

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**REVISIÓN LITERARIA DEL USO DE PLÁSTICOS RECICLADOS PARA  
MEZCLAS DE HORMIGÓN**

**Estefanía Carolina Carrión Acosta**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniera Civil

Quito, 06 de mayo de 2023

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**REVISIÓN LITERARIA DEL USO DE PLÁSTICOS RECICLADOS PARA  
MEZCLAS DE HORMIGÓN**

**Estefanía Carolina Carrión Acosta**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Miguel Andrés Guerra, PhD**

Quito, 06 de mayo de 2023

**© DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Estefanía Carolina Carrión Acosta

Código: 00116334

Cédula de identidad: 0604887463

Lugar y fecha: Quito, 06 de mayo de 2023

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

En la construcción, uno de los principales desafíos es utilizar materiales que contribuyan al cuidado ambiental. Los plásticos son un problema a nivel mundial que difícilmente se eliminará, ya que es un material muy versátil y cómodo de utilizar. Sin embargo, es posible utilizar dicho material en la mezcla de hormigón, ya sea como agregado o fibra. Las ventajas de su uso son el reciclaje, la reducción de la explotación de materiales naturales y la mejora en algunas de las propiedades. Para esto, es necesario hacer ensayos y saber que cambia al añadir plásticos reciclados en el hormigón. Esta es una revisión sistemática de documentos de varias revistas científicas internacionales referentes al tema donde se realizó una extensa investigación de los artículos publicados en los últimos 20 años, se tomaron como criterios de inclusión aquellos artículos que trataban sobre las propiedades del hormigón con agregados o fibras plásticas, en cambio los criterios de exclusión fueron documentos que incluían otro tipo de materiales reciclados, libros, artículos de costos y documentos que también eran revisiones. Se discuten los tipos de plásticos utilizados, las distintas propiedades del hormigón con presencia de agregados o fibras plásticas y el porcentaje óptimo de reemplazo. Los resultados muestran que, dependiendo de la cantidad de agregado plástico ocupado en la mezcla como reemplazo parcial del agregado natural, puede mejorar o disminuir las propiedades del hormigón. En cuanto al uso de fibras plásticas, influye el tamaño y tipo de fibra, pero normalmente aumenta la capacidad de carga y cambia la forma en la que se propagan las fisuras, lo que significa que mejora la resistencia a la fisuración. El uso de plásticos reciclados en el hormigón también mejora la conductividad térmica. En cuanto al porcentaje óptimo de reemplazo, depende del tipo de ensayo a realizarse, pero se encuentra entre un 10% - 20%. Esto da luz verde para crear hormigones ecológicos que contribuyan con el medio ambiente.

**Palabras clave:** Plásticos, agregados, fibras, hormigón, reciclaje

## ABSTRACT

In construction, one of the main challenges is to use materials that contribute to environmental care. Plastics are a worldwide problem that is difficult to eliminate, as it is a very versatile and convenient material to use. However, it is possible to use this material in concrete mix, either as aggregate or fiber. The advantages of its use are recycling, reduction of natural material exploitation, and improvement in some properties. For this, it is necessary to conduct tests and know what changes when adding recycled plastics to concrete. This is a systematic review of documents from various international scientific journals related to the topic, where an extensive investigation of articles published in the last 20 years was carried out. Inclusion criteria were those articles that dealt with the properties of concrete with plastic aggregates or fibers, while exclusion criteria were documents that included other types of recycled materials, books, cost articles, and documents that were also reviews. The types of plastics used, the different properties of concrete with plastic aggregates or fibers, and the optimal replacement percentage of plastic are discussed. The results show that, depending on the amount of plastic aggregate used in the mixture as a partial replacement for natural aggregate, it can improve or decrease the properties of concrete. Regarding the use of plastic fibers, the size and type of fiber influence, but it usually increases the load capacity and changes the way cracks propagate, which means that it improves crack resistance. The use of recycled plastics in concrete also improves thermal conductivity. As for the optimal replacement percentage, it depends on the type of test to be performed, but it is between 10% and 20%. This gives the green light to create ecological concretes that contribute to the environment.

**Key words:** Plastic, aggregate, fiber, concrete, recycling

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
DESARROLLO DEL TEMA .....	10
Metodología .....	11
Resultados .....	12
Poliétileno PE .....	15
Poliétileno reticulado (XLPE) .....	16
Poliétileno de baja densidad (LDPE).....	17
Poliétileno de alta densidad (HDPE) .....	18
Policloruro de vinilo (PVC).....	19
E- Plásticos .....	20
Polipropileno .....	22
Polioléfina.....	25
Formaldehído de melamina (MF).....	25
Tereftalato de polietileno (PET).....	28
Discusión.....	31
CONCLUSIONES .....	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de la información encontrada.....	12
--	----

## INTRODUCCIÓN

El plástico es uno de los materiales más utilizados en todo el mundo debido a su versatilidad y facilidad de uso (Sangal, 2018). Su consumo ha crecido considerablemente, y la falta de interés de la mayoría de las personas en reciclarlo, así como la falta de un método eficiente para eliminar sus residuos, representan una gran problemática tanto para el medio ambiente como para la salud. En Ecuador, es muy común ver que la basura plástica es depositada en vertederos a campo abierto, lo que causa lixiviación y daña el suelo, así como las fuentes de agua (*Los Microplásticos También Están Contaminando Nuestros Suelos*, 2018). También es común que muchos quemen su basura en las afueras de las ciudades, lo que produce humos tóxicos para la salud, debido a la gran cantidad de plásticos presentes en la basura. Según estudios de ALIANZA BASURA CERO, una organización encargada de impulsar procesos para un mejor manejo de residuos sólidos (*Nosotros – Alianza Basura Cero Ecuador*, s. f.), en coordinación con la Alianza Global para Alternativas de Incineración (GAIA), desde el año 2018 hasta el año 2022 se han importado alrededor de 48.473 toneladas de desechos plásticos, lo que sitúa al país en el tercer lugar como el receptor de más basura plástica proveniente de Estados Unidos (*Informe-Desechos-plasticos-Alianza-Basura-Cero-Ecuador-2022.pdf*, s. f.).

Estos son valores importantes que deben ser considerados y que señalan la necesidad de soluciones efectivas para el reciclaje y evitar llenar más campos abiertos de basura. Por esto se han estado pensando en posibles soluciones, y una de ellas es utilizar los plásticos de desecho en la construcción, específicamente dentro del hormigón. Varias investigaciones indican que es posible incorporarlos como parte del hormigón. Además, puede mitigar la explotación de recursos naturales no renovables (Ghernouti et al., 2015).



Diferentes estudios mencionan varios plásticos y sus efectos en las propiedades del hormigón. Hasta ahora, se sabe que al utilizar plásticos PET, la densidad del hormigón disminuye y, al utilizar un porcentaje de reemplazo de hasta el 10%, aumenta la resistencia a la compresión, así como el módulo de elasticidad (M. Hossain et al., 2016), (Sambhaji, 2016a). Por otro lado, para pruebas de tenacidad a la fractura y energía de fractura, se observa que agregar PET al 4% en peso mejora estas propiedades (Asdollah-Tabar et al., 2021a). En cambio, el plástico polietileno PE se puede reemplazar por los agregados finos hasta en un 15%, pero este tipo de hormigón no es útil como hormigón estructural porque no soporta cargas altas, sino que es más útil en materiales de pared, techado, entre otros (Sule et al., 2017). Así hay otros tipos de plásticos que se han incorporado al hormigón y que tienen sus características. De manera general, con un porcentaje de reemplazo óptimo, es posible tener un buen rendimiento, tomando en cuenta la importancia de la forma, tamaño y superficie del plástico incorporado, ya sea como agregado o fibra, lo que permite una mejor cohesión entre estos y la pasta de cemento (*Elsevier Enhanced Reader*, s. f.), (Thorneycroft et al., 2018). Con esta premisa, se puede decir que el hormigón puede ayudar a que los plásticos puedan ser reciclados de una manera correcta, sin afectar sus capacidades constructivas ni el uso al que está destinado.

En general, este artículo es un metaanálisis que tiene como objetivo discutir las investigaciones que se han hecho sobre el tema, específicamente las distintas propiedades del hormigón con el plástico como sustituto parcial del agregado natural o como fibra, viendo las ventajas y desventajas de su utilización. Además, se incluye una aproximación de los valores de reemplazo óptimo del material.

## DESARROLLO DEL TEMA

La investigación del uso de plásticos reciclados en la fabricación de hormigón es un paso importante hacia la obtención de materiales sostenibles y amables con el medio ambiente. El uso del plástico de desecho puede reducir la explotación de materiales naturales, como el agregado fino y grueso y con la cantidad correcta, mejorar algunas propiedades del hormigón. Esto incluye la disminución de la cantidad, tamaño y ancho de las grietas que puedan formarse, así como también mejorar la conductividad térmica. Las personas interesadas en fabricar materiales de construcción pueden utilizar esta información para desarrollar productos de hormigón no portante con plástico reciclado, promoviéndolos como una opción ecológica para los consumidores preocupadas por el medio ambiente. Además, esto contribuye a evitar la acumulación de más plástico en lugares no deseados. En general, el uso de plásticos provenientes de material reciclado en la fabricación del hormigón es una idea innovadora y sostenible que contribuye al mundo de la construcción para que este reduzca su impacto ambiental y evite la escasez de material natural, que tarde o temprano se acabará.

A pesar de todos los avances que se han hecho, el plástico sigue siendo indispensable y uno de los materiales más ocupados en la actualidad. Se lo puede utilizar en prácticamente todo; si observamos a nuestro alrededor encontraremos algún plástico, por más pequeño que este sea. Sin embargo, también afecta al medio ambiente por su poca capacidad degenerativa. Por estas razones, existen diferentes estudios que incluyen al residuo plástico en la industria de la construcción, para dar una nueva opción de reciclaje, que si resulta sería innovadora y un gran paso para el medio ambiente. Específicamente se ha intentado introducir al plástico como agregado o fibra en la mezcla para hormigón, se sabe que el hormigón está compuesto de cemento Portland, agregados y agua en distintas proporciones dependiendo del tipo de hormigón que se desea crear, en cuanto sus propiedades, se puede mencionar a la resistencia mecánica, sobre todo a la compresión, en un hormigón normal se encuentra entre los 25 MPa

y 40 MPa superior a eso clasifica a un hormigón de alto rendimiento, también se tiene a la durabilidad, la resistencia al fuego, su capacidad de aislamiento térmico y acústico, resistencia al impacto, porosidad y densidad, aquí mientras más denso sea el hormigón mejor será su rendimiento y durará más, esto se logra con la optimización de sus dimensiones, el tipo, cantidad de agregado y el contenido de agua utilizado (works, 2008). Lo que se busca al investigar la inclusión de plásticos de distinto tipo en el hormigón es ver que tanto afecta las propiedades y si es útil o no en hormigones para construcción, sin embargo lo que se sabe hasta ahora es que con algunos plásticos al ser incluidos como agregados puede afectar sus propiedades mecánicas (Zéhil & Assaad, 2019) pero aun así mantenerse dentro de los rangos aceptables, (İpek et al., 2021) pero como fibras generalmente se tiene mejores resultados, incluso retrasa la propagación de grietas y su ancho (*Evaluations of Strengths, Impact and Energy Capacity of Two-Way Concrete Slabs Incorporating Waste Plastic | Elsevier Enhanced Reader*, s. f.). En general la mayoría de los autores están de acuerdo en que este tipo de hormigones puede ser utilizados en lugares que no se necesiten grandes resistencias.

## **Metodología**

El presente artículo es una búsqueda exhaustiva de distintos estudios relevantes sobre lo que se sabe de los plásticos reciclados en el hormigón. La búsqueda incluyó varios juegos de palabras con palabras clave como “Plásticos añadidos al hormigón”, “Plásticos en el hormigón”, “Plásticos reciclados en el hormigón” y “Hormigón y plásticos reciclados”. Se seleccionaron un total de 187 artículos publicados entre el 2003 y 2023 de los cuales se desecharon 90, quedando un total de 97 artículos válidos para ser utilizados en este documento. Para un mejor orden, se creó una base de datos que incluye el nombre del artículo, año de publicación, autor, universidad del primer autor, país de origen y una breve descripción del contenido. Se los clasificó según el tipo de plástico utilizado y se hizo una subclasificación según las propiedades que sobresalían en la investigación.

Para facilitar el proceso de selección, se siguieron criterios de inclusión y exclusión. Se excluyeron artículos que se encontraban fuera de la línea de tiempo marcada, libros, revisiones, artículos en los cuales los plásticos tenían un pretratamiento químico, si investigan algún otro material aparte del plástico de desecho y los materiales originales de la mezcla de hormigón, como aditivos u otros residuos reciclados, además, no se tomaron en cuenta artículos que no mencionaban el tipo de plástico utilizado en la investigación y aquellos que no eran accesibles por ninguna vía. En cambio, como criterios de inclusión, se tomaron en cuenta aquellos artículos que tenían una conclusión clara y bien estructurada, investigaciones que incluyan pruebas de laboratorio y si tenían un tipo de plástico o plásticos especificados. Este metaanálisis consistió en la lectura de dichos artículos, con un enfoque en el resumen y las conclusiones obtenidas, y reunir esta información en un solo documento de fácil lectura con datos importantes.

## Resultados

Los documentos revisados fueron clasificados en 12 categorías según el tipo de plástico presente en la mezcla de hormigón y en cada una existen subclasificaciones en base a las propiedades más importantes referidas. A continuación, se presenta una tabla con un breve resumen de la información encontrada, posterior a eso se encuentran los resultados de una forma más detallada.

*Tabla 1. Resumen de la información encontrada*

Poliétileno PE	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	El reemplazo de agregados naturales por agregados plásticos de PE es aceptable en un rango del 5% al 15% dependiendo del hormigón que se esté estudiando, por ejemplo, para un hormigón tipo M30 el porcentaje óptimo es del 5% para que las resistencias se mantengan aceptables. También se sabe que el hormigón con agregado plástico tiene un menor grado de erosión al ser sometido a una solución de sulfato de sodio. En cuanto a las fibras hechas de PE se ha encontrado que mejora las resistencias sobre todo la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad aumenta en un 59%, además no afecta la densidad, reduce la absorción y la porosidad
	Propiedades térmicas	El polietileno mejora el aislamiento térmico al reemplazar el agregado grueso entre un 5% - 15% por el agregado plástico

Poliétileno reticulado XLPE	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	Con un reemplazo de hasta el 8% del agregado natural por el agregado plástico de XLPE con dimensiones de 8-16 mm la resistencia a la tracción por flexión y a la compresión disminuyen, además de eso disminuye la porosidad y la absorción del agua. Sin embargo, se puede mitigar la disminución de las resistencias con una eficiente relación agua/cemento
Poliétileno de baja densidad (LDPE)	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	En general para los tipos de hormigones estudiados la resistencia a la compresión y la resistencia a la tensión disminuyen solo con la presencia de agregados de LDPE, pero al incluir en la mezcla fibra de LDPE al 1% mejoran las propiedades. La resistencia a la compresión aumenta en un 5,74% y la resistencia a la tracción un 17,28% con un porcentaje de reemplazo de agregados naturales del 18
Poliétileno de alta densidad (HDPE)	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	Cuando se utiliza agregado plástico de HDPE como reemplazo de la arena en hormigón armado para vigas, incrementa la resistencia a la compresión y mejora los resultados de la carga de primera fisura. En otro tipo de hormigones el reemplazo del agregado natural ocasiona la reducción hasta del 88% en la resistencia a la compresión. En cuanto a las fibras de HDPE varios estudios concuerdan que la inclusión de estas aumenta mínimamente la resistencia a la tracción, sin embargo, la absorción de agua se reduce, así como también la densidad y el peso unitario dado que la presencia de fibras aumenta el contenido de aire en la mezcla
Policloruro de vinilo (PVC)	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	Los estudios sobre hormigones con PVC dicen que la inclusión de agregado plástico como reemplazo del agregado grueso pueden ser de hasta el 20% para que se mantengan en los requisitos de hormigones para ser utilizados en tuéneles, soporte de carreteras entre otros. Por otro lado, el reemplazo óptimo del agregado fino es del 15% para que las resistencias a la compresión y tracción aumenten además de eso hace al hormigón más liviano, dúctil, más resistente a la penetración de cloruro y que tenga una menor contracción por secado
E- plásticos	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	Los resultados sobre el estudio de plásticos obtenidos de material electrónico varían. Hablando del reemplazo del agregado grueso. En hormigones de tipo M25 los reemplazos van del 15% al 30% para mantener las propiedades de este hormigón aceptables, pero la relación agua - cemento es un punto importante para considerar para que la utilización de agregados plásticos funcione. En cambio, para hormigones de tipo M20 y M40, utilizar el 10% y 22% de agregado plástico respectivamente hace que el hormigón pierda mínimamente sus propiedades. Por otro lado, al reemplazar el 20% del agregado fino en hormigones de tipo M20 se obtiene una mejora en la resistencia a la abrasión, pero la resistencia a la compresión y a la tracción menora en un 13,6% y 20,46% respectivamente. En sí, al reemplazar los agregados gruesos se tiene mejores resultados que cuando se reemplaza los agregados finos, pero en cualquier caso el plástico hace que se obtenga poca adherencia entre estos y la pasta de cemento por lo que se puede producir fallas. También hace que el hormigón tenga una mejor capacidad para deformarse, lo que hace que sea útil para lugares en donde el clima sea bastante cambiante y se encuentre en situaciones de expansión y contracción constantes

Polipropileno PP	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	Reemplazar el material fino o grueso hace que las resistencias y la densidad del hormigón mejoren, al sustituir el 10% del agregado fino por polipropileno, la capacidad portante y la adherencia aumentan. Pero las fibras plásticas de polipropileno tienen resultados increíbles, en hormigones de alto rendimiento la resistencia a la compresión aumento un 39,4%, también se tuvo buenos resultado con la resistencia a la flexión y tracción. Utilizando fibras provenientes de mascarillas de un solo uso en un 0,20% se observa una disminución en las microgrietas que se forman en el hormigón. En otro estudio menciona que utilizar fibras al 0,1% también reduce las grietas hasta un 50%, la resistencia a la tensión aumenta un 39% y la resistencia a la compresión disminuye mínimamente.
	Propiedades frescas	El flujo del asentamiento mejora y se reduce la pérdida del asentamiento con un reemplazo del agregado fino, cuando se llega hasta un 30% del reemplazo el hormigón comienza a sangrar (exudación) eso quiere decir que se empieza a formar una película de agua en la superficie del hormigón recién colocado
	Propiedades de fisuración	El tamaño y diámetro de las fibras de polipropileno son importantes y dependiendo de este se obtienen los resultados, las fibras más largas y con menor diámetro son más efectivas para reducir el área y amplitud de las fisuras, las fibras fibriladas previenen la fisuración
Plástico metalizado	Propiedades de fisuración	Se utilizaron distintos largos de fibras MPW en la mezcla de hormigón, la presencia de estas fibras redujo la presencia y propagación de grietas, también hizo que el hormigón tenga mayor deformación a grandes cargas. Los resultados varían dependiendo de la fibra, al incluir 1% de las fibras cortas afectan mínimamente las propiedades del hormigón, las fibras largas contribuyen a la respuesta dúctil del hormigón.
Polioléfina	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	Los resultados de utilizar agregados de PWA ayudan para que el hormigón sea menos denso, tenga más porosidad, pero disminuye sus propiedades mecánicas. Sin embargo, tiene una falla más dúctil bajo la carga a compresión. En cuanto a las fibras, incluir de 3% a 5% en volumen de la mezcla mejora la disipación de la energía posterior a la fisura.
Formaldehido de melamina (MF)	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	El plástico termoestable, en este caso formaldehido de melamina al ser procesado para llegar a una gradación similar a la del agregado fino resulta en grandes mejoras para la resistencia del hormigón. Al reemplazar hasta el 30% del agregado fino la resistencia a la compresión aumenta, posterior a eso la resistencia comienza a disminuir.
Misceláneos	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	El utilizar varios plásticos en la misma mezcla de concreto hace que las distintas resistencias cambien, con porcentajes de reemplazo mínimos hacen que las resistencias disminuyan mínimamente para que se encuentren dentro de los rangos permitidos, pero no quiere decir que se las pueda utilizar en hormigones que necesiten altas resistencias. Por ejemplo, utilizando en la mezcla PET, HDPE Y PP a un 30% mejora la resistencia al impacto. La presencia del PET en estas combinaciones juega un papel muy importante dado que mejora la sorción, aporta para que la unión con la pasta de cemento sea más fuerte y contribuye a que las propiedades mecánicas del hormigón no disminuyan demasiado
	Propiedades térmicas	A partir de la utilización del programa SUNREL se sabe que la mezcla de HDPE, PVC y PP aplicada en edificios mejora la capacidad energética, en los edificios con agregado plástico se utiliza 40% menos de energía de calefacción y refrigeración en comparación a los edificios de hormigón

	Propiedades frescas	Incluir varios plásticos en la mezcla de hormigón llevó a resultados variables dependiendo de la forma del agregado. Agregados de forma angular producen un mejor asentamiento, agregados de forma más redondeada aumenta la trabajabilidad, debido a que existe menor fricción entre los componentes del hormigón.
Tereftalato de polietileno (PE)	Propiedades físicas, mecánicas y durabilidad	El tamaño de las partículas plásticas, su superficie, textura y gradación son importantes para no influir de manera significativa las propiedades mecánicas del hormigón. Utilizar escamas grandes de plástico como reemplazo del agregado fino en un 2% mejora la resistencia a la tracción por flexión y la tracción por división, pero disminuye la resistencia a la compresión. Por otro lado, utilizar PET como agregado grueso en un 10% muestra una mayor resistencia a la compresión, pero la resistencia a la flexión y contracción no se ven afectadas. Reemplazar el agregado grueso puede ser viable para hormigón reforzado, pero no se lo puede utilizar como hormigón estructural. Las fibras PET por otro lado, tuvieron mejores resultados, se encontró que se las puede aplicar en áreas que estén más tensionadas. La resistencia a la flexión aumenta en áreas donde la fibra se limita únicamente a la zona de tensión, además controla el crecimiento de grietas, esto se debe a que las fibras plásticas cooperan para unir todos los materiales y actuar como transporte en el área de fisuras.
	Propiedades de fisuración	El combinar material fino y grueso de plásticos PET aumenta la tenacidad a la fractura. Por si solos el sustituir el agregado grueso por PET tiene mejores resultados en cuanto a la energía de fractura. En cuanto a las fibras, añadir un 4% de estas aumenta un 8,6% la tenacidad a la fractura.
	Propiedades frescas	La forma y superficie son importantes, con una forma redondeada y lisa la trabajabilidad disminuye de manera poco relevante, con un 10% de agregado PET el asentamiento es parecido al de la muestra de control de hormigón normal, pero hay que tomar en cuenta la relación agua-cemento, para una relación constante el asentamiento disminuye.

*Elaborado: Estefanía Carrión*

## **Polietileno PE.**

### ***Propiedades mecánicas, físicas y durabilidad.***

Reemplazar los agregados naturales en la mezcla de hormigones trae distintos resultados, dependiendo de la estructura, forma, tamaño y textura puede afectar su rendimiento (H. Mohammed et al., 2022). Para el reemplazo de agregados finos, en hormigones de tipo M20 la resistencia a la compresión, la densidad, entre otras propiedades son afectadas, pero el utilizar hasta un máximo de 15% de reemplazo hace que estas no disminuyan en grandes proporciones (Sule et al., 2017), en otro estudio el menor cambio producido se da al reemplazar hasta el 10% del material para mantener las propiedades mecánicas aceptables (Ghernouti et al., 2014), para hormigones de tipo M30 el porcentaje óptimo de reemplazo

resulta ser únicamente del 5% (Gopi et al., 2020). En cuanto al deterioro del hormigón, se hizo una investigación el cual somete a las muestras de agregado plástico a una solución de sulfato de sodio para verificar su durabilidad, los resultados mostraron que el efecto de la solución es similar al hormigón normal en la etapa inicial, pero con el tiempo el hormigón con plásticos tuvo un menor grado de erosión (Wu et al., 2022)

Al utilizar fibras de PE como refuerzo del hormigón estructural no se afecta la densidad pero reducen la absorción y la porosidad conforme aumenta la inclusión de fibras plásticas; el autor también dice que este material mejora las propiedades mecánicas, sobre todo la resistencia a la tracción y aumenta ligeramente la resistencia a la compresión, también que el módulo elástico aumentó hasta un 59% y la deformación a carga máxima disminuye hasta un 70%, en cuanto a la dureza, no se observan cambios importantes. La investigación menciona que las fibras de polietileno reciclado tienen potencial para ser utilizadas en las mezclas para hormigón armado. (Sainz-Aja et al., 2022)

### ***Propiedades térmicas.***

Para estas propiedades del hormigón con agregados de polietileno reciclado como reemplazo del agregado grueso, se han reemplazado del 5% al 15% y tienen un efecto positivo en el hormigón ya que mejora el aislamiento térmico, lo que conlleva a múltiples usos beneficiosos para el ambiente. (Akkouri et al., 2022)

### **Polietileno reticulado (XLPE).**

#### ***Propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.***

Las propiedades del hormigón al adherir polietileno reticulado XLPE, la incorporación a la mezcla fue hasta del 8%, se obtiene como resultado que la resistencia a la compresión y a la tracción por flexión disminuye debido a la incorporación de XLPE dado que su resistencia es



menor a la de los agregados naturales, incluso las muestras que contenían XLPE de tamaño entre 8-16mm resultaron tener menor resistencia, también disminuye la porosidad del hormigón, pero se puede mitigar teniendo una eficiente relación agua/cemento para evitar también la disminución de  $f'c$  y  $ft$ . La absorción del agua disminuye dado la poca permeabilidad y absorción del plástico. (Zéhil & Assaad, 2019)

### **Polietileno de baja densidad (LDPE)**

#### *Propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.*

El polietileno de baja densidad al ser utilizado como reemplazo del agregado natural en la mezcla de hormigón tiene resultados variables dependiendo del estudio, para la fabricación de hormigón poroso las diferentes resistencias (compresión, tracción) disminuye debido a la suavidad del plástico y su facilidad para deformarse, pero su resistencia a la abrasión mejora (İpek et al., 2021). En bloques de hormigón para pavimentos usando plástico, denominado HP o LP respectivamente, muestran mejora respecto a los bloques de control, pero la muestra HP fue superior en resistencia a la compresión en un 17 % que los bloques de LP. En cuanto a la absorción de agua, se menciona que los bloques con inclusión de plástico son hidrofóbicos por lo que muestran una menor absorción, pero se encuentran dentro de los rangos permitidos, además la porosidad es menor para los bloques LP fue de 19,22% y para HP fueron de 13,72% (Agyeman et al., 2019). En cuanto a hormigones de tipo M20, al reemplazar el agregado grueso en distintos porcentajes, entre el 6 % y el 30% y como fibra, al 1%, la resistencia a la compresión aumentó un 5,74% con el reemplazo de agregado plástico con fibras, pero disminuyó al sobrepasar el 30% de reemplazo en comparación con la muestra de control. Lo mismo sucede en la resistencia a la tracción. Como un reemplazo óptimo se menciona que puede ser del 18% para no afectar las propiedades del hormigón. (IRJET-V3I4604-libre.pdf, s. f.-a). Uno de los estudios también menciona que la incorporación de

fibras de LDPE al 1% mejora la resistencia a la tracción un 17,28% en comparación con el hormigón de control (*IRJET-V3I4604-libre.pdf*, s. f.-b)

### **Polietileno de alta densidad (HDPE).**

#### ***Propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.***

Hay distintas investigaciones sobre el plástico HDPE (High Density Polyethylene), para hormigones de tipo M20 el porcentaje de reemplazo óptimo de agregado grueso es del 4%, que ofrece una resistencia a la compresión de  $26,1 \text{ N/mm}^2$  (Vanitha et al., 2015). En cuanto al comportamiento de la flexión de vigas de hormigón armado con sustitución de la arena por el plástico, se observa que el porcentaje que tiene mejores prestaciones para incrementar la resistencia a la compresión resulta ser del 5% elevándola en un 30,2%, así mismo, mejoró los resultados de la carga de primera fisura en las vigas e hizo de esta más dúctil, los experimentos muestran que el utilizar plásticos no reducen la deflexión de las vigas, incluso en las zonas de compresión y tensión mejora en un 14,2% la resistencia a la primera fisura (Adnan & Dawood, 2021). En hormigones comunes el reemplazo alto de HDPE ocasiona una disminución en la resistencia a la compresión de un 88% (Belmokaddem et al., 2020), la investigación de Hala también obtuvo los mismos resultados en donde la resistencia a la compresión disminuía al mismo porcentaje en comparación con otros plásticos (Hama, 2022)

La investigación de este material se expande a fibras de HDPE, para las fibras ocupadas como refuerzo en hormigón estructural se las utilizaron en diámetros de 0,25mm y 0,40mm. Los resultados muestran que el uso de fibra plástica no influye en el módulo de elasticidad y en la resistencia a la compresión, pero en la resistencia a la tracción y módulo de ruptura hubo un aumento mínimo del 3 % al 14 %, y las fibras HDPE desarrollan grandes elongaciones antes de superar su resistencia de unión. En cuanto a la absorción de agua en hormigones con fibra añadida se redujo en un rango entre el 35% y 80% en comparación con

el hormigón de control. A diferencia de las fibras comerciales las HDPE recicladas pueden ser extruidas fácilmente del hormigón cuando son sometidas a tensión o deformación, pero aun así los resultados son prometedores (Pešić et al., 2016). En cuanto a hormigones de resistencia baja, media y alta. Los resultados indican que el adherir 5% de HDPE aumenta tanto la resistencia a la compresión como a la tensión. El hormigón de resistencia media ( $f'c10$  MPa) tuvo mejores prestaciones que los demás. La densidad del hormigón se ve un poco afectada por el uso de estas fibras dado que aumenta el contenido de aire, el peso unitario baja. Un hormigón normal pesa aproximadamente  $2400 \text{ kg/m}^3$  y el hormigón con fibra plástica tiene un peso unitario que va de  $930-970 \text{ kg/m}^3$ . La aplicación de las láminas plásticas en el hormigón no se puede utilizar como material de construcción principal (columnas, vigas, etcétera) por la seguridad y resistencia al fuego. (Tamrin & Nurdiana, 2021)

### **Policloruro de vinilo (PVC).**

#### ***Propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.***

En los hormigones que usan PVC como reemplazo parcial de los agregados naturales se ha encontrado que, al sustituir el agregado grueso, las muestras con 30% de PVC resisten la compresión dinámica de  $57,17 \text{ MPa}$ , que es más alta que la resistencia a la compresión estática, y la tasa de absorción de energía bajo carga de impacto aumenta considerablemente con forme aumenta el plástico, tomando el mismo 30% de agregado grueso,  $9,92 \%$  más alta que la muestra de control. Un valor óptimo de reemplazo por plástico fue del 20% porque este cumple con los requisitos para hormigón utilizado en túneles, soporte de carreteras, etcétera, pero para aprovechar todas las propiedades el agregado grueso de PVC no debe superar dicho porcentaje (Hu et al., 2021). En los agregados finos uno de los estudios menciona que el porcentaje óptimo de reemplazo es del 30% el cual mejora las propiedades

del hormigón (A. A. Mohammed et al., 2019), en cambio, otra investigación menciona que el porcentaje óptimo es del 15% para que las resistencias a la compresión y tracción aumenten (Sangal, 2018) dato con el que está de acuerdo la publicación de Kou et. al. aparte de eso menciona que el hormigón preparado con agregado plástico es más liviano, más dúctil, más resistencia a la penetración de cloruro y menor contracción por secado (Kou et al., 2009). El artículo publicado por Kamal et. al dice que el 10% de plástico PVC reemplazado por agregado natural menora en un 66% la resistencia a la compresión, pero que, aun así, puede ser un resultado prometedor para la construcción (Kamal et al., 2021)

## **E- Plásticos.**

### *Propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.*

Los plásticos provenientes de material electrónico también son incluidos en la fila para realizar hormigones ecológicos, existen varios estudios en los cuales se reemplaza parcialmente a los agregados gruesos, en el artículo de Kumar and Baskar, un reemplazo del 50% de material tiene una tasa de reducción del 48% en la resistencia a la compresión y tracción, un porcentaje óptimo encontrado es del 30%, este porcentaje mantiene las propiedades para un hormigón M25 (Senthil Kumar & Baskar, 2015). En otro artículo el porcentaje de reemplazo se reduce hasta el 15% para obtener resultados favorables, a dicho porcentaje la resistencia a la compresión y a la flexión es buena, si se tiene una relación a/c alta, la resistencia a la adherencia disminuye por la falta de unión entre los agregados plásticos y la pasta de cemento, también el peso unitario como su densidad es menor, lo que lo hace un hormigón más ligero cuya aplicación puede ser en lugares en donde se necesiten hormigón ligero no portante (Hamsavathi et al., 2020)

En la investigación de Arivalagan arroja un resultado completamente distinto ya que el porcentaje óptimo de reemplazo en su caso es del 20% con una relación a/c de 0,45, es importante mencionar que a este porcentaje las distintas resistencias no se ven afectadas (S,

2020), pero en el artículo de Ullah et al. que ocupa el mismo porcentaje demuestra que la resistencia a la tracción y compresión disminuye hasta un 32,4% y 17,1% respectivamente, la resistencia a la abrasión mejora en un 46% y la absorción de agua se redujo dado que los plásticos son hidrofóbicos (Z. Ullah et al., 2021) en general la incorporación de plásticos mejoran la durabilidad del concreto (Ahmad et al., 2022)

Para hormigone M20 se menciona que la resistencia a la compresión se incrementa en las muestras con agregado plástico (Needhidasan, Ramesh, et al., 2020), pero para un 10% de reemplazo se observó que las muestras con agregado plástico con la muestra de hormigón tradicional tienen resultados parecidos con una pequeña disminución en la resistencia, en cuanto a la densidad, esta disminuye haciéndolo más liviano (*utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf*, s. f.)

En hormigones de tipo M40 con reemplazos que van del 12% al 22% los resultados muestran que el peso del hormigón disminuye con el reemplazo del plástico, así como la resistencia a la compresión, flexión por tracción y el módulo de ruptura (Mary Treasa Shinu & Needhidasan, 2020). Pero otro artículo menciona que para el mismo tipo de hormigón se ocupó un reemplazo del 22% con un curado a 28 días y los resultados fueron favorecedores dado que la resistencia a la compresión, flexión y tracción por flexión aumentaba con la presencia de plásticos, además reduce el peso unitario u lo hace más liviano (Needhidasan, Vigneshwar, et al., 2020)

Con el reemplazo de agregado fino para hormigones de tipo M20 la resistencia a la abrasión mejora, pero disminuye las resistencias a la compresión y tracción en un 13,6% y 20.46% respectivamente con un reemplazo del 20% (K. Ullah et al., 2022)

Los reemplazos de agregados gruesos tienen un mejor rendimiento que las que se reemplazaron por el agregado fino o eso es lo que se menciona en uno de los artículos, sus resultados mostraron que un porcentaje que va del 20% al 30% junto con una muestra de

control sin plástico. La investigación pone como un mejor rendimiento a las muestras que reemplazaron el agregado grueso por el plástico, en general el utilizar plásticos disminuye el peso unitario, lo que lo hace más liviano y una opción para utilizar esta mezcla para hormigón liviano no portante. Se debe tomar en cuenta que el plástico tiene poca adherencia por lo que las fallas se pueden producir por la poca unión entre estos y la pasta de cemento. En sí, el plástico hace que el hormigón aumente su capacidad para deformarse, lo que hace que sea útil para lugares en donde el clima sea bastante cambiante y se encuentre en situaciones de expansión y contracción constantes (Manjunath, 2016)

### **Polipropileno.**

#### *Propiedades mecánicas, físicas y durabilidad.*

Para el plástico reciclado de polipropileno, en las investigaciones se sustituye el agregado grueso o el agregado fino por el material reciclado, también se adhieren fibras plásticas como refuerzo del hormigón. Al emplear agregados plásticos como reemplazo del material fino se tiene que para un reemplazo del 20% la carga inercial, carga de flexión y el impacto TUP incrementa un 30% (*Experimental and Simulation Study on the Impact Resistance of Concrete to Replace High Amounts of Fine Aggregate with Plastic Waste / Elsevier Enhanced Reader*, s. f.). Por otro lado, el reemplazo óptimo del agregado grueso, en el artículo de Islam et. al fue del 20% mejorando la densidad del hormigón y con el 10% de plástico la adherencia y capacidad portante aumentó (Islam et al., 2022).

En cuanto a las fibras plásticas se utilizaron desechos de diferente origen, mascarillas, tapas plásticas, entre otros. Las fibras plásticas ocupadas en hormigón de alto rendimiento tienen resultados increíbles, dado que mejora las distintas propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión aumentó en un 39,4%, la flexión incrementó un 276% y la tracción un 254,2% (Małek et al., 2020). Al utilizar fibras hechas de mascarillas de un solo uso, se observó que

dio beneficios al hormigón, al utilizar hasta un 0,20% se minimizan las microgrietas formadas, teniendo un hormigón de mejor calidad (*Preliminary Evaluation of the Feasibility of Using Polypropylene Fibres from COVID-19 Single-Use Face Masks to Improve the Mechanical Properties of Concrete | Elsevier Enhanced Reader*, s. f.). Además, este material menora la densidad, por ejemplo, una muestra de control tiene una densidad de  $2500 \text{ kg/m}^3$  y una muestra con fibra plástica tiene una densidad de  $2308 \text{ kg/m}^3$  (Khatib et al., 2020). En otro estudio, el porcentaje de adherencia óptimo en el hormigón es del 0,1 %, en este caso este valor obtuvo un resultado mayor que el hormigón de control, se redujeron las grietas en un 50 % y su ancho en un 32 %. La resistencia a la compresión se redujo un 2% y la resistencia a la tensión aumentó un 39%. (*Evaluating Plastic Shrinkage and Permeability of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete | Elsevier Enhanced Reader*, s. f.)

#### ***Propiedades frescas.***

El valor del flujo de asentamiento se mejora al agregar plástico al hormigón y se reduce la pérdida de asentamiento; pero, cuando la cantidad llega al 30%, el hormigón fresco comienza a sangrar. La viscosidad de SCLC es reducido con el remplazo de la arena hasta un 15%, si el plástico aumenta el T500 se vuelve más largo. La capacidad de rodear el acero se ve mejorada con el remplazo de arena por plástico, siempre y cuando no se supere el 20%. No se observa ninguna variación en la uniformidad de la distribución de agregado grueso. La densidad en seco, así como la viscosidad del SCLC disminuyen al remplazar la arena con plástico. (Yang et al., 2015a)

#### ***Propiedades de fisuración.***

Las fibras de polipropileno son una herramienta muy útil para evitar la fisuración por retracción en el hormigón. Al utilizar estas fibras, se puede reducir el área total, la amplitud máxima y la cantidad de fisuras presentes. Además, se ha demostrado que la efectividad del

refuerzo de fibras aumenta a medida que se incrementa la fracción de volumen de fibras.

Dentro de las diferentes fibras estudiadas, se encontró que la fibra F1 (con una longitud de 3d-1/2") es la más efectiva. Las fibras más largas y de menor diámetro son las más efectivas para reducir el área y la amplitud de las fisuras. Por último, se ha comprobado que las fibras fibriladas son más efectivas en la prevención de la fisuración por retracción que las fibras de monofilamento (Banthia & Gupta, 2006).

Al aumentar la longitud de las fibras plásticas del PP de 42mm a 54mm y 60mm, se vio una disminución de la temperatura en el hormigón de alto rendimiento (HPC) al momento de la fisuración, en un 11.1% y 14.8%, respectivamente. Con el mismo incremento de tamaño de las fibras, la retracción autógena del HPC disminuyó en un 14.9% y un 28.4%, igualmente, la tasa de desarrollo de tensión rígida aumento en un 12.9% y un 19%, el flujo viscoso específico en el momento de la fisuración disminuyó 11.9% y 16.3%, y la resistencia a la fisuración en edades tempranas del hormigón disminuyó en largo plazo. (Shen et al., 2020)

### **Plásticos metalizados.**

#### ***Propiedades frescas y de fisuración.***

Se usan fibras de MPW (desechos plásticos metalizados) distintos al plástico normal, se usaron fibras de distinto tamaño 5mm, 10mm, y 20mm de largo y se introdujo en la mezcla de hormigón con un porcentaje de hasta un 2% por volumen de mezcla. La presencia de este material en el hormigón mejoró al reducir la presencia y propagación de grietas, así como también la posibilidad de deformarse a cargas grandes sometidas a compresión axial. Algo raro es que la resistencia a la flexión y compresión no se afectaron por la inclusión de MPW. Además, los resultados varían dependiendo del tipo de fibras ocupadas, por ejemplo, las fibras cortas no afectan en grandes proporciones a las propiedades del hormigón con dosis inferiores al 1%, en cambio en las fibras largas se observa que contribuye a la respuesta dúctil



de hormigón y es bueno con la resistencia a las grietas. Uno de los porcentajes óptimo a utilizar resulto ser del 1% por volumen de hormigón, el cual disminuye insignificante en la trabajabilidad y las resistencias (Bhogayata & Arora, 2017)

### **Polioléfina.**

#### *Propiedades mecánicas, físicas y durabilidad.*

Las partículas de poliolefina PWA se emplean en el hormigón como sustitución de los agregados naturales en distintas proporciones o como fibras. En el artículo de Colangelo et.al. se emplean porcentajes del 10%, 20% y 30% para la mezcla a emplear en hormigón ligero, sus resultados muestran que utilizar PWA aporta para que el hormigón sea menos denso, tenga más porosidad y más absorción de agua debido al aire que se queda en la fase de mezcla y la morfología de las partículas, pero sus propiedades mecánicas disminuyeron, aunque tiene una falla más dúctil bajo la carga a compresión (Colangelo et al., 2016). Por otro lado, el artículo de Signorini et al. utiliza las fibras de Poliolefinas como refuerzo para el hormigón en porcentajes de 3% y 5% en volumen, esta investigación encontró que la disipación de energía después de la fisura mejoró y revela que los resultados son comparables con las fibras vírgenes (Signorini et al., 2022)

### **Formaldehido de melamina (MF).**

#### *Propiedades mecánicas, físicas y durabilidad.*

Para poder ser usados los residuos de formaldehído de melamina (MF) se redujeron a un tamaño y gradación similar al agregado fino (arena). El MF se usó para reemplazar del 0% hasta el 60% del volumen total de arena. La resistencia a la compresión aumentó a medida que aumentaba el porcentaje de MF hasta un máximo de 30%, pasado este punto, la resistencia decayó. La densidad en el hormigón disminuyó un 8.5% cuando el reemplazo de

MF era del 60%. Se vio un aumento en la relación resistencia y peso hasta un 47% con el 30% de MF. El MF al ser procesado hasta una gradación similar el agregado fino, dio como resultado grandes mejoras en la resistencia del hormigón (Dweik et al., 2008)

### **Misceláneos.**

#### ***Propiedades mecánicas, físicas y durabilidad.***

La mezcla de plásticos puede traer beneficios o no al hormigón, en cuanto a las propiedades de esta sección existen varios artículos que hablan del tema. Resin8 es un término dado a la combinación de distintos tipos de plástico, la investigación de este material resulto ser menos manejable, también al reemplazar un 5% del material disminuyó la resistencia a la compresión en un 4%, en sí, el reemplazo óptimo de este material llega al 15% afectando de manera insignificante a las propiedades del hormigón, pero eso no quiere decir que se lo puede utilizar en hormigones para lugares que necesiten alta resistencia (Babafemi et al., 2022). También, al usar una mezcla de plásticos de Polietileno PE y tereftalato de polietileno PET se perjudica las distintas resistencias del hormigón a pesar de que se mantiene dentro de los límites, pero mejora su capacidad energética y su resistencia al impacto (Tayeh et al., 2021) (., 2014), en la investigación de Patil et. al. se menciona que un porcentaje óptimo de reemplazo para esta combinación sería del 20% ya que posterior a eso no entraría dentro de los límites permitidos (., 2014), lo que se corrobora en la investigación de Abuu-Saleem et. al. en su artículo “Evaluation of concrete performance with different types of recycled plastic waste for kerb application” (Abu-Saleem et al., 2021a). Lo mismo que sugiere otra de las investigaciones encargada de realizar varios experimentos para encontrar lo que sucede al introducir distintos plásticos en la mezcla a la cual denomina PAG. (Jacob-Vaillancourt & Sorelli, 2018)

Otra de las combinaciones que se investiga es la del copolímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno/policarbonato que es una combinación de PC y ABS, el comportamiento es comparable con los otros plásticos, una sustitución óptima para que se pueda ocupar el material es del 20%, a este porcentaje se tiene un valor aceptable de la deformación última del 63,84%, la resistencia a la compresión disminuye hasta un 47%, pero la absorción de energía se eleva hasta un 154,11% en comparación con la muestra de control. (Liu et al., 2015)

Al incluir en el hormigón una mezcla de polietileno tereftalato PET, Polietileno de alta densidad HDPE y Polipropileno PP en distintos porcentajes de reemplazo, se observa que la mezcla de plásticos a un 30% menora la resistencia al impacto, como se había mencionado anteriormente, también se reduce la resistencia al sulfato de sodio. En esta mezcla el PET juega un papel muy importante para la mejora o poca disminución de las propiedades, al incluirlo hace que la muestra de hormigón tenga una mejor adherencia y tiene una unión más fuerte con la pasta de cemento. (Abu-Saleem et al., 2021). En otra mezcla que junta al PET con PP, se observa una reducción mínima en la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta y el módulo de elasticidad con un reemplazo del 10% en comparación a las muestras con mezclas de HDPE + PP (Abu-Saleem et al., 2021c)

Utilizando Poliestireno de alto impacto HIPS y Polietileno de baja densidad LDPE en tamaños de aproximadamente 2mm para sustituir la arena conlleva a una disminución en la densidad y resistencia a la compresión conforme aumentaba el reemplazo. El porcentaje con el cual este hormigón con agregados plásticos y el hormigón ligero de alta resistencia son similares es del 10% (Olofinnade et al., 2021)

### ***Propiedades Frescas.***

En el estudio se trabajó con mezclas de plásticos de diferente origen, pero características similares, para ser usado como agregado fino o grueso. La trabajabilidad del hormigón se vio

afectada. En el hormigón cuyo agregado plástico tenía forma angular, se produjo una disminución en el asentamiento. Mientras que en el hormigón en el cual las partículas tenían formas más redondeadas, aumentó su trabajabilidad, esto se pudo deber a la reducción de fricción entre los componentes del hormigón. Así mismo la capacidad de paso del hormigón, mejoró en aquel que las partículas plásticas tenían formas redondeadas y disminuyó en el que las partículas de plástico eran de forma angular (Hama & Hilal, 2019).

### ***Propiedades térmicas.***

Un estudio importante realizado con el programa SUNREL revela que los edificios hechos con la mezcla de plásticos reciclados de polietileno de alta densidad, cloruro de polivinilo y polipropileno tiene ventaja en comparación con los edificios de concreto normal en cuanto a la capacidad energética. El efecto de la capacidad térmica en el edificio con agregado plástico utiliza un 40% menos de energía para calefacción y refrigeración, esto dice que el plástico puede ser ocupado para mejorar la capacidad que tiene el hormigón de guardar el calor (Elzafraney et al., 2005)

### **Tereftalato de polietileno (PET).**

#### ***Propiedades mecánicas, físicas y durabilidad.***

El uso del plástico PET como agregado fino, reemplazando a la arena, disminuye su resistencia a la compresión y la tracción. El mejor resultado se ha obtenido reemplazando un 10% del volumen de arena por plástico con partículas de gradación similar, superficie rugosa y de forma irregular (Sambhaji, 2016). El aumento del contenido de plástico como agregado disminuye la resistencia a la compresión y tracción en todas las edades de curado (Almeshal et al., 2020). Para otros estudios, la edad de curado no tuvo cambio, con el aumento del plástico como agregado, las resistencias a la tracción y compresión tienden a disminuir (Ismail & AL-Hashmi, 2008).

La incorporación de agregado PET en el hormigón ha mostrado un aumento en la resistencia para una determinada cantidad en donde, el tamaño de las partículas juega un papel importante, y debe estar en esta relación: las escamas gruesas (PC) > fracción fina (PF) > gránulos de plástico (PP), lo que nos está indicando que grandes escamas de plástico puede mejorar el comportamiento del hormigón puesto que aumenta la resistencia a la tracción por flexión y la tracción por división, al igual que la resistencia a la compresión que es lo que concuerdan varios artículos sobre el tema (Ferreira et al., 2012; Saikia & Brito, 2013), (Saikia & de Brito, 2014). En otro estudio se vio que la resistencia a la compresión aumentó para reemplazos del 2% con botellas PET como agregado fino y disminuyó gradualmente a medida que éste aumentaba, igualmente mejoró la resistencia a la tracción por flexión con esta proporción de reemplazo. (Shubbar & Al-Shadeedi, 2017). Sin embargo, se identificó que reemplazar la arena por un 5% de PET, la resistencia a la compresión y a la tracción por división es entre 0.4% y 1.9% menor que los hormigones de referencia sin agregados de PET (Frigione, 2010)

El uso de PET como agregado grueso mostró una mayor resistencia a la compresión del hormigón en aquel cuyo reemplazo fue del 10% ya que éste proporcionó una resistencia más alta que puede permitir su uso en aplicaciones estructurales, pero lo que no se vio aumentado fue los valores de resistencia a la flexión y contracción (M. B. Hossain et al., 2016). Al reemplazar menos del 36% de agregado grueso por plástico es viable para hormigón reforzado, pero no se puede utilizar como hormigón estructural (Osei, 2014).

Las fibras PET tienen un resultado positivo en las muestras de hormigón, ya que estudios demuestran que se pueden utilizar como refuerzo en áreas que estén más tensionadas a tracción (Foti, 2019). También con una incorporación de hasta un 0,15% mejora la resistencia a la compresión y tensión, además la flexión se aumentó cuando la fibra se limitó únicamente a la zona de tensión, así mismo controla el crecimiento de las grietas en la matriz antes de

alcanzar la carga final (Anandan & Alsubih, 2021), (Kim et al., 2010). Según uno de los artículos se debe a que las fibras de plástico cooperan para unir todos los materiales del hormigón y actúan como transporte de tensiones en el área de fisura (Khatab et al., 2019). Para Irwan et al. las fibras pueden afectar la resistencia y ductilidad del hormigón, así como también pueden causar problemas en otros aspectos como en la segregación y tener una mayor porosidad (Irwan et al., 2013). Utilizar fibras PET llevan a una reducción de la resistencia a la compresión del 0,5% al 8,5%, pero en los ensayos de flexión los hormigones con fibra plástica alcanzan una carga más alta que los hormigones de control (Borg et al., 2016). Para hormigones de tipo M30, el valor óptimo encontrado es del 1%, para mantener las resistencias a tracción y división, superando ese porcentaje se observa disminución en la resistencia (Nibudey et al., 2013). El utilizar tiras largas de PET puede ser ocupado como refuerzo mono direccional y bidireccional en losas (Foti, 2013)

#### ***Propiedades de fisuración.***

En cuanto a las propiedades de fisuración, se sabe que el añadir material PET entre fino y grueso hace que aumente la tenacidad a la fractura, De manera más específica, sustituir el material grueso por partículas gruesas de PET se observa que el hormigón tiene mejores resultados en cuanto a la energía de fractura en comparación con el hormigón que tiene agregado PET fino. Al agregar un 4% de fibras PET aumenta hasta un 8,6% la tenacidad a fractura del hormigón (Asdollah-Tabar et al., 2021b).

#### ***Propiedades frescas.***

Con el reemplazo de los agregados finos, las investigaciones demuestran que un 10% de reemplazo de agregado PET tiene un asentamiento parecido al de la muestra de control, conforme se aumenta la cantidad de agregados plásticos, la trabajabilidad continua menorando, aunque es importante decir que la reducción es mínima en comparación al

hormigón de referencia, esto se atribuye a la forma circular de los agregados PET y a su superficie lisa (*Investigation on the Properties of Concrete with Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Granules as Fine Aggregate Replacement / Elsevier Enhanced Reader*, s. f.). La relación a/c es importante, para una relación a/c constante el asentamiento disminuye, por otro lado, cuando aumenta la plasticidad y la consistencia del hormigón fresco menora (Rahmani et al., 2013).

## **Discusión**

Del análisis de todos los documentos descritos en la sección anterior se obtiene que el usar fibra o agregado plástico en la mezcla de hormigón trae efectos diversos en sus propiedades, dependiendo del tamaño, forma y textura del agregado empleado, así como también el tipo de plástico. Para la resistencia a la compresión, tracción, etcétera en hormigones comunes, los resultados se vieron afectados negativamente, datos que resultaron en casi todos los tipos de plásticos analizados en este documento. Pero en el caso del PVC, en hormigones para túneles, soporte de carreteras, entre otros, un reemplazo del 20% cumple con los requisitos para dichos usos (A. A. Mohammed et al., 2019). También al HDPE en vigas de hormigón se obtienen mejores prestaciones al sustituir parcialmente el plástico por la arena, como una mejora en la carga de primera fisura en las zonas de compresión y tensión (Adnan & Dawood, 2021).

En el caso de los plásticos termoestables, la resistencia a la compresión aumenta a medida que se aumenta la presencia de estos en la mezcla hasta un máximo del 30% (Dweik et al., 2008). En hormigones que tienen PET añadido, se ha demostrado que el tamaño de las partículas juega un papel importante en el desempeño del hormigón. Ferreira, Seikia y Brito han encontrado que escamas más gruesas pueden aumentar la resistencia a la tracción por flexión y por división, como también la resistencia a la compresión (Ferreira et al., 2012),

(Saikia & Brito, 2013), (Saikia & de Brito, 2014). Sin embargo, la densidad y la porosidad se vieron afectadas positivamente, ya que la mezcla de hormigón se volvía más liviano, teniendo así un menor peso unitario. En cuanto a la absorción de agua, esta se reduce debido a que los plásticos son hidrofóbicos.

Con la inclusión de fibras plásticas las propiedades mecánicas del hormigón mejoran, sobre todo la resistencia a la tracción (Sainz-Aja et al., 2022). Utilizando PE, el módulo de elasticidad aumenta hasta un 59% y eleva ligeramente la resistencia a la compresión (Sainz-Aja et al., 2022) según uno de los artículos, las fibras LDPE al 1% aumentan hasta un 17,28% la resistencia a la tracción por flexión (*IRJET-V3I4604-libre.pdf*, s. f.-a). Lo mismo que sucede con las fibras HDPE, pero la densidad si se ve afectada debido al aumento de contenido de aire. Un hormigón normal pesa aproximadamente 2400 kg/m<sup>3</sup> y el hormigón con fibra plástica tiene un peso unitario que va de 930-970 kg/m<sup>3</sup> (Tamrin & Nurdiana, 2021). Se observa también que la fibra logra reducir las grietas y su ancho, haciendo del hormigón uno de mejor calidad (*Evaluating Plastic Shrinkage and Permeability of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete | Elsevier Enhanced Reader*, s. f.).

Los resultados sugieren para un trabajo futuro, en cuanto a las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los plásticos estudiados, un enfoque en dichas propiedades del hormigón a la intemperie, para saber cómo funciona en condiciones climáticas “normales” del día a día.

Hablando de un tipo de fibra específico, en este caso fibra de MPW. se observó que como la trabajabilidad se reduce, se aumenta la viscosidad de la matriz y se reduce la consistencia de la mezcla fresca. Con un reemplazo de hasta el 1%, todas las propiedades del hormigón mejoran o se mantienen. Es decir, se redujo la presencia y propagación de grietas, la resistencia a la flexión y compresión no se afectaron demasiado y contribuye a la respuesta dúctil del hormigón (Bhogayata & Arora, 2017). Además de esto, las fibras de polipropileno



también son muy útiles para evitar la fisuración por retracción, dependiendo claramente de la longitud de la fibra y tipo de fibras. Por ejemplo, las fibras más largas y de menor diámetro son más efectivas para reducir el área y amplitud de las fisuras (Banthia & Gupta, 2006b). Para el caso de las fibras PET se sabe que el combinar este material entre fino y grueso contribuye con la tenacidad a la fractura, pero se tiene mejores resultados con el reemplazo de agregados gruesos (Asdollah-Tabar et al., 2021a)

Los resultados sugieren para un trabajo futuro, en cuanto a las propiedades de fisuración del hormigón, investigar que sucede al utilizar otro tipo de plásticos y no solo el tereftalato de polietileno, polipropileno y las fibras de plástico metalizado, las propiedades de fisuración deben tener más presencia en este campo de investigación, es útil saber cómo influye el plástico para que las fisuras no reduzcan tanto la capacidad de carga. Se sabe, pero no hay tantas investigaciones enfocadas en el tema.

Haciendo más énfasis en las propiedades frescas del hormigón, se dice que el asentamiento mejora y reduce la pérdida de asentamiento (Yang et al., 2015b). En sí, la trabajabilidad se ve afectada en la mayoría de los casos, pero nuevamente, según Hama y Hilal, la forma de la partícula plástica depende mucho. En su investigación, una partícula de forma angular disminuye el asentamiento. Por otro lado, partículas de forma redonda, aumentan la trabajabilidad. Esto se atribuye a la poca fricción entre los componentes del hormigón (Hama & Hilal, 2019).

Los resultados sugieren para un trabajo futuro, estudiar más a fondo que sucede con la cohesión, consistencia, tiempo de fraguado, exudación, entre otros al momento de incluir los distintos tipos de plástico. Datos que son importantes dado que este es el primer paso para tener un producto final de buena calidad.

En cuanto a las propiedades térmicas del hormigón, todas las investigaciones han apuntado a que el plástico es excelente en cuanto a capacidad térmica. Elzafraney et al. realizaron un estudio en el programa SUNREL, en el cual es un programa de simulación energética donde se crearon edificios que contenía plásticos en la mezcla de hormigón y otros de control, para simular las condiciones de un lugar en específico a distintas temperaturas. Se demostró que un edificio con agregado plástico utiliza menos energía para la calefacción y refrigeración, lo que da una señal de que el material mantiene las temperaturas y tiene una excelente capacidad energética (Elzafraney et al., 2005), datos con lo que están de acuerdo otros autores como Akkouri et al.

Los resultados sugieren para un trabajo futuro, investigar la influencia de los plásticos en distintas proporciones para saber cómo afectan la eficiencia energética de las estructuras, por ejemplo, estudiar la conductividad térmica y como los plásticos afectan o contribuyen con la capacidad de transferir calor, lo que puede afectar el aislamiento térmico. También las formas y tipos de partículas deberían ser investigados en este campo para saber si es que es un factor importante para esta propiedad.

## CONCLUSIONES

Hasta ahora de las investigaciones realizadas se sabe que el plástico altera las propiedades del hormigón, dependiendo de varios factores. Estudios apuntan a que bajo los porcentajes adecuados sus prestaciones pueden mantenerse o disminuir mínimamente. La forma de las partículas o fibras plásticas también tienen una gran influencia, plásticos con más rugosidad y varias caras tienen mejor adherencia con la pasta de cemento y los demás materiales, de esta forma mejora hasta cierto punto las resistencias. En cuanto a las fibras plásticas, estas reducen la aparición de grietas, su propagación y ancho, dado a que no son tan frágiles. Sin embargo, hay que tener en cuenta la relación agua – cemento, dependiendo de esto, muchos factores cambian y pueden mejorar o disminuir. Las posibles aplicaciones del hormigón con agregado plástico son una idea eficiente y revolucionaria para la industria de la construcción, en general puede utilizarse para hormigones livianos no portantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- . P. S. P. (2014). INNOVATIVE TECHNIQUES OF WASTE PLASTIC USED IN CONCRETE MIXTURE. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(21), 29-32. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0321008>
- Abu-Saleem, M., Zhuge, Y., Hassanli, R., Ellis, M., Rahman, M., & Levett, P. (2021a). Evaluation of concrete performance with different types of recycled plastic waste for kerb application. *Construction and Building Materials*, 293, 123477. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123477>
- Abu-Saleem, M., Zhuge, Y., Hassanli, R., Ellis, M., Rahman, M. M., & Levett, P. (2021b). Impact Resistance and Sodium Sulphate Attack Testing of Concrete Incorporating Mixed Types of Recycled Plastic Waste. *Sustainability*, 13(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/su13179521>
- Abu-Saleem, M., Zhuge, Y., Hassanli, R., Ellis, M., Rahman, M. M., & Levett, P. (2021c). Stress-Strain Behaviour and Mechanical Strengths of Concrete Incorporating Mixed Recycled Plastics. *Journal of Composites Science*, 5(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/jcs5060146>
- Adnan, H. M., & Dawood, A. O. (2021). Recycling of plastic box waste in the concrete mixture as a percentage of fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 284, 122666. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122666>
- Agyeman, S., Obeng-Ahenkora, N. K., Assiamah, S., & Twumasi, G. (2019). Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for paving blocks production. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00246. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00246>
- Ahmad, F., Jamal, A., Mazher, K. M., Umer, W., & Iqbal, M. (2022). Performance Evaluation of Plastic Concrete Modified with E-Waste Plastic as a Partial

Replacement of Coarse Aggregate. *Materials*, 15(1), Article 1.

<https://doi.org/10.3390/ma15010175>

Akkouri, N., Bourzik, O., Baba, K., & Nounah, A. (2022). Experimental study of the thermal and mechanical properties of concrete incorporating recycled polyethylene. *Materials Today: Proceedings*, 58, 1525-1529. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.293>

Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., & Mohamed, A. M. (2020). Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 4631-4643.

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.090>

Anandan, S., & Alsubih, M. (2021). Mechanical Strength Characterization of Plastic Fiber Reinforced Cement Concrete Composites. *Applied Sciences*, 11(2), Article 2.

<https://doi.org/10.3390/app11020852>

Asdollah-Tabar, M., Heidari-Rarani, M., & Aliha, M. R. M. (2021a). The effect of recycled PET bottles on the fracture toughness of polymer concrete. *Composites Communications*, 25, 100684. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.100684>

Asdollah-Tabar, M., Heidari-Rarani, M., & Aliha, M. R. M. (2021b). The effect of recycled PET bottles on the fracture toughness of polymer concrete. *Composites Communications*, 25, 100684. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.100684>

Babafemi, A. J., Sirba, N., Paul, S. C., & Miah, M. J. (2022). Mechanical and Durability Assessment of Recycled Waste Plastic (Resin8 & PET) Eco-Aggregate Concrete. *Sustainability*, 14(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su14095725>

Banthia, N., & Gupta, R. (2006a). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1263-1267. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.01.010>

- Banthia, N., & Gupta, R. (2006b). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1263-1267.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.01.010>
- Belmokaddem, M., Mahi, A., Senhadji, Y., & Pekmezci, B. Y. (2020). Mechanical and physical properties and morphology of concrete containing plastic waste as aggregate. *Construction and Building Materials*, 257, 119559.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119559>
- Bhogayata, A. C., & Arora, N. K. (2017). Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers. *Construction and Building Materials*, 146, 455-463. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.095>
- Borg, R. P., Baldacchino, O., & Ferrara, L. (2016). Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 108, 29-47. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.029>
- Colangelo, F., Cioffi, R., Liguori, B., & Iucolano, F. (2016). Recycled polyolefins waste as aggregates for lightweight concrete. *Composites Part B: Engineering*, 106, 234-241.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.041>
- Dweik, H. S., Ziara, M. M., & Hadidoun, M. S. (2008). Enhancing Concrete Strength and Thermal Insulation Using Thermoset Plastic Waste. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 57(7), 635-656.  
<https://doi.org/10.1080/00914030701551089>
- Elsevier Enhanced Reader*. (s. f.). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.160>
- Elzafraney, M., Soroushian, P., & Deru, M. (2005). Development of Energy-Efficient Concrete Buildings Using Recycled Plastic Aggregates. *Journal of Architectural Engineering*, 11(4), 122-130. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(2005\)11:4\(122\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2005)11:4(122))

*Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete /*

*Elsevier Enhanced Reader.* (s. f.). <https://doi.org/10.1016/j.ijjsbe.2016.05.007>

*Evaluations of strengths, impact and energy capacity of two-way concrete slabs incorporating*

*waste plastic / Elsevier Enhanced Reader.* (s. f.).

<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.09.007>

*Experimental and simulation study on the impact resistance of concrete to replace high*

*amounts of fine aggregate with plastic waste / Elsevier Enhanced Reader.* (s. f.).

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01324>

Ferreira, L., de Brito, J., & Saikia, N. (2012). Influence of curing conditions on the

mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate.

*Construction and Building Materials*, 36, 196-204.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.098>

Foti, D. (2013). Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete.

*Composite Structures*, 96, 396-404. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.09.019>

Foti, D. (2019). 18—Recycled waste PET for sustainable fiber-reinforced concrete. En F.

Pacheco-Torgal, J. Khatib, F. Colangelo, & R. Tuladhar (Eds.), *Use of Recycled*

*Plastics in Eco-efficient Concrete* (pp. 387-410). Woodhead Publishing.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00018-9>

Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste*

*Management*, 30(6), 1101-1106. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>

Ghernouti, Y., Rabehi, B., Bouziani, T., Ghezraoui, H., & Makhloufi, A. (2015). Fresh and

hardened properties of self-compacting concrete containing plastic bag waste fibers

(WFSCC). *Construction and Building Materials*, 82, 89-100.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.059>

- Ghernouti, Y., Rabehi, B., Safi, B., & Chaid, R. (2014, junio 11). *Use of recycled plastic bag waste in the concrete*.
- Gopi, K. S., Srinivas, Dr. T., & Raju V, S. P. (2020). Feasibility Study of Recycled Plastic Waste as Fine Aggregate in Concrete. *E3S Web of Conferences*, 184, 01084.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018401084>
- Hama, S. M. (2022). Behavior of concrete incorporating waste plastic as fine aggregate subjected to compression, impact load and bond resistance. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(8), 3372-3386.  
<https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1798287>
- Hama, S. M., & Hilal, N. N. (2019). 5—Fresh properties of concrete containing plastic aggregate. En F. Pacheco-Torgal, J. Khatib, F. Colangelo, & R. Tuladhar (Eds.), *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete* (pp. 85-114). Woodhead Publishing.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00005-0>
- Hamsavathi, K., Prakash, K. S., & Kavimani, V. (2020). Green high strength concrete containing recycled Cathode Ray Tube Panel Plastics (E-waste) as coarse aggregate in concrete beams for structural applications. *Journal of Building Engineering*, 30, 101192. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101192>
- Hossain, M. B., Bhowmik, P., & Shaad, K. M. (2016). Use of waste plastic aggregation in concrete as a constituent material. *Progressive Agriculture*, 27(3), Article 3.  
<https://doi.org/10.3329/pa.v27i3.30835>
- Hossain, M., Bhowmik, P., & Shaad, K. (2016). Use of waste plastic aggregation in concrete as a constituent material. *Progressive Agriculture*, 27(3), 383-391.  
<https://doi.org/10.3329/pa.v27i3.30835>



- Hu, S., Tang, H., & Han, S. (2021). Energy Absorption Characteristics of PVC Coarse Aggregate Concrete under Impact Load. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 15(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00465-w>
- Informe-Desechos-plasticos-Alianza-Basura-Cero-Ecuador-2022.pdf*. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2023, de <https://www.uasb.edu.ec/wp-content/uploads/2022/04/Informe-Desechos-plasticos-Alianza-Basura-Cero-Ecuador-2022.pdf>
- Investigation on the properties of concrete with recycled polyethylene terephthalate (PET) granules as fine aggregate replacement / Elsevier Enhanced Reader*. (s. f.). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00934>
- İpek, S., Diri, A., & Mermerdaş, K. (2021). Recycling the low-density polyethylene pellets in the pervious concrete production. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(1), 272-287. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01127-x>
- IRJET-V3I4604-libre.pdf*. (s. f.-a). Recuperado 14 de abril de 2023, de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54639265/IRJET-V3I4604-libre.pdf?1507296235=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEffect\\_of\\_Use\\_Plastic\\_Aggregates\\_as\\_Part.pdf&Expires=1681490089&Signature=czQlSu66K4UklPuLhVhauN7J8a8kJuCuJq-IGKc-W-TnlyHt257rRHKsMkGLh-LNypal5eI4xfQMHatIwWYkeZShAGlys19xXI~-PngLg9pH1jgKXy7GOgq8xyGXMre6iSLLIrafC17LVNaEnfFphntWN4h8iBvWjCUZW4zMFIGcSpf7IcyftZfO7QbFlnpp7ycgo3sYli79Fzcg54VDpNjsRcOAOBXmFEsvtHEejxg0GiE7i7DCDyGJPyJS3zJllkIlrODDu-ThR~BzIX0lF1mZ3D7cADIQOA22NKc4ijCekNa13yzu6L2v~EHeHKKLR60CS7iiACBlS8bvUSWQ\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54639265/IRJET-V3I4604-libre.pdf?1507296235=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEffect_of_Use_Plastic_Aggregates_as_Part.pdf&Expires=1681490089&Signature=czQlSu66K4UklPuLhVhauN7J8a8kJuCuJq-IGKc-W-TnlyHt257rRHKsMkGLh-LNypal5eI4xfQMHatIwWYkeZShAGlys19xXI~-PngLg9pH1jgKXy7GOgq8xyGXMre6iSLLIrafC17LVNaEnfFphntWN4h8iBvWjCUZW4zMFIGcSpf7IcyftZfO7QbFlnpp7ycgo3sYli79Fzcg54VDpNjsRcOAOBXmFEsvtHEejxg0GiE7i7DCDyGJPyJS3zJllkIlrODDu-ThR~BzIX0lF1mZ3D7cADIQOA22NKc4ijCekNa13yzu6L2v~EHeHKKLR60CS7iiACBlS8bvUSWQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

*IRJET-V3I4604-libre.pdf*. (s. f.-b). Recuperado 24 de abril de 2023, de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54639265/IRJET-V3I4604-libre.pdf?1507296235=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEffect\\_of\\_Use\\_Plastic\\_Aggregates\\_as\\_Part.pdf&Expires=1682375307&Signature=SHBaluvhv~supfKh9F1KBYXqRJq~EgBmD~qbn0GQj8YFSIcR~kJZuv2mZ2Boia2OSuLAhuoi50TZ1DHoqu91ej9Y8WG-KRNZ2PZEAI9b418ljNFEG4DteIFy47I~jaaU0~JBq287iuq910Bcs9TbPreWv3ZJyb3cN0XkThvd1dGuE11kHGxjWJryVcHge6LcHGZl~REBX7lqAcEGONVUnKjkZq8~kz~pYGoV3kwRva-DbFWHc~iRUfQNK4IN5QiQ4Y8BLTu7Kel9r7omPbAVhpU98T3hIbJH9dsGFm5kY9MmxYyZ6ZCGVk-g2B9hQxesUi0cSvc2ilAAVPzWhgzDg\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54639265/IRJET-V3I4604-libre.pdf?1507296235=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEffect_of_Use_Plastic_Aggregates_as_Part.pdf&Expires=1682375307&Signature=SHBaluvhv~supfKh9F1KBYXqRJq~EgBmD~qbn0GQj8YFSIcR~kJZuv2mZ2Boia2OSuLAhuoi50TZ1DHoqu91ej9Y8WG-KRNZ2PZEAI9b418ljNFEG4DteIFy47I~jaaU0~JBq287iuq910Bcs9TbPreWv3ZJyb3cN0XkThvd1dGuE11kHGxjWJryVcHge6LcHGZl~REBX7lqAcEGONVUnKjkZq8~kz~pYGoV3kwRva-DbFWHc~iRUfQNK4IN5QiQ4Y8BLTu7Kel9r7omPbAVhpU98T3hIbJH9dsGFm5kY9MmxYyZ6ZCGVk-g2B9hQxesUi0cSvc2ilAAVPzWhgzDg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Irwan, J. M., Asyraf, R. M., Othman, N., Koh, K. H., Annas, M. M. K., & Faisal, S. K.

(2013). The Mechanical Properties of PET Fiber Reinforced Concrete from Recycled Bottle Wastes. *Advanced Materials Research*, 795, 347-351.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.795.347>

Islam, Md. J., Shahjalal, Md., & Haque, N. M. A. (2022). Mechanical and durability

properties of concrete with recycled polypropylene waste plastic as a partial replacement of coarse aggregate. *Journal of Building Engineering*, 54, 104597.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104597>

Ismail, Z. Z., & AL-Hashmi, E. A. (2008). Use of waste plastic in concrete mixture as

aggregate replacement. *Waste Management*, 28(11), 2041-2047.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.023>

- Jacob-Vaillancourt, C., & Sorelli, L. (2018). Characterization of concrete composites with recycled plastic aggregates from postconsumer material streams. *Construction and Building Materials*, 182, 561-572. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.083>
- Kamal, M. A., Moussa, R. R., & Guirguis, M. N. (2021). Recycled Plastic as an Aggregate in Concrete. *Civil Engineering and Architecture*, 9(5), 1289-1294. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090502>
- Khatab, H. R., Mohammed, S. J., & Hameed, L. A. (2019). Mechanical Properties of Concrete Contain Waste Fibers of Plastic Straps. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 557(1), 012059. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/557/1/012059>
- Khatib, J., Jahami, A., Baalbaki, O., Elkordi, A., Bakri, A., & Alaina, R. (2020). PERFORMANCE OF CONCRETE CONTAINING WASTE PLASTIC STRAW FIBERS. *BAU Journal - Science and Technology*, 1(2). <https://doi.org/10.54729/2959-331X.1019>
- Kim, S. B., Yi, N. H., Kim, H. Y., Kim, J.-H. J., & Song, Y.-C. (2010). Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 32(3), 232-240. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002>
- Kou, S. C., Lee, G., Poon, C. S., & Lai, W. L. (2009). Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management*, 29(2), 621-628. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.014>
- Liu, F., Yan, Y., Li, L., Lan, C., & Chen, G. (2015). Performance of Recycled Plastic-Based Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(2), A4014004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000989](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000989)

- Los microplásticos también están contaminando nuestros suelos.* (2018, abril 4). UNEP.  
<http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-microplasticos-tambien-estan-contaminando-nuestros-suelos>
- Małek, M., Jackowski, M., Łasica, W., & Kadela, M. (2020). Characteristics of Recycled Polypropylene Fibers as an Addition to Concrete Fabrication Based on Portland Cement. *Materials*, 13(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/ma13081827>
- Manjunath, B. T. A. (2016). Partial Replacement of E-plastic Waste as Coarse-Aggregate in Concrete. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 731-739.  
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.079>
- Mary Treasa Shinu, N. M., & Needhidasan, S. (2020). An experimental study of replacing conventional coarse aggregate with E-waste plastic for M40 grade concrete using river sand. *Materials Today: Proceedings*, 22, 633-638.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.033>
- Mohammed, A. A., Mohammed, I. I., & Mohammed, S. A. (2019). Some properties of concrete with plastic aggregate derived from shredded PVC sheets. *Construction and Building Materials*, 201, 232-245. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.145>
- Mohammed, H., Giuntini, F., Sadique, M., Shaw, A., & Bras, A. (2022). Polymer modified concrete impact on the durability of infrastructure exposed to chloride environments. *Construction and Building Materials*, 317, 125771.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125771>
- Needhidasan, S., Ramesh, B., & Joshua Richard Prabu, S. (2020). Experimental study on use of E-waste plastics as coarse aggregate in concrete with manufactured sand. *Materials Today: Proceedings*, 22, 715-721. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.006>

- Needhidasan, S., Vigneshwar, C. R., & Ramesh, B. (2020). Amalgamation of E-waste plastics in concrete with super plasticizer for better strength. *Materials Today: Proceedings*, 22, 998-1003. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.253>
- Nibudey, R., Nagarnaik, P. B., Parbat, D., & Pande, A. (2013). Strengths Prediction of Plastic fiber Reinforced concrete (M30). *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622*, 3, 2248-9622.
- Nosotros – Alianza Basura Cero Ecuador. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2023, de <https://www.alianzabasuraceroecuador.com/nosotros/>
- Olofinnade, O., Chandra, S., & Chakraborty, P. (2021). Recycling of high impact polystyrene and low-density polyethylene plastic wastes in lightweight based concrete for sustainable construction. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2151-2156. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.176>
- Osei, D. Y. (2014). *EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON RECYCLED PLASTICS AS AGGREGATE IN CONCRETE*.
- Pešić, N., Živanović, S., Garcia, R., & Papastergiou, P. (2016). Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres. *Construction and Building Materials*, 115, 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.050>
- Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibres from COVID-19 single-use face masks to improve the mechanical properties of concrete | Elsevier Enhanced Reader*. (s. f.). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126460>
- Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M. H. A., Allahyari, H., & Nikbin, I. M. (2013). On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Construction and Building Materials*, 47, 1302-1308. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.041>

- S, A. (2020). Experimental Study on the Properties of Green Concrete by Replacement of E-Plastic Waste as Aggregate. *Procedia Computer Science*, 172, 985-990.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.145>
- Saikia, N., & Brito, J. D. (2013). Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete. *Materials Research*, 16(2), 341-350. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000017>
- Saikia, N., & de Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049>
- Sainz-Aja, J. A., Sanchez, M., Gonzalez, L., Tamayo, P., Garcia del Angel, G., Aghajanian, A., Diego, S., & Thomas, C. (2022). Recycled Polyethylene Fibres for Structural Concrete. *Applied Sciences*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/app12062867>
- Sambhaji, P. P. (2016a). Use of Waste Plastic in Concrete Mixture as Aggregate Replacement. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 3(12), 236956.
- Sambhaji, P. P. (2016b). Use of Waste Plastic in Concrete Mixture as Aggregate Replacement. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 3(12), 236956.
- Sangal, G. S. (2018). *Study the effect of plastic waste on strength of concrete.*
- Senthil Kumar, K., & Baskar, K. (2015). Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(4), 718-724. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0303-5>
- Shen, D., Liu, X., Zeng, X., Zhao, X., & Jiang, G. (2020). Effect of polypropylene plastic fibers length on cracking resistance of high performance concrete at early age.

*Construction and Building Materials*, 244, 117874.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117874>

Shubbar, S., & Al-Shadeedi, A. (2017). *UTILIZATION OF WASTE PLASTIC BOTTLES AS FINE AGGREGATE IN CONCRETE*.

Signorini, C., Marinelli, S., Volpini, V., Nobili, A., Radi, E., & Rimini, B. (2022).

Performance of concrete reinforced with synthetic fibres obtained from recycling end-of-life sport pitches. *Journal of Building Engineering*, 53, 104522.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104522>

Sule, J., Emmanuel, S., Joseph, I., Ibadobe, O., Waziri, F. I., & Sunny, E. (2017). *Use of Waste Plastics in Cement-Based Composite for Lightweight Concrete Production*. 2(5).

Tamrin, & Nurdiana, J. (2021). The Effect of Recycled HDPE Plastic Additions on Concrete Performance. *Recycling*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/recycling6010018>

Tayeh, B. A., Almeshal, I., Magbool, H. M., Alabduljabbar, H., & Alyousef, R. (2021).

Performance of sustainable concrete containing different types of recycled plastic. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129517.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129517>

Thorneycroft, J., Orr, J., Savoikar, P., & Ball, R. J. (2018). Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. *Construction and Building Materials*, 161, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.127>

Ullah, K., Irshad Qureshi, M., Ahmad, A., & Ullah, Z. (2022). Substitution potential of plastic fine aggregate in concrete for sustainable production. *Structures*, 35, 622-637.

<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.11.003>

Ullah, Z., Qureshi, M. I., Ahmad, A., Khan, S. U., & Javaid, M. F. (2021). An experimental study on the mechanical and durability properties assessment of E-waste concrete.

*Journal of Building Engineering*, 38, 102177.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102177>

*Utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-*

*libre.pdf*. (s. f.). Recuperado 16 de abril de 2023, de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[libre.pdf?1587549995=&response-content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[disposition=inline%3B+filename%3DIJERT\\_Utilisation\\_of\\_E\\_Plastic\\_Waste\\_in.pdf](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWoth](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[AlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1Hg](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[V4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w\\_\\_&Key-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63048732/utilisation-of-e-plastic-waste-in-concrete-IJERTV5IS02053820200422-86168-r3tqdw-libre.pdf?1587549995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIJERT_Utilisation_of_E_Plastic_Waste_in.pdf&Expires=1681679804&Signature=ZjvelsSzXWw8sgNJ-BFHVHCkeaZkAd-pzoDxpSIt~PlqiEOICSeUzuUIumQOg8Up0UIjBFQVAny5ex1P4bKIZSlwSSm8XnV-NkCtNwf2iIN0AJpi7~1Iemg~DI1rOuAiuK-LEoca5rd-1nAq6RcmUga2r7wppMzGbBVl680tYy4A4lVP4M1smEVK7dD7FGXcmQsvWothAlGulDlmqnrHllr0eK3tIjVa-LIA-G2TdamwZlpJ7TvaPckppOoB5rAxE17KBsFu~bUtl7JNpiIDw0WZw1DM5Yfl1HgV4lHzgl4Zez1rR7Q8wSg2yiRbQBrFxX~VMGbYCTCx0g7tYYBp~0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Vanitha, S., Venugopal, N., & Omprakash, P. (2015). Utilisation of Waste Plastics as a

Partial Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Blocks. *Indian Journal of*

*Science and Technology*, 8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i12/54462>

works, planete-tp : A. about public. (2008, enero 31). *The properties of hardened concrete*.

<http://www.planete-tp.com/en/the-properties-of-hardened-concrete-a233.html>

Wu, H., Miao, Y., Zhu, H., Zhao, C., Shu, Z., & Liu, C. (2022). Erosion resistance behavior

of recycled plastic concrete in sodium sulfate solution. *Construction and Building*

*Materials*, 324, 126630. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126630>



Yang, S., Yue, X., Liu, X., & Tong, Y. (2015a). Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles. *Construction and Building Materials*, 84, 444-453. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.038>

Yang, S., Yue, X., Liu, X., & Tong, Y. (2015b). Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles. *Construction and Building Materials*, 84, 444-453. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.038>

Zéhil, G.-P., & Assaad, J. J. (2019). Feasibility of concrete mixtures containing cross-linked polyethylene waste materials. *Construction and Building Materials*, 226, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.285>