

Innovación para construcción sostenible: estudio piloto de concreto modificado con plástico reciclado

Innovation for sustainable construction: pilot study of concrete modified with recycled plastic

Gerardo Antonio Pérez Montoya* 

Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, UNITEC, Tegucigalpa, Honduras

Resumen / Introducción. El concreto es un producto esencial para la industria de la construcción. El proceso de fabricación consiste en la mezcla de cemento, arena, grava y agua. El objetivo del estudio fue evaluar la resistencia del concreto modificando su mezcla y sustituyendo la grava con el plástico reciclado. **Métodos.** El estudio fue descriptivo. Las probetas de concreto fueron elaboradas y comparadas mediante la resistencia a la compresión. Se realizaron tres muestras, siendo el cilindro de referencia el conformado por una mezcla de concreto convencional, es decir, cemento, arena y grava. Las dos probetas restantes se elaboraron sustituyendo la grava por plástico reciclado, las cuales su resistencia a la compresión fue comparada con la mezcla sin modificación. **Resultados.** La resistencia a la compresión del concreto y el peso volumétrico de la mezcla disminuyeron a medida que se incrementó el porcentaje de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés), el cual sustituyó la grava. **Conclusión.** Los resultados sugieren que la sustitución de grava por plástico en las tres muestras reduce las propiedades del concreto en términos de resistencia y peso. Se necesitan más investigaciones para comprender completamente los efectos de la adición de HDPE al concreto y encontrar formas de mitigar cualquier impacto negativo en sus propiedades. **Palabras Clave** Hormigón, Plásticos, Materiales de construcción, Reciclaje de basuras

Abstract / Introduction. Concrete is an essential product for the construction industry. The manufacturing process consists of mixing cement, sand, gravel and water. The study aim was to evaluate the concrete resistance by modifying its mixture and replacing the gravel with recycled plastic. **Methods.** The study was descriptive. The concrete specimens were prepared and compared using compressive strength. Three samples were made, the reference cylinder being the one made up of a conventional concrete mixture, i.e., cement, sand and gravel. The remaining two specimens were made by replacing the gravel with recycled plastic, whose compressive strength was compared with the mixture without modification. **Results.** The concrete compressive strength and the mixture volumetric weight decreased as there was an increase in the percentage of high-density polyethylene (HDPE), which replaced the gravel. **Conclusion.** The results suggest that replacing gravel with plastic in the three samples reduces the properties of the concrete in terms of strength and weight. More research is needed to fully understand the effects of adding HDPE to concrete and find ways to mitigate any negative impacts on its properties. **Keywords** Building materials, Concrete, Plastics, Waste recycling

Recepción: 21 enero 2024 / Aceptación: 11 abril 2024 / Publicación: 30 junio 2024

Cita: Pérez Montoya, G. A. (2024). Innovación para construcción sostenible: estudio piloto de concreto modificado con plástico reciclado. *Innovare Revista de ciencia y tecnología*, 13(1), 2-7. <https://doi.org/10.69845/innovare.v13i1.332>

INTRODUCCIÓN

La inclusión de materiales plásticos reciclados en la composición del concreto puede resultar en una mejor manejabilidad, durabilidad y sostenibilidad del material. Esto se alinea a las nuevas tendencias en el diseño de mezclas de concreto (López-Yépez et al., 2020). Además, la integración de plásticos reciclados en la mezcla puede contribuir a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas con su producción (Domínguez del Águila et al., 2021).

Esto genera un impacto favorable en términos de sostenibilidad al disminuir la huella ambiental de los desechos sólidos y fomentar la economía circular (Arbelaez-Perez et al., 2020). La relevancia de la economía circular y

la evaluación del ciclo de vida en la gestión de los residuos plásticos se ha documentado como enfoques esenciales, para reducir los impactos ambientales derivados de su utilización (Portilla-Jiménez, 2022). El empleo de plásticos reciclados en diversas aplicaciones industriales, incluida la construcción, es una estrategia sostenible asociada al uso de dicho material (Solis-Campos y Santa Ana Lozada, 2022).

El plástico es un material con larga vida útil y tiene un gran impacto ambiental. Cuando se introduce en los entornos marinos, el proceso de descomposición de los objetos plásticos puede extenderse durante décadas e incluso varios siglos (Greenpeace, 2024). Además, se ha observado que la degradación natural del plástico por sí misma, podría no constituir una solución integral para abordar la problemática de la contaminación plástica (Díaz Vega, 2021). Existen

empresas latinoamericanas promotoras de la construcción ecológica que se dedican al diseño y fabricación de maquinaria, como Gracomaq, que vende maquinaria para la producción de bloques de concreto ecológicos, los cuales incluyen plástico triturado en la mezcla (Gracomaq, 2017).

En Honduras, se han emprendido iniciativas significativas en la utilización de desechos plásticos, como materiales de construcción. La Isla de Utila es pionera en la implementación de la primera calle construida con plástico reciclado en Honduras (Argueta, 2017). Este ejemplo resalta la viabilidad y la factibilidad de adoptar el plástico reciclado, como una alternativa efectiva en la industria de la construcción. Con la gestión de la alcaldía de dicha isla, se han construido dos vías fundamentales llamadas la calle Holland y la calle Lozano. Estas calles han sido construidas mediante un enfoque innovador, empleando una mezcla de botellas de plástico trituradas combinadas con cemento.

Este proyecto pionero no solo ha destacado por su creatividad, sino que también ha abordado de manera efectiva la reutilización de materiales plásticos, con la contribución a la sostenibilidad ambiental por medio de una solución práctica que mejora la infraestructura vial local. Este enfoque representa un ejemplo tangible de cómo la innovación en la construcción puede alinearse con la responsabilidad ambiental y la mejora de la calidad de las infraestructuras locales (Honduras Tips, 2019).

El concreto es el material de construcción más comúnmente utilizado. Este material se produce típicamente mediante la combinación del cemento Portland con arena, grava triturada y agua (Metha y Monteiro, 1998). La facilidad de obtener los componentes por separado permite el reemplazo de los materiales y el estudio de las propiedades de la mezcla resultante. El cemento desempeña un papel de suma importancia e incide de manera crucial en la definición de las propiedades de la mezcla final (Sultan et al., 2023). Es un polvo fino compuesto principalmente por silicatos de calcio que, al combinarse con agua, se mezcla, fragua y endurece a temperatura ambiente (Sanjuán Barbudo y ChinChón Yepes, 2014).

La calidad del agua utilizada en el mezclado del concreto afecta significativamente las propiedades de la mezcla resultante. La relación agua-cemento del concreto se ha considerado constante en las mezclas de concreto tradicionales para ganar alta resistencia y durabilidad, con la importancia de esta relación en el desempeño del concreto (Rahmani et al., 2018). Además, se ha descubierto que la presencia de impurezas en el agua, como las propiedades ácidas, tiene un impacto significativo en la variabilidad reológica, mineralógica y la resistencia del concreto, lo que indica la necesidad de prestar atención a la calidad del agua en la mezcla del concreto (Awoyera et al., 2020).

En general, la elección del tipo de agua, la calidad y la relación agua-cemento son factores críticos que influyen en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad de las mezclas de concreto. La American Society for Testing and Materials (ASTM), en su norma D2488, establece las propiedades de los agregados fino y grueso, específicamente arena y grava. Las partículas de roca que pasan entre el tamiz número 4 y es retenido en el Tamiz número 200 son consideradas arena

y las partículas que pasan el tamiz de 3 pulgadas y son retenidas en el tamiz número 4 son clasificadas como grava (ASTM D2488-09a, 2017). En el caso del plástico, se utiliza el polietileno de alta densidad o high-density polyethylene (HDPE por sus siglas en inglés) de forma molida, seca y libre de cualquier partícula de metal. Su tamaño máximo es de media pulgada (REPLASTH, 2022). Las partículas de plástico no pueden considerarse dentro del rango del tamaño de la arena por lo que este material sustituye en volumen la cantidad de grava.

El uso de plástico reciclado en mezclas de concreto representa una innovación significativa en la industria de la construcción, orientada hacia prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. La incorporación de este material reciclado no solo aborda la problemática de la gestión de residuos plásticos, sino que también presenta beneficios potenciales en términos de rendimiento del concreto y sostenibilidad a largo plazo.

El objetivo de este estudio fue la evaluación de las propiedades mecánicas de tres variantes de mezclas de concreto. La primera correspondió al concreto convencional, mientras que las otras dos implicaron modificaciones significativas al reemplazar el 50% y el 100% de los agregados gruesos por plástico reciclado. Esta evaluación se llevó a cabo mediante pruebas de laboratorio, siguiendo las pautas y normativas establecidas por la ASTM.

MÉTODOS

Peso volumétrico

El peso volumétrico de los materiales es una consideración importante en la industria de la construcción. Esta unidad de medida se refiere a la cantidad de espacio que ocupa un material en relación con su peso (ASTM C29/C29M-16, 2017). Los distintos materiales de construcción tienen pesos volumétricos diferentes. Por ejemplo, los materiales ligeros, como la espuma aislante, tienen pesos volumétricos más bajos, lo que significa que ocupan más espacio para un peso determinado. Por otro lado, los materiales densos como el concreto o el acero tienen pesos volumétricos más altos, lo que significa que requieren menos espacio para un peso determinado. Según la norma ASTM C29, el peso volumétrico se calcula dividiendo la masa de agregado entre el volumen del recipiente (Tabla 1) (ASTM C29/C29M-16, 2017).

Probetas de concreto

La norma ASTM C31 establece los procedimientos para la preparación y curado de probetas de concreto. Este procedimiento involucra la construcción de especímenes de concreto que fueron sometidos a diversas pruebas, con el fin de evaluar las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a la compresión, durabilidad y otras propiedades (ASTM C31/C31M-19, 2020). Al finalizar la mezcla, se colocó en un molde cilíndrico de seis pulgadas de diámetro, 12 pulgadas de altura y un volumen de 0.20 pies cúbicos.

Tabla 1. Peso volumétrico de los agregados.

| Descripción | Peso volumétrico (Lb/ft ³) |
|-------------------------------------|--|
| Grava | 84.50 |
| Arena | 83.00 |
| Polietileno de Alta Densidad (HDPE) | 34.00 |

Comúnmente, el molde suele ser de acero o plástico. Se limpió y lubricó cuidadosamente antes de cada uso para evitar que la probeta se pegara al molde. Seguidamente, la muestra fue vertida en el contenedor, compactada con una mesa vibradora o un vibrador manual para eliminar cualquier burbuja de aire atrapada y garantizar que el concreto se distribuyera uniformemente por todo el molde (Karisma et al., 2022). La fase de curado de especímenes de concreto constituyó un procedimiento esencial destinado a asegurar el desarrollo adecuado de sus propiedades. Las probetas de concreto, comúnmente conformadas en configuraciones cilíndricas o cúbicas, fueron moldeadas inicial y posteriormente sometidas a un proceso de curado que implicó mantenerlas en condiciones específicas de humedad y temperatura durante un período predeterminado de 28 días. Esto con el fin de permitir que el concreto alcanzara la resistencia deseada (Park et al., 2015).

El etiquetado de probetas de concreto contribuyó a la integridad y a la trazabilidad de los datos generados en pruebas de laboratorio. El etiquetado preciso y duradero facilitó un análisis más profundo de las propiedades en el contexto de la investigación. Las probetas de concreto se rotularon con la fecha en la cual el cilindro fue ingresado al proceso de curado. Además, se agregaron propiedades especiales. Para efectos de este estudio, se añadió información en relación al porcentaje de plástico contenido en el cilindro.

Mezcla de concreto

La mezcla de concreto M25 es una designación común en la industria de la construcción y representa una proporción específica de ingredientes para obtener una resistencia característica especificada. La notación "M25" indica una resistencia característica del concreto de 25 megapascuales (MPa) (3,600 psi) a 28 días de curado, con una relación volumétrica de cemento-arena-grava equivalente a 1:1:2 (Tabla 2) (Bhavani et al., 2018). Por cada mezcla producida, se realizó una prueba de esfuerzo a compresión. La selección de la mezcla se basó en su simplicidad y en la conveniencia, para su uso en la construcción (Tabla 3). En Honduras, la mayoría de los concretos preparados in situ siguen relaciones volumétricas de materiales preestablecidas y similares a la propuesta (ARGOS, 2022).

Tabla 2. Cantidades volumétricas para un pie cúbico de la mezcla propuesta M25.

| Descripción | Cemento (bolsa) | Arena (bolsa) | Grava (bolsa) | Plástico (bolsa) |
|-------------|-----------------|---------------|---------------|------------------|
| Mezcla M25 | 1 | 1 | 2 | - |

Tabla 3. Cantidades volumétricas para 0.20 pies cúbicos de mezcla M25.

| Descripción | Cemento (bolsa) | Arena (bolsa) | Grava (bolsa) | Plástico (bolsa) |
|--|-----------------|---------------|---------------|------------------|
| Mezcla sin modificación | 0.21 | 0.21 | 0.42 | - |
| Mezcla modificada con 50% de plástico | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| Mezcla modificada con 100% de plástico | 0.21 | 0.21 | - | 0.42 |

*Volumen de la probeta cilíndrica de 6" de diámetro y 12" de altura.

Ensayo de resistencia a la compresión

El "Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto" mide la capacidad del concreto para soportar la compresión antes de que falle (ASTM C39/C39M-20, 2021). Esto garantiza que el concreto utilizado en la construcción cumpla las normas exigidas y sea lo suficientemente resistente, para soportar la carga prevista. El ensayo se realiza aplicando una carga controlada a una probeta cilíndrica o cúbica de concreto. Consiste en someter la probeta a una presión gradualmente creciente, hasta que alcanza su resistencia máxima a la compresión y registre la carga máxima que la probeta puede soportar sin fallar.

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto se utilizan para evaluar su calidad y proporcionan información sobre la integridad estructural e idoneidad para el uso en proyectos de construcción. Además de evaluar la calidad del concreto, el ensayo de resistencia a la compresión ayuda a optimizar el diseño y las proporciones de la mezcla de concreto. Es necesario realizar varias pruebas con distintas proporciones de mezcla.

En este procedimiento, se utilizaron especímenes cilíndricos de concreto de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura que fueron preparados y curados de acuerdo con estándares específicos. Estos especímenes fueron sometidos a cargas de compresión axial controladas con el apoyo de la máquina de compresión Humboldt, hasta que se produjo la falla. La determinación de la resistencia a la compresión de un espécimen se llevó a cabo calculando el cociente de la carga máxima que dicha probeta fue capaz de soportar y el área de la sección transversal del cilindro.

RESULTADOS

La comparación de los tres cilindros de concreto se muestra en la Tabla 4. Los cilindros de concreto se realizaron con los volúmenes definidos (Tabla 3). Se utilizaron materiales convencionales como cemento Portland, arena y grava. Asimismo, se utilizó polietileno de alta densidad reciclado, molido, seco y libre de cualquier partícula de metal, con un tamaño máximo de partículas de media pulgada. En la mezcla de concreto sin modificación, se observó una marcada reducción de 138 hasta 89 libras por

pie cúbico en la densidad. Además, hubo una disminución en la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto modificadas, particularmente en la composición, la cual se sustituyó el 100% de los agregados gruesos por plástico. La diferencia fue de 3,172.5 libras por pulgada cuadrada, con relación a la mezcla estándar (Figura 1).

Tabla 4. Datos finales de la resistencia a la compresión para las muestras de concreto.

| Descripción | Peso volumétrico (lb/ft ³) | Resistencia a la compresión (lb/pulg ²) |
|--|--|---|
| Mezcla sin modificación 0% de plástico y 100% grava | 138.00 | 3,896.8 |
| Mezcla modificada con 50% de plástico y 50% grava | 111.50 | 1,738.3 |
| Mezcla modificada con 100% de plástico y 0% de grava | 89.00 | 724.3 |

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Este estudio analizó el impacto en las propiedades del concreto M25 de la sustitución parcial y total del agregado grueso por plástico reciclado. Se evaluaron tres mezclas con diferentes porcentajes de HDPE y grava, con medición de su peso volumétrico y resistencia a la compresión. Los resultados mostraron una reducción en ambas propiedades en las mezclas con HDPE, la cual se intensificó al aumentar el porcentaje de plástico reciclado.

Para garantizar la consistencia de las mezclas, todos los ingredientes fueron medidos con el mismo recipiente. Esto aseguró las cantidades volumétricas establecidas. Las proporciones de 0, 50 y 100% fueron seleccionadas para determinar si fue posible una sustitución total o al menos una sustitución de la mitad de la cantidad de grava contenida en la mezcla.

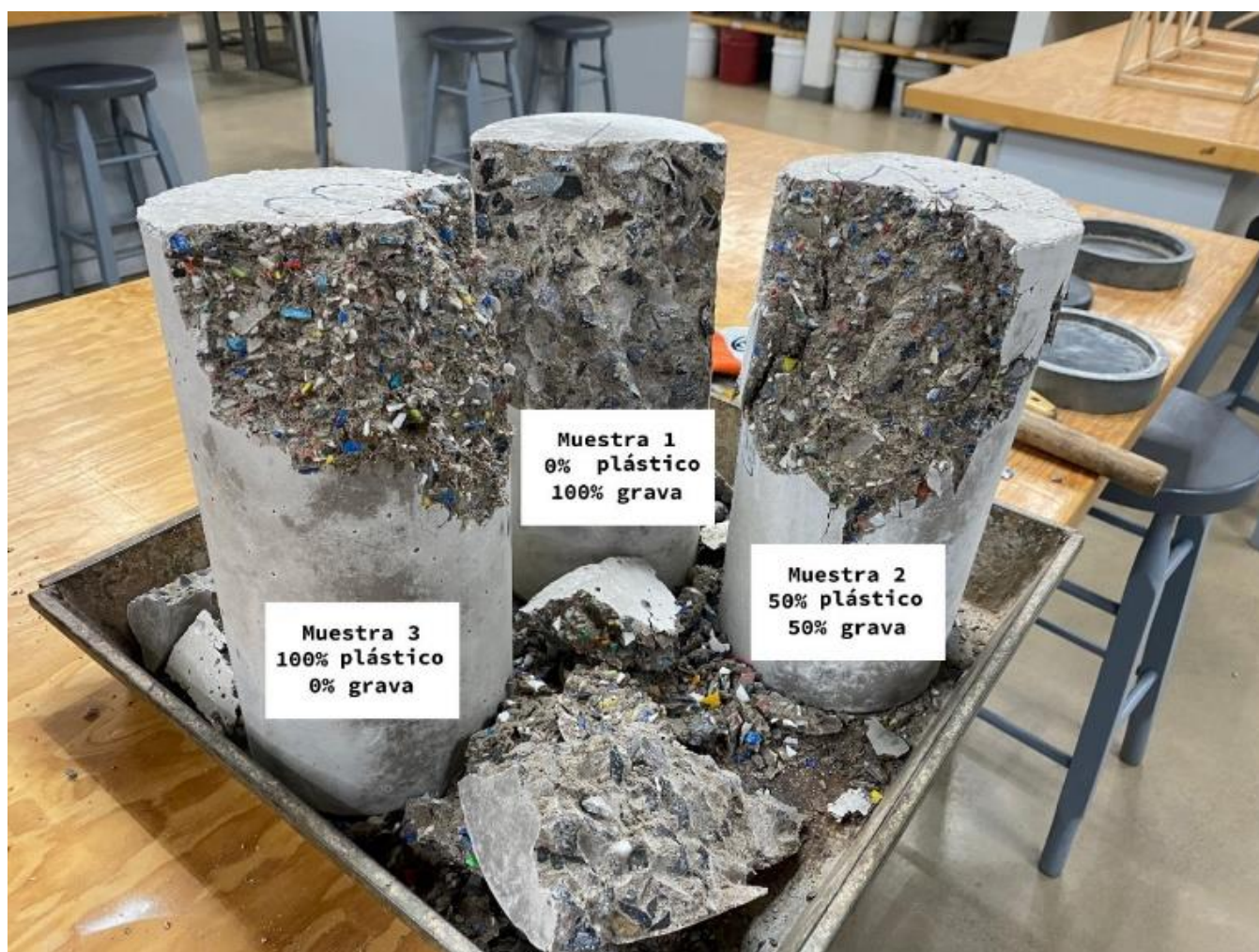


Figura 1. Probetas de concreto. Mezclas de concreto después de la realización del ensayo de resistencia a la compresión. Elaboración propia.

La reducción en el peso volumétrico se puede atribuir a la disminución de la densidad de los materiales al incorporar el plástico, lo cual afecta directamente la masa del concreto (Babafemi et al., 2018). Además, la utilización de una gran cantidad de residuos plásticos puede provocar una disminución en otras propiedades de gran importancia del concreto, como la adherencia al cemento (Usman et al., 2018).

La resistencia a la compresión del concreto es una característica fundamental sobre el cual se diseñan los elementos estructurales de una edificación. Por lo tanto, es necesario conocer el impacto del plástico reciclado como componente de la mezcla de concreto. Estudios similares muestran resultados comparables a los obtenidos en este estudio. Se ha observado que en las mezclas de concreto donde el plástico sustituye a la arena, las resistencias a la compresión disminuyen significativamente en comparación con la mezcla convencional (Pérez Villarraga y Molano González, 2020). Por lo que, a mayor cantidad de plástico reciclado incluido en la mezcla, mayor será la reducción de la resistencia del concreto.

Cabe destacar que, en casos específicos, las mezclas de concreto que incorporan porcentajes de sustitución de agregados gruesos iguales o inferiores al 30% han manifestado niveles de resistencia a la compresión con inmediata aplicación. Esto mantiene un equilibrio de sostenibilidad, sin comprometer de forma sustancial su resistencia a la compresión. Por ejemplo, en la Isla de Utila en Honduras, se utilizó mezclas de concreto con un porcentaje del 28% de plástico reciclado en la construcción de las calles Holland y Lozano, con una longitud de 180 y 390 metros respectivamente (Estrada, 2019).

En este estudio, la mezcla de concreto en la cual el 50% del agregado grueso se reemplazó con plástico reciclado tuvo una resistencia a la compresión de 1738.3 psi. Este resultado se asemeja al estudio realizado por Al-manaseer (1997), donde los agregados gruesos fueron reemplazados en cantidades de 10, 30 y 50% y se obtuvieron resistencias a la compresión que oscilaron entre 7000 y 2800 psi (Al-manaseer y Dalal, 1997). En Honduras, hay otros estudios similares sobre el concreto modificado con fibras de plástico reciclado y aditivo superplastificante. Por ejemplo, un estudio encontró propiedades mecánicas de como la resistencia a la compresión del concreto sufre una reducción con relación a la mezcla básica de control sin modificación (García, 2019).

Conclusión

La adición de plástico reciclado en las mezclas de concreto a sustitución de grava disminuyó la resistencia a la compresión en las probetas creadas. Se recomienda utilizar las mezclas de concreto modificadas con plástico en elementos no estructurales. En otras palabras, son ideales para elementos que soportan poco peso y tienen una función más estética como ser cimientos para postes de vallas, aceras, ciclovías, bordillos de estacionamiento, escaleras, bancos y mobiliario urbano. De esta manera, se aprovecha el

plástico reciclado como sustituto de la grava, lo que reduce el impacto ambiental de su acumulación.

La aplicación de materiales reciclados como el plástico en la construcción es un tema de creciente interés, ya que busca abordar la problemática de la gestión de residuos plásticos y la necesidad de desarrollar materiales y técnicas de construcción más sostenibles. Sin embargo, todavía existen oportunidades para la innovación, por lo que se sugiere, más investigaciones sobre mezclas modificadas con plástico reciclado.

Conflictos de interés

El autor declara no tener ningún conflicto de interés.

Aprobación ética

Exenta.

Financiamiento

Estudio financiado por el autor y Universidad Tecnológica Centroamericana.

Reconocimientos

Al Ingeniero Marco Tulio Canales, Decano de la Facultad de Ingeniería, al Ingeniero José Menelio Bardales, Jefe Académico de la Carrera de Ingeniería Civil y al Ingeniero Juan Carlos Reyes, Coordinador Técnico del Laboratorio de Ingeniería Civil, por el apoyo en el desarrollo de los ensayos de laboratorio requeridos para este estudio.

REFERENCIAS

- Al-manaseer, A. A. y Dalal, T. R. (1997). Concrete containing plastic aggregates. *Concrete International*, 19(8), 47-52.
- Arbelaez-Perez, O. F., Venites-Mosquera, J. F., Córdoba-Palacios, Y. M. y Mena-Ramírez, K. P. (2020). Propiedades mecánicas de concretos modificados con plástico marino reciclado en reemplazo de los agregados finos. *Revista Politécnica*, 16(31), 77-84. <https://dx.doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a6>
- ARGOS. (2022). *Esta es la proporción de los materiales para preparar concreto*. <https://honduras.argos.co/maestro-de-obra/esta-es-la-proporcion-de-los-materiales-para-preparar-concreto/>
- Argueta, B. (2017, 11 de agosto). *Utila posee la primera calle de plástico reciclado en Honduras*. *Tiempo*. <https://tiempo.hn/utila-calle-plastico-reciclado-honduras/>
- ASTM C29/C29M-16. (2017, 16 de febrero). *Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate*. ASTM International. https://www.astm.org/c0029_c0029m-16.html
- ASTM C31/C31M-19. (2020, 31 de enero). *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field*. ASTM International. https://www.astm.org/c0031_c0031m-19.html
- ASTM C39/C39M-20. (2021, 9 de marzo). *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International. https://www.astm.org/c0039_c0039m-20.html
- ASTM D2488-09a. (2017, 18 de agosto). *Standard practice for description and identification of soils (visual-manual*

- procedure*). ASTM International. <https://www.astm.org/d2488-09a.html>
- Awoyera, P. O., Awobayikun, O., Gobinath, R. y Ugwu, E. I. (2020). Rheological, mineralogical and strength variability of concrete due to construction water impurities. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 48, 78-91. <https://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.48.78>
- Babafemi, A. J., Šavija, B., Chandra Paul, S. y Anggraini, V. (2018). Engineering properties of concrete with waste recycled plastic: a review. *Sustainability*, 10(11), 3875. <https://dx.doi.org/10.3390/su10113875>
- Bhavani, B., Raju, C. K. y Zaid, S. T. (2018). Effect on mechanical properties of M25 SCC with variation of Class - F fly ash and GGBS. *International Journal of ChemTech Research*, 11(7), 70-77. <https://dx.doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110709>
- Díaz Vega, R. (2021). El plástico biodegradable en Perú: ¿Una solución o un problema? *South Sustainability*, 2(2), e042. <https://dx.doi.org/10.21142/SS-0202-2021-pb004>
- Domínguez del Águila, D., Paredes Tarazona, M. T. y Hernández Valz, H. M. (2021). Actitud hacia la gestión de residuos sólidos domiciliarios en estudiantes de una universidad privada. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(47), 63-73. <https://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20647>
- Estrada, G. (2019, 21 de abril). *Sacan las botellas del mar en Utila y las usan para asfaltar sus calles*. El Heraldo. <https://www.elheraldo.hn/especiales/periodismodeimpacto/sac-an-las-botellas-del-mar-en-utila-y-las-usan-para-asfaltar-HYEH1275983>
- García Pacheco, N. E. (2019). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto con la introducción de fibras de plástico recicladas*. Universidad Tecnológica Centroamericana. <https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/7371?show=full>
- Gracomaq. (2017). <https://gracomaq.net/web/>
- Greenpeace. (2024). *¿Cómo llega el plástico a los océanos y que sucede entonces?* <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-océanos-y-que-sucede-entonces/>
- Honduras Tips. (2019). *Las calles de plástico en Utila son noticia para el medio digital Intripper de Argentina*. <https://www.hondurastips.hn/2019/04/27/las-calles-de-plastico-en-utila-son-noticia-para-el-medio-digital-intripper-de-argentina/>
- Karisma, D. A., Candra, A. I., Ali, M. K. K., Sari, T. S. y Pertiwi, S. A. P. (2022). The optimum vibration of the compressive strength of concrete specimen. *INERSIA*, 18(2), 217-224. <https://dx.doi.org/10.21831/inersia.v18i2.54522>
- López-Yépez, L. G., Bermúdez, R. A., Uribe-Celiz, S. L., Ospina-Lozano, S. E. y Vázquez-Rodríguez, F. J. (2020). Factibilidad del remplazo de agregados finos reciclados de demolición en las propiedades físicas de concreto estructural. *Ingenierías*, 23(86), 35-48. <https://dx.doi.org/10.29105/ingenierias23.86-5>
- Metha, K. y Monteiro, P. (1998). *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.
- Park, J.-S., Kim, Y. J., Cho, J.-R. y Jeon, S.-J. (2015). Early-age strength of ultra-high performance concrete in various curing conditions. *Materials*, 8(8), 5537-5553. <https://dx.doi.org/10.3390/ma8085261>
- Pérez Villarraga, N. y Molano González, L. M. (2020). *Estudio de plástico reciclado como agregado en la elaboración de concreto con fibras de acero*. Universidad Santo Tomás. <http://hdl.handle.net/11634/31344>
- Portilla-Jiménez, J. G. (2022). Análisis del marco normativo de economía circular en Ecuador orientado al sector de los plásticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 38-47. <https://dx.doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3364>
- Rahmani, K., Rahmazadeh, B. y Piroti, S. (2018). Experimental study of the effect of water-cement ratio on compressive strength, abrasion resistance, porosity and permeability of Nano silica concrete. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 12(44), 16-24. <https://dx.doi.org/10.3221/IGF-ESIS.44.02>
- REPLASTH. (2022). *Reciclaje de plásticos Honduras*. <https://sites.google.com/view/replasth/home>
- Sanjuán Barbudo, M. Á. y ChinChón Yepes, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- Solis-Campos, F. y Santa Ana Lozada, P. R. (2022). PEAD reciclado reforzado por fibra de vidrio. Aplicación en cubiertas. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(Especial2), 126-135. <https://dx.doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial2.8700>
- Sultan, M. A., Jawad, M., Din, S. U., Cheema, S. M. y Mushtaq, A. (2023). Analysis of the chemical compositions of locally branded manufactured cement of Pakistan. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(3), 147-152. <https://dx.doi.org/10.12912/27197050/159729>
- Usman, A., Sutanto, M. H. y Napiah, M. (2018). Effect of recycled plastic in mortar and concrete and the application of gamma irradiation - A review. *E3S Web of Conferences*, 65, 05027. <https://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20186505027>