

Comportamiento de las Propiedades Mecánicas de Concretos Convencionales Reemplazados con Escombros de Construcción y/o Residuos Plásticos (PET) como Agregados Finos y/o Gruesos:

Revisión Sistemática de Literatura.

Angely C. Penagos-Macías

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Luis Eduardo Zapata

Ph.D. Civil Engineering - Materials and Structures

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Agradezco a mis padres y familia por ser mi fuente inagotable de inspiración y por su incansable apoyo en cada paso a lo largo de mi camino universitario, a docentes y compañeros cuyas enseñanzas y sabiduría han moldeado mi pensamiento crítico, este logro es un tributo a todos aquellos que me han acompañado durante este proceso y han sido parte esencial de mi crecimiento académico y personal.

Agradecimientos

La autora del presente trabajo expresa de forma cordial y sincera agradecimientos a:

- La Universidad Industrial de Santander, especialmente al Grupo de investigación en materiales y estructuras de construcción-INME.
- Al Ingeniero Luis Eduardo Zapata principalmente por ser mi director, por su dedicación y paciencia, por apoyarme y corregir mis falencias en este proyecto, gracias por guiarme y aconsejarme.
- A Jefersson Cortes Tolosa por todo el apoyo emocional que me brindó durante el desarrollo de mi trabajo de grado, sin su ayuda y comprensión no habría sido posible llevar a cabo este trabajo.

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Marco Teórico	12
1.1 Concreto	12
1.2. Propiedades del Concreto	12
1.2.1. Trabajabilidad o Manejabilidad	12
1.2.2. Resistencia	12
1.2.2.1. Resistencia a la Compresión.	13
1.2.2.2. Resistencia a la Tensión.	13
1.2.2.3. Resistencia a la Flexión.	14
1.2.3. Durabilidad	14
1.3. Agregados Convencionales	14
1.4. Agregados Reciclados	15
1.4.1. Normativa de los Agregados de Concretos Reciclados como Agregados Pétreos.....	15
1.4.1.1. Normativa Colombiana.	16
1.4.1.2. Normativa Internacional.	16
1.5. Materiales no Convencionales en la Construcción	20
1.5.1. Escombros de Construcciones Demolidas	20
1.5.2. Agregados PET	21
2. Metodología de la Revisión Sistemática.....	22
3. Resultados Análisis Bibliométrico	25

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA	5
3.1. Áreas Temáticas Relevantes y Producción Científica Anual	25
3.2. Fuentes de Publicación	26
3.3. Autores	28
3.4. Documentos	31
4. Aplicaciones de los escombros de construcción y residuos PET en el concreto hidráulico	36
5. Efectos en las Propiedades Mecánicas del Concreto Modificado con Residuos PET y/o Escombros de Construcción.....	40
6. Impactos Ambientales y Económicos de Usar Materiales Reciclables en la Producción del Concreto Convencional.....	44
7. Conclusiones	45
8. Recomendaciones	47
Referencias Bibliográficas	48

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Ladrillo triturado reciclado</i>	15
Figura 2. <i>Fibras de PET reciclado</i>	22
Figura 3. <i>Diagrama de flujo de trabajo</i>	24
Figura 4. <i>Área temática de los artículos</i>	26
Figura 5. <i>Tendencia anual de la producción científica</i>	27
Figura 6. <i>Instituciones más productivas</i>	33
Figura 7. <i>Producción científica en los países</i>	34
Figura 8. <i>Países más citados</i>	34
Figura 9. <i>Word Cloud top 30 Palabras más claves del autor</i>	35
Figura 10. <i>Tipos de plásticos en general</i>	37
Figura 11. <i>Hojuela de PET posconsumo</i>	42
Figura 12. <i>Las crías de tortuga laúd de la playa Matura, en Trinidad y Tobago, se encuentran con botellas de plástico y otros desechos en su camino hacia el océano</i>	45

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD) según la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA)</i>	18
Tabla 2. <i>Fuentes editoriales desde 2010 a 2023.</i>	27
Tabla 3. <i>Top 10: Autores más relevantes relacionados con la ecuación de búsqueda desde 2010 a 2023.</i>	30
Tabla 4. <i>Top 10: Impacto local de los autores relacionados con: “Construction waste and PET plastics as concrete aggregates”, periodo 2010-2023.</i>	30
Tabla 5. <i>Top 10: Documentos citados a nivel lo global relacionados con la ecuación de búsqueda planteada.</i>	32
Tabla 6. <i>Top 10: Palabras más frecuentes del “Abstract”.</i>	35
Tabla 7. <i>Usos del plástico como agregados en el concreto.</i>	37

Resumen

Título: Comportamiento de las propiedades mecánicas de concretos convencionales reemplazados con escombros de construcción y/o residuos plásticos (PET) como agregados finos y/o gruesos: revisión sistemática de literatura*.

Autora: Angely C. Penagos-Macias**

Palabras Claves: Resistencia a la Compresión; Agregado Fino; Agregado Grueso; Residuos Plásticos; Demolición.

Descripción

Este artículo analiza el uso de materiales no convencionales como lo son los escombros de construcción y los residuos plásticos en la fabricación del concreto convencional. Se realiza una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico por medio de la interfaz web de Bibliometrix de R, para identificar áreas temáticas relevantes y observar el aumento en la producción científica en el tema de investigación planteado que es el reemplazo de materiales no convencionales como agregados gruesos y/o finos en el concreto. Con base en la literatura revisada se observa que los escombros de construcción y los residuos plásticos se reemplazaron en diferentes porcentajes, individualmente o en conjunto. Se examinan las propiedades mecánicas del concreto modificado con los materiales ya mencionados, como la resistencia a la compresión y tensión, así como la normativa relacionada con el uso de agregados reciclados. Dentro de este marco, estos materiales al ser utilizados como agregados alternativos ofrecen una opción técnica para aprovechar y reciclar de manera eficiente estos residuos, contribuyendo a la disminución de la acumulación de los mismos, a reducir la dependencia de los recursos naturales no renovables y a fortalecer la construcción sostenible. Aunque se debe tener cuidado con las partículas generadas, ya que en ciertas ocasiones son descartadas por no cumplir con los requerimientos mínimos de calidad para ser procesados debido a que puede afectar la trabajabilidad del concreto.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Eduardo Zapata, Ph.D. Civil Engineering - Materials and Structures

Abstract

Title: Behavior of the mechanical properties of conventional concrete replaced with construction debris and/or plastic waste (PET) as fine and/or coarse aggregates: systematic literature review*.

Author: Angely C. Penagos-Macias**

Keywords: compressive strength; fine aggregate; coarse aggregate; plastic waste; demolition.

Description

This article analyzes the use of unconventional materials such as construction debris and plastic waste in the manufacture of conventional concrete. A systematic review of the literature and a bibliometric analysis is carried out through the web interface of Bibliometrix de R, to identify relevant thematic areas and observe the increase in scientific production in the proposed research topic that is the replacement of unconventional materials such as thick and / or fine aggregates in concrete. Based on the literature reviewed, it is observed that construction debris and plastic waste were replaced in different percentages, individually or together. The mechanical properties of concrete modified with the aforementioned materials are examined, such as compressive strength and tension, as well as the regulations related to the use of recycled aggregates. Within this framework, these materials, when used as alternative aggregates, offer a technical option to efficiently take advantage of and recycle this waste, contributing to the reduction of its accumulation, to reduce dependence on non-renewable natural resources and to strengthen sustainable construction. Although care must be taken with the particles generated. On certain occasions they are discarded because they do not meet the minimum quality requirements to be processed because it can affect the workability of the concrete.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director: Luis Eduardo Zapata, Ph.D. Civil Engineering - Materials and Structures

Introducción

La contaminación por desechos sólidos es actualmente uno de los problemas más apremiantes debido a sus efectos perjudiciales en el entorno natural, la salud pública y la economía global (Fawzy, Elshami, & Ahmad, 2023), por esta razón, ha aumentado la preocupación por el medio ambiente y la sostenibilidad. Por ello se han buscado diversas alternativas para reducir la huella de carbono, debido al creciente aumento en la producción de plástico en los últimos 60 años. Este se utiliza en diversos sectores, como aplicaciones de embalaje, edificación y construcción, electricidad, productos domésticos y de consumo (Jahidul Islam, 2022). Por otro lado, con el rápido desarrollo económico se han producido grandes cantidades de residuos de construcción, debido a la demolición de estructuras antiguas para construir edificios nuevos por el proceso de urbanización (Bu & col., 2022), (Dosho, 2007), los cuales representan también un problema ambiental significativo.

La idea de darle un nuevo uso a los residuos generados por la demolición y los residuos plásticos en la fabricación del concreto hidráulico no solo puede ayudar a mitigar los efectos ambientales, sino que podría traer beneficios económicos y técnicos.

El tereftalato de polietileno (PET) es una subcategoría del polietileno, producida en gran cantidad debido a sus ventajas tales como mayor resistencia, peso ligero y menor costo en su producción en comparación a los plásticos clásicos y se adquiere principalmente de botellas de envases plásticos usados para almacenar agua, bebidas y paquetes de comida (Rezvan, Moradi, Dabiri, Daneshvar, & Karakouzian, 2023). Estudios han propuesto usar material desechado en el concreto, por lo que puede ser una solución eficaz y ecológica para los polímeros desperdiciados

en busca de equilibrar los impactos económicos y ambientales a largo plazo (Meza, Pujadas, Meza, Pardo-Bosch, & López-Carreño, 2021).

Se han considerado para su reemplazo los tres ingredientes principales del concreto; cemento, agregados y arena con reciclados para reducir aún más la cantidad de materiales naturales. La grava manufacturada implica procesos de trituración que consumen mucha energía, el agregado de concreto reciclado (RCA, por sus siglas en inglés) producido, podría ayudar a reducir este consumo y el CO₂ en el aire. Por otra parte, el agregado fino o arena natural, podría sustituirse parcialmente por arena manufacturada, subproducto de la grava triturada, evitando así un proceso adicional de extracción (Lawania, Sarker, & W., 2015).

Últimamente existe una creciente tendencia a reciclar los residuos generados por la industria, más exactamente, la de construcción y de los plásticos. En este sentido, el objetivo del presente trabajo es realizar una literatura sistemática sobre uso de los residuos de construcción y plástico, como agregados reciclados en la fabricación del concreto hidráulico y estudiar su influencia en la resistencia a la compresión, tensión y/o flexión.

De esta manera, con la información recopilada se pueda aplicar en el diseño de mezclas de concreto para que alcancen óptimas resistencias mediante el reemplazo de los materiales mencionados anteriormente, comparando las características mecánicas y físicas respecto a una mezcla convencional.

1. Marco Teórico

1.1 Concreto

El concreto puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento Portland hidráulico), unos materiales de relleno (agregados finos y gruesos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión (de Concreto, A.C.D.P., & Parte, I., 2010). Ante las modificaciones respecto a los agregados finos y/o gruesos es importante analizar su impacto en las propiedades mecánicas del concreto.

1.2. Propiedades del Concreto

Las principales propiedades del concreto a lo largo de su vida útil son: trabajabilidad, resistencia y durabilidad (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2004).

1.2.1. Trabajabilidad o Manejabilidad

La trabajabilidad se define en términos de capacidad de compactación, ya que al conformar el concreto en un molde, hay que vencer la fricción interna de la mezcla y una fricción externa entre el concreto y el molde. Al igual, Sánchez de Guzmán (Pacheco Flores, 2017) expresa “*La manejabilidad es la cantidad de trabajo interno útil y necesario para producir compactación, debido a que la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de un tipo o sistema particular de la construcción*”.

1.2.2. Resistencia

La resistencia de un material se define como la habilidad para resistir esfuerzos sin fallar. La falla se identifica algunas veces con la aparición de grietas. Sin embargo, debe hacerse notar que, a diferencia de la mayoría de los materiales estructurales, el concreto contiene fisuras finas

aún antes de estar sujeto a esfuerzos externos, por lo tanto, en un concreto, la resistencia se relaciona con el esfuerzo requerido para causar fractura (Kumar Mehta & Monteiro, 1998).

1.2.2.1. Resistencia a la Compresión. Esta es una de las principales propiedades mecánicas del concreto y se define como la capacidad de soportar una carga de compresión por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en MPa, kg/cm^2 y con alguna frecuencia, en libras por pulgada cuadrada (psi, por sus siglas en inglés).

Los resultados de las pruebas de resistencia se usan generalmente para aceptar/rechazar un concreto, controlar su calidad o estimar la resistencia a determinadas edades en las estructuras (Cemex., sf). Su valoración se puede realizar mediante la fabricación de cilindros en el momento de la mezcla o mediante extracción de núcleos, una vez el elemento de concreto se encuentre en servicio (Lizarazo Marriaga & Gómez Cortés, 2007).

1.2.2.2. Resistencia a la Tensión. La resistencia a la tensión del concreto varía aproximadamente 8% a 15% de su resistencia a la compresión. Una razón principal para este, relativamente bajo valor es que el concreto desde su fabricación contiene un gran número de fisuras finas. Aunque esta resistencia normalmente se desprecia en los cálculos de diseño, es, sin embargo, una propiedad importante que afecta el tamaño y la extensión de las fisuras que se presentan. La resistencia a la tensión es muy difícil de medir bajo cargas axiales directas de tracción, debido al problema de agarre en los especímenes de prueba, los cuales inducen concentraciones de esfuerzo, y adicional a la dificultad de alinear las cargas. Como resultado, se han desarrollado pruebas alternativas para medir la resistencia a la tensión, como el módulo de rotura y la prueba radial del cilindro (McCormac & Brown, 2017).

1.2.2.3. Resistencia a la Flexión. La resistencia a la flexión es la capacidad de un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal (Aimplas, 2023).

En un concreto esta resistencia es muy baja en comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia en tracción pura. Este parámetro es aplicado en estructuras tales como pavimentos rígidos. El método más empleado para medir este factor es usando una viga simplemente apoyada en carga en los tercios de la luz, aunque en algunos países se emplea el método de viga en voladizo o el de viga simplemente apoyada con carga en el punto medio; los resultados obtenidos difieren del método empleado (Rivera, 1992).

1.2.3. Durabilidad

La durabilidad del concreto se define como “la resistencia a la acción del clima (meteorización), a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. De tal manera que un concreto durable debe mantener su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto a su medio ambiente”. La durabilidad de las estructuras de concreto se ve afectada por los diferentes factores que dependen tanto de las características mismas del concreto, como de las condiciones del medio al que están expuestas (Chopperla, y otros, 2022).

1.3. Agregados Convencionales

Los agregados ocupan las tres cuartas partes del volumen del concreto y es por lo que su calidad y las propiedades son de gran importancia, desde diversos puntos de vista: resistencia, durabilidad, trabajabilidad, comportamiento estructural y económico. Están conformados por una parte fina, denominada arena y una parte gruesa, denominada grava o piedra triturada; separados por un proceso de tamizado mecánico y sus orígenes pueden ser de fuentes naturales (Jonny, 2011).

1.4. Agregados Reciclados

Son generados por los procesos de trituración, clasificación y limpieza de los residuos de construcción y demolición como se puede ver en la Figura 1. En cuanto a su tamaño de fino o grueso se clasifican de la misma manera que los agregados naturales y en algunas ocasiones se usan combinados (Camilo, 2019).

Figura 1.

Ladrillo triturado reciclado



Nota: Tomada de “Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto” [Fotografía]. Rojas, Á. V. P. (2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. *Ingenium*, 13(26), 116-125.

1.4.1. Normativa de los Agregados de Concretos Reciclados como Agregados Pétreos

En esta sección se describe de manera general el avance en la normativa para los agregados de concretos reciclados a nivel nacional e internacional.

1.4.1.1. Normativa Colombiana. La normativa nacional vigente para este tema, todas las obras deben garantizar un correcto manejo y gestión integral de los residuos o desechos peligrosos generados en las obras civiles. Por esta razón, con base a la “Guía de Gestión integral de residuos de construcción y demolición RCD” (Alcaldía mayor de Bogotá - Secretaría Distrital de Ambiente, 2015) en su tercera edición, elaborada en el 2015, por la Alcaldía Mayor de Bogotá en conjunto con la secretaria distrital de Ambiente (SDA), clasificó los residuos de construcción y demolición en dos grandes grupos: aprovechables y no aprovechables (Tabla 1).

1.4.1.2. Normativa Internacional. Esta sección describe de manera general el avance normativo internacional en países como España, Reino Unido, Portugal, Brasil, Alemania, Holanda, Bélgica, Australia, Estados Unidos, Perú, Italia, Noruega, China, Dinamarca, Suiza y Japón para clasificar y dar un nuevo uso a los residuos generados por la demolición y construcción (RCD), basados en las siguientes normas:

España: Guía Española de Áridos Reciclados (GEAR) procedentes de residuos de construcción y demolición elaborada en el periodo 2008-2011, bajo el marco de proyectos de desarrollo experimental del plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, como iniciativa de la asociación Española GERD (Gestores de Residuos de Construcción y Demolición) (Girbés, 2012).

Reino Unido: “BS 8500 Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206” partes 1 (European Standards, “BS 8500-1:2015+A2:2019 Concrete, 2019) y 2 (“BS 8500-1:2015+A2:2019” (Knowledge, 2019), y “BS 8500-2:2015+A2:2019”), (Normas AENOR, 2019) y la guía “PD 6682-1 Aggregates – Part 1: Aggregates for concrete – Guidance on the use of BS EN 12620” (Thenbs, 2019).

Portugal: E 471 -2009” de Portugal, basada en los requisitos dados por la norma europea “UNE EN12620 Áridos para hormigón (E-471, 2009).

Brasil: Clasificación de los agregados que provienen de los residuos de construcción y demolición (RCD), según la norma ABNT NBR 15116 (T.E.E.C. Ltda., 2021).

Alemania: DIN 4226-102:2017-08 Agregados reciclados para concreto de acuerdo con DIN EN 12620 - Parte 102: Ensayos de tipo y control de producción en fábrica (DIN 4226-102:2017-08., 2017).

Holanda: NEN 5905:2010 Suplemento holandés a los agregados para hormigón (NEN, Estandarización y Estándares, 2010).

Bélgica: “PTV 406 Technical Prescription: “Recycled aggregates from construction and demolition waste” (Gonçalves & Brito, 2010) y la norma “NBN EN 206:2013+A1:2016 Concrete - Specification, performance, production and conformity” (NBN EN206:2013+A1:2016., 2016).

Australia: HB 155—2002 Guide to the use of recycled concrete and masonry materials (HB 155, 2002).

Estados Unidos: Con base en los reportes “ACI 555R-01 Removal and Reuse of Hardened Concrete” (European Standards, “BS 8500-1:2015+A2:2019 Concrete, 2019), (Concrete, sf), “ACI 221R-96 reapproved 2001 Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete” (Knowledge, 2019), (Concrete, 2001) y e “ACI Education Bulletin E1-16 Aggregates for Concrete” (Concrete, 2001).

Tabla 1.

Clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD) según la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA)

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD Aprovechables	Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría.
	Residuos de material fino	Residuos finos no expansivos	Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría.
		Residuos finos expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría.
	Otros Residuos	Residuos no pétreos	Plásticos, policloruro de vinilo (PVC), maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos.
		Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc.
		Residuos orgánicos de pedones	Residuos de tierra negra.

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
		Residuos orgánicos de cespedones	Residuos vegetales y otras especies bióticas.
RCD no Aprovechables	Residuos peligrosos, residuos especiales, residuos contaminados con otros residuos.		

Nota: Adaptación de “*Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra*”, por C. Orozco, F. Gómez, J. Severiche, K. Rico, N. Pinto, V Zambrano, W. Alarcón, Y. Elorza, Y. Figueroa, 2015, p. 12, Alcaldía mayor de Bogotá.

Perú: La normativa peruana que rige el uso de los residuos de construcción y demolición es “NTP 400.053 Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición” (NTP 400.053., 2014) y el reglamento nacional de edificaciones peruano “Norma E.060 Concreto armado” (Norma E.060, 2009).

Italia: Italian Ministry of Infrastructure and Transport.

NTC 2008 – Italian Building Code. (NTC 2008, 2008).

Noruega: RESIBA – Recycled Aggregates for Construction and Building 1999-2002 (RESIBA, 2002).

China: Recycled coarse aggregate for concrete GB/T25177 (GB/T 25176, 2011) y recycled fine aggregate for concrete and mortar GB/T 25176 (GB/T 25177, 2011).

Dinamarca: Dansk Standard, DS-EN 12620 + a1: Aggregates for concrete, 2008 (DS/EN 12620 + A1:2008, 200/).

Suiza: Objectif technique 70085 Instruction technique y la Norma SIA 162/4 Béton de recyclage (SIA 162/4, 1995).

Japón: Japanese Industrial Standard JIS A 5021, JIS A 5022 y JIS A 5023[44].

1.5. Materiales no Convencionales en la Construcción

Los materiales no convencionales son aquellos que no son utilizados en las mezclas de concreto de forma rutinaria, éstos pueden ser reciclados donde ya han sido utilizados o ya han cumplido con su vida útil, para así llevarlos a un proceso de trituración y manejo para su implementación de diversos porcentajes como agregados en la mezcla de concreto (Figueroa Rincón, 2020). Entre los más empleados, se tiene:

1.5.1. Escombros de Construcciones Demolidas

Este término se le asigna al material residuo de las actividades como demolición, remodelación y construcción. Normalmente, los escombros se clasifican como residuos urbanos, aunque están más relacionados con una actividad industrial doméstica (Ucros Oyola & Venegas Pérez, 2015) residuos de materiales de construcción, embalaje y escombros que resultan de las operaciones de construcción, remodelación, reparación y demolición de casas, edificios industriales o comerciales, y otras estructuras (Clark, Jambeck, & Townsend, 2006).

Estos residuos representan un porcentaje significativo en la producción global de residuos y la mayoría termina en vertederos, por lo que, muchas investigaciones recomiendan la posibilidad de tratar y dar un nuevo uso como agregados pétreos en la fabricación de, por ejemplo, ladrillos en los que los desechos de demolición y construcción son usados como agregados finos, lo que trae consigo reducción de eliminación en vertederos y promueve materiales sostenibles (Ambika, Vaishnavi, Shivabalan, & Vivek, 2023).

1.5.2. Agregados PET

PET: Politereftalato de etileno, es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Dado que los residuos plásticos tienen una baja biodegradabilidad y están presentes en grandes cantidades, la eliminación de residuos plásticos en un ambiente abierto se considera un problema serio (Rodríguez, Zamora, & Pérez, 2021).

Una gran cantidad de PET consumido se convierte en desperdicio y necesita una extensa área para su almacenamiento. Muchas de estas toneladas de material no se pueden reciclar por completo.

Con respecto a este tema, existe la posibilidad de reciclar residuos como el PET residual para producir concreto y evitar el contacto directo de los plásticos con el medio ambiente, debido a una vida útil más larga del concreto (Rodríguez, Zamora, & Pérez, 2021).

Usar fibras de PET como las que se puede ver en la Figura 2 en el concreto, ayuda a mejorar su ductilidad porque minimiza el agrietamiento. Este método solo recicla una pequeña cantidad de residuos PET y la adición de fibras de dicho material presentará una resistencia mecánica a la compresión cercana a la de las fibras.

En relación con el ensayo de resistencia a la tracción, todos los compuestos fibrosos muestran una mejora en el comportamiento posfisuración (Rodríguez, Zamora, & Pérez, 2021).

Figura 2.

Fibras de PET reciclado.



Nota: Tomada “Diseño de un concreto con fibras de Polietileno Tereftalato (PET) reciclado para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta - Ate - Lima Este” Reyes Montoya, I. M. (2018). <https://hdl.handle.net/20.500.14138/1635>

2. Metodología de la Revisión Sistemática

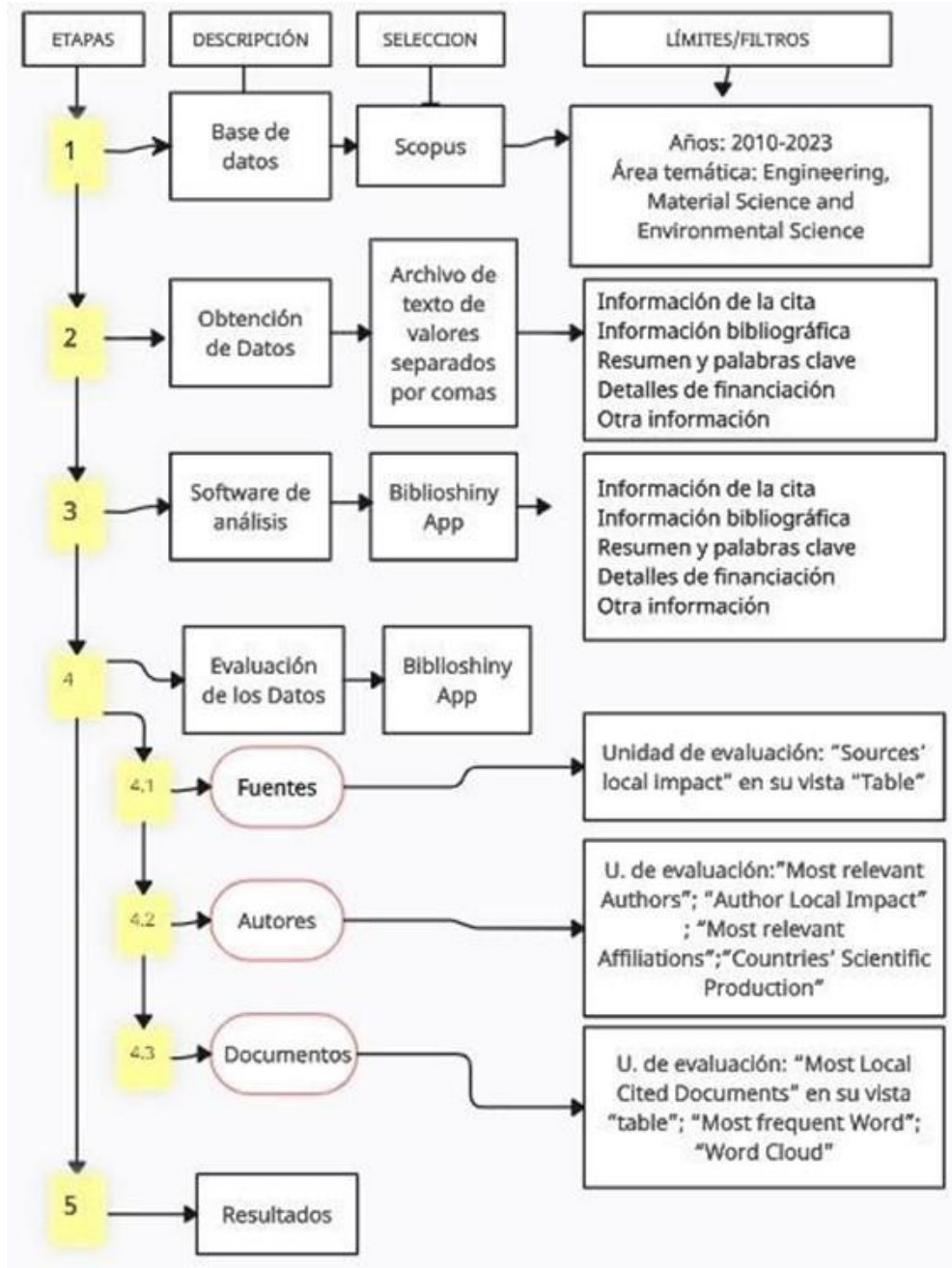
En este estudio, además de realizar una revisión convencional, se realizó un análisis bibliométrico de la evolución de las publicaciones y se valoraron cuantitativamente diversos elementos. Con el propósito de realizar la bibliometría existen varias herramientas disponibles, como análisis de rendimiento, mapeo científico y visualización (Lou, y otros, 2023). En el análisis de datos se empleó la interfaz web Biblioshiny (Biblioshiny, sf) de la herramienta Bibliometrix de R studio. La bibliometría tiene como objetivo brindar un conjunto de herramientas con el fin de analizar la producción científica. Para ello es necesario evaluar un conjunto de datos que se

encuentran en base de datos especializadas en dar visibilidad a publicaciones científicas. El parámetro que mide en diferentes campos de la ciencia, algún aspecto de la actividad científica y el impacto de la investigación se denomina índice bibliométrico. Las dos bases de datos que permiten este análisis son Scopus y Web of Science, ambas con un sesgo comercial (Cascajares, Alcayde, Salmerón-Manzano, & Manzano-Agugliaro, 2021).

Con el objetivo de la revisión literaria se usó la base de datos de Scopus (Scopuscom, sf), con la ecuación de búsqueda “Construction waste and PET plastics as concrete aggregates”, la cual generó 70 documentos, después de aplicar los filtros señalados en la Figura 3, se conservaron de ellos 55 documentos. Para realizar el análisis bibliométrico se exportó en el formato valores separados por comas. En el análisis bibliométrico se usó la interfaz web de Bibliometrix con base en R. El archivo de texto guardado se importó a la interfaz y se procedió a realizar el análisis de los datos, los cuales fueron de tres tipos de análisis: las fuentes de editoriales, autores y documentos; de cada análisis se estudiaron los ámbitos que se creen más relevantes para una revisión sistemática (Torres, 2020). Esta información se presenta gráficamente en las Figuras 4-8.

Figura 3.

Diagrama de flujo de trabajo



3. Resultados Análisis Bibliométrico

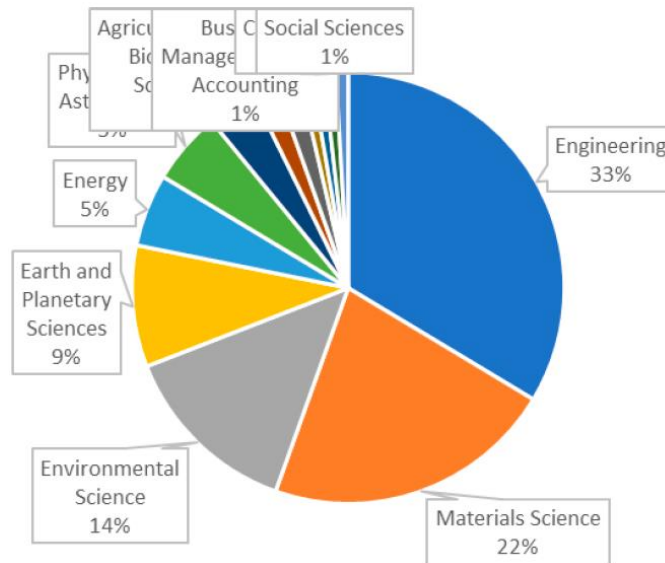
3.1. Áreas Temáticas Relevantes y Producción Científica Anual

Para revisar las áreas de investigación más relevantes se usó el analizador de Scopus (Scopuscom, sf). Como se puede observar en la Figura 4, las áreas temáticas que más generan documentos son ingeniería, ciencia de los materiales y ciencia medioambiental, con alrededor de 32.8%, 20.2% y 13.4 %, respectivamente de los documentos del tema de investigación del presente trabajo.

El desarrollo de la producción científica anual para esta investigación se representa en la Figura 5 para el periodo de 2010 a 2023, con el fin de contar con un tiempo suficientemente extenso para el análisis, el cual se definió como criterio de exclusión. Se detectó poca producción científica relacionada con la ecuación de búsqueda planteada en la base de datos Scopus (Scopuscom, sf) “Construction waste and PET plastics as concrete aggregates” en el

Figura 4.

Área temática de los artículos.



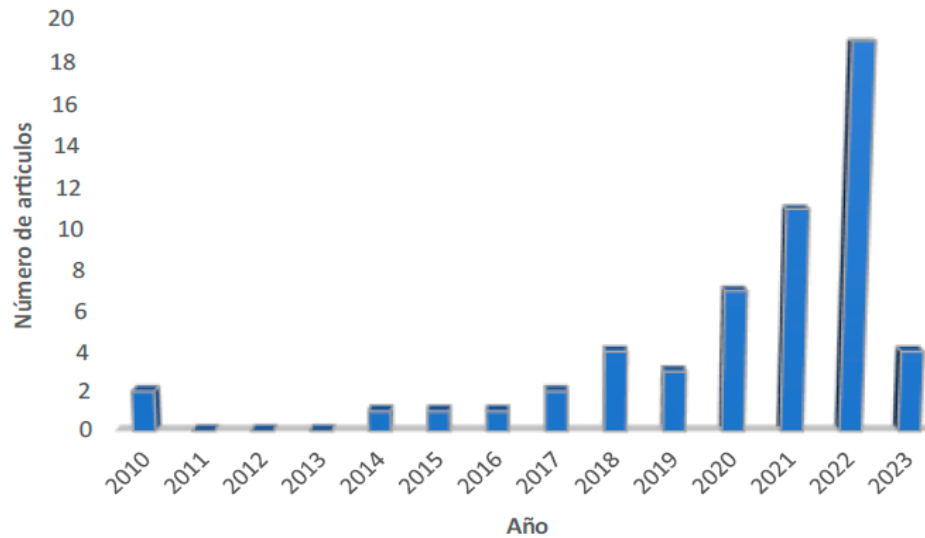
Nota: Adaptación propia de “Analizador de Scopus”. *Scopus - Analizar resultados de búsqueda* | Registrado. (n.d.). <https://www-scopuscom.bibliotecavirtual.uis.edu.co/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=a0493a4ebba323c3297f5e0c2d2f6fb4&sort=a&sdt=a&sl=73&s=TITLE-ABS-KEY%28construction+waste+and+PET+plastics+as+concrete+aggregates%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>.

3.2. Fuentes de Publicación

Para el análisis de las fuentes se usaron los datos bibliográficos exportados de la base de datos Scopus (Scopuscom, sf). En una revisión de literatura sistemática se considera interesante conocer las fuentes o revistas principales que muestra que la revista que más publica es *Construction and building materials* (Science Direct, 2023) con 6 publicaciones, con un indicador h_{index} igual 4, este valor indica el número de documentos publicados con igual o mayor número de citas, también se puede determinar que la revista más citada es *waste management* (WM, s.f.) con 359 veces para los artículos producidos como se muestra en la tabla 2.

Figura 5.

Tendencia anual de la producción científica.



Nota: Adaptación propia en base a los datos generados por la interfaz web de Bibliometrix de R studio relacionada con la ecuación de búsqueda planteada en el presente proyecto

Tabla 2.

Fuentes editoriales desde 2010 a 2023.

Revista	h_index	Total Citas	Número de Publicaciones
Construction and Building Materiales	4	118	6
Materials	3	52	5
IOP Conference Series: Earth and Environment Science	2	4	2
IOP Conference Series: Materials, Science and Engineering	2	12	2
Waste Management	2	359	2
Advances in Concrete Construction	1	16	1
Case studies in Construction Materials	1	11	1
Cleaner Materials	1	14	1
Cogent Materials	1	79	2

Revista	h_index	Total Citas	Número de Publicaciones
E3S Web of Conference	1	44	3
Innovate Infrastructure Solutions	1	15	1
International Journal of Geomate	1	3	1
International Research Journal of Multidisciplinary Technovation	1	3	2
International Review of Civil Engineering	1	1	1
Journal of Building Engineering	1	2	1
Journal of Building Pathology and Rehabilitation	1	8	1
Journal of Cleaner Production	1	3	1
Key Engineering Materials	1	9	3
Lecture Notes in Civil Engineering	1	6	3
Malaysian Construction Research Journal	1	2	1
Open Civil Engineering Journal	1	1	1
Procedia Structural Integrity	1	1	1
Proceedings- International Conference on Developments in	1	5	1
Transportation Geotechnics	1	22	1
Waste and Biomass Valorization	1	31	1

Nota: Adaptación propia en base a los datos generados por la interfaz web de Bibliometrix de R studio. *Biblioshiny*. (n.d.). Bibliometrix. <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/biblioshiny>

3.3. Autores

En un determinado tema de estudio se ve reflejado el impacto de un autor en el número de citas. Además, es fundamental para afrontar un campo de investigación saber cuáles son los principales autores o investigadores que están publicando sobre un tema de investigación; en este

caso, sobre los escombros de construcción y residuos plásticos como agregados del concreto, por lo cual, se analizarán los autores, afiliaciones y países.

Se consideró revisar los 10 autores más relevantes, quienes son los que tienen el mayor número de artículos publicados relacionados con la ecuación de búsqueda del presente proyecto de los cuales, el Dr. Arulrajah Arul de la Universidad Tecnológica de Swinburne de Australia y Suksun Horpibulsuk de la Universidad Tecnológica de Suranaree de Tailandia, quienes son los autores con más artículos publicados cada uno con cuatro.

La tabla 3 presenta la fracción de autoría que ha tenido cada autor, lo cual permite concluir que el autor Priyono del Politécnico del Estado de Manado de Indonesia, tiene el mayor valor de artículos fraccionados.

Es decir, es quien ha tenido mayor participación en los trabajos de investigación y los autores que tienen más artículos, su valor de artículos fraccionados es mucho menor, por lo tanto, han aportado menos a los trabajos, debido a que son muchos coautores.

Se revisó también el impacto local de los autores, en la tabla 4 se muestran los indicadores de los investigadores que están más activos en el campo de estudio.

Los autores más productivos con Número de Publicaciones (NP) son Arulrajah Arul y Suksun Horpibulsuk con 4 artículos y los autores con mayor impacto local son Kubilay Akçaözöğlü, Semiha Akçaözöğlü y Cengiz Duran Atiş todos de Turquía, con 257 referencias cada uno.

Tabla 3.

Top 10: Autores más relevantes relacionados con la ecuación de búsqueda desde 2010 a 2023.

Autor	Artículos	Artículos fraccionados
Arulrajah A	4	0.80
Horpibulsuk S.	4	0.80
Maghool f	3	0.60
Perera s	3	0.60
Priyono	3	1.08
Wong Yc.	3	0.60
Al-Hadithi Ai	2	0.75
Ayop Ss	2	0.31
Aziz Za	2	0.67
Azmi Nb	2	0.31

Nota: Adaptación en base a los datos generados por la interfaz web de Bibliometrix de R studio *Biblioshiny*. (n.d.). Bibliometrix. <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/biblioshiny>.

Tabla 4.

Top 10: Impacto local de los autores relacionados con: “Construction waste and PET plastics as concrete aggregates”, periodo 2010-2023.

Autor	h_index	Citas totales	NP
Akçaözoğlu K	1	257	1
Akçaözoğlu S	1	2571	1
Cengiz Atiş	1	257	1
Arulrajah A.	4	119	4
Horpibulsuk S.	4	119	4
Bui NK.	1	102	1

Autor	h_index	Citas totales	NP
Satomi T.	1	102	1
Takahashi H.	1	102	1
Maghool F.	3	97	3
Perera S.	3	97	3

Nota: Adaptación propia en base a los datos generados por la interfaz web de Bibliometrix de R studio *Biblioshiny*. (n.d.). Bibliometrix. <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/biblioshiny>

Por otro lado, el top 10 de los centros más productivos en el tema investigación: “Construction waste and PET plastics as concrete aggregates” como se puede observar en la Figura 6, de los cuales, la Universidad Tecnológica de Swinburne de Australia con mayor cantidad de artículos, es la institución más productiva con (14), seguida de la Universidad Covenant de Nigeria con (11) y la Universidad Continental de Perú (8). Así mismo, en la Figura 7 se muestra en el mapamundi la producción científica de los países, en la que se resalta de color azul oscuro el país con más producción científica los cuales son Indonesia, Malasia, Australia, India y Nigeria. Respecto a la Figura 8 muestra que Turquía es el país más citado con 260, seguido de Australia con 127.

3.4. Documentos

A nivel de documentos se revisó el top 10 de los documentos más citados a nivel global como se puede observar en la tabla 5, en la cual, con base a los índices presentados se observa que todos los documentos no fueron citados a nivel local, es decir, dentro del tema de investigación planteado ningún documento se citó dentro de los 55 documentos de la revisión sistemática.

Otra opción del menú, que ofrece la pestaña de documentos es “las palabras más frecuentes” que se muestra en la tabla 6, de las cuales, se tomaron las 10 palabras más frecuentes que se

encuentran en el resumen. Este se utiliza para darle una revisión general a cada documento y de esta manera, saber si el mismo brindará la información que se necesita para el tema de investigación planteado y las palabras más usadas son concrete, pet, waste, plastic, strength, Aggregate, Construction, materials, aggregates y compressive; cada una con 235, 228, 150, 149, 114, 112, 80, 69, 65 y 57 ocurrencias, respectivamente.

Tabla 5.

Top 10: Documentos citados a nivel lo global relacionados con la ecuación de búsqueda planteada.

Documentos	Año	País	Citas globales
AKÇAÖZOĞLU S, 2010, WASTE MANAGE	2010	Turquía	257
BUI NK, 2018, WASTE MANAGE	2018	Japón	102
SOJOBIAO, 2016, COGENT ENG	2016	Nigeria	78
PERERA S, 2019, CONSTR BUILD MATER	2019	Australia	60
SAI GOPI K, 2020, E3S WEB CONF	2020	India	43
HANNAWI K, 2010, WASTE BIOMASS VALORIS	2010	Francia	31
ARULRAJAH A, 2020, CONSTR BUILD MATER	2020	Australia	25
GHRBANI B, 2021, TRANSP GEOTECH	2021	Australia	22
LAWANIA K, 2015, MATER	2015	Australia	21
MARVILA M, 2022, MATER	2022	Brasil	18

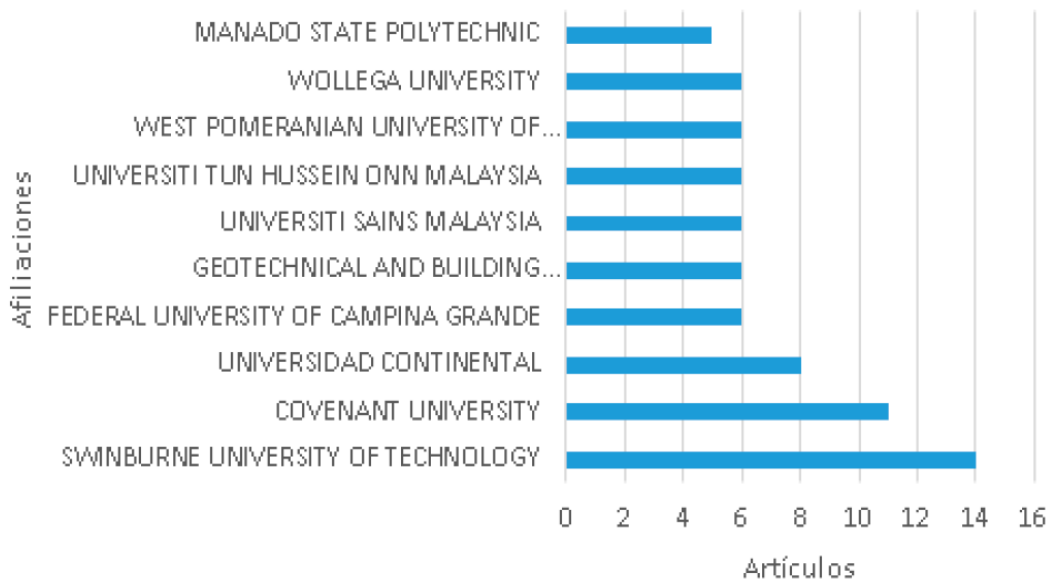
Nota: Adaptación propia en base a los datos generados por la interfaz web de Bibliometrix de R studio. *Biblioshiny*. (n.d.). Bibliometrix. <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/biblioshiny>

Cabe considerar, por otra parte, la pestaña documentos ofrece la opción de “Word Cloud” como se ilustra en la Figura 9, esta brinda una visión gráfica previa de los temas que se van a tratar en la colección de documentos en torno al tema de estudio: “Construction waste and PET plastics as concrete aggregates”.

Para generar la figura del “Word Cloud” que se muestra en la Figura 9, se configuró para que la interfaz mostrara las 30 palabras más claves del autor, entre las más destacadas se encuentran: compressive strength, concrete, plastic waste, pet, polyethylene terephthalate, mechanical properties, demolition waste, recycling, flexural strength y lightweight concrete.

Figura 6.

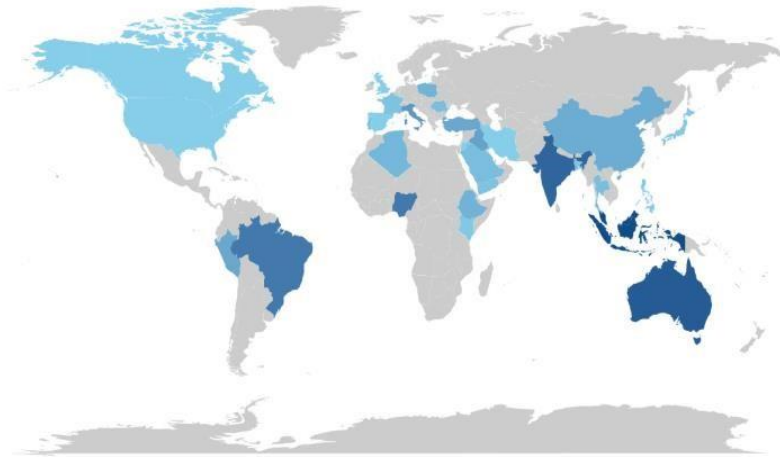
Instituciones más productivas.



Nota: Adaptación propia de Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Figura 7.

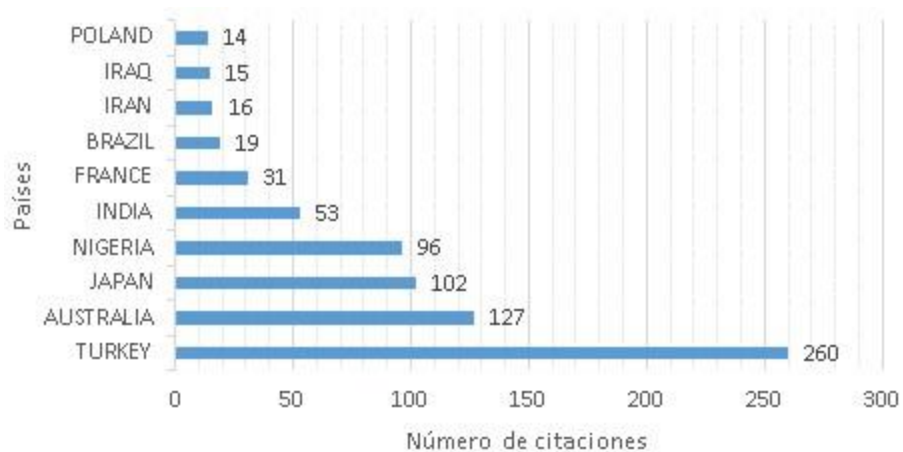
Producción científica en los países



Nota: Tomado de Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Figura 8.

Países más citados.



Nota: Adaptación propia de Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Tabla 6.

Top 10: Palabras más frecuentes del “Abstract”.

Palabras	Ocurrencias
Concrete	235
Pet	228
Waste	150
Plastic	149
Strength	114
Aggregate	112
Construction	80
Materials	69
Aggregates	65
Compressive	57

Nota: Adaptación propia en base a los datos generados por la interfaz web de Bibliometrix de R studio. *Biblioshiny*. (n.d.). Bibliometrix. <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/biblioshiny>

Figura 9.

Word Cloud top 30 Palabras más claves del autor:



Nota: Tomado de Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

4. Aplicaciones de los escombros de construcción y residuos PET en el concreto hidráulico

En esta sección, se busca dar cumplimiento al primer objetivo planteado que es revisar los usos de los residuos de construcción y plásticos usados como reemplazo parcial o total de los agregados gruesos y/o finos del concreto.

El crecimiento rápido de desechos plásticos y de demolición generados por las diferentes industrias es un desafío importante para los países en desarrollo y desarrollados. Razón por la cual, sustituir materiales de construcción convencionales es una solución sostenible que reduce la necesidad de usar materiales de canteras y reducirán la cantidad de material de desecho enviado a los vertederos (Perera, Arulrajah, Wong, Horpibulsuk, & Maghool, 2019). Los investigadores están cada vez más interesados en estudiar estos productos en la mezcla de concreto hidráulico como se muestra en la Figura 5.

En la literatura existen diversas aplicaciones de los plásticos, ya sea como fibras plásticas, agregado fino o agregado grueso (Foti, 2013). De los diferentes tipos de plásticos tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), policloruro de vinilo (PVC), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y otros plásticos (O) que se ilustran en la Figura10, el PET es el más usado en todo el mundo, ya que se encuentra en las botellas plásticas, láminas y cordón de neumáticos. Además, posee excelentes capacidades mecánicas y estabilidad dimensional cuando se somete a cargas variables, lo que ha llevado a muchos investigadores a estudiar los efectos del PET en el concreto, adicionándolo triturado en diferentes tamaños a la mezcla para reemplazar el agregado fino o el agregado grueso en porcentajes que oscilan entre 5% y 30%, aunque el mayor problema es que su uso reduce la resistencia del concreto (Askar, Al-Kamaki, & Hassan, 2023).

Figura 10.

Tipos de plásticos en general.



Nota: Tomada de “Tipos de plásticos” [Imagen] Juste, I. (2020, May 14). Tipos de plásticos. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-plasticos-1732.html>

En la tabla 7 se puede visualizar algunas de estas investigaciones que reemplazaron los desechos plásticos en el concreto (Nikbin, Allahyari, & Fallah, 2016). De diferentes estudios (Nikbin, Rahimi, Allahyari, & Fallah, 2016), se puede concluir que los residuos plásticos en proporciones adecuadas y con un método bien preparado pueden usarse potencialmente como un nuevo material de construcción alternativo.

Tabla 7.

Usos del plástico como agregados en el concreto.

Tipo de plástico usado	Uso en concreto
Partículas de PET molidas con un tamaño máximo de 7 mm, el peso unitario estimado fue de 464 kg/m ³ y la gravedad específica de las partículas de PET fue de 1.11 g/cm ³ (Saikia & De Brito, 2014).	Se reemplazó agregado fino por partículas de PET en un 5%, 10% y 15% (vol.) (Saikia & De Brito, 2014).

Se utilizan tres tipos distintos de partículas de plástico: partículas de plástico finas y escamosas trituradas, partículas de plástico gruesas y escamosas trituradas, esféricas/cilíndricas en forma de pellets tratadas térmicamente (Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin, 2013, pág. 1308).	5%, 10% y 15% del volumen de agregado natural reemplazado por cada tipo de partículas plásticas (Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin, 2013)..
Partículas de PET trituradas con un tamaño máximo de 7 mm (Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin, 2013, pág. 1308).	Se reemplazó la arena por partículas de PET en un 5%, 10% y 15% del volumen. (Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin, 2013, pág. 1308).
Botellas de PET utilizadas como fibra (Ramadevi & Manju, 2012).	Se reemplazaron los agregados finos por volumen, en el concreto con 1%, 2%, 4% y 6% de las fibras de la botella de PET (Ramadevi & Manju, 2012).
Plástico pulverizado utilizado en forma de gránulos de 1 mm de tamaño (Suganthi, Chandrasekar, & Kumar, 2013).	Arena reemplazada con 25%, 50%, 75% o 100% de gránulos de plástico (Suganthi, Chandrasekar, & Kumar, 2013).
Se utiliza en tres formas diferentes: PET utilizado en fibra circular con un ancho de 5 mm, como tiras con dos medias botellas superpuestas y como tira con cuatro capas superpuestas. Agregados de PET reciclado (Foti, 2013).	Agregado al 1% del peso del concreto en las tres formas (Foti, 2013).
Agregados de PET reciclado (Saikia & De Brito, 2013).	Se sustituyeron los agregados naturales por el agregado plástico al 5%, 10% y 15% en volumen (Saikia & De Brito, 2013).
Escamas de plástico como agregado fino (Rai, Rushad, Kr, & Duggal, 2012).	Reemplazo de 0%, 5%, 10% y 15 % de volumen de plástico como arena (Rai, Rushad, Kr, & Duggal, 2012)..

Escamas de PET reciclado (Córdoba, Martínez-Barrera, Díaz, Nuñez, & Yañez, sf)	Se utilizaron tres tamaños diferentes, 0.5, 1.5 y 3.0 mm. Para cada tamaño se consideraron tres concentraciones diferentes de partículas de PET, 1.0%, <u>2.5% y 5.0% en volumen</u> (Córdoba, Martínez-Barrera, Díaz, Nuñez, & Yañez, sf).
Pequeños trozos de bolsas de plástico (Raghatate & otros, 2012).	Adición de plásticos del 0 al 1% (vol.) en la matriz del concreto (Raghatate & otros, 2012).
Residuos plásticos granulados (Ismail & Al-Hashmi, 2010).	Arena reemplazada con 5% o 10% de plástico granulado en peso y 0–50% de hierro en peso (Ismail & Al-Hashmi, 2010).

Nota: Adaptación de “Feasibility study of waste Polyethylene Terephthalate (PET) particles as aggregate replacement for acid erosion of sustainable structural normal and lightweight concrete,” por I. M. Nikbin, S. R. R, H. Allahyari, and F. Fallah, 2016, *Journal of Cleaner Production*, vol. 126, pp. 108–117, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.143.

El agregado reciclado producto de desechos de construcción después de realizar una obra o de las actividades de demolición, excavación, construcción y/o reparación de las obras civiles, se compone de agregado original y mortero, por ello, se usa el método de refinación de agregados en la producción con el fin de reducir el uso de agregados naturales como grava o arena (Supit, Priyono, & Sumajow,, 2022).

La industria de la construcción tiene una gran demanda de agregados; por lo cual, estos materiales alternativos disminuyen el consumo excesivo de los recursos no renovables. Los agregados secundarios procedentes de residuos plásticos y subproductos generados por los escombros de construcción, pueden ser una opción sustentable, que brinda beneficios económicos y ambientales.

5. Efectos en las Propiedades Mecánicas del Concreto Modificado con Residuos PET y/o Escombros de Construcción

En esta sección, se busca dar cumplimiento al segundo objetivo planteado el cual consiste en revisar la resistencia a la compresión, tensión y/o flexión usando residuos de construcción y plásticos como reemplazo parcial o total de los agregados gruesos y/o finos del concreto.

De la tabla 7, por cada investigación sobre los usos del plástico se determinó el efecto en las propiedades mecánicas. De la investigación (Saikia & De Brito, 2014). se obtuvo que independiente del tipo de agregado de PET en la mezcla la resistencia a la compresión, tracción y flexión disminuye comparada a la de referencia. De otra investigación planteada (Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin, 2013) se determinó que la resistencia a la compresión para un 5 % de plástico PET por agregado fino produjo una resistencia óptima, por otro lado, si aumenta el porcentaje de sustitución esta disminuye, también se obtuvo que la resistencia a la tracción y a la flexión se reduce debido a las deficiencias internas provocadas las partículas PET. Ahora bien, la investigación (Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin, 2013, pág. 1308) mostró menor resistencia a la tracción en la mezcla por las partículas PET que la convencional y las resistencias a la compresión y flexión muestran una tendencia a aumentar en la etapa inicial, pero después de un tiempo disminuyen. En el estudio (Ramadevi & Manju, 2012) se reveló un aumento en la resistencia a la compresión y tracción en comparación a los especímenes de control. En la investigación (Suganthi, Chandrasekar, & Kumar, 2013). la variación de la resistencia a la compresión mostró un patrón similar a la de un concreto convencional. En el contexto planteado, el estudio [67] demostró que el desarrollo de la resistencia a la compresión de la mezcla que contienen agregados PET es similar a la normal y que la resistencia a la tracción y flexión es

proporcional a la resistencia a la compresión. En otra investigación (Rai, Rushad, Kr, & Duggal, 2012)., se determinó que la resistencia a la compresión disminuye en cada edad de curado, con el aumento de la proporción de los residuos plásticos, debido entre una débil fuerza adhesiva entre el plástico y el cemento, al igual que disminuye la flexión.

En otro estudio planteado (Córdoba, Martínez-Barrera, Díaz, Nuñez, & Yañez, sf), se obtuvo que la resistencia a la compresión aumenta a medida que los tamaños y proporciones de partículas PET disminuyen, como resultado de que se crean menos espacios en la mezcla de concreto.

En un estudio (Mazenan, y otros, 2018) se reemplazó los agregados finos por agregados finos plásticos (PET) en porcentajes de 25, 50, 75 y 100 en volumen y se compararon con una mezcla de control (M0). Según los resultados, la resistencia a la compresión a un tiempo de curado de 7 y 28 días comenzó a disminuir a medida que se aumenta el porcentaje de agregado fino de plástico, también se puede determinar que la mezcla con 50 % de agregado plástico fino, mostró mejor comportamiento en comparación con las otras tres mezclas y se redujo la resistencia a compresión en un 7.6 % comparada con la mezcla de control.

En otro estudio (Kumar Gupta, Kapoor, Nazeer, & Kaur, 2021), se sustituyó el agregado fino en un porcentaje de 10%, 15% y 20% de agregado plástico fino. Del mismo modo, para cada porcentaje de sustitución del agregado plástico fino, se sustituyó el agregado grueso por un 15%, 20% y 25% de agregado plástico grueso, lo que arrojó como resultado que la resistencia a la compresión de la mezcla adicionando plástico de desecho se redujo mediante la adición de este, atribuyéndose esto a la escasa fuerza de unión entre las partículas de plástico y el concreto.

En otro estudio (Jaivignesh & Sofi, 2017) el agregado PET se obtuvo a partir de la trituración de botellas y el reemplazo de la composición de la mezcla, se hizo en 5 % y 10 % en

volumen del agregado natural por el agregado reciclado. Según los resultados, disminuye la resistencia a la compresión a medida que aumenta el contenido de agregado reciclado.

Otro estudio (Figueiredo & et.al., 2022) investiga el efecto de los residuos plásticos como agregado grueso, los cuales pasaron por un proceso previo para transformarse en partículas granulares, denominadas hojuelas de PET posconsumo como las que se ilustran en la Figura 11. Se le aplica calor, se derriten, se deja enfriar y se tritura para obtener el tamaño deseado. Para evaluar el desempeño, se desarrollaron varias mezclas con diferentes porcentajes de agregados PET adicionados; en 0 %, 20 %, 30 %, 40% y 50 % (vol.) de agregados gruesos. Los resultados muestran una tendencia a la reducción de la resistencia a la compresión en comparación a una mezcla normal, debido a la acumulación de agua en la zona de transición agregado-concreto.

Figura 11.

Hojuela de PET posconsumo.



Nota: Tomada de “*RIAL PLASTIC*. (n.d.). *RIAL PLASTIC*” [Imagen].

<https://rialplastic.com/project/pethojuela/>

Otra investigación (Islam, Meherier, & Islam, 2016) desarrolló concreto polimérico el cual contiene PET reciclado y agregados de concreto reciclado. El agregado de concreto reciclado posee una baja resistencia, pero es compensado por una alta resistencia del polímero. En general, se

observó que la resistencia a la compresión fue considerablemente menor en comparación con la mezcla con agregado natural.

Por otro lado, un estudio (Jo, Park, & Park, 2008) en el que el concreto producido usando un máximo de 60 % de agregados gruesos reciclados con un 30 % de agregados finos reciclados en volumen, alcanzaron una resistencia similar o superior a una mezcla con agregados naturales, pero la resistencia a la tracción fue inferior a la misma. Estos resultados demuestran que es viable usar agregados de concreto reciclado finos junto con agregados de concreto reciclado gruesos en la fabricación del concreto.

Otro estudio (Vintimilla & Etxeberria, 2023) evaluó el uso de escombros de pilotes para agregados y residuos plásticos como agregados finos en una proporción de 10 %, 20 % y 30 % en volumen provenientes del reciclaje, el cual, se determinó que reemplazar residuos plásticos afectó la resistencia a la compresión, así mismo, la tasa de desarrollo de la resistencia después de curado. A medida que se aumentaba la cantidad de residuos plásticos se reducía la resistencia a la compresión máxima de las muestras. La mezcla de concreto reciclado junto con el 10 % de plástico reciclado presentó menos impacto en la resistencia del concreto y demostró propiedades aceptables para su uso en la industria.

Por otro lado, con base en la literatura revisada, una investigación (Jantarachot, 2023) planteó sustituir plásticos PET en un 0%, 5 %, 10 % y 15 % en masa como sustituto parcial del agregado fino, en el que se evidenció que la sustitución entre el 5 % y 10 % aporta al aumento de la resistencia a la compresión en un 8 % y 11 % en comparación a la mezcla de control. Así mismo, la resistencia a la flexión aumentó en un 43 %, lo que muestra que la sustitución es viable hasta un 10 %, aunque se recomienda realizar estudios de su comportamiento a largo plazo.

En general, se ha observado que el porcentaje de sustitución de los agregados convencionales por agregados reciclados afecta las propiedades mecánicas del concreto y estas pueden variar dependiendo de varios factores, como el porcentaje de sustitución y las características internas de las partículas recicladas, por lo que se hace necesario realizar estudios específicos en cada caso particular.

6. Impactos Ambientales y Económicos de Usar Materiales Reciclables en la Producción del Concreto Convencional

Con la finalidad de dar cumplimiento al tercer objetivo, esta sección plantea el impacto ambiental y económico en el uso de escombros de construcción y/o residuos plásticos como agregados en la fabricación del concreto.

El problema de manejo y disposición de escombros, así como el de los residuos plásticos plantea grandes retos por lo que, hoy en día las empresas están interesadas en el desarrollo sostenible, debido a que el concreto está presente en todos los ámbitos y posee propiedades únicas, que puede ser fragmentado en partículas más pequeñas para darle una nueva vida (Adajar & I.O., 2022).

En la revisión de la literatura (ISSUU, sf), se plantea que es posible generar ingresos debido que al considerar usar materiales generados en la construcción lo que reduce costos en el transporte de materiales y en la compra de los agregados naturales, también se reduce gastos en la gestión de los residuos y un posible valor agregado de estos.

En cuanto al impacto ambiental, se ha demostrado que es posible reciclar de manera eficiente las botellas de PET desechadas, debido a que por metro cúbico de concreto se puede usar

entre 175 o 437 botellas (Awoyera & Adesina, 2020). Esto implica que estos desechos no terminaran contaminando los océanos o los ríos, evitando así un impacto directo en la vida marina como se ilustra en la Figura 12.

Figura 12.

Las crías de tortuga laúd de la playa Matura, en Trinidad y Tobago, se encuentran con botellas de plástico y otros desechos en su camino hacia el océano.



Nota: Tomada de “La ruta del plástico: del bote de basura a los ecosistemas marinos” [Imagen].

(2022, April 20). *National Geographic*.

<https://www.nationalgeographicla.com/medioambiente/2022/04/la-ruta-del-plastico-del-bote-debasura-a-los-ecosistemas-marinos>

7. Conclusiones

La producción científica respecto a la ecuación de búsqueda planteada en el campo de investigación de los escombros de construcción y residuos plásticos como agregados del concreto, ha experimentado un aumento en los últimos años. Según el análisis bibliométrico realizado en el presente estudio, se observa que las publicaciones relacionadas con el tema planteado han

aumentado, especialmente en el año 2022. Esto indica un creciente interés por parte de los investigadores en el estudio de técnicas de construcción sostenible y el uso de materiales alternativos en la industria de la construcción. Este aumento en la producción científica refleja la necesidad de desarrollar soluciones que contribuyan a abordar los desafíos socioambientales y promover la economía circular en el sector de la construcción.

En la literatura revisada se evidencia que sustituir agregados reciclados por naturales, genera algunos cambios en las propiedades del concreto debido a la variabilidad de cada componente en su calidad y origen. Los residuos plásticos, especialmente el PET, pueden ser utilizados como fibras plásticas, agregados finos o agregados gruesos en el concreto. A sí mismo, los residuos de construcción con un correcto proceso se les da nuevo uso como agregados finos o gruesos.

En cuanto a las propiedades mecánicas del concreto modificadas con residuos plásticos y agregados de construcción, se ha observado que la resistencia a la compresión puede disminuir a medida que se aumenta el porcentaje de agregado plástico. Lo mismo ocurre para la tracción, con base en la producción científica revisada se redujeron debido a deficiencias internas provocadas por las partículas PET.

La resistencia a la flexión también sufrió una disminución según la mayoría de las revisiones, en otra se evidenció un aumento entre un 6% y 8% con el reemplazo del 5 % del volumen de arena por partículas PET, aunque se recomienda hacer estudios más rigurosos de su comportamiento.

En cuanto a usar agregados reciclados de escombros de construcción, las propiedades mecánicas varían según los estudios realizados, ya que, en algunos se ha encontrado que la resistencia a la compresión es similar a la de las mezclas convencionales. Sin embargo, otros

estudios han mostrado que la resistencia a la flexión y tracción han disminuido debido a las deficiencias internas causadas por las partículas recicladas.

Finalmente, los agregados secundarios provenientes de residuos plásticos y escombros de construcción pueden ser una opción sustentable que brinda beneficios económicos y ambientales al disminuir el consumo excesivo de recursos no renovables.

8. Recomendaciones

Según la revisión sistemática realizada, se recomienda tener una ecuación de búsqueda clara y realizar una revisión previa del tema de investigación planteado. Esto permitirá contar con una amplia variedad de términos que se pueden utilizar en la ecuación de búsqueda. También, es importante resaltar que al momento de exportar los documentos con los cuales se hará el análisis bibliométrico, específicamente desde Scopus (Scopuscom, sf), se haga con todas las categorías que la base datos ofrece, ya que al importar el archivo a la interfaz web de bibliometrix le arrojará un mensaje de error y no podrá realizarse ningún tipo de análisis.

Cabe considerar, por otra parte, aunque algunos estudios dan a entender la posibilidad de usar residuos de construcción y residuos PET, ya sea de manera individual o en conjunto, se recomienda para futuras investigaciones realizar un análisis exhaustivo de las propiedades de cada componente a usar, así como, las propiedades tanto físicas como mecánicas del concreto modificado, es decir, por ejemplo, la resistencia a la compresión puede que no se vea afectada pero la trabajabilidad sí.

Referencias Bibliográficas

- Adajar, M., & I.O., U.-A. (2022). *Effects of polyethylene terephthalate (pet) plastics on the mechanical properties of fly ash concrete*. International Journal of GEOMATE, vol. 23, núm. 95, pp. 162–167.
- Aimplas. (2023). *Admin, “Ensayo de flexión,” AIMPLAS*. Obtenido de <https://www.aimplas.es/tiposensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-%20plasticos/ensayo-de-%20flexion/>
- Alcaldía mayor de Bogotá - Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra*. Bogotá, Colombia.
- Ambika, D., Vaishnavi, T., Shivabalan, S., & Vivek, S. (2023). *Study on effective utilization of C&D debris as light weight material*. . Obtenido de Nucleation and Atmospheric Aerosols: <https://doi.org/10.1063/5.0119909>
- Askar, M., Al-Kamaki, Y., & Hassan, A. (2023). *Utilización de tereftalato de polietileno PET en hormigón: una revisión*. Polymers (Basilea), vol. 15, núm. 15, pág. 3320.
- Awoyera, P., & Adesina, A. (2020). *Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective*. Obtenido de Case Studies in Construction Materials, 12, e00330. : <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00330>
- Biblioshiny. (sf). *Bibliometrix*. . <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/biblioshiny>.
- Bu, C., & col., y. (enero de 2022). *“La durabilidad del hormigón de agregado fino reciclado: una revisión”*, *Materiales*, vol. 15, núm. 3, pág. 1110. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/ma15031110>

- Camilo, R. (2019). *“Propuesta de guía de uso de los agregados reciclados en Colombia provenientes de RCD, basado en normativa internacional y en el desarrollo de investigaciones de universidades colombianas”* . Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77323>
- Cascajares, M., Alcayde, A., Salmerón-Manzano, E., & Manzano-Agugliaro, F. (2021). *“La literatura bibliométrica sobre Scopus y WoS: Las categorías de medicina y Ciencias Ambientales como caso de estudio”*, . Int. J. Medio Ambiente. Res. Salud Pública, vol. 18, núm. 11,.
- Cemex. (sf). *Porque se determina la resistencia a la compresión.* . Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto>
- Chopperla, K., Smith, S., Drimalas, T., Vaddey, N., Bentivegna, A., Kurtis, K. T., & Ideker, J. (2022). *Unified Durability Guidance in ACI Committee Documents.* . Obtenido de ACI Materials Journal, 119(2), 29-41
- Clark, C., Jambeck, J., & Townsend, T. (2006). *A review of construction and demolition debris regulations in the United States.* . Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 36(2), 141-186.
- Concrete. (2001). *“ACI PRC-221-96: Guide for use of normal weight and Heavyweight aggregates in Concrete.* Obtenido de https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=22196&Format=DOWNLOADED&Language=English&Units=US_AND_METRIC
- Concrete. (2001). *ACI PRC-221-96: Guide for use of normal weight and Heavyweight aggregates in Concrete* . Obtenido de

[https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=22196&Format=DOWNLOA
D&Language=English&Units=US_AND_METRIC](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=22196&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_AND_METRIC)

Concrete. (sf). *“ACI PRC-555-01: Eliminación y reutilización de hormigón endurecido.”* .

Obtenido de

[https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=55501&Format=DOWNLOA
D&Language=English&Units=US_AND_METRIC](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=55501&Format=DOWNLOA
D&Language=English&Units=US_AND_METRIC)

Concrete. E-1(16) Aggregates for concrete.

[https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=E116&Language=English&Units=U
S_Units](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=E116&Language=English&Units=U
S_Units)

Córdoba, L., Martínez-Barrera, G., Díaz, C., Nuñez, F., & Yañez, A. (sf). *Research Article Effects on Mechanical Properties of Recycled PET in CementBased Composites.*

de Concreto, A.C.D.P., & Parte, I. (2010). (). *Tecnología del concreto.*

DIN 4226-102:2017-08. (2017). *Agregados reciclados para hormigón según DIN EN 12620 - Parte 102: Ensayos de tipo y control de producción en fábrica.* . Comité de Normas de Construcción DIN.

Dosho, Y. (2007). *“Development of a sustainable concrete waste recycling system-Application of recycled aggregate concrete produced by aggregate replacing method.”* . Obtenido de Journal of Advanced Concrete Technology 5.1 27-42.: <https://doi.org/10.3151/jact.5.27>

DS/EN 12620 + A1:2008. (200/). *Webshop Dansk Standard.* . Obtenido de <https://webshop.ds.dk/en/standard/M230327/ds-en12620-a1-2008>

E-471. (2009). *Guía para la utilización de agregados reciclados gruesos en hormigones de ligantes hidráulicos.* . Portugal: Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil. .

- European Standards, “BS 8500-1:2015+A2:2019 Concrete. (2019). *Complementary British Standard to BS en 206 Method of specifying and guidance for the specifier*,”. Obtenido de <https://www.enstandard.eu/bs-8500-1-2015-a2-2019-concretecomplementary-british-standard-to-bs-en-206-methodof-specifying-and-guidance-for-the-specifier/>
- Fawzy, A., Elshami, A., & Ahmad, S. (2023). *Investigación de los efectos de los agregados reciclados y las mezclas minerales sobre las propiedades mecánicas y el rendimiento del hormigón*. *Materiales*, 16, 5134. . Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ma16145134>
- Figueiredo, F., & et.al. (2022). *Hormigón con sustitución parcial de agregado natural por agregado PET—Un estudio exploratorio sobre la influencia en la resistencia a la compresión*”, . *AIMS Mater. Ciencia.*, vol. 9, núm. 2, págs. 172-183.
- Figueroa Rincón, H. (2020). *Uso de materiales no convencionales en la elaboración de concretos*.
- Foti, D. (2013). “*Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete*”. *Compos. Struct.*, vol. 96, pp. 396–404.
- Foti, D. (2013). *Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete*. Obtenido de *Composite Structures*, vol. 96, pp. 396–404: doi: 10.1016/j.compstruct.2012.09.019
- GB/T 25176. (2011). *Recycled fine aggregate for concrete and mortar*. . Academia China de Investigación para la Construcción.
- GB/T 25177. (2011). *Recycled coarse aggregate for concrete*. . Academia China de Investigación para la Construcción.
- Girbés, I. (2012). “*Guía española de áridos reciclados procedentes de RCD*,” . Obtenido de ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/259338359_Guia_espanola_de_aridos_reciclad os_procedentes_de_RCD

- Gonçalves, P., & Brito, J. (2010). *Recycled aggregate concrete (RAC)–comparative analysis of existing specifications*. . Magazine of Concrete Research, 62(5), 339-346.
- HB 155. (2002). *Guide to the use of recycled concrete and masonry materials*, . Standards Australia.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2004). “*Cuales son las propiedades del concreto*”. Obtenido de <https://www.construyendoseguro.com/cuales-sonlas-propiedades-del-concreto/>
- Islam, J., Meherier, S., & Islam, A. K. (2016). *Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete*, C. Obtenido de Construction and Building Materials, vol. 125, pp. 946–951 : doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.128
- Ismail, Z., & Al-Hashmi, E. (2010). *Validation of using mixed iron and plastic wastes in concrete*. . In Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. Ancona (pp. 393-403).
- ISSUU. (sf). *Reciclaje de concreto*. Obtenido de https://issuu.com/dk.edan95/docs/reciclaje-dconcreto_1
- Jahidul Islam. (2022). *Estudio comparativo del hormigón con plástico residual de tereftalato de polietileno y polipropileno como reemplazo parcial del agregado grueso, Avances en ingeniería civil, artículo ID 4928065, 13 pág., . Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2022/4928065>*
- Jaivignesh, B., & Sofi, A. (2017). *Estudio sobre propiedades mecánicas del hormigón utilizando residuos plásticos como agregado*”, . IOP Conf. Ser. Entorno terrestre. Ciencia., vol. 80, pág. 012016.

- Jantarachot, K. (2023). *Compressive strength of recycled aggregated concrete from concrete waste and plastic waste*. Obtenido de doi: <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/3857>
- Jo, B.-W., Park, S. K., & Park, J. C. (2008). *Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates*. Obtenido de *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 12, pp. 2281–2291: doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.10.009
- Jonny, J. (2011). *Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique) (Doctoral dissertation)*. Bogotá: Universidad la Gran Colombia, facultad de ingeniería civil.
- Knowledge. (2019). “*BS 8500-2:2015+A2:2019 | BSI Knowledge*,”. Obtenido de <https://knowledge.bsigroup.com/products/concretecomplementary-british-standard-to-bs-en-206specification-for-constituent-materials-andconcrete?version=standard>
- Kumar Gupta, B., Kapoor, K., Nazeer, M., & Kaur, M. (2021). “*Waste plastic aggregates as a replacement of natural aggregates*”, en *Lecture Notes in Civil Engineering*. Cham: Springer International Publishing, pp. 249– 258.
- Kumar Mehta, P., & Monteiro, P. (1998). *Concreto, estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del cemento y del concreto.
- Lawania, K., Sarker, P., & W. (2015). “*Global Warming Implications of the Use of By-Products and Recycled Materials in Western Australia’s Housing Sector*,”. Obtenido de *Materials*, vol. 8, no. 10, pp. 6909–6925: doi: 10.3390/ma8105347
- Lizarazo Marriaga, J., & Gómez Cortés, J. (2007). *Desarrollo de un modelo de redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad eléctrica del*

- concreto*. Ingeniería e Investigación, 27(1), 11-18. Obtenido de Ingeniería e Investigación, 27(1), 11-18.
- Lou, Y., Khan, K., Amin, M. N., Ahmad, W., Deifalla, A. F., & Ahmad, A. (2023). “*Performance characteristics of cementitious composites modified with silica fume: A systematic review*”,. Case Stud. Constr. Mater., vol. 18, núm. e01753, p. e01753.
- Mazenan, P., Khalid, F., Azmi, N., Ayop, S., Abdul Ghani, A., & Irwan, J. (2018). *Review of Recycles Concrete Aggregate and Polyeten Tereftalate in the Manufacturing of Brick*, vol. 401. . Instituto de Publicaciones de Física.
- McCormac, J., & Brown, R. (2017). *Diseño de concreto reforzado*. . Alpha Editorial.
- Meza, A., Pujadas, P., Meza, L., Pardo-Bosch, F., & López-Carreño, R. (2021). “*Mechanical Optimization of Concrete with Recycled PET Fibres Based on a Statistical-Experimental Study*”. Obtenido de Materials, vol. 14, no. 2, p. 240, : doi: 10.3390/ma14020240
- NBN EN206:2013+A1:2016. (2016). *Concreto - Especificación, rendimiento, producción y conformidad*. NBN Instituto Belga de normalización.
- NEN, Estandarización y Estándares. (2010). *NEN 5905:2010. Suplemento holandés a NEN-EN 12620 + A1 "Agregados para concreto"*. .
- Nikbin, I. M., Rahimi, S., Allahyari, R. H., & Fallah, F. (2016). “*Feasibility study of waste Poly Ethylene Terephthalate (PET) particles as aggregate replacement for acid erosion of sustainable structural normal and lightweight concrete*”, *J. Clean. Prod.*, vol. 126,.
- Nikbin, I., Allahyari, R., & Fallah, F. (2016). *Feasibility study of waste Poly Ethylene Terephthalate (PET) particles as aggregate replacement for acid erosion of sustainable structural normal and lightweight concrete*. Obtenido de Journal of Cleaner ProJournal of Cleaner Production, 126, 108–117.: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.143>

Norma E.060. (2009). *Concreto armado. Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.

Normas AENOR. (2019). *BS 8500-2:2015+A2:2019 Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206. Specification for constituent materials and concret*” . Obtenido de <https://tienda.aenor.com/norma-bsibs-8500-2-2015-a2-2019-000000000030371365>

NTC 2008. (2008). *Norme Tecniche per le Costruzioni. Decreto del Ministero delle infrastrutture, Supplemento Ordinario n.30 alla Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana, 29, 4/02/2008, Italy. (in Italian) - References - Scientific Research Publishing*. Obtenido de <https://www.scirp.org/%28S%28351jmbntvnsjt1aadkozje%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1217557>

NTP 400.053. (2014). *Manejo de residuos de la actividad de la construcción, reciclaje de concreto de demolición*. . Lima, Perú: Norma Técnica Peruana INDECOPI.

NTP A. Q. Ahdal *et al.*, (2022). “Mechanical performance and feasibility analysis of green concrete prepared with local natural zeolite and waste PET plastic fibers as cement replacements,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, p. e01256, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01256.

Pacheco Flores, L. (2017). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*.

Perera, S., Arulrajah, A., Wong, Y., Horpibulsuk, S., & Maghool, F. (2019). “Utilizing recycled PET blends with demolition wastes as construction materials”, *Constr. . Build. Mater.*, vol. 221, pp. 200–209, .

Raghatate, A., & otros. (2012). *M. Raghatate Atul, AS Politécnico, PD Wardha “Uso del plástico en un hormigón para mejorar sus propiedades”, I, págs. 109-111*.

Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M. H., Allahyari, H., & Nikbin, I. M. (2013). *On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles*. Obtenido de

- Construction and Building Materials, vol. 47, pp. 1302–1308 : doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.041
- Rai, B., Rushad, S., Kr, B., & Duggal, S. (2012). *Study of Waste Plastic Mix Concrete with Plasticizer*, *ISRN Civil Engineering (Print)*, vol. pp. 1–5. Obtenido de doi: 10.5402/2012/469272
- Ramadevi, K., & Manju, R. (2012). “*Experimental investigation on the properties of concrete with plastic PET (bottle) fibres as fine aggregates.*” *Revista internacional de tecnología emergente e ingeniería avanzada*, págs. 42 - 46. Obtenido de https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=GEe0OfsAAAJ&citation_for_view=GEe0OfsAAAJ:u-x6o8ySG0s
- RESIBA. (2002). *Recycled Aggregates for Construction and Building*.
- Rezvan, S., Moradi, M., Dabiri, H., Daneshvar, K., & Karakouzian, M. F. (Feb. de 2023). “*Application of Machine Learning to Predict the Mechanical Characteristics of Concrete Containing Recycled Plastic-Based Materials*”. Obtenido de *Applied Sciences*, vol. 13, no. 4, p. 2033,: <http://dx.doi.org/10.3390/app13042033>
- Rivera, G. (1992). *Resistencia del concreto*. . Universidad del Cauca.
- Rodríguez, J., Zamora, J., & Pérez, S. (2021). *Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura*. . *Avances: Investigación en Ingeniería*, 18(2). Comité ACI 201.
- Saikia, N., & De Brito, J. (2013). *Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete*, . Obtenido de *Materials Research-ibero-american Journal of Materials*, vol. 16, no. 2, pp. 341–350: doi: 10.1590/s151614392013005000017

- 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*,”. Obtenido de *Construction and Building Materials*, vol. 52, pp. 236–244: doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049
- Science Direct. (2023). “*Construction and Building Materials*”. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/journal/constructionand-building-materials>
- Scopuscom. (sf). “*Analizador de Scopus*”. *Scopus - Analizar resultados de búsqueda | Registrado*. (n.d.). Obtenido de <https://www.scopus.com/bibliotecavirtual.uis.edu.co/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=a0493a4ebba323c3297f5e0c2d2f6fb4&so t=a&sdt=a&sl=73&s=TITLE-ABS-KEY%28construction+waste+and+PET+plastics+as+concrete+aggregates%29&origin=r esultslist&count=10&anal>
- SIA 162/4. (1995). *Béton de recyclage*. Société suisse des ingénieurs et des architectes.
- Suganthi, P., Chandrasekar, D., & Kumar, S. (2013). *Utilization of pulverized plastic in cement concrete as fine aggregate*. . *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(6), 10151019.
- Supit, S. W., Priyono, & S. H. (2022). *Experimental study on the use of plastic waste as natural aggregate replacement in pervious cement concrete*”, en *Lecture Notes in Civil Engineering*. Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 247–258.
- T.E.E.C. Ltda. (2021). “*ABNT NBR15116 de 06/2021: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensayos*”,”. Obtenido de Normas.: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt->

nbrnm/23795/nbr15116-agregados-recicladospa-
uso-emargamassas-e-concretos-de-
cimento-portland-requisitose-metodos-de-ensaios

Thenbs. (2019). *PD 6682-1:2009 Aggregates. Aggregates for concrete - Guidance on the use of BS EN 12620 (+A1:2013)*, British Standards Institution - Publication Index | NBS. .

Obtenido de <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/Documents/Details?DocId=303846>

Torres, D. (2020). “*Análisis sistemáticos de la literatura científica con Bibliometrix - Biblioshiny App con*”. Obtenido de MediaLab URG: <https://www.youtube.com/watch?v=nGalqId6vG4>

Ucros Oyola, R., & Venegas Pérez, C. (2015). *Aprovechamiento de escombros como agregado grueso para la fabricación de adoquines* . Estándar Doctoral dissertation: Universidad de Cartagena.

Vintimilla, C., & Etxeberria, M. (2023). *Limiting the maximum fine and coarse recycled aggregates-Type A used in structural concrete*, . Obtenido de Construction and Building Materials, vol. 380, p. 131273: doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131273

WM. (s.f.). *Sustainable Waste Management & Recycling Services*. Obtenido de <https://www.wm.com/>