que lo ha producido, este se podrá introducir en el nuevo proceso directamente o mediante algún

tratamiento previo. Por ejemplo: los plásticos de pueden recuperar mediante el proceso de calentamiento o los materiales utilizados en la fabricación de latas.

- **Repensar:** Significa pensar acerca de cómo utilizar productos de uso diario y encontrar la manera de que usted pueda conservar los recursos, cambiando la forma en que utiliza estos productos. Es decir, descubrir formas para reducir, reutilizar, reciclar y recuperar los productos. Constituyendo esta como la fundamental ya que se pretende inducir desde la conciencia la táctica de pensamiento hacia el medio ambiente.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario identificar los problemas originados directos e indirectamente que influyen en nuestro territorio al no utilizarse residuos de EPS que genera la población, como materia prima en la construcción de bloques huecos de hormigón.

En nuestro país se realizan investigaciones concernientes al empleo del EPS como material de construcción, por ejemplo, estudios realizados en la Universidad Laica Vicente Roca Fuerte de Guayaquil; se realizó el estudio titulado Prototipo de pared a base de kevlar, fibras de carbono, fibra de vidrio y rellena de bloques EPS para viviendas socioeconómicas en Guayaquil, como tesis de grado en la que se concluye que Los bloques EPS tiene agentes con aislación térmica, lo cual ayudaría a la disminución de la contaminación del medio ambiente por medio de la mitigación del uso del aire acondicionado.

Se establecen como objetivos, determinar los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la utilización de residuos de EPS en la construcción de bloques huecos de hormigón; evaluar las principales propiedades físicos-mecánicas de bloques huecos de hormigón empleando adiciones con residuos de EPS., y elaborar una propuesta de dosificaciones para bloques huecos de hormigón empleando adiciones con residuos de EPS.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron métodos de la investigación científica, tales como:

Métodos teóricos:

- **Histórico-lógico:** Para realizar el análisis histórico de fabricación de bloques huecos de hormigón con residuos de poliestireno.
- **Análisis-síntesis:** Permite llegar a síntesis científicas a partir de un proceso de caracterización teórica y empírica del objeto y del campo de la investigación sustentado en el análisis de su historia, la sistematización de los fundamentos teóricos y metodológicos que lo sustentan y la información derivada del proceso de valoración de la aplicación de la propuesta.
- **Hipotético-deductivo:** En la elaboración de la hipótesis de la investigación.

Métodos empíricos:

- **Revisión de documentos:** Para la caracterización histórica-teórica-metodológica y empírica del objeto y el campo de la investigación.

- **Experimental:** Resultó una ventaja para la validación en la práctica de la propuesta aportada por la investigación y para la constatación de la hipótesis.

Métodos estadísticos – matemáticos

El método descriptivo resulta de gran utilidad para presentar los resultados obtenidos en el proceso de caracterización empírica del objeto y el campo de la investigación.

Aporte de esta investigación

La presente propuesta de dosificación para la elaboración de bloques huecos de hormigón con residuos de EPS aporta a la ciencia con el empleo de residuos de poliestireno expandido como materia prima para la fabricación de bloques que sean capaces de reportar beneficios económicos, medioambientales y sociales.

Esta investigación presenta actualidad por la pertinencia del tema para las empresas constructoras, por la necesidad de disminuir el consumo de áridos en la construcción de bloques, de cuidar el entorno y el uso racional de los recursos naturales, al promover la intensificación del reciclaje de residuos EPS.

Materiales

En la presente investigación se muestran los resultados del trabajo esencialmente con los siguientes materiales:

- Poliestireno
- Bloques huecos de hormigón
- Cemento
- Arena
- Grava
- Polvo de piedra

Resultados y discusión

Poliestireno expandido (EPS)

El poliestireno expandido es de origen artificial, ya que, al no encontrarse poliestireno expansible en la naturaleza, debemos recurrir a procesos de sintetización a fin de producirlo. Por la composición el poliestireno expandido forma parte del grupo de los estirenos. Este producto es reciclable al 100% contribuye a un uso eficiente de los recursos naturales y de la energía. Para Identificar el EPS se emplean dos métodos, el primero resulta solo de observar su forma y textura muy propia del material, el segundo método refiere al logotipo que caracteriza no solo al EPS sino a todo aquel producto polimérico en general.

El EPS, consiste en 95% de poliestireno (la base del poliestireno es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno) y 5% de un gas (generalmente hidrocarburo pentano C₅H₁₂) que forma burbujas que reducen la densidad del material. Se moldea mediante un proceso de calor o energía térmica, inflando y soldando perlas entre sí, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen. Así se obtienen las espumas rígidas o bloques. De esta forma, se fabrican envases, piezas de embalaje, planchas para la construcción y otros.

El EPS tiene muchas propiedades, dentro de las cuales solo mencionaremos algunas relativas a su empleo en la construcción como pueden ser:

- **Densidad:** Los productos y artículos acabados con EPS se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros, aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m³ hasta los 35 kg/m³.
- **Resistencia mecánica:** La resistencia a los esfuerzos mecánicos de los productos de EPS se evalúan generalmente a través de pruebas de resistencia a la compresión para una deformación del 10 por ciento, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante y fluencia a compresión.
- **Aislamiento térmico:** Los productos y materiales de EPS presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el poliestireno. Aproximadamente un 98 por ciento del volumen del material es aire y únicamente un 2 por ciento de materias sólidas (poliestireno). De todos es conocido que el aire en reposo es un excelente aislante térmico.
- **Comportamiento frente al agua:** El poliestireno expandido no es higroscópico. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1 por ciento y el 3 por ciento en volumen (ensayo por inmersión después de 28 días).
- **Estabilidad dimensional:** Los productos de EPS, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa entre 0,05 y 0,07 mm por metro de longitud y grado centígrado.
- **Estabilidad frente a la temperatura:** El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción). Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.
- **Comportamiento frente a factores atmosféricos:** La radiación ultravioleta es prácticamente la única que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS amarillea y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla alrededor de 100 años. Debido a que estos efectos sólo se muestran tras la exposición prolongada a la radiación UV, en el caso de las aplicaciones de envase y embalaje no es objeto de consideración.
- **Propiedades químicas:** El EPS es estable frente a muchos productos químicos. Si se utilizan adhesivos, pinturas disolventes y vapores concentrados de estos productos, hay que esperar un ataque de estas sustancias. El EPS no es estable frente a: ácidos concentrados (sin agua) al 100 por ciento, disolventes orgánicos (acetona, ésteres.), hidrocarburos alifáticos saturados, aceite de diésel y carburantes (Ruiz & Godínez, 2022).

Tabla 1. Resistencia del EPS a diferentes productos químicos.

Agente	Resistencia
Soluciones salinas (Agua de mar)	R
Jabones y soluciones humectantes	R
Lejías, hipoclorito, agua colorada, soluciones de peróxido de hidrogeno	R
Ácidos diluidos	R
Ácido clorhídrico al 35%, ácido nítrico al 50%	R
Ácidos anhídridos, ácido fórmico al 100%	NR
Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, agua amoniacal	R
Disolventes orgánicos (acetona, éster de ácido acético, benceno, xileno, diluyentes para barnices, tricloretileno y otros)	NR
Hidrocarburos alifáticos saturados, gasolina	NR
Aceite de parafina, vaselina	RL
Gasóleo	NR
Alcoholes, metanol, etanol	RL
Aceite de silicona	R

Fuente: Autores de la investigación.

Leyenda:**R:** Resistente, el material no sufre ningún desperfecto ni siquiera después de exposición prolongada.**RL:** Relativamente resistente, el material puede contraerse o sufrir desperfectos superficiales en caso de exposición prolongada.**NR:** No resistente, el material se contrae con mayor o menor rapidez o se disuelve.**Comportamiento frente al fuego**

Las materias primas del poliestireno expandido son polímeros o copolímeros de estireno que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Todos ellos son materiales combustibles. Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100°C, los productos de EPS empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, si aumenta la temperatura se funden. Si continúa expuesto al calor durante un cierto tiempo el material fundido emite productos de descomposición gaseosos inflamables. En ausencia de fuego los productos de descomposición térmica no se inflaman hasta llegar temperaturas del orden de los 400 - 500°C (Alva, 2019).

Aplicaciones de los bloques huecos de hormigón

Los bloques se designan por sus medidas nominales, las que resultan de sumar a sus medidas reales el semiancho de las juntas adyacentes. Así, las medidas nominales del bloque de mayor uso son 20 x 20 x 40, o sea 20 cm de altura, 20 cm de ancho y 40 cm de longitud. Estas medidas están formadas por sus medidas reales, 19 x 19 x 39, más los semianchos de sus juntas, ubicadas a uno y otro lado de la pieza que forman 1 cm.

El bloque 20 x 20 x 40 y 20 x 20 x 50 se emplea comúnmente para las paredes exteriores y de carga de las viviendas. El espesor de 20 cm de una pared de bloques es equivalente a una pared de ladrillos de 30 cm. Se fabrican bloques de espesores de 7, 10, 15 y 20 cm. Los bloques de 7 y 10 cm de espesor se usan para la

construcción de tabiques. En Cuba se construyen solamente bloques 10, 15 y 20 cm de espesores.

Para la construcción de un metro cuadrado de pared de 20 cm de espesor con bloques huecos de hormigón 20 x 20 x 40 y juntas de 1 cm, se emplean 12,5 bloques y para los bloques de 20 x 20 x 50 y juntas de 1 cm, se emplean 10 bloques.

Los agujeros de los bloques se corresponden verticalmente en la mampostería, de hilada en hilada, lo que da lugar a la formación de conductos que se usan con distintas finalidades. En unos casos se los emplea para la formación de columnas resistentes, introduciendo en ellos armadura y luego rellenándolos con hormigón. También se los usa para la instalación de cañerías, o bien se los rellena con material atérmico para mejorar la aislación de las paredes. (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2014).

Según la INEN 638 el Bloque hueco de hormigón es un elemento simple hecho a base de cemento, agua, áridos finos y gruesos, en forma de paralelepípedo, con uno o más huecos transversales en su interior, de modo que el volumen del material sólido sea del 50% al 75% del volumen total del elemento.

Esta norma también define que las medidas principales son: el largo, el ancho y el alto del bloque.

- **Superficie bruta de contacto.** Es la superficie normal al eje del o de los huecos, sin descontar la superficie de estos, es decir: el producto del largo por el ancho del bloque.
- **Superficie neta de contacto.** Es la superficie bruta de la cual se ha descontado la superficie de los huecos normal a su eje.
- **Volumen total.** Es el volumen del bloque, calculado con sus medidas principales.

Los bloques huecos de hormigón se clasificarán, de acuerdo con su uso, en cinco tipos, como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de bloques.

Tipo	Descripción
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento. Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento. Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de hormigón armado.

Fuente: Autores de la investigación

Empleo del EPS en la construcción en el mundo

La tendencia de la construcción moderna dirigida hacia el menor costo, cambiando los antiguos patrones de elementos rígidos y pesados por elementos sencillos de mejor trabajo estructural dio lugar al empleo de materiales con avance tecnológico, colocó en disponibilidad como es el caso de los derivados petroquímicos, la espuma de poliestireno (EPS).

Tanto en Europa como en América, cada día pueden apreciarse más construcciones donde se emplea Poliestireno Expandido, dado a la necesidad que existe de disminuir los costos de construcción y construir edificaciones resistentes que puedan proveer de aislamiento térmico para cualquiera que sea el caso del clima (tanto frío como calor) convirtiéndose en calidad de vida para quienes habitan la vivienda o edificación y disminuyendo a su vez los costos que se generan por concepto de calefacción o enfriamiento. Una vivienda térmicamente aislada, pudiera requerir solo el 40% de la unidad de enfriamiento o calefacción que se destina a una edificación tradicional.

Se utiliza para Placas y paneles de aislamiento termo acústico, casetones y bovedillas para forjados, moldes de encofrado, juntas de dilatación, elementos decorativos interiores, bloques de EPS para proveer ligereza a terraplenes de carreteras, pantalanés flotantes, islas artificiales y otros. Ejemplos (panel de EPS con malla electrosoldado Confort House, losas aligeradas con viguetas y bovedillas con EPS).

Caracterización químico-estructural de los residuos de poliestireno expandido

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno. La polimerización del estireno requiere la presencia de una pequeña cantidad de un iniciador, entre los que se encuentran los peróxidos, que opera rompiéndose para generar un radical libre. Este se une a una molécula de monómero, formando así otro radical libre más grande, que a su vez se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. Este proceso en cadena finalizará por combinación de dos radicales, sean ambos radicales polímeros o bien radical polímero y otro radical del iniciador, o por abstracción de un átomo de hidrógeno de otra molécula.

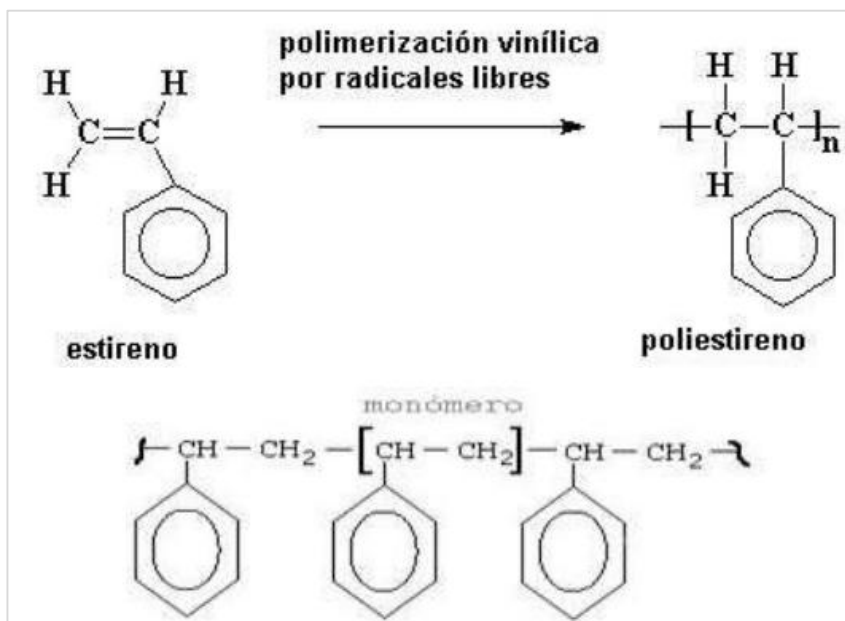


Figura 1. Composición químico-estructural del EPS.

Fuente: Adaptado de Química 9^{no} (p. 120), por Editorial Ciencia y Educación. Cuba, 2014,

Caracterización de los Áridos

Las características de los áridos utilizados para la presente investigación provenientes de la Industria de la Construcción de Portoviejo, condicionan las propiedades del hormigón para la conformación de los bloques, como su estabilidad y durabilidad y por tanto en la calidad de los resultados. Los áridos gruesos provienen de la cantera “Uruzca”. Estos áridos son producidos mediante la trituración de rocas calizas, los áridos presentan una buena granulometría por lo cual es factible el trabajo con la misma además de encontrarse en la misma provincia.

Ensayos al árido fino

El polvo de piedra es un producto obtenido por trituración de rocas de diferentes naturalezas química y cuyos límites granulométricos se miden entre los tamices 4.76 y 0.074 mm, según la NTE INEM 696: 2011. En los ensayos granulométricos se determina la distribución de los tamaños de las partículas del árido. La composición granulométrica juega un papel importante en las características de los hormigones que lo contienen, ya que tiene influencia en la facilidad de mezclado, transporte, colocación y compactación de este.

El proceso se basa en la determinación de las fracciones granulométricas de los áridos, por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida de forma que la muestra se deslice continuamente sobre la superficie de los tamices (Idalguiza, 2017). Las operaciones para realizar se pueden describir de la siguiente forma:

Primero, se realizó la toma de muestras en diferentes puntos donde se encuentra el residuo, las que fueron trasladadas a los laboratorios de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM) para realizarle los ensayos según la NTE INEM 695:2010. Al obtener el material se deposita en el juego de tamices definidos por la NTE INEM 154 (Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas) procediendo al tamizado de la muestra para lo cual se realizó con ciclos repetitivos en período de tiempo aproximado de 5 a 7 min, una vez terminado el proceso de tamizado se procede a obtener la granulometría (Molar & Guadalupe, 2017).

Tabla 3. Ensayo granulométrico del polvo de piedra.

Tamiz (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado	% pasado	Rango por tamiz
9.52	0	0	0	100	100
4.76	18	18	3	97	85 a 100
2.38	237	255	37	63	50 a 80
1.17	159	414	60	40	30 a 60
0.59	130	544	79	21	17 a 40
0.295	64	608	88	12	18 a 28
0.149	34	642	93	7	4 a 17
0.074	31	673	97	3	0 a 10
Fondo	17	690	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

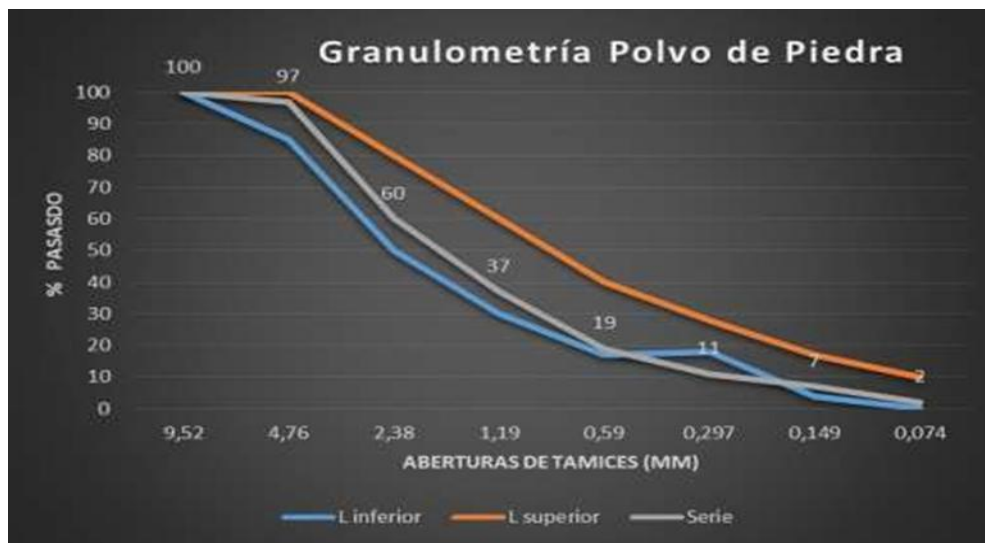


Figura 2. Análisis granulométrico del polvo de piedra.

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados obtenidos en el ensayo, podemos colegir que cumple con los requisitos como árido de fracción 10-5 mm según la NTE INEM 696: 2011.

Pesos unitarios

El peso unitario es la relación que existe entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo expresado en kg/m³. Dependiendo del sistema de acomodo que se haya dado al material existen dos valores para esta relación, ipso facto después de la prueba, la denominación que se le da a cada uno de ellos es peso volumétrico suelto y peso volumétrico compactado, el uso de cada uno de ellos dependen de las condiciones de manejo a que estén sujetos los materiales (Quiroz, 2019).

Ensayo al árido grueso

El análisis granulométrico se realiza bajo la NTE INEN860 2011 para áridos gruesos de fracción 12.5-1.17 mm, para la misma se utilizó la maquina tipo los ángeles del laboratorio de suelos de la carrera de ingeniería civil de la universidad estatal del sur de Manabí siguiendo el mismo procedimiento explicado anteriormente.

Tabla 4. Ensayo granulométrico al granito 3/8.

Tamiz (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado	% pasado	Rangopor tamiz
12.5	2.5	2.5	0.2	99.8	100
9.52	135.5	138	12	88	85-100
4.76	803.5	941.5	84	16	15-35
2.38	141	1082.5	97	3	0-10
1.17	13	1095.5	98	2	0-5
Fondo	19.5	1115	-	-	-

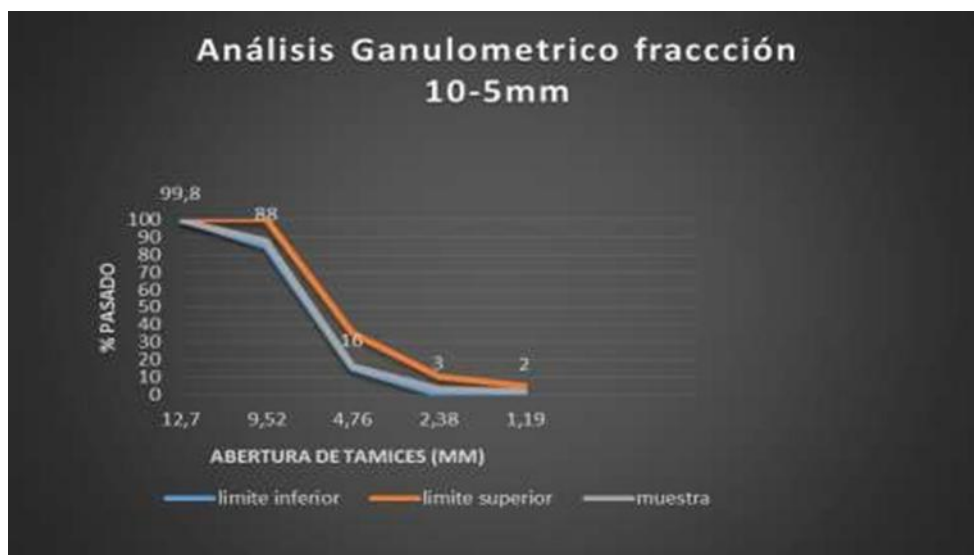


Figura 3. Análisis granulométrico del granito 3/8.

Pesos específicos y absorción de agua

Según la NTE INEN 857 2010, áridos gruesos para determinar los pesos específicos y la absorción de agua por medio de pesadas.

Tabla 5.- Ensayo pesos específicos y absorción de agua.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones
Peso Específico Corriente	g/cm ³	2.621	≥2.50
Peso Específico Saturado	g/cm ³	2.659	-
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.726	-
Absorción	%	1.7	≤3.0

Ensayos físicos del cemento

Se obtienen para cada cemento las propiedades físicas más relevantes relacionadas con las cantidades de agua necesarias para ser amasadas, estabilidad volumétrica, tiempos de fraguado y densidad.

Consistencia normal

La INEN 488 2009 establece que el método se emplea en la determinación de la cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento hidráulico a ensayar.

Para el mezclado mecanizado se emplean los siguientes instrumentos:

- Amasadora (del tipo epicíclico de acción electromagnética con dos velocidades controladas por medios mecánicos)
- Paleta Removible de acero inoxidable
- Recipiente Removible con capacidad de 5 litros
- Regla metálica

- Balanza con sensibilidad de 0.01g.
- Vidriera graduada.
- Aparato de Vicat

La pasta de cemento se prepara según lo establecido en la presente norma. Se colocan la paleta y el recipiente, se mezcla 650 g de cemento con agua y se deja absorber agua durante 30 s.

Tiempo de fraguado inicial y final

La muestra del ensayo utilizada en la determinación de la consistencia normal puede ser usada para una determinación adicional del tiempo de fraguado por la aguja Vicat mediante el procedimiento descrito a continuación:

Se moldea la muestra de ensayo e inmediatamente se pone la muestra de ensayo dentro de la cámara o local húmedo y se mantiene allí excepto cuando se está realizando una determinación del tiempo de fraguado. La muestra permanece en el molde cónico, soportado por el plato de vidrio a través de todo el período de ensayo.

Posteriormente se determina la penetración de la aguja de 1 mm, en ese momento y durante los 15 min ulteriores. Para el ensayo de penetración, baje la aguja de la barra hasta que descansen sobre la superficie de la pasta de cemento

Ensayo de densidad

La INEN 156: 2009 establece que la densidad del cemento hidráulico es definida como la masa de la unidad de volumen del sólido. Para la realización del ensayo se emplean los siguientes instrumentos y soluciones:

- Frasco de Le Chatelier
- Querosene
- Baño de Agua

Tabla 6.- Ensayo físico del cemento.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
Consistencia Normal	%	23	-
Fraguado Inicial	Minutos	120	≥ 45
Fraguado Final	Horas	4	≤ 10
Densidad	g/cm ³	3.18	-

Ensayos mecánicos al cemento

Según la INEN 488: 2009, el método comprende la determinación de las resistencias a compresión y opcionalmente a flexión de probetas prismáticas, de dimensiones normalizadas (40 mm x 40 mm x 160 mm). El mortero elaborado es de tipo seco (una parte de cemento y tres de Arena Natural Silíceas de granos redondeados), con una relación agua/cemento equivalente a 0.5.

El molde que contiene las probetas de tres compartimentos de dimensiones anteriormente mencionadas se conserva en atmósfera húmeda durante 24 horas, y las probetas desmoldadas se sumergen inmediatamente en agua hasta el momento de los ensayos de resistencia. La compactadora empleada modelo, cumple con los requisitos de la INEN 1 505: 2009, así como la mezcladora de la misma marca y proveedor.

Tabla 7. Resistencia a flexión del ensayo del cemento.

Ensayo	Resistencia a flexión Kn*cm			Sumatoria Kn*cm	X (Media) Kn*cm	Especificación
Días	1	2	3			
3	7.0	7.0	7.97	21.97	7.32	-
7	9.37	9.37	9.37	28.11	9.37	≥4
28	9.37	9.40	10.37	29.14	9.71	≥6

Tabla 8. Resistencia a compresión del ensayo del cemento.

Ensayo	Resistencia a compresión MPa			Sumatorio MPa	X (Media) MPa	Especificación
Días	1	2	3			
3	23	18	20	61.00	20.33	≥17
7	26.80	26.25	21.25	74.30	25.01	≥25
28	31.25	31.25	33.13	95.63	31.88	≥35

Diseño de dosificaciones para la elaboración de bloques huecos de hormigón con los residuos de EPS

Para el diseño de la propuesta de dosificaciones para la elaboración de bloques huecos de hormigón con los residuos de EPS se utilizó el método O'Reilly, en el que se toma como criterio que el porcentaje de vacío y la superficie específica mínimos de una mezcla de áridos es la que señala la composición óptima, la cual requerirá una cantidad mínima de cemento.

Para determinar la composición óptima de un hormigón hay que realizar ensayos de laboratorio, cuyos procedimientos son los siguientes:

- Determinar por el método experimental la relación óptima de la mezcla de arena y áridos gruesos.
- Determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida de la mezcla de hormigón.
- Determinar la característica A de los áridos.
- Determinar la cantidad de cemento.

Para determinar el porcentaje de vacío y la superficie específica mínimos, hay que ensayar las mezclas de los áridos con las proporciones en peso de arena y gravilla siguientes:

35:65 40:60 45:55 50:50 55:45 60:40

Los pasos seguidos para realizar el método son los siguientes:

- Determinar el peso unitario compactado de la mezcla de los áridos (PUC_m), de cada una de las mezclas anteriormente expresadas. Los ensayos se realizarán por el mismo procedimiento que se emplea para determinar el peso unitario compactado de la mezcla de la arena o los áridos gruesos. Sólo hay que tener en cuenta que es necesario trabajar con los materiales secos y bien mezclados.
- Determinar el peso específico corriente de la mezcla de los áridos. Para obtenerlo, tenemos que determinar el peso específico de la arena y del árido grueso que estamos ensayando. El peso específico corriente de la mezcla de los áridos, lo determinamos matemáticamente por medio de la ecuación 1:

$$PEC_m = \frac{PEC_a \times \%A + PEC_g \times \%G}{100} \quad (1)$$

Nota: Adaptado de “Métodos para Dosificar Concretos de Elevado Desempeño” (p. 78), por O'Reilly, 2007, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Donde:

PEC_m: peso específico corriente de la mezcla de los áridos

PEC_a: peso específico corriente de la arena

%A: porcentaje de la arena en la mezcla

PEC_g: peso específico corriente de la gravilla

%G: porcentaje de la gravilla en la mezcla

Estudio del plan experimental de los bloques huecos de hormigón

A partir de la caracterización de las materias primas se comenzó el trabajo en el plan experimental. Las muestras para ensayar estuvieron constituidas por bloques de 10 cm de espesor para analizar su comportamiento con áridos ligeros y para la utilización de estos en paredes divisorias y comprobar la disminución de peso y de resistencia.

Tabla 9. Resultados de los ensayos de dimensiones realizados a los bloques.

Lote	Dimensiones	Muestras			Sumatoria	X (Media)
		1	2	3		
Patrón	Largo (mm)	403	403	401	1207	402.3
	Ancho (mm)	105	105	104	314	104.7
	Altura (mm)	202	202	204	608	202.7
EPS 15%	Largo (mm)	401	399	399	1199	399.7
	Ancho (mm)	105	103	103	311	103.7
	Altura (mm)	203	202	203	608	202.7
EPS 25%	Largo (mm)	399	401	401	1201	400.3
	Ancho (mm)	103	103	103	309	103
	Altura (mm)	198	201	201	600	200

Resultados del pesaje de los bloques

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de peso realizado a los bloques, en el que se exponen igualmente los valores de las mediciones realizadas en cada punto experimental, tres valores medidos en cada uno. Además, se muestra la donde se observa la realización del ensayo a uno de los bloques.

Tabla 10. Resultados de los ensayos de peso realizado a los bloques.

Lote	Masa Kg	Muestras			Sumatoria	X (Media)
		1	2	3		
Patrón	Peso ambiente	12.64	12.50	12.41	37.45	12.48
EPS 15%		11.89	11.94	12.21	36.04	12.01
EPS 25%		11.79	11.32	11.56	34.67	11.56

Tabla 11. Resultados de los ensayos de resistencia para 28 días.

Lote	Resistencia a compresión	Muestras			Sumatoria	X (Media)
		1	2	3		
Patrón	Carga aplicada (Kn)	182	218	187	587	195.67
	Área bruta (cm ²)	423.15	423.15	417.04	1263.34	421.11
	Esfuerzo (MPa)	4.30	5.15	4.48	13.93	4.64
EPS 15%	Carga aplicada (Kn)	190	193	154	537	179
	Área bruta (cm ²)	421.05	410.97	405.96	1237.98	412.66
	Esfuerzo (MPa)	4.51	4.70	3.79	13	4.33
EPS 25%	Carga aplicada (Kn)	169	169	125	463	154.33
	Área bruta (cm ²)	410.97	413.03	413.03	1237.03	412.34
	Esfuerzo (MPa)	4.11	4.09	3.03	11.23	3.74

Tabla 12. Resultado del ensayo de absorción realizado a los bloques.

Muestra	Descripción	Peso seco (Kg)	Peso saturado (Kg)	% Absorción	Media
1	Patrón	12.64	13.19	4.35	4.07
		12.50	13.03	4.24	
		12.41	12.86	3.63	
2	EPS 15%	11.89	12.40	4.30	5.05
		11.94	12.65	5.94	
		12.21	12.81	4.91	
3	EPS 25%	11.79	12.40	5.17	5.01
		11.32	11.77	3.97	
		11.56	12.24	5.88	

Conclusiones

Los residuos generados de poliestireno expandido en el entorno inciden negativamente en el medio ambiente, provocando daños irreversibles; por lo tanto, el reciclado de este material contribuye al saneamiento y protección del medio ambiente.

Por las propiedades físicas, ventajas y aplicaciones que presentan los residuos de poliestireno expandido en los determinados tipos de construcciones, se recomienda el uso. Utilizando una dosificación en las producciones de huecos se logró minimizar un 25% de polvo de piedra manteniendo un bloque hueco de 10 x 20 x 40 que conserva las características mecánicas y disminuye su peso.

Después de analizar las propiedades físicas de los residuos de equipos electrónicos se logró diseñar una dosificación sustituyendo un 25% de polvo de piedra naturales triturados, por Poliestireno Expandido (perlas EPS), con esta dosificación se ahorra en agregado fino y alcanza una resistencia a compresión a los 28 días de 3.74 MPa, razón por la cual se propone esta dosificación para la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Recomendaciones

Como líneas de trabajo futuro se pudieron identificar las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios en bloque de 15 x 20 x 40 partiendo de una dosificación del 15% hasta un 25%.
- Realizar el estudio del material para su utilización en la producción de otros elementos que requieran una resistencia menor a la de 2.5 MPa.
- Realizar estudios de factibilidad a partir de la utilización de los residuos de EPS para elaborar bloques huecos de hormigón con respecto a las mezclas usadas tradicionalmente
- Realizar una correcta gestión del residuo de poliestireno expandido; un factor fundamental para lograr esto es involucrar los organismos correspondientes en nuestro país que incluyan este material para el reciclado y su implementación para el uso como árido ligero en la construcción, a este proceso se debe sumar los principales gestores de este material en el territorio y el gobierno municipal.

Referencias

- Alva, L. (2019). Viabilidad del uso de poliestireno reciclado como impermeabilizante en adobes de construcción. *Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI*, 1-24.
- Córdova, R. (2021). Implementación de materiales reciclables para el diseño de viviendas sostenibles en el Distrito de Pacaipampa. *Universidad César Vallejo*, 1-105.
- Idalguiza, N. (2017). Plan estratégico Para La Comercialización Del Poliestireno Expandido (Eps) En La Construcción De Viviendas Livianas Y Térmicas Para La Empresa Plastro S.A. *UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL*, 1-90.
- Martínez Gutiérrez, P. (2019). Diseño constructivo participativo de la sede social a partir de materiales reciclables. *Universidad Católica de Colombia*.

- Molar, M., & Guadalupe, H. (2017). Comparación del comportamiento térmico de muros de concreto armado y de bloques de concreto huecos. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 1-14.
- Quiroz, J. (2019). Análisis Del Uso De Geobloques Para Aligerar El Relleno En Cimentaciones De Edificios. *Universidad De Especialidades Espiritu Santo*, 1-78.
- Ramírez Reyna, G. (2020). Vivienda sostenible en la Asociación de Viviendas Nueva Esperanza-Tarapoto 2020. *Universidad Cesar Vallejo*.
- Ruiz, J., & Godínez, E. (2022). Análisis estadístico de características geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto de Tuxtla Gutiérrez. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 63-84.
- Urquijo, G. (2021). Modelo de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) orientado al aprovechamiento, beneficios económicos y ambientales para la ciudad de Tunja (Boyacá). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD*, 1-116.
- Valdez Gonzales, K. (2020). Gestión ambiental y desarrollo sostenible en la Municipalidad Distrital de Mi Perú . *Universidad Cesar Vallejo*.