

PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE PVC EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN

PROPOSAL FOR THE USE OF PVC WASTE IN HOLLOW CONCRETE BLOCKS

Raúl Fernando Mera Vera^{1*}

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil-Mención Construcción de Vivienda Social. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. Correo: raul-fer-9@hotmail.com

César Mauricio Jarre Castro²

² Ingeniero Civil, Mg. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.

* Autor para correspondencia: raul-fer-9@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo trata temas relacionados con el tratamiento de los residuos plásticos industriales y su aplicación como agregados en la fabricación de bloques de hormigón huecos. Presenta como objetivo elaborar una propuesta de dosificación con residuos de PVC para la elaboración de dichos bloques, fundamentado en la necesidad de utilizar materiales de construcción, desechos de los procesos industriales, como forma sustentable para la protección del medio ambiente y desarrollo económico del país. Se evalúan dosificaciones de hormigones, empleando como áridos los residuos plásticos originados en la fábrica de plásticos Perfilplast del Ecuador S.A., en el mismo se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físico-mecánicas, fundamentados en las normas técnicas ecuatorianas, en los hormigones fabricados con residuos plásticos, tomando como base las metodologías de revisión, análisis comparativo entre los hormigones convencionales y los propuestos para los bloques huecos de hormigón y métodos experimentales, se concluye con la validez de la hipótesis planteada como dosificación la que sustituye hasta el 50% de árido natural por el material en PVC.

Palabras clave: dosificación; hormigones convencionales; sustentables.

Abstract

The present work deals with issues related to the treatment of industrial plastic waste and its application as aggregates in the manufacture of hollow concrete blocks. Its objective is to develop a dosage proposal with PVC waste for the production of said blocks. Based on the need to use construction materials, waste from industrial processes, as a sustainable way to protect the environment and economic development of the

country. Concrete dosages will be evaluated, using the plastic waste originating from the Perfilplast del Ecuador S.A. plastics factory as aggregates, in which laboratory tests will be carried out to determine the physical-mechanical properties, based on Ecuadorian technical standards in concrete manufactured with plastic waste, based on review methodologies, comparative analysis between conventional concrete and those proposed for hollow concrete blocks and experimental methods, the validity of the hypothesis proposed as a dosage that replaces up to 50% of natural aggregate will be concluded for the PVC material.

Keywords: *dosage; conventional concretes; sustainable.*

Fecha de recibido: 12/04/2022

Fecha de aceptado: 17/07/2022

Fecha de publicado: 23/07/2022

Introducción

El constante incremento en el consumo de los plásticos en el mundo, ligado con el desarrollo tecnológico de estos materiales, cuyo uso se ha generalizado desde el campo ya convencional de los envases, en la fabricación en las industrias de coches, en la industria de la construcción y muchos bienes de consumo.

Este incremento en el consumo de plásticos ocasiona un incremento exponencial de los residuos sólidos, (Treat et al 2018) muestran que “El consumo de plástico continúa creciendo. La producción mundial ha crecido de 2,3 millones de toneladas en 1950 a 407 millones en 2015”, según (Rodríguez 2021) el uso excesivo del plástico ha provocado una gran problemática social, este no solo ha tenido incidencia en los suelos y las aguas, muchas especies están en peligro de extinción ya que los plásticos y microplásticos presentes en sus hábitats los confunden y terminan siendo equivocadamente ingeridas. Se presume que para el año 2030 existan en el mar más plástico que especies marinas, y como lo mencioné anteriormente no solo afecta a los suelos y aguas, lamentablemente el ser humano también está ingiriendo micro plásticos, en el agua y en alimentos.

La pandemia del COVID-19 también ha contribuido significativamente con la contaminación a nivel mundial, “En un reciente viaje de reconocimiento a las islas Soko, en Hong Kong, encontraron una gran cantidad de mascarillas quirúrgicas en las playas, lo que podría agravar la ya preocupante contaminación por plásticos de los mares” (Moraleta, 2020).

El reciclaje de estos residuos ayuda a resolver problemas, por ejemplo; en lo social se generaría empleo, en lo económico se pueden abaratar costos de recolección, en lo ambiental se evitan fuentes de contaminación y en lo tecnológico la utilización de nuevos materiales y la cultura por el aprovechamiento de los materiales reciclados ha comenzado a concientizarse lo que provoca que los materiales y métodos empleados para la construcción empiecen a modificarse surgiendo nuevos materiales más resistentes y económicos. En mención de ello (García, Bracho, & López 2017) desde su investigación exponen que los plásticos con mayor

presencia en los residuos industriales son: el polietileno (PE), el cloruro de polivinilo (PVC) y el tereftalato de polietileno (PET), ya que representan la mayor proporción de materiales utilizados en el uso cotidiano. Para aprovechar la abundancia de estos residuos, se ha considerado como una alternativa eficiente el uso de los mismos en la construcción, ya que al ser utilizados como áridos en las mezclas para la fabricación de diversas estructuras, modifican significativamente ciertas propiedades físicas y mecánicas: Peso en las estructuras fabricadas, aumento de la resistencia a la compresión de las mismas y aportan aislamiento térmico y acústico.

(Mercante et al., 2017) plantea “Una alternativa para el reciclaje del plástico es la elaboración de mezclas cementicias, las cuales producen múltiples beneficios, como la valorización y el aprovechamiento de residuos sólidos, la sustitución de agregados naturales y las mejoras en algunas propiedades del material” (menor peso específico y mejores condiciones aislantes), y desde este aspecto la protección del ambiente mediante la recuperación de los mismos son razón suficiente para su reciclaje, como es la reutilización de los residuos de cloruro de polivinilo (PVC) que genera la Empresa Industrial Perfilplast del Ecuador S.A.

Este material se puede encontrar en envases de bebidas, marcos de ventanas, pisos y recubrimientos, juguetes, caños para agua potable y desagües, mangueras, cables, carcasas para electrodomésticos, cortinas para duchas, alfombras de plástico para laboratorios, suelas de calzado, azulejos de suelo, tuberías de riego, accesorios, tiestos para plantas, recubrimientos para tolvas de camiones láminas y piezas moldeadas.

De acuerdo con (Lenin et al., 2017), los altos costos de los materiales de construcción han generado la búsqueda de alternativas viables que garanticen la calidad, resistencia y durabilidad de los elementos constructivos a fabricar. Cabe destacar que uno de estos materiales los constituye el bloque de concreto cuyo valor monetario ha aumentado. Este hecho se debe entre otras cosas al aumento del precio del cemento, arena y otros agregados utilizados para garantizar un producto óptimo con las características requeridas para sus diferentes usos.

Existen muchas formas para reciclar este material, una de ellas es la idea implementada por los ecologistas de Greenpeace fundada en 1971 en Vancouver, y desde este enfoque otras investigación desprenden aristas diferenciales de los procesos, (Herrera, 2017), indica que el uso de residuos de PVC en lugar de piedras naturales, no sólo ahorra la energía que puede ser necesaria para extraer áridos naturales de las canteras, sino que también elimina los impactos negativos asociados con la minería, tales como efectos sobre la biodiversidad o el paisaje.

En tanto (Díaz & Hernández, 2018) expresa que los estudios relacionados con hormigón sustentable, con sustitución del agregado grueso y fino por plásticos reciclados de Polietileno de Alta y Baja Densidad más finos de Perlita, se caracterizan por ser innovadores sin embargo se necesita explorar métodos alternativos que permitan la reducción de materiales no renovables, la energía utilizada en la producción de las unidades de bloque de hormigón y el costo de mano de obra, se mantienen los mismos requisitos de rendimiento y normas estipuladas.

Numerosas son las investigaciones a este tipo de material. Fernandez (2017), en su estudio titulado Evaluación de las proporciones de residuo PVC de tapicería sobre la resistencia a la compresión, flexión, asentamiento y costo en un concreto para pavimento rígido, concluye que el refuerzo con fibras de PVC recicladas, mejoran las características físicas - mecánicas de la mezcla de concreto además que genera una reducción en los costos es una buena variante cuando se va a realizar refuerzo con fibras de PVC reciclado. El hormigón al ser de alta densidad, demanda una gran cantidad de materia prima para su formación. Si el peso específico del hormigón se disminuye, también se reduce el impacto ambiental en la extracción de material (Alarcón, 2018).

Los residuos de cloruro de polivinilo (PVC), son residuos generados a nivel industrial que clasifican como residuos sólidos. En este trabajo se realizará un estudio de los residuos de cloruro de polivinilo (PVC), desechos del proceso de producción de tuberías en la fábrica Perfilplast del Ecuador S.A, y a partir de los resultados obtenidos utilizar este residuo como árido grueso en la dosificación para la construcción bloques huecos.

Tabla 1: Características del PVC reciclado.

Nombre completo	Policloruro de Vinilo (PVC)
Punto de fusión	150 – 200 °C
Densidad	1.16 – 1.45 g/cm ³
Usos y aplicaciones	Botellas para aceites, agua mineral, yogurt, etc. Tuberías para agua, desagüe, suelas de calzado, sandalias, botas, capas, tapas de libros, artículos para oficina, balones, manteles, etc.
Ventajas y beneficios	• Liviano • Ignífugo • Resistente a la intemperie y a la corrosión • Transparente • No tóxico • Inerte (al contenido) • Buena permeabilidad. • Resistente al impacto • No es atacado por bacterias o insectos.
Se recicla en:	Tuberías para electricidad y desagüe, cubre cables, suelas de calzado.

El uso de este residuo en lugar de piedras naturales ahorra la energía necesaria para extraer áridos naturales de las canteras además reduce los impactos negativos asociados con la minería, tales como efectos sobre la biodiversidad o el paisaje.

Materiales y métodos

El enfoque de este trabajo pone en práctica los métodos de la investigación científica tales como, histórico - lógico que permitió la revisión documental de los aspectos esenciales enmarcados en el abordaje del objeto y campo de la investigación fundamentadas en las metodologías que sustentan la información derivada del

proceso de valoración de la aplicación de la propuesta para la utilización de residuos de PVC en la fabricación de bloques huecos de hormigón, métodos analíticos utilizado como base el módulo de finura de las fracciones consideradas centralizando una idea del tamaño promedio de las partículas componentes del mismo, métodos empíricos donde se concadena la validación en la práctica de la propuesta aportada por la investigación y métodos estadístico matemático y experimentales aplicables al diseño de las dosificaciones de las mezclas.

Los materiales utilizados en esta investigación son desglosados desde esta pauta, los bloques deben elaborarse con cemento Portland o Portland especial, áridos finos y gruesos, tales como: arena, grava, piedra partida, granulados volcánicos, piedra pómez, escorias y otros materiales inorgánicos inertes adecuados, el cemento que se utilice en la elaboración de los bloques debe cumplir con los requisitos de la Norma INEN 152 y la Norma INEN 1548, los áridos que se utilicen en la elaboración de los bloques deben cumplir con los requisitos de la Norma INEN 872 y, además, pasar por un tamiz de abertura nominal de 10 mm 5.1.4 El agua que se utilice en la elaboración de los bloques debe ser dulce, limpia, de preferencia potable y libre de cantidades apreciables de materiales nocivos como ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas.

Resultados y discusión

Es necesario caracterizar el residuo de PVC para definir sus propiedades como agregado a bloques huecos de hormigón, para ello se le deben realizar los ensayos que se establecen por normas a los áridos, dentro de los que se pueden realizar se encuentran, el análisis granulométrico y los pesos volumétricos. Se muestran los ensayos que se establecen por normas a los áridos, dentro de los que se pueden realizar se encuentran, el análisis granulométrico y los pesos volumétricos.

Análisis Granulométrico

Según la INEN 152, 490 y 1548 (análisis granulométrico) 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.

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 del mismo. Las operaciones a realizar se pueden describir de la siguiente forma:

- i. Se realizó la toma de muestras en diferentes puntos donde se encuentra el residuo, según la norma INEN 695 y la norma ASTM D 3 665, las que fueron trasladadas a los laboratorios de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM) para realizarle los ensayos.
- ii. Al obtener el material se deposita en el juego de tamices definidos por la INEN 152, 490 y 1548, procediendo al tamizado de la muestra para lo cual se realizó con ciclos repetitivos en período de tiempo aproximado de 5 a 7 min.

- iii. Una vez terminado el proceso de tamizado se procede a obtener la granulometría, la cual se expone en la tabla 2 y la curva granulométrica en la Figura 1.

Tabla 2. Análisis Granulométrico al residuo PVC.

Tamiz (mm)	% pasado	Rango equivalente
12.5	100	100
9.52	98	85-100
4.76	25	15-35
2.38	3	0-10
1.17	1	0-5

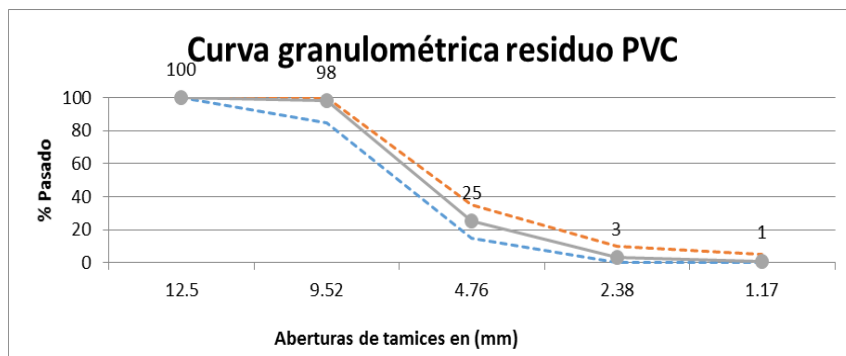


Figura 1. Curva granulométrica

Al analizar los resultados obtenidos en el ensayo, podemos colegir que el residuo de PVC cumple con los requisitos como árido de fracción 10-5 mm según la norma INEN 152, 490 y 1548, por lo que se considera apropiado.

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/m^3 , 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, los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Pesos unitarios.

Ensayo	Resultados
Peso unitario suelto	766 kg/m^3

Peso unitario compactado	836 kg/m ³
--------------------------	-----------------------

Los áridos utilizados en la producción de bloques huecos de hormigón son provenientes de la cantera MEGAROK ubicada en los Chorrillos Montecristi, Manabí.

Ensayos realizados a los áridos gruesos

Se realizó la toma de la muestra de los áridos gruesos en las instalaciones de la cantera MEGAROK, según la norma INEN 695 y la norma ASTM D 3 665, el ensayo granulométrico del árido grueso (Granito) se realizó según INEN 152, 490 y 1548, para áridos gruesos de fracción 10-5 mm los resultados se muestran en la tabla 4 y en la figura 2.

Tabla 4. Análisis Granulométrico del árido grueso (Granito).

Tamiz (mm)	% pasado	Rango valorativo
12.5	99.8	100
9.52	88	85-100
4.76	16	15-35
2.38	3	0-10
1.17	2	0-5
Fondo	-	-

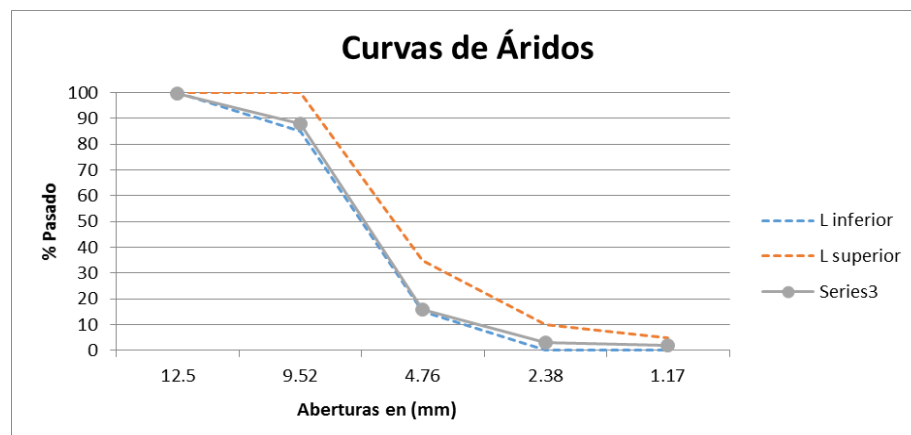


Figura 2. Curva granulométrica árido grueso (Granito).

Tras un análisis sobre los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico se puede observar que el árido Grueso (Granito) fracción 10-5 mm según la norma INEN 152, 490 y 1548 resulta conforme.

Peso específico y absorción de agua: Mediante la INEN 152, 490 y 1548 se aplicó el procedimiento definido para la determinación del peso específico corriente, el peso específico saturado (sin humedad superficial), el peso específico aparente y la absorción de agua de los áridos gruesos que se utilizan en la elaboración de hormigones. Una vez culminado los ensayos se obtienen los diferentes pesos específicos (Tabla 5).

Pesos unitarios: Los pesos unitarios se realizaron según lo establecido en la INEN 152, 490 y 1548 para áridos gruesos y los resultados se muestran en la tabla 6

Tabla 5. Pesos realizados al árido grueso.

Ensayo	U/M	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

Tabla 6. Peso volumétrico de la grava.

Ensayos	Resultados
Peso Unitario Suelto	1541 kg/cm ³
Peso Unitario Compactado	1739 kg/cm ³

Ensayos realizados al árido fino

Análisis Granulométrico al polvo de piedra: Para el análisis granulométrico al polvo de piedra se tuvo en cuenta la INEN 152, 490 y 1548, la cual lo clasifica en tres calidades de acuerdo a la composición granulométrica, absorción y contenido de arcilla.

El procedimiento 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 durante 10 minutos de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices. Los resultados se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis Granulométrico del polvo de piedra.

Tamiz(mm)	% pasado	Rango evaluativo
9,52	100	100
4,78	97	85-100

2,36	63	50-80
1,18	40	30-60
0,6	21	17-40
0,297	12	18-28
0,15	7	4-17
0,075	3	0-10
Fondo	-	-

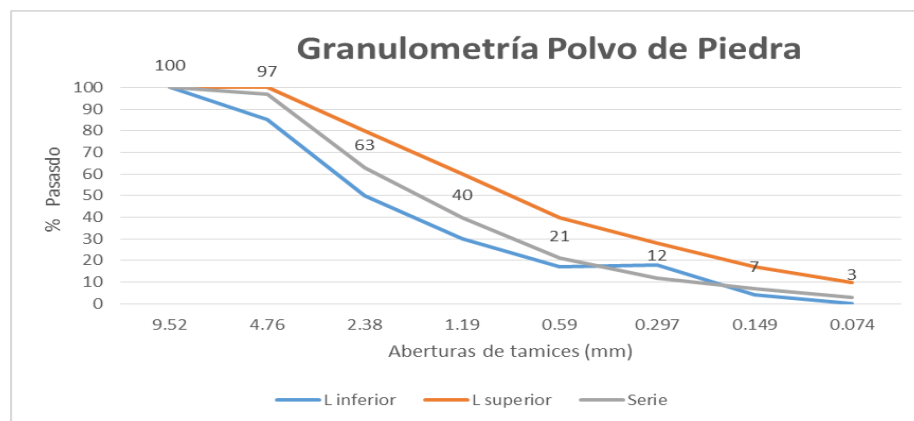


Figura 3. Curva granulométrica polvo de piedra.

Según los datos obtenidos en comparación con la norma se observa que no cumple en el tamiz 0.297, se determinó que el material es calidad tres.

Ensayos del peso específico y absorción de agua al árido fino

Según INEN 152, 490 y 1548, se obtienen los pesos específicos por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua. Los resultados del análisis del árido fino se reflejan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultado de ensayo pesos específicos y absorción de agua al polvo de piedra.

Ensayo	Unidad	Resultado
Peso Específico Corriente	g/cm ³	2.585
Peso Específico Saturado	g/cm ³	2.631
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.710

Absorción	%	1.47
-----------	---	------

Determinación del peso volumétrico: La determinación del peso volumétrico se desarrolla según lo establecido por la NTE INEN 858:2010 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS, y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 9. Determinación del peso volumétrico para el polvo de piedra.

Ensayos	U/M	Resultados
Masa Volumétrica Suelta	kg/cm ³	1457
Masa Volumétrica Compactada	kg/cm ³	1580

Ensayos realizados al cemento

Para la fabricación de bloques huecos de hormigón se empleó cementos Portland para elementos estructurales. A continuación, se describen los ensayos para determinar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas que se realizaron según NTE INEM 152:2012.

Ensayos físicos: 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 NTE INEM 152:2012 establece que el método se emplea en la determinación de la cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento hidráulico a ensayar, culminado en ensayo se tabulan los resultados (Tabla: 10)

Tiempo de fraguado inicial y final: La muestra permanece en el molde cónico, soportado por el plato de vidrio a través de todo el período de ensayo.

Densidad: La NTE INEM 152:2012 refiere que la densidad del cemento hidráulico, es definida como la masa de la unidad de volumen del sólido.

Tabla 10. 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	3.10	-

Ensayos mecánicos

Según la NTE INEM 152:2012, 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, resultados del cemento a flexión y resultados del cemento a compresión ilustrado en las tablas 11 y 12.

La compactadora empleada modelo cumple con los requisitos necesarios, así como la mezcladora de la misma marca y proveedor. Para el ensayo de flexión se emplea la misma máquina de la prueba de compresión, utilizando el dispositivo auxiliar de carga.

A la edad de 3, 7 y 28 días, las probetas se retiran de su medio de conservación húmedo, se rompen en dos mitades a flexión y cada mitad se somete al ensayo de resistencia a compresión. El local de ensayo y las condiciones ambientales son las mismas que las empleadas en los ensayos físicos del cemento. El método de cálculo expone los pasos para determinar ambas resistencias.

Tabla 11. Resultados del cemento a flexión.

Lote	Muestras	Carga aplicada en (Kn)	Resistencia a la flexión en (MPa)	X(MEDIA)
3 días	1	30	7	7.8
	2	40	9.400	
	3	30	7.00	
7 días	1	34	7.969	8.9
	2	40	9.375	
	3	40	9.375	
28 días	1	40	9.375	9.6
	2	40	9.375	
	3	43	10.375	

Tabla 12. Resultados del cemento a compresión.

Lote	Muestras	Carga aplicada en (Kn)	Resistencia a la compresión en (MPa)	X(MEDIA)
------	----------	------------------------	--------------------------------------	----------

7 días	1	37	22.13	20.33
	2	30	18.75	
	3	32	20.00	
14 días	1	43	26.80	24.8
	2	42	26.25	
	3	34	21.25	
28 días	1	50	31.25	31.88
	2	50	31.25	
	3	53	33.13	

Para definir la dosificación exacta de los agregados de la mezcla de hormigón para la fabricación de los bloques consideramos algunas concepciones primarias, las cuales fueron.

- Se prefijó el volumen de agua inicial, considerando la experiencia de los operarios en la fabricación de los bloques.
- Se prefijó el volumen de cemento inicial, considerando los índices de producción de la planta de bloques.
- Para la sustitución de los áridos por residuos de cloruro de polivinilo (PVC) de la fábrica de plásticos Perfilplast del Ecuador S.A., en las proporciones 25% y 50%, se consideró los volúmenes que ellos añaden a las mezclas, valorando una relación del 50% tanto para el árido fino como para el árido grueso.
- El diseño de la mezcla de hormigón para, se realiza, considerando un volumen de vacío del 2%.

Comenzando a realizar el diseño de los componentes:

- Cantidad de agua definida = 59
- Cantidad de cemento= 120
- Sabiendo el volumen prefijado para el agua y cemento necesarias, se procede mediante la ecuación 1, a determinar los volúmenes necesarios para mezclar las cantidades de áridos y residuos de PVC. Debemos valorar que la suma de los volúmenes absolutos de los materiales es de 1000 L por lo que:

$$V_c + V_{ag} + V_{ar} + V_{vacío} = 1000L \quad (1)$$

Donde:

V_c: volumen de cemento

V_{ag}: volumen de agua

V_{ar}: volumen de áridos (áridos finos y gruesos)

V_{vacíos}: Volumen de poros en litros, se considera que para hormigones normales constituyen el 2%, por el aire atrapado en el proceso de manipulación.

En la ecuación 2 se tiene en cuenta el peso específico del cemento (γ_c)

$$Var = 1000 - \left(\frac{c}{\gamma_c} + V_{ag} + V_{vacío} \right) \quad (2)$$

$$Par \times \left(\frac{\%A+PVC}{\gamma_a} + \frac{\%G}{\gamma_g} \right) = Var \quad (3)$$

Donde:

%A+PVC: Por ciento de arena más residuo de PVC en la mezcla.

%G: Por ciento de grava en la mezcla.

Var: Volumen de los áridos = $801 dm^3$

Par: Peso total de los áridos.

γ_a : Peso específico de la mezcla de arena y escoria= $2.585 g/cm^3$ para la arena y $0.89 g/cm^3$ para el residuo de PVC.

γ_g : Peso específico de la grava= $2.621 g/cm^3$.

Dosificación volumétrica

Como se conocen los pesos específicos de los materiales y el volumen de los áridos, se modifican los porcentajes de las mezclas de los áridos en la ecuación 3 para lograr el peso combinado de cada una.

Se obtuvo una cantidad de áridos de $801 dm^3$, por lo que un 25% de la cantidad de grava corresponde a los desechos plásticos, esto representa $101 dm^3$ y el 75% a la grava que es igual a $300 dm^3$. Lo anterior ratifica que se pudo llegar a la dosificación siguiente:

C= $59 dm^3$; V_{ag}=109L; Grava= $302 dm^3$; PVC= $101 dm^3$ y $409 dm^3$ de polvo de piedra.

Para un 50% de residuos de PVC se realizó el mismo procedimiento, obteniendo como resultado la siguiente dosificación:

C= $59 dm^3$; V_{ag}=101L; Grava= $205 dm^3$; PVC= $203 dm^3$ y $412 dm^3$ de polvo de piedra.

Dosificación gravimétrica

La mezcla patrón de 50% para cada árido quedo con un peso total de los áridos de 2084 kg para 1m^3 de hormigón, dando una dosificación de:

- Cemento = 183 kg
- Agua = 120 L
- Polvo de piedra = 1036 kg
- Grava = 1048 kg

Combinación para sustituir el 25 % del granito:

50% PP y 50% de árido grueso (granito) + PVC, peso total de los áridos=1849 kg.

- Cemento = 183 kg
- Agua = 109 L
- Polvo de piedra = 1057 kg
- Gravito + PVC = 792 kg + 90 kg = 882 kg

Combinación para sustituir el 50 % del granito:

50% PP y 50% de árido grueso (granito)+PVC, peso total de los áridos= 617 kg.

- Cemento = 183 kg
- Agua = 101 L
- Polvo de piedra = 1065 kg
- Gravito + PVC = 537 kg + 181 kg = 718 kg

Ensayos físico-mecánicos realizados a los bloques huecos de hormigón

Los bloques confeccionados con residuos de PVC fueron elaborados en el laboratorio de suelos de la UNESUM, con el aporte en el alquiler de algunos equipos del autor de este trabajo, los que fueron realizados con el objetivo de adquirir conclusiones que propicien la posibilidad de su uso en la construcción, mediante diferentes ensayos, y de esta forma plantear una dosificación correcta para su fabricación.

Fabricación de los bloques.

En el estado experimental fueron planteados tres dosificaciones del árido, incluidos la muestra patrón con 0% de PVC y las dos siguientes dosificaciones en las que sustituyendo en partes los áridos por residuos de PVC y manteniendo el volumen de los sólidos, el primero con 25% de PVC y el segundo con 50% de PVC. Se fabricaron en total 12 bloques, 4 para cada una de las dosificaciones. En su almacenamiento durante 7 días fueron sometidos a hidrotatamiento para luego comenzar con los ensayos, a los 28 días se les realizo los ensayos de dimensión, masa, absorción y compresión.

Los bloques se confeccionaron en la máquina de bloques perteneciente a un privado. Los datos de la máquina se aportan en la Tabla 13.

Tabla 13. Datos de la máquina.

Electricidad	Vibrador	Peso	Producción
3.5 HP trifásica 220 volts	1 HP 2880 RPM	750 kg. - 1100 kg.	400 x 100 x 200 mm, 4 bloques por puesta

Nota: La productividad de la máquina es de 1500 unidades por jornadas de 8 horas.

Los bloques que se fabricaron son categoría A, con dimensiones 400 x 100 x 200mm (bloque de 10 cm) los cuales deben tener las dimensiones según NTE INEN 218.

Ensayos realizados a los bloques huecos de hormigón

Determinación de las dimensiones

Para la evaluación de las dimensiones en los bloques se empleó un pie de rey de una medición máxima de 52 cm. Se inició comprobando la longitud del bloque efectuando 3 mediciones en la cabeza según lo establece la norma, los valores fueron sumados y promediados. Seguidamente se procedió a comprobar el ancho, efectuando mediciones en 3 puntos en la cara superior y en 3 puntos en la cara inferior sumando los valores y promediándolos. Por último, se efectuaron 6 mediciones, en 3 puntos en cada cara lateral para delimitar la altura de igual manera los valores fueron promediados y los resultados se reflejan en la tabla 14.

Al observar los resultados nos percatamos que los valores están sobrepasados en ± 3 mm de lo establecido en la norma, suponiendo que sea un desperfecto de la maquina por los años de explotación.

Tabla 14. Resultados de las mediciones a las muestras de bloques.

Lote	Dimensiones	Muestras			Sumatoria	X (Media)
		1	2	3		
Patrón	Largo (mm)	403	403	401	1207	402.3
	Base (mm)	105	105	104	314	104.7
	Altura (mm)	202	202	204	608	202.7
PVC 25 %	Largo (mm)	401	399	399	1199	399.7
	Base (mm)	104	103	102	309	103.7

	Altura (mm)	202	197	200	599	202.7
PVC 50 %	Largo (mm)	399	399	401	1199	400.3
	Base (mm)	102	103	104	309	103
	Altura (mm)	201	202	201	604	200

Determinación del peso:

A continuación, se muestran los valores del ensayo del pesaje pertenecientes a las diferentes muestras de bloques huecos de hormigón.

Tabla 15. Peso real de los bloques.

Lote	Peso de las Muestras en Kg			Sumatoria	X (Media)
	1	2	3		
Patrón	12.64	12.50	12.41	37.45	12.48
PVC 25 %	11.36	11.63	11.74	34.73	11.57
PVC 50 %	10.54	10.65	10.7	31.89	10.63

Al analizar los resultados del pesaje podemos afirmar que los bloques con PVC son más ligeros que el patrón.

Determinación de la absorción:

El procedimiento para este ensayo consiste en colocar los bloques enteros o las porciones de bloques en la estufa (en este caso el bloque entero) y estas son secadas hasta una masa constante. Cuando se termina este proceso los bloques son pesados y colocados en un estanque lleno de agua de modo que los cubra totalmente. Se dejan sumergidos en reposo durante 24 horas y posteriormente se extrae, el agua superficial es eliminada con un paño húmedo secándolas hasta que pierdan el brillo y cuidando de no exponer las muestras al sol durante este proceso. Luego se pesan en una balanza determinando así su masa húmeda. La diferencia de estas masas divididas por la masa seca de cada uno de ellos y multiplicadas por 100 nos dará el por ciento de absorción de los mismos. Los resultados se comparan con el valor máximo del 15 % recomendado por NTE INEN 218.

Tabla 16. Resultados del % de absorción de los bloques.

	Muestras	Peso seco (Kg)	Peso saturado (Kg)	% de absorción
Patrón	1	12.64	13.192	4.4

	2	12.50	13.025	4.2
	3	12.41	12.863	3.6
PVC 25%	1	11.36	12.026	5.8
	2	11.63	12.093	3.9
	3	11.74	12.264	4.5
PVC 50%	1	10.54	11.000	4.4
	2	10.65	11.102	4.2
	3	10.7	11.212	4.8

Al compararlos resultados obtenidos se resume que los bloques con 25% de PVC superan en absorción a los bloques con 50 % de PVC.

Determinación de la resistencia a compresión

Según la norma específica que este método se establece para determinar la resistencia media a la compresión de los bloques. Y cada bloque que constituye la muestra de ensayo es sometido a una carga de compresión en el sentido longitudinal de los huecos hasta la rotura determinándose la resistencia a la compresión promedio según recomienda la NTE INEN 218, la misma norma fija los valores mínimos y establece los siguientes requisitos de compresión para bloques huecos de hormigón. Luego de seguir los procedimientos normados por la NTE INEN 218 se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 17. Resultados de los ensayos de resistencia a compresión

Lote	Resistencia a compresión	Muestras			Sumatoria	X (Media)	Según NTE INEM 640 para bloques tipo D
Patrón	Carga aplicada (Kn)	1	2	3	587	195.67	-
		182	218	187			
	Área bruta (cm ²)	423.15	423.15	417.04	1263.34	421.11	-
	Resistencia (MPa)	4.30	5.15	4.48	13.93	4.64	2.5
PVC 25%	Carga aplicada (Kn)	225	150	212	587	195.67	-
	Área bruta (cm ²)	417.04	410.97	406.98	1234,99	411,66	-
	Resistencia (MPa)	5,39	3,65	5,21	14,25	4,75	2.5
PVC 50%	Carga aplicada (Kn)	175	188	123	486	162	-
	Área bruta	406.98	410.97	417.04	1234,99	411,66	-

	(cm ²)						
	Resistencia (MPa)	4,29	4,57	2,95	11,81	3,94	2.5

Al analizar los resultados obtenidos del ensayo se compara con lo que exige la norma NTE INEN 218 a los 28 días obteniendo resultados positivos ya que todas las muestras superan la resistencia mínima a compresión para bloques tipo D, en el caso de la sustitución por un 25% observamos que es posible su utilización en bloques tipo C.

Conclusiones

Al analizar el comportamiento de los desechos plásticos de la Fabrica Plásticos Perfilplast del Ecuador S.A, tratados como árido grueso, se verifico que, al compararlos con las normas vigentes, es similar al de los áridos naturales debido a que tienen una granulometría continua y no presentan partículas de arcilla.

Los residuos de PVC y el árido grueso de fracción 3/8 podrían mezclarse en cualquier proporción, debido a que cumplen con las especificaciones de la norma INEN 152, 490 y 1548 y al mezclarlos serán conforme respecto a la granulometría. (es loable significar que la norma NTE INEN 1548 ha sido reemplazado por NTE INEN 152).

En la sustitución al árido grueso se proponen dosificaciones con un 25% y un 50% de residuos de PVC. Con las muestras de bloques ensayadas a compresión a los 28 días, se obtuvieron resistencias superiores a las normadas para bloques tipo C, en la del 25% y a las del tipo D en la de un 50%.

Con la implementación de los desechos de PVC en la producción de bloques, se logra reducir la cantidad de áridos y se podría contribuir a disminuir el impacto negativo al medio ambiente.

Referencias

- Alarcón, A. A. (2018). Utilización de fibra sintética provenientes de desechos de la construcción para la elaboración de hormigones utilizados en la fabricación de cierros perimetrales. Obtenido de <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3358>
- Díaz, A. E., & Hernández, A. L. (2018). Ensayo de dosificaciones para bloques, ladrillos y contrapisos de hormigón con desechos plásticos y finos de perlitas. Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente, 22. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/108104>
- García, S., Bracho, N., & López, G. (2017). Estudio del efecto de la adición de residuos plasticos en la fabricacion de bloques huecos de concreto. La Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, RLMM, S7, 55-59. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler>

[&jrnl=02556952&AN=124782868&h=2pAsTdivC7fLzyj%2FOhMSH5ikcRAhtLpgdMYL2DrhOA3Xv0L1b2ilPUcZY%2BaUC%2FB%2BgYTemQvV7AFIPpx8Yw%2B%2Bsw%3D%3D&crl=c](https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12352)

Herrera, L. A. (2017). Facultad de Ingeniería, Departamento de Construcciones.

Jeffrey, F. A. (2017). Evaluación de las proporciones del residuo PVC de tapicería sobre la resistencia a la compresión, flexión, asentamiento y costos en un concreto para pavimento rígido, Trujillo - La Libertad. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12352>

Lenin, C., Maibeth, J., Víctor, Z., & Jhonny, M. (2017). Fabricación de bloques huecos de concretos con mezclas poliméricas a base de policloruro de vinilo (pvc) y poliestireno (ps) reciclado. Ingeniería y Sociedad UC, 12(1), 23-30.

Mercante, I., Ojeda, J., Alejandrino, C., & Chini, J. (2017). Hormigón con Agregados de Plástico Reciclado. Memorias VII Simposio Iberoamericano Ingeniería de Residuos, 136-141.

Moraleda, A. (22 de Marzo de 2020). Así debes Tirar a la Basura las Mascarillas y Guantes para el coronavirus. El Español.

Rodriguez Pineda, V. L. (2021). El Uso indiscriminado de Plástico Contamina al Medio Ambiente y Vulnera los Derechos de la Naturaleza. Loja.

Treat, J., Williams, T. R., & Geyer, R. (2018). Impacto del Abandono del Plástico en la Naturaleza. California: Universidad de California.

